2020 年度　成果報告書

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期／自動運転（システムとサービスの拡張）／狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る研究開発

2021 年 5 月

株 式 会 社 Ｎ Ｔ Ｔ ド コ モ
沖 電 気 工 業 株 式 会 社
住 友 電 気 工 業 株 式 会 社
パ ナ ソ ニ ッ ク 株 式 会 社

目次

1. 実証の背景と目的 1
1.1. 背景 1
1.2. 目的 2
1.3. 実証の特徴 2
1.3.1. 標準化団体における V2X 通信に関する議論動向 2
1.3.2. 本実証の優位点・独自性 5
2. 事業の概要 7
2.1. 実施内容 7
2.1.1. 想定課題 7
2.1.2. 研究開発スコープ 7
2.1.3. アーキテクチャの検討・設計 9
2.2. 研究テーマ 13
2.2.1. 動的な情報の収集に係る研究開発 13
2.2.2. 動的な情報の統合等の処理による生成に係る研究開発 17
2.2.3. 動的な情報の配信に係る研究開発 20
2.3. 各種前提条件 29
2.3.1. 想定する自動運転車両のシーン 29
2.3.2. 対象とする通信技術 30
2.3.3. KPI 及び設定根拠 31
2.4. 実施体制 39
2.4.1. 株式会社ＮＴＴドコモ 39
2.4.2. パナソニック株式会社 39
2.4.3. 住友電気工業株式会社 39
2.4.4. 沖電気工業株式会社 39
2.5. 実施スケジュール 40
3. 研究開発内容・評価方針 41
3.1. 想定ユースケースの検討 41
3.1.1. 想定課題 41
3.1.2. 対象とするユースケース 47
3.1.3. 実現する要件（UC 毎の KPI） 48
3.1.4. 各ユースケースを支援するためのセンシング範囲と配信範囲 60
3.1.5. アーキテクチャの検討・設計 61
3.1.6. 共通 IF 検討 67
3.2. 評価方針 71
3.2.1. 評価検証のための前提条件 71

3.2.2. ユースケース毎の詳細評価シナリオ 81
4. 研究開発評価・検証（株式会社 NTT ドコモ） 93
4.1. アーキテクチャ詳細 93
4.1.1. ハードウェア構成 95
4.1.2. ソフトウェア構成 97
4.1.3. インターフェース定義 98
4.1.4. 各システムの機能概要 101
4.1.5. 各システムの機能詳細 112
4.2. 各社接続確認 132
4.2.1. 実証環境の構築 132
4.2.2. 実証の流れ 133
4.2.3. 実証結果 135
4.3. 総合検証 145
4.3.1. 実証環境の構築 145
4.3.2. 実証の流れ 146
4.3.3. 実証結果 146
5. 研究開発評価・検証（パナソニック株式会社） 150
5.1. アーキテクチャ詳細 150
5.1.1. ハードウェア構成 151
5.1.2. ソフトウェア構成 152
5.1.3. 統合処理アルゴリズム 158
5.2. 各社接続確認 165
5.2.1. 実証環境の構築 165
5.2.2. 実証の流れ 197
5.2.3. 実証結果 209
5.3. 総合検証 241
5.3.1. 実証環境の構築 242
5.3.2. 実証の流れ 251
5.3.3. 実証結果 253
5.4. シミュレーション検証 258
5.4.1. ピーク性能・配信限界性能 261
5.4.2. 配信制御によるトラフィック削減検証 266
5.4.3. 統合限界値性能 271
6. 研究開発評価・検証（沖電気工業株式会社） 274
6.1. アーキテクチャ詳細 274
6.1.1. ハードウェア構成 276

6.1.2. ソフトウェア構成 277
6.1.3. 統合手法 280
6.2. 各社接続確認 285
6.2.1. 実証環境の構築 285
6.2.2. 実証の流れ 293
6.2.3. 実証結果 298
6.3. 総合検証 308
6.3.1. 実証環境の構築 308
6.3.2. 実証の流れ 310
6.3.3. 実証結果 311
6.4. シミュレーション検証 313
6.4.1. 検証環境の構築（収集・配信） 313
6.4.2. 検証の流れ（収集・配信） 321
6.4.3. 検証結果（収集・配信） 325
6.4.4. 検証環境の構築（統合） 336
6.4.5. 検証の流れ（統合） 336
6.4.6. 検証結果（統合） 337
7. 研究開発評価・検証（住友電気工業株式会社） 338
7.1. アーキテクチャ詳細 339
7.1.1. ハードウェア構成 340
7.1.2. ソフトウェア構成 343
7.2. 各社接続確認 346
7.2.1. 実証環境の構築 347
7.2.2. 実証の流れ 351
7.2.3. 実証結果 362
7.3. 総合検証 384
7.3.1. 実証環境の構築 385
7.3.2. 実証の流れ 387
7.3.3. 検証結果 388
7.4. シミュレーション検証 389
7.4.1. 実証環境の構築 392
7.4.2. 検証の流れ 394
7.4.3. 検証結果 398
7.5. 配信制御 407
7.5.1. 実証環境の構築 409
7.5.2. 検証の流れ 412

7.5.3. 検証結果 417
8. KPI 検証のまとめ（株式会社 NTT ドコモ） 419
8.1. 共通 IF の考察 419
8.1.1. 配信制御の考察 419
8.2. 狭域・中域の一連の処理に関する考察 421
8.3. 中域ネットワークシステムに関する考察 421
9. KPI 検証のまとめ（パナソニック株式会社） 424
9.1. 共通 IF の考察 424
9.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF 424
9.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF 424
9.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF 424
9.2. 統合手法の考察 426
9.2.1. 検出エリア境界のシームレスな検出 426
9.2.2. 重複エリアにおける精度向上 426
9.2.3. 重複エリアにおけるロバスト性の向上 426
9.2.4. 限界値性能に関する考察 427
9.3. 配信制御の考察 427
9.4. 抽出手法の考察 428
9.4.1. ITS 通信端末の位置計測誤差に関する見解 428
9.4.2. ミリ波レーダの計測誤差要因に関する見解 430
9.5. エッジサーバの諸元考察 434
10. KPI 検証のまとめ（沖電気工業株式会社） 435
10.1. 共通 IF の考察 435
10.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF 435
10.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF 436
10.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF 436
10.2. 抽出手法の考察 437
10.3. 統合手法の考察 438
10.4. 収集・配信手法の考察 438
10.5. 路側処理方式（DSRC・セルラ（直接通信））の考察 439
11. KPI 検証のまとめ（住友電気工業株式会社） 441
11.1. 共通 IF の考察 443
11.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF 443
11.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF 446
11.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF 447
11.2. 抽出手法の考察 447

11.2.1. 各路側センサによる動的物体検知の考察 447
11.2.2. 車載センサによる道路上の障害物検知の考察 454
11.2.3. 抽出処理時間に関する考察 456
11.3. 統合手法の考察 458
11.3.1. 各ユースケースにおける複数センサ統合の評価結果の考察 458
11.3.2. 統合処理時間に関する考察 459
11.3.3. 社会実装へ向けた複数インフラ統合のコストパフォーマンス等の検討 460
11.3.4. 先行技術（統合手法）との比較 461
11.4. 配信制御の考察 464
11.4.1. 配信制御の評価結果についての考察 464
11.4.2. 配信制御の課題点 465
11.4.3. 先行技術（配信制御手法）との比較 469
11.5. 総合検証の考察 470
11.5.1. 総合検証での通信遅延の考察 470
11.5.2. 総合検証での帯域幅の考察 471
11.6. センタ処理方式の考察 472
11.6.1. センタ処理方式の特徴についての考察 472
11.6.2. 一連の処理時間に関する考察 473
12. 取り纏め・考察 475
12.1. KPI の達成状況 475
12.1.1. 狭域 475
12.1.2. 中域 476
12.1.3. 全体 477
12.2. 得られた知見 477
12.2.1. 狭域 477
12.2.2. 中域 479
12.2.3. 全体 479
12.3. 提言 480
12.3.1. 狭域 480
12.3.2. 中域 480
12.3.3. 全体 481
12.4. 今後の課題 482
12.4.1. 実用化に向けた検証や実証について 482
12.4.2. ビジネスモデルの検討 483
12.4.3. 他システムとの連携 483
12.4.4. プライバシー保護、セキュリティに対する考慮 483

12.4.5. 既存の標準化団体等へのアプローチ 488
13. 参考資料 489

1. 実証の背景と目的

1.1. 背景

「官民 ITS 構想・ロードマップ 2019」（令和元年 6 月）では、「自動運転の実現にあたっては、自律的な周辺情報の収集のほか、今後、ネットワークを通じたクラウド等の外部データ基盤との間で、ダイナミックマップ関連情報を含む多量かつリアルタイムのデータ転送、交換が必要になると見込まれることから、情報通信インフラの高度化が不可欠となる。」、「今後、自動運転やコネクテッドカーで必要とされるデータ転送量、リアルタイム性等の要求条件やそれらの実現時期等を見据えつつ、エッジコンピューティングを含むアーキテクチャの在り方や第 5 世代移動通信システム（以下、「5G 通信」または「5G」とする）の本格活用も含めた情報通信インフラ等について検討していくことが必要となる。」等と記されており、多数の情報源から動的な情報の効率的な収集、統合等の処理、処理後の情報の効率的な配信を可能にする情報通信インフラの必要性が強調されている。

また、第 1 期 SIP 自動走行システムプロジェクトにおける自動運転開発の更なる高みに向けたプロジェクトとしてスタートした第 2 期 SIP 自動運転では、高齢化の進む過疎地等での移動手段の欠如や物流業界におけるドライバー不足等社会的課題先進国である我が国における自動運転の実用化を一般道まで拡張するとともに、自動運転技術を活用した物流・移動サービスを世界に先駆けて事業化することによって、すべての国民が安全・安心に移動できる超高齢化社会がめざされている。

安全で安心な自動運転の実現には、自動運転車両等において動的な情報を広く連続的に、正しく、かつ迅速に認知することができることが必要で、そのためには、複数の情報源からの情報を一元的に集約して管理し、必要な情報を速やかに自動運転車両等へ共有することが可能でなければならない。

例えば、レベル 4 及びレベル 5 の自動運転車両では、1 台あたり 30 個前後の各種センサ（カメラ、LiDAR、GNSS/IMU 等）が装着されると想定されている。また、交差点内の事故を未然に防ぐための検知センサとしてミリ波レーダの路側設備への設置が検討されている。

しかし、現在の状況においては、上記のような車両側あるいは路側で動的な交通環境データを取得する手段はあるものの、多くの場合、これらの情報源は単独で運用されることを想定されており、取得された情報の連携・共有の検討は不十分である。そのため、見通し外を含む、広範囲の認知が正確にかつ迅速にできないことが、安全で安心な自動運転の実現に向けて大きな課題となっている。

本事業では、これら課題を解決し、安全で安心な自動運転を実現するために、複数の情報源から車両や歩行者等の動的な情報を効率的に収集する技術、それらの情報の統合等の処理による情報量・通信量を削減する技術、処理後の情報の適切な配信を行うための技術に関する研究開発を実施する。

1.2. 目的

高度な自動運転を実現するための技術は多岐に渡り存在し、その中の一つとして、距離が離れている、遮蔽物が存在する等により自車のカメラやレーダ等では認識できない範囲の物標を自動運転車両が V2X により認識する技術がある。自動運転車両に搭載されるセンサだけでは安全が確認できるまで停止もしくは徐行することになり交通流への影響が懸念されるが、この技術により交通流への影響を軽減することが期待できる。

この技術は、路側インフラ等の各種情報源が情報処理サーバと通信を行い、情報処理サーバが各種情報源から得られた情報（車両や歩行者、障害物の位置情報等）を適切に処理することで実現される。他方、高度な自動運転が進展することに伴い、こうした情報源の数は増大することから、通信の逼迫が懸念される。

また、各種情報源により収集し、情報処理サーバが処理した情報を適切に自動運転車両に配信することで、自動運転車両は走路環境を事前に正しく認知することができ、例えばルート上の交通状況（渋滞、障害物等）を活用することで最適なパスプランニングやルートプランニングが可能となる等、高度な自動運転の実現が期待される。

本研究開発は、こうした高度な自動運転の実現に資するため、情報源である多数の路側インフラ等から得られる車両や歩行者等の動的情報の効率的な収集、それら情報の統合等の処理による動的情報の効率的な生成、処理後の動的情報の効率的な配信を行うための要素技術の研究開発を行い、複数情報源から情報を収集するための通信方式・共通インタフェース、収集した情報を統合するための指標案、自動運転車両に配信するための情報配信手法の策定を行うことを目的とする。

1.3. 実証の特徴

1.3.1. 標準化団体における V2X 通信に関する議論動向

一般的にはセルラネットワーク経由の通信はインターネット上のクラウドサーバとの間で実施されるが、V2X においては、通信の低遅延化・高信頼化のため MEC（Mobile Edge Computing または、Multi-Access Edge Computing）が利用されることも考えられる。V2X における MEC の活用については、各種標準化団体や関連の場で議論が進んでおり、本研究開発が対象とする自律型の自動運転車両の交通流最適化、走行支援についても MEC の活用が想定される。本実証においては、自律型の自動運転車両の交通流最適化、走行支援における MEC の活用検討のため、MEC サーバ（狭域・中域サーバ）を含めたアーキテクチャを設計した。(アーキテクチャの詳細については 2.1.3 項で後述)

以下では、各種標準化団体や関連の場における V2X における MEC の活用検討について紹介する。

① 5GAA における議論動向

2017 年 12 月には、5GAA（5G Automotive Association）から、「Toward fully connected vehicles: Edge computing for advanced automotive communications」[1]というタイトルで、相互接続された自動運転車両の複数のサービスを支援する技術としてのエッジコンピューティングの検討可能性を分析したレポートが公開されている。（図 1.3.1①-1）

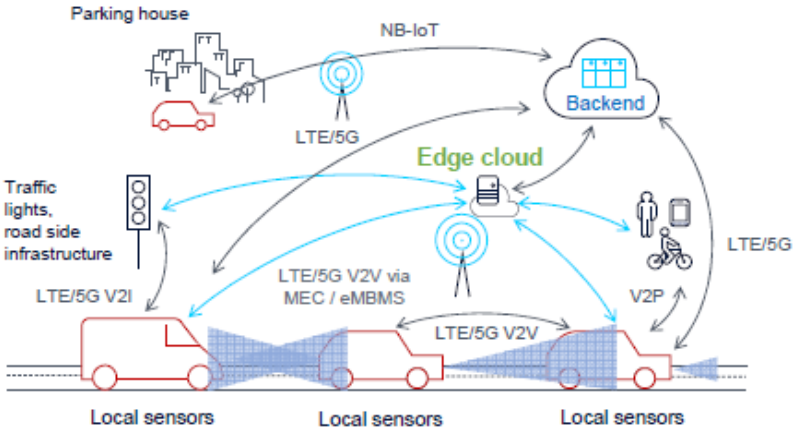


図 1.3.1①-1 V2X 通信に関する全体像

5GAA では、V2X のアプリケーションを Safety（安全）、Convenience（利便性）、Advanced Driving Assistance（先進運転支援システム）、vulnerable Road User （VRU：交通弱者）の 4 つのカテゴリに分けて、それぞれのカテゴリのユースケースと MEC との関連性について分析している。（表 1.3.1①-1）

[1] 5GAA,Toward fully connected vehicles: Edge computing for advanced automotive communications White Paper,2017 年 9 月
https://5gaa.org/wp-content/uploads/2017/12/5GAA_T-170219-whitepaper-EdgeComputing_5GAA.pdf

表 1.3.1①-1　V2X のカテゴリ毎のユースケース

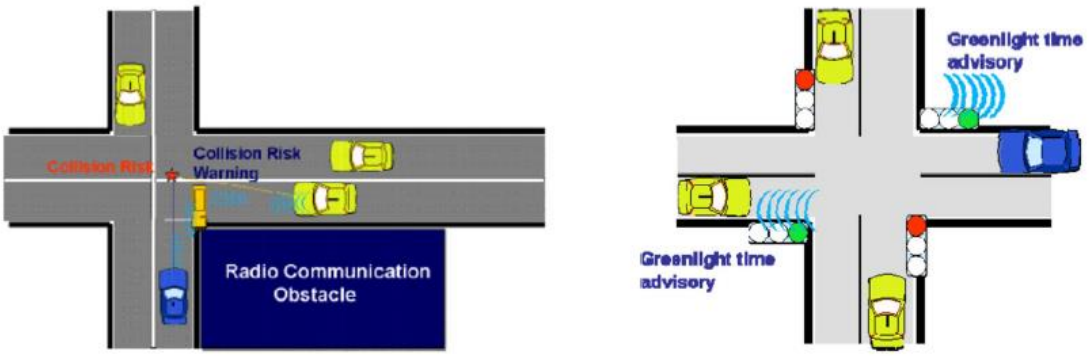
分類	ユースケース	概要	MEC との関連性
Safety（安全）	交差点通過支援	交差点を通る際に衝突の危険性があることをドライバーに警告する。	高
Convenience（利便性）	ソフトウェアアップデート	自動車用ソフトウェアのアップデートを配信、管理する。	中
Advanced Driving Assistance（先進運転支援システム）	リアルタイムの状況認識と高精細マップ	前方の危険な路面状況（凍結等）を後続のホスト車（HV）の運転手に注意喚起する。	高
	シースルー	対向車線を使用してリモート車（RV）を追い越す意思表示をするホスト車（HV）のドライバーに、RV の前方の景色を示すビデオ・ストリームを提供する。	高
	自動運転車の協調車線変更	ホスト車両（ＨＶ）の運転者は、ＨＶの近傍の目標車線を走行している少なくとも１台のリモート車両（ＲＶ）に対して車線変更の意思表示を行う。	高
vulnerable Road User （VRU：交通弱者）	交通弱者の発見	周辺の VRU を検知し、ドライバーに警告する。	高

② ETSI（欧州電気通信標準化機構）における議論動向

2018 年 9 月には ETSI(5G Automotive Association)から、「Multi-access Edge Computing (MEC); Study on MEC Support for V2X Use Cases」[2]というタイトルで、Ｖ２Ｘのユースケースに対する MEC の支援について分析したレポートが公開されている。

[2]ETSI GR MEC 022 V2.1.1, Multi-access Edge Computing (MEC);Study on MEC Support for V2X Use Cases ,2018 年 9 月
https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/MEC/001_099/022/02.01.01_60/gr_MEC022v020101p.pdf

本レポートでは、前述の 5GAA のレポートを参照しつつ、ユースケースごとのサービスや機能に関する推奨事項を特定するとともに、各推奨事項に対して評価を行い、解決すべき課題を明らかにしている。（図 1.3.1②-1）



a) intersection collision warning　　b) intersection management

図 1.3.1②-1 V2X の「安全」に関するユースケース

1.3.2. 本実証の優位点・独自性

本実証は標準化団体での議論内容と整合が取れている点でその意義が認められるのみならず、グローバルな視点での他の実証実験と比較した際に優位性・独自性を持つものとなっている。下記に、本実証の具体的な特徴を示す。

① 狭域・中域の一気通貫した支援の検討

1.2 節で述べられている通り、自律型の自動運転車両は、交差点など複雑な環境下では自車両のセンサの死角が増えることにより、交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止もしくは徐行することになるため、交通流に影響を及ぼす恐れがある。今後、手動走行、運転支援システム（レベル 1～2）、自動走行システム（レベル 3～4）が混在していくなかで想定される本課題の解決には、自律型の自動運転車両に対する交通流最適化支援、走行支援の双方の連携が重要である。

本実証ではこうした背景を踏まえて、交差点手前での事前の車線変更、経路変更（交通流最適化）から、交差点への円滑な進入・通過（走行支援）までを一気通貫で連続的に支援することができるシステム構成を取っている。なお、交差点手前での事前の車線変更、経路変更を支援は中域エッジサーバ（以下「中域サーバ」という。）、交差点への円滑な進入・通過の支援は狭域エッジサーバ（以下「狭域サーバ」という。）で行う。

② 配信制御、配信情報量削減の検討

交差点の情報による走行支援は、路側インフラ等の各種情報源が情報処理サーバと通信を行い、情報処理サーバが各種情報源から得られた情報（車両や歩行者、障害物の位置情

報等）を適切に処理することで実現される一方、高度な自動運転が進展することに伴いこうした情報源の数は増大することから、通信の逼迫が課題となる事が想定される。

通信の逼迫による V2X サービスの品質低下と、その解決策については、各種標準化団体等、関連の様々な場で議論や検証が進んでいることも踏まえ、本実証では自動運転車両の処理負荷軽減のために、複数の路側センサの抽出結果を統合するだけでなく、情報処理サーバから自動運転車両への情報の配信制御を行うことにより、自動運転車への配信情報量を削減する手法もスコープとしている。

③ 5G を含めた通信メディアの比較検討

交差点の情報による走行支援においては、実証実験レベルで様々な通信技術が利用されており、また各種標準化団体や関連の場ではそれらの比較についても活発に議論がなされている。本実証では、SIP の枠組みで平成 30 年度に実施された「自動運転システムにおける V2X 技術等を含む新たな通信技術の活用に関する調査」の結果も踏まえて、交差点の情報による走行支援において今後有望と考えられる、複数の通信メディアの比較評価を実施している。

当実証の結果は、高度な自動運転の実現にあたり、いかなる通信メディアを採用するのかの検討に資するものとなることはもちろん、通信メディアの性能の限界をも明らかにし、MEC 等の技術の更なる活用の必要性を提起するものになることも想定される。

また、比較評価における通信メディアの１つとして我が国で 2020 年 3 月末にサービス開始した商用 5G ネットワークを活用することから、国内の自動運転分野、特に交差点の情報による走行支援における 5G 活用の先進的な事例になることが想定される。

2. 事業の概要

2.1. 実施内容

2.1.1. 想定課題

① 研究開発の前提

自律型の自動運転車両は、交差点など複雑な環境下では自車両のセンサの死角が増え、これにより、交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止もしくは徐行することになり、交通流に影響を及ぼす恐れがある。

② 研究開発の目的

①に記載した課題を解決するため、距離が離れている、遮蔽物が存在する等、自車両のセンサでは認識できない範囲（以下、見通し外）の物標情報を、複数の情報源（既存センサや高度化したセンサ等）から収集・統合、自動運転車両へ配信し、交差点への円滑な進入・通過及び交差点手前での事前の車線変更、経路変更といった支援を行う。こうした支援を実施するため、複数情報源から情報を収集するための通信方式・共通インタフェース、収集した情報を統合するための指標案、自動運転車両に配信するための情報配信手法の策定を行う。（図 2.1.1②-1）

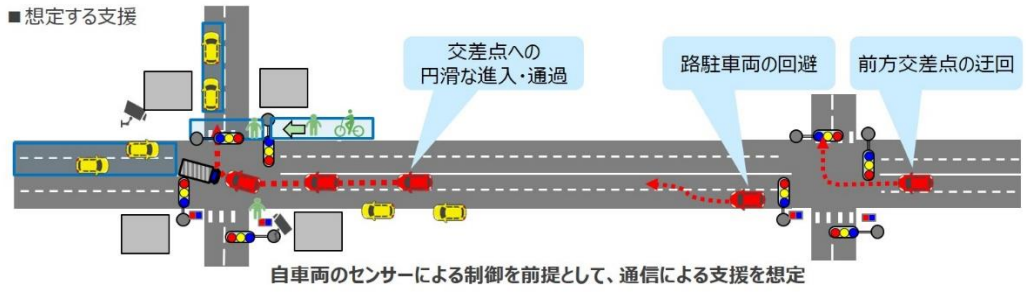


図 2.1.1②-1 研究開発の目的（交差点への進入・通過、交差点手前での事前の車線・経路変更に対する通信による支援イメージ）

2.1.2. 研究開発スコープ

① 研究開発の全体像

複数の情報源から得られる動的情報を収集・リアルタイムな交通状況として統合し、必要な範囲の情報のみを自動運転車両側の情報と共有可能な形式で配信することで、自動運転車両が、自車両のセンサの死角、検知外の制御に必要な対象物の位置、属性等の状況を俯瞰的に把握することを支援する。なお、配信についてはダイナミックマップとの連携を検討中である。（図 2.1.2①-1）

なお、交差点手前での事前の車線変更、経路変更を支援は中域サーバ、交差点への円滑な進入・通過の支援は狭域サーバで行う。

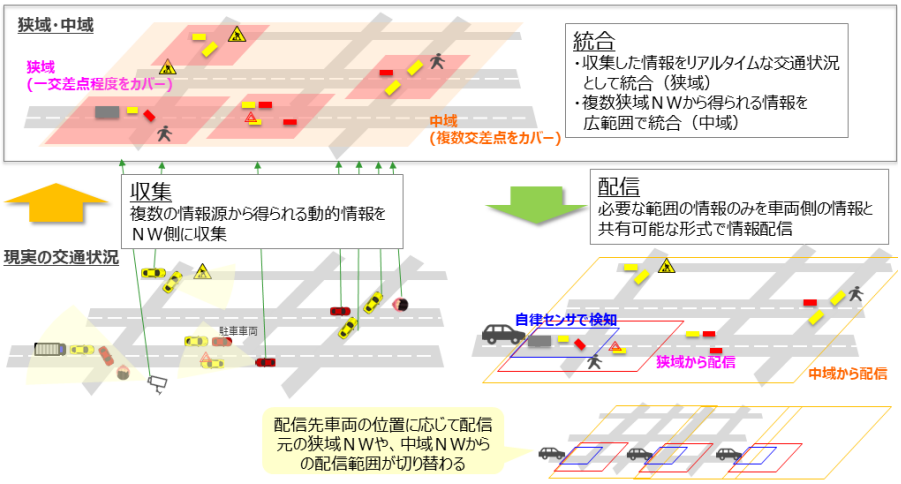


図 2.1.2①-1 研究開発の全体像

② 研究開発の成果

本研究開発の成果としては、複数の情報源から情報を収集することとなるため、複数情報源とサーバ間での共通的なデータフォーマットやプロトコルが要求されることから、インフラ・車両間、サーバ間における IF 仕様などの国内外の規格を参考に、共通的なインタフェースを策定する。さらに収集した情報を結合する際の条件を検討・整理した上で、情報統合における指標案を策定する。

また、収集した情報を自動運転車両へ配信する際に、ネットワーク側から配信する情報が、車両側が保有する情報と共有可能な形式となるように情報配信手法の策定を行う。

最終的には、本研究開発における成果を、道路環境における様々な情報源から情報を収集する際の、標準的な収集・配信インタフェース、統合指標のガイドラインの策定につなげるような形での検討を目指す。（図 2.1.2②-1）

本成果報告書で記載した内容（システム構成、実証実験、実証結果から得られた知見など）から抜粋する形で、業界プレイヤーがシステム検討・構築の際に参照することを想定した実装ガイドラインを別添資料として作成している。

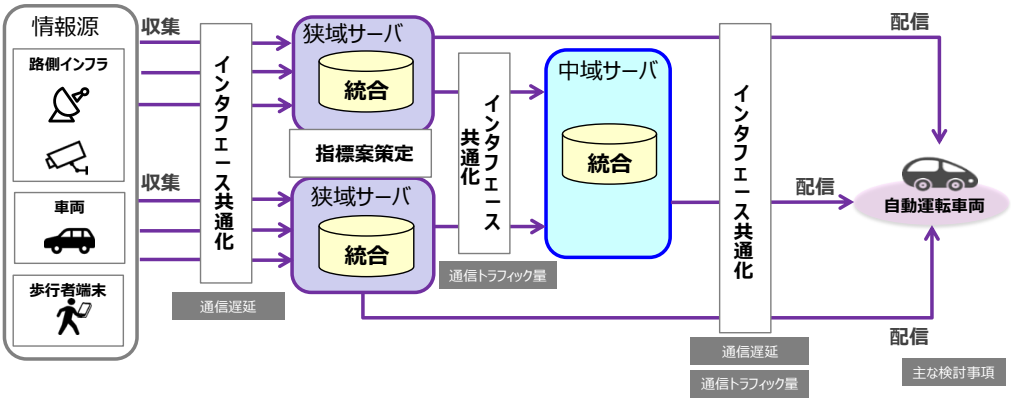


図 2.1.2②-1　研究開発の成果全体像イメージ

2.1.3. アーキテクチャの検討・設計

① システム構成

本研究開発のシステム構成を図 2.1.3①-1 に示す。本研究開発のシステムは、路側インフラ、車載器を搭載した車両、歩行者端末等の情報源、一般的な一つの交差点程度の大きさを想定した「狭域エリア」をカバーする「狭域サーバ」、市区町村程度の大きさを想定した「中域エリア」をカバーする「中域サーバ」、情報の配信先となる自動運転車両及びそれぞれの装置を接続する通信ネットワークで構成する。

「狭域エリア」における自動運転では見通し外を含め、車両周辺の交通状況に応じた対応が必要となる。

そこで本研究開発では必要な情報を複数の情報源から抽出し、抽出した情報を「狭域サーバ」に収集し、集められた情報を統合し、さらにそれらの情報を配信するための研究開発を実施する。

「中域エリア」においては、車両が移動する先の状況を広く連続的に認知し、対応することが必要となる。そこで本研究では、複数の狭域エリアで収集・統合した情報を「中域サーバ」に収集し、集められた情報を統合し、さらにそれらの情報を配信するための研究開発を実施する。

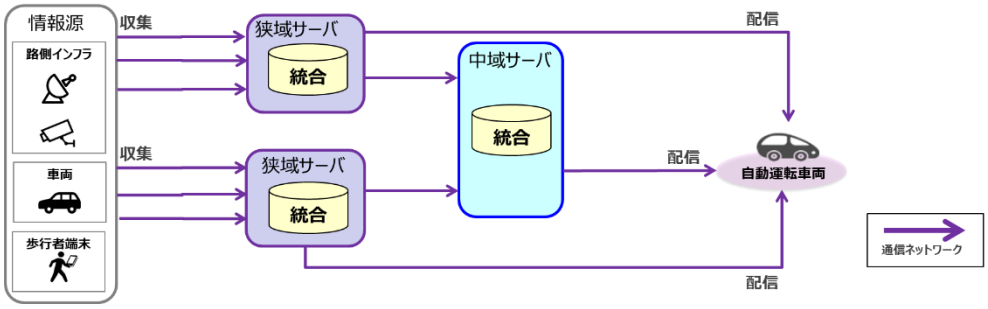


図 2.1.3①-1　本研究開発のシステム構成

② 狭域におけるシステム構成

物標情報の抽出・統合処理の実装方法とその実装方法に適した通信方式を選定し、以下の 2 方式で検証することとする。

(1) 路側処理方式

情報源側で物標情報の抽出を実施し、路側エッジサーバにて統合する方式であり、通信方式として専用通信（公衆通信の基地局を介さない直接通信（DSRC, LTE V2X（PC5），WiGig））を使用する。

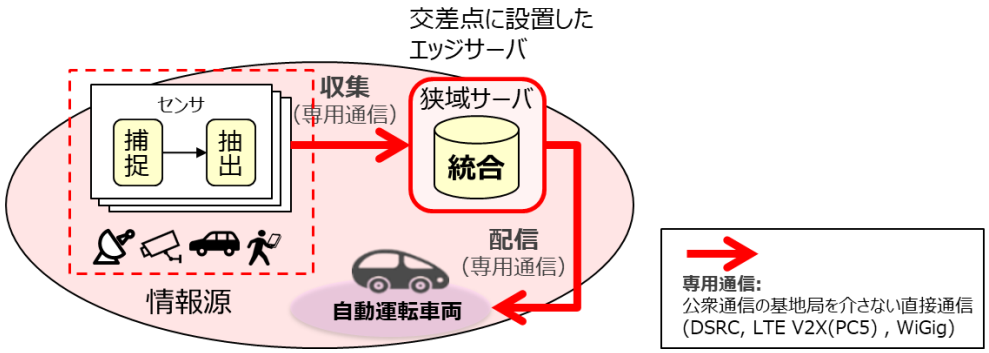


図 2.1.3②-1　路側処理方式の狭域システム構成

(2) センタ処理方式

情報源側で捕捉したセンサ情報をそのままネットワーク側エッジサーバに送信し、サーバ側で物標情報の抽出・統合を行う方式（ただし、一部センサ情報は情報源で抽出）であり、通信方式としてモバイル通信（セルラネットワークを活用した通信（5G＋LTE））を使用する。

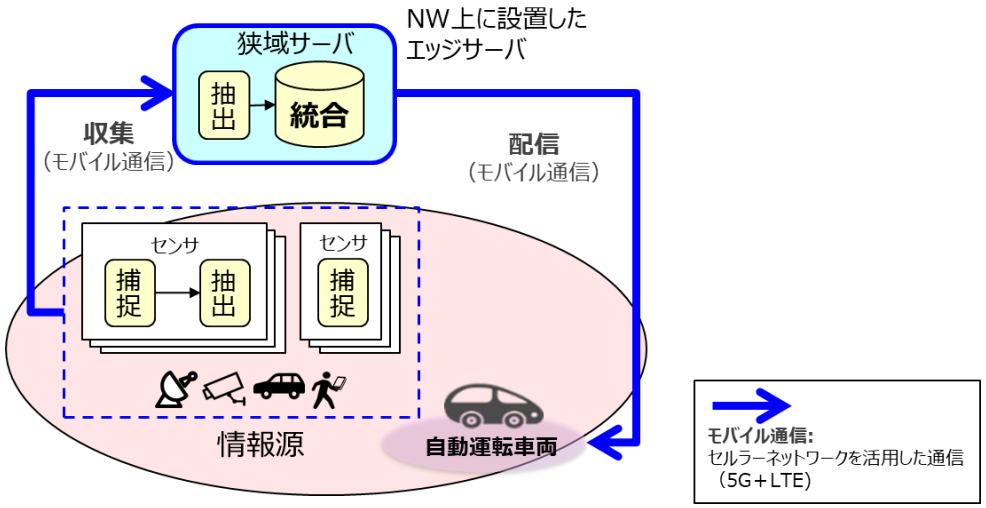


図 2.1.3②-2　センタ処理方式の狭域システム構成

③ 中域におけるシステム構成

「中域エリア」においては、車が移動する先の状況を広く連続的に認知し、対応することが必要となる。そのため、狭域サーバからの情報収集及び自動運転車両への情報配信については、セルラネットワークを活用したモバイル通信を利用することとする。

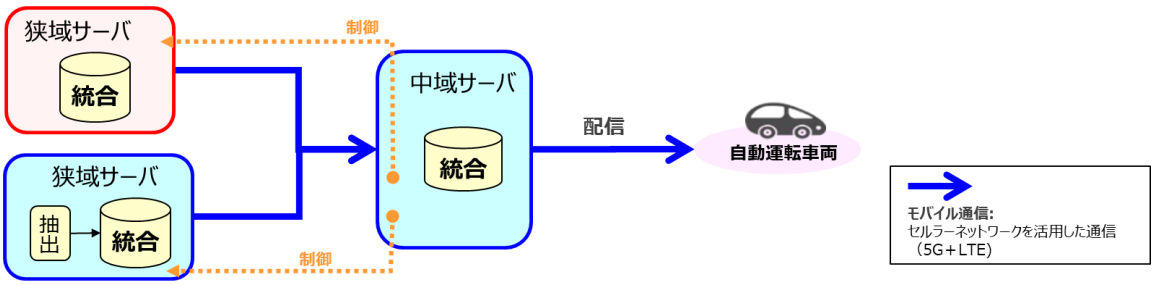


図 2.1.3③-1　中域システム構成

④ 研究開発の共同分担

研究開発を株式会社ＮＴＴドコモ、沖電気工業株式会社、住友電気工業株式会社、パナソニック株式会社の４社の共同分担で実施する。本研究開発は、表 2.1.3④-1 に示すとおりに分担して実施することとする。

表 2.1.3④-1　研究機関の分担内容

研究開発項目	担当
ユースケースの検討	
狭域ネットワークの想定ユースケースの検討	沖電気工業、住友電気工業、パナソニック
中域ネットワークの想定ユースケースの検討	ＮＴＴドコモ
動的な情報の収集に係る研究開発	
各種情報源から情報を抽出する技術	
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
抽出した情報を収集する技術	
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
動的な情報の統合等の処理による生成に係る研究開発	
狭域エリアにおいて収集した情報を統合・更新する技術	
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
中域エリアにおいて収集した情報を統合する技術	
中域エリアにおいて収集した情報を統合する技術	ＮＴＴドコモ
動的な情報の配信に係る研究開発	
収集・統合した情報を配信する技術	
狭域エリア	

研究開発項目	担当
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
中域エリア	
中域エリアにおいて収集･統合した情報を配信する技術	ＮＴＴドコモ
周囲の状況に応じて情報の配信を制御する技術	
狭域エリア	
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
中域エリア	
中域エリアにおいて収集･統合した情報の配信を周囲の状況に応じ制御する技術	ＮＴＴドコモ
エッジサーバに関する技術	
狭域エリア	
路側処理方式	沖電気工業、パナソニック
センタ処理方式	住友電気工業
中域エリア	
中域エリアにおけるエッジサーバに関する技術	ＮＴＴドコモ

2.2. 研究テーマ

2.2.1. 動的な情報の収集に係る研究開発

① 各種情報源から情報を抽出する技術

路側インフラ等の各種情報源が捉えた車両等の対象物から、自動運転車両等が交通環境を認知するために必要な動的な情報を抽出する技術を確立する。

ここでは、各種情報源として路側センサ（カメラや LiDAR、76GHz ミリ波レーダ、79GHz ミリ波レーダ、車載・歩行者等の ITS 通信端末）を想定する。

交通環境情報の検討にあたり、評価対象となるユースケースにおける自動運転車両への支援情報の提供を想定する。また、交通環境情報として、各々の情報源の特性等を踏まえ、当該交差点へ接近する車両等に関するデータを抽出することを検討する。

抽出技術の検討では、評価対象となるユースケースに対して、各種情報源の設置場所・環境の特性、収集技術にて検討する通信方式を考慮して、物体の位置や時間等の抽象化度（周期、精度）を検討する。

(1) 達成目標

開発した抽出技術に関して評価、改良を行い、正解率 90%以上を達成する条件を整理することを目標とする（正解率の基準については、表 2.3.3②-1 に記載）。

(2) 各種前提条件

- 情報源：路側センサ（LiDAR、ミリ波レーダ、カメラや ITS 通信端末・車載機）
- 対象物：車両/人/自転車
- 対象情報：位置、種別、速度、進行方向
- 評価環境：テストコースにて、特定のユースケースを想定した環境で評価を行う。

表 2.2.1①-1 各社の情報抽出方式

項目		沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式		DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad ARIB STD-T109	5G
情報源	路側センサ：対象物	LiDAR：車/人 79GHzミリ波レーダ：車	79GHzミリ波レーダ：車/人/自転車	カメラ：車/人 LiDAR：車/人 76GHzミリ波レーダ：車
	ITS無線通信機	DSRC方式車載機または セルラ（直接通信）方式 車載機	ARIB STD-T109 歩行者端末/自転車端末	-
情報源以外の使用機器		センサエッジ端末	センサエッジ端末	狭域サーバ
開発内容		・路側センサの抽出機能（LiDAR、79GHzミリ波レーダ）の開発 － 統合時データ連携可能な統一のデータ形式の検討および路側センサAPIの実装 ・抽出した車両/人をトラッキングして、動態情報、外形情報を判定する機能の開発	・各種情報源（79GHzミリ波レーダ、歩行者端末/自転車端末）から動態情報を抽出する機能の開発 － 統合時データ連携可能な統一のデータ形式※の検討および路側センサAPIの実装 ※歩行者端末/自転車端末に関してはITS FORUM RC-013の拡張を検討	・抽出機能（76GHz帯ミリ波レーダ）の開発 － 車両等の位置、速度を検知するアルゴリズムの設計および実装 － 現地調整技術の開発 ・抽出機能（カメラ、LiDAR）の開発 － 車両/人の検知、識別、追跡アルゴリズムの設計および実装
その他特記事項			・79GHzミリ波レーダの生データ	

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
		の分析技術や歩行者位置の補正技術等、SIP第1期の研究成果も活用	

② 抽出した情報を収集する技術

抽出した情報を収集する技術として、路側インフラ等の各種情報源が捉えた情報や抽出された情報を、通信を用いてネットワーク側に収集する技術を研究開発する。具体的には、各種情報源で抽出した情報を狭域エリアのエッジサーバへ集約するためのネットワーク構成、通信方式、プロトコル、電文フォーマット等について検討する。

検討対象とする収集技術は、無線通信は DSRC 方式(ITS FORUM RC-005)、セルラ(直接通信)通信方式(LTE V2X PC5)、WiGig(IEEE802.11ad)、セルラ通信（5G)、760MHz ITS 通信（ARIB STD-T109）とする。

各々の情報源や、その情報源から抽出される情報の特性等を踏まえて、収集場所である狭域サーバに情報を収集する技術を検討し、開発する。主に 情報源および通信機の設置条件等を検討する。また、路側インフラ等（センサ＋通信）で折り返す情報、狭域エリアのエッジサーバへ共有すべき情報の選択方針や、狭域エリアのエッジサーバの設置場所、1 台の狭域エリアのエッジサーバでカバーする範囲についても検討する。

情報源の要件に合わせて、通信機の送信タイミングや周期を制御する上位プロトコルを検討する。

(1) 達成目標

各種情報源から収集場所である狭域サーバまでの通信遅延 100 ミリ秒以内を達成する条件を整理することを目標とする。

(2) 各種前提条件

- 対象トラフィック：各種情報源から狭域サーバへの通信

表 2.2.1②-1 各社の情報収集方式

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式	DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad ：交差点内路側機間通信 ARIB STD-T109：歩行者/自転車-路側機間通信	5G
収集情報	物標情報	物標情報	生データ：路側カメラ、路側LiDAR、車載LiDAR 物標情報：路側ミリ波レーダ
使用機器	路側ミリ波レーダ 路側LiDAR センサエッジ端末 ITS用無線通信機 路路間通信機 路車間通信機、 狭域サーバ （収集機能） 机上検証用シミュレータ	路側ミリ波レーダ（79GHz） センサエッジ端末 ITS用無線通信機 路路間通信機 路車間通信機 狭域サーバ （収集機能）	路側ミリ波レーダ（76GHz） 路側カメラ 路側LiDAR 車載LiDAR データ送信機能 狭域サーバ（収集機能） 5Gエミュレータ
開発内容	・収集機能（各種情報源から狭域サーバ）の開発 － 収集データフォーマットの共通化検討/開発 － 通信インタフェースの共通	・収集機能（各種情報源から狭域サーバ）の開発 － 収集データフォーマットの共通化検討/開発 － 通信インタフェースの共通	・収集機能（各種情報源から狭域サーバ）の開発 － 収集データフォーマットの共通化検討/開発 － 通信インタフェースの検討

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
	化検討/開発 － 通信制御機能の検討/開発（電文フォーマット、上位プロトコル、通信仕様等）	化検討/開発	/開発
その他特記事項	・Connected Car社会の実現に向けた既存ITS用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査の成果を活用 ・計算機シミュレーションにて通信性能評価を実施	SIP第1期、及び、Connected Car社会の実現に向けたミリ波を活用した新たな ITS 用無線システムの技術的条件等に関する調査の成果を活用	エミュレータ等による通信性能評価を実施

2.2.2. 動的な情報の統合等の処理による生成に係る研究開発

「狭域エリア」において、複数の情報源から収集した情報を統合・更新する技術及び、「中域エリア」において、複数の狭域エリアなどから収集した情報を統合する技術を研究開発する。

① 狭域エリアにおいて収集した情報を統合・更新する技術

一般的な一つの交差点程度の大きさを想定した「狭域エリア」において、異なる情報源から収集した同一の対象物に関する情報を１つに統合する手法を検討する。さらに用途に応じて適切なデータ更新周期を検討する。上記検討結果に基づき、狭域サーバ上で情報を統合・更新する技術の具現化開発を行う。

(1) 達成目標

開発した情報を統合・更新する技術に関して評価、改良を行い、抽出した情報の正解率 90%以上を達成する条件を整理することを目標とする（正解率の基準については、表 2.3.3②-1 に記載）。

表 2.2.2①-1 各社の情報統合方式

項目		沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式		DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad ARIB STD-T109	5G
異なる情報源	収集情報	路側LiDAR、路側ミリ波レーダの計測情報、設置位置情報 ITS用無線通信機を搭載した車両情報	79GHzミリ波レーダと ARIB STD-T109歩車間通信の計測情報	路側ミリ波レーダ（76GHz）、路側カメラ、路側LiDAR等の計測情報、設置位置情報
	使用機器	狭域サーバ（判定機能、管理/更新機能）	狭域サーバ（判定機能、統合機能）	狭域サーバ（判定機能、統合機能）
車載情報源	収集情報	-	-	車載LiDARの計測情報 車両位置情報
	使用機器	-	-	情報源（車載LiDAR） 狭域サーバ（判定機能、情報生成機能）
開発内容		・同一の情報源から収集した同一対象物（車両）を時系列に更新/管理する機能 ・異なる情報源から収集した同一対象物（車両）に関する情報	・同一の情報源から収集した同一対象物（歩行者/自転車）を時系列に更新/管理する機能 ・異なる情報源から収集した同一対象物（歩行者/自転車）に	＜異なる情報源＞ ・同一対象物判定機能（異なる情報源）の開発 - 異なる情報源で検知した情報の統合と追跡のアルゴリズムの設計

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
	を１つに統合する機能 － 路側ミリ波レーダと路側LiDARの統合処理 － 路側センサとITS無線通信機の統合処理 ・異なる情報源から収集した情報を１つに統合した同一対象物（車両）を時系列に更新/管理する機能	関する情報を１つに統合する機能 － 路側センサとITS無線通信機の統合処理 ・異なる情報源から収集した情報を１つに統合した同一対象物（歩行者/自転車）を時系列に更新/管理する機能	・抽出情報の統合機能 － データベース管理/更新方法の検討/開発 ＜車載情報源＞ ・障害物判定機能の開発 － 車載LiDAR情報の時系列的分析による障害物判定方式の検討/開発 ・車線別情報生成機能の開発 － 車線別情報フォーマットの検討/開発 － 車線別情報生成方式の検討/開発
その他特記事項		研究開発にあたっては、SIP第1期の成果を活用	

② 中域エリアにおいて収集した情報を統合する技術

中域エリアにおいて、複数の狭域エリアなどから収集した情報を統合する技術として、以下のような検討を行う。

(1) 達成目標

当該技術を適用しない場合と比較し、通信トラフィック削減率 50%以上を達成することを目標とする。

(2) 各種前提条件

- 対象トラフィック：狭域エリアから中域エリアへの通信
- 収集情報：物標情報
- 通信メディア：5G
- システム構成：中域サーバ（収集制御機能、統合機能）
  ※各狭域ネットワークと接続して検証を実施

(3) **開発内容**

- 情報収集インタフェースの開発
  - 中域エリアにて収集する狭域エリアからの情報自体の各種整合（地理的、時間的）を取るための適切なデータフォーマット（単位系、桁数 等）についての検討
  - 複数の狭域エリアと中域エリア間の通信インタフェース（接続方式、通信プロトコル、電文フォーマット 等）の開発
- 情報収集制御機能の開発
  - 狭域エリアから中域エリアへの情報送信に関する各種送信パラメータ（送信データ項目 等）の検討
- 中域エリアから狭域エリアに対して、各種送信パラメータの切り替え指示が行えるよう、切り替え指示システムの開発（狭域エリア/中域エリアそれぞれに開発）
- 情報統合機能の開発
  - 中域エリアにて収集した物標情報の管理方式（DB 構成、データ蓄積方法 等）の検討
    ※狭域エリア以外から得られるデータ（インターネット上のオープンデータ等）の統合を考慮

2.2.3. 動的な情報の配信に係る研究開発

狭域エリアおよび中域エリアのそれぞれにおいて、収集・統合した情報を自動運転車両等に配信する技術、収集・統合した情報を自動運転車両等に配信する際に、周囲の通信状況や交通状況などを踏まえて配信を制御する技術を研究開発する。また、狭域エリアおよび中域エリアのそれぞれにおける情報の収集・統合・配信を実現するためのエッジサーバに関する基本性能等を検討する。

① 収集・統合した情報を配信する技術

狭域エリアおよび中域エリアそれぞれにおいて、収集・統合した情報を自動運転車両等に配信する技術を研究開発する。

(1) 狭域エリア

狭域サーバにて集約した交通環境情報を配信するためのネットワーク構成、通信方式、プロトコル、電文フォーマットを検討する。上記検討結果に基づき、路側インフラ、狭域サーバ上で情報配信技術の具現化開発を行う。なお、研究開発にあたっては、SIP 第 1 期の成果も活用する。

対象とする通信方式に関して、計算機シミュレーションおよび実機による通信性能評価を実施し、ユースケースに対して、情報を配信する通信機の設置条件等を整理する。

(i) 達成目標

狭域サーバから自動運転車両等までの通信遅延 100 ミリ秒以内を達成する条件を整理することを目標とする。

(ii) 各種前提条件

- 対象トラフィック：狭域サーバから自動運転車両までの路車間通信
- 配信情報：物標情報

表 2.2.3①-1 各社の情報配信方式

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式	DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad	5G
使用機器	路車間通信機 車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信機能） 机上検証用シミュレータ	路車間通信機 車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信機能）	車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信機能） 5Gエミュレータ
開発内容	・配信機能（狭域サーバから自動運転車両）の開発	・配信機能（狭域サーバから自動運転車両）の開発	・配信機能（狭域サーバから自動運転車両）の開発

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
	- 通信制御機能の検討/開発（電文フォーマット、上位プロトコル、通信仕様等） - 配信データフォーマットの共通化検討/開発 - 通信インタフェースの共通化検討/開発	- 通信制御機能の検討/開発（ユニキャスト等） - 配信データフォーマットの共通化検討/開発 - 通信インタフェースの共通化検討/開発	- 配信データフォーマットの共通化検討/開発 - 通信インタフェースの共通化検討/開発
その他特記事項	・Connected Car社会の実現に向けた既存ITS用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査の成果を活用 ・必要に応じて、計算機シミュレーションによる机上検証を実施	SIP第1期、及び、Connected Car 社会の実現に向けたミリ波を活用した新たな ITS 用無線システムの技術的条件等に関する調査の成果を活用	エミュレータ等による通信性能評価を実施

(2) 中域エリア（担当：株式会社ＮＴＴドコモ）

中域エリアから自動運転車両へ収集・統合した情報を配信するためには、中域エリアから自動運転車両間の接続を適切に管理し、統一的なプロトコルにて通信を行う必要が有るため、中域エリアから自動運転車両間の通信インタフェース（接続方式、通信プロトコル、電文フ

ォーマット 等）の検討を行う。その結果をもとに通信インタフェースを開発し、通信インタフェースを用いた評価・検証を行う。尚、中域エリアから自動運転車両へ配信を行う無線技術は、5G 通信の利用を想定する。対象とする通信方式に関して、エミュレータおよび実機による通信性能評価を実施し、中域サーバから自動運転車両等までの通信遅延等を検証する。

(i) 達成目標

中域サーバから自動運転車両等までの通信遅延 100 ミリ秒以内の達成することを目標とする。

(ii) 各種前提条件

- 対象トラフィック：中域エリアから車載端末への通信
- 配信情報：物標情報
- 通信メディア：5G
- システム構成：中域サーバ（配信機能）、車載端末（情報受信機能）

(iii) 開発内容

- 情報配信インタフェースの開発
  - 中域エリアから自動運転車両に配信する際に必要となるデータ項目についての、関連団体が規定する仕様や過去のＳＩＰにおける検討結果等を踏まえた検討
  - 検討結果を踏まえた中域エリアから自動運転車両間の通信インタフェース（接続方式、通信プロトコル、電文フォーマット 等）の開発

② 周囲の状況に応じて情報の配信を制御する技術

狭域エリアおよび中域エリアのそれぞれにおいて、収集・統合した情報を自動運転車両等に配信する際に、周囲の交通状況などを踏まえて配信を制御する技術を研究開発する。

(1) 狭域エリア

通信トラフィック全体の増加を抑えることをめざし、自動運転車の位置や移動方向、速度等を加味して動的な情報配信制御方法を検討する。

また、通信トラフィック量や車両の走行速度に応じて、検討対象とする通信方式の再送（または連送）回数や変調方式（ビットレート）、または配信頻度を動的に切り替える手法を検討する。

本研究では、配信制御技術に関して、机上検証または計算機シミュレーションによる通信性能評価を実施し、当該技術の効果を検証する。

また、検討結果に基づき、路側インフラ、狭域エリアのエッジサーバ上で制御技術の具現化開発を行う。なお、研究開発にあたっては、SIP 第 1 期の成果も活用する。

(i) **達成目標**

当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率 50%以上を達成する条件を整理することを目標とする。

(ii) **各種前提条件**

- 対象トラフィック：狭域サーバから自動運転車両等への通信
- 配信情報：物標情報

表 2.2.3②-1 各社の情報配信方式

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式	DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad	5G
使用機器	路車間通信機 車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信制御機能） 机上検証用シミュレータ	路車間通信機 車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信制御機能）	車載端末（情報受信機能） 狭域サーバ（配信制御機能）
開発内容	・配信制御機能の開発 － 通信トラフィック量や自動運転車両の走行速度などに応じた再送（または連送）回数、変調方式または配信頻	・配信制御機能の開発 － 歩端末/自転車端末と路側ミリ波レーダ（79GHz）情報の同定時に配信する物標情報の削減	・配信制御機能の開発 － 制御データフォーマットの検討/開発 － 通信インタフェースの検討/開発

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
	度などの動的制御	- 交差点における自動運転車両の走行方向のエリアに限定した配信する物標情報の削減	
その他特記事項	・Connected Car社会の実現に向けた既存ITS用無線システムの高度化を行うための技術的条件等に関する調査の成果を活用 ・計算機シミュレーションによる机上検証を実施	SIP第1期、及び、Connected Car 社会の実現に向けたミリ波を活用した新たな ITS 用無線システムの技術的条件等に関する調査の成果を活用。	机上検討においてトラフィックの増減を検証

(2) 中域エリア（担当：株式会社ＮＴＴドコモ）

①収集・統合した情報を配信する技術で研究開発する通信インタフェースにて中域エリアから自動運転車両へ情報を送信する際、刻々と変化する交通状況を踏まえると、中域エリアから自動運転車両間の情報配信についても、動的に制御する必要がある。そこで、中域エリアから自動運転車両への情報配信に関する各種配信パラメータ（配信するデータ項目、配信タイミング、配信エリア 等）を検討する。その検討結果をもとに、中域エリアにて自動運転車両への配信制御が行えるシステムを開発し、そのシステムを用いた評価・検証を行う。

対象とする通信方式に関して、エミュレータおよび実機による制御機能評価を実施し、中域サーバから自動運転車両等までの通信トラフィック等を検証する。

(i) 達成目標

当該技術を適用しない場合と比較し、通信トラフィック削減率50%以上を達成することを目標とする。

(ii) **各種前提条件**

- 対象トラフィック：中域エリアから自動運転車両への通信
- 収集情報：物標情報
- 通信メディア：5G
- システム構成：中域サーバ（配信制御機能）、車載端末（情報受信機能）

(iii) **開発内容**

- 情報配信制御機能の開発
  - 中域エリアから車載端末への情報送信におけるパラメータ（送信間隔/配信対象となるデータの範囲/配信エリア/配信対象車両台数等）を実交通環境や想定するユースケースをもとに切り替えられる制御機能を開発

③ エッジサーバに関する技術

狭域エリアおよび中域エリアのそれぞれにおける情報の収集･統合･配信を実現するためのエッジサーバに関する基本性能等を検討する。

(1) **狭域エリア**

想定ユースケースの交通状況を模擬したテストコースにて、エッジサーバを具備した路側インフラを設置し、収集、統合、配信の個別性能および収集から配信までの全体システム性能を検証する。

(i) **達成目標**

設置基準/諸元/構成/具備すべき基本機能等を策定することを目標とする。

(ii) **各種前提条件**

- 対象トラフィック：情報源から自動運転車両等への一連の通信
- 収集情報：物標情報、生データ
- 配信情報：物標情報

表 2.2.3③-1　各社のインフラシステム及びエッジサーバに関する研究開発内容

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
通信方式	DSRC方式 セルラ（直接通信）方式	IEEE802.11ad ：交差点内路側機間通信、路車間通信 ARIB STD-T109：歩行者/自転車-路側機間通信	5G
収集/配信情報	物標情報	物標情報	＜収集＞ 物標情報、生データ ＜配信＞ 物標情報
使用機器	路側ミリ波レーダ 路側LiDAR センサエッジ端末 ITS用無線通信機 路路間通信機 路車間通信機 狭域サーバ （収集機能/配信機能） 車載端末（情報受信機能）	路側ミリ波レーダ センサエッジ端末 ITS用無線通信機 路路間通信機 路車間通信機 狭域サーバ （収集機能/配信機能） 車載端末（情報受信機能）	路側ミリ波レーダ 路側LiDAR 車載LiDAR 路側カメラ データ送信機能 狭域サーバ （収集機能/配信機能） 車載端末（情報受信機能） 5Gエミュレータ
開発内容	狭域サーバに具備する機能，性能の検討/開発	エッジサーバの設置基準/諸元/構成/具備すべき基本機能等を策定する	一連の処理機能の開発 -抽出、収集、統合、配信の各機能配置や接続を検討/開発

項目	沖電気工業株式会社	パナソニック株式会社	住友電気工業株式会社
その他特記事項			

(2) **中域エリア（担当：株式会社ＮＴＴドコモ）**

中域エリアをカバーするエッジサーバについて、動的な情報の統合等の処理による生成や配信の検討結果等を踏まえ、設置基準/諸元/構成/具備すべき基本機能等を検討する。

(i) **達成目標**

設置基準/諸元/構成/具備すべき基本機能等を策定することを目標とする。

(ii) **各種前提条件**

- 対象トラフィック：各狭域ネットワークから中域ネットワークを経由して車載端末までの一連の通信
- 収集情報：物標情報
- 配信情報：物標情報
- 通信メディア：5G
- システム構成：中域サーバ（収集制御機能、統合機能、配信機能）、車載端末（情報受信機能）
  ※各狭域ネットワークと接続して検証を実施

2.3. 各種前提条件

2.3.1. 想定する自動運転車両のシーン

① 自動運転車両の前提条件

本研究開発で支援する自動運転車両を以下のように定義した。

- 支援対象は自動運転レベル４以上
- 車載の自律センサを図 2.3.1①-1 のように想定
  （建物や他車両などの障害物の先は検知不可）
- 自動運転車両は、車載センサ情報を主に使用し、自律走行するが、見通し外等、車載センサが検知できない場合、路側情報：交差点周辺の統合された交通状況（自動車、自転車、歩行者などの位置、速度、移動方向、属性など）も使用 （図 2.3.1①-2)、停止線での停止、交差点内での一時停止、右折可否などの判断を行う。

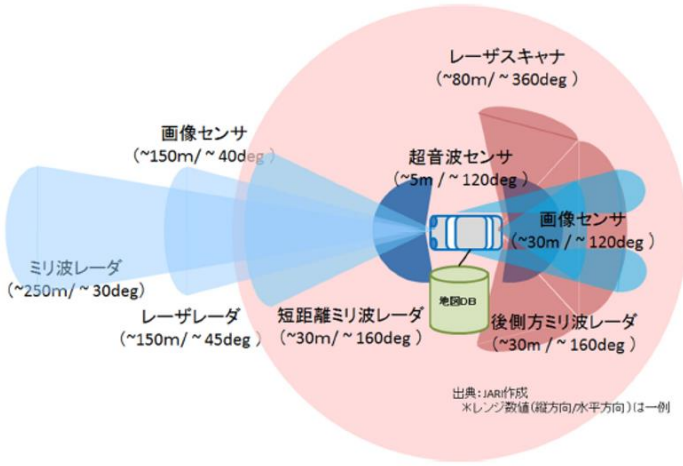


図 2.3.1①-1 車載（自律）センサの検知範囲

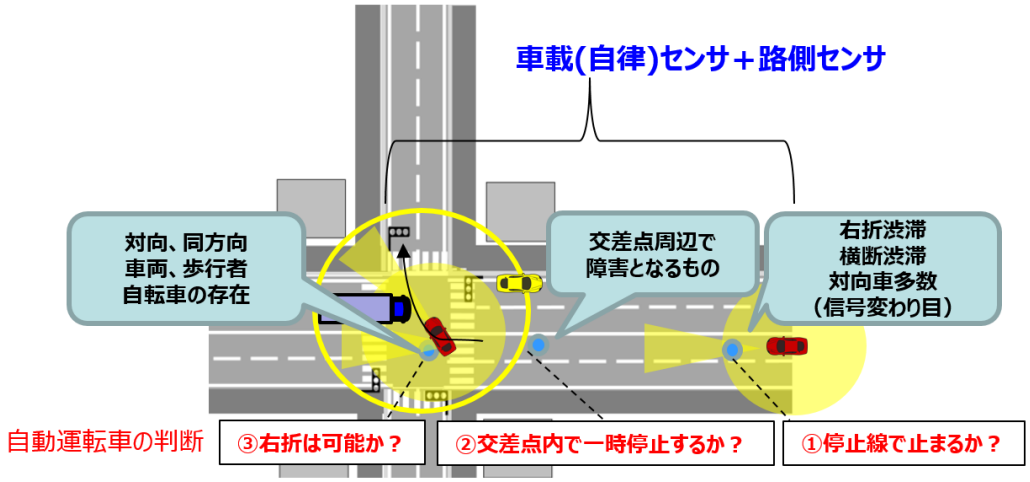


図 2.3.1①-2 交差点右折時の自動運転車両の走行と自動運転車の走行判断ポイント

2.3.2. 対象とする通信技術

SIP の平成 30 年度成果である「自動運転システムにおける V2X 技術等を含む新たな通信技術の活用に関する調査」報告書（2019 年 2 月 28 日　株式会社三菱総合研究所）によると、国際的にも様々なユースケースに対して検討が期待されていることから、具体的なロードマップ策定の対象となる通信技術として「狭域通信」、「C-V2X」、「4G LTE」、「5G」の 4 種類の通信技術を選定している。また、狭域通信には DSRC、700MHz 帯高度道路交通システム、60GHz 帯無線がカテゴライズされている。

本研究開発では、通信技術の特性や使用する周波数帯等を考慮し、これらの通信技術を以下のように分類し、分類した通信技術毎に研究開発を進めることとする。

【狭域ネットワーク】

・　ITS 用無線システム

主に ITS 用途への活用が見込まれており、周波数として 5GHz 帯の利用を想定している DSRC、C-V2X を対象とする。DSRC としては、ITS FORUM RC-005 として規定されている通信方式を、C-V2X としては、3GPP Release 14 で規格化された移動機と移動機の直接通信方式である LTE V2X PC5 を対象とする。

・　セルラネットワーク

基地局およびコア網で構成されるセルラネットワークを介した通信を対象とする。上記調査結果では、「4G LTE」、「5G」が該当するが、本調査研究の目標値として設定する通信遅延値等を勘案し、「5G」を対象とする。

・　ミリ波通信

狭域通信のうち、60GHz 帯無線を対象とし、IEEE802.11ad (WiGig)として規格化された通信方式を対象とする。

【中域ネットワーク】

「中域エリア」においては、車が移動する先の状況を広く連続的に認知し、対応することが必要となる。そのため、セルラネットワークを介した広域通信を利用することが望ましい。上記調査結果では、セルラネットワークを介した広域通信として「4G LTE」、「5G」が該当するが、本調査研究の目標値として設定する通信遅延値等を勘案し、「5G」を対象とする。

2.3.3. KPI 及び設定根拠

本研究開発の KPI は、本件の公募要領の要件に基づき設定した。以下、公募要領に記載の目標値、及び、本研究開発において設定した KPI の定義と目標値の根拠について示す。

① 公募要領記載の要件

日本国内の一般的な交通環境を踏まえた条件下で、各研究開発における要件は以下である。

- 動的な情報の収集に係る研究開発
  - 各種情報源から情報を抽出する技術
  - 抽出した情報の正解率 90%以上
  - 抽出した情報を収集する技術
  - 各種情報源から収集場所である狭域サーバまでの通信遅延 100 ミリ秒以内
- 動的な情報の統合等の処理による生成に係る研究開発
  - 狭域エリアにおいて収集した情報を統合・更新する技術
  - 抽出した情報の正解率 90%以上
  - 中域エリアにおいて収集した情報を統合する技術
  - 当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率 50%以上
- 動的な情報の配信に係る研究開発
  - 収集・統合した情報を配信する技術
  - 狭域又は中域サーバから自動運転車両等までの通信遅延 100 ミリ秒以内
- 周囲の状況に応じて情報の配信を制御する技術
  - 当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率 50%以上
  - エッジサーバに関する検討
  - 狭域エリアについては収集から配信までの一連の処理時間 1 秒以内
  - 中域エリアについては収集から配信までの一連の処理時間３秒以内に行うことを前提条件

② KPI の定義明確化とその設定根拠

本研究開発の KPI について、その根拠を次の表の様に明確化した。路側センサによる情報抽出の正解率については、一般的なセンサの正解率として 90%以上、情報収集と配信における通知遅延は、既存の車車間通信規格における通信遅延相当とした。

また、各社間で KPI 定義が異ならない様に、認識合わせを実施し、次の表の様に定義とその決定方法を明確化した。

交差点周辺等の狭域エリアにおける情報収集から配信までの一連の時間を 1 秒以内については、自動運転車の快適な走行の実現のため、ダイナミックマップでの動的情報の配信をベースとしたが、安全支援の観点では、300ms（ETSI[3]、自動車工業会での信号情報配信[4]）を考察する。

[3] ETSI TS 101 539-1 V1.1.1, Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification, 2013 年 8 月
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/101500_101599/10153901/01.01.01_60/ts_10153901v010101p.pdf

[4] 2019年度 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期／自動運転(システムとサービスの拡張／ITS 無線路側機等の路車間通信以外の手法による信号情報の提供に係る研究開発 成果報告書
https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd03/205.pdf

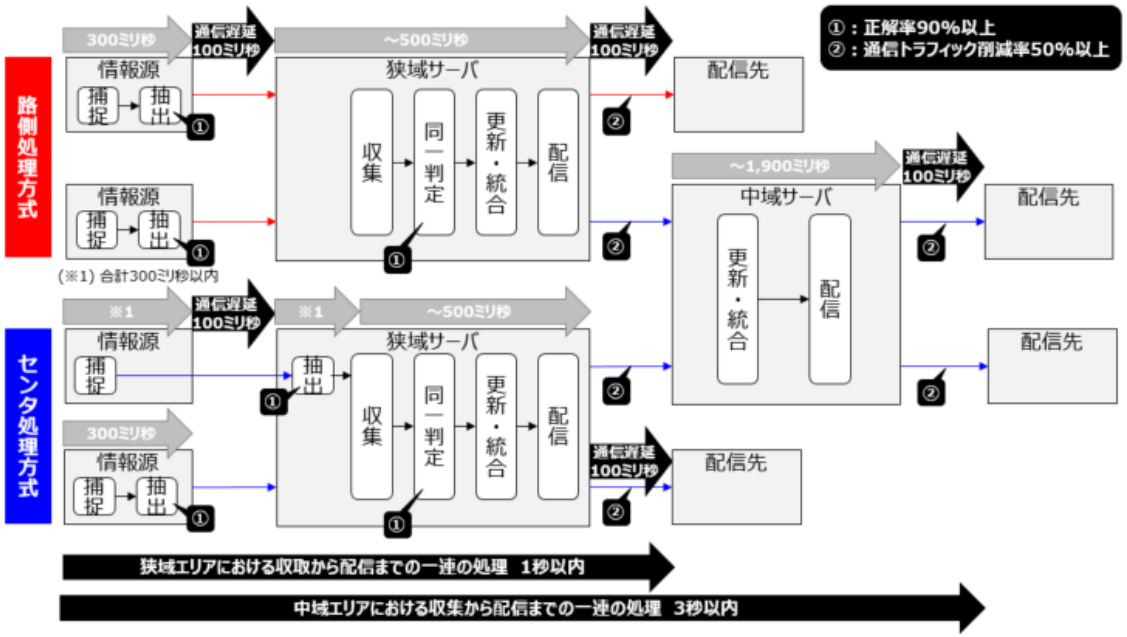


図 2.3.3.②-2-2 本研究開発の KPI

表 2.3.3.②-1　KPI の定義と設定根拠

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
抽出	情報源で抽出した情報の正解率	90%以上	一般的なセンサの正解率相	車両、自転車、歩行者の存在（種別、位置）を正しく検知できた割合	①UC毎に道路や歩道幅等を基準に位置誤差の許容範囲を定義	センサ毎の抽出アルゴリズム、センサ設置条件の検討

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
			当 【参考条件】		②真値に対して、抽出結果が位置誤差の許容範囲内の比率　（正解率）を目標値と設定	
収集	情報源から狭域サーバまでの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当	通信による情報収集の所要時間	①情報源と狭域サーバ間100ms以内、送信側装置（PC等）のアプリでタイムスタンプを付けて、受信側装置（狭域サーバ）のアプリでの受信時間とタイムスタンプの差分を算出	5G通信による大容量データ収集の遅延の検証
統合	狭域サーバで統合した情報の正解率	90%以上	抽出の正解率に対し、統合による精度劣化無し	複数情報源で抽出した情報を過不足無く統合できた割合	①真値に対して、統合結果が位置誤差の許容範囲内の比率（正解率）が目標値と設定	時刻ズレや位置ズレの条件整理と同一判定手法の検討
	狭域サーバ等から中域サーバまで	50%以上	収容可能なユーザー数（狭	当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率	①車両の走行方向のみに収集情報を限定	

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
	の通信トラフィック削減率		域エリア数等）に対するマージンを確保するための一律の目標値			
配信	狭域サーバから配信先までの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当	通信による情報配信の所要時間	①狭域サーバと配信車両間100ms以内、送信側装置（狭域サーバ）のアプリでタイムスタンプを付けて、受信側装置（PC等）のアプリでの受信時間とタイムスタンプの差分を算出	DSRCによる複数車両配信時の通信仕様/制御の検討
	通信トラフィック削減率	50%以上	収容可能なユーザー数（配信先数）に対する	当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率	①車両の走行方向のみに収集情報を限定し、配信情報も同様に	統合処理による重複物標の削減、配信制御アルゴリズム検討とシミュレーション

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
			マージンを確保するための一律の目標値			
	中域サーバから配信先までの通信遅延	100ミリ秒以内	既存の車車間通信規格における通信遅延相当	通信による情報配信の所要時間	中域サーバから配信先車両間までの通信遅延100ms以内。対象は、接続IF間の通信とする（サーバの処理性能は考慮対象外）。中域サーバと車載端末のタイムスタンプの差分を算出 ※タイムスタンプについては事前に差分を比較確認しておく。無線区間については、実測値を元にして評価	センサ情報統合による不要な情報の削減、配信先車両の走行状況等に応じた配信頻度/対象削減、走行状況を 通信で収集する仕組みの検討
	通信トラフィック削減率	50%以上	収容可能なユーザー数（配	配信先車両の状況に応じた配信範囲の削減、等による通信トラフィ	配信制御の有無によりトラフィック削減率を算出 車両の走行速度に応じた配	

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
			信先数）に対するマージンを確保するための一律の目標値	ック削減率	信制御を実施 ※60km走行時、30km走行時、最小エリア（200m）。交通流シミュレーションデータを元に、配信範囲を可変とした際のトラフィックデータ量について机上検討を行い、削減率を算出する	
全体	収集から配信までの一連の処理時間 （狭域）	1秒以内	ダイナミックマップにおける「動的情報」の定義（≦1s）相当	情報源または狭域サーバでの抽出処理、通信による収集（情報源～狭域サーバ）、狭域サーバでの統合処理、通信による配信にかかる合計時間	①自動運転車の円滑走行の実現のため、UC毎には変更せず	物標数が増大した場合の限界見極め （処理部毎に検証）
	収集から配信までの一連の処理時間 （中域）	3秒以内	中域サーバが想定するUCのうち最短のケース	情報源または狭域サーバでの抽出処理、通信による収集（情報源～狭域サーバ、狭域サーバ～中域サーバ）、中域	狭域サーバから車載端末までの配信時間3秒以内。狭域サーバと車載端末のタイムスタンプから処理時間を算出	データ収集・統合・配信の処理時間短縮等のためのインタフェース（メッセージフォーマットなど）の共通化

研究項目	達成目標（KPI）			定　義	UC 毎の KPI 決定方法、妥当性	研究開発のポイント・工夫点
	指　標	想定目標値と根拠				
			（１つ前の交差点の情報配信）を設定	サーバでの統合処理、通信による配信にかかる合計時間	※タイムスタンプについては、事前に差分を比較確認しておく。タイムスタンプから対象区間の接続に要した時間を抽出し、合算することで一連の所要時間を算出する。対象区間は、①情報源から狭域サーバ、②狭域サーバから中域サーバ、③中域サーバから配信対象の車両。上記の①、②、③の時間を合算することで一連の処理時間を算出する	

2.4. 実施体制

2.4.1. 株式会社ＮＴＴドコモ

本研究開発の株式会社 NTT ドコモにおける実施体制は以下の通りである。

【実施責任者】: 油川 雄司

R&D イノベーション本部　ネットワークイノベーション研究所

５Ｇイノベーション推進室５Ｇ方式研究グループ 担当部長

2.4.2. パナソニック株式会社

本研究開発のパナソニック株式会社における実施体制は以下の通りである。

責任者

業務管理者：コネクティッドソリューションズ社 イノベーションセンター 先端通信技術研究部 研究2課
課長 大久保 義行

実施体制

イノベーションセンター 先端通信技術研究部	役割 無線伝送技術の専門部署として、情報の抽出、収集、統合、配信技術の開発に従事
イノベーションセンター ワイヤレス応用技術開発部	役割 無線伝送応用の専門部署として、情報の収集、配信技術の開発に従事

2.4.3. 住友電気工業株式会社

本研究開発の住友電気工業株式会社における実施体制は以下の通りである。

責任者

業務管理責任者：ＣＡＳ－ＥＶ開発推進部 ネットワーク要素技術開発部
技師長　高山 浩一

実施体制

ＣＡＳ－ＥＶ開発推進部 ネットワーク要素技術開発部	役割 全体統括及び車内外通信技術の専門部署として、情報の収集・配信・統合技術の検討、開発に従事
情報ネットワーク研究開発センター モビリティシステム研究部	役割 コネクティッド情報生成技術の専門部署として、車載センサ情報を統合・更新する技術の検討、開発に従事
情報ネットワーク研究開発センター 無線システム研究部	役割 無線伝送システム技術の専門部署として、インフラセンサ情報を収集する技術の検討、開発に従事

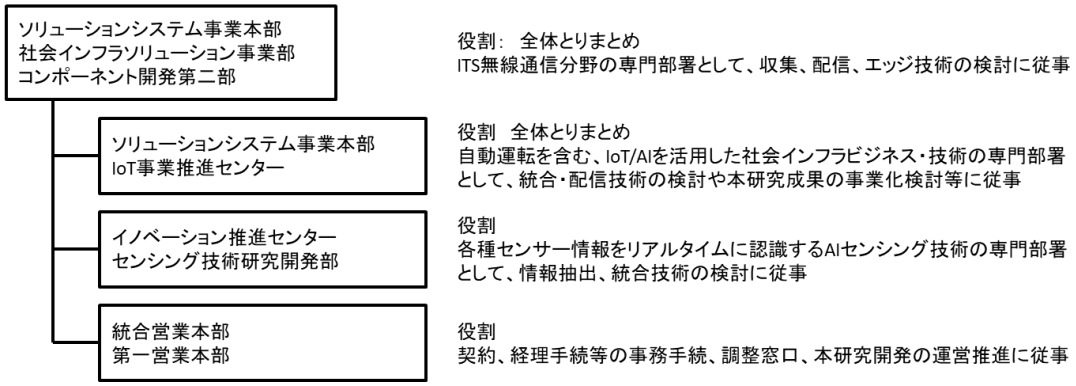
2.4.4. 沖電気工業株式会社

本研究開発の沖電気工業株式会社における実施体制は以下のとおりである。

責任者

研究開発責任者： ソリューションシステム事業本部 IoT事業推進センター
センター長　浜口 雅春
業務管理責任者： ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部
コンポーネント開発第二部　チームマネージャー　中林 昭一

実施体制



2.5. 実施スケジュール

2020 年度においては、2019 年度までの机上検討結果を踏まえ、第 1 四半期までに評価検証と前提条件の整理を実施した。これらの机上検討と並行して、第 3 四半期までに実機検証のための環境構築及び机上検討・シミュレーションによる検証を行った。第 2 四半期からは、総合確認に向けて各社装置接続確認を行い、第 4 四半期までに総合確認及び研究開発の評価を実施した。

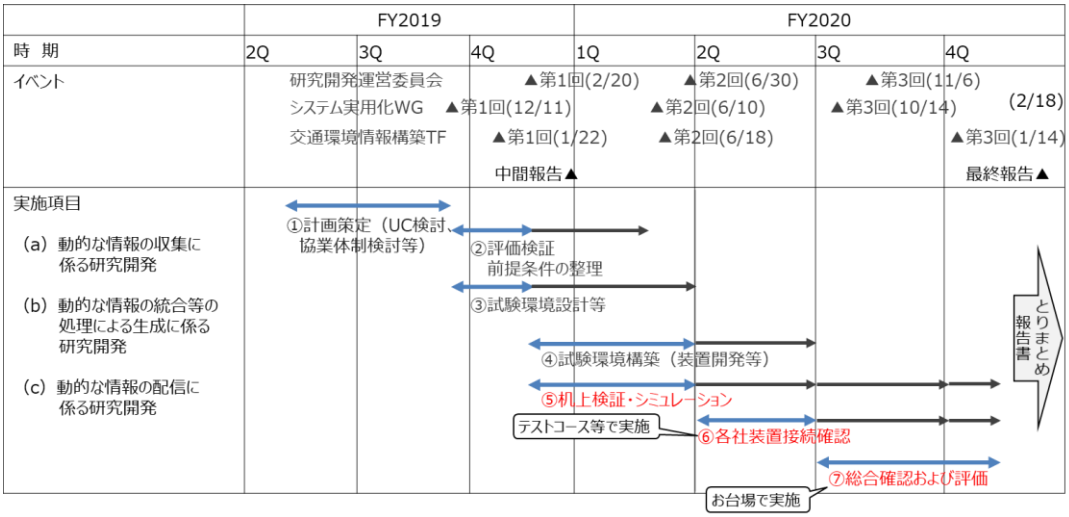


図 2.5-1　実施スケジュール

3. 研究開発内容・評価方針

3.1. 想定ユースケースの検討

研究開発にとって重要な想定ユースケースの検討については、手動走行、運転支援システム（レベル 1～2)、自動走行システム（レベル 3～4）が混在していく「混在期」においても見通し外の事故が共通課題になる点を踏まえて実施した。検討の結果、想定課題の解決に資するユースケースとして、狭域ネットワークにおいては、「通信を活用した自動運転車両の交差点への円滑な進入・通過支援」を、中域ネットワークにおいては「交差点手前での事前の車線変更、経路変更の支援」を設定している。

対象となる交差点規模の検討においても、上記想定ユースケースの検討に同じく、手動走行、運転支援システム（レベル 1～2)、自動走行システム（レベル 3～4）が混在する「混在期」における交通事故の想定を踏まえた。

これらの想定を基に設定したユースケースを、協調型自動運転通信方式 TF で検討されたユースケースとの整合性の観点、また本研究開発の独自性の観点も踏まえて詳細化した。

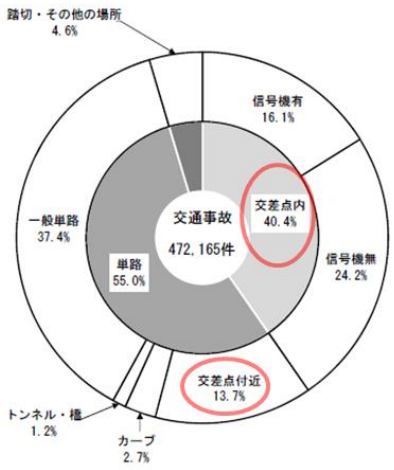
なお、ユースケース毎の KPI やユースケースを支援するためのセンシング範囲、配信範囲についても、ユースケースの詳細化に対応する形で評価・検証に先んじて設定している。

これらに加え、他のプロジェクトに見られない本研究開発のポイントである、狭域情報から中域情報までのシームレスな支援（交差点の情報による走行支援、交通流最適化までを一気通貫で連続的に支援）を実現するため、アーキテクチャの検討・設計と共通インタフェースの検討・設計を実施した。

3.1.1. 想定課題

① 狭域ネットワークの想定ユースケースの検討

ITARDA 資料（図 3.1.1①-1）によると、交差点内と交差点付近（交差点の側端から 30m 以内の道路の部分）を合わせた死傷者数は、死傷者数全体の半分以上を占める。



ITARDA:交通事故統計年報(平成29年度版)

図 3.1.1①-1　ITARDA:交通事故統計資料（平成 29 年度版）

また、ITARDA の平成 30 年度交通事故統計表データから、市街地における車両単独を除く死亡事故（計 1615 件）を事故類型別に分析した上位 3 つの事象は以下となっている。

１．歩行者横断中　　639 件（約 40%）
２．出会い頭　　248 件（約 15%）
３．右折時　　148 件（約 9%）

一方、図 3.1.1①-2 に示すように、今後、手動走行、運転支援システム（レベル 1～2)、自動走行システム（レベル 3～4）が混在していくことが見込まれている。これらの混在期においても、見通し外の事故は共通課題となり、歩行者や出会い頭に関する事故は一定の割合で発生するものと想定される。

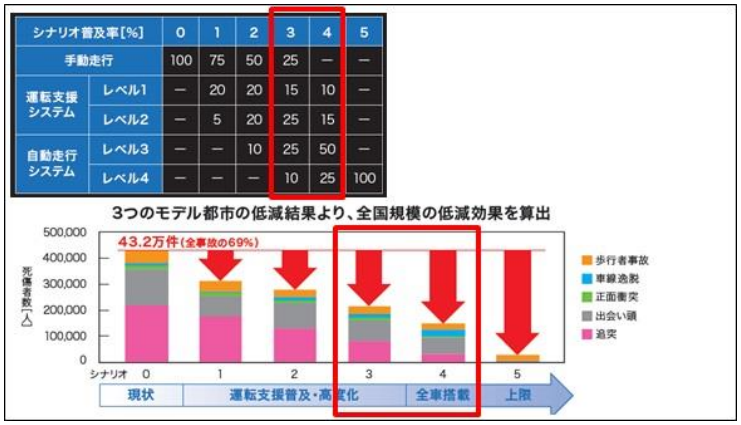


図 3.1.1①-2

SIP-adus：自動運転のある未来ショーケース～あらゆる人に移動の自由を～
交通事故低減効果見積りのためのシミュレーション技術の開発と実証

上記を踏まえ、「狭域ネットワークの想定ユースケース」として、「通信を活用した自動運転車両の交差点への円滑な進入・通過支援」を設定する。つまり、自車両に搭載されたセンサで、交差点内での歩行者横断、出会い頭、右折時の安全が確保される前提で、さらに通信を活用することで、快適かつ円滑な自動運転の実現の支援が期待される。具体的には、交通環境が複雑な交差点への円滑な進入・通過を支援するため、自車両のセンサでは把握しきれない交差点内と交差点付近の交通状況を把握し、自動運転車両に配信する。

図 3.1.1①-3 に示すように、自車両（図中の赤い車両）が交差点で右折するユースケースにおいて、本研究開発で提案するシステムを導入する前は、周辺建造物、車両等の遮蔽物により自動運転車両から見通し外が生じており、そのため交差点進入時の交差点手前での停止や交差点通過時の交差点内での滞留により、交通流に影響を及ぼす恐れがある。

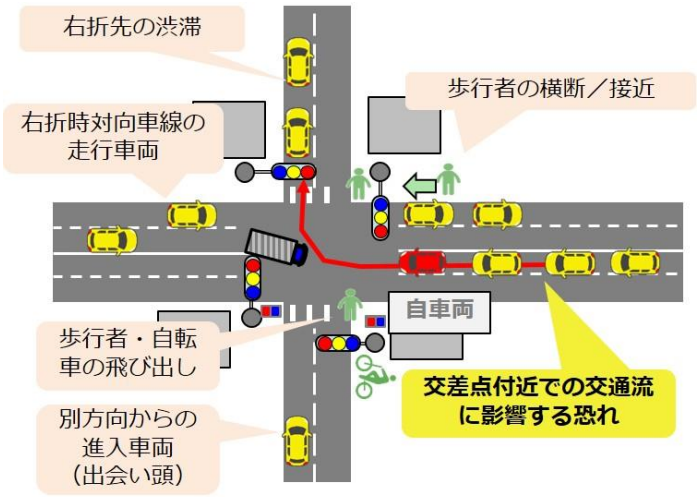


図 3.1.1①-3　本研究開発において提案するシステムを導入する前

本ユースケースにおいて、本研究開発で提案するシステムを導入した後は、図 3.1.1①-4 に示すように、見通し外の物標を交差点付近に設置した路側インフラ等の情報源から収集し、交差点進入前の車両に配信することで、交差点周辺を走行する車両情報に加え、右折先の渋滞、歩行者・自転車の飛び出しといった状況における交差点への円滑な進入・通過を支援し、交通流の円滑化を実現することができるようになる。

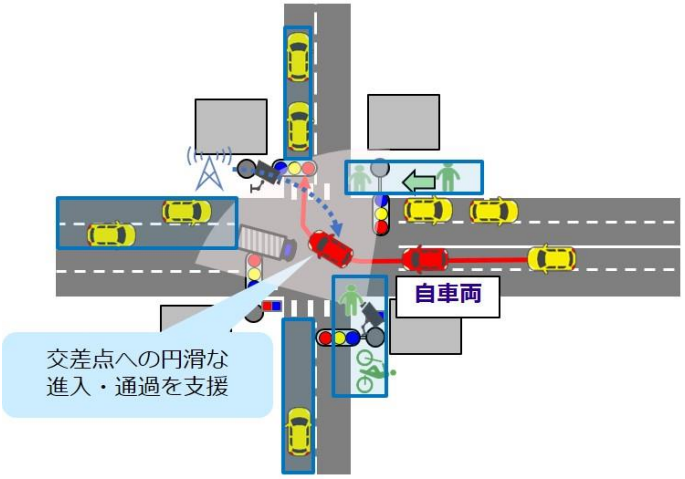


図 3.1.1①-4 本研究開発において提案するシステムを導入した後

② 中域ネットワークの想定ユースケースの検討

「中域ネットワークの想定ユースケース」として、「交差点手前での事前の車線変更、経路変更の支援」を設定する。具体的には、自動運転車両による事前の車線変更、経路変更を支援する情報として車両前方の状況（自車位置を起点とした数交差点分の情報）を連続的に配信する。

図 3.1.1②-1 に示すように、本ユースケースにおいて、本研究開発で提案するシステムを導入する前は、駐車車両等の影響による車線変更や混雑している交差点内での滞留により、自動運転車両が周辺の交通流を阻害する可能性がある。

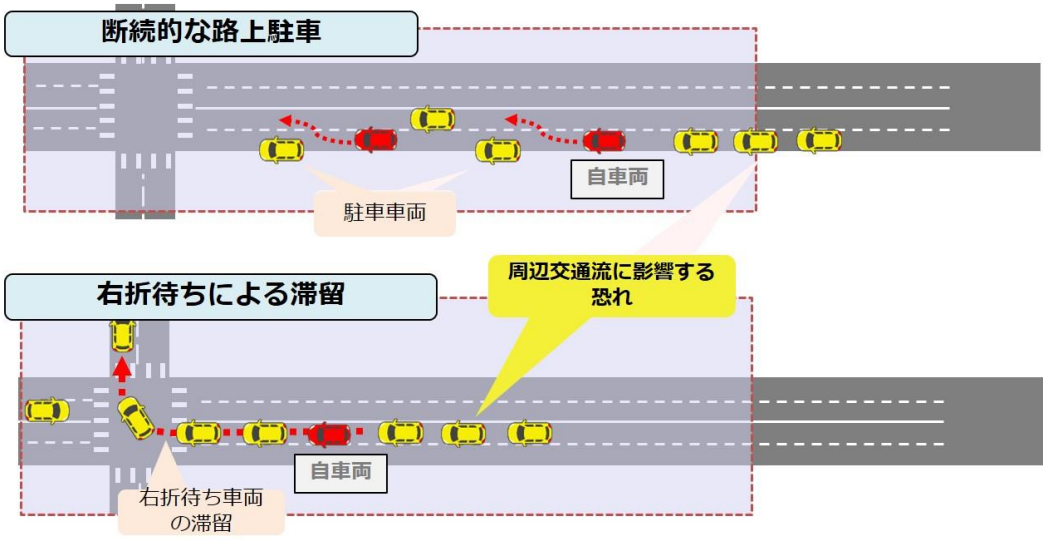


図 3.1.1②-1 本研究開発において提案するシステムを導入する前

本ユースケースにおいて、本研究開発で提案するシステムを導入した後は、図 3.1.1②-2 に示すように、車両前方の状況を連続的に配信することで、事前の車線変更や経路変更を支援し、交通流の円滑化を実現する。

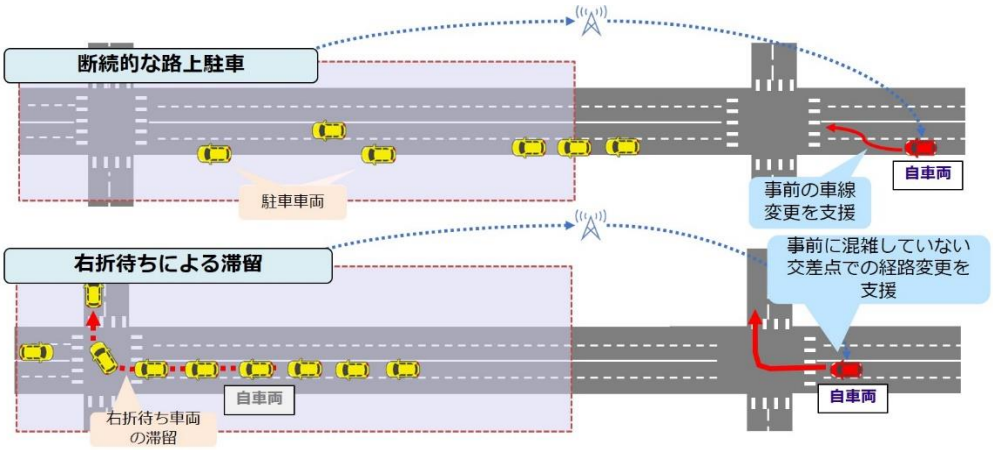


図 3.1.1②-2 本研究開発において提案するシステムを導入した後

③ 交差点規模の検討

対象とする交差点規模については（事故多発交差点マップ過去データ分析　報告書 概要 版　平成 29 年 3 月）により、以下の観点で、4 車線 x2 車線を選定した。

- 事故多発交差点は、主道路の 8 割以上が 4 車線以上の大規模交差点
- 4 車線 x2 車線は交差点形状として多い
- 混雑度が高めで自動運転車の円滑な走行が難しいと想定

また、本プロジェクトでの 4 車線 x2 車線の交差点のサイズを以下として検討を実施した。

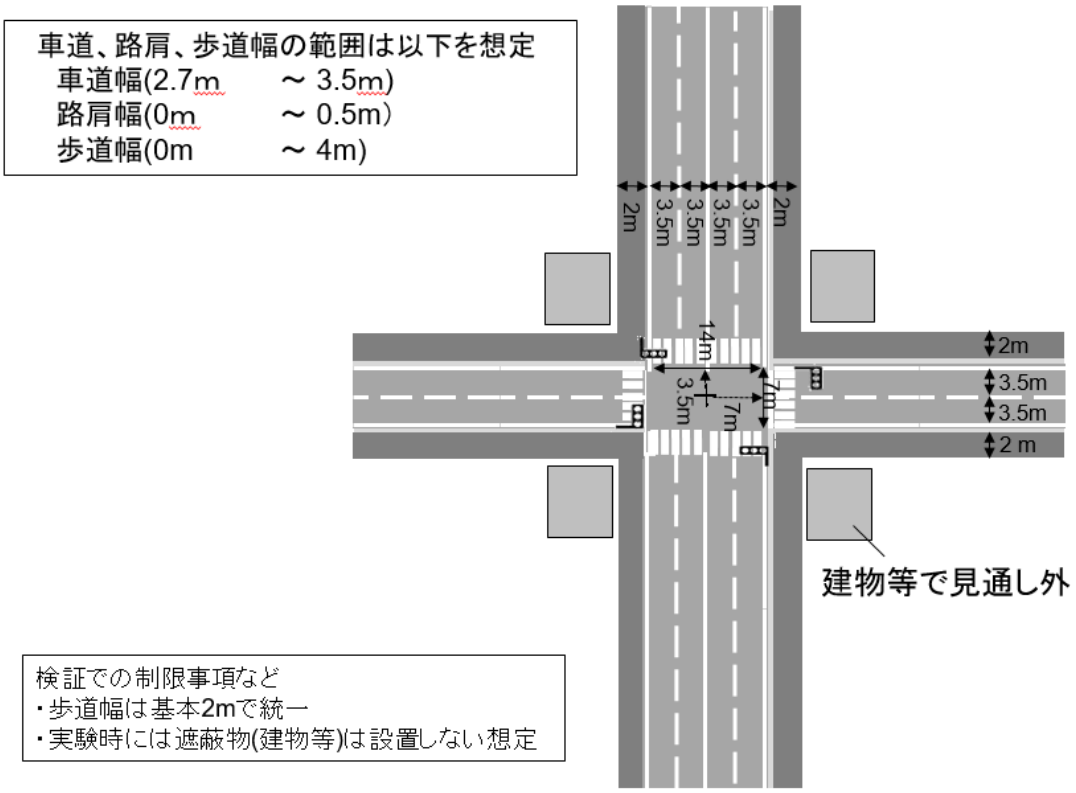


図 3.1.1③-1　ターゲットとする交差点規模

3.1.2. 対象とするユースケース

3.1.1 項の想定課題を元に、対象とするユースケースを、交差点手前での事前の車線変更、経路変更の支援、前方交差点の右折時の自動運転車の円滑走行支援とし、協調型自動運転通信方式 TF で検討されたユースケースとの整合性の観点も鑑みて詳細化した。

協調型自動運転通信方式 TF では対象となっていない歩行者・自転車の考慮、右折先渋滞検知は本研究開発で独自に追加した。これらは事故防止や交差点内での立ち往生を防止するためにも対象とすべきユースケースであると考えた。

本研究開発で対象としたユースケースの詳細一覧を表 3.1.2-1 に示す。なお、ユースケース毎の詳細評価シナリオについての記載は、3.2.2 項に記載している。

表 3.1.2-1 対象とするユースケース

SIP 協調型自動運転 UC	検知対象		UC #	ユースケース詳細	中域	狭域			【参考】既存システムでの対応
						センタ	路側		
					ドコモ	住電	パナ	沖	
d-5	(狭域NW等から収集した情報)		中1	前方交差点の右折待ちによる滞留状況等の情報を提供 (→経路変更の支援)	○	–	–	–	–
d-1	(狭域NW等から収集した情報)		中2	前方の断続的な路駐車両等の情報を提供 (→車線変更を支援)	○	–	–	–	–
c-2-2	対向車線 直進車両	直進車両	狭1	自車両センサでは検知できない対向直進車の情報を提供	–	○	–	○	DSSS
c-2-2 (※1)	右折先 道路渋滞	右折先状況	狭2	右折先状況(空きスペース等)の情報を提供	–	○	○	○	–
	歩行者	接近	狭3-1	横断歩道への歩行者・自転車の接近情報を提供	–	○	○	○	–
		横断待ち	狭3-2	横断歩道付近で停止した歩行者の詳細属性情報を提供	–	△	–	–	–
		横断中	狭3-3	横断歩道上の歩行者や自転車の情報を提供	–	○	○	○	DSSS
d-5	障害物	車両周辺	狭4	車両センシング情報を提供 (右折支援以外のUCにも活用可能)	–	○	–	–	–

(※1) c-2-2「交差点の情報による走行支援(V2I)」の検証バリエーションの一環として「右折先道路渋滞」「歩行者」を追加

3.1.3. 実現する要件（UC 毎の KPI）

2.3.3 項では、本研究開発における KPI 及び設定根拠の明確化を実施した。本項では、前段のユースケースの詳細化結果も踏まえて、KPI を詳細に設定した。

① 中域ユースケース　経路変更、車線変更ユースケースにおける KPI 詳細

中域ユースケースについては、本件の公募要領の要件に基づき設定した KPI（2.3.3 項参照）をベースに、更に評価指標、評価手法を詳細化した。

表 3.1.3①-1 経路変更、車線変更ユースケースにおける KPI 詳細表

研究項目	評価項目	評価基準	必達	評価指標	評価手法	備考
配信	通信遅延	通信遅延が規定値以下であること	○	・中域サーバから配信先の車載端末までの通信遅延が100ms以内であること ・中域サーバと受信側アプリケーションのタイムスタンプの差分から遅延時間を算出	【評価パターン①】 エミュレータによる評価 【評価パターン②】 遅延評価モデルによる机上検討	・サーバの処理性能は対象外とする ・パターン①、②のベースとなる無線区間のデータについては、実測値を元にして評価を実施
	通信トラフィック削減率	通信トラフィック削減率が規定値以上の比率であること	○	・狭域エッジと配信車両間で当該技術を適用しない場合と比較して50%以上削減	【机上検討による算出】 以下のパターンで通信トラフィックを算出 ①配信制御無し →狭域からの全データを配信 ②配信制御あり →車両速度に応じた配信制御を実施※1 上記①と②の通信トラフィック量の差を比較し、「①配信制御無し」のトラフィック量から「②配信制御あり」のトラフィック量の差分を算出 配信制御の有無により、50%以上のトラフィックが削減されていることを確認する	※1 車両速度に応じた配信制御について ・パターン① 60km/時で走行 ・パターン② 30km/時で走行 ・パターン③ 最小エリア(200m)
全体	処理時間	処理時間が規定値以下であること	○	・情報源または狭域サーバでの抽出処理、通信による収集(情報源～狭域サーバ、狭域サーバ～中域サーバ、中域サーバから車載端末)、中域サーバでの統合処理、通信による配信にかかかる一連の処理時間の合計が3秒以内であること	以下の区間での通信時間を合算することで一連の処理時間を算出する ①情報源から狭域サーバ ②狭域サーバから中域サーバ ③中域サーバから配信対象の車両	

② 狭域　対向車線直進車両ユースケース（狭 1）における KPI 詳細

直進車両の検知については、以下の様に想定した。

- 直進車両が交差点から遠い場合、直進車両がその後車線変更する可能性を考慮すると、直進車両の存在と交差点からの距離がわかれば良く、どの車線を走行しているのかまで判定する必要はない。
- 直進車両が交差点に接近した近傍エリアでは、直進するのか右左折するのかについては走行している車線で確度高く判断できると思われることから、走行車線の情報も検知することにした。
- 近傍エリアと遠方エリアについては、右折車線長が滞留長を計算で求められない場合は 30m 以上であることから、本研究では余裕をもって 50m に設定し、50m より近いエリアを近傍エリア、50m より遠いエリアを遠方エリアとした（図 3.1.3②-1）。

これらのことから、遠方エリアにおいては交差点からの距離を示す位置を目標指標とし、走行方向のズレ（以降、前後ズレと表記）の許容範囲を標準的な車長である 5m 以内を正解とした。近傍エリアにおいては、交差点からの距離を示す位置と車線方向の場所を示す位置を目標指標とし、前後ズレの許容範囲は遠方エリアと同様に 5m 以内であり、車線方向の位置のズレ（以降、左右ズレと表記）に関しては車線判別が可能となる車線幅（3.5m）の 1/2 以内（1.75m）に設定し（図 3.1.3②-2）、前後ズレと左右ズレの両方を満たせば正解とした。なお、正解率が 90%以上となることを目標とした。

また、センシングする交差点からの最長距離については、速度 70km/h(=法定速度(60km/h)+10km/h)で対向直進車が交差点に接近し、右折車が交差点中心部から右折完了までの時間を 5.5 秒（一連（抽出～配信）の処理時間：1 秒、車両での配信情報の処理時間：0.5 秒、右折時間：4 秒）だとして、さらに直進車が安全に交差点を通過するために右折車が右折完了した時点での直進車の交差点までの距離を約 40m(70km/h の速度で約 2 秒)と想定し、150m（5 秒×70km/h＋40m）とした。

なお、速度、移動方向については、位置情報の履歴から推測することが可能なことから、評価指標の必須項目から除外した。種別（車両、自転車、歩行者）に関しては、本ユースケースにおいては対向車線を走行している移動体であれば種別に関係なく通知する必要があると考え、必須項目から除外している。表 3.1.3②-1 に直進車両における KPI 詳細を示す。

・交差点端からの距離でエリアを定義
　近傍エリア：50mまで（右折ゾーン）
　遠方エリア：50m以遠　とする

【想定根拠】
- ・右折行動のために車線を変更する最短距離の時点で車線判別ができれば良いと想定
- ・lsを計算で求められない場合、ls は30m以上
- ・余裕を持って＋αとし約50mとする 例)α=1秒処理遅延×19.4m/s

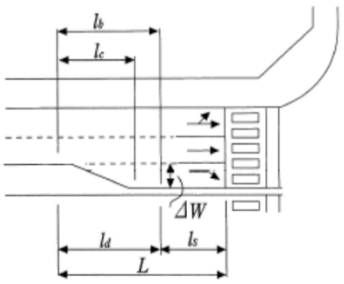
※交差点中心からの距離にする場合は横断歩道4m、車線3.5mを加算 ⇒近傍エリア=50 + 4+ 3.5 =約60m

$L = l_d + l_s$

L：右折車線長（m）

l_d：テーパ長（m）

l_s：滞留長（m）



（この図は$l_b > l_e$の場合のものである。）

https://www.pref.yamanashi.jp/douroseibi/documents/13_kousaten.pdf

図 3.1.3②-1 直進車検知範囲における近傍エリア、遠方エリア

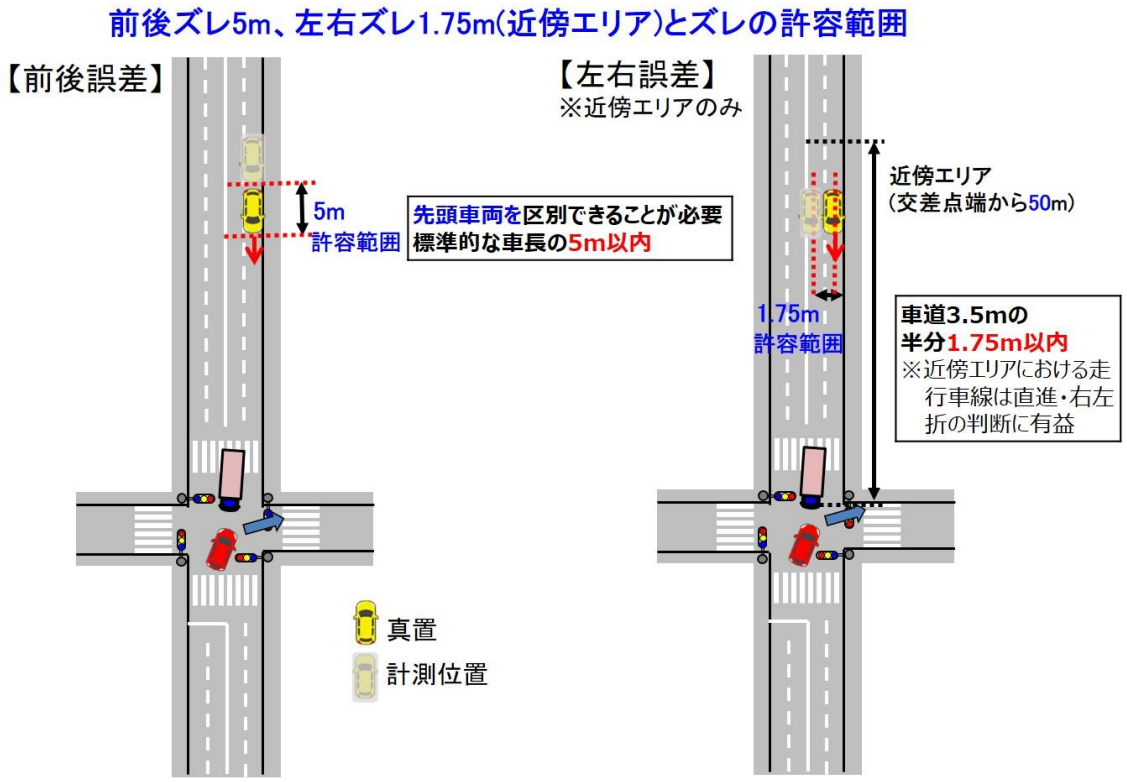


図 3.1.3②-2 対向車両位置検知の真値に対する許容誤差

表 3.1.3②-1　直進車両ユースケースにおける KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	車両	位置	○	・真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する ・交差点端からの距離でエリアを定義 近傍エリア：50mまで（右折ゾーン） 遠方エリア：50m以遠　とする	・前後の位置ズレ：閾値5.0m以内 ・左右の位置ズレ： 近傍は閾値1.75m以内 遠方は存在を判定(車線の判定は考慮しない) ・前後、左右の位置ズレの両方が閾値内であれば正解とする。	遠方では接近車両の存在が分かれば良いとする
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・車両以外に判別しない	本UCでは種別の判定は不要
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	–	
統合	車両	位置	○	・真値に対して、統合結果が一定範囲内の誤差に収まる比率が目標値(90%)を満足する	・抽出の位置と同じ定義	抽出に失敗している場合は評価対象外とする
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・抽出の種別と同じ定義	本UCでは種別の判定は不要
		同一判定		同一の評価対象を、同一対象物として正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・異なる対象物に判定しない	
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	–	

③ 狭域　右折先道路渋滞ユースケース（狭 2）における KPI 詳細

本ユースケースにおいては、車両の位置が真値に対して、走行方向のズレ（前後ズレ））及び車線方向のズレ（左右ズレ）がそれぞれ 2m 及び 1.75m 以下の場合に正解とした。図 3.1.3③-1 に示すように、車両の前後ズレの指標は、停車時の車間距離を目安に決定し、十分な安全距離として車両 1 台分の間隔 5m 以上を確保した状態で空きスペース有りと判断する場合、2m 以下の前後ズレが発生しても最低限安全に必要な車間距離として 3m 以上を確保できる。また、左右ズレに関しては、対向車線直進車両ユースケースと同様に、走行・停車する車線を判定する必要があり 1.75m 以下とした。

位置以外の KPI についてはオプションとし、詳細は表 3.1.3③-1 を参照。

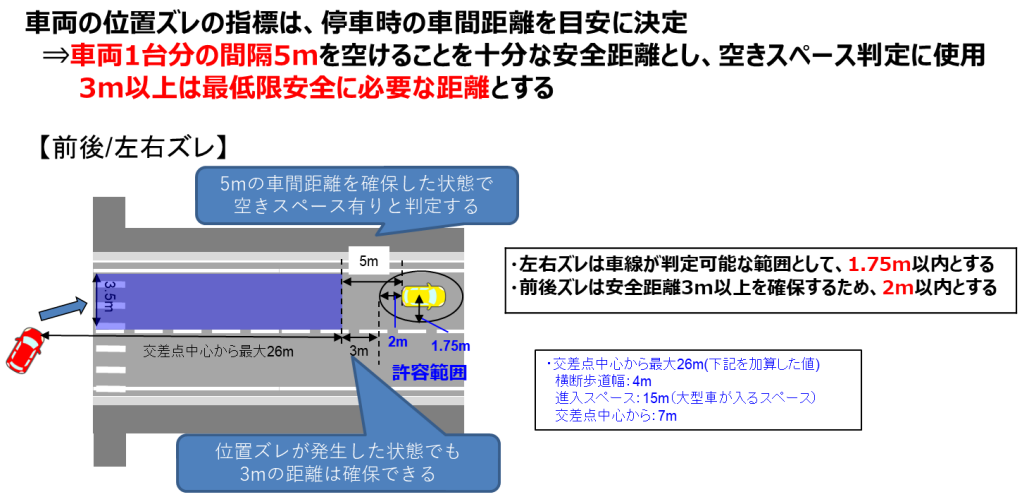


表 3.1.3③-1 右折先状況ユースケースにおける KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	車両	位置	○	真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・前後の位置ズレが閾値2m以内 ・左右の位置ズレが1.75m以内 ・前後、左右の位置ズレの両方が閾値内である場合に、正解とする。	
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・車両以外に判別しない場合に正解とする	
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	–	

④ 狭域　交差点横断（接近）ユースケース（狭 3－1）における KPI 詳細

歩行者や自転車の抽出と統合の正解率 90%以上について、本ユースケースにおいては歩行者の位置が真値に対して、前後、左右 2m 以内の誤差円の範囲に入った場合に正解とした（図　3.1.3④-1）。この 2m は、歩道の幅 2m を基準とし、歩行者が横断歩道に向かって接近した場合に最大 2m の誤差があっても、歩行者は 2m 幅の歩道内となり、横断歩道がある車道にはみ出ないようにこの値を目標値とした。自転車についても、同じ値を目標値とした。なお、位置以外の KPI についてはオプションとした。

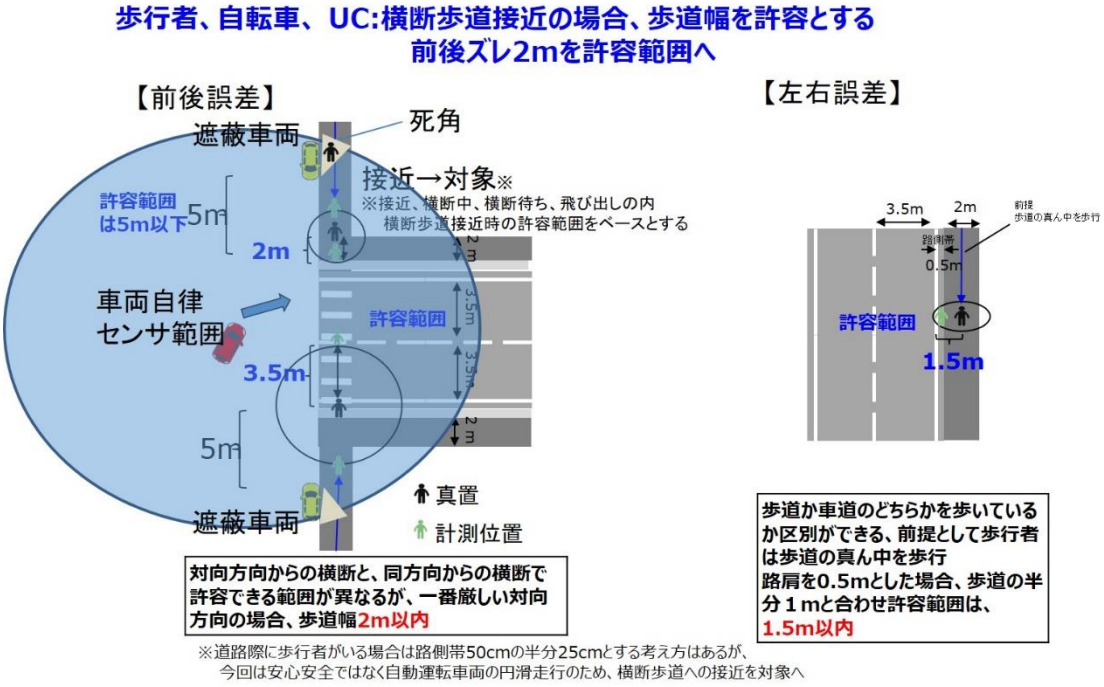


図 3.1.3④-1　歩行者の位置誤差許容範囲

表 3.1.3④-1　交差点横断（接近）ユースケースにおける KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	歩行者/自転車	位置	○	真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・前後の位置ズレが閾値2m以内 ・左右の位置ズレが2m以内	
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・歩行者以外に判別しない	本UCでは種別の判定は不要
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	–	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく
統合	歩行者/自転車	位置	○	・真値に対して、統合結果が一定範囲内の誤差に収まる比率が目標値(90%)を満足する	・抽出の位置と同じ	抽出に失敗している場合は評価対象外とする
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・抽出の種別と同じ	
		同一判定		同一の評価対象を、同一対象物として正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・異なる対象物に判定しない	
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	–	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく

⑤ 狭域　交差点横断（横断待ち）　ユースケース（狭 3－2）における KPI 詳細

本ユースケースでは歩行者が横断待ちしている道路（横断歩道）は右折車両が右折先で通過する横断歩道とは異なるため、右折時の障害にならない。交差点横断（接近）のユースケースと同様に、歩行者の位置を評価指標とし、真値に対して前後、左右 2m 以内の誤差円の範囲に入った場合に正解とし、90%以上の正解率となることを評価基準にした。

本ユースケースにおいて、歩行者の位置は必須であり、歩行者の位置の履歴等から、横断待ちか否かの判断を車両側で行うことを想定している。さらに、歩行者の移動速度、進行方向、体向きの情報を追加することで、横断待ち判断の精度向上が期待できる。

表 3.1.3⑤-1 交差点横断（横断待ち）ユースケースにおける KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	歩行者	位置	○	真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・前後の位置ズレが閾値2m以内 ・左右の位置ズレが2m以内	
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・歩行者以外に判別しない	本UCでは種別の判定は不要
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	－	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく
		体向き		真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）を評価	歩行者の体の向きを正しく判定する	体向きは45°刻みを想定
統合	歩行者	位置	○	・真値に対して、統合結果が一定範囲内の誤差に収まる比率が目標値(90%)を満足する	・抽出の位置と同じ	抽出に失敗している場合は評価対象外とする
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・抽出の種別と同じ	
		同一判定		同一の評価対象を、同一対象物として正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・異なる対象物に判定しない	
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	－	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく
		体向き		真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）を評価	歩行者の体の向きを正しく判定する	体向きは45°刻みを想定

⑥ 狭域　交差点横断（横断中）ユースケース（狭 3－3）における KPI 詳細

本ユースケースについては、④狭域　交差点横断（接近）ユースケースと一連のシナリオであるため、同じ KPI 設定とした。

表 3.1.3⑥-1 交差点横断（横断中）ユースケースにおける KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	歩行者/自転車	位置	○	真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・前後の位置ズレが閾値2m以内 ・左右の位置ズレが2m以内	
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・歩行者以外に判別しない	本UCでは種別の判定は不要
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	－	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく
統合	歩行者/自転車	位置	○	・真値に対して、統合結果が一定範囲内の誤差に収まる比率が目標値(90%)を満足する	・抽出の位置と同じ	抽出に失敗している場合は評価対象外とする
		種別		評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・抽出の種別と同じ	
		同一判定		同一の評価対象を、同一対象物として正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・異なる対象物に判定しない	
		速度、進行方向		真値に対する計測誤差を測定（平均、CDF）	－	真値は取得データ(カメラ画像等)から事前に計算しておく

⑦ 狭域　障害物検知ユースケース（狭 4）における KPI 詳細

障害物検知は、車両に搭載したセンサでセンシングしたデータから道路上の駐停車車両を含めた静止物体を障害物として判断し、障害物の位置と存在車線で同定する。自動運転車両は障害物の情報を受信すると、自車の走行車線上に障害物がある場合、できるだけ早く車線変更を行うことが望ましく、障害物の検知位置の誤差をできるだけ小さくすることが望ましいことから、前後ズレについては標準的な車長である 5m 以内とした（図 3.1.3⑦-1）。

本ユースケースでは、静止している物体を障害物として認識できること、さらに認識した物体（障害物）の前後ズレの許容範囲は直線距離で 5m 以内であること、実際に障害物が存在する車線と一致することの全てを満たせば正解とし、この正解率は 90%以上であることにした。

■評価基準

評価項目		評価基準
位置	障害物の存在車線	検出した車線が実際に障害物が存在する車線と一致する場合、正解。 障害物が複数の車線にまたがっている場合は、それぞれの車線に対して正解、不正解を判定する。
	実際の障害物との誤差	物体の位置とセンサ情報を元に地図上にマッピングした位置の直線距離の誤差（前後位置ズレ）が**5m**以内の場合、正解。
種別		道路上に存在する物体が静止していれば障害物、移動していれば障害物ではないと判定。 道路上の物体と検知した種別が一致した場合、正解。

正解率の定義
位置（障害物の存在車線、実際の障害物との誤差）と種別の全てが正解になる比率とする



■種別の考え方
走行している車両のセンサ情報から道路上の障害物を判定することから、障害物は静止していることを条件とし、走行車両は障害物の横を通り過ぎることを想定している。
つまり、渋滞などで前方車両が停止していて、走行車両も追随して停止するような場合、前方車両は障害物とは判定しない。

■位置の直線距離の許容誤差（5m以内）の考え方
自動運転車両は障害物の情報を受信すると、自車の走行車線上に障害物がある場合、できるだけ早く車線変更を行うことが望ましい
⇒自車から障害物までの距離に対する制約は特に無いが、誤差をできるだけ小さくすることが望ましく、誤差を最大でも車長の範囲内に抑えることを目指す
⇒多くの車が車長5m以下なので、5mを採用



図 3.1.3⑦-1　障害物検知位置の真値に対する許容誤差

表 3.1.3⑦-1 障害物検知における KPI 詳細

研究項目	評価対象	評価項目	必達	評価基準	正解の定義	備考
抽出	障害物	位置	○	・真値に対して、抽出結果が一定範囲内の誤差に収まる比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・左右の位置ズレは実際に障害物が存在する車線と一致すること ・前後の位置ズレは直線距離で5m以内	・複数車線にまたがっている場合もそれぞれ車線で判定する
		種別※	○	評価対象の種別を正しく判定する比率（正解率）が目標値(90%)を満足する	・静止している物体を障害物と判定する	正解率算出時は位置と種別のANDとする

※障害物とは静止している物体であり、種別は障害物か否かである

⑧ 狭域　各ユースケースにおける抽出・統合の KPI 詳細

物体が存在しないにもかかわらず、センサデータの解析の結果、物体が存在していると判断してしまう場合は誤検知、逆に実際に物体が存在するが、検知されない場合は未検知と定義し、抽出処理、統合処理での取り扱いについて述べる。

- 抽出処理：誤検知、未検知は不正解としてカウント
- 統合処理：統合処理単体としての正解率を評価するため、抽出での不正解の影響が統合処理に影響が出ないように、抽出で正解となった情報のみで統合処理を評価していることから、誤検知、未検知はカウントの対象外である。

ただし、抽出で誤検知、未検知になった場合でも、統合することで、正解となる可能性もあり（今回の研究での対象としない）、さらに将来的には物体の移動履歴等から補正を行うことで未検知・誤検知を補完することも可能と思われる。

表 3.1.3⑧-1　各シナリオにおける抽出・統合の KPI 詳細

研究項目	評価対象	項目	誤検出／未検出の定義	誤検出／未検出の正解率への反映
抽出	車両/歩行者/自転車	誤検知	・物体が存在しない場所で物体を検出している場合、誤検知とみなす。	・誤検知した場合は、不正解としてカウントする。
		未検知	・物体が存在しているが、物体を検出できない場合、未検知とみなす。	・未検知した場合は、不正解としてカウントする。
統合	車両/歩行者/自転車	誤検知	・1つ以上のセンサで誤検知となる。	・統合の評価対象にしない。
		未検知	・全てのセンサで物標が未検知となる。1つ以上のセンサで物標が検知されれば、未検知にはならない。	・統合の評価対象にしない

⑨ 狭域　各ユースケースにおける収集・配信 KPI 詳細

正解率以外の KPI として、収集、配信における各々の通信における遅延（通信遅延)、情報源から配信車両への情報配信までの一連の処理時間を評価対象にしている。通信遅延については、ITS 無線通信システムの路車・車車間通信（V2I・V2V 通信）のデータ送信周期（100ms）を参考とし、一連の処理時間については、ダイナミックマップでの動的情報（カメラやレーダ等の車載センサで車両が直接収集する周辺状況の情報と、周辺車両や歩行者の情報）の更新周期が 1 秒以内であることを参考にして設定した。ただし、自工会で検討している信号情報の揺らぎが±300ms 以内であることや、ETSI TS 101 539-1 V1.1.1 で E2E の要求遅延の一例として 300ms 以下が記載されていることから、本研究の狭域における一連の処理遅延を 300ms 以内とする場合についても考察することにした。

配信制御における通信トラフィック削減については、交差点周辺の交通状況等の情報を狭域サーバから当該交差点周辺を走行している全ての車両に単純に配信するのでは、通信トラフィックが多くなることが予想される。また、配信情報を受信した車両においても走行する上で関係のない情報を受信してしまうと、自車の走行に影響しそうな情報をフィルタリングする等余計な処理が必要になる。このため、無線リソースの有効利用の観点、交通状況受信車両での処理負荷軽減の観点から、配信における通信トラフィックの削減を評価指標に加え、トラフィック量削減率 50%以上を目指すことにした。

表 3.1.3⑨-1 各ユースケースにおける収集・配信 KPI 詳細

研究項目	評価項目	必達	評価基準	評価の指標	備考
収集	通信遅延	○	通信遅延が規定値以下であること	・情報源と狭域エッジ間で100ms以内(CDFの%で評価) ・送信側装置(PC等)のアプリでタイムスタンプを付けて、受信側装置(狭域エッジ)のアプリでの受信時間とタイムスタンプの差分	F実証(テストコース)での評価 ・各UCのF検証シナリオで評価
					シミュレーション(エミュレータ/PC)による評価 ・各UCのF検証シナリオで評価 ・複数UCをまとめて、ピーク時検出数で評価
配信	通信遅延	○	通信遅延が規定値以下であること	・狭域エッジと配信車両間で100ms以内(CDFの%で評価) ・送信側装置(狭域エッジ)のアプリでタイムスタンプを付けて、受信側装置(PC等)のアプリでの受信時間とタイムスタンプの差分	F実証(テストコース)での評価 ・各UCのF検証シナリオで評価
					シミュレーション(エミュレータ/PC)による評価 ・各UCのF検証シナリオで評価 ・各UCのF検証シナリオでピーク時配信数で評価 ・複数UCをまとめて、ピーク時検出数で評価
配信制御	通信トラフィック	○	通信トラフィック削減率が規定値以上の比率であること	・狭域エッジと配信車両間で当該技術を適用しない場合と比較して50%以上削減	机上計算による評価 ・複数UCをまとめて、ピーク時検出数で評価 ・各UCのF検証シナリオでピーク時配信数で評価
全体	処理時間	○	処理時間が規定値以下であること	・情報源から配信車両間の一連の処理時間が1s以内(CDFの%で評価) ・送信側装置(PC等)のアプリでタイムスタンプを付けて、受信側装置(PC等)のアプリでの受信時間とタイムスタンプの差分 ・またはタイムスタンプから各区間で要した時間を抽出し、合算することで一連の所要時間を算出する	F実証(テストコース)での評価 ・各UCのF検証シナリオで評価
					シミュレーション(エミュレータ/PC)による評価 ・各UCのF検証シナリオで評価 ・各UCのF検証シナリオでピーク時配信数で評価 ・複数UCをまとめて、ピーク時検出数で評価
					机上計算による評価 ・シミュレーションで実施できないスケール評価は机上計算で実施

3.1.4. 各ユースケースを支援するためのセンシング範囲と配信範囲

狭域における各ユースケースを支援するために把握すべき交通状況範囲について検討し、そのために必要となる路側に設置するセンサの検知範囲、及び把握した交通状況を配信する車両の存在範囲（配信範囲）を以下の様に設定した。

① 対向直進車検知

対向直進車を検知する交差点からの最長距離については、速度 70km/h（=法定速度（60km/h）+10km/h）で対向直進車が交差点に接近し、右折車が交差点中心部から右折完了までの時間を 5.5 秒（一連（抽出～配信）の処理時間：1 秒、車両での配信情報の処理時間：0.5 秒、右折時間：4 秒）だとして、さらに直進車が安全に交差点を通過するために右折車が右折完了した時点での直進車の交差点まで距離を約 40m（70km/h の速度で約 2 秒）と想定し、150m（5.5 秒×70km/h＋40m）とした。

② 右折先道路渋滞検知

右折先の渋滞時の検知範囲は、大型車 1 台が右折先に滞留した場合を想定し、大型車の車長を 15m、横断歩道の幅を 4m として設定した。

③ 歩行者・自転車横断検知

歩行者と自転車の検知範囲は、より速度の速い自転車の速度を平均 15km/h とし、自動運転車両が交差点右折にかかる所用時間から算出した。

④ 配信エリア

自動運転車への配信区間を 126m と設定した。自動運転車の車両速度は法定速度(60 km/h)プラス 10km/h の 70km/h で交差点への接近し、停止線で停止する場合に急ブレーキとならない配信距離として算出した。

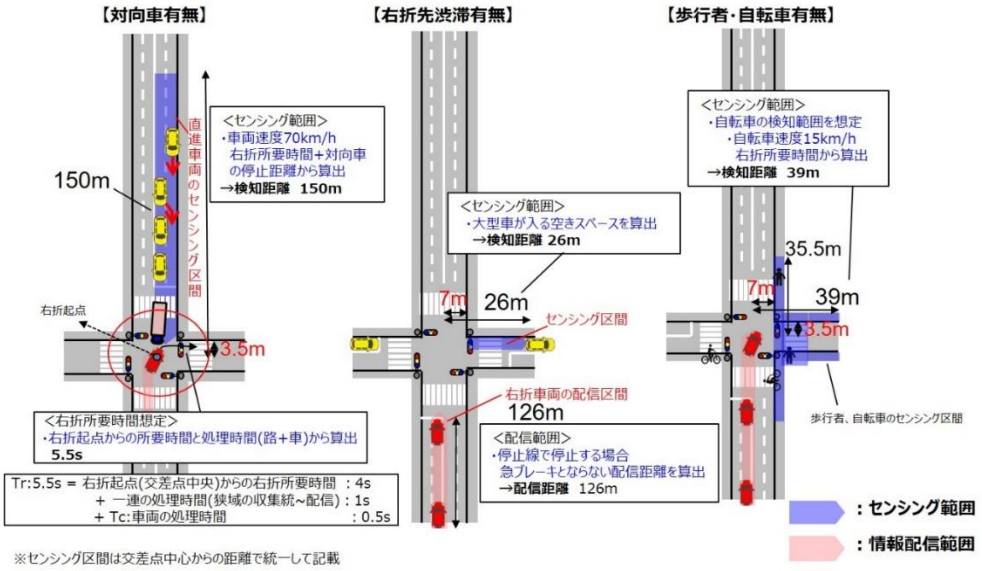


図 3.1.4-1 各ユースケースにおけるセンシング範囲と配信範囲

3.1.5. アーキテクチャの検討・設計

他のプロジェクトに見られない本研究開発のポイントの１つとして、狭域情報から中域情報までのシームレスな支援（交差点の情報による走行支援、交通流最適化までを一気通貫で連続的に支援）を実現するという点が挙げられる。

上記の点を踏まえ、狭域情報から中域情報までのシームレスな支援を実現できるようなシステム構成を検討・設計した。

① 全体システム構成

図 3.1.5①-1 にシステム構成の概念図を示している。

上段の路側処理方式については、情報源から収集した情報を狭域サーバから直接的に車に配信するといったケースと中域サーバに情報を集約していくケースに分かれ、後者は配信制御が狭域情報から中域情報までのシームレスな支援実現のためのキーとなるアーキテクチャとなっている。

下段のセンタ処理方式については、路側処理に比べてより情報量が多く高度な演算処理が必要なものについて、センタ側で集中的に処理を行うといったようなアーキテクチャになっており、5G や LTE といったモバイル通信が狭域情報から中域情報までのシームレスな支援実現のためのキーとなるアーキテクチャとなっている。

また以下に詳述する通り、物理構成やプロトコルスタックといった具体的な部分については、路側処理方式とセンタ処理方式それぞれを分ける形で検討・設計した。

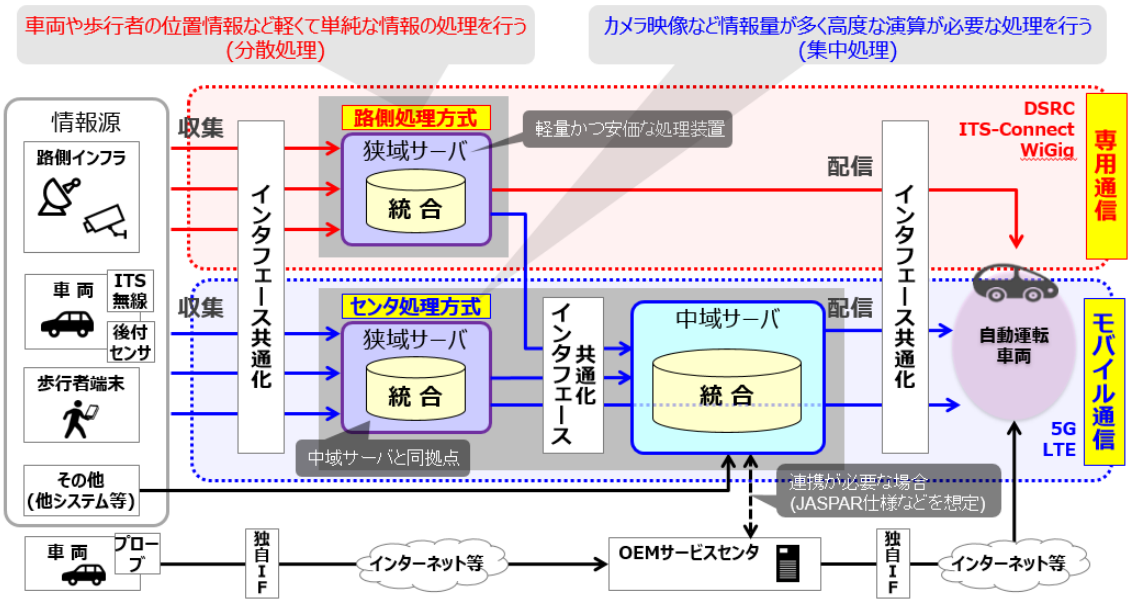


図 3.1.5①-1　システム構成図

なお、本実証で構築した狭域サーバおよび中域サーバ（センタ処理方式）では、5G 通信を活用した低遅延を実

現させるために、NTT ドコモの 5G およびドコモ網内設備として提供する閉域クラウドサービスであるドコモオープンイノベーションクラウド（doic）を採用した。
採用するにあたり、代表的な他のパブリッククラウドサービスと比較検証を実施した結果を以下の図 3.1.5.① -2　クラウドサービス比較に示す。

	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	評価コメント
dOIC	5	4	4	3	16	NTTドコモ 5G利用のため、ドコモ網内設備として低遅延での接続が可能。 サーバリソースについては、簡単な手順で変更することが可能で、拡張性にも優れている。
サービスA	4	4	4	3	15	dOICとサービスAとのレイテンシ比較では、インターネット経由して接続するサービスAは、RTT（Avg）約100msecの差分があった。他事業者の5Gを利用する場合は、サービスAとアプリケーションサービスを組み合わせることが可能なため、柔軟性に優れている。
サービスB	3	4	4	3	14	クラウドサービスは活用しやすい機能と構成である。しかし、5Gを利用して低遅延性を求める場合には、現時点で5G直接接続する構成がない。このため低遅延性については、dOIC・サービスAと比較すると見劣りする。
総合的な評価	伝送メディアとしてNTTドコモの5Gを活用することで、ドコモ網内設備として構築されているクラウド・MEC（Multi-access Edge Computing）であるドコモ・オープンイノベーション・クラウド（doic）環境を使用することで低遅延での接続を実現できる。 なお、5Gルータ配下端末からdOIC、サービスAとのRTT(Round-Trip Time)を試験計測・比較した場合、サービスAはインターネット経由することもあって、dOICよりもRTT約100msec遅延が多い結果となった。 他事業社の5Gを利用する場合は、サービスAが提供しているクラウドサービスとアプリケーションサービスを組み合わせることで、ドコモ5G+dOICと同等な構成のサービスを提供している。 サービスBについては、現時点でdOIC、サービスAと同等な低遅延接続構成が存在しない。					

図 3.1.5①-2　クラウドサービス比較

② 通信プロトコル

狭域システムおよび中域システムにおける通信プロトコルは、MQTT を採用した。本実証においては、通信時間が KPI として定められており、仕様として高速な通信が求められている。MQTT プロトコルは、シンプルで軽量、高速かつライブラリが豊富であることが特徴であり、多数のデバイスの間で、短いメッセージを頻繁に送受信することを想定して作られたプロトコルである。また、Topic にて配信の振り分けが容易であること、IoT での利用実績が豊富である点など他のプロトコルと比較しても優位点が多くあり、本実証に最適なプロトコルと考えられるため採用した。また、QoS の設定も可能であり、クライアントとブローカー間の到達保証を設定することも可能である。代表的なプロトコルを比較した結果を以下の図 3.1.5.② 1 プロトコル比較表に示す。

名称	汎用性	リソース	通信品質	処理速度	評点	備考
HTTP	5	3	5	3	16	シンプルで汎用性が高い オーバーヘッドが大きい 既存の仕組みを流用しやすい TCP通信
MQTT	4	5	5	5	19	オーバーヘッドが小さい、pub/sub型 QoS(到達保証)、リアルタイム性 軽量で、リソースが限られている場合に適する 大量に発生する粒度の小さなタスクを多く処理出来る
WebSocket	4	4	5	5	18	双方向通信を低コストで実現可能 ヘッダサイズが比較的小さい TCP通信
CoAP	4	4	3	4	15	非同期通信をサポート パケットヘッダが簡略化されている UDP通信のため、信頼性が劣る

図 3.1.5.② 1　プロトコル比較表

出典（参考）:https://www.ttc.or.jp/application/files/2015/5436/1083/TR-1071v1.pdf

③ 路側処理方式とセンタ処理方式

狭域におけるシステム構成として、路側処理方式と、センタ方式がある。それぞれのプロトコル参照図を以下に示す。詳細については以降で述べる。

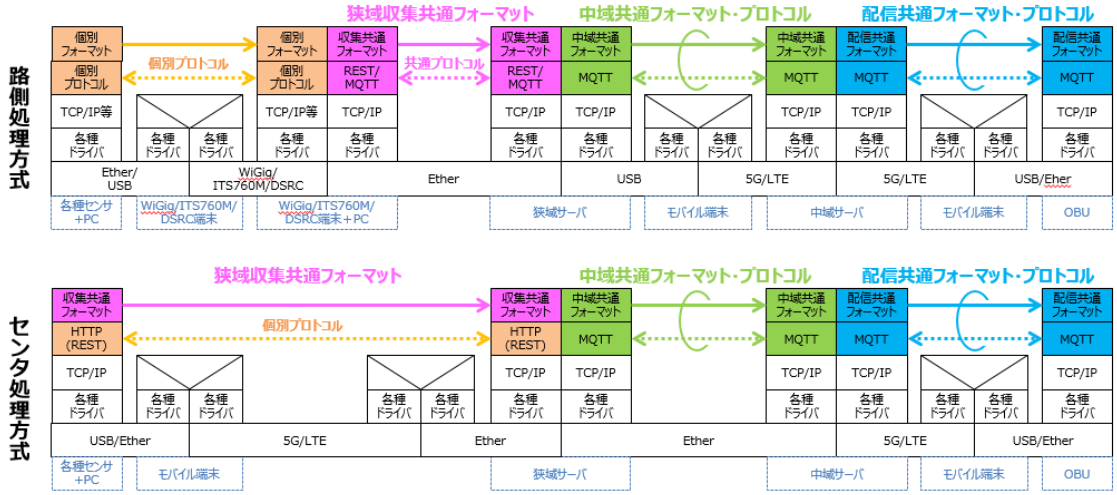


図 3.1.5②-1 路側処理方式とセンタ処理方式のプロトコルスタック

④ 路側処理方式

(1) 狭域配信（物理構成とプロトコルスタック）

図 3.1.5③-1 は交差点に設置された路側機が周辺をセンシングし、同じく路側機に搭載された狭域サーバに物標情報を収集し、その情報を直接、車両に配信する（狭域配信：狭域折り返し）についてのシステムの物理構成とそのプロトコルスタックである。通信方式

として、専用通信（公衆通信の基地局を介さない直接通信）には、ITS 通信で検討されている DSRC, LTE V2X(PC5), WiGig を使用し、安心安全を実現する即時通信を実現するために、通信時間の短縮、通信量が少なくなる構成とメッセージフォーマットとしている。

また、車両側での受信 IF を共通になるようにするため、配信のメッセージフォーマットとそのプロトコルは中域サーバからの配信方式と共通化している。

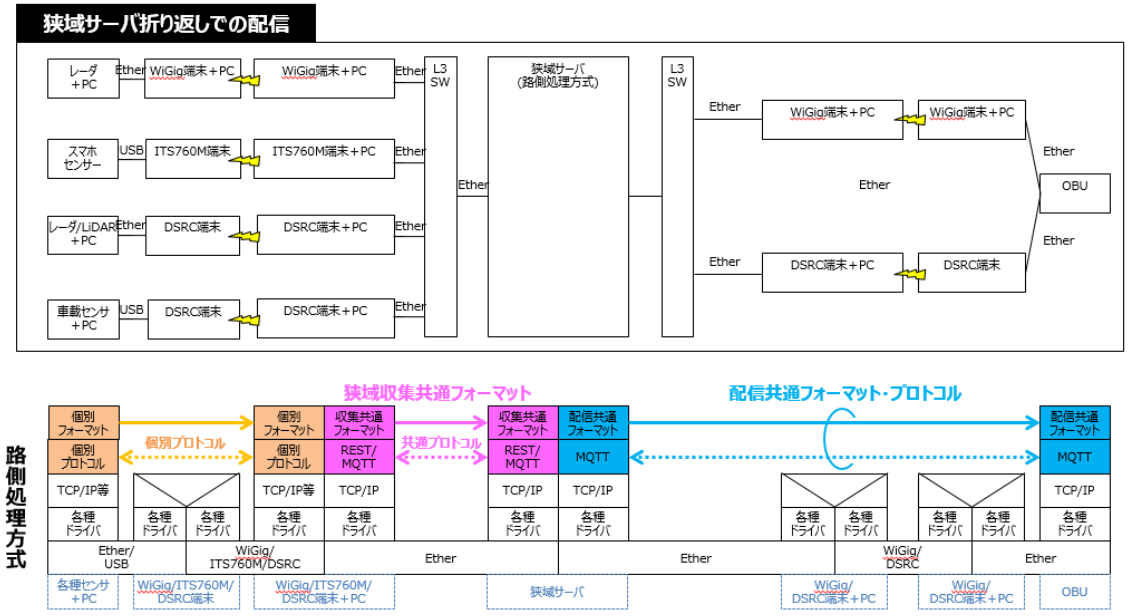


図 3.1.5③-1 路側処理方式（狭域配信）

(2) 中域配信（物理構成とプロトコルスタック）

図 3.1.5.③-2 は交差点に設置された路側機が周辺をセンシングし、同じく路側機に搭載された狭域サーバに物標情報を収集し、その情報をネットワーク上の中域サーバを介して車両に配信する（中域配信）システムの物理構成とそのプロトコルスタックである。通信方式としては狭域サーバまでは専用通信（公衆通信の基地局を介さない直接通信）、ITS 通信で検討されている DSRC, LTE V2X(PC5), WiGig を使用し、狭域サーバから中域サーバ、中域サーバから車両までは、車両の円滑、快適走行を可能とするため、より広域の情報を集め、またより広域なエリアを走行している車両に情報配信するため 5G 通信を使用した。

また、車両側での受信 IF を共通になるようにするため、配信のメッセージフォーマットとそのプロトコルは狭域サーバからの配信方式と共通化している。

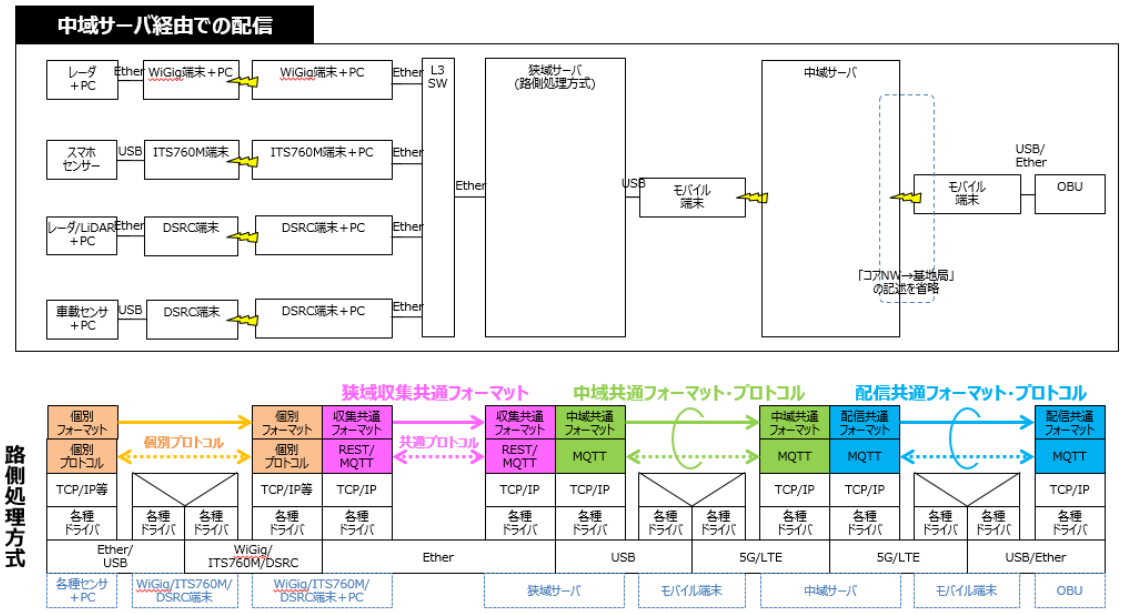


図 3.1.5③-2 路側処理方式（中域配信）

⑤ センタ処理方式（物理構成とプロトコルスタック）

(1) 狭域配信（物理構成とプロトコルスタック）

センタ処理方式では交差点に設置された路側機が周辺をセンシングし、モバイルネットワーク（5G/LTE）を経由してセンタ側に設置された狭域サーバが物標情報もしくはセンサデータを収集する。さらに、狭域サーバでは収集した物標情報とセンサデータから抽出した物標情報を直接、車両に配信する（狭域配信：狭域折り返し）。図 3.1.5④-1 は、センタ処理方式の物理構成とそのプロトコルスタックである。

路側機からセンタに設置された狭域サーバまので通信、狭域サーバから車両までの通信は、5G/LTE を使用している。

路側機から狭域サーバまでの情報収集においては、路側処理方式と共通の狭域収集共通フォーマットとし、狭域サーバから車両までの情報配信については、路側処理方式、中域サーバから車両への配信方式と共通化を図った。

なお、センタ処理方式では狭域サーバとして比較的高性能なハードを使用することになるが、ビデオ映像の解析や LiDAR データの解析も行うことが可能となり、路側機側は安価に構成できる。さらに狭域サーバがセンタに設置されていることから、複数交差点の狭域サーバとして集約して処理を行うことも可能で経済的な実現も考えられる。

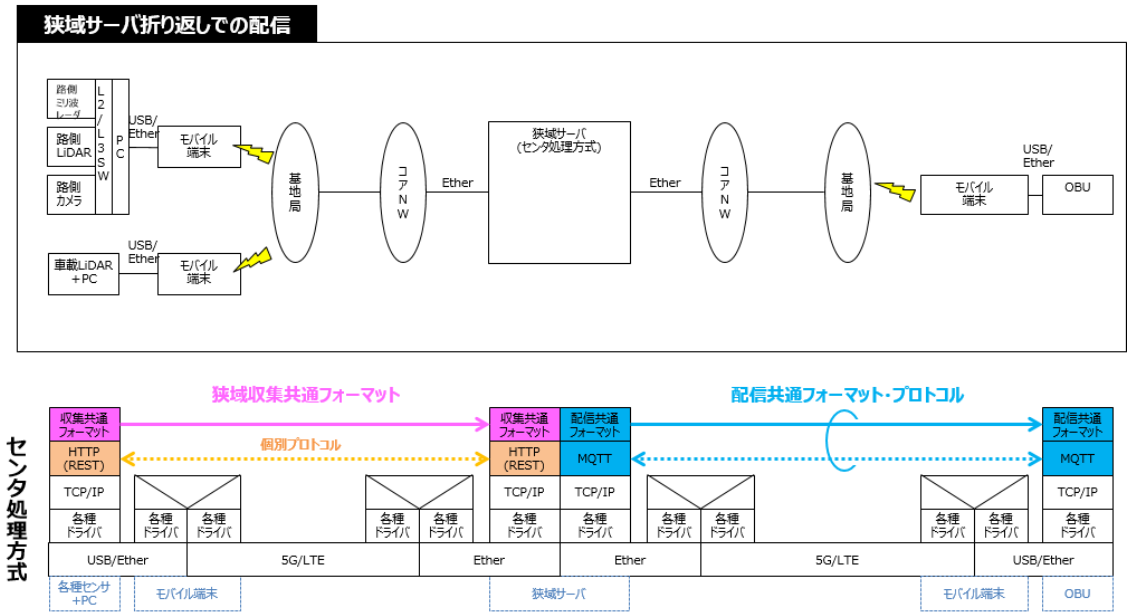


図 3.1.5④-1 センタ処理方式（狭域配信）

(2) 中域配信（物理構成とプロトコルスタック）

3.1.5④-2 は交差点に設置された路側機が周辺をセンシングし、ネットワーク上に実装された狭域サーバでセンサ生データを収集して解析し、その情報をネットワーク上の中域

サーバを介して車両に配信する（中域配信）システムの物理構成とそのプロトコルスタックである。通信方式としては、狭域サーバまでは大容量通信が可能なモバイル通信の 5G を使用し、また、中域サーバから車両までの配信には、路側方式と同様に車両の円滑、快適走行を可能とするため、より広域なエリアを走行している車両に情報を配信できる 5G 通信を使用した。

また、車両側での受信 IF を共通になるようにするため、配信のメッセージフォーマットとそのプロトコルは狭域サーバからの配信方式と共通化している。

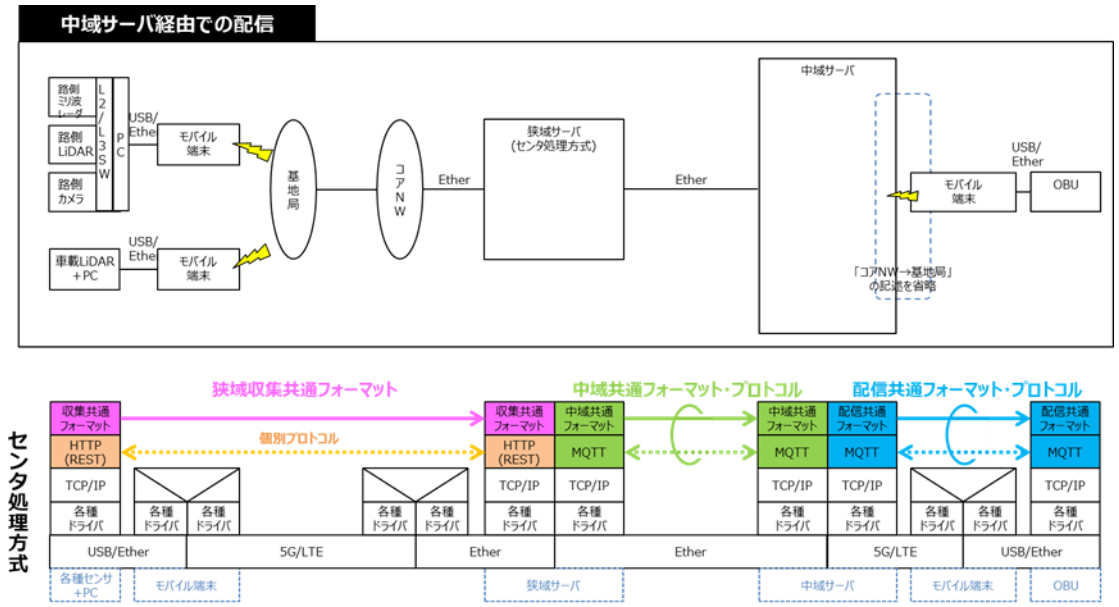


図 3.1.5④-2 センタ処理方式（中域配信）

3.1.6. 共通 IF 検討

① 共通 IF

狭域情報から中域情報までのシームレスな支援を実現するためには、適切なアーキテクチャの設計に加えて、IF の共通化についても必要となる。本研究開発にて IF を共通化する部分としては、情報源から狭域サーバに情報を集約する部分（①）、狭域サーバから中域サーバに情報を集約する部分（②-1）、また中域サーバ、路側サーバから直接的に車に対して情報を配信する部分（②-2）の 3 つが挙げられる。（図 3.1.6①-1）

IF を共通化する目的については、アーキテクチャにおけるそれぞれの部分によって異なる。①の部分では、異なる情報源からの情報を一元的に収集するため、②-1 の部分では離れた交差点の情報を統合する必要があるため、また②-2 の部分では情報を受信する車両側の負担を軽減するために IF を共通化する必要がある。

本研究開発では、上記の点を踏まえて共通 IF の検討を進めた。

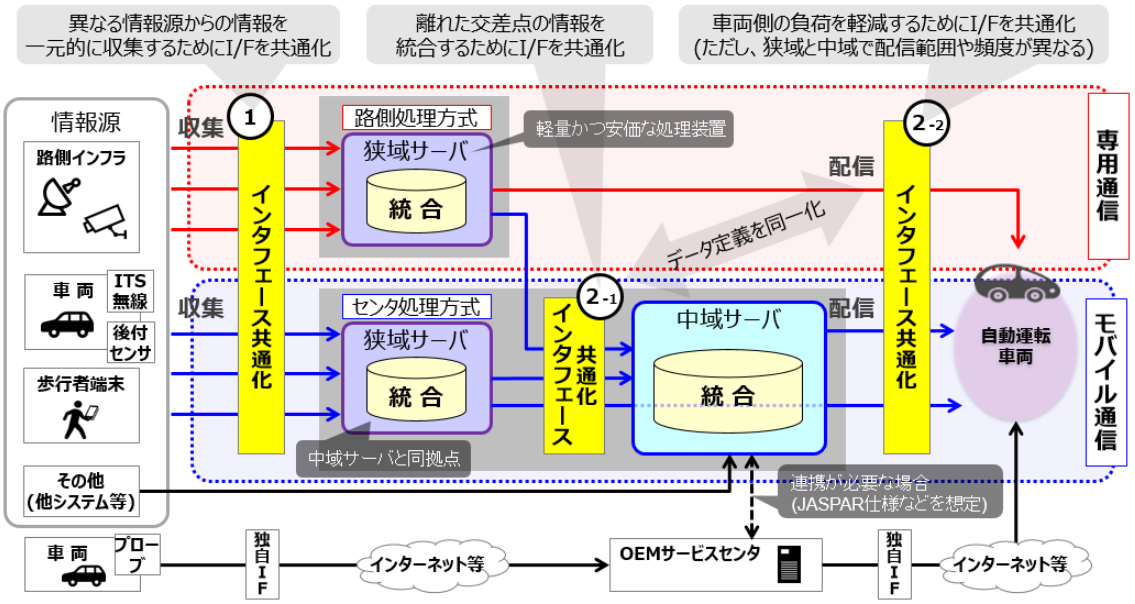

異なる情報源からの情報を
一元的に収集するためにI/Fを共通化
離れた交差点の情報を
統合するためにI/Fを共通化
車両側の負荷を軽減するためにI/Fを共通化
(ただし、狭域と中域で配信範囲や頻度が異なる)
情報源
路側インフラ
車 両
ITS
無線
後付
センサ
歩行者端末
その他
(他システム等)
収集
1
インタフェース共通化
路側処理方式
狭域サーバ
統 合
軽量かつ安価な処理装置
配信
2-2
インタフェース共通化
専用通信
データ定義を同一化
収集
センタ処理方式
狭域サーバ
統 合
中域サーバと同拠点
2-1
インタフェース共通化
中域サーバ
統 合
配信
自動運転
車両
モバイル通信
連携が必要な場合
(JASPAR仕様などを想定)
車 両
プローブ
独自IF
インターネット等
OEMサービスセンタ
独自IF
インターネット等

図 3.1.6①-1 共通 IF

② 情報源から収集における共通 IF

情報源から狭域サーバまでの共通 IF について、ETSI の標準化団体で規定されているフォーマットや ITS-CONNECT で規定されているフォーマットをベースにしつつ、前述の狭域ネットワークによるユースケースの支援に必要な項目を本研究開発独自の項目として追加している。（表 3.1.6②-1 赤字部分）

例として、「センサ情報」にて、センサ設置位置や移動方向、速度といった物標情報に加え、センサのバイナリ情報も共通に扱えるようにすることにより、センサからの物標抽出箇所を交差点に設置した狭域サーバでローカルに実施（路側処理方式）したり、ネットワーク上の狭域サーバで実施（センタ処理方式）したり、交差点に応じて最適な処理方式を選ぶことが可能となる。

表 3.1.6②-1 共通 IF（収集）

項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格など
バージョン	数値	2	●	ITS-CONNECT DE_バージョン情報 ※参考
センサーID	数値	5	●	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサー分類	数値	5	●	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサー更新周期	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE TransmissionInterval
センサー状態	数値	1	–	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサーサンプリング時刻	数値	9	–	Unix Epoch Time (milliseconds) ※参考
センサー送信時刻	数値	9	–	Unix Epoch Time (milliseconds) ※参考
時刻付与指定	数値	1	–	※狭域での効率的な収集などのために追加
シーケンス番号	数値	5	–	ITS-CONNECT DE_インクリメントカウンタ ※参考
物標情報 ※繰り返し項目	配列	可変	–	※次頁のI/F②と共通項目 物標情報、物標ID、物標種別、位置座標、移動方向、速度、物体の向き、物体のサイズ、信頼度、識別情報
				※I/F①の独自項目 物標拡張情報
センサー情報	ハッシュ	可変	–	※狭域での効率的な収集などのために追加 センサー設置位置、移動方向、速度、バイナリコンテンツ情報、バイナリリファレンスID、バイナリデータ
拡張情報	ハッシュ	可変	–	–

③ サーバでの統合・配信における共通 IF

サーバでの統合・配信における共通 IF についても、情報源からの収集における共通 IF 同様、ETSI の標準化団体で規定されているフォーマットをベースにしつつ、前述の狭域ネットワークや中域ネットワークによるユースケースの支援に必要な項目を本研究開発独自の項目として追加している。（表 3.1.6③-1 赤字部分）

例として、「物標 ID」や「識別情報」（情報としての車のステータスが「停車」であるのか、「滞留」であるのか等々の識別子）を追加することにより、配信先の車両毎にきめ細やかな配信制御を実施することが可能となる。

表 3.1.6③-1 共通 IF（統合、配信）

項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格など
物標ID	数値	9	●	※中域での効率的な配信制御などのために追加
情報取得時刻	数値	9	●	ETSI TS 102 894-2 DE_TimestampIts
物標種別 （車両、歩行者、自転車等の物標種別情報）	数値	1	●	ETSI TS 102 894-2 DE_StationType をベースに一部項目追加
位置座標	※次表で詳述		●	－
移動方向	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE_HeadingValue
速度	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE_SpeedValue
最も外側のレーン番号	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 DE_LanePosition
最も内側のレーン番号	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 DE_LanePosition
物体の向き	数値	3	－	ETSI TS 102 894-2 DE_HeadingValue
物体のサイズ 横幅、奥行、高さ	数値	3×3要素	－	ETSI TS 102 894-2 DE_VehicleLengthValue
信頼度	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 InformationQuality
識別情報	文字列	1	－	※中域での効率的な配信制御などのために追加 0～4(他予備) 0：不明、1:停車、2:滞留、3:事故、4:その他

また位置参照方式については、３つの方式で設計・実装を実施した（図 3.1.6③-1）。具体的には、ETSI の定義では、緯度経度による参照方式（位置参照方式１）のみが定義されているが、SIP 自動運転の枠組みで実施されている他の研究開発（施策）では ISO の規格を参照しているようなケースも存在する。この点を踏まえ、基準点からの差分距離による参照、道のり距離とオフセットの組み合わせによる参照も表現できるような形で設計・実装を実施した。

位置参照方式1：緯度経度による参照

項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格等
緯 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_Latitude
経 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_Longitude
高 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_AltitudeValue

位置参照方式2：基準点からの差分距離による参照

項目名	型	バイト数	必須
基準点	文字列	12	●
縦差分距離	数値	5	●
横差分距離	数値	5	●
高さ差分距離	数値	3	–

位置参照方式3：道のり距離＋オフセットによる参照

項目名	型	バイト数	必須
基準点（始点）	文字列	12	●
基準点（終点）	文字列	12	●
基準点からの距離比率	数値	3	●
オフセット方向	数値	3	●
オフセット距離	数値	3	●
レーン番号	数値	1	–

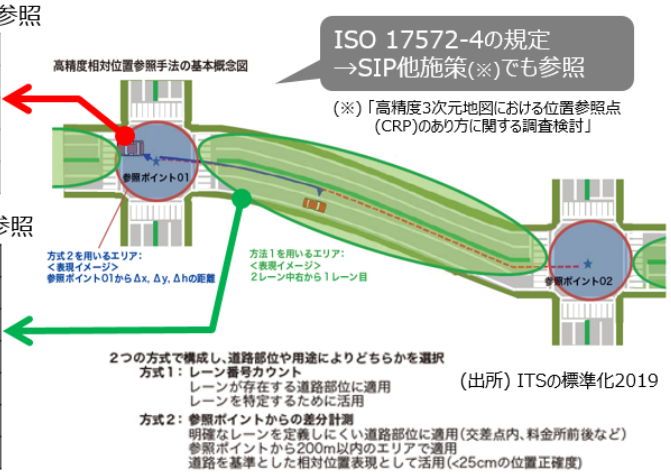


図 3.1.6③-1 位置参照方式

3.2. 評価方針

3.2.1. 評価検証のための前提条件

① 交通量想定

(1) 狭域

本パートでは、狭域ユースケース（円滑な進入・通過支援）の評価項目である「通信遅延」や「一連の処理時間」を検証するための前提条件を規定する（表 3.2.1①-1）。実証と机上検証・シミュレーションでそれぞれ想定する条件を記載しており、実証はテストコースで実際に検証を行う際の前提条件としている。机上検証・シミュレーションは、東京都建設局の道路交通センサスデータ[5]に基づき 1 交差点におけるピーク時の車両数や配信車

[5] 情報ソース①:平成 27 年度道路交通センサス一般交通量調査結果より、有料道路区間を除く箇所の平均値
http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/road/information/sensasu/sensasu.html
情報ソース②:東京都における国・都・区市町村道の内訳
http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/jigyo/road/kanri/index.html
情報ソース③:道路統計年報 2019　道路の現況　表 17　都道府県別実延長内訳《一般道路》より、東京都・改良済み道路の割合を算出
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2019/nenpo02.html

両数を試算している。また、道路形状が比較的近い交通流センサスデータ[6]に基づき 1 交差点に置けるピーク時の歩行者数、自転車数を試算している。

表 3.2.1①-1 狭域における交通量想定

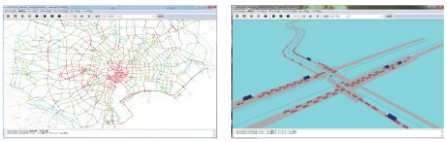
項 目		実証	机上/シミュレーション
サーバ構成	狭域サーバ数	各社1台	各社1台
交通環境（狭域）	交差点数	1交差点(各社で場所は異なる)	1交差点(各社で場所は異なる)
	交差点規模/サイズ	約7m×約14m(4×2車線)	約7m×約14m(4×2車線) ※一部オプションで6×6車線を検討
	車両数	1~3台(自車両、対向直進車、対向右折待ち車両等)	36台(ピーク時最大数想定)
	歩行者数	1~2人	8人(ピーク時最大数想定)
	自転車	1名	4名(ピーク時最大数想定)
	配信車両数(通信対象)	1台(自車両)	57台(狭域エリア内ピーク想定)
通信エリア	狭域	126m以上(停止線から)	126m以上(停止線から)
天候/時間帯	天候等による影響	日中、晴れ条件（雨天は対象外）	同左(影響は考慮しない)

(2) **中域**

「車両台数」については、SIP 施策でも採用実績がある交通シミュレーションデータ（東京 23 区モデル）から、市街地と郊外における 1 時間ごとの交通量を調査し、最大の交通量を整理した。整理結果は市街地が 422 台/km^2、郊外は 93 台/km^2 となった。（図　3.2.1①-1）

[6] 車線数 4 の道路幅 16m 道路例（大田区田園調布本町 32）
http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/content/000028559.pdf

【使用したデータ】
アイ・トランスポート・ラボ社の広域道路網交通流シミュレーションステム「SOUND」の東京都23区モデルによる車両走行履歴データ
(東京都23区モデルをシミュレーション実行した際に走行している
1台1台の車両の走行履歴をログ出力したもの)



出所：アイ・トランスポート・ラボ社のWebサイト

上位3つの江戸川区・世田谷区・中央区を市街地に設定
下位2つの練馬区・杉並区を郊外に設定
これらの5区について、各時間帯での交通量を整理

時間帯	区分	区	最大台数	最大台数/km^2	順位
06～07	市街地	江戸川	4795.0	96.09	3
06～07	市街地	世田谷区	5153.0	88.77	4
06～07	市街地	中央区	3895.0	381.49	1
06～07	郊外	練馬区	4093.0	85.13	5
06～07	郊外	杉並区	4231.0	124.22	2
07～08	市街地	江戸川	5291.0	106.03	3
07～08	市街地	世田谷区	5829.0	100.41	4
07～08	市街地	中央区	4143.0	405.78	1
07～08	郊外	練馬区	4466.0	92.89	5
07～08	郊外	杉並区	4717.0	138.49	2
08～09	市街地	江戸川	5161.0	103.43	3
08～09	市街地	世田谷区	5625.0	96.90	4
08～09	市街地	中央区	4308.0	421.94	1
08～09	郊外	練馬区	4422.0	91.97	5
08～09	郊外	杉並区	4510.0	132.41	2

交通シミュレーションデータ		1km^2あたりの最大台数
エリア	時間帯	
郊外(練馬区)	7時～8時	**93［台］**
市街地(中央区)	8時～9時	**422［台］**

図　3.2.1①-1 実環境に即した交通量の導出

また、上記で示した結果が実態に基づく最大の交通量であるが、交通センサスから導いた最大台数についても、より負荷の高い条件下での検証バリエーションとして評価することとした。(あくまで参考値)[7](表　3.2.1①-2)

表　3.2.1①-2 実環境に即した交通量の導出（参考値）

#	項　目	説　明	値(前提条件)	
(1)	ピーク時間の平均交通量	情報ソース①の一般道における平均値	1675	台/時
(2)	ピーク時間の平均速度	情報ソース①の一般道における平均値	15.5	Km/時
(3)	ピーク時間のkm当たりの台数	(1)/(2)	108	台/km
(4)	東京都区部道路延長	情報ソース②より	11,935	km
(5)	道路延長のうち幅員5.5m以上の道路の割合	情報ソース③より	41	%
(6)	東京都区部面積	情報ソース②より	627	km^2
(7)	道路密度	(4)*(5)/(6)	7.8	km/km^2
(8)	ピーク時間の1km^2当たりの台数	(3)*(7)	842	台/km^2
(9)	1区当たり面積	(5)/23	27.2	km^2
(10)	23区1区当たりピーク時台数	(8)*(9)	22,913	台

7

② 統合・配信に係る前提条件

(1) 狭域

(i) 統合の正解率

本実証において、統合の正解率はユースケース対象となるエリア全域において、全センサを使用して抽出・統合したトータルの正解率と定義した。(図 3.2.1.②-1)

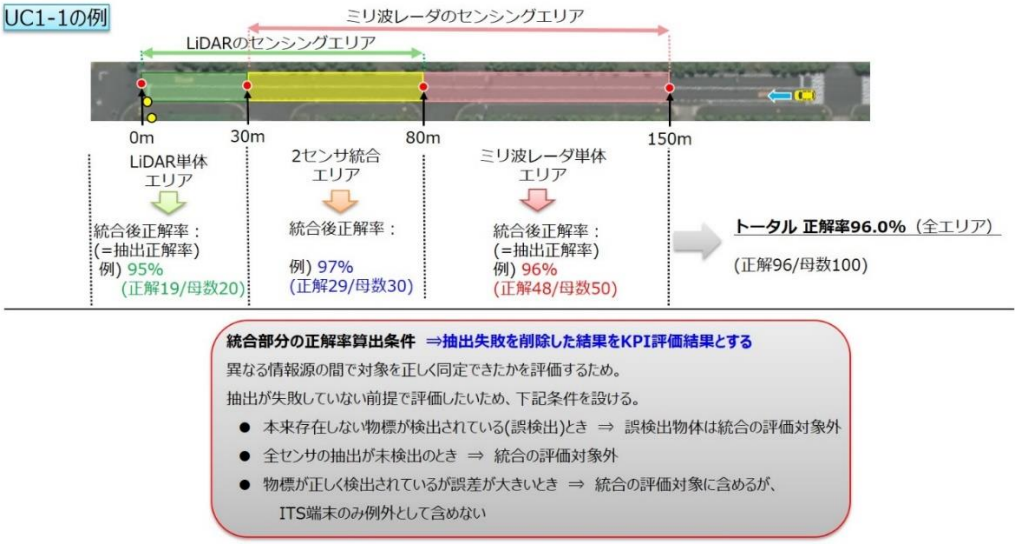


図 3.2.1②-1 統合の正解率

(ii) 狭域（センタ処理方式）における一連の処理時間

狭域（センタ処理方式）における一連の処理時間の定義を図 3.2.1②-2 に示す。[8]

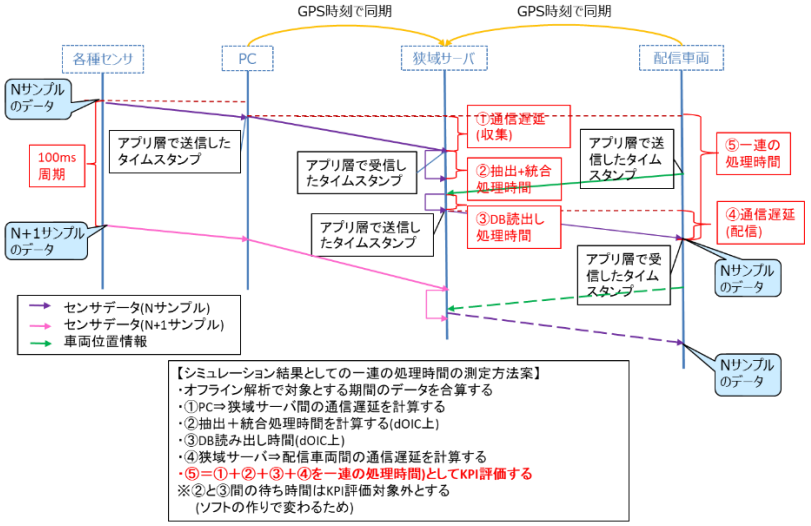


図 3.2.1②-2 狭域（センタ処理方式）における一連の処理時間の定義

[8] 図 3.1.2②-2 は、センタ処理方式の場合である。

(2) 中域

(i) 実証の設定

以下では、中域における実証の設定について示す。

(a) KPI に関連した設定

中域ネットワークに係る KPI は図 3.2.1②-3 の①、②であり、各々の設定は以下の通りである。

- UL（①）：固定された端末からのみ実施（交差点内の見通しの良い場所に狭域サーバと共に設置）
- DL（②）：移動する端末に対して実施（自動運転車の車載端末として設置）

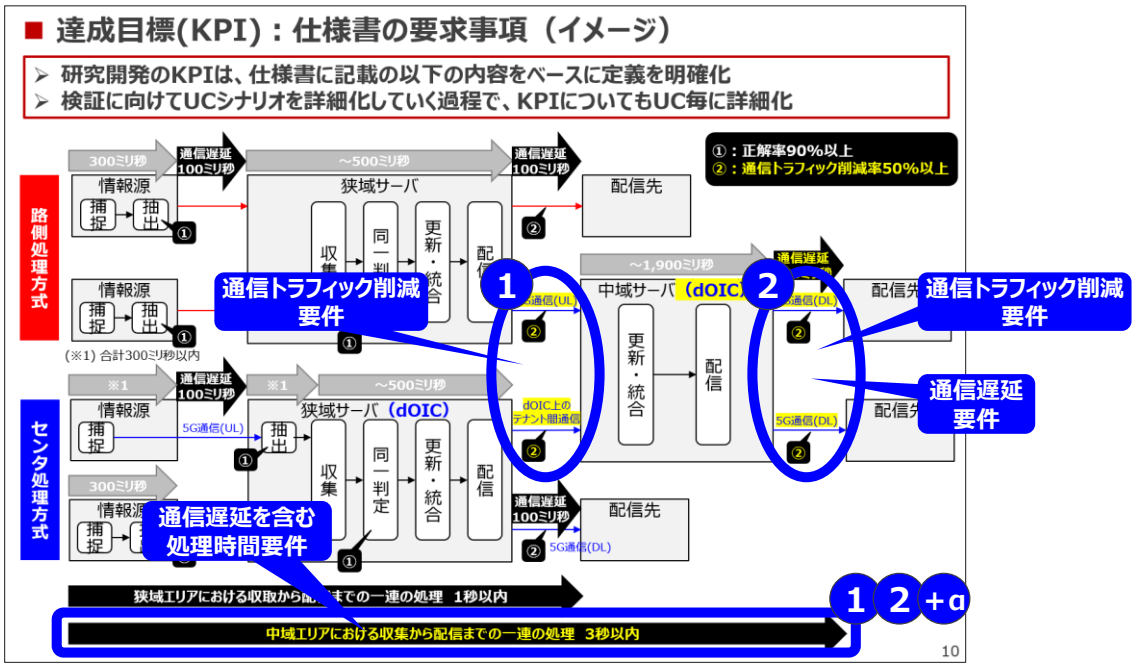


図 3.2.1②-3 中域ネットワークに係る KPI

(b) 通信トラフィック削減要件に係る設定

中域ネットワークに係る「通信トラフィック削減」の施策は以下の通りである。(図 3.2.1②-4)

- UL（①）：狭域サーバから中域サーバへの収集制御（収集対象の情報のフィルタリング）
- DL（②）：中域サーバから車両への配信制御（配信対象の情報のフィルタリング）

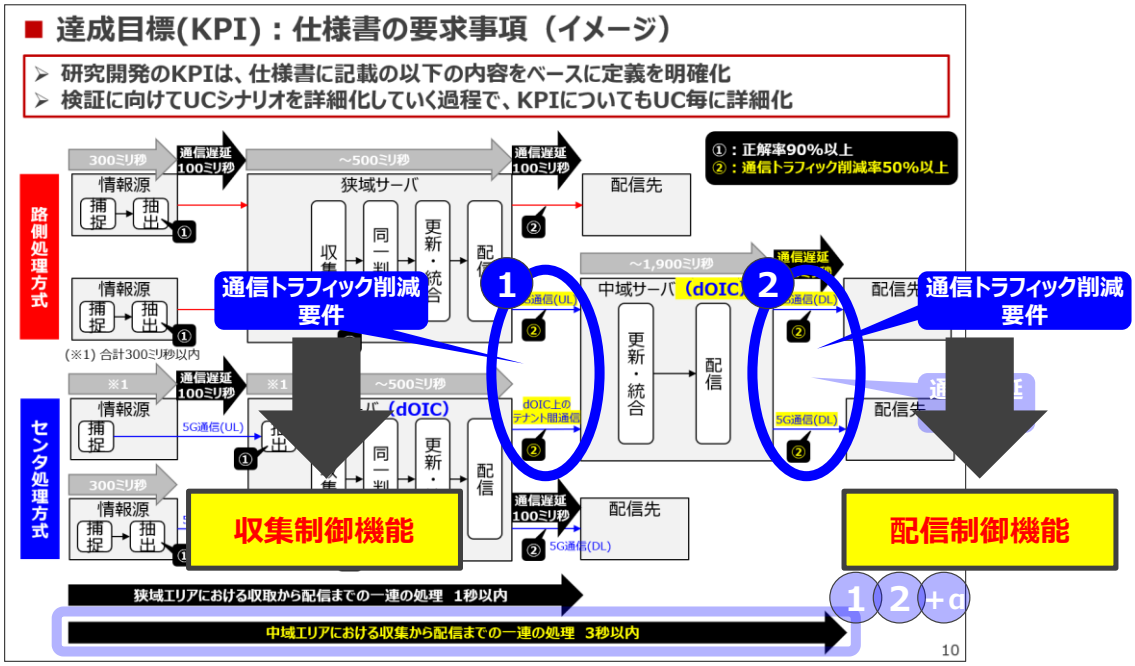


図 3.2.1②-4 中域ネットワークに係る「通信トラフィック削減」の施策

(c) 通信遅延・処理時間要件に係る設定

中域ネットワークに係る「通信遅延要件」は、今回検討したシステムアーキテクチャに基づく模擬システムを構築し、車両（車載 PC）への配信における通信遅延を実測して評価した。なお、模擬システムは、商用の 5G ネットワークやクラウド環境を活用して構築した。

（図 3.2.1②-5）



図 3.2.1②-5 中域ネットワークに係る通信遅延・処理時間要件

なお、通信遅延や処理時間の考え方について、以下に詳細を示す。（図 3.2.1②-6）

- 通信遅延については、ツール（iperf）を使ってパケット単位の通信遅延を測定した。
- 一連の処理時間については､配信 APP を使って End-to-End の処理時間を測定した。
- なお、検証にあたっては、1 基地局あたりに接続する車両の台数（や 1 基地局あたりにかかる通信負荷＝スループット)、接続する基地局の切替（ハンドオーバ）に要する時間等の考慮も必要。

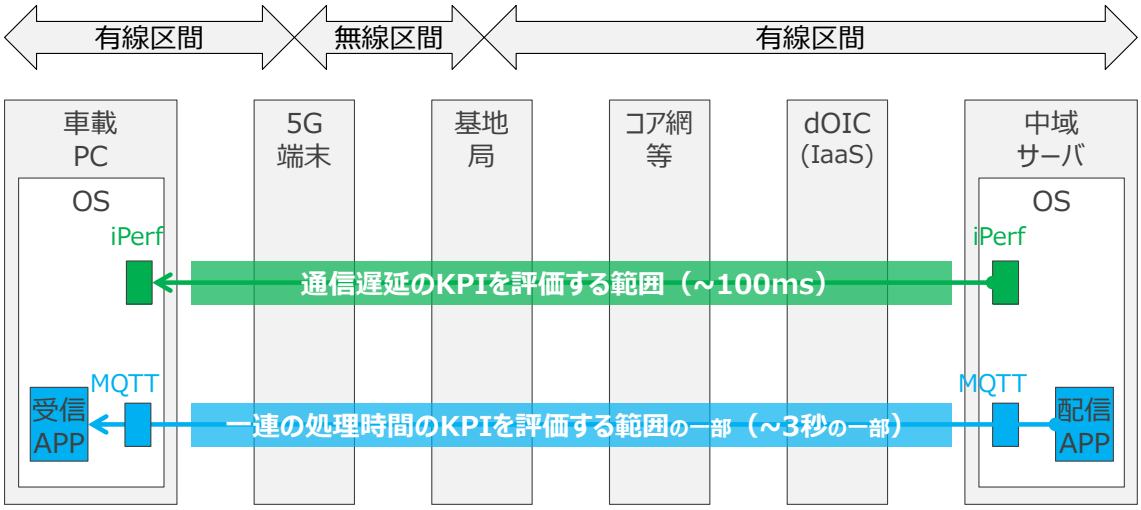


図 3.2.1②-6 中域ネットワークに係る通信遅延・処理時間の考え方

(ii) 実証バリエーション

中域単独検証においては、配信台数と配信範囲をバリエーションとした（図 3.2.1②-7）。

配信台数については、1 台、22 台、44 台の 3 パターンを用意し、通信遅延と通信トラフィックを検証・評価した。44 台は 1 基地局が収容する最大の車両台数として設定している。また、配信範囲については、200m^2（最小の配信範囲）、500m^2（配信先の車両が時速 30km/h で走っている場合）、1km^2（配信先の車両が時速 60km/h で走っている場合）の 3 つのパターンを用意した。これらの計 6 パターンについて、通信遅延と通信トラフィックを検証・評価した。

なお、本研究開発の支援するユースケース（経路変更・車線変更）のみを考えた場合には、配信データについては「物標指定」、具体的には情報の中でも「滞留」「停車」のステータスに限定した車両情報や障害物情報のみをフィルタリングしてもユースケースは実現できるものの、今後のユースケースの拡張性を見据え、「全物標」、具体的にはその他のステータスにある車両や、歩行者等も含めた物標の情報を配信した場合についても検証を実施した。

種別	検証バリエーション	(1)中域SVでの統合・配信【処理時間】	(2)中域SV⇒MQTTブローカ【処理時間】	(3)MQTTブローカ内処理【処理時間】	(4)MQTTブローカ⇒dOIC送信【処理時間】	(5)無線通信時間【処理時間】	(6)車載器分割パケット受信【処理時間】	合計 (1)～(6)
配信範囲(データ量)	200m ×200m (3物標)							
	500m ×500m (16物標)							
	1km ×1km (64物標)							
配信先台数	1台							
	22台							
	44台 (1基地局が収容する最大の車両台数)							

図 3.2.1②-7 中域単独検証におけるバリエーション

下記では、上記で説明した中域単独検証の前提条件を導出した過程を示す。

(a) 1基地局あたりのカバー面積

1基地局に接続する配信先車両台数を算出するために、市街地及び郊外の1基地局（セル）あたりのカバー面積を、図 3.2.1②-8 の通りに算出した。なお、5G については現状スモールセルのみが導入されているが、今後は LTE 同様にマクロセルが導入される見込みであることから、今回の机上検証においては 5G と LTE の 1 基地局あたりのカバー面積は同等と見なす。

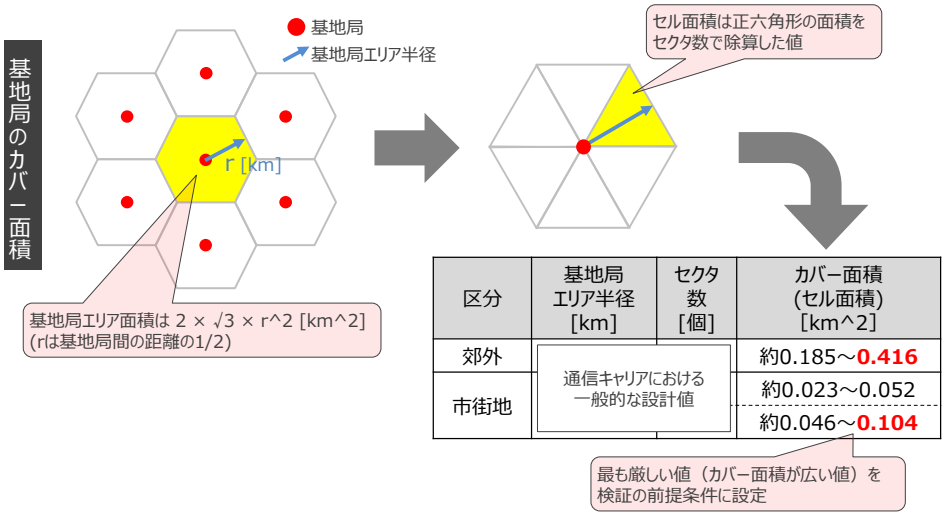


図 3.2.1②-8　1基地局あたりのカバー面積の導出

(b) 1 基地局あたりの配信先車両台数・通信トラフィックの導出

①(交通量想定)で整理した基礎データから市街地及び郊外の最大車両数を算出、これを 1 基地局あたりのカバー面積で乗算して、1 基地局あたりの最大配信先車両台数を算出した。

更に、これに車両 1 台あたりに配信するデータサイズを乗算して、1 基地局あたりの通信トラフィックを算出した。(図 3.2.1②-9)

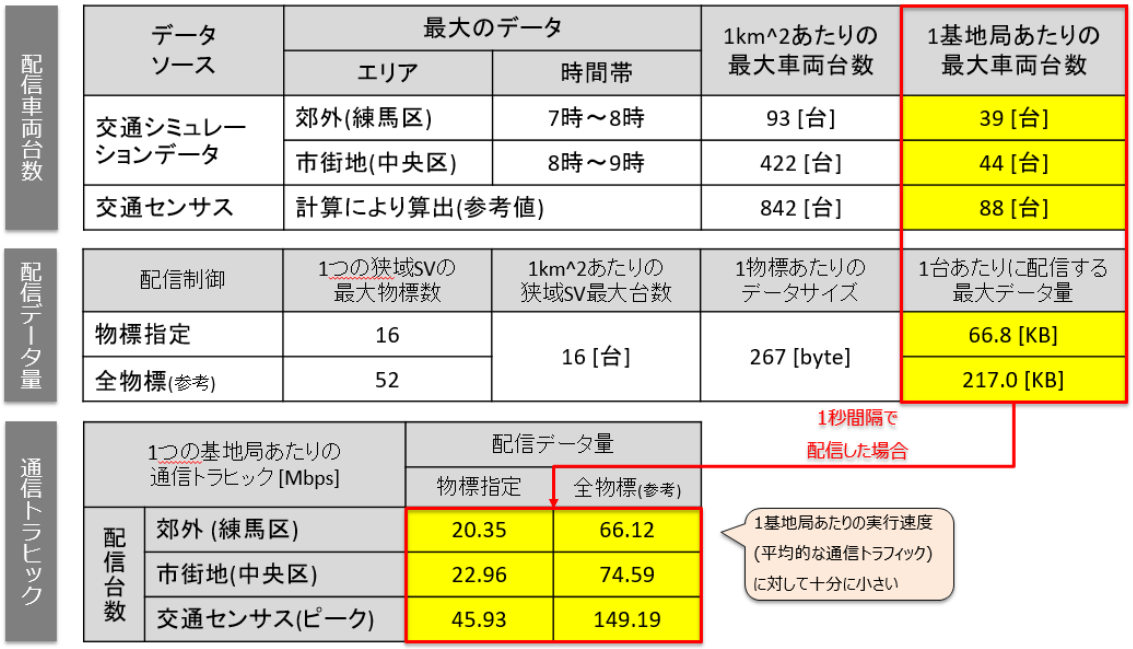


図 3.2.1②-9　1 基地局あたりの配信先車両台数・通信トラフィックの導出

1 基地局あたりの最大配信先車両台数については、計算によって得た 39 台（郊外）、44 台（市街地）のうち、より厳しい数字である 44 台を採用することとした。

また、通信トラフィックについては、計算の結果 1 基地局あたりの実行速度（平均的な通信トラフィック）に対して十分に小さいことが分かった。このことから、中域ネットワークシステムの通常の利用シーンにおいては、通信遅延は配信先車両台数や配信データ量の影響を受けないと見なすことが可能であることが確認された。(詳細は 4 章を参照)

これを踏まえ、お台場での実測値から通信遅延を見積ることとした。(CDF 等を KPI 評価に使用することとした。)[9]

[9] 詳細は第 4 章(第二部)を参照のこと。

3.2.2. ユースケース毎の詳細評価シナリオ

3.1.2 項において対象としたユースケース（UC）を評価するための詳細なシナリオ（詳細評価シナリオ）を検討した。狭域においては担当各社で同一のシナリオの実証実験を実施する際の試験条件の共通化を図ることも目的としている。

以下に中域、狭域それぞれのユースケースにおける詳細評価シナリオを示す。

なお、抽出車とは、センサによって検知される車両であり、支援車とは狭域サーバ、中域サーバから各種情報を配信される車両である。

① 中域　経路変更ユースケース（中 1－1）右折待ち滞留の評価シナリオ

自動運転車の円滑な経路変更のため、右折予定の交差点の右折待ちによる滞留情報の配信を確認するシナリオとして、右折待ちによる滞留（滞留なし）、右折待ちによる滞留（交差点手前で停車）、右折待ちによる滞留（交差点で停車後に右折）の計 3 パターンを設定した。（表 3.2.2①1）

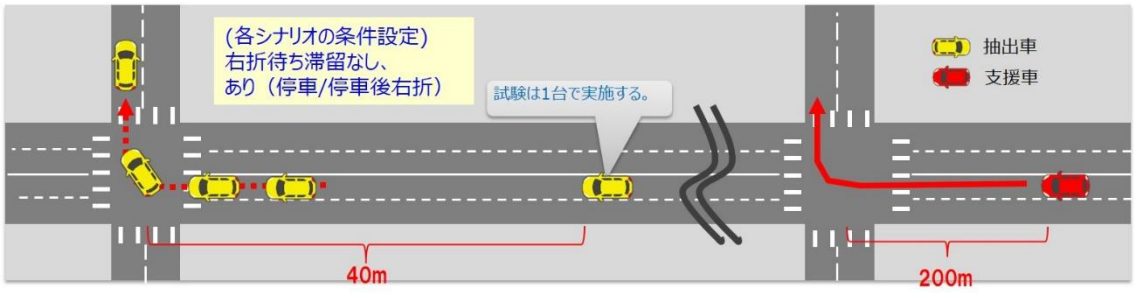


図 3.2.2①-1 中域ユースケース 1－1　経路変更シナリオ

表 3.2.2①-1 中域ユースケース 1　経路変更評価シナリオ

	シナリオ名	シナリオ説明	確認観点
UC 中 1-1-1	右折待ちによる滞留（滞留なし）	抽出車：右折予定交差点から 40m 時速 10km 以上で交差点に進入、スムーズに右折する 支援車：右折予定交差点より手前の交差点から 200m 滞留情報が配信されないことを確認、交差点を直進する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されないことを確認する。
UC 中 1-1-2	右折待ちによる滞留（交差点手前で停車）	抽出車：右折予定交差点から 40m 時速 10km 以上から徐々に減速し、交差点の手前で停車する 支援車：右折予定交差点より手前の交差点から 200m 滞留情報の受信を確認、交差点を右折する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されることを確認する。
UC 中 1-1-3	右折待ちによる滞留（交差点で停車後に右折）	抽出車：右折予定交差点の停止線 30 秒以上停車後、時速 10km 以上で交差点を右折する 支援車：右折予定交差点より手前の交差点から 200m 滞留情報を受信後、滞留の解消を確認、交差点を直進する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されることを確認する。 その後、滞留が解消されることを確認する。

② 中域　経路変更ユースケース（中 1－2）障害物・事故による滞留の評価シナリオ

①の経路変更ユースケース右折待ち滞留の派生として、進行方向の交差点付近の障害物、事故による滞留情報の配信を確認するシナリオとして、障害物による滞留、事故による滞留の計 2 パターンを設定した。

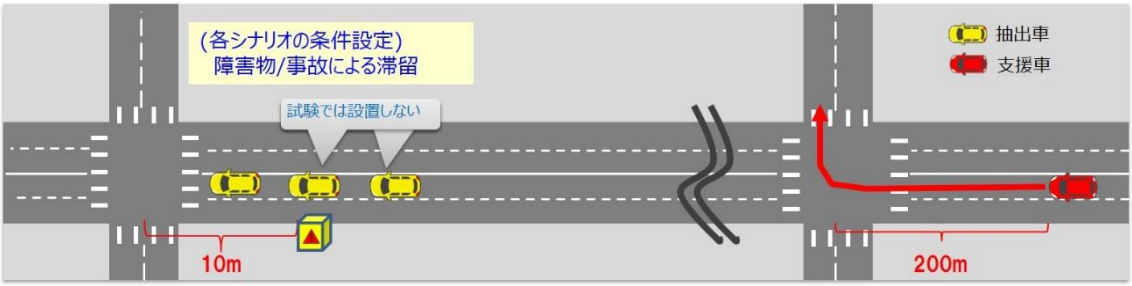


図 3.2.2②-1 中域ユースケース 1－2　経路変更シナリオ（イメージ）

③ 中域　車線変更ユースケース（中２）障害物・事故による滞留の評価シナリオ

自動運転車の円滑な車線変更のため、進行方向の交差点付近の駐停車車両情報の配信を確認するシナリオとして、断続的な路上駐車（一時駐車）、断続的な路上駐車（路上駐車）、断続的な路上駐車（路上駐車発車）の計３パターンを設定した。

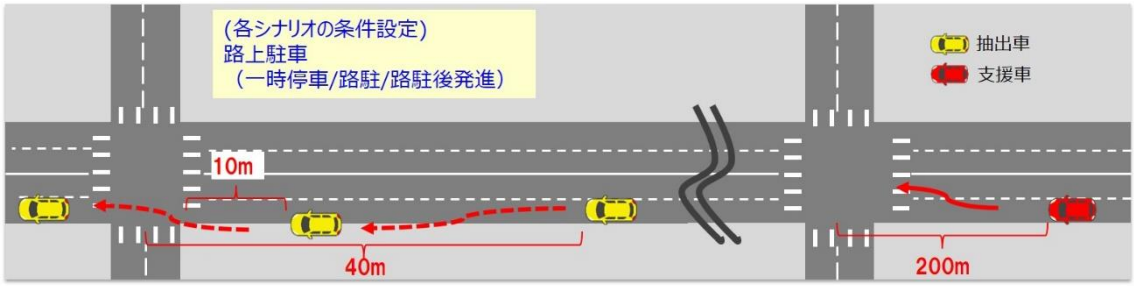


図 3.2.2③-1 中域ユースケース２　障害物・事故シナリオ（イメージ）

表 3.2.2③-1 中域ユースケース２　障害物・事故評価シナリオ

	シナリオ名	シナリオ説明	確認観点
UC 中 2-1	断続的な路上駐車（一時停車）	抽出車：交差点から 40m　左車線 時速 10km 以上で走行中　交差点 10m 手前の路肩に一時停車 30 秒以内に発車する 支援車：手前の交差点から 200m　左車線 滞留情報が配信されないことを確認、車線を維持する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されないことを確認する。
UC 中 2-2	断続的な路上駐車（路上駐車）	抽出車：交差点から 40m　左車線 時速 10km 以上で走行中に路肩に停車　30 秒以上待機する。 支援車：手前の交差点から 200m　左車線 滞留情報を確認、右車線に変更する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されることを確認する。
UC 中 2-3	断続的な路上駐車（路上駐車発車）	抽出車：交差点から 10m　路肩 路肩に 30 秒以上停車後、時速 10km 以上で発車する 支援車：手前の交差点から 200m　左車線 滞留情報を受信後、滞留の解消を確認、車線を維持する	狭域サーバから物標情報を収集し、支援車両に滞留・停車車両として配信されることを確認する。 その後、継続的な路上駐車が解消されることを確認する。

④ 狭域　対向車線直進車両ユースケース（狭 1）の評価シナリオ

本ユースケースについては、対向直進車が 1 台の場合と 2 台の場合でシナリオを作成した（図 3.2.2④-1、表 3.2.2④-1）。対向直進車が 1 台の場合を必須とし、2 台の場合はオプションとする。

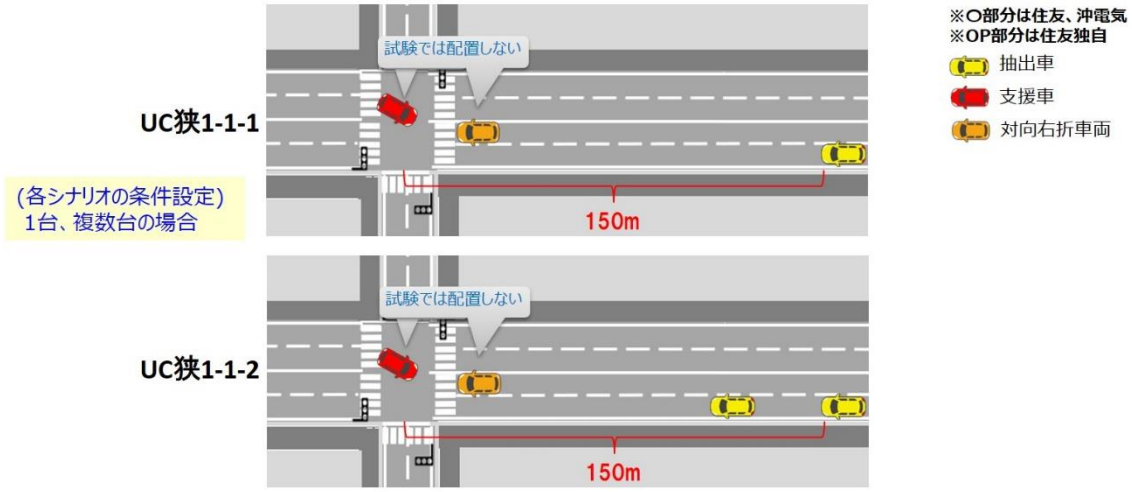


図 3.2.2④-1　狭域ユースケース 1　対向車線の車両直進シナリオ（イメージ）

表 3.2.2④-1　狭域ユースケース 1　対向車線の車両直進評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	備考
UC 狭 1-1-1	〇※	0 人	0 名	0 台	1 台	支援車：実際の試験では配置しない 対向右折車：実際の試験では配置しない 抽出車：速度 40km/h　車線中央
UC 狭 1-1-2	OP	0 人	0 名	0 台	2 台	支援車：実際の試験では配置しない 対向右折車：実際の試験では配置しない 抽出車：速度規定なし　車線中央

※〇部分は住友電気工業株式会社、沖電気工業株式会社、※OP 部分は住友電気工業株式会社

⑤ 狭域　右折先道路渋滞ユースケース（狭 2）の評価シナリオ

自動運転車（支援車）の前方交差点での右折時に、右折先の渋滞状況を把握して、円滑な右折を支援するユースケースを評価する。通常、右折先の道路に右折車が進入できるスペース（図 3.2.2⑤-1 の青色部）があれば、安全に右折することができる。本評価においては、右折先の進入スペースの状況として、右折先渋滞等のため車両が停止、徐行、車両がない場合の 3 パターンを設定した（図 3.2.2⑤-1、表 3.2.2⑤-1）。

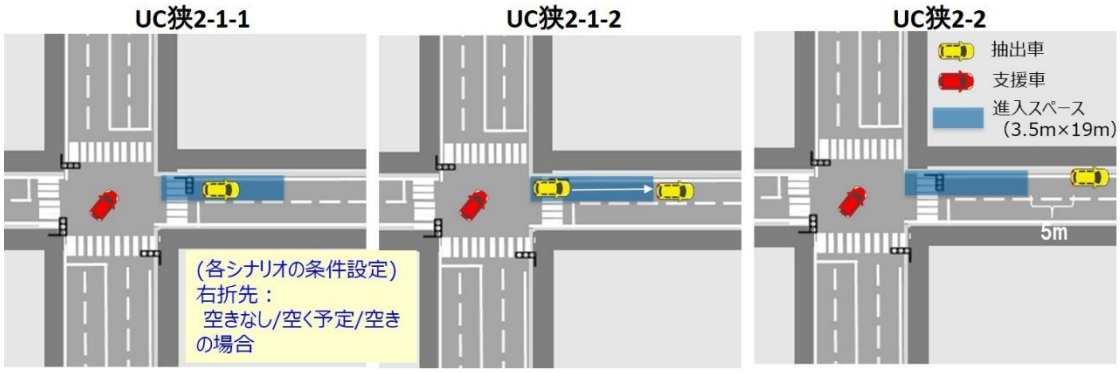


図 3.2.2⑤-1 狭域ユースケース 2　右折先道路渋滞シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑤-1 狭域ユースケース 2　右折先道路渋滞評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	備考
UC 狭 2-1-1	○	0 人	0 名	1 台	1 台	支援車： 速度 40 km/h→徐行 スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車（停止）速度：0km/h 配置：進入スペース中心
UC 狭 2-1-2	OP	0 人	0 名	1 台	1 台	支援車： 速度 40 km/h→徐行 スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車（走行）徐行 スタート：進入スペース左端に車両後部の位置から走行し、進入スペース外まで
UC 狭 2-2	○	0 人	0 名	1 台	1 台	支援車： 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車（停止）： 速度　0km/h 配置：進入スペースから 5m（車両の車長を想定）

⑥ 狭域　交差点横断（接近、横断）ユースケース（狭 3－1、3－3）の評価シナリオ

自動運転車（支援車）の前方交差点での右折時に、右折先の歩行者や自転車の交差点横断状況を把握して、円滑な右折を支援する。歩行者や自転車の横断行動として、交差点への接近（狭 3－1）、横断歩道横断（狭 3－3）を一連の行動として評価を実施した。なお、自動運転車の自律センサから見通し外となる一例として、交差点から 5m（駐停車禁止区間）離れた位置に遮蔽車両を設置した。

評価シナリオとしては、歩行者が 1 人の場合、自転車が 1 名の場合、歩行者 1 人＋自転車 1 名の場合、さらに自転車 2 名の場合、歩行者 2 人の場合を設定した（図 3.2.2⑥-1、表 3.2.2⑥-1）。

(1) 歩行者 1 人の場合、自転車 1 名の場合、歩行者 1 人＋自転車 1 名の場合

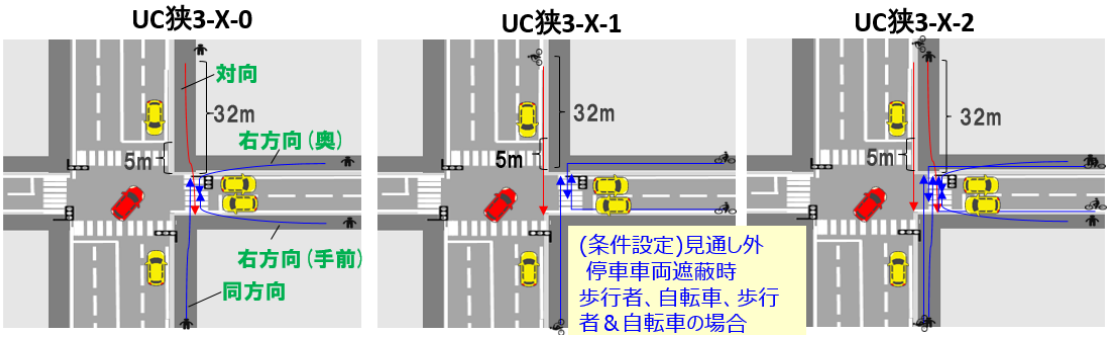


図 3.2.2⑥-1 狭域ユースケース 3　交差点横断シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑥-1 狭域ユースケース 3　交差点横断評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	抽出の方向	備考
UC 狭 3-1-0	○	1 人歩道中央を歩行	0	1	1	M：対向 OP:同方向 右方向（奥/手前）	人 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド:横断完了 支援車 速度 40 km/h→徐行：　スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-0	○						
UC 狭 3-1-1	○	0	1 名 自転車は路側帯を走行	1	1	M：対向 OP:同方向 右方向（奥/手前）	自転車 スタート：交差点角から 32m（15km/h），エンド：横断完了 支援車 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-1	○						

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	抽出の方向	備考
UC 狭 3-1-2	○	1 人 歩道中央を歩行	1 名 自転車は路側帯を走行 歩行者の横方向の間隔 1.25m	1	1	M: 対向 OP:同方向 右方向（奥/手前）	人 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド:横断完了 自転車 スタート：交差点角から 32m（15km/h），エンド：横断完了 支援車 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-2	○						

(2) **自転車 2 名の場合**

複数の自転車を区別し検知できるか確認のため、自転車が 2 名の場合について、縦走、並走パターンを設定した、さらに並走パターンについては、他方の自転車の追い越しパターンを設定した（図 3.2.2⑥-2、表 3.2.2⑥-2)。

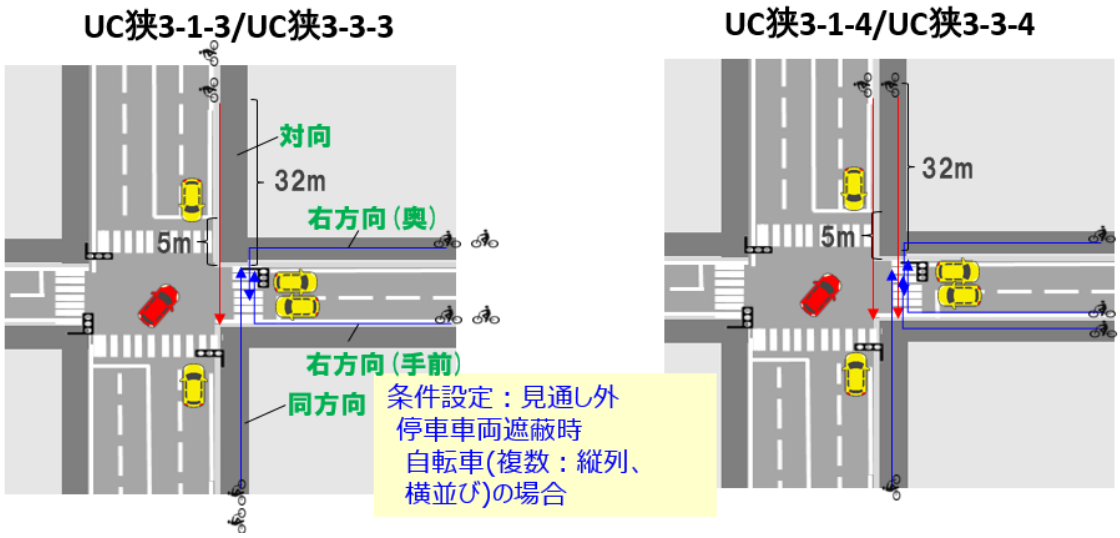


図 3.2.2⑥-2 狭域ユースケース 3　交差点横断（自転車 2 名）シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑥-2 狭域ユースケース 3　交差点横断（自転車 2 名）評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	抽出の方向	備考
UC 狭 3-1-3	OP	0	2 名 縦間隔 15km/h →4m※	1	1	M:対向 OP:その他の方向	自転車 速度:路側帯走行 15km/h、路側帯走行 15km/h スタート:交差点角から 32m(上記速度)、エンド:横断完了 支援車 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-3	OP					M:対向 OP:その他の方向	
UC 狭 3-1-4	OP	0	2 名 横間隔 1.25m 1 名は路側帯 1 名は歩道中央	1	1	M:対向 OP:その他の方向	自転車 速度:路側帯走行 15km/h、歩道走行 10km/h スタート:交差点角から 32m(上記速度)、エンド:横断完了 支援車 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-4	OP					M:対向 OP:その他の方向	
UC 狭 3-1-5	OP	0	2 名 横間隔 1.25m 1 名は路側帯 1 名は歩道中央			M:対向	自転車 速度:路側帯走行 15km/h (4.16m/s) 、歩道走行 10km/h (2.78m/s) 、スタート:交差点角から 32m (上記速度) 、エンド:横断完了、歩道走行自転車がスタートし 3 秒後に路側帯自転車スタート （スタートから 32m 付近で追い越し） 支援車 速度 40 km/h→徐行：スタート：停止線から 126m、自転車 2 名の横断を待って、右折し通過 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-3-5	OP					M:対向	

(3) 歩行者 2 人の場合

複数の歩行者を区別し検知できるか確認のため､歩行者が 2 人の場合について､縦並び、横並びパターンを設定した、さらに横並びパターンについては、他方の歩行者の追い越しパターンを設定した。

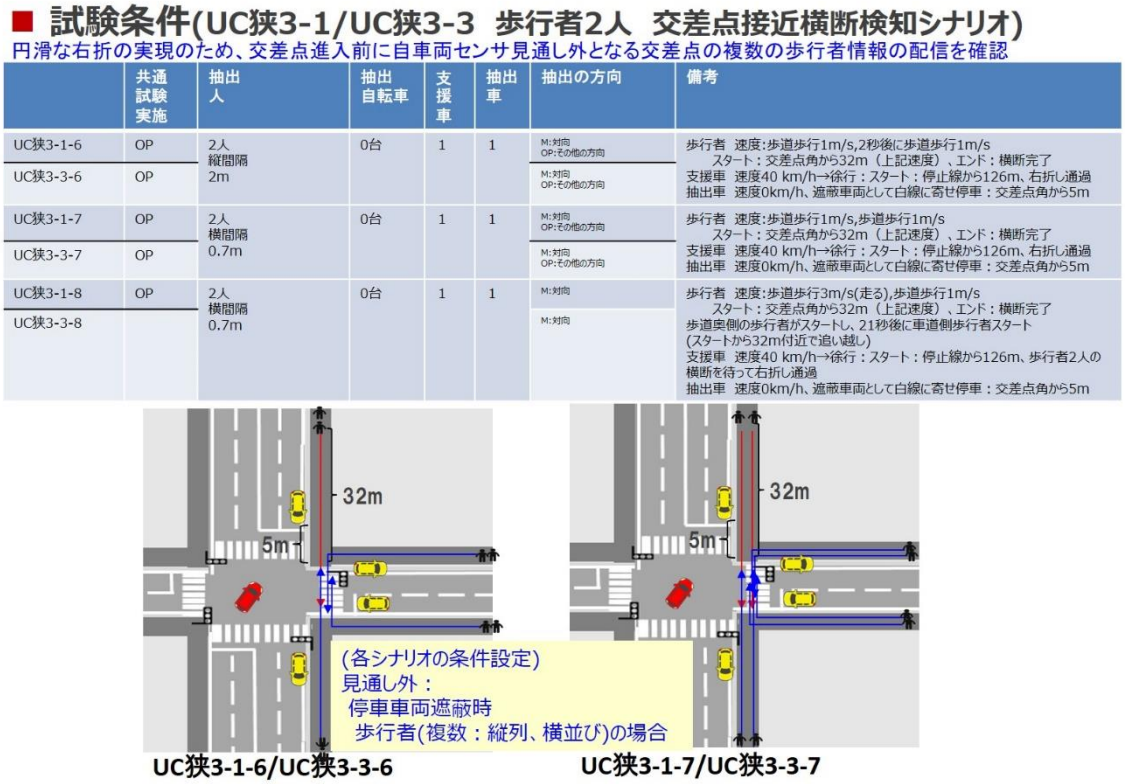


図 3.2.2⑥-3 狭域ユースケース 3　交差点横断（歩行者 2 人）シナリオ（イメージ）

⑦ 狭域　交差点横断（横断待ち）ユースケース（狭 3－2）の評価シナリオ

自動運転車の前方交差点での右折時に、右折先の歩行者や自転車の交差点横断状況を把握して、円滑な右折を支援するため、歩行者の横断行動として、交差点横断待ちのシナリオについて、歩行者が 1 人の場合、2 人の場合のパターンを設定した（図 3.2.2⑦-1、表 3.2.2⑦-1）。

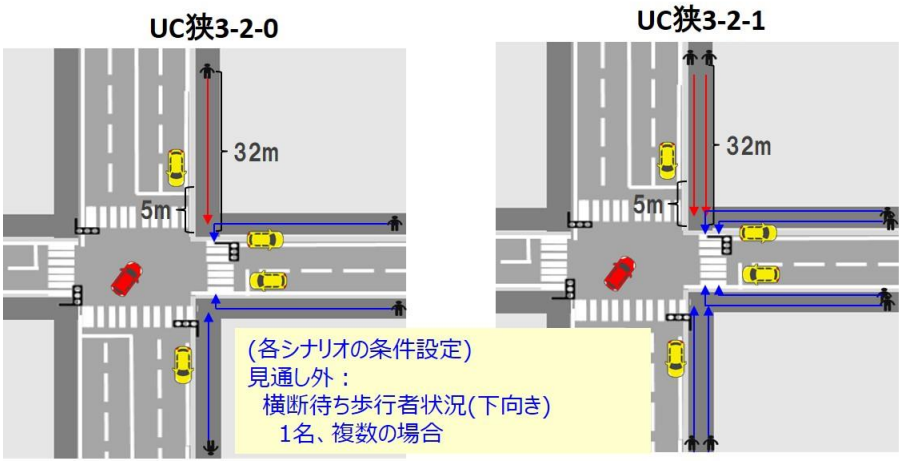


図 3.2.2⑦-1 狭域ユースケース 3　歩行者の交差点横断（横断待ち 1）シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑦-1 狭域ユースケース 3　交差点横断（横断待ち 1）評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	抽出の方向	備考
UC 狭 3-2-0	OP	1 人	0 名	1	1	M:対向 OP:その他の方向	人 スタート:交差点から 32（1m/s）、エンド：身体が自動運転車の右折先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 配信車 右折位置停車（速度 0km/h） 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-2-1	OP	2 人 横間隔 0.7m	0 名	1	1	M:対向 OP:その他の方向	人 1 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド：身体が自動運転車の右折先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 人 2 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド：身体が右折先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 ※人 1、人 2 は横並びで歩行 配信車 右折位置停車（速度 0km/h） 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m

さらに、歩行者の交差点横断待ち時に歩行者の体の向きが、横断方向を向いておらず（自動運転車の直進先の横断歩道向き）、自動運転車の右折先横断歩道を横断する予定のない歩行者を判定する場合のシナリオを設定した（図 3.2.2⑦-2、表 3.2.2⑦-2）。

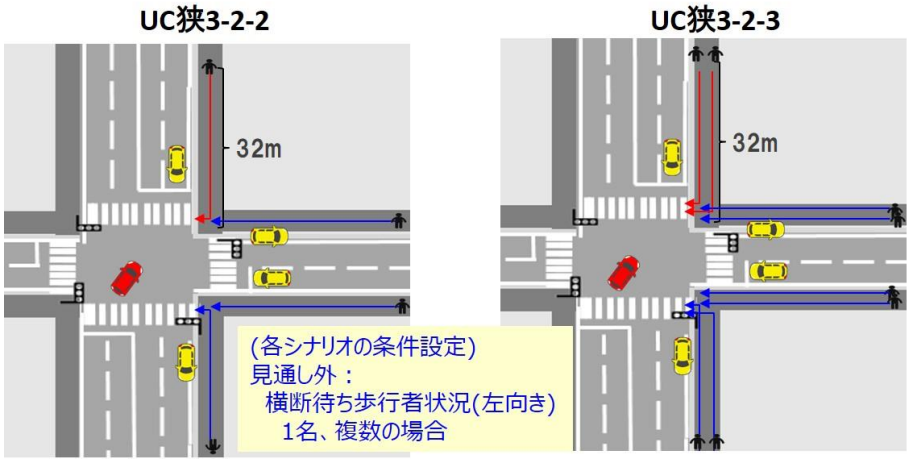


図 3.2.2⑦-2 狭域ユースケース 3　歩行者の交差点横断（横断待ち２）シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑦-2 狭域ユースケース 3　歩行者の交差点横断（横断待ち２）評価シナリオ

	共通試験実施	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	抽出の方向	備考
UC 狭 3-2-2	OP	1 人	0 名	1	1	M:対向 OP:その他の方向	人 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド：身体が自動運転車の直進先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 配信車 右折位置停車（速度 0km/h） 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m
UC 狭 3-2-3	OP	2 人 横間隔 0.7m	0 名	1	1	M:対向 OP:その他の方向	人 1 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド：身体が自動運転車の直進先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 人 2 スタート:交差点から 32m（1m/s）、エンド：身体が直進先横断歩道向きで待機エリア停止 10 秒後 ※人 1、人 2 は横並びで歩行 配信車 右折位置停車（速度 0km/h） 抽出車 速度 0km/h、遮蔽車両として白線に寄せ停車：交差点角から 5m

⑧ 狭域　障害物検知ユースケース（狭 4）の評価シナリオ

自動運転車の前方道路の障害物を把握して、円滑な通過を支援するための障害物検知シナリオとして、検知対象を停止車両、段ボール箱、走行車両の 3 パターンを設定した（図 3.2.2⑧-1、表 3.2.2⑧-1）。

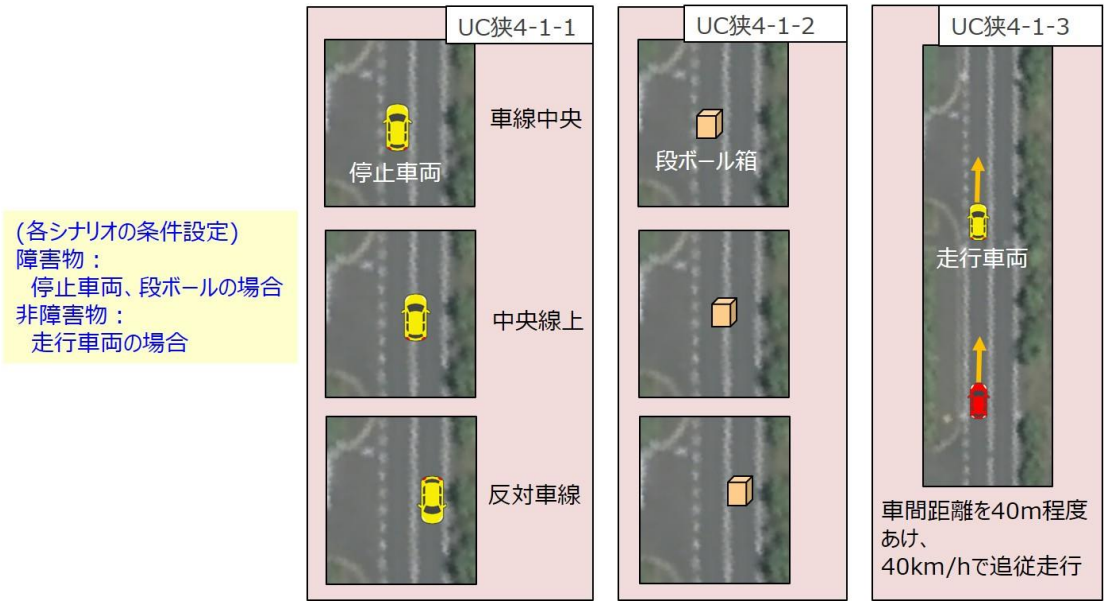


図 3.2.2⑧-1 狭域ユースケース 4　障害物検知シナリオ（イメージ）

表 3.2.2⑧-1 狭域ユースケース 4　障害物検知シナリオ

	共通試験実施	抽出物	抽出車	備考
UC 狭 4-1-1	OP	0	1 （静止）	車線中央、中央線上、反対車線を実施
UC 狭 4-1-2	OP	1 （段ボール箱）	0	車線中央、中央線上、反対車線を実施
UC 狭 4-1-3	OP	0	1 （走行）	車線中央、中央線上、反対車線を実施

4. 研究開発評価・検証（株式会社 NTT ドコモ）

本章では NTT ドコモの評価・検証内容について説明する。当社は、第 3 章に示したシステム構成(図 3.1.5.①-1)の中域エリアを担当するが、最初に当社システムのアーキテクチャ(4.1 節)を示した後、総合検証を見据えて 5G 通信エリア内の公道で実施した接続確認(4.2 節)、5G 通信エリア内の公道で実施した総合検証(4.3 節)について述べる。なお、本章内の一部の図において、説明を補足する目的で Google マップ(https://www.google.co.jp/maps/)を使用する。

4.1. アーキテクチャ詳細

中域サーバシステムは、狭域サーバが収集した動的情報をリアルタイムな交通状況として収集、統合し、必要な範囲の情報のみを自動運転車両側の情報と共有可能な形式で配信するシステムである。

中域サーバからの配信データにより、自動運転車両が自車両のセンサの死角、検知外の制御に必要な対象物の位置、属性等の状況を俯瞰的に把握することを支援する。

なお、本システムが想定する自動運転車両は、ルート設定およびルート変更を自律的に行う車両であり、本システムが支援することにより、交差点への円滑な進入・通過および交差点手前での事前の車線変更、経路変更が可能となる。

中域サーバにおける支援方法としては、自動運転車両による事前の車線変更、経路変更を支援するため狭域ネットワーク等の情報収集元から、中域ユースケースで必要な情報（障害物情報、車両位置・速度情報等） のみに絞って、共通インターフェースを介して情報を収集・統合し、交通流を阻害する停車車両や滞留車両情報等を識別し、車両前方の状況（自車位置を起点とした数交差点分の情報）を連続的に配信する。

また、本システムの機能を利用し、狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る研究に関する KPI の検証および評価を行う。中域サーバシステムの概要イメージを、以下の図 4.1-1 システムの概要に示す。

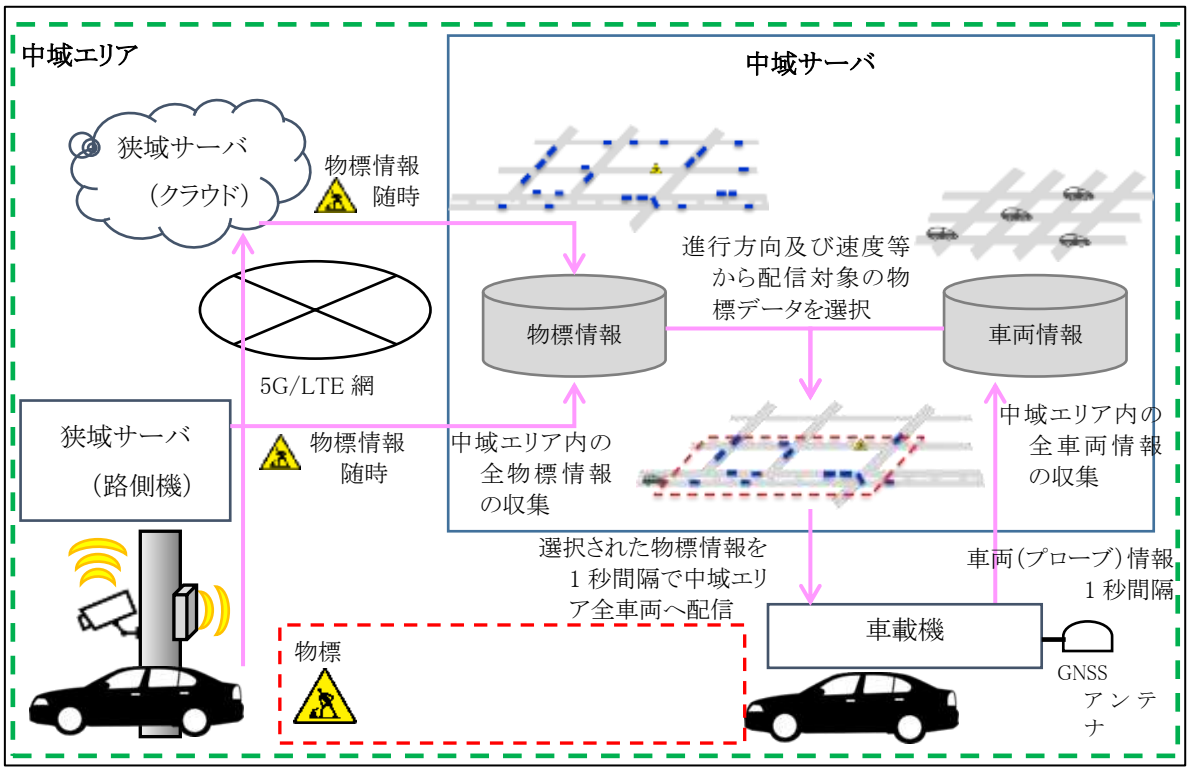


図 4.1-1 システムの概要

4.1.1. ハードウェア構成

中域サーバシステムのハードウェア構成を図 4.1.1-1 に示す。

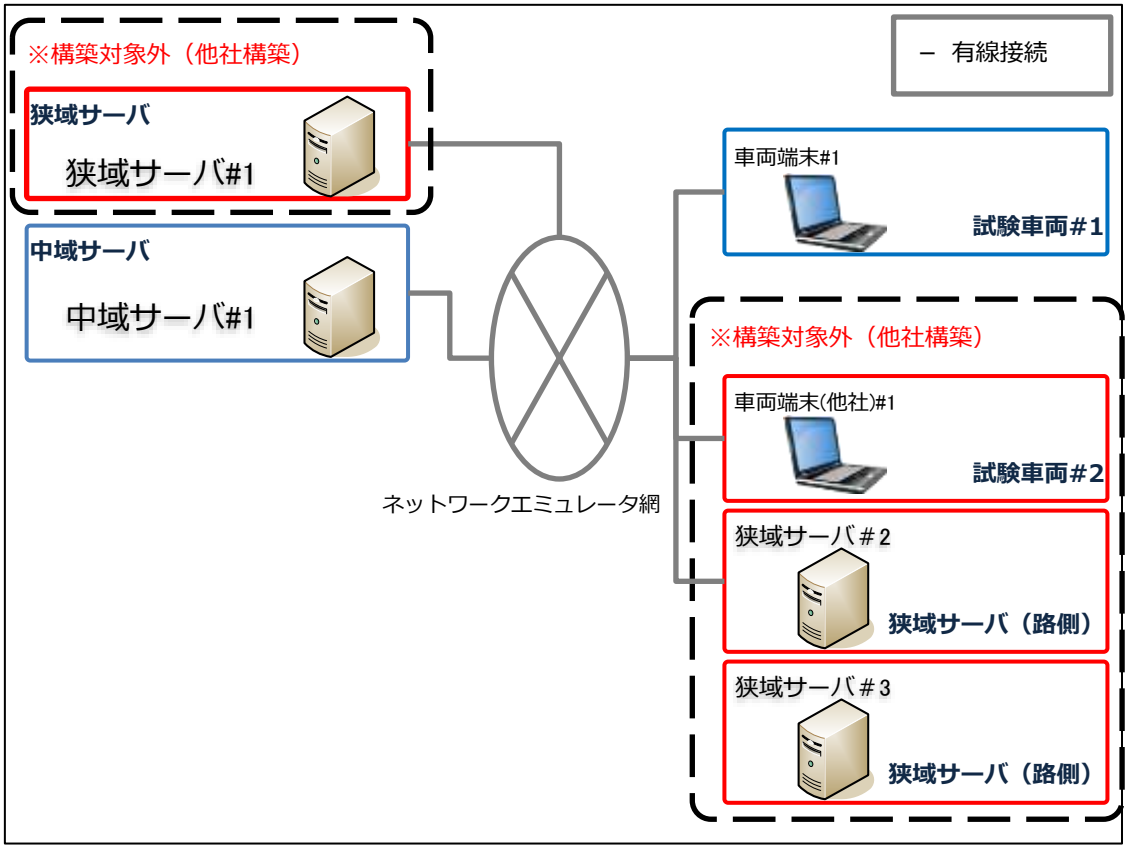


図 4.1.1-1 ハードウェア構成

また、ハードウェアスペックを表 4.1.1-1 に示す。

表 4.1.1-1 ハードウェアスペック一覧

項番	項目	中域サーバ		車両端末	
1	ホスト名	V2X-ITS01		CLI01	
2	OS	Ubuntu 18.04.4 LTS		Windows10 Pro	
3	カーネル	5.3.0-40-generic		-	
4	CPU	Intel(R) Core(TM) i9-9900K CPU @ 3.60GHz/8core 16thread		Intel(R) Core(TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz/4core 8thread	
5	グラフィックカード	NVIDIA GeForce RTX 2080 (8GB)		Intel(R) UHD グラフィックス 620	
6	メモリ容量	32GB		8GB	
7	ディスク容量	SSD 1	512GB	HDD	500GB
		SSD 2	512GB(未使用)		
8	タイムゾーン	Tokyo		Tokyo	
9	キーボードレイアウト	日本語－日本語		日本語－日本語	
10	BIOS パスワード入力	有効（起動時）		有効（起動時）	
11	インストール先	インストール先	SSD 1	インストール先	HDD
		パーティション構成	自動構成	パーティション構成	自動構成
		ディスク管理機能	LVM	ディスク管理機能	LVM
		ファイルシステム	ext4	ファイルシステム	ext4

4.1.2. ソフトウェア構成

中域サーバシステムのソフトウェア構成を、以下の図 4.1.2-1 ソフトウェア構成に示す。



図 4.1.2-1 ソフトウェア構成

4.1.3. インターフェース定義

① インターフェース一覧

中域サーバシステムのインターフェースと TOPIC の一覧を以下の表 4.1.3.①-1 に示す。TOPIC の詳細は、表 4.1.3.②(2)(ⅱ)-1 を参照。

表 4.1.3①-1　インターフェース一覧

項番	インターフェース	送信元	送信先	TOPIC
1	車両情報収集	中域クライアントアプリケーション	中域サーバアプリケーション／可視化 UI	MIDDLEAREA/003/****
2	物標情報配信	中域サーバアプリケーション	中域クライアントアプリケーション／可視化 UI	VEHICLE/003/****
3	物標情報収集	狭域サーバ	狭域連携アプリケーション	MIDDLEAREA/004/****
4	狭域情報収集	狭域サーバ	狭域連携アプリケーション	MIDDLEAREA/005/****
5	狭域情報配信	狭域連携アプリケーション	狭域クライアントアプリケーション(外部システム)	VEHICLE/005/****

② 転送方式

(1) サーバ構成

中域サーバシステムは、MQTT ブローカーを中域サーバに構築し、狭域サーバおよび車載端末は中域サーバと通信する。

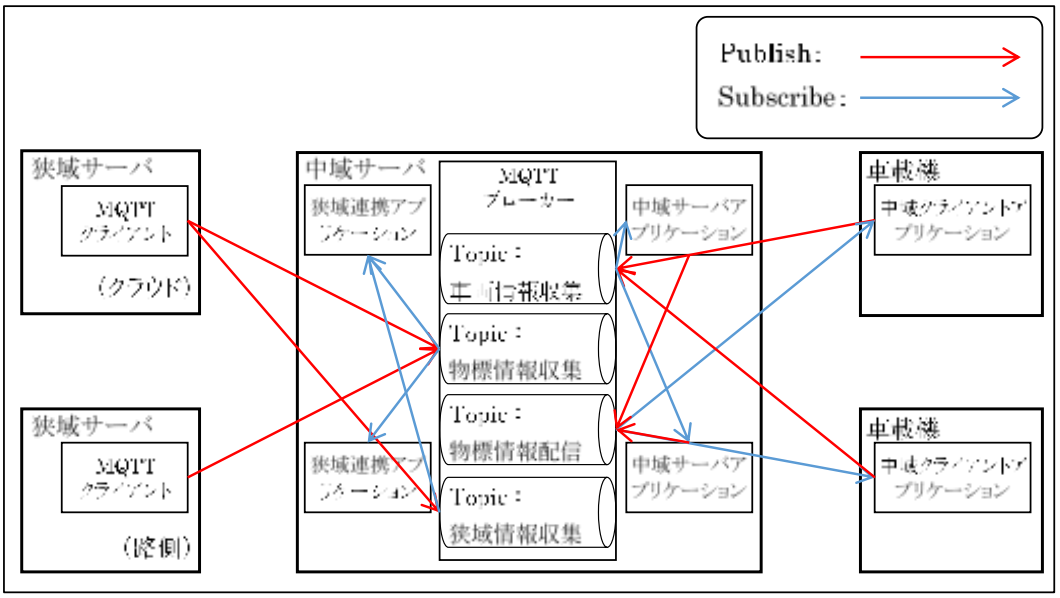


図 4.1.3.②(1)-1 サーバ構成

(2) 伝送プロトコル

接続方式は、「MQTT V3.1」および「MQTT V3.1.1」に準拠する。

本システムの方針として、特別な場合を省き、QoS は“0”、Retain は“なし”とする。

本システムはリアルタイムの情報を扱うシステムであり、短周期で継続的に集配信を行うため、情報の送達確度より、情報の鮮度を優先する。

(i) 各種設定

中域サーバシステムでは、MQTT の各種設定を以下の表 4.1.3②(2)(ⅰ)-1、表 4.1.3②(2)(ⅰ)-2 に示す。

表 4.1.3②(2)(ｉ)-1 MQTT の設定一覧

項番	設定	値	説明
1	QoS	0	メッセージの送達保障レベル 0 は、メッセージが最高 1 回配信されるが、送達保障は行わない
2	Retain	なし	トピックごとの最新メッセージ保存可否 最新メッセージを保存しない
3	Will	なし	Publisher 切断時の Subscriber への通知要否 通知不要
4	最大メッセージサイズ	64Kb	※最大 256MB 転送データ量の検証結果により変更の可能性がある

但し、物標情報収集制御機能については、狭域サーバ接続時に狭域連携アプリケーションから狭域サーバに対し、物標情報の配信周期を指定する必要があるので、以下の QoS は“1”、Retain は“あり”の設定とする。

表 4.1.3②(2)(ｉ)-2 物標情報収集制御機能の MQTT 設定一覧

項番	設定	値	説明
1	QoS	1	メッセージの送達保障レベル 1は、メッセージが最低 1 回配信されるが、重複して届く可能性あり
2	Retain	あり	トピックごとの最新メッセージ保存可否 最新メッセージを保存する
3	Will	なし	Publisher 切断時の Subscriber への通知要否 通知不要
4	最大メッセージサイズ	64Kb	※最大 256MB 転送データ量の検証結果により変更の可能性がある

(ii) TOPIC の体系

中域サーバシステムでは、トピックの体系を以下の表 4.1.3.②(2)(ⅱ)-1 のように定める。

表　4.1.3.②(2)(ⅱ)-1　TOPIC 体系一覧

項番	階層	説明	備考
1	第一階層	宛先	中域:MIDDLEAREA　車両:VEHICLE
2	第二階層	エリア ID	中域(車両⇔中域):00000003　中域(中域⇔狭域):00000004(00000000～00000002 は予約)
3	第三階層	個体 ID	車両番号または狭域サーバ番号:00000001～(00000000 は予約)
4	第四階層	メッセージ種別	車両情報:VEHICLEDATA　物標情報:OBJECT

4.1.4. 各システムの機能概要

① 物標情報収集制御機能

狭域連携アプリケーションは、中域エリア内の全狭域サーバからの物標情報を収集制御する。物標情報収集制御機能の概要を以下に示す。

- 狭域サーバからの物標情報収集間隔については、狭域サーバの範囲内で、一定時間滞留を検出し続けた場合に収集頻度を下げる。
- 収集間隔は通常の場合 1s 毎とし、一定時間滞留を検出し続けた場合 60s 毎とする。
- 滞留を検出し続ける時間の閾値は 5min とする。
- 滞留の検出がなくなった場合、収集間隔を通常に戻す。
- 収集間隔および滞留を検出し続ける時間の閾値はパラメータにて変更可能とする。

② 物標情報統合機能

狭域連携アプリケーションは複数の狭域サーバから収集した物標情報を統合する。

物標情報の統合は、駐停車車両を抽出する方式と、全物標を統合する方式をパラメータにて変更可能とする。

(1) 駐停車車両を抽出する方式

(i) エリアを指定する方式

狭域連携アプリケーションは複数の狭域サーバから収集した物標情報から、車両を抽出する。駐停車車両の抽出（エリアを指定する方式）の概要を以下に示す。

- 車両の抽出は、物標情報の受信毎に受信した物標に対して行う。
- 抽出した車両は状態を識別し、データベースに格納する。
- 滞留車両および駐停車車両の識別は、以下の前提を考慮する。
- 前提が変化した場合、再設計する。

また、駐停車車両の抽出（エリアを指定する方式）の前提を以下に示す。

・ 移動体はユニークな ID で特定できない。
・ 停止し続けている物標は常時検出し続けられるとは限らない。
・ 狭域サーバからの物標情報収集間隔は可変である。

上記の前提から、物標 ID による車両の追跡ができないため、滞留車両および駐停車車両の識別は以下の方針で行う。

・ 受信した閾値以下の車両の位置が、交通流が悪い場所である場合に、左記車両を滞留車両および駐停車車両と判定する。
・ 交通流が悪い場所とは、過去一定時間、一定量、滞留車両および駐停車車両が観測された場所とする。
・ 受信した閾値以下の車両の位置が、交通流が悪い場所ではない場合、左記車両は一時停止車両とみなし、車両へは配信しない。
・ 信号待ちの除外は考慮しない（本システムでは信号待ちで停車したかどうかは判定できない）。
・ 滞留車両は 10km/h 以下（一般道の渋滞の定義に従う）、駐停車車両は GPS 測位誤差を勘案し 3km/h 以下とする。

滞留車両および駐停車車両の抽出のイメージを、図 4.1.4②(1)(ⅰ)-1 滞留車両および駐停車車両の抽出イメージに示す。

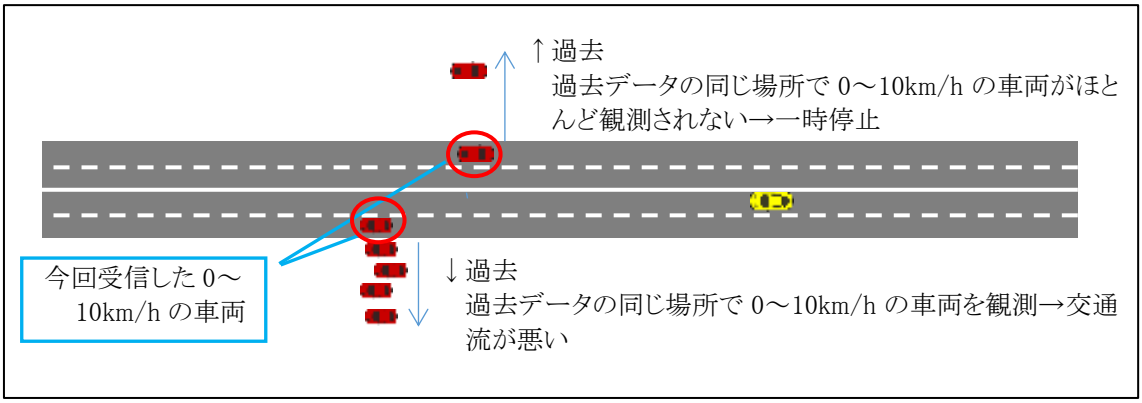


図 4.1.4②(1)(ⅰ)-1 滞留車両および駐停車車両の抽出イメージ

履歴を観測する期間、滞留車両の速度の閾値および駐停車車両の速度の閾値は、パラメータにて変更可能とする。

物標情報の “識別情報” が 「事故」 の物標、および “物標種別” が 「障害物」 の物標は、それだけで交通の妨げになるので、滞留車両および駐停車車両の識別は実施せずに車両へ配信する。

(ⅱ) 車線を指定する方式

駐停車車両の抽出（エリアを指定する方式）の概要を以下に示す。

- 交通流が悪い場所を検出するときに、基準点からの相対距離（基準点から半径 200m 以内）および基準点からの道のり距離を利用して検出する。
- 判定対象車両と同一の基準点からの相対距離の前後左右上下一定の範囲内または車線前後の一定の範囲内に、過去一定時間、一定量、滞留車両および駐停車車両が観測された場所を交通流が悪い場所とする。

基準点からの相対距離および基準点からの道のり距離を利用した滞留車両および駐停車車両の抽出イメージを以下の図 4.1.4②(1)(ⅱ)-1 に示す。

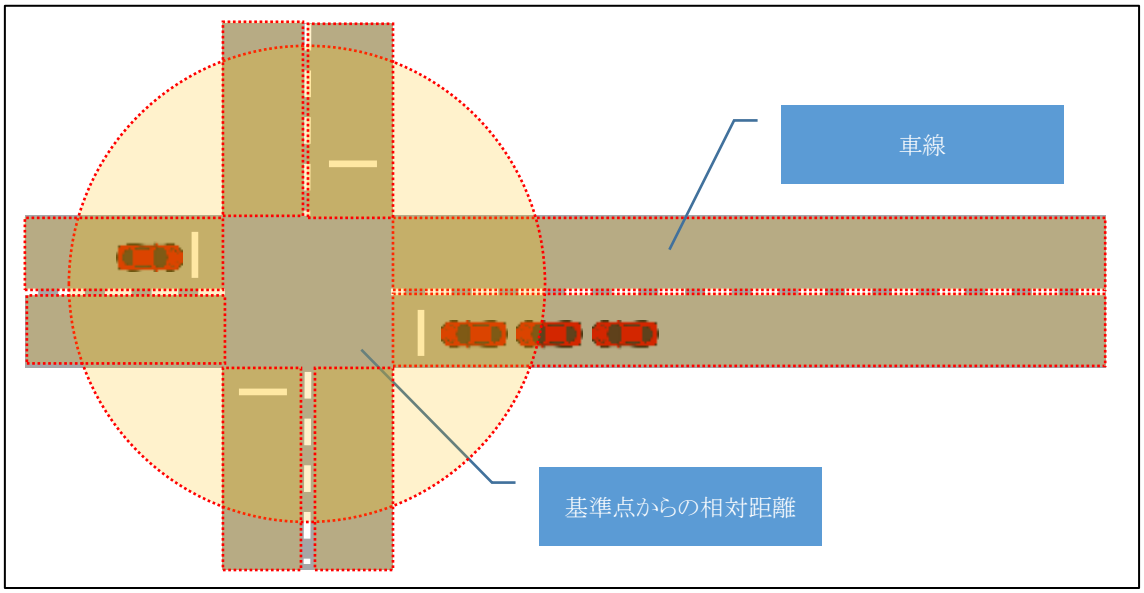


図 4.1.4②(1)(ⅱ)-1 滞留車両および駐停車車両抽出イメージ（車線指定）

(2) 全物標を統合する方式

狭域連携アプリケーションは複数の狭域サーバから収集した物標情報を車両へ配信する。

(3) 滞留車両および駐停車車両の識別を駐停車車両を抽出する方式

(1)駐停車車両を抽出する方式に従って行い、左記以外（走行車両）は「その他」として識別する。

③ 物標情報配信制御機能

中域サーバアプリケーションは、配信する物標を車両ごとに選択する方式と、中域内の全物標を配信する方式をパラメータにて選択可能とする。配信する物標を車両ごとに選択する方式については、以下にエリアを指定する方式と車線を指定する方式の概要を示す。

(1) 配信する物標を車両ごとに選択する方式

配信する物標を車両ごとに選択する方式には、エリアを指定する方式と車線を指定する方式が存在する。以下に、それぞれの概要を示す。

(i) エリアを指定する方式

配信する物標を車両ごとに選択する方式のうち、エリアを指定する方式の概要を以下に示す。

- 配信する物標情報は、車両の速度、位置および方向から 1min 間に進む距離に基づいて算出した範囲で選択する。ただし、範囲の下限を 200m×200m とする。

・ 物標情報の配信間隔は 1s とする。
・ 物標情報を選択する範囲、範囲の下限および配信間隔は、パラメータにて変更可能とする。

物標情報を選択する範囲のイメージを、4.1.4③(1)(ⅰ)-1 に示す。

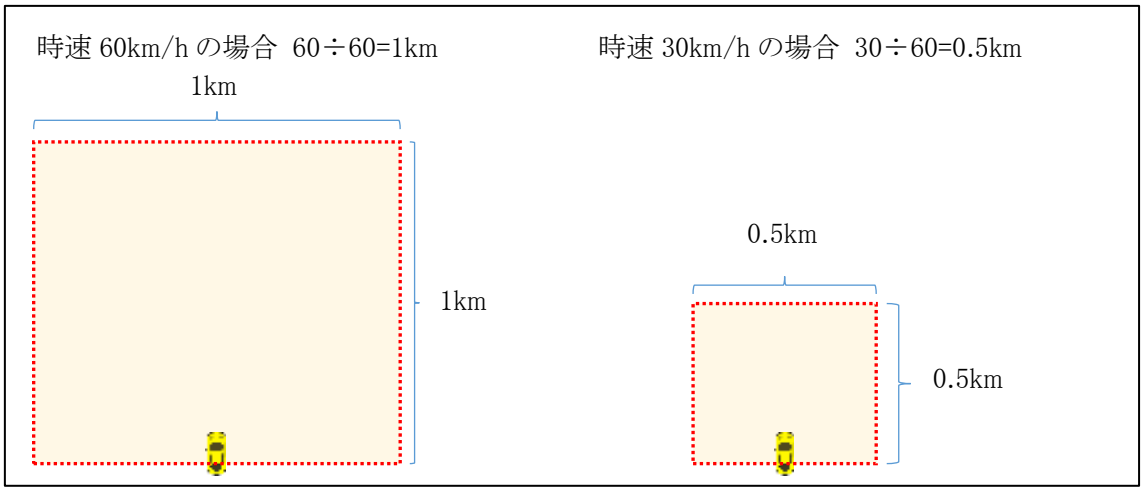


図 4.1.4③(1)(ⅰ)-1 物標情報を選択する範囲

(ⅱ) 車線を指定する方式

配信する物標を車両ごとに選択する方式のうち、車線を指定する方式の概要を以下に示す。

・ 進行方向と移動速度を加味した配信する物標情報の範囲の決定方法について、エリアを指定する方式と同じく、当該車両が 1min 間に進む距離に基づいて算出する。
・ 車両位置が車道リンク沿いの場合、車道リンク進行方向に繋がる基準点を、配信する物標情報の範囲の中で検索する。
・ 検索で取得した基準点を始点とした車道リンクを検索する。この時、基準点への侵入経路となる車道リンクのみ省く。
・ 検索して得た車道リンクの終点の基準点を、配信する物標情報の範囲の中で検索し、この処理を最初の基準点に近いノードから順に繰り返すことで、想定される車道リンクと基準点を得ていく。
・ なお、車両位置が車道リンク上ではなく基準点付近の場合は、基準点への侵入経路が不明なため、この場合のみ基準点を始点とした車道リンクすべてを検索する。

想定される車道リンクと基準点の取得イメージを、以下の 4.1.4③(1)(ⅱ)-1 に示す。

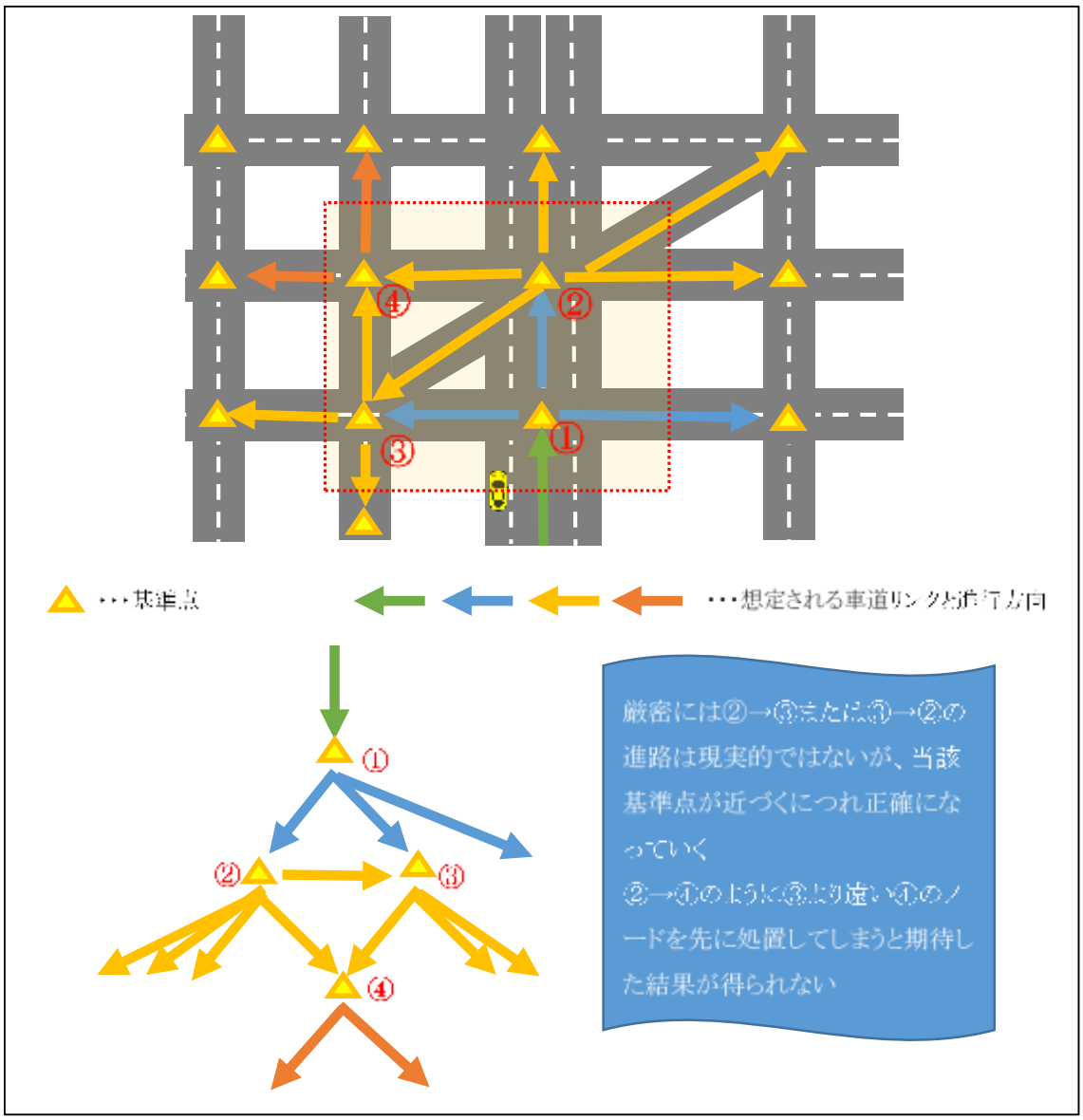


図 4.1.4③(1)(ⅱ)-1 想定される車道リンクと基準点の取得イメージ

上記で得られた想定される車道リンクと基準点上の物標情報を車両へ配信する。

ただし、自車両が走行中の車道リンク上の物標情報については、自車両より後方の物標を除外する。

また、以下の 4.1.4③(1)(ⅱ)-2 で示すような、配信する物標情報の範囲から途中の基準点が外れる場合、本方式では図中の点線部分の車道リンクが抽出できず、この範囲の物標情報が配信できない課題がある。

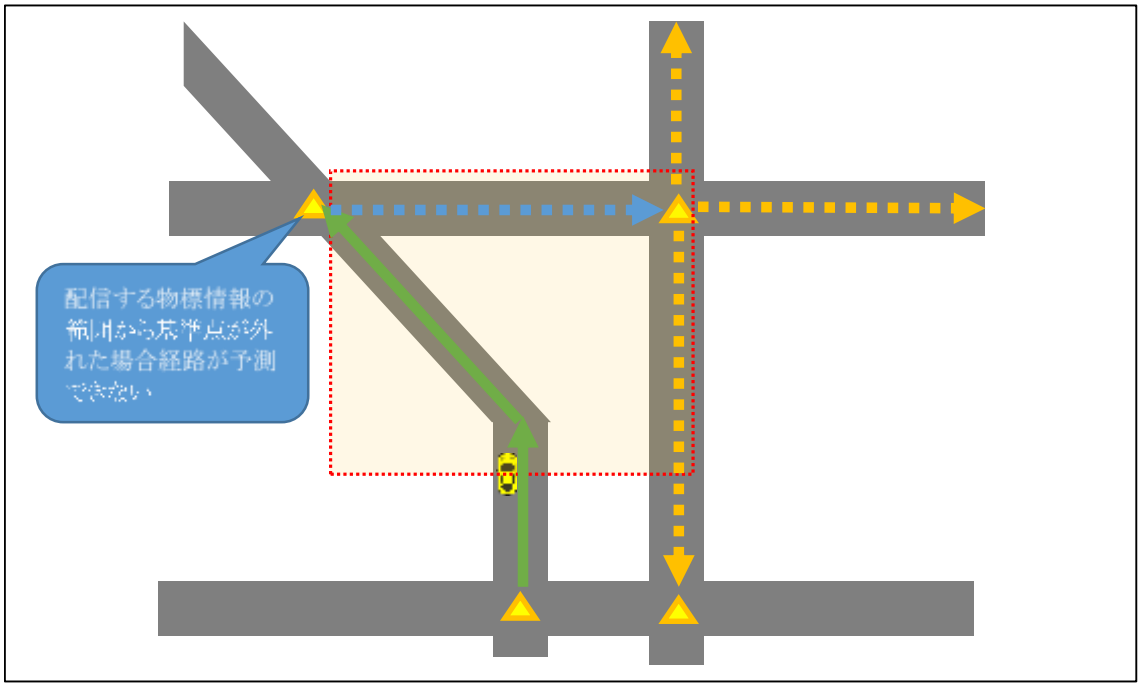


図 4.1.4③(1)(ⅱ)-2 物標情報が正しく配信できないケース

(2) 全物標を配信する方式

中域サーバ内の物標情報を選択せずに配信する。

④ 可視化 UI 機能

選択された車両の位置と物標情報の配信状況を、ブラウザを利用してリアルタイムで表示する。

可視化 UI 機能の画面一覧を以下の表 4.1.4④-1 に示す。

表 4.1.4④-1 画面一覧

項番	画面名	説明
1	地図表示画面	全車両の位置または指定車両 1 台の位置、配信された物標情報および物標を取得した区域を地図上に表示する。

初期表示時のレイアウトを図 4.1.4④-1 に示す。

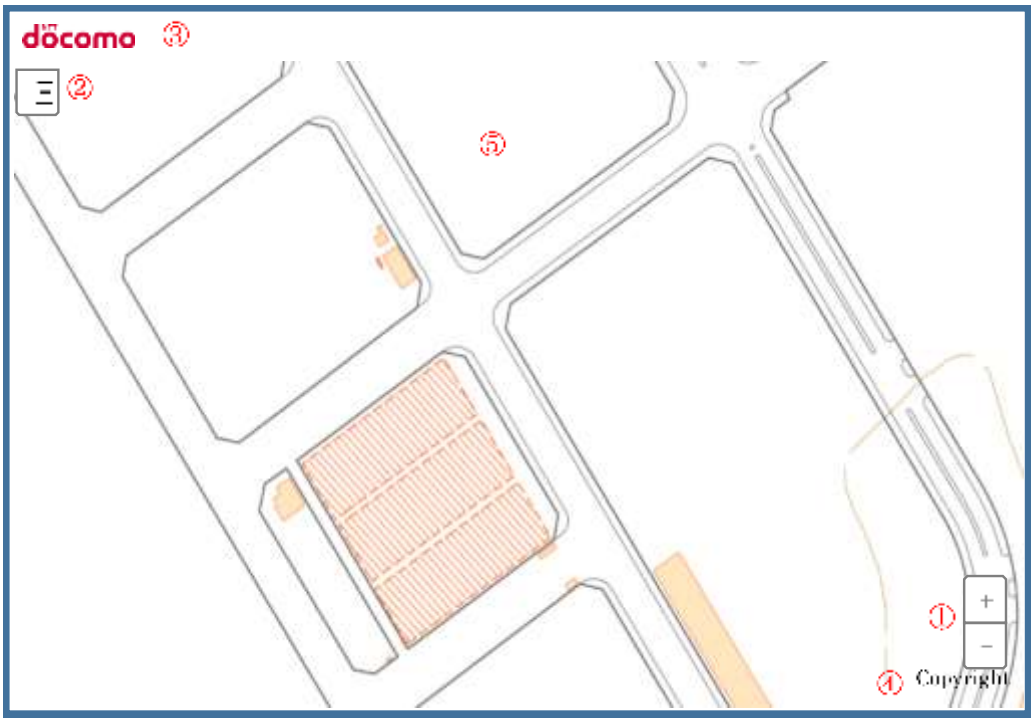


図 4.1.4④-1 初期表示レイアウト

地図表示画面の初期表示時の画面項目の一覧を以下の表 4.1.4④-2 に示す。

表 4.1.4④-2 地図表示画面　初期表示画面項目一覧

項番	項目名	項目種別	説明
1	拡大縮小ボタン	ボタン	地図の拡大縮小ボタン ※縮尺範囲については地図表示ライブラリに準拠
2	スライドメニューボタン	ボタン	メニューがスライド表示される
3	ロゴ	画像	
4	コピーライト	ラベル	地図のコピーライト
5	地図	地図	起動時の地図表示位置及び地図倍率は事前に DB に登録してある座標を表示する ※地図については地図データ(タイル)に準拠

地図表示画面のメニュー表示時レイアウトを図　4.1.4④-2 地図表示画面メニュー表示時レイアウト 4.1.4④-2 に示す。

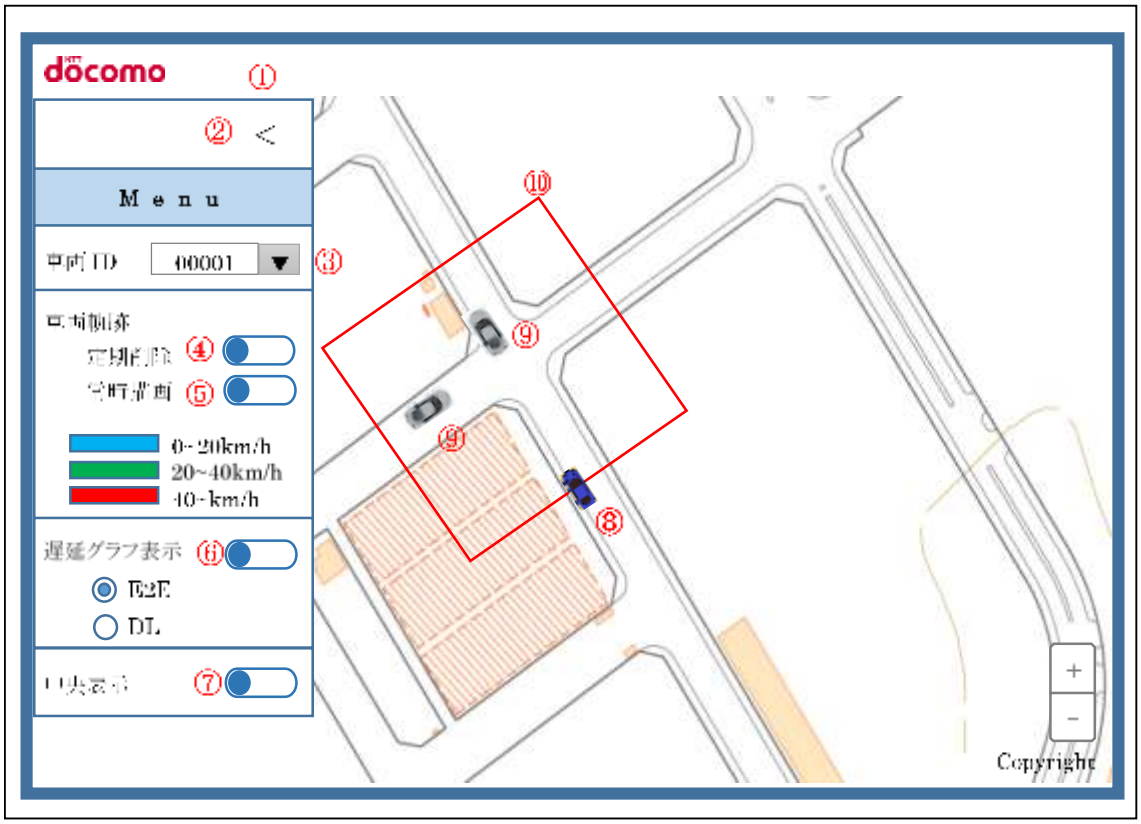


図　4.1.4④-2 地図表示画面メニュー表示時レイアウト

地図表示画面のメニュー表示時画面項目の一覧を以下の表　4.1.4④-3 に示す。

表 4.1.4④-3 地図表示画面 メニュー表示時画面項目一覧

項番	項目名	項目種別	説明
1	メニュー		
2	メニュー閉じるボタン	ボタン	スライド表示されたメニューを閉じる
3	車両 ID 選択リスト	ドロップダウンリスト	車両 ID および「All」をリスト表示する
4	車両軌跡描画　定期削除スライドボタン	ボタン	車両の速度の軌跡描画を行う 軌跡は一定時間経過後古い軌跡より削除する(⑤ボタンオンと排反) 項目名またはスライドボタンにマウスオーバーさせると、「一定時間経過後古い軌跡から削除されていきます」と言うツールチップを表示する
5	車両軌跡描画　常時描画スライドボタン	ボタン	車両の速度の軌跡描画を行う 軌跡は常時描画し続ける(④ボタンオンと排反) 項目名またはスライドボタンにマウスオーバーさせると、「軌跡が常時描画されます」と言うツールチップを表示する
6	遅延グラフ表示スライドボタン	ボタン	遅延グラフを表示する 下のラジオボタンで表示させたいグラフを選択する
7	中央表示スライドボタン	ボタン	対象車両を常に表示画面中央に固定表示させる 車両 ID 選択にて All（全車両）が選択された場合、機能は無効になる
8	車両アイコン	画像	
9	物標情報アイコン	画像	物標情報には車両や障害物、事故がある
10	物標を取得した区域	地図ポリゴン	配信制御機能によって決定された矩形

なお、本システムの可視化 UI 機能は、中域クライアントアプリによる GPS 時刻同期を前提に設計しているため、車両端末上で利用する事を想定している。

車両端末以外で可視化 UI 機能を利用する場合は、車両端末と可視化 UI を利用する端末間の時刻同期が必要になる。時刻同期の方法としては、以下の 2 つがある。

- 一時的に GPS アンテナを接続した車載アプリを起動させることによる時刻同期
- NTP による時刻同期

4.1.5. 各システムの機能詳細

本パートでは、4.1.4 章で示した各システムの機能概要に対応する形で、各システムの機能詳細を示す。

まず、中域アプリケーションのインスタンス構成を図 4.1.5-1 中域アプリケーションのインスタンス構成に示す。

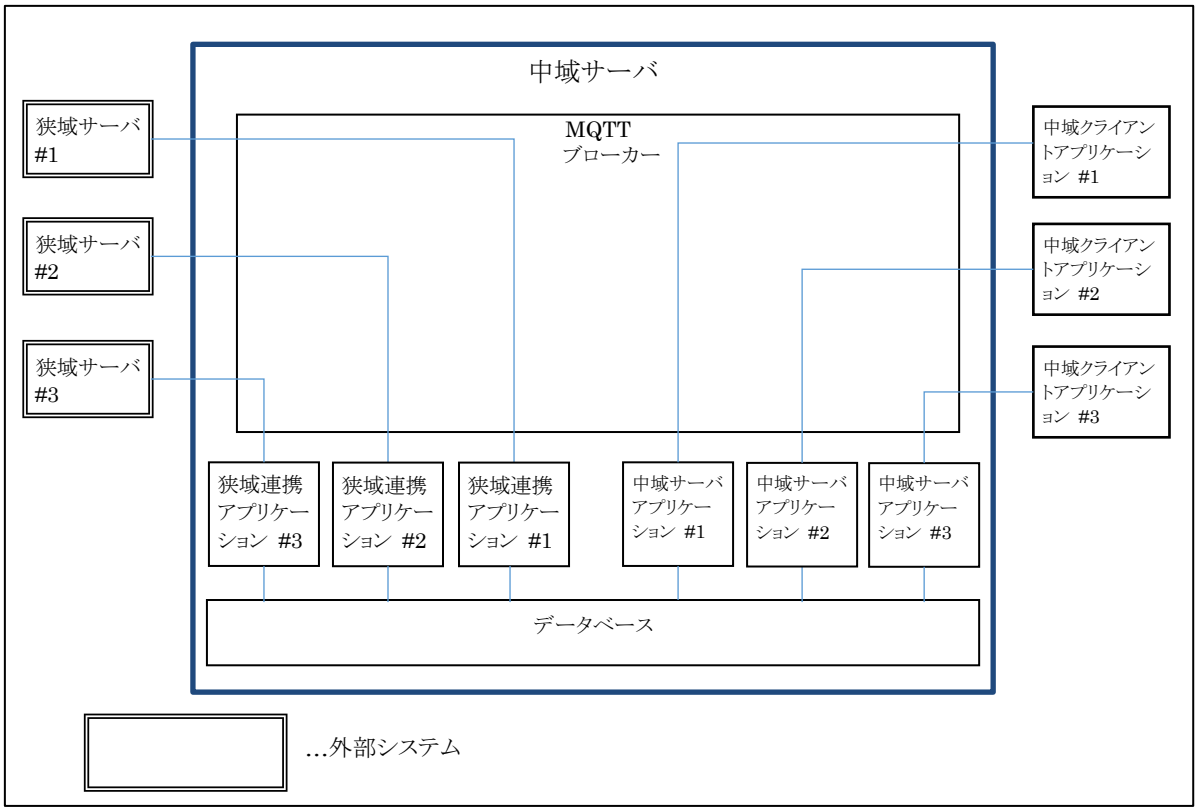


図 4.1.5-1 中域アプリケーションのインスタンス構成

次に、中域サーバシステムの全体シーケンスを、図 4.1.5-2 に示す。

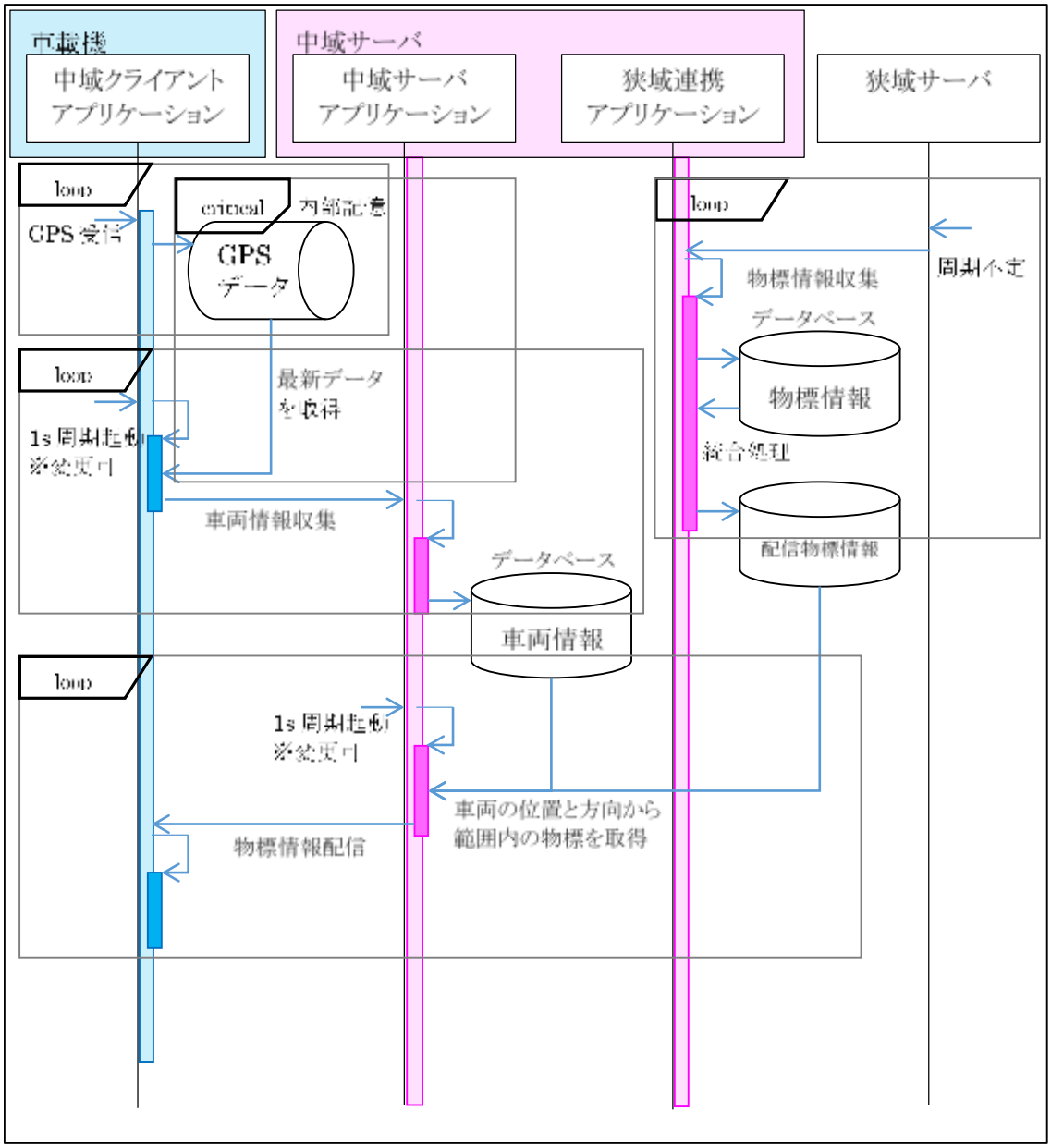


図 4.1.5-2 全体シーケンス

① 物標情報収集制御機能

物標情報収集制御機能は、狭域サーバからの物標情報収集を制御する。下記に物標情報収集制御機能の詳細を示す。

- 狭域連携アプリケーションから狭域サーバに対し、物標情報の配信周期を指定し、狭域サーバはその周期で物標情報を配信する。
- 狭域連携アプリケーションは、物標情報統合機能により継続的な滞留を検出した場合に配信周期を下げ、滞留が解消した場合、直ちに配信周期を元に戻す。
- 配信周期については、コンフィグにより変更可能である。

物標情報収集制御機能の処理シーケンスを図　4.1.5①-1 物標情報収集制御機能のシーケンスに示す。

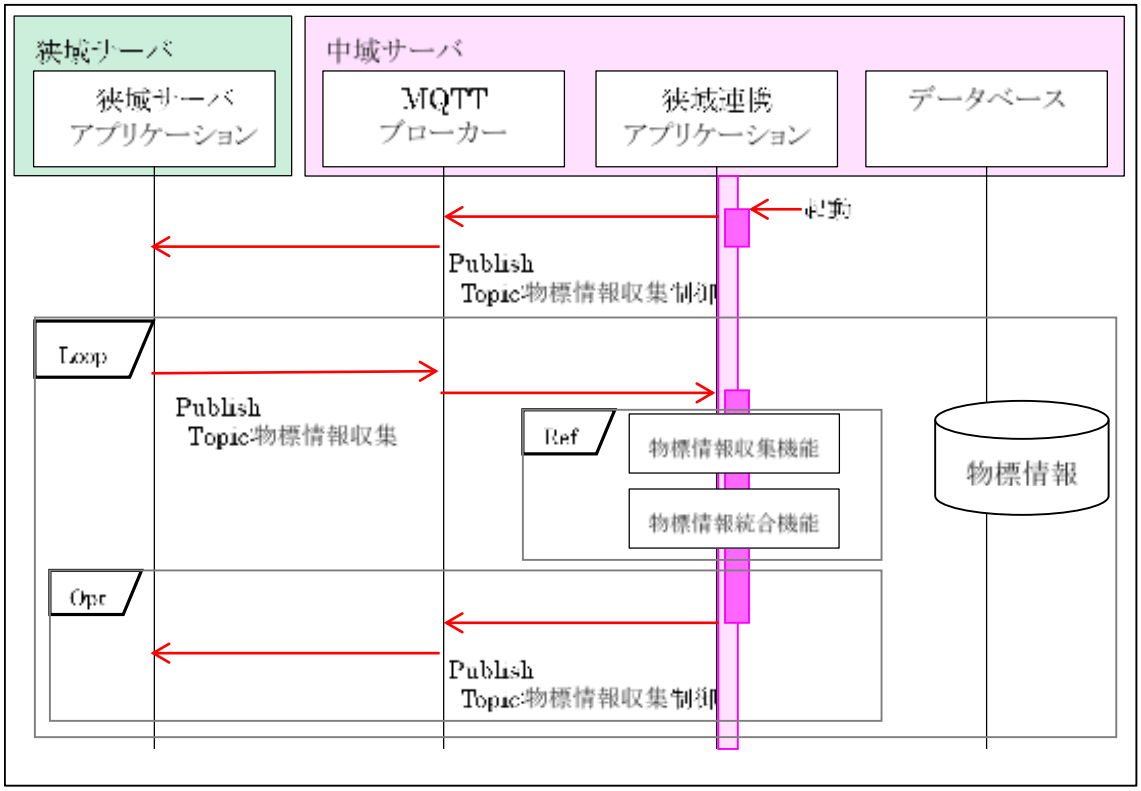


図 4.1.5①-1 物標情報収集制御機能のシーケンス

② 物標情報統合機能

物標情報統合機能は、狭域サーバから収集した物標情報を識別（識別情報）し、データベースの「配信物標情報」テーブルに保存する。

なお、物標情報の統合は、駐停車車両を抽出する方式と、全物標を統合する方式をパラメータにて変更可能とする。

また、滞留車両及び駐停車車両の識別には、過去（履歴）データを観測する期間、滞留車両／駐停車車両かを判断する速度が必要であり、それぞれの閾値はコンフィグにより変更可能である。

物標情報統合機能の処理シーケンスを以下の図 4.1.5②-1 に示す。

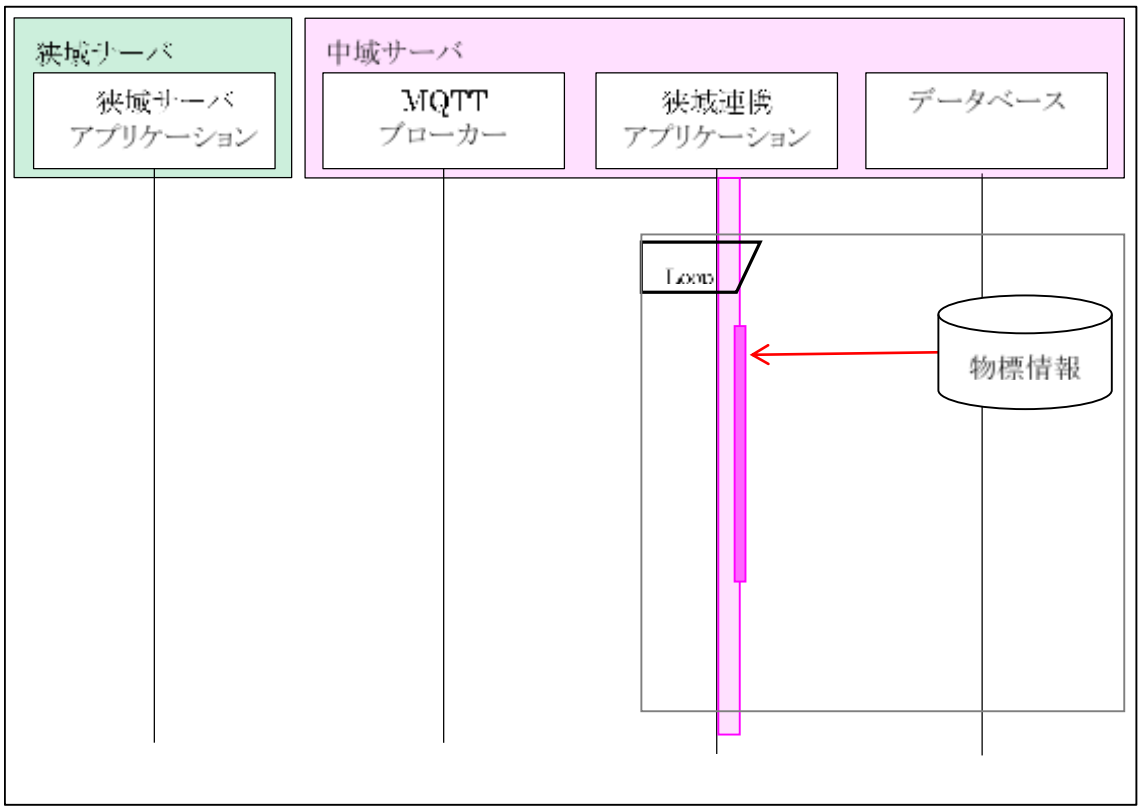


図 4.1.5②-1 物標情報統合機能の処理シーケンス

以下に、滞留車両および駐停車車両の識別の詳細について示す。

- 本機能で対象としている“車両”とは、物標情報のうち、5:乗用車、6:バス、7:軽トラック、8:大型トラック、9:トレーラー、10:特殊車両、11:路面電車の“物標種別”[1] とする。なお、2:自転車、3:原付、4:オートバイの“物標種別”については、交通流を阻害する要因にはならないので、上記の対象“車両”には含めない。
- “物標種別”が対象の“車両”の場合、その車両の速度から滞留車両か駐停車車両かを速度(コンフィグ)で識別する。具体的には、速度が 3km/h 以下の車両は駐停車車両として、速度が 10km/h 以下の車両は滞留車両として、上記以外はその他として扱う。

[1] 物標種別は、0:不明、1:歩行者、2:自転車、3:原付、4:オートバイ、5:乗用車、6:バス、7:軽トラック、8:大型トラック、9:トレーラー、10:特殊車両、11:路面電車、12:路側機、13:障害物である。

但し、狭域側からの物標情報の“識別情報”に既に「停車」または「滞留」の識別が設定されていた場合は、中域側で改めて速度での識別は行わない。

- 狭域側では交通流の判定までは実施できないので、中域側で交通流の判定を実施する。
- 狭域側からの物標情報の“識別情報”に「不明」、「その他」の識別が設定されていた場合は、既に狭域側で「停車」または「滞留」以外と識別されているので、中域側では滞留車両/駐停車車両の識別は実施しない。
- 駐停車車両を抽出する方式の場合、滞留車両および駐停車車両と識別された車両が、交通流の悪い場所にいる場合のみ抽出し、配信対象として配信物標情報に登録する。交通流の悪い場所の検出方法は、位置情報がエリアを指定する方式か、車線を指定する方式かによって異なる。

(1) エリアを指定する方式

上記車両の位置情報から、過去同じ位置（周辺半径 2m）に 0～10km/h の速度の車両（事故車両も含む）が一定時間、一定割合観測された場合、その位置を「交通流の悪い場所」と判定する。[2]

過去同じ位置に 0～10km/h の速度の車両が一定時間、一定割合観測されなかった場合、その位置を「交通流の悪くない場所」と判定する。

なお、滞留車両および駐停車車両を識別する際の「一定割合」の閾値については、物標の収集間隔を考慮する必要がある。

車両が 1 ヶ所に停車し続けた場合、物標情報収集間隔が 1s、「一定時間」を 30s とすると、最大 30 台検出できるが、物標情報収集間隔が 2s の場合は 15 台しか検出されないため、一定割合を 8 割としたとき、過去 0～10km/h の速度の車両（事故車両も含む）が一定時間、一定割合観測されたとする条件は以下の式により決定する。

一定時間（秒）÷収集間隔（秒）＊一定割合（例 0.8）

物標情報収集間隔の変化による交通流の悪い場所と判定する閾値の変化を以下の表 4.1.5②(1)-1 に示す。

なお、「一定割合」については 8 割固定とする。

[2] 数値についてはいずれもコンフィグ。

表 4.1.5②(1)-1 交通流の悪い場所と判定する閾値一覧

一定時間	物標情報収集間隔	交通流の悪い場所と判定する閾値
30s	1s	24 台
30s	10s	2 台
30s	60s	**判定不能**
600s	60s	8 台

(2) 車線を指定する方式

上記車両の位置する車道リンクの道のり距離の前後 1%（車道リンクの距離を 200m と仮定して前後 2m）オフセット左右 2m または基準点の前後左右上下 2m の範囲から、過去 0～10km/h の速度の車両（事故車両も含む）が一定時間、一定割合観測された場合、その位置を「交通流の悪い場所」と判定する。[3]

過去 0～10km/h の速度の車両が一定時間、一定割合観測されなかった場合、その位置を「交通流の悪くない場所」と判定する。

なお、滞留車両および駐停車車両を識別する際の「一定割合」の閾値について、物標の収集間隔を考慮する点については(1)と同様である。

③ 物標情報配信制御機能

中域サーバアプリケーションは、配信する物標を車両ごとに選択する方式と中域内の全物標を配信する方式をパラメータにて選択可能とする。配信する物標を車両ごとに選択する方式については、以下にエリアを指定する方式と車線を指定する方式の詳細を示す。

(1) エリアを指定する方式

配信する物標情報の範囲は車両前方の矩形の範囲とし、以下の式が示す通り、矩形の 1 辺の長さは車両が 1 分間で進む距離とする。ただし、矩形の 1 辺の長さの下限は 200m（車両の速度が 12km/h）とする。

矩形の 1 辺の長さ（m）＝車両の速度（km/h）÷60

なお、エリアを指定するためには、車両の位置を基準に、車両前方の矩形の四辺の座標算出が必要となる。サーバ負荷やスループットへの影響を鑑み、以下に示す簡易的な方法で算出する。

[3]（ｉ)同様、数値についてはいずれもコンフィグ。

まず、インプット情報は以下の通りである。

- 出発点緯度(度:10 進法)
- 出発点経度(度:10 進法)
- 目標点距離(m)
- 目標点方位(度:0～360:度数法　北:0 度)

次に上記のインプット情報から、以下の計算式で到着点緯度、到着点経度を算出する。

- 緯度方向の移動距離 = 目標点距離 * Cos(目標点方位 * 円周率 / 180)
- 1m 当たりの緯度の変化量(度数法) = 360 / (2 * 円周率 * 赤道半径(6378150))
- 到着点緯度 = 出発点緯度 +(緯度方向の移動距離 * 1m 当たりの緯度の変化量)
- 経度方向の移動距離 = 目標点距離 * Sin(目標点方位 * 円周率 / 180)
- 1m 当たりの経度の変化量(度数法) = 360 / (2 * 円周率 * (赤道半径(6378150) * Cos(到着点緯度 * 円周率 / 180)))
- 到着点経度 = 出発点経度 +(経度方向の移動距離 * 1m 当たりの経度の変化量)

エリアを指定するためには、車両の位置を基準に、車両前方の矩形の四辺の座標算出が必要となる。(図 4.1.5③(1)-1)

図 4.1.5③(1)-1 は矩形の 1 辺が 1km の場合であり、距離の計算（1km→500m）が 1 回、方位の計算が 2 回（進行方向は計算不要）のため、演算コスト低下が見込める。

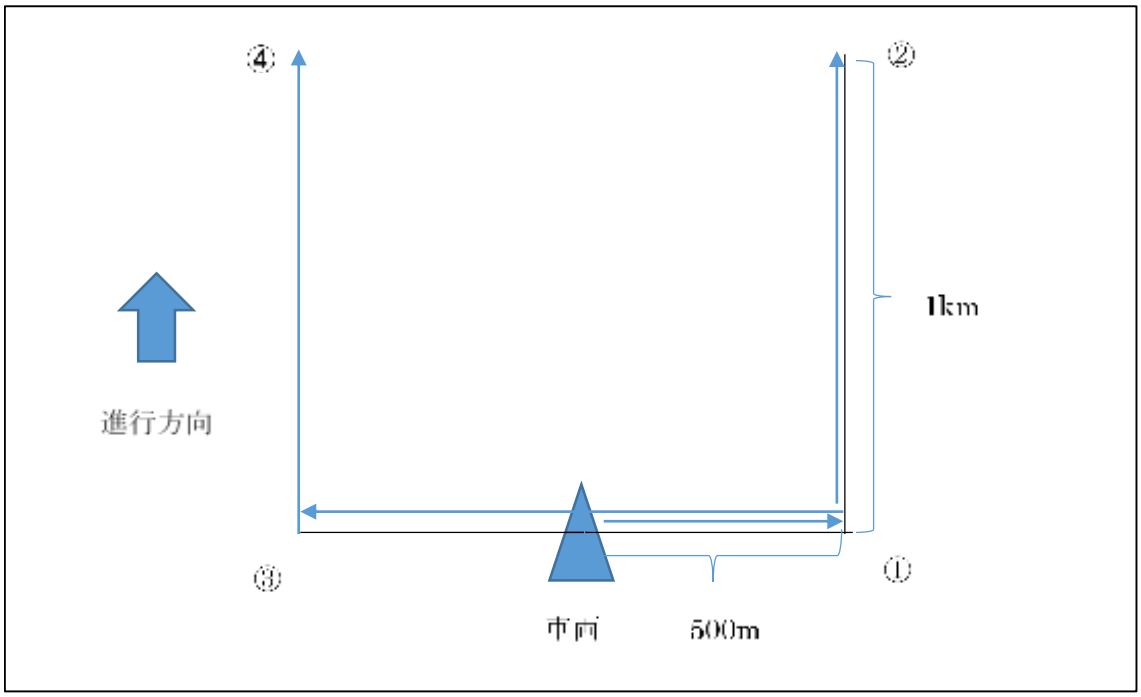


図 4.1.5③(1)-1 四辺の座標算出方法

具体的には、以下の方法で算出する。

まず、上図の①の座標を以下のインプット情報から算出する。

- 出発点緯度:対象車両の緯度
- 出発点経度:対象車両の経度
- 目標点距離:矩形の一辺の長さ÷2
- 目標点方位:対象車両の方位＋90 度 （目標点方位は 0～360 度の範囲を指定するので、加算した結果が 360 度を超えた場合は 360 度減算する）

次に、上図の②の座標を以下のインプット情報から算出する。

- 出発点緯度:①の緯度
- 出発点経度:①の経度
- 目標点距離:矩形の一辺の長さ
- 目標点方位:対象車両の方位

次に、上図の③の座標を以下のインプット情報から算出する。

- 出発点緯度:①の緯度
- 出発点経度:①の経度
- 目標点距離:矩形の一辺の長さ
- 目標点方位:対象車両の方位＋270 度（目標点方位は 0～360 度の範囲を指定するので、加算した結果が 360 度を超えた場合は 360 度減算する）

次に、上図の④の座標を以下のインプット情報から算出する。

- 出発点緯度:③の緯度
- 出発点経度:③の経度
- 目標点距離:矩形の一辺の長さ
- 目標点方位:対象車両の方位

⑵ 車線を指定する方式

車線を指定する方式では、車両前方の矩形の範囲内の基準点と、基準点に紐づく車両進行方向の車道リンク上の物標情報を配信する。以下にその詳細を示す。

- 矩形の 1 辺の長さは車両が 1min で進む距離とする。
- 矩形の算出方法は⑴エリアを指定する方式と同様である。
- 基準点および車道リンクは、高精度 3 次元マップを利用する代わりに、静的地図情報として中域サーバ内の基準点情報テーブルおよび車道リンク情報テーブルに保持する。

- 車道リンクは始点と終点となる基準点を持ち、一方通行の道路を省き、車線数に関係なく上下線で一組とし、同一の車道リンク ID を持たせることで紐づける。
- 配信対象の車両情報から走行中の車道リンクの始点と終点または基準点を開始点として、基準点情報テーブルおよび車道リンク情報テーブルから想定される走行レーンと車両前方の基準点を探索する。
- 走行中の車道リンクが判明している場合、車道リンク終点の基準点を、車両前方の矩形の範囲内から検索する。
- 基準点上を走行中および車道リンク終点の基準点が取得できた場合、この基準点を始点とした車道リンクを検索する。このとき、取得済みの車道リンクがあれば、当該車道リンク ID は省く。
- 取得したすべての車道リンク終点の基準点を、車両前方の矩形の範囲内から検索する。このとき、取得済みの基準点があれば、当該基準点 ID は省く。
- 取得したすべての基準点に対し、上記と同じくこの基準点を始点とした車道リンクを検索する（取得済みの車道リンク ID は省く）。
- 取得したすべての基準点および車道リンク上の物標を、配信物標情報から取得することで、車線を指定した物標情報配信制御を行う。
- 配信物標情報を取得するタイミングは、想定される走行レーンと車両前方の基準点探索中でも、探索後でもよい。

基準点と車道リンクのデータ構造のイメージを、図 4.1.5③(2)-1 基準点と車道リンクのデータ構造に示す。

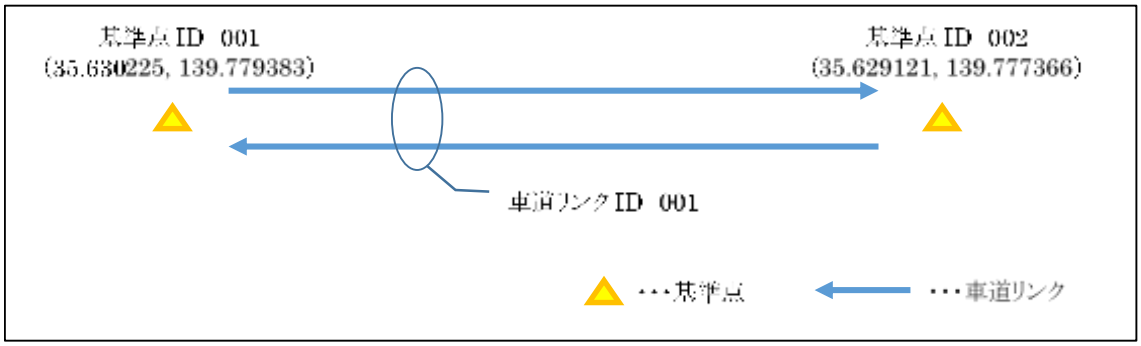


図 4.1.5③(2)-1 基準点と車道リンクのデータ構造

④ 可視化 UI 機能

以下では、可視化 UI 機能の詳細について示す。

(1) 地図表示機能

地図表示機能について以下に示す。

- マップクライアントライブラリを使用して、Web 画面上に地図表示を行う。
- 表示する地図はメルカトル XYZ 方式のラスタータイルを使用する。
- 地図タイル画像の読み込みによる通信トラヒックを避けるため、タイルサーバは端末（車載端末）内に構築する。
- お台場の地図タイルについては用意がないため、国土地理院のタイルサーバを利用する。[4]

起動後の初期状態の画面レイアウトを、以下の図 4.1.5④(1)-1 初期画面に示す。

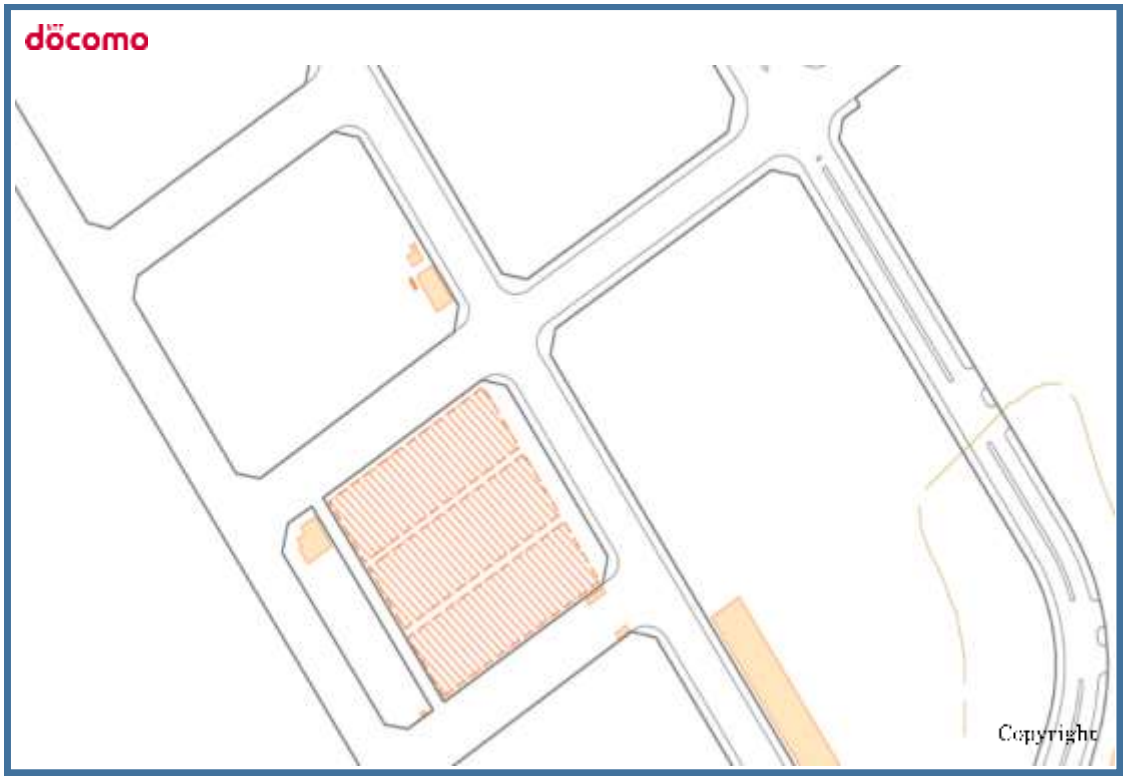


図 4.1.5④(1)-1 初期画面

[4] 国土地理院の地図仕様については、以下の URL を参照。
https://maps.gsi.go.jp/development/siyou.html

(2) 車両アイコン表示機能

車両アイコン表示機能について以下に示す。

- スライドメニュー内の「車両 ID」ドロップダウンリストより、車両 ID または全車両（All）を選択すると、地図上に当該車両のアイコンおよび当該車両に配信している物標情報を表示する。
- 全車両(All)を選択した場合に地図上に表示される車両台数は最大 10 台とする。
- 本機能は、車両情報収集 IF の位置情報を元に、車両アイコンを表示する。

以下では、画面イメージを示す。

まずは、対象車両を選択するイメージを図 4.1.5④(2)-1 に示す。

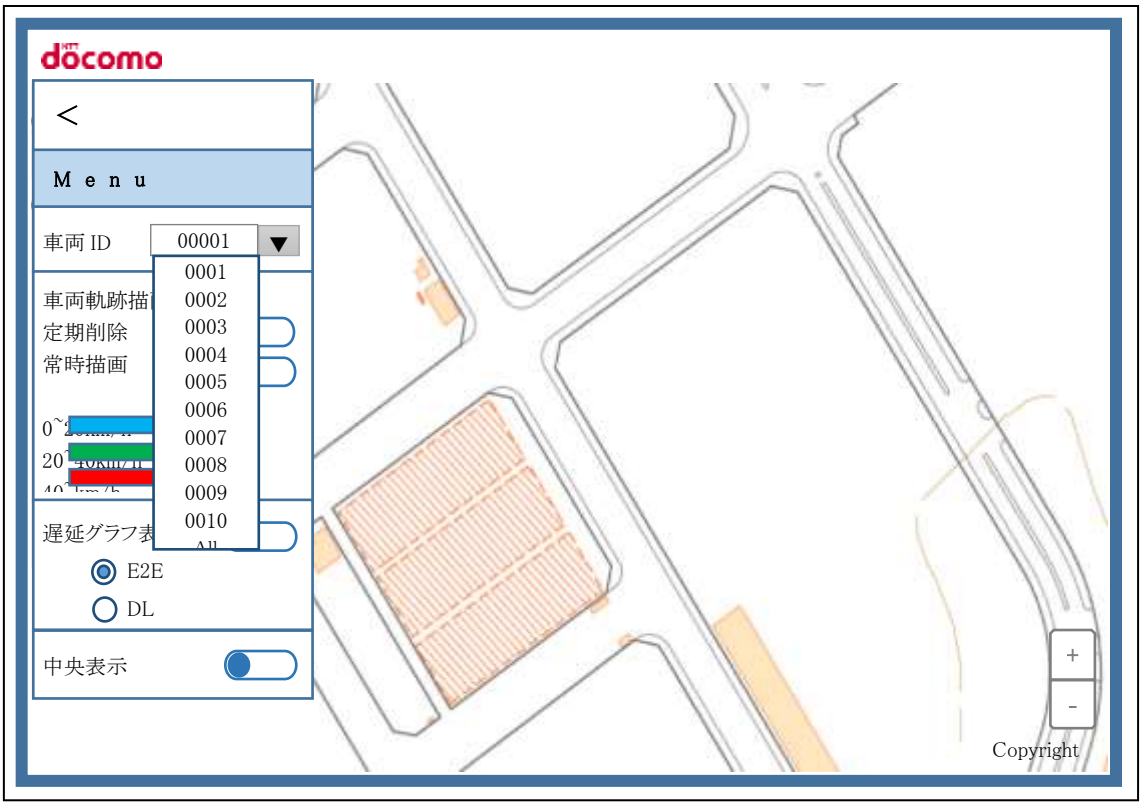


図 4.1.5④(2)-1 車両選択イメージ

車両を選択すると、地図の倍率は変更せずに当該車両のアイコンを画面中央位置に表示する。車両を切り替える時の地図表示画面イメージを図 4.1.5④(2)-2 に示す。

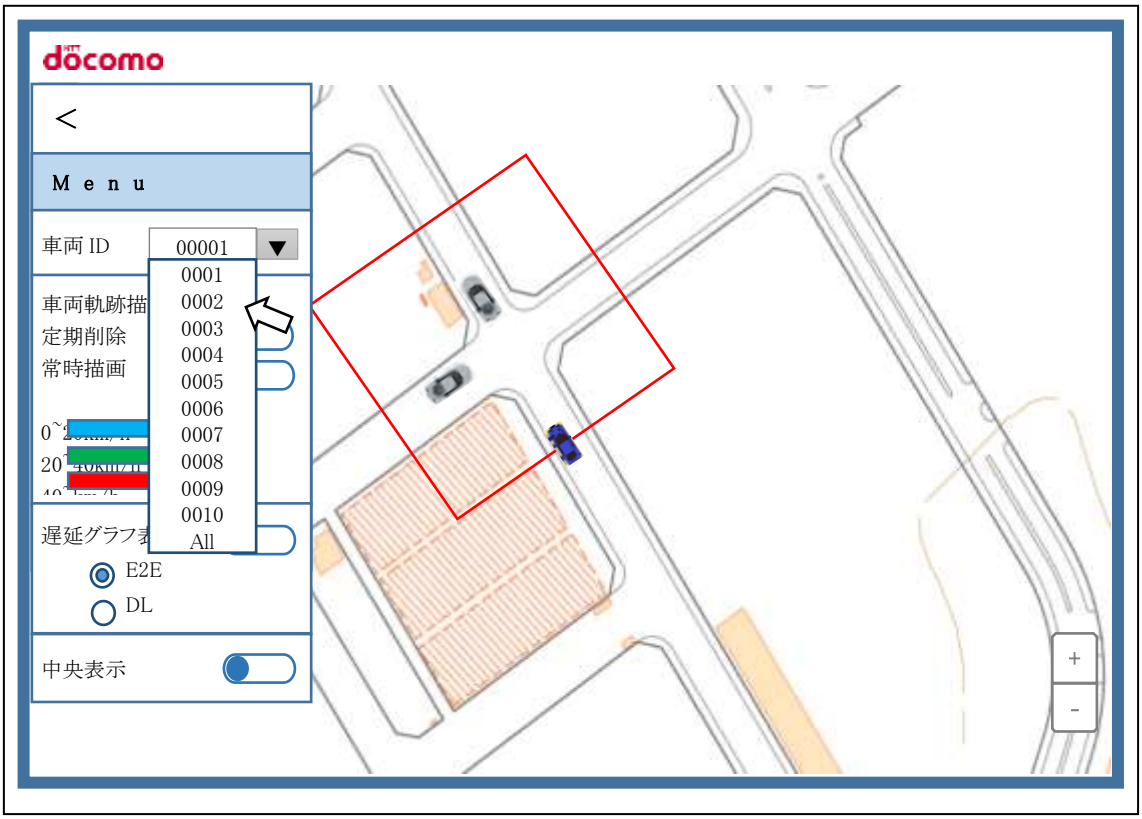


図 4.1.5④(2)-2 車両切り替えイメージ

次に、車両切り替え後（車両 ID:0001 → 0002）の地図表示画面イメージを図 4.1.5④(2)-3 車両切り替え後地図表示画面イメージ 4.1.5④(2)-3 に示す。

データ通信量を考慮し、車両選択時は Topic に車両 ID を指定して、選択された車両を表示する。また、全車両（All）選択時は、Topic にワイルドカードを指定して全車両を表示する。

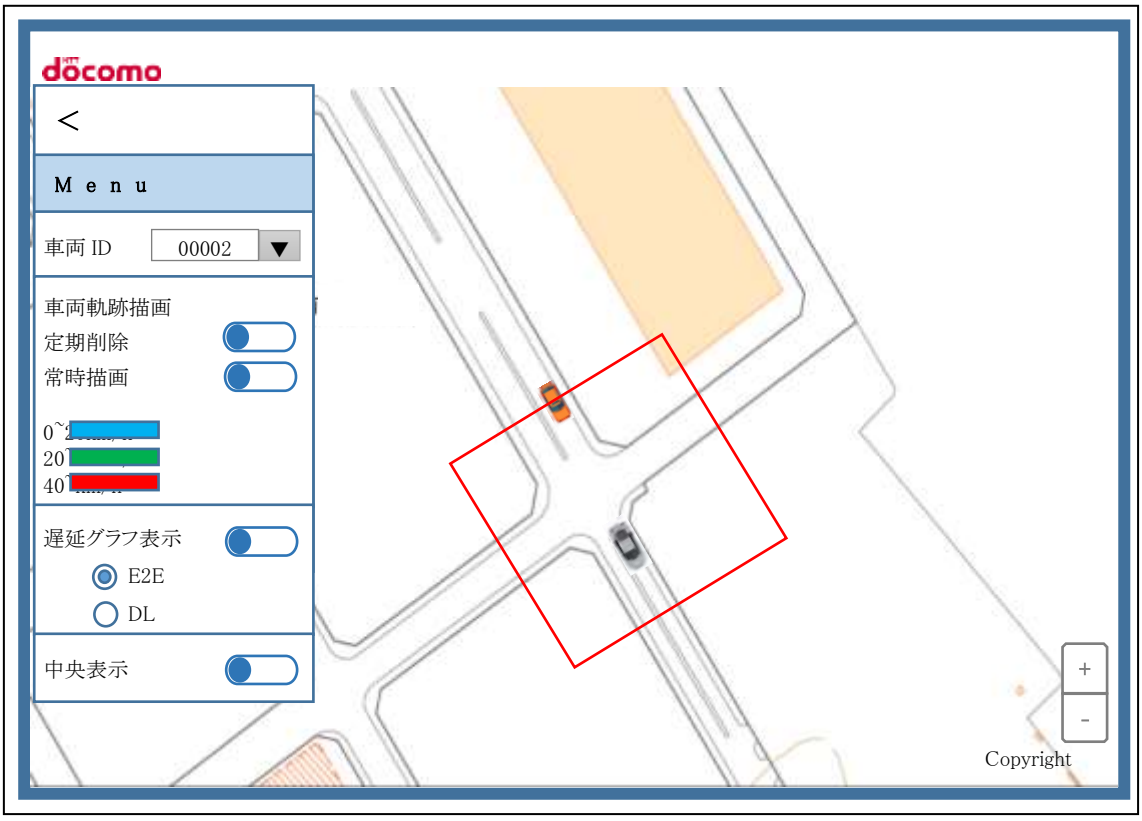


図 4.1.5④(2)-3 車両切り替え後地図表示画面イメージ

なお、各車両 ID（0001～0010）に固定色を割り当て、全車両表示された時にアイコンが判別できるようにする。

各車両の色設定を表 4.1.5④(2)-1 に示す。

表 4.1.5④(2)-1 車両アイコンカラー設定一覧

車両 No、	色名	RGB	色
0001	青色	0,0,255	
0002	橙色	255,165,0	
0003	赤色	255,0,0	
0004	ライム色	0,255,0	
0005	黄色	255,255,0	
0006	水色	0,255,255	
0007	緑色	0,128,0	
0008	ピンク色	255,192,203	
0009	紫色	128,0,128	
0010	茶色	165,42,42	

全車両（A11）が選択された場合、地図の倍率や地図の表示位置は変更せず、A11 選択前の地図表示範囲内に存在する車両アイコンを表示する。

全車両（A11）を選択した時、「中央表示」がオンだった場合は、どの車両を画面中央に表示すればよいか判断できない為、「中央表示」はオフにする。

特定の車両から 全車両（A11）を選択する時のイメージを図 4.1.5④(2)-4 に示す。

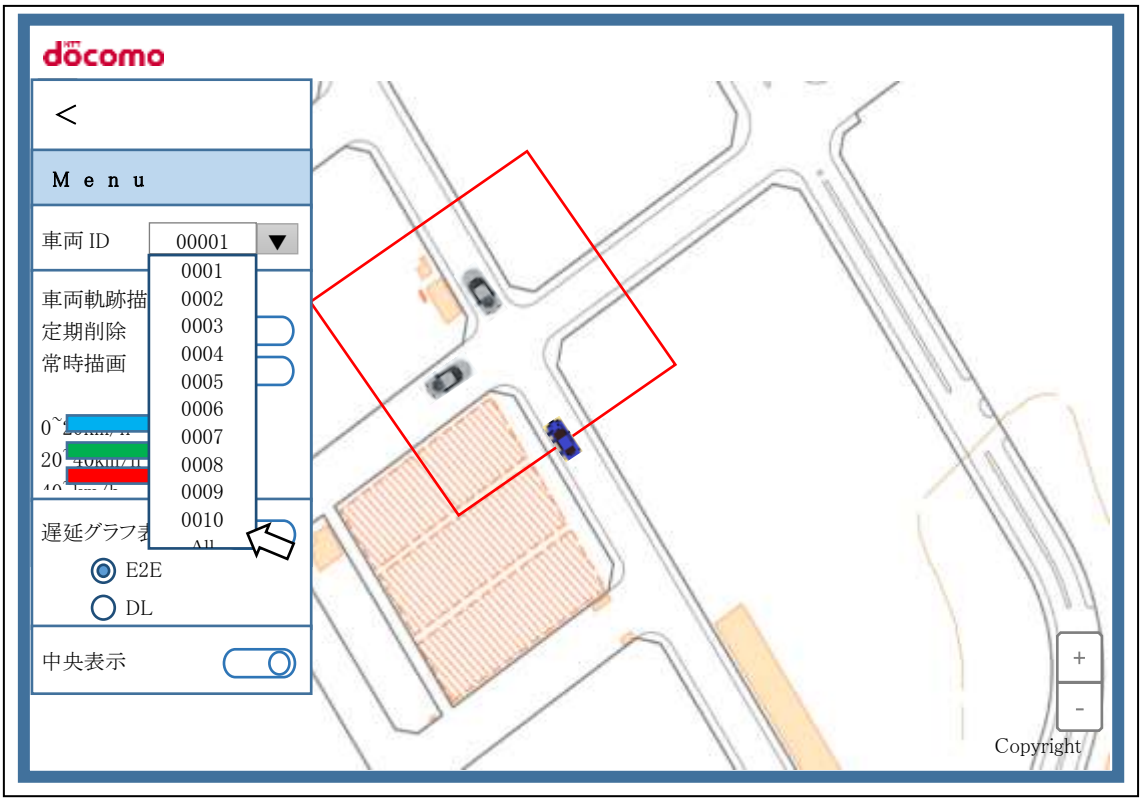


図 4.1.5④(2)-4 全車両（A11）切り替えイメージ

全車両（A11）選択後の地図表示画面イメージを 図 4.1.5④(2)-5 全車両（A11）地図表示画面イメージに示す。

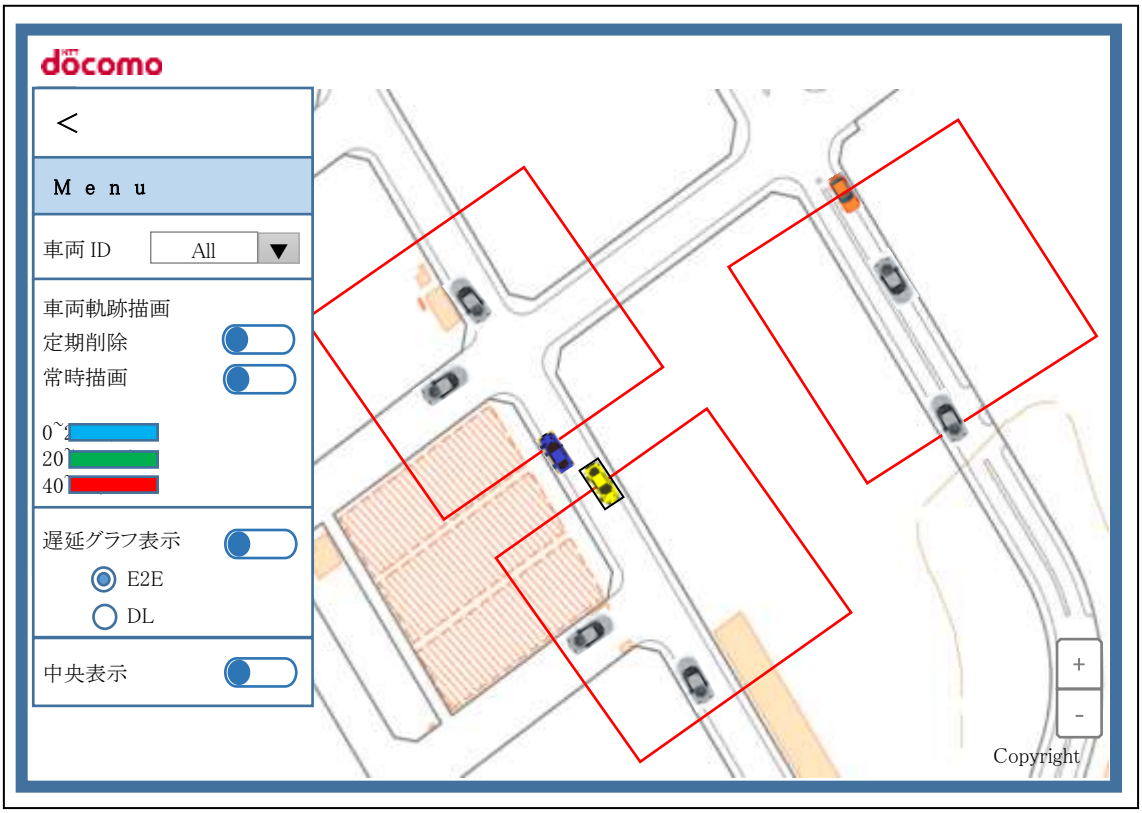


図 4.1.5④(2)-5 全車両（A11）地図表示画面イメージ

(3) 物標情報表示機能

物標情報表示機能について以下に示す。

- 車両が選択されるとその対象車両に配信された物標情報（車両、障害物、事故）および物標の配信範囲を地図上に対象車両と一緒に表示する。
- 本機能は、物標情報配信 IF の物標情報を元に、物標アイコンを表示する。

対象車両と物標情報及び物標を取得した区域を表示した画面イメージを図 4.1.5④(3)-1 に示す。

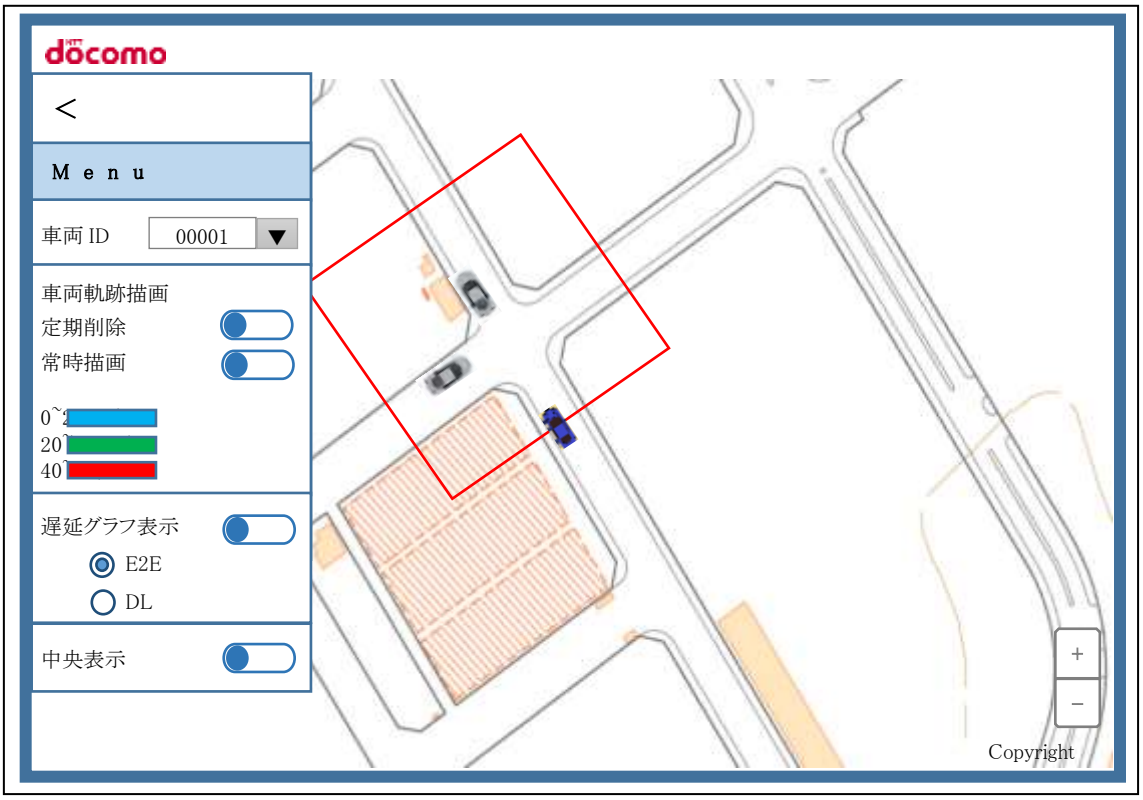


図 4.1.5④(3)-1 物標情報表示イメージ

なお、物標（車両、障害物、事故）については全て以下の色で統一し選択車両と区別する。

物標（車両、障害物、事故）の色設定を表 4.1.5④(3)-1 に示す。

表 4.1.5④(3)-1 物標アイコンカラー設定一覧

色名	RGB	色
灰色	255,0,0	

データ通信量を考慮し、車両選択時は Topic に車両 ID を指定して、選択された車両の物標情報を表示する。

また、全車両（All）選択時は、Topic にワイルドカードを指定して全車両の物標情報を表示する。

(4) 軌跡描画機能

軌跡描画機能について以下に示す。

・　メニュー内の「車両軌跡　定期削除」または「車両軌跡　常時描画」スライドボタンをオンにすると、車両の軌跡を地図上に描画する。
・　定期削除と常時描画は排反のため、描画方法はどちらか一方をオンにすると他方はオフになる。

定期削除の指定で車両の速度描画を行うイメージを図 4.1.5④(4)-1 に示す。

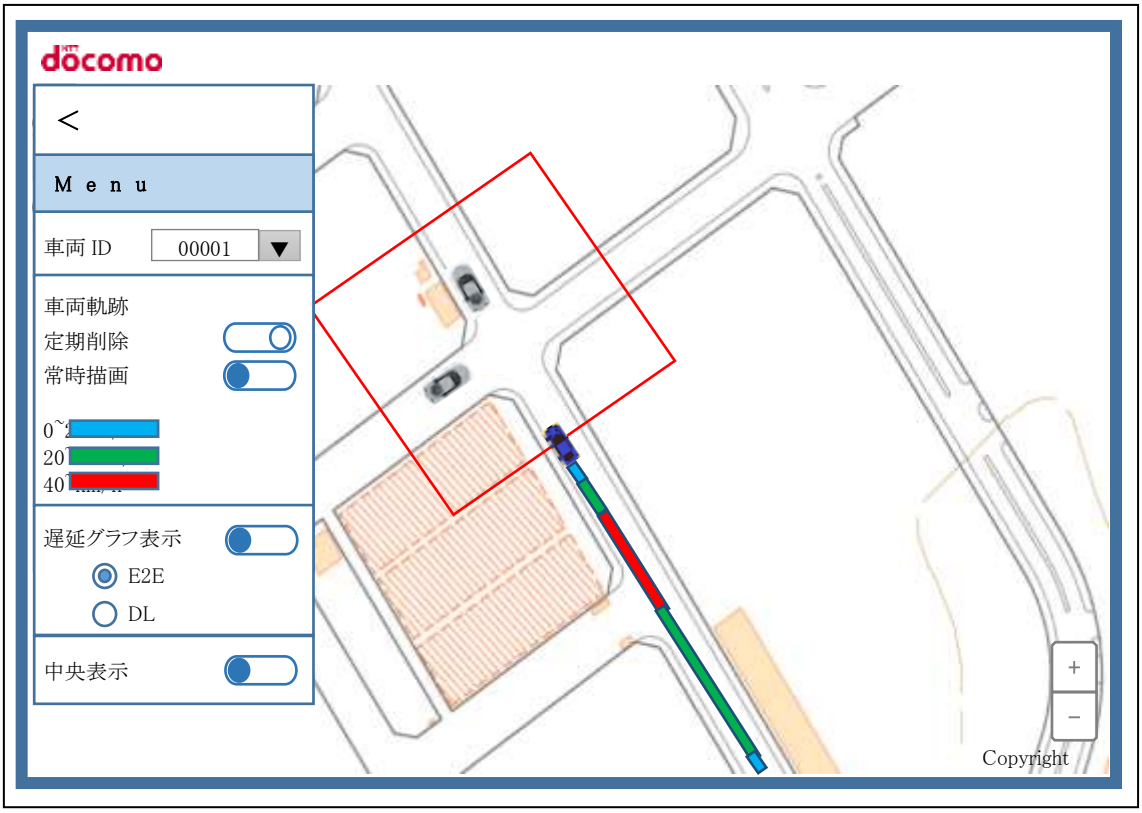


図 4.1.5④(4)-1 速度軌跡描画イメージ

定期削除の指定で車両の速度描画を行った場合、描画された軌跡は一定時間経過後古い軌跡より順次削除する。

軌跡が削除されていくイメージを図 4.1.5④(4)-2 に示す。

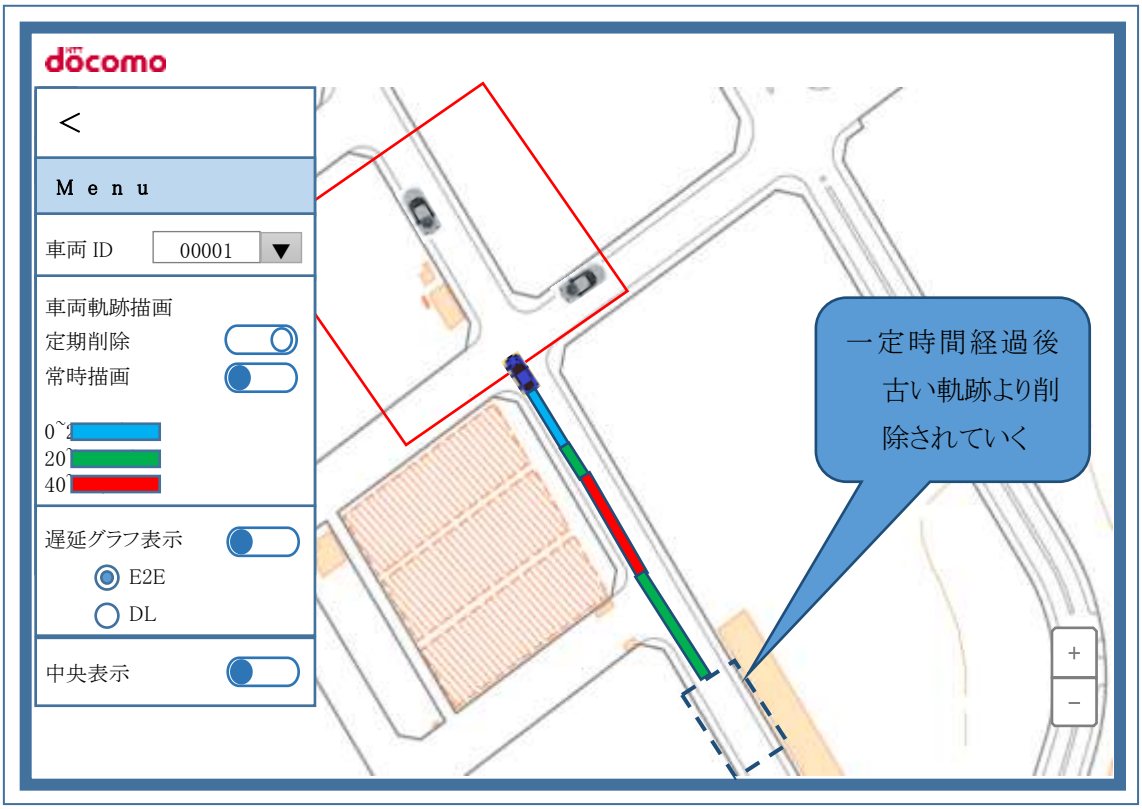


図 4.1.5④(4)-2 軌跡削除イメージ

常時描画を指定した場合は、軌跡を常時描画し続ける。[5]

但し、常時描画中でもブラウザの更新時等再読み込みの契機では軌跡が消える。

(5) 中央表示機能

中央表示機能について以下に示す。

- メニューの「中央表示」スライドボタンをオンにすると、地図内の対象車両の描画位置が画面中央固定にする。
- 車両が移動した場合は、地図をスライドし、車両アイコンを画面中央に保つ。

中央表示を設定した地図表示画面イメージを図 4.1.5④(5)-1 に示す。

[5] 常時描画で軌跡を描画し続けた場合、メモリの枯渇により描画ができなくなる。
その場合はリロードするなど運用にて対処する。

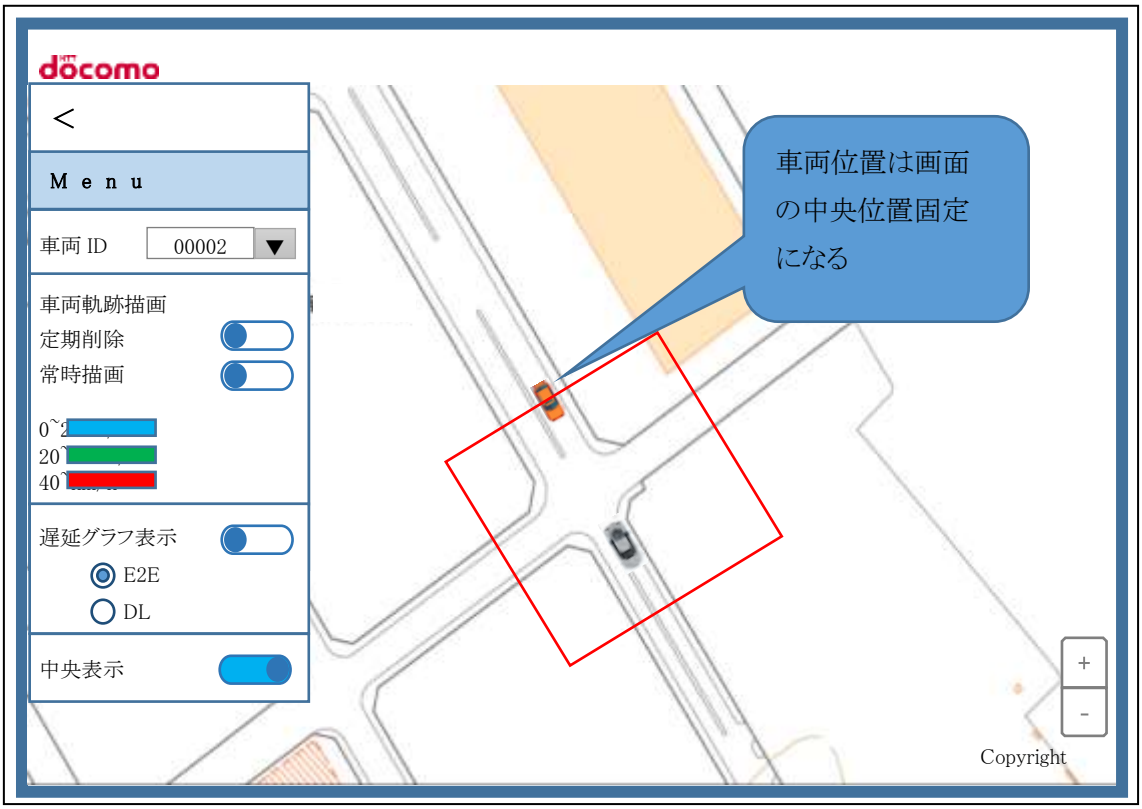


図 4.1.5④(5)-1 中央表示設定イメージ

(6) 遅延グラフ表示機能

遅延グラフ表示機能について以下に示す。

遅延グラフ表示機能では、メニュー内の「遅延グラフ表示」スライドボタンをオンにする事により、画面右上に遅延グラフを表示する。[6]

なお、遅延グラフは、以下の二種類のグラフをラジオボタンで切り替えて表示する。

- DL:物標情報配信の中域サーバ送信時刻と中域クライアント受信時刻(WEB アプリケーション)の差をグラフ表示する
- E2E:車載機(中域クライアントアプリケーション)からの車両情報送信時間と中域クライアント受信時刻(WEB アプリケーション)の差をグラフ表示する

E2E の遅延グラフ表示を選択した時の地図表示イメージを図 4.1.5④(6)-1 に示す。

[6] 時刻差分を取るため、事前に端末(車載端末)のシステム時刻を GNSS 時刻に同期しておく必要がある。

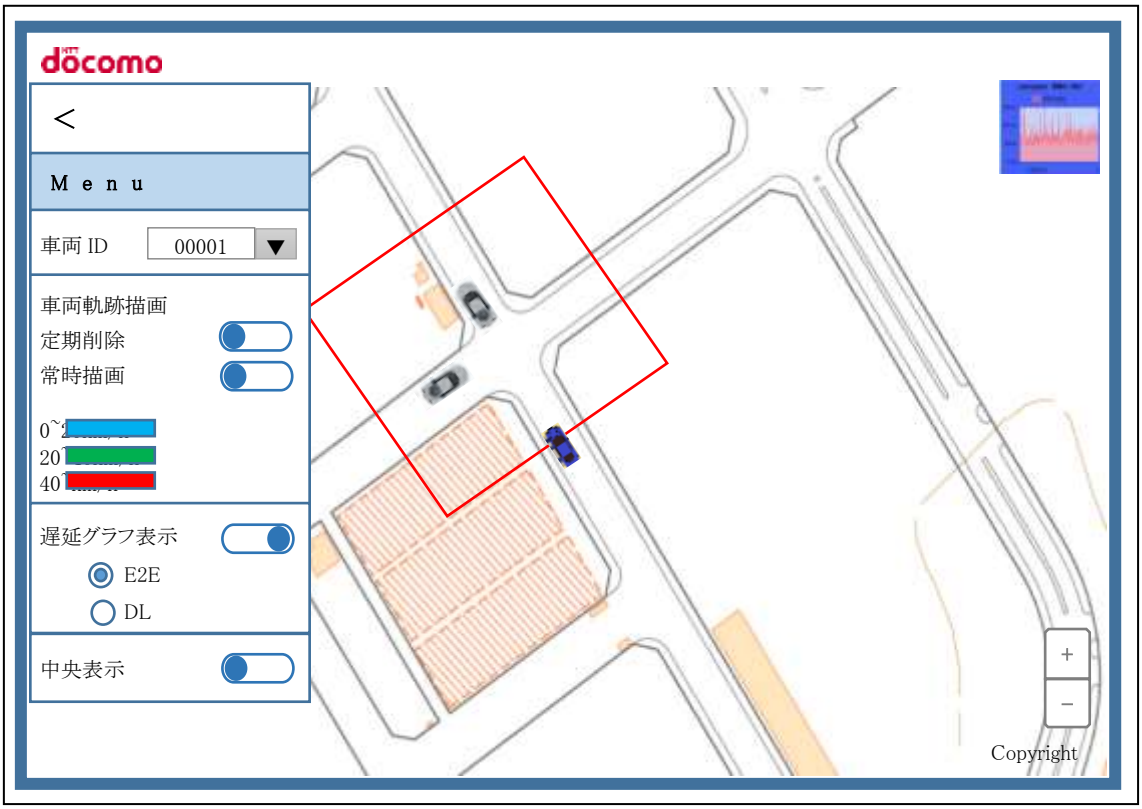


図 4.1.5④(6)-1 遅延表示グラフ表示イメージ

4.2. 各社接続確認

4.2.1. 実証環境の構築

本研究開発において、中域ネットワークの検証については、総合検証を見据えたお台場での実証環境を利用している。(そのため、4.3.1 章については、本章の内容と同様となる)

5G ネットワークは商用網を活用し、Sub6(黄色)とミリ波(桃色)の両方をエリア化し、検証を行っている。中域ネットワークの検証環境の全体像と実際の検証フィールドについて、図 4.2.1-1、図 4.2.1-2 に示す。



図 4.2.1-1 実証環境の構築（全体像）

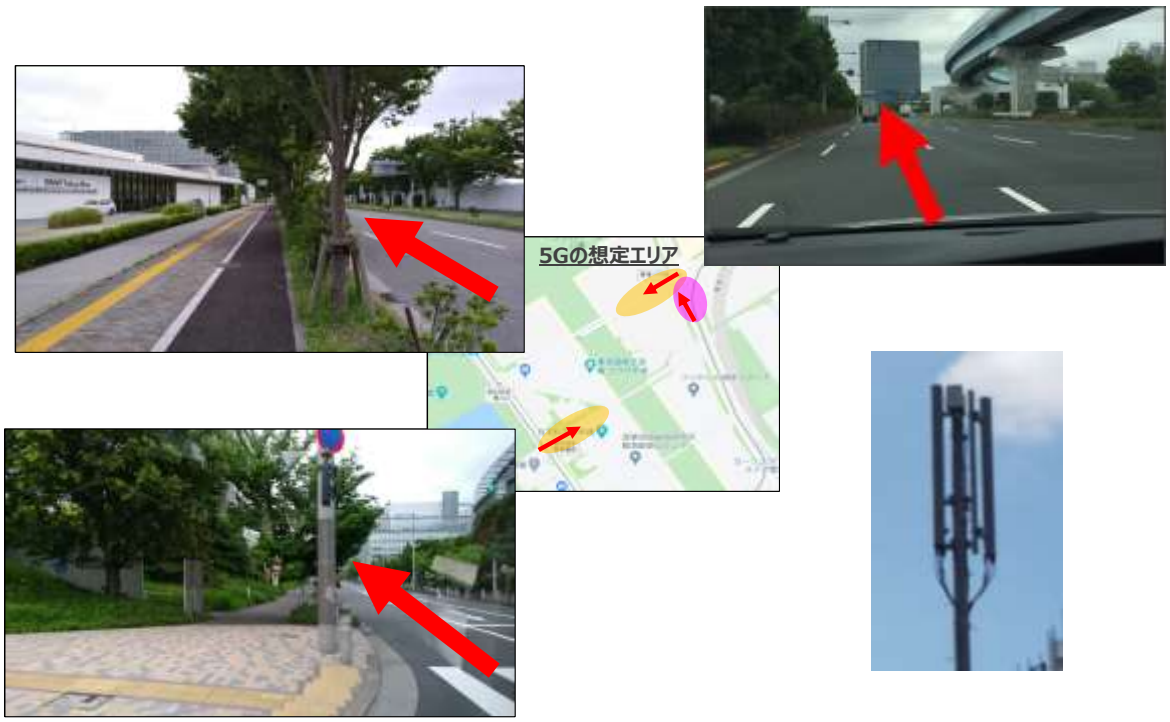


図 4.2.1-2 実証環境の構築（5G 想定エリアの現場イメージ）

4.2.2. 実証の流れ

中域ネットワーク検証は、以下の 3 パターンに分けて実施した。

- 通信遅延検証:
  iPerf を用いて中域サーバから車載端末への配信を模した通信トラフィックを発生させ、有線・無線区間を含む通信遅延の測定を実施した。
- 中域単独検証:
  検証サーバから各種バリエーションの模擬データ(物標情報等)を投入し、データ量などに応じた処理時間・通信トラフィック・リソース使用状況の測定を実施した。
- 狭域共同検証:
  狭域各社によるテストコースでの検証時に取得した物標情報等のログを用いて、 ユースケースに基づく一連の処理時間の測定を実施した。

以下 4.3.3 項においては、通信遅延検証、中域単独検証、狭域共同検証の 3 パターンに分けて実証結果を説明する。

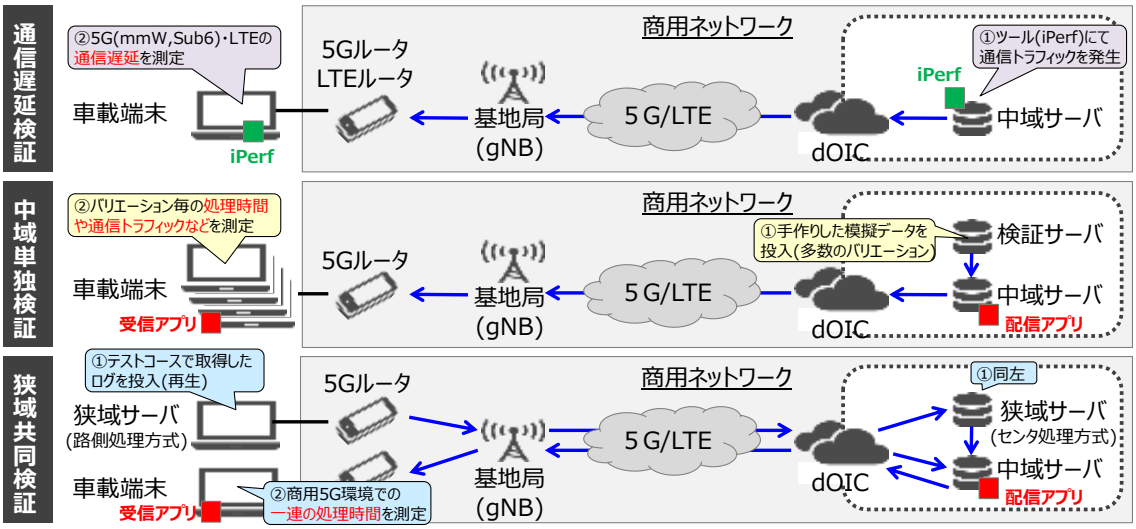


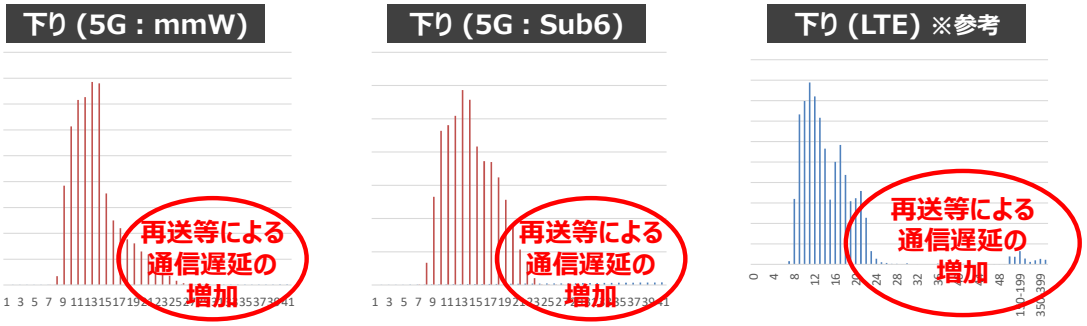
図 4.2.2-1 中域ネットワーク検証のパターン

4.2.3. 実証結果

① 通信遅延検証

通信遅延検証の実証結果について、5G のミリ波、Sub6 帯、そして既存の通信との比較対象として、LTE の遅延値について、検証を行った。

5G(mmW, Sub6)での通信遅延については、平均値・中央値・CDF[95%or99%タイル値]などが数十 ms の範囲内に収まっており、100ms 以下と設定した当初の KPI を達成していると判断できる。なお、パケットロスによる一部再送が生じたことにより、通信遅延が増加しているため、それぞれのグラフがきれいな正規分布の形ではなく、右側にゆがむ形で、結果として表れている(図 4.2.3①-1)。



平均値	12.5[ms]
標準偏差	3.4[ms]
最大値	27.5[ms]
中央値	11.9[ms]
最小値	6.4[ms]
CDF(95%)	18.1[ms]
CDF(99%)	20.4[ms]

平均値	13.2[ms]
標準偏差	3.4[ms]
最大値	31.3[ms]
中央値	12.8[ms]
最小値	5.6[ms]
CDF(95%)	18.8[ms]
CDF(99%)	21.1[ms]

平均値	20.3[ms]
標準偏差	40.6[ms]
最大値	451.5[ms]
中央値	13.3[ms]
最小値	6.8[ms]
CDF(95%)	87.0[ms]
CDF(99%)	114.6[ms]

図 4.2.3①-1　通信遅延の検証結果

また、上記の通信遅延は一般ユーザによる通信トラフィックなどの影響を考慮していない。そのため、基地局の負荷（セルスループット）と通信遅延の関係を簡易的にシミュレーションし、上記結果に照らし合わせることで、一般ユーザによる通信トラフィックなどの影響をシミュレーションし、考察することとした。

検証結果について、図 4.2.3①-2 に示す。

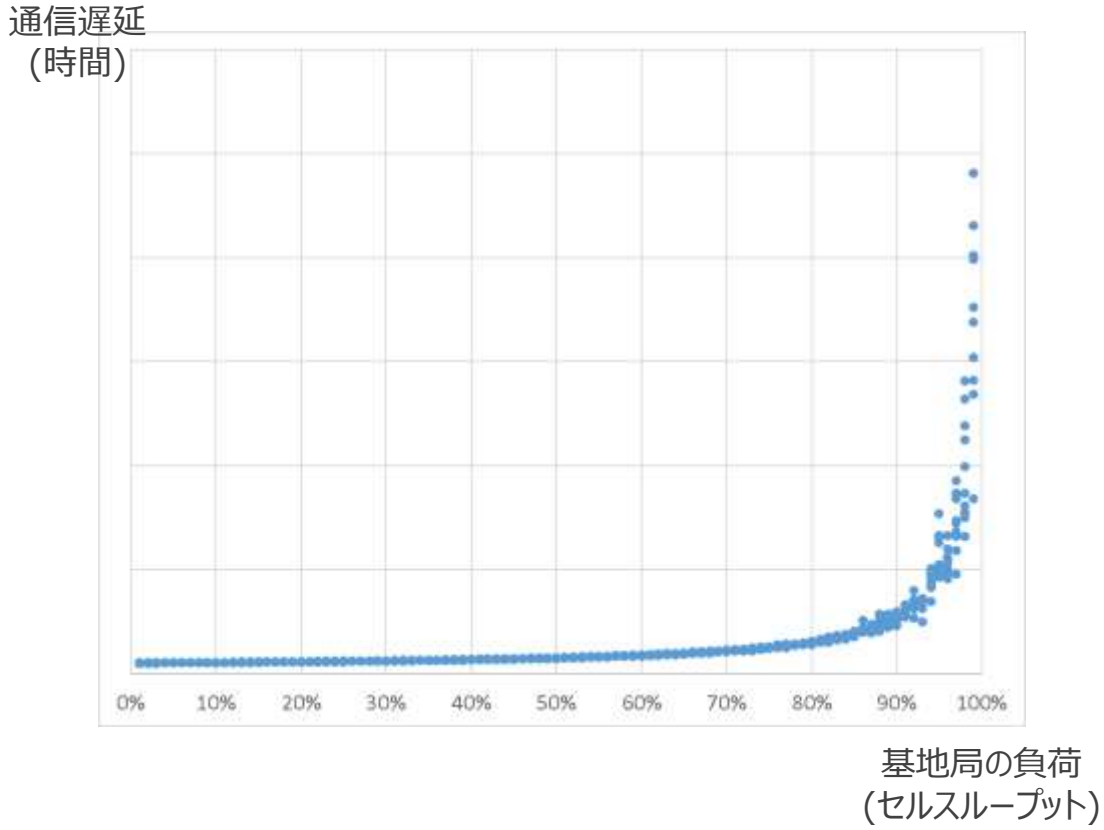


図 4.2.3①-2 簡易シミュレーションにおける基地局の負荷と通信遅延の関係

なお、図 4.2.3①-2 の見方について、以下の通り補足する。

- 横軸は、単位時間あたりに送信出来るデータ量に対して、何%のデータを送ってシミュレーションを実施したのかを表す。例えば、100 単位時間で最大 100 パケットを送信が出来るとした場合、80%とは 80 パケットのデータを送信しようとしたことを表している。
- 通信方式毎の実効速度を基地局の最大容量として設定している。具体的には、LTE については 237Mbps、5G(Sub6)については 400Mbps、5G(mmW)については、800Mbps と設定している。

シミュレーションの結果として、セルラーシステムの通信遅延は基地局への負荷(セルスループット)の最大容量の 50%程度までは横ばい、80%程度までは線形に微増し、80%以上の負荷がかかった状態では、パケットロスに対する再送制御等が発生することにより大きな通信遅延が発生することが確認された。これに対し、今回検討した中域ネットワークによる基地局への負荷の範囲は 5.1Mbps～37.1Mbps（参考値）であり最大容量に対して十分に小さいため、想定 UC の範囲内においての通信遅延は通信トラフィックによる影響を受けないと見なせることが分かった。

参考までに、基地局の最大容量として、通信方式毎に設定した実効速度について詳細を図 4.2.3①-3 に示す。

まず、LTE については、ドコモ Web サイト全国集計の中央値を採用している。



出所：NTTドコモ Webサイトの「実行速度計測結果」 ※Androidでの結果
https://www.nttdocomo.co.jp/area/effective_speed/?icid=CRP_AREA_effort_to_CRP_AREA_effective_speed&dynaviid=case0005.dynavi

図 4.2.3①-3　LTE の実行速度

また、5G(Sub6)については、お台場実測の最頻値、5G(mmW)についても、お台場実測の最頻値を採用している。（図 4.2.3①-4）

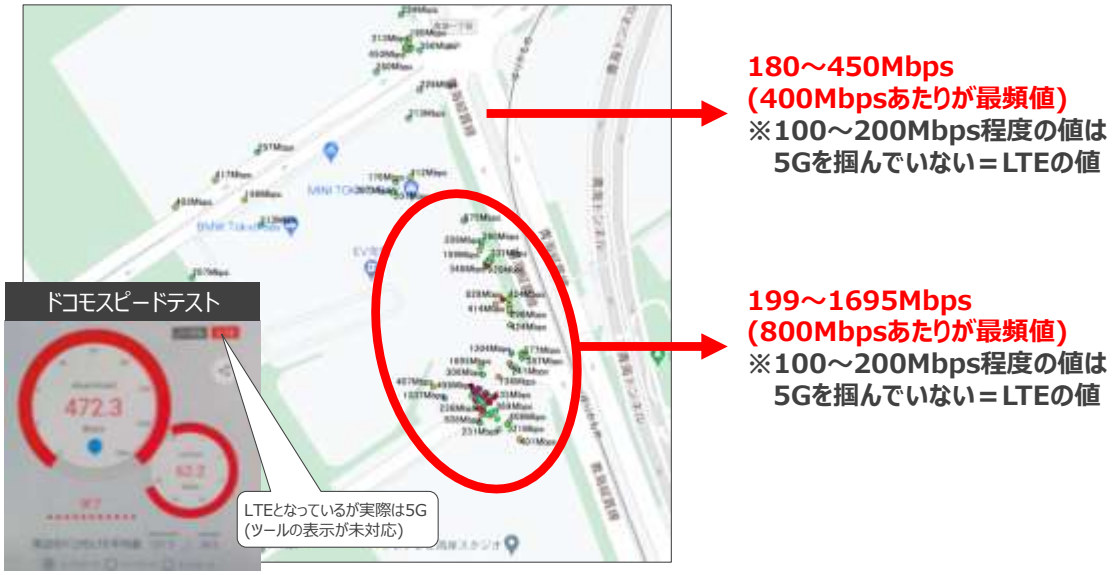


図 4.2.3①-4　5G(Sub6)、5G(mmW)の実行速度

② 中域単独検証

中域ネットワークの単独検証では、中域エリアにおける一連の処理時間に関する KPI として、3 秒以内を設定しつつ、狭域部分を除いた部分の処理遅延を測定した。

なお、処理遅延は、配信範囲（データ量）、配信先台数の検証バリエーション毎に測定している。具体的には、配信範囲（データ量）を 1km×1km（64 物標）、500m×500m（16 物標）、200m×200m（3 物標）と設定した 3 パターン、配信先台数を 1 台、22 台（参考値）、44 台と設定した 3 パターンの計 6 パターンについて検証を行った。なお、狭域サーバは 1 km 2 あたり 4 台、物標情報は 1 狭域サーバあたりに 52 物標、そのうち滞留物標 16 物標と想定している。

なお、通信遅延に関しては、5G エリアカバー率[7]に応じて 5G と 4G の通信比率が決定すると仮定し、5G と 4G の各々の遅延モデルから算出した遅延時間に対して、通信比率を踏まえた平均値を以下の式で算出した。（狭域共同検証や総合検証についても同様）

平均遅延時間 ＝ 5G 遅延時間 × 5G 通信比率 ＋ 4G 遅延時間 × 4G 通信比率

※4G 通信比率 ＝ 100% － 5G 通信比率

各パターンにおける測定結果を図 4.2.3②-1 に示す。

【凡例】
①平均値
②CDF 95%
③CDF 99%

種別	検証バリエーション	(1)中域SVでの統合・配信【処理時間】	(2)中域SV→MQTTブローカ【処理時間】	(3)MQTTブローカ内処理【処理時間】	(4)MQTTブローカ→dOIC送信【処理時間】	(5)無線通信時間【処理時間】	(6)車載器分割パケット受信【処理時間】	合計 (1)～(6)
配信範囲（データ量）	200m ×200m (3物標)	① 99.8 ms ②201.7 ms ③243.9 ms	① 17.6 ms ② 88.7 ms ③118.2 ms	① 1.0 ms ② 2.1 ms ③ 2.6 ms	① 1.0 ms ② 1.7 ms ③ 2.0 ms	① 8.8 ms ② 19.7 ms ③ 24.2 ms		①128.2 ms ②314.0 ms ③390.9 ms
	500m ×500m (16物標)	① 92.1 ms ②146.8 ms ③169.5 ms	① 23.2 ms ②132.2 ms ③177.4 ms	① 3.0 ms ② 7.2 ms ③ 8.9 ms	① 1.7 ms ② 3.5 ms ③ 4.2 ms	① 17.5 ms ② 81.9 ms ③108.5 ms (※1)	① 9.5 ms ② 81.2 ms ③110.9 ms	①146.8 ms ②452.7 ms ③579.5 ms
	1km ×1km (64物標)	① 99.8 ms ②201.7 ms ③243.9 ms	① 41.9 ms ②261.8 ms ③353.0 ms	① 11.1 ms ② 12.2 ms ③ 39.5 ms	① 4.3 ms ② 11.4 ms ③ 14.3 ms	① 38.1 ms ② 68.0 ms ③ 80.4 ms	① 54.2 ms ②201.3 ms ③262.2 ms	①249.3 ms ②775.4 ms ③993.4 ms
配信先台数	1台	① 99.8 ms ②201.7 ms ③243.9 ms	① 17.6 ms ② 88.7 ms ③118.2 ms	① 1.0 ms ② 2.1 ms ③ 2.6 ms	① 1.0 ms ② 1.7 ms ③ 2.0 ms	① 8.8 ms ② 19.7 ms ③ 24.2 ms		①128.2 ms ②314.0 ms ③390.9 ms
	22台 (参考値)		① 87.9 ms ②338.0 ms ③441.6 ms	①116.1 ms ②456.1 ms ③597.0 ms	① 53.5 ms ②216.0 ms ③283.3 ms	① 30.1 ms ② 42.7 ms ③ 47.9 ms		
	44台 (1基地局が収容する最大の車両台数)	①270.6 ms ②842.7 ms ③1079.8 ms	① 4519.1 ms ②11380.0 ms ③14222.6 ms	① 453.7 ms ②1124.4 ms ③1402.2 ms	①212.4 ms ②581.1 ms ③725.8 ms	① 32.0 ms ② 52.6 ms ③ 61.2 ms		① 5507.1 ms ②13980.7 ms ③17491.6 ms

(※1) dOICにおける通信はベストエフォートサービスであるため、100ms以上の処理時間となることも考えられる。

図 4.2.3②-1 中域単独検証における処理時間の測定結果

[7] 5G エリアカバー率は、通信キャリアが開示している公開情報を基にした想定値を設定した。

配信データ量が増加した場合は、(5)として示されている無線通信時間には大きな変動はなく、MQTT パケットが分割されることにより端末側での受信の処理時間が比例的に増加している。一方、配信先台数が増加した場合については、(1)として示されている統合・配信の処理時間と、(2)として示されている中域サーバ内での処理時間が大きく増加している事が分かる。処理時間の増加については、MQTT ブローカーとの通信に係る時間の増加に起因しているものと想定される。

配信先車両台数が増大することを考慮した場合、中域サーバのスペック等を含めて実用化に向けては設計上の考慮が必要となる。

次に、通信トラフィックの削減について、検証を行った。通信トラフィックの削減については、削減率50%以上を KPI として設定している。具体的な検証の方法として、「狭域 SV→中域 SV」区間については、狭域サーバから収集する物標情報を、想定ユースケースに使う情報のみに制限する「収集制御機能」を実装することで、通信トラフィックの削減効果を確認した。なお、「狭域サーバから収集する物標情報を、想定ユースケースに使う情報のみに制限する」に関しては、狭域サーバ側で判定が行われることを想定しており、本研究においては、狭域サーバ側で滞留物標を判定し、滞留物標情報のみを狭域サーバから受信することで通信トラフィックを削減することを想定している。また、「中域 SV→配信先車両」区間については、配信先車両の走行速度等に応じて、配信範囲(配信対象情報)を絞り込む「配信制御機能」を実装することで、通信トラフィックの削減効果を確認した。

なお、測定時の条件（想定環境）としては、狭域サーバは 1 ㎢ あたり 4 台、物標情報は 1 狭域サーバあたりに 52 物標、そのうち滞留物標は 16 物標と想定している。測定結果を図 4.2.3②-2 に示す。

種別	評価項目	BEFORE	AFTER
		収集制御機能なし (例：時速60km)	収集制御機能あり (例：時速60km)
①	配信物標数 (データ量)	208 物標 (約54.3 kbyte)	64 物標 (約13.6 kbyte)
	通信トラフィック 削減率	基準値	69.2 %
	動作確認	–	○



種別	評価項目	BEFORE	AFTER		
		市区町村単位 (27㎢^2 ※1)	時速 60㎞ (1㎞^2)	時速 30㎞ (500m × 500m)	最小範囲 (200m × 200m)
②	配信物標数 (データ量)	5616 物標 (約1.43 Mbyte)	208 物標 (約54.3 kbyte)	52 物標 (約13.6 kbyte)	9 物標 (約2.4 kbyte)
	通信トラフィック 削減率	基準値	96.30 %	99.07 %	99.84 %
	動作確認	–	○	○	○



図 4.2.3②-2 中域単独検証におけるトラフィック削減率の測定結果

測定の結果、「狭域 SV→中域 SV」区間については、収集制御機能を実装した場合、実装しなかった場合と比較し手、通信トラフィックを 69.2%削減できることが分かった。

また、「中域 SV→配信先車両」区間については、配信制御機能を実装した場合、配信範囲を市町村単位（27㎢）とした場合と比べ、配信範囲を 1㎞×1㎞ とした場合（車両が時速 60㎞ で走っていると仮定した場合）は 96.30%、500m×500m とした場合（車両が時速 30㎞ で走っていると仮定した場合）は 99.07%、200m×200m とした場合（最小範囲に設定した場合）は 99.84%、通信トラフィックを削減できることが分かった。

次に、通信遅延とは別の観点としてサーバのリソースを主眼として、中域サーバの設置基準・諸元についての検証を行った。

中域サーバの設置諸元および設置基準を検討する際、対応すべき対象エリアの範囲、車両台数に基づき、中域サーバの性能要件、サーバスペック（主にサーバリソース）を検討する必要がある。

以下に設置諸元についての検証結果を示す。

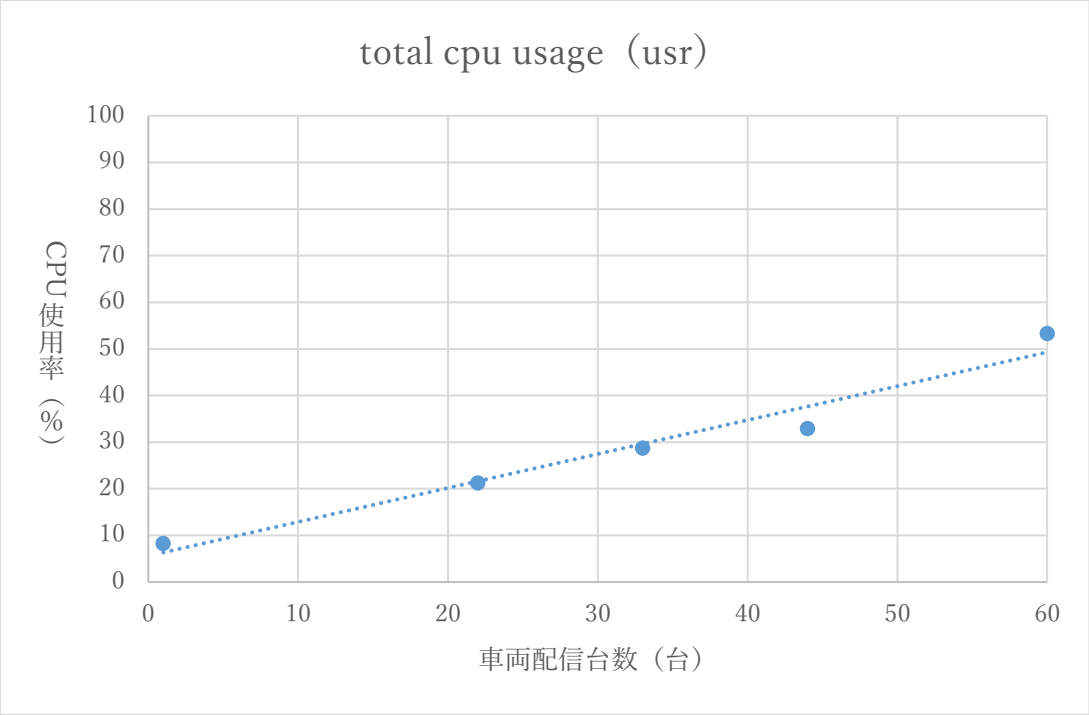


図 4.2.3②-3 サーバリソース測定結果（CPU 使用率）

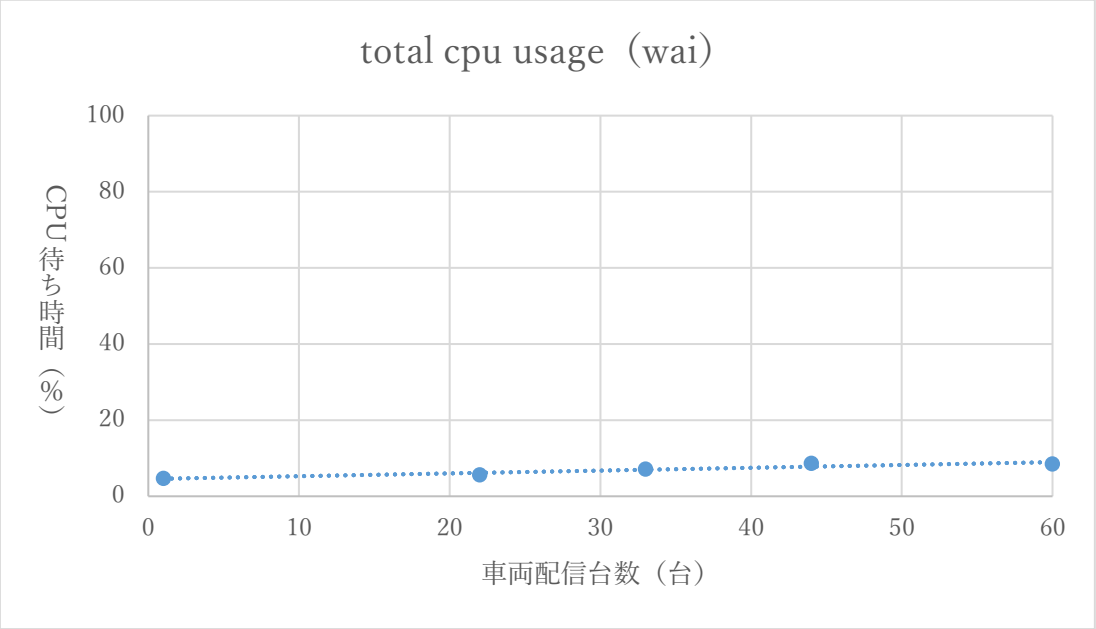


図 4.2.3②-4 サーバリソース測定結果（CPU 待ち時間）

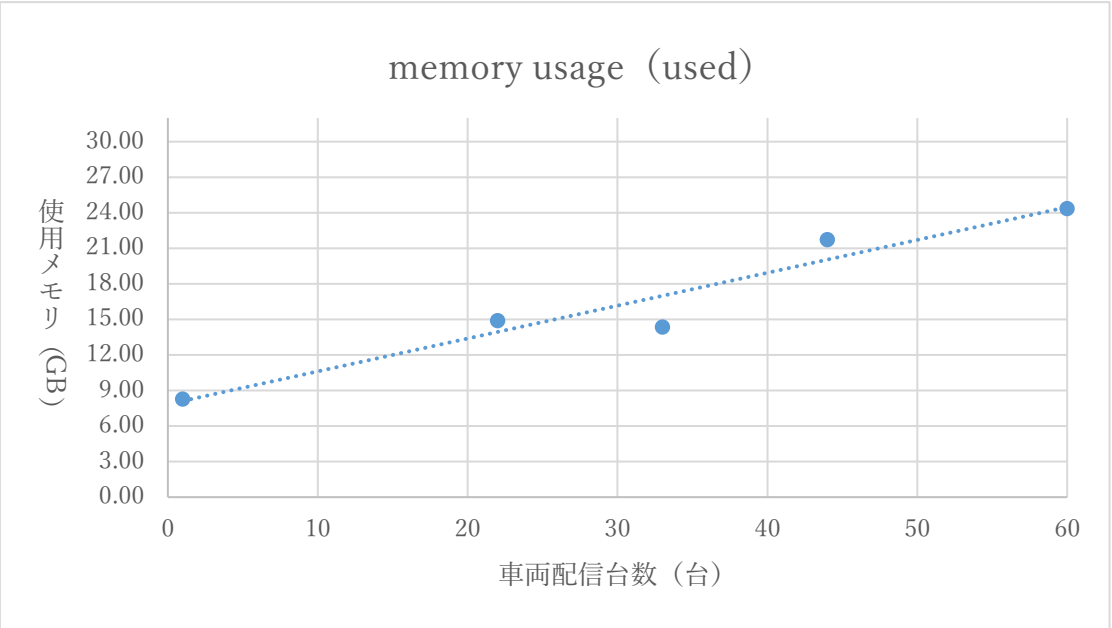


図 4.2.3②-5 サーバリソース測定結果（メモリ使用率）

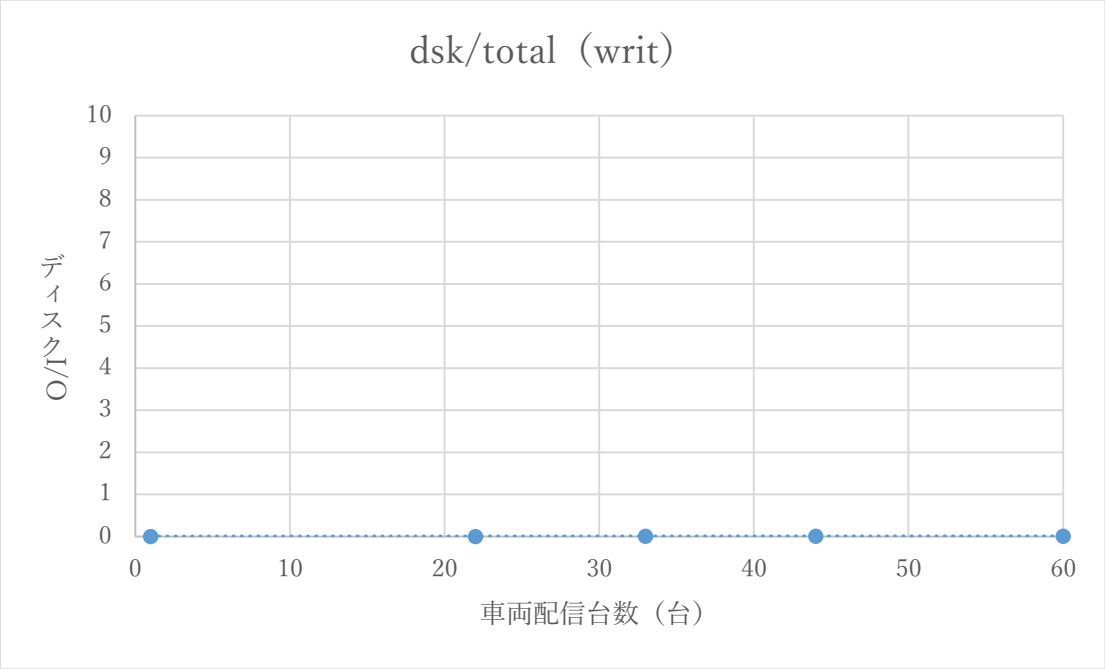


図 4.2.3②-6 サーバリソース測定結果（ディスク I/O）

今回の中域サーバアプリケーションにおいては、1 車両につき 1 アプリケーションが起動する仕様としており、今回試験用に構築した中域サーバのスペック（vCPU8core、メモリ 32GB）の場合、アプリケーションが使用するサーバリソースを主眼として考慮した場合、最大で 60 台の同時処理が可能である。

また、上記の試験結果（図 4.2.3.②-3～②-6）から分かるように、対象の配信車両台数が増えることで、サーバへの負荷も配信車両台数に比例して線形的に増加することが判明した。

設置基準については、実装する上で地理的条件をどのように考慮するべきか検討する必要があるが、セルラーネットワークを介したクラウドサービスを使うことを想定した場合は、アクセスする場所に制約はないため、地理的条件について特段考慮の必要性は無いと考えられる。

なお、クラウドサービスにおけるインスタンスタイプは、目的に応じたリソースをスケールすることが可能であるが、複数の仮想サーバを構築する場合、想定している仮想メモリよりもメモリ消費率が激しくなることでメモリの不足や、仮想化ソフトのオーバーヘッドが大きくなることで想定された十分な性能が出なくなる可能性があり、仮想マシン間の接続構成を緻密に設計する必要があるなど、注意する点もある。また、物理サーバの障害によってすべの仮想マシンの動作が停止してしまうリスクがあるため、冗長構成を検討する必要がある。高性能なスペックの仮想マシンを用意する必要があるなど、冗長構成を検討した場合、その分コストの増加を招くことになるが、安定したリアルタイム配信を実現させるためには、余裕をみたスケールでスペックを設計する必要がある。

③ 狭域共同検証

狭域共同検証では、パターン毎に、抽出、統合、配信にかかる一連の処理時間を中域エリアにおける一連の処理時間として、3 秒以内という KPI を達成できるか検証を行った。具体的には、JARI テストコースにおいて 1 つの物標情報を 1 台の配信先車両に配信したケースのログをお台場の 5G 環境にて再生して、通信遅延、処理時間を測定した。なお、検証は狭域各社によって設定した、5 パターンのユースケースシナリオにより取得されたログを使用し、測定を行った。測定結果を図 4.2.3③-1 に示す。

結果として、JARI テストコースにおいて、1 つの物標情報を 1 台の配信先車両に配信したケースのログをお台場の 5G 環境にて再生するという限定的な条件でのデータではあるが、数百ミリ秒以内で処理が完了することが確認できた。なお、②中域単独検証の結果と合わせて考えると、配信データ量(交差点数を含む)や配信先台数を増やした場合、中域 SV の処理時間(1)(2)の増加が大きく、実用化に向けては設計上の考慮が必要となる。

【凡例】
①平均値
②CDF 95%
③CDF 99%

種別	UCシナリオ (※1)	(1) 情報源での抽出【処理時間】	(2) 情報源⇒狭域SV【通信遅延】	(3) 狭域SVでの統合【処理時間】	(4) 狭域SV⇒中域SV【通信遅延】	(5) 中域SVでの統合・配信【処理時間】	(6) 中域SV⇒配信先【処理時間】(※2)	合計 (1)~(6)
沖	UC中1-1-1 (滞留無し)	①50.4 ms ②56.0 ms ③61.0 ms	①11.1 ms ②29.0 ms ③31.0 ms	①48.9 ms ②89.0 ms ③99.0 ms	①33.2 ms ②62.2 ms ③74.2 ms	①28.0 ms ②86.6 ms ③110.9ms	①15.8 ms ②24.9 ms ③28.6 ms	①187.4 ms ②347.7 ms ③404.7 ms
	UC中1-1-2 ~1-1-3 (経路変更)	①50.2 ms ②55.0 ms ③60.0 ms	①11.1 ms ②28.0 ms ③31.0 ms	①57.2 ms ②94.0 ms ③100.0 ms	①26.2 ms ②44.5 ms ③52.1 ms	①21.6 ms ②57.5 ms ③72.3 ms	①10.3 ms ②17.2 ms ③16.3 ms	①176.6 ms ②296.2 ms ③331.7 ms
パナソニック	UC中1-1-1 (滞留無し) (※3)	①14.0 ms ②21.0 ms ③27.0 ms	①20.2 ms ②33.5 ms ③41.0 ms	①37.4 ms ②49.0 ms ③51.0 ms	①29.5 ms ②39.8 ms ③44.1 ms	①24.1 ms ②119.3 ms ③158.7 ms	①16.4 ms ②15.8 ms ③19.9 ms	①141.6 ms ②278.4 ms ③341.7 ms
	UC中1-1-3 (経路変更)	①12.9 ms ②18.0 ms ③20.0 ms	①20.5 ms ②33.5 ms ③49.0 ms	①33.4 ms ②47.0 ms ③53.0 ms	①27.8 ms ②38.4 ms ③42.7 ms	①17.7 ms ②93.4 ms ③124.8 ms	①17.2 ms ②27.9 ms ③32.3 ms	①129.5 ms ②258.2 ms ③321.8 ms
	UC中2-3 (路上駐車発車)	①13.0 ms ②19.0 ms ③20.0 ms	①20.2 ms ②33.5 ms ③41.0 ms	①32.4 ms ②46.0 ms ③48.0 ms	①26.3 ms ②35.2 ms ③38.9 ms	①21.0 ms ②124.0 ms ③166.7 ms	①19.7 ms ②25.2 ms ③27.9 ms	①132.6 ms ②282.9 ms ③342.5 ms

(※1) JARIテストコースにおいて、1つの物標情報を1台の配信先車両に配信したケースのログを、お台場の5G環境にて再生
(※2) 通信遅延を含む（→通信遅延自体の評価は「検証結果1」を参照）。また配信先にて受信メッセージを全て受信し切るまでの時間
(※3) 停止中の物標が検出されないため、統合処理を行わず実施

図 4.2.3③-1 狭域共同検証における処理時間の測定結果

4.3. 総合検証

4.3.1. 実証環境の構築

※4.2.1 節を参照。

4.3.2. 実証の流れ

総合検証では、対象車両に対して、中域エリアにおいて経路変更を支援し、狭域エリアにおいて交差点での右折を支援するという、一連の UC シナリオを想定した検証を実施した。UC シナリオの過程で、収集→統合→配信の一連の処理時間（KPI は 3 秒以内）などを計測することに加え、検討・構築したシステムアーキテクチャ全体の妥当性確認や KPI 評価を実施した。

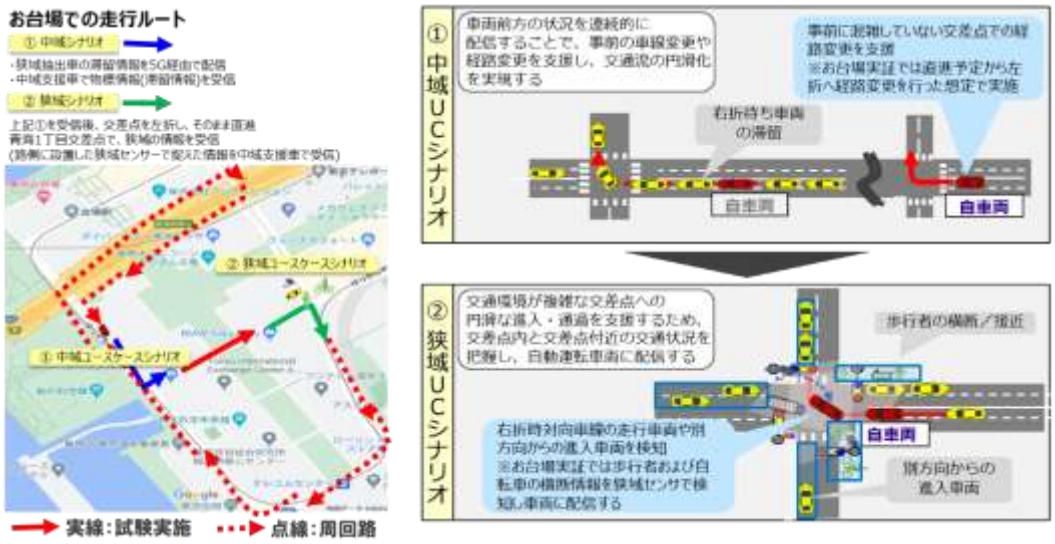


図 4.3.2-1 お台場での走行ルート

4.3.3. 実証結果

① 中域ユースケース

中域ユースケースでは、中域エリアにおける一連の処理時間として、3 秒以内という KPI を見据えて測定を行った。バリエーションとしては、狭域各社の 2 パターンについて、実証を行った。（ユースケースシナリオについては共通である。詳細は 4.3.2 節を参照）

実証実験の結果について、図 4.3.3①-1 に示す。

種別	UCシナリオ	(1) 情報源での抽出【処理時間】	(2) 情報源⇒狭域SV【通信遅延】	(3) 狭域SVでの統合【処理時間】	(4) 狭域SV⇒中域SV【通信遅延】	(5) 中域SVでの統合・配信【処理時間】	(6) 中域SV⇒配信先【処理時間】(※4)	合計 (1)~(6)
沖 (※2)	UC中1-1-1 (滞留無し)	①37.4ms ②46.0ms ③53.0ms	①0.6 ms ②1.0 ms ③2.0 ms	①49.7 ms ②99.0 ms ③101.0 ms	①28.9 ms ②80.9 ms ③102.4 ms	①20.1 ms ②62.7 ms ③80.5 ms	①80.0 ms ②43.9 ms ③49.2 ms	①216.7 ms ②333.5 ms ③388.1 ms
パナソニック (※3)	UC中1-1-1 (滞留無し)	ITS ①1.4 ms ②2.0 ms ③2.0 ms レーダ ①13.4 ms ②20.0 ms ③23.0 ms	ITS ①3.0 ms ②4.0 ms ③5.0 ms レーダ ①2.1 ms ②3.0 ms ③4.0 ms	①48.0 ms ②72.0 ms ③78.0 ms	①48.0 ms ②71.7 ms ③81.5 ms	①32.9 ms ②71.6 ms ③94.0 ms	①8.7 ms ②43.9 ms ③58.4 ms	ITS ①142.0 ms ②265.2 ms ③318.9 ms レーダ ①153.1 ms ②282.2 ms ③338.9 ms

(※1) アンカーバンドであるLTEの基地局切替(ハンドオーバ)の場合。
5G⇔LTEの切替については、LTE通信が継続するため、送信中断は発生しない。
(※2) 中域UC⇒狭域UCシナリオ
(※3) 狭域歩行者検出シナリオ
(※4) 通信遅延を含む（→通信遅延自体の評価は「検証結果1」を参照）、また配信先にて受信メッセージを全て受信し切るまでの時間

【凡例】
①平均値
②CDF 95%
③CDF 99%

図 4.3.3①-1 お台場での中域ユースケースの実証実験結果

実証結果からは、お台場における 1 交差点・配信先 1 台という条件下ではあるが、数百ミリ秒以内で処理が完了することが分かった。4.2 節の中域ネットワーク検証同様、配信データ量(交差点数を含む)や配信先台数を増やした場合、中域 SV の処理時間の増加が大きく、実用化に向けては設計上の考慮が必要となる。

加えて、基地局切替時には 400ms 程度の送信中断が発生することが想定されるが、これを考慮しても KPI は達成できると見込まれる。
参考まで、ハンドオーバの処理時間に関する考え方を図 4.3.3①-2 に示す。

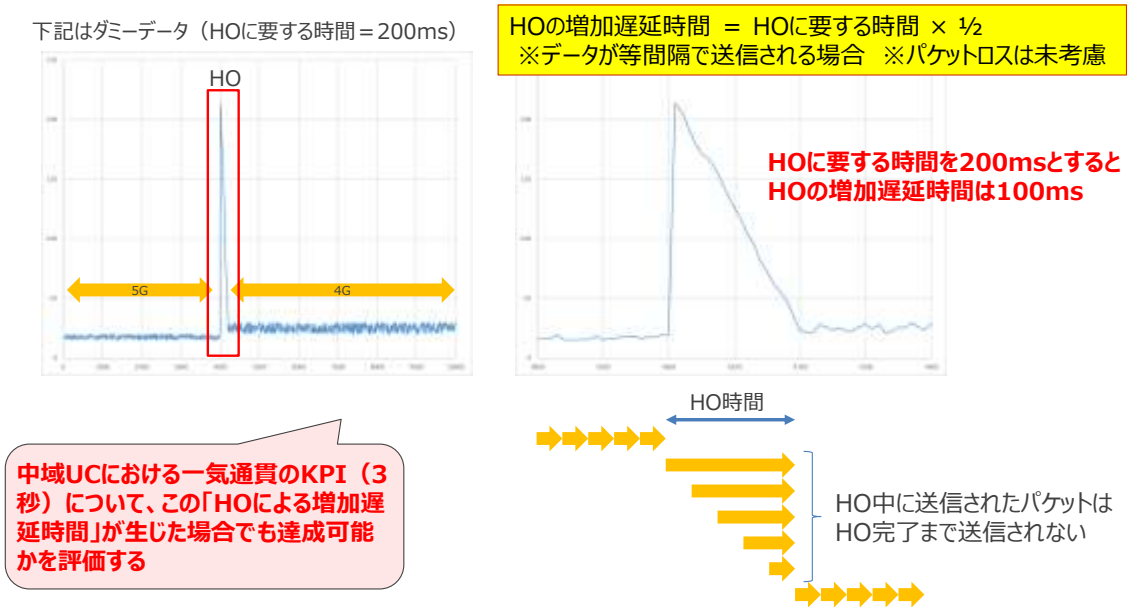


図 4.3.3①-2　ハンドオーバの処理時間

ハンドオーバの処理時間については、4G における基地局の切替(HO)の最中はデータ転送が出来ず、バッファリングされたデータが HO 完了後に送信されるため、「HO による増加遅延時間 ＝ HO に要する時間 × 1/2」が生じる。

なお、上記はアンカーバンドである LTE の基地局切替（ハンドオーバー）の場合であり、5G⇔LTE の切替については、LTE 通信が継続するため、送信中断は発生しないと仮定した。

② 狭域ユースケース

狭域ユースケースでは、各社と連携し、狭域エリアにおける一連の処理時間として、1 秒以内という KPI を見据えて狭域配信の測定を行った（中域配信も同時に実施）。実証のバリエーションとしては、狭域各社の 2 パターンを実証した。(ユースケースシナリオについては共通、詳細は 4.3.2 項を参照)

実証実験の結果について、図 4.3.3②-1 に示す。

種別	UCシナリオ	(1) 情報源での抽出【処理時間】	(2) 情報源⇒狭域SV【処理時間】	(3) 狭域SVでの統合【処理時間】	(4) 狭域SV⇒配信先【処理時間】	合計 (1)～(4)
沖	UC狭域3-1-0～3-1-3 (交差点横断)	①37.4ms ②46.0ms ③53.0ms	①0.6ms ②1.0ms ③2.0ms (※1)	①49.7 ms ②99.0 ms ③101.0 ms	①10.0ms ②22.0ms ③28.0ms	①97.7ms ②168.0ms ③184.0ms
パナソニック	UC狭域3-1-0～3-1-3 (交差点横断)	ITS ①1.3ms ②2.0ms ③2.0ms レーダ ①13.4ms ②20.0ms ③23.0ms	ITS(物標毎) ①3.0ms ②4.0ms ③6.0ms レーダ(複数一括) ①1.9ms ②3.0ms ③5.0ms	①32.2ms ②74.0ms ③91.0ms	①2.4ms ②2.0ms ③3.0ms (※2)	①236.7ms ②330.0ms ③382.0ms (※2) (※3)

【凡例】
①平均値
②CDF 95%
③CDF 99%

(※1) 情報源(センサ)と狭域サーバは直結
(※2) 遮蔽による500ms以上の遅延を除外して集計（路側通信機を簡易設置したため、十分な設置高を確保できなかったことに起因）
(※3) 同定処理の周期処理(250ms)待ち時間含む

図 4.3.3②-1 お台場での狭域ユースケースの実証実験結果

沖電気との連携パターンでは通信エリア内の通信品質がパケット到達率 99%以上となることを確認することができた。またパナソニックとの連携パターンでは、JARI テストコースでの検証時点より、ソフトウェア処理時間や時刻同期方法を改良することで、通信品質の改善が確認できた。

5. 研究開発評価・検証（パナソニック株式会社）

本章ではパナソニック株式会社担当の評価・検証内容について説明する。当社は、第 3 章に示したシステム構成(図 3.1.5.①-1)の路側処理方式を担当するが、最初に当社システムのアーキテクチャ(5.1 節)を示した後、模擬市街路を有するテストコースで実施した接続確認(5.2 節)、5G 通信エリア内の公道で実施した総合検証(5.3 節)、そして交通量等を想定したシミュレーション検証(5.4 節)の内容及び結果について述べる。なお、本章内の一部の図において、説明を補足する目的で Google マップ(https://www.google.co.jp/maps/)を使用する。

5.1. アーキテクチャ詳細

専用通信を用いた路側処理方式の当社システム(以降、本システムと称す)は、交差点周辺を狭域エリアとして、以下のように、収集、統合、配信の機能で構成されている。

- 交差点周辺に散在する歩行者や自転車等の対象物を、ミリ波レーダおよび ITS 通信端末の各情報源から位置や速度等、対象物に係る抽出情報を収集
- 収集した複数の抽出情報から、同一の対象物か否かの判定処理等、当該対象物の物標情報として過不足無く統合
- 統合した物標情報を交差点へ進入する車両に対して、ミリ波通信で直接的に車両へ配信、並びにセルラ通信(5G)で中域サーバへ配信

具体例として、交差点におけるシステムイメージを図 5.1.-1 に示す。本システムでは、情報源の 1 つであるミリ波レーダが交差点周辺を広範囲に路側センシングするため、対角に位置する柱(信号柱等)を利用して配置する。合わせて、ミリ波通信や各装置も配置する。交差点周辺に散在する対象物を、ミリ波レーダではその反射エコーから、また ITS 通信端末では GNSS の計測データから、それぞれ得られる位置や速度等の抽出情報を路側インフラ装置で収集する(①)。収集した情報を狭域サーバ装置で当該対象物に対する同一判定等で統合処理した後(②)、交差点に進入する車両(自動運転車両)に対して、統合した情報を路車間のミリ波通信で直接的に配信すると共に、同情報を中域サーバへ配信する(③)。前者のミリ波通信による配信は、高速通信方式に準じており、また収集から配信まで狭域エリア内に閉じて処理されるため、自動運転車両は交差点周辺の情報を迅速に取得可能である。加えて、狭域サーバ装置(信号柱 A)から離れた、対角の路側インフラ装置(信号柱 B)の情報は、信号柱間に設置された路路間のミリ波通信を介して高速に収集可能である。

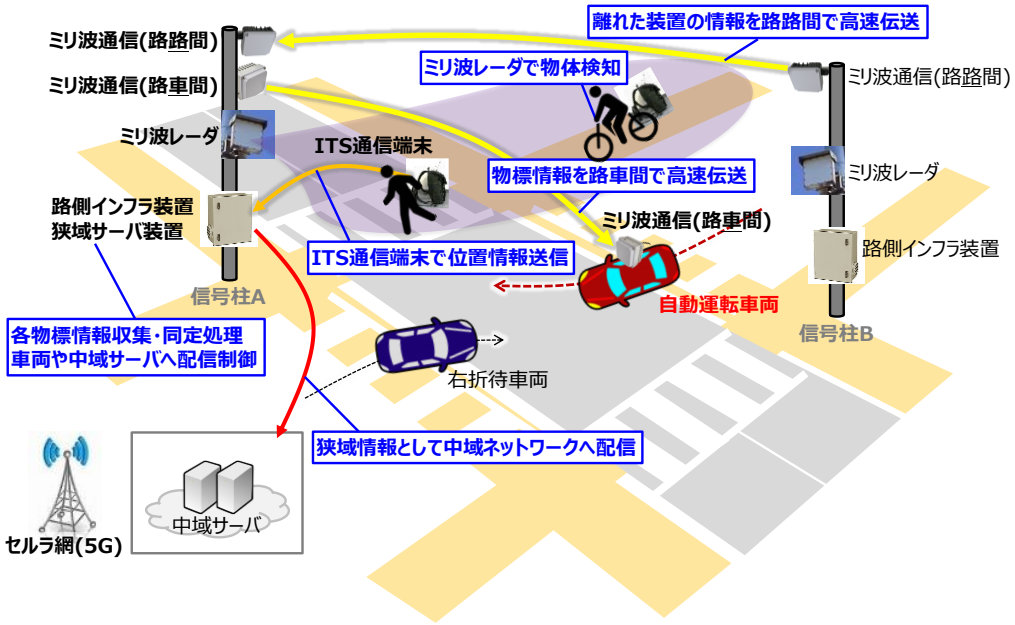


図 5.1-1　システムイメージ

5.1.1. ハードウェア構成

図 5.1-1 の交差点におけるシステムイメージに対応付けした、ハードウェア構成を図 5.1.1-1 に示す。

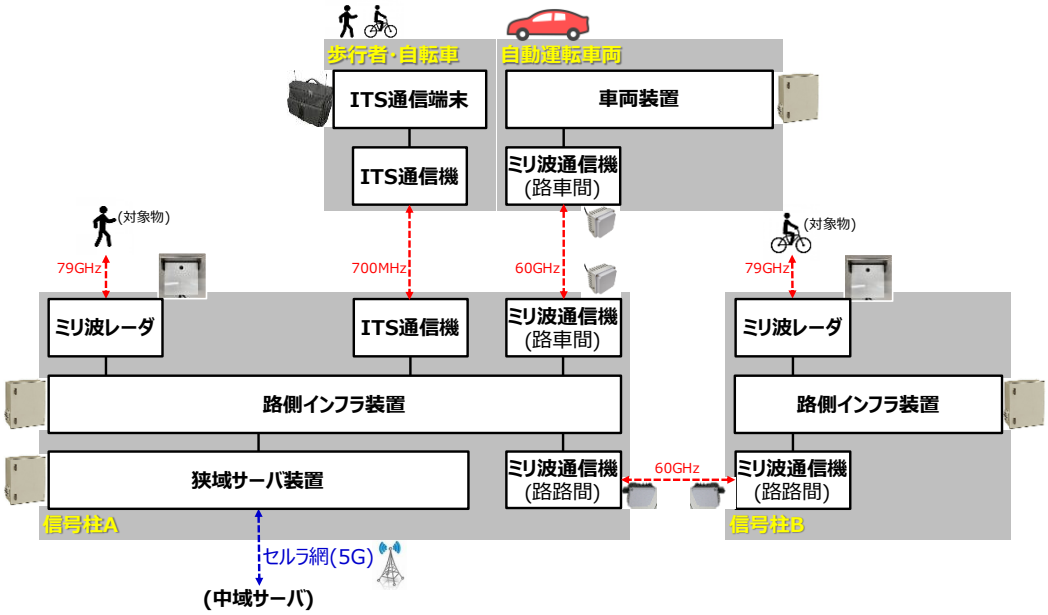


図 5.1.1-1　ハードウェア構成

以下、各装置類の詳細内容について説明する。

〈路側インフラ装置※〉

本装置は、信号柱の上部に設置されるミリ波レーダ(79GHz 帯, ARIB STD-T111)、ITS 通信機(700MHz 帯, ARIB STD-T109)、ミリ波通信機(60GHz 帯, IEEE802.11ad)に接続され、各機器の計測制御、通信制御、収集処理(①)等を行う。装置本体及び各機器は防雨対策済筐体に実装されており、屋外での設置使用が可能である。

〈狭域サーバ装置〉

本装置は、路側インフラ装置に接続され、統合処理(②)、配信制御(③)等を行う。また、装置内には 5G 対応セルラ通信機が組み込まれており、中域サーバへの配信制御(③)等も行う。装置本体は防雨対策済筐体に実装されており、屋外での設置使用が可能である。

〈車両装置〉

本装置は、自動運転車両の上部に設置されるミリ波通信機に接続され、通信制御(受信処理)等を行う。装置本体は車両内に設置するが、ミリ波通信機は防雨対策済筐体に実装され、車両の高速走行に対しても強固な取り付け治具を備えており、車両外での設置使用が可能である。

〈ITS 通信端末〉

本端末※は、ITS 通信機に加え、GNSS 受信機、制御用スマートフォンに接続され、位置や速度等の計測制御、通信制御等を行う。主要機器は歩行者用として簡易防雨対策済バックパックに実装されており、少雨であれば使用が可能である。

本システムの時刻同期について、路側インフラ装置、車両装置、ITS 通信端末には GNSS 受信信号から時刻情報の取得、補正する機能が実装されており、通信開始等の各装置類の時刻は絶対時刻で記録する。なお、信号柱 A の狭域サーバ装置は、接続される同柱の路側インフラ装置から時刻情報を取得、補正する。

※路側インフラ装置内のミリ波レーダ、および ITS 通信機を含む ITS 通信端末は、SIP 第 1 期の研究成果(機器)を活用

5.1.2. ソフトウェア構成

路側処理方式のソフトウェア構成を図 5.1.2.-1, 図 5.1.2.-2, 図 5.1.2.-3 に示す。

まず 2 種類ある情報源のうち、ITS 通信機を用いた歩行者・自転車用端末（図 5.1.2.-1）について説明する。

- 歩行者・自転車が持つスマートフォンでは、外部の GNSS 受信機から 4Hz の頻度で位置情報を取得し、取得した位置情報内の GPS 時刻をタイムスタンプとし、TD-001 のフォーマットに変換して送信要求を行う。

- TD-001 の送信部では、10Hz の頻度で TD-001 のフレームを送信する。位置情報が更新されない場合は、前回と同じ情報を送信する。
- 送信された TD-001 データは、路側器に設置された ITS 通信器により受信され、ITS 路側制御装置で受信データを所定の「情報源・狭域サーバ間フォーマット」に変換し、CBOR 形式にエンコードして狭域サーバに REST 送信を行う。送信の際、TD-001 の受信物標 1 つにつき 1 回の REST 送信を行う。

次に 2 種類ある情報源の 2 つ目の 79GHz 帯ミリ波レーダ（図 5.1.2.-2）について説明する。79GHz 帯ミリ波レーダは交差点内に複数設置を行った(1 系と 2 系)。1 系と 2 系間は WiGig のバックホール回線で接続されている。その他の構成については 1 系と 2 系は同構成のため、1 系について説明する。

- レーダ制御装置では外部の 79GHz 帯ミリ波レーダからセンシングした生データを 20Hz で取得解析し、物標情報を生成する。
- 生成した物標情報を後段のレーダトラッキング装置に UDP 送信する。
- レーダトラッキング装置では、受信した物標情報の座標変換（レーダ極座標系⇒XY 直交座標系、緯度経度、CRP 座標）を行い、センシングエリア外の物標削除、物標種別の識別、時系列の物標情報のトラッキング処理（ID 付与）を行う。
- トラッキングされた複数の物標情報を 1 フレーム分まとめて所定の「情報源・狭域サーバ間フォーマット」に変換し、CBOR 形式でエンコードして狭域サーバに REST 送信を行う。

情報源からの物標情報の統合処理を行う狭域サーバ(図 5.1.2.-3)について説明する。

- 狭域サーバでは、情報源から送信された REST データを受信し、受信タイムスタンプの付与・CBOR 形式のデコード・エラーチェック等を行い、統合処理のキューに積む。
- 統合処理部は、250ms 周期のタイマー動作を行っており、タイマー満了にて統合処理を開始する。開始時点でキューにたまっている全データについて統合処理を行い、統合処理結果を DB に格納する。完了後次のタイマー満了を待つ。

次に統合処理した物標の狭域配信（図 5.1.2.-3）について説明する。狭域配信は 2 つの機能「車両情報収集部」と「狭域情報生成部」で構成されている。

- 「車両情報収集部」は、狭域配信の配信先となる交差点に近づいてくる車両から通知される位置情報を受信し、DB に格納する。
- 「狭域情報生成部」は、統合処理部での DB 格納をトリガーに動作し、あらかじめ通知された車両の情報と、規定の時間範囲内の交差点内の全物標を取得する。

- 通知された車両毎に、あらかじめ設定された位置方向に応じて定義された配信情報エリアを適用して物標情報をフィルタ処理し、最適な物標のリストを生成して狭域 MQTT Broker に配信する。
- 狭域 MQTT Broker の topic は、配信先の車両番号毎に分かれているので、車両側から通知された車両番号に対応する topic に配信すればよい。

次に狭域配信の配信先の車両制御部について説明する。車両制御部は、「自車両位置取得部」「車両情報配信部」「物標情報受信部」「車両表示部」で構成されている。

- 「自車両位置取得部」で外部の GNSS 受信機から 4Hz の頻度で位置情報を受信し、「車両情報配信部」と「車両表示部」に通知する。
- 「車両情報配信部」は、WiGig に接続されている時に、狭域 MQTT Broker の「車両情報収集」の自己の車両番号に対応した topic に車両情報を配信する。
- 「物標情報受信部」は、WiGig に接続されている時に、狭域 MQTT Broker の「物標情報配信」の自己の車両番号に対応した topic を購読し、狭域情報生成部から配信される物標情報を受信し、「車両表示部」に通知する。
- 「車両表示部」では、自車両位置と、配信された物標の表示を行う。

次に中域配信について説明する。中域配信は、「配信制御部」と「中域情報生成部」で構成されている。

- 「配信制御部」は、5G CPE を通して dOIC 上の中域 MQTT Broker の「物標情報配信制御」の自己の狭域サーバ番号に対応する topic を購読し、中域サーバからの配信間隔の通知を待ち受け、「中域情報生成部」に通知する。
- 「中域情報生成部」は、「配信制御部」から通知された配信間隔に従って狭域サーバの DB から規定の時間範囲の物標を取得し、規定の配信エリア内の物標のフィルタ処理後に物標情報のリストを作成し、中域 MQTT Borker の「物標情報収集」の自己の狭域サーバ番号に対応する topic に 5G CPE を通して配信する。配信後のデータ処理は中域サーバの範疇なので本節では割愛する。

最後に時刻同期について説明する。

- GNSS の 1PPS 信号に同期した stratum1 に相当する NTP サーバを 3 つ設置している。
- 無線で切断される可能性のある WiGig の接続部分で分割してぞれぞれに設置している。
- NTP サーバ 1 を参照するのが狭域サーバ・レーダ 1 系の装置・ITS 路側制御装置であり、NTP サーバ 2 を参照するのがレーダ 2 系の装置、NTP サーバ 3 を参照するのが車両制御部である。

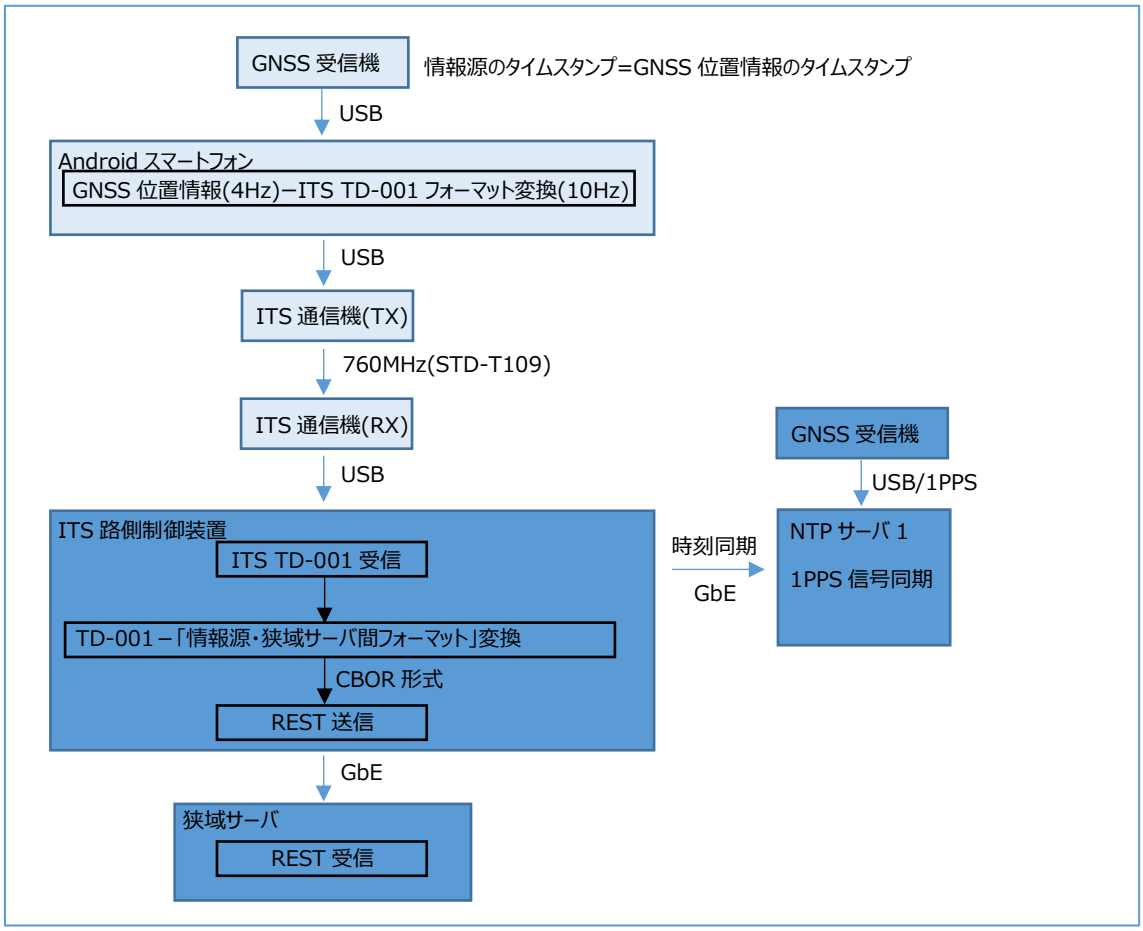


図 5.1.2-1　ソフトウェア構成（情報源・ITS）

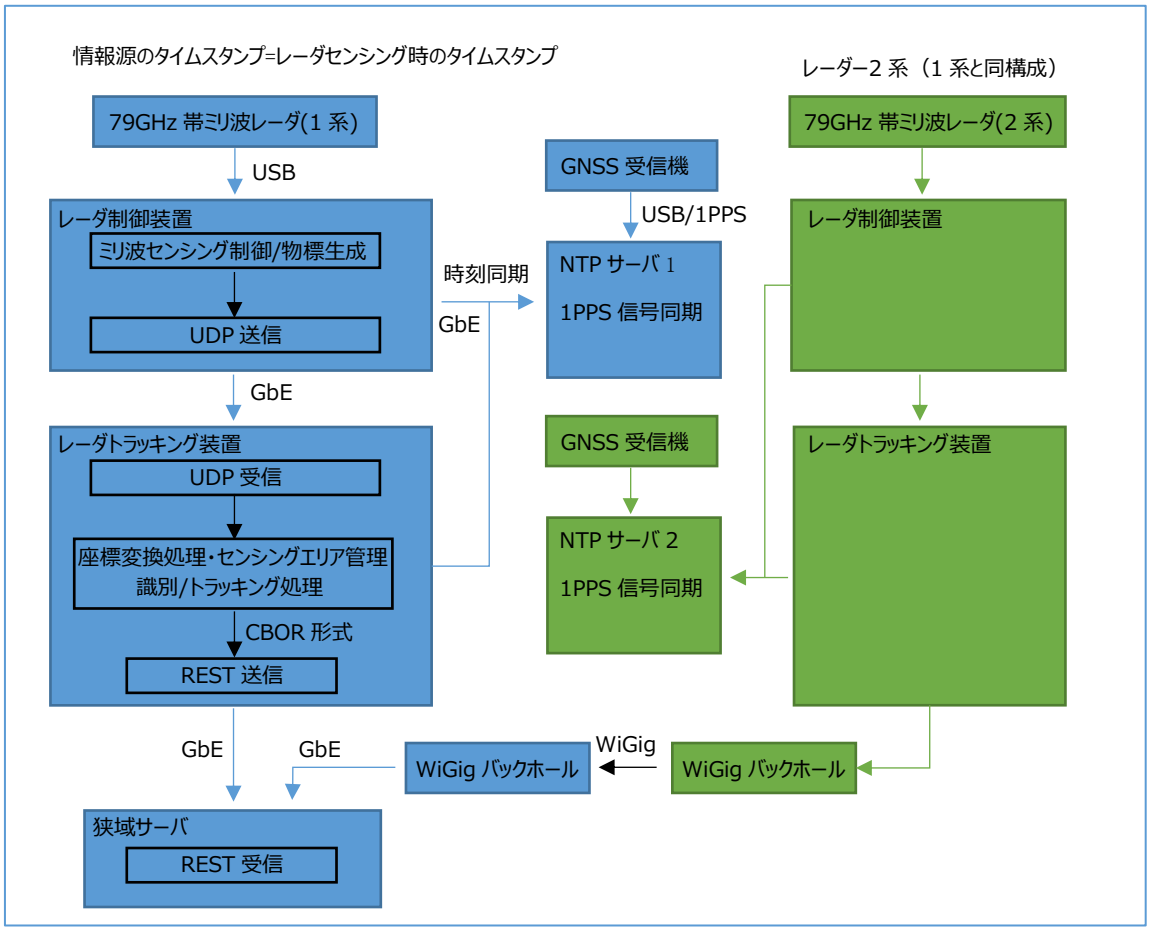


図 5.1.2-2　ソフトウェア構成（情報源・ミリ波レーダ）

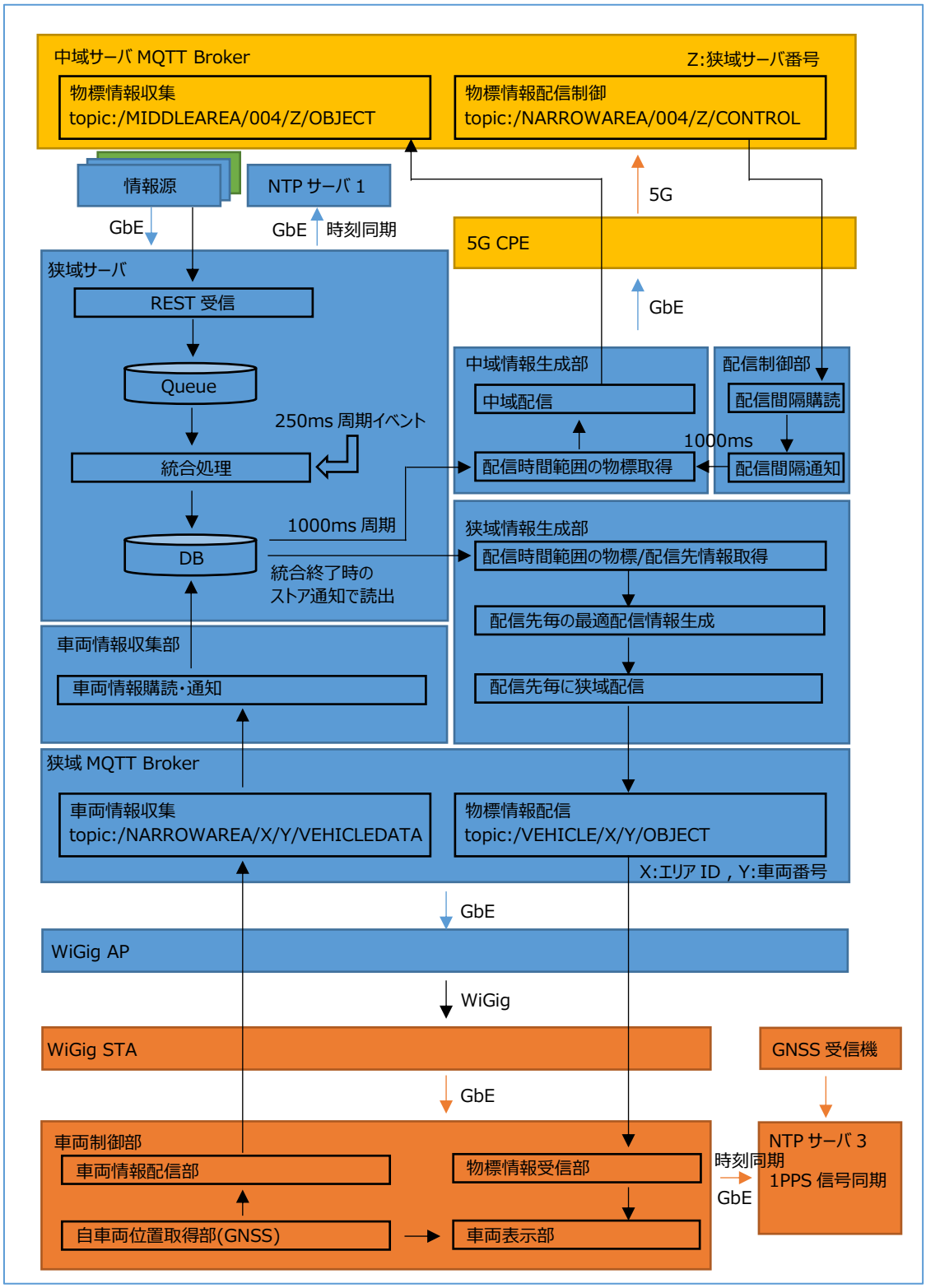


図 5.1.2-3　ソフトウェア構成（狭域サーバ・狭域配信・中域配信・車両制御部）

5.1.3. 統合処理アルゴリズム

各路側端末から送信されるセンサ情報を、狭域サーバで収集、統合し、各車両へ配信を行う。本節では狭域サーバ内の統合処理のアルゴリズムについて述べる。

① 統合処理概要

各種情報源からの数が増大すると通信の逼迫が懸念されることから、各種情報源の情報を統合することにより、通信量を低減させ、車両の側の処理負荷を低減することが必要となってくる。

パナソニック株式会社が検討する統合処理は、ミリ波レーダから得られる情報（位置、速度、方向等）の特徴と ITS 通信端末から得られる情報源の特徴を活かしながら統合することで、通信量を減らしつつ、情報の品質を上げていくことを目標とする。

以下に、ITS 通信端末、ミリ波レーダから得られる情報源の特徴及び統合処理における目指す姿を表 5.1.3.①-1 にまとめた。

統合処理では、センシングエリアが狭いが位置精度良いミリ波レーダの特徴とセンシングエリアが広いが位置精度は劣る ITS 通信端末の特徴のいいとこどりができるため、センシングエリアを広く位置精度の良い、さらに互いのセンサの特徴を補間し合いより良い情報を作成することを目指す。

表 5.1.3①-1　ITS 通信端末,ミリ波レーダ情報源の特徴及び統合処理での目指す姿

	位置精度	速度精度	移動方向精度	センシングエリア	静止センシング	端末所持必要性	属性情報
ITS 通信端末	△	○	○	○	○	×	○
レーダセンサ	○	○	△	△	×	○	△
統合処理	○	○	○	○	○	○	○

統合処理において､ミリ波レーダと ITS 通信端末の時刻ズレ､位置ズレが発生するため、①検知エリアを跨ぐシームレスな検知、②異なるセンサで検知した物標を同一判定すること　が課題となってくる。

時刻ズレ対策は､路側インフラ装置毎に GNSS 受信機のタイミングパルスを用いて、NTP サーバを構築して、高精度な時刻同期システムを構築した（詳細は 5.1.2 参照)。

位置ズレ対策は、COS 類似度（方向類似性）を特徴量に変換し、位置と軌跡を考慮し重みづけ加算、尤度を求める同定手法を実現する。

次章以降に統合処理の詳細について説明していく。

② 統合処理フロー

図 5.1.3②-1　に統合処理のフローを示す。次節以降に統合処理の詳細を説明する。

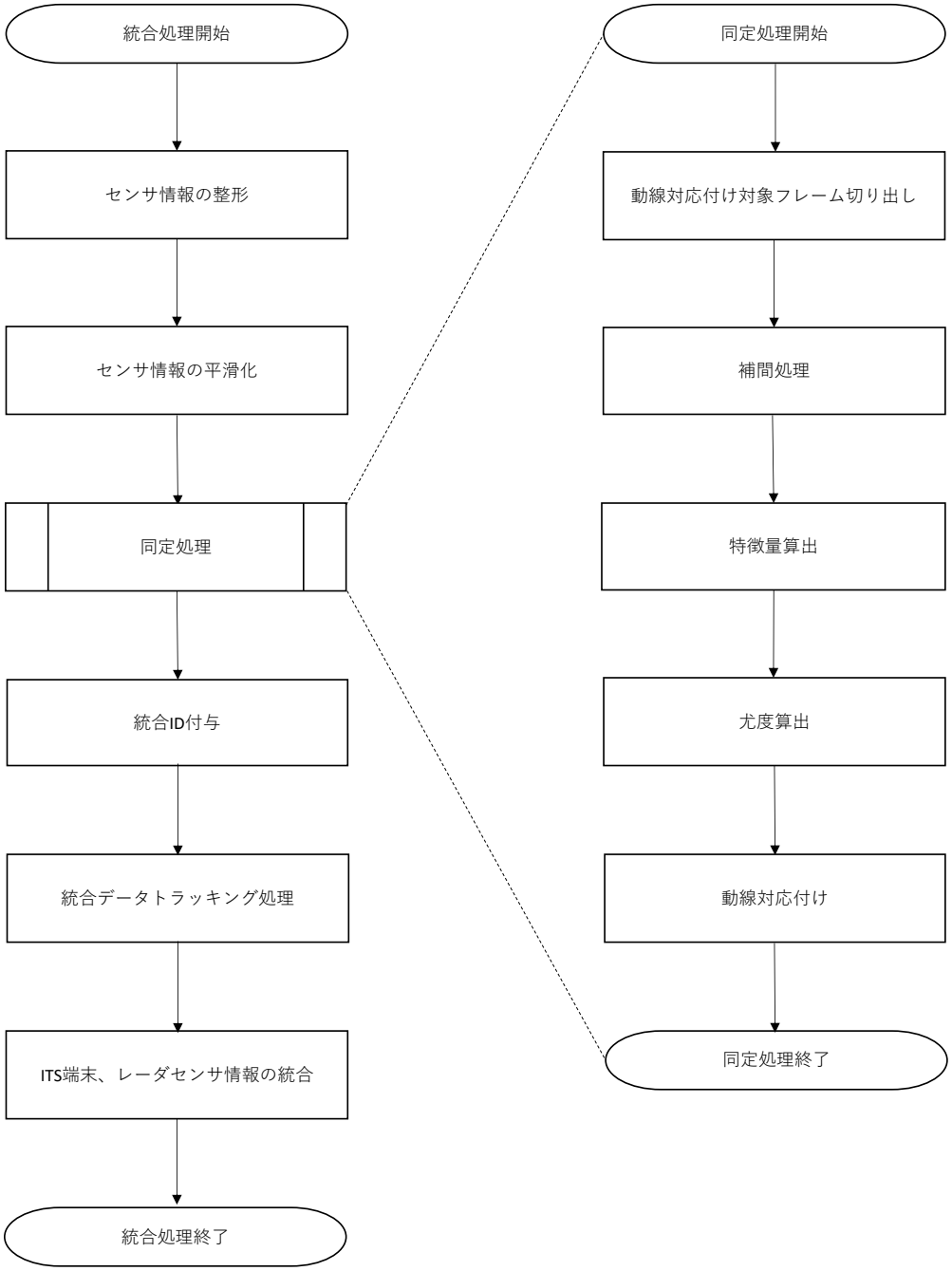


図 5.1.3②-1　統合処理フローチャート

③ 処理の詳細説明

(1) センサ情報の整形

ITS 通信端末、ミリ波レーダからの情報に対して、過去のデータや不正なデータを破棄する。また、必ずしも時系列で入力されないので、物標 ID 毎にサンプリング時間ごとに時系列に並び替えの処理を行う。

本処理では、物標 ID・サンプリング時刻毎に並んだ、物標種別、位置情報、移動方向、速度が出力される。

(2) センサ情報の平滑化

雑音を含んだ、位置情報、速度、移動方向に平滑化処理を行う。ここでは、特異な値の影響を減らすのに有効な中央値による平滑化を用いた。図 5.1.3.③-1 に中央値による平滑化の概念を示す。

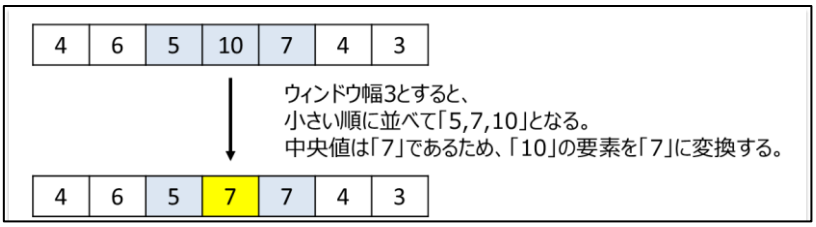


図 5.1.3③-1　中央値による平滑化の概念

(3) 動線対応付けに使用する対象フレーム、参照フレームの情報切り出し

動線対応付けに使用するデータを、対象フレーム、参照フレームに切り出す処理を行う。図 5.1.3③-2 に統合処理の実行タイミング、対象フレーム、参照フレームの関係を示す。統合処理は実行タイミングの時、最新の対象フレームだけでなく、過去の参照フレームも使うことで、軌跡も考慮して動線対応付けを行う。

以下の図では実行タイミング３の時に使用する対象フレーム、参照フレームの関係を示している。

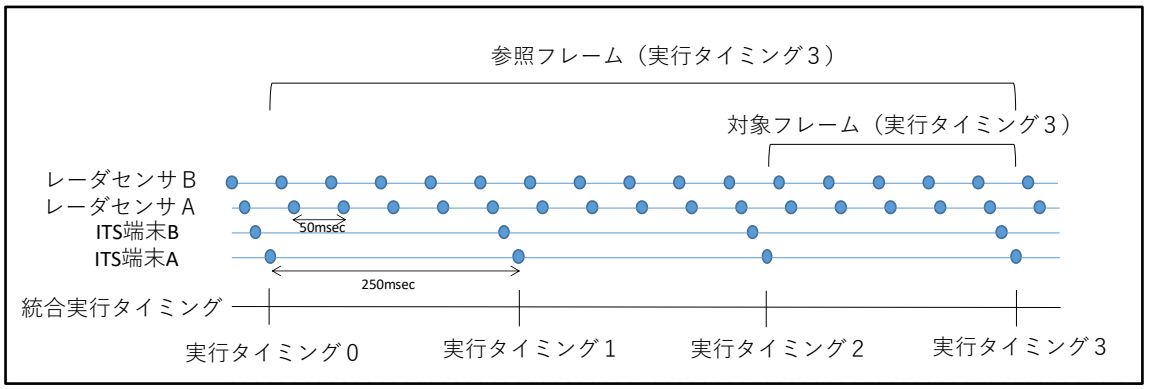


図 5.1.3③-2　統合処理の実行タイミング、対象フレーム、参照フレームの関係

(4) 特徴量算出

本節では特徴量算出方法について説明する。

(i) 補間処理

基準となる動線（ITS 通信端末）のタイミングに、他の動線のタイミングを合わせる処理を行う。

基準となる動線とは、サンプリング周期が長いセンサの動線とする。なお、既に同定処理によって求められた動線は、そちらを基準動線となる。

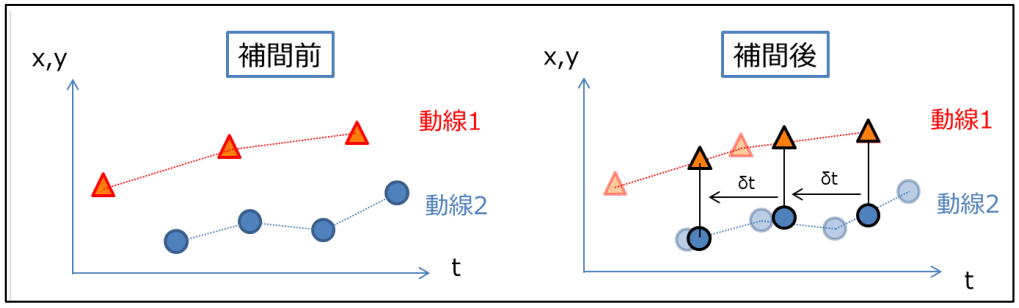


図 5.1.3③-3　補間処理概念

(ii) 特徴量計算

物標種別毎、実行タイミング T の対象フレーム、参照フレーム動線データを入力とし、時刻 T における基準動線とその他の動線同士の特徴量を出力する。

本処理では、対象フレーム、参照フレームの「平均距離」、「平均 cos 類似度」を計算する。それぞれについて次に説明説明する。

(a) 平均距離

対応する動線同士は、長期的に座標値の近い状態が続くと考えられる。時刻 t における①ITS 通信端末の動線と②ミリ波レーダの動線の座標から 2 点間の距離を計算し、対応する区間の参照フレーム、対象フレームのそれぞれの平均距離を求める。図 5.1.3.③-4 に平均距離の算出方法の概念を示す。

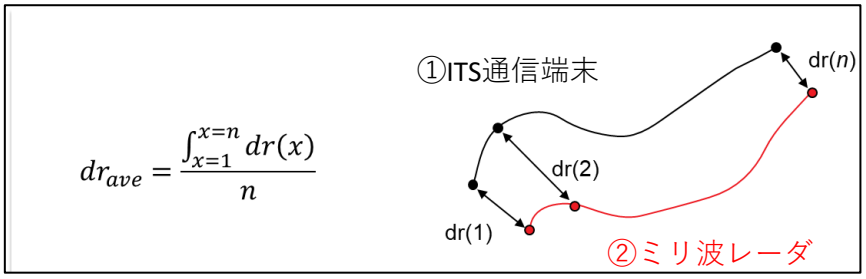


図 5.1.3③-4　平均距離の算出方法の概念

(b) cos 類似度

対応する動線同士は、動線を構成している位置情報の時間的変化（動き）が類似したものになると考えられる。時刻 t におけるセンサ①の動線とセンサ②動線のベクトルから 2

ベクトル間の cos を計算し、対応する全区間の平均値を求める。図 5.1.3.③-5 に COS 類似度の算出方法の概念を示す

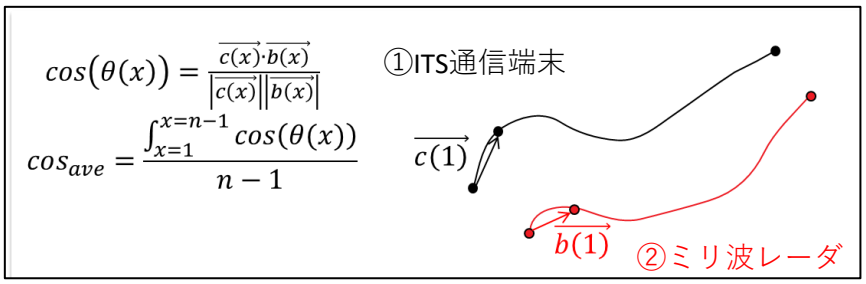


図 5.1.3③-5　COS 類似度の算出方法の概念

(5) 尤度算出

特徴量「参照フレームの平均距離」「対象フレームの平均距離」「参照フレームの平均 cos 類似度」から全体尤度への変換を以下の手順で行う。

1. 特徴量「参照フレームの平均距離」「対象フレームの平均距離」「参照フレームの平均 cos 類似度」を、それぞれ尤度に変換する。
2. 1. で算出した各尤度の重み付き加算を全体尤度とする。

1. について、特徴量から各尤度への変換手法を図 5.1.3.③-6 に示す。参照フレームの平均距離に関する尤度 E_{sd} は、動線間距離が近いほど 1 に近い尤度をもつ。また、ある一定のしきい値以上の距離の動線に対しては E_{sd} = 0 とする。参照フレームの平均 cos 類似度に関する尤度 E_{sc} は、cos 類似度が高いほど 1 に近い尤度をもつ。ある一定のしきい値以下の cos 類似度の動線に対しては E_{sc} = 0 とする。対象フレームの平均距離に関する尤度 E_d は、動線間距離が近いほど 1 に近い尤度をもつ。

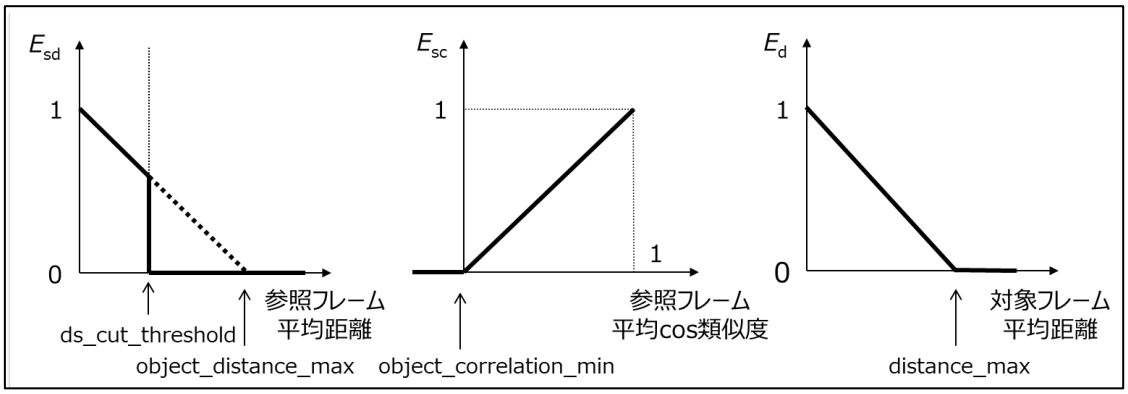


図 5.1.3③-6 特徴量から尤度への変換イメージ

2 について、1 で算出した各尤度を下式によって重み付き加算をとり、全体尤度 E に変換する。ただし参照フレームの平均距離に関する尤度 E_{sd} = 0 の場合は E = 0 とする。

尤度は以下の式で求めることができる。

$E = \alpha E_{sd} + \beta E_{sc} + \gamma E_{d}$

本尤度を動線の対応付けを行うITS通信端末の物標とミリ波レーダの物標の全ての組み合わせについて求める。

(6) 動線対応付け（同定）

(5)で算出したITS通信端末の物標と各ミリ波レーダの物標IDの尤度において、最大となる尤度を求め、その最大尤度が同定閾値を超えるたら、ITS通信端末の物標とミリ波レーダの物標の組み合わせを同一物標（同定）判定とする。

１つのITS通信端末の物標IDは１つのミリ波レーダの物標IDのみ同定判定をするが、１つのミリ波レーダの物標IDは複数のITS通信端末の物標IDと同定を可能とし、ミリ波レーダで発生する複数の物標が重ねって1つの物標に見えるオクルージョンの場合でも、同定判定することが可能となる。

また、同定された物標IDの尤度に対して、同定解除閾値を下回るときは同定解除を行う。

(7) 統合ID付与

ITS通信端末、ミリ波レーダのエリア検知を跨いでも、シームレスな物標IDを実現するために、統合処理部で新規に統合IDを付与する。なお、同定できていない物標IDについても、シームレスな物標IDを実現するために統合IDを付与する。

(8) 統合データトラッキング処理

統合IDが付与された物標IDに対してトラッキング処理を行う。

統合IDに関連付けられている、ITS通信端末、ミリ波レーダの物標IDの情報があったら当該統合の信頼度を増やしサンプル時間、位置、速度、移動方向を更新し、なかったら信頼度を減らす。

信頼度が0になった場合は、統合IDに関連付けされている物標IDから削除し、関連付けされている物標ID全てなくなったら統合IDを削除する。

(9) ITS通信端末、ミリ波レーダ情報の統合

ITS通信端末とミリ波レーダから入力される、物標種別、位置、速度、移動方向、時間を統合して、統合出力を求める。統合の方法を以下に記載する。

・物標種別：ITS通信端末の種別を用いる。

・位置：ミリ波レーダの位置を用いる。

・速度：ITS通信端末の速度を用いる。

・移動方向：ITS 通信端末の移動方向を用いる。
・時間：対象フレーム内の最新の時間を用いる。

5.2. 各社接続確認

ユースケース毎の詳細評価シナリオ(3.2.2 項)に準じて、接続確認の評価条件を満たす、一般財団法人日本自動車研究所 V2X 市街地(自動運転評価拠点 Jtown 内)のテストコースで実施する。接続確認では、歩行者や自転車の所定経路、ミリ波通信(以降、WiGig と称す)の通信開始距離 126m 以上の直線進入路等が確保できる、4 車線 x2 車線の交差点(図 5.2-1 の破線で示した第 3 交差点)を狭域エリアと定め、その交差点中心を CRP 基準点として評価する。



図 5.2-1 テストコース(出典：http://www.jari.or.jp/)

5.2.1. 実証環境の構築

実証環境として、狭域エリアに配備する各装置類を図 5.2.1.-1 に示す。図 5.1.1.-1 のハードウェア構成に対応付けしており、交差点の対角に位置する信号柱 A・B “pole A,B” を設け、各柱にミリ波レーダ “rad” 、WiGig “wg” 、ITS 通信機 “its” を設置する。また、自動運転車両(以降、支援車と称す)に WiGig “wg” 、歩行者に ITS 通信端末 “its” を配置する。なお、WiGig の路車間、路路間、及び ITS 通信機間の破線(青色、紫色)は通信リンクを、ミリ波レーダの破線(緑色)はセンシングエリアをそれぞれイメージとして示す。

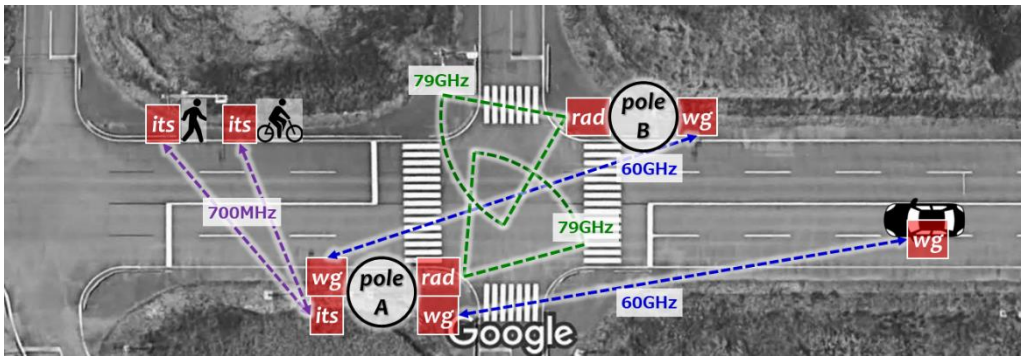


図 5.2.1-1 実証環境(接続確認)

以下、信号柱、支援車、歩行者の詳細内容について説明する。

〈信号柱〉

ミリ波レーダや路側インフラ装置等、路側機器を設置するにあたり、テストコースの既設信号柱には設置許可が得られなかったため、高所作業台(シザース型リフター)を模擬信号柱として配備する。各信号柱の設置写真を図 5.2.1.-2 に示す。信号柱の上部に設置された各機器の設置高(路面基準)は、カバレッジ等を勘定して、ミリ波レーダ 3m、ITS 通信機 4m、路車間 WiGig 5m、路路間 WiGig 5.5m とする。また、信号柱の下部には、路側インフラ装置、加えて信号柱 A に狭域サーバ装置を配置する。当該信号柱の設置位置を図 5.2.1.-3 に示す。高所作業台は、車道白線に沿って、横断歩道の端点に合わせて設置し、信号柱間の距離(ミリ波レーダと WiGig を設置した高所作業台の角)は約 27.6m である。なお、信号柱間の中点、すなわち交差点の中心を CRP 基準点とした。



図 5.2.1-2　実証環境・信号柱(左図：信号柱 A、右図：信号柱 B)

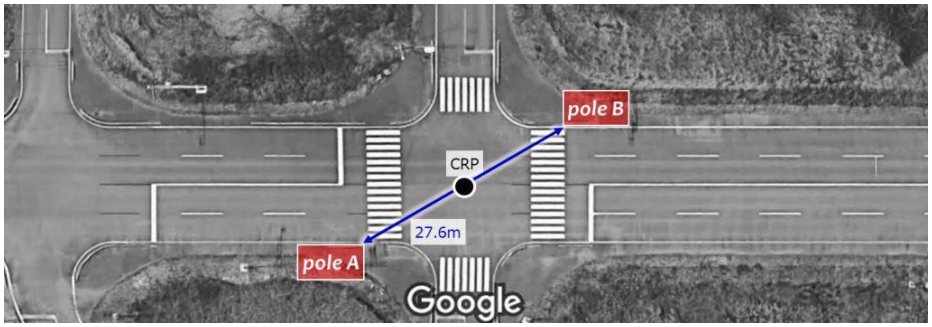


図 5.2.1-3　実証環境・信号柱の設置位置

〈支援車〉

3.2.2 項で示す評価シナリオの内、当社では「⑤狭域ユースケース 2 右折先道路渋滞シナリオ(以降、評価シナリオ・UC2 と称す)」及び「⑥狭域ユースケース 3 交差点横断シナリオ(以降、評価シナリオ・UC3 と称す)」の接続確認を行う。車両については、評価シナリオに準じて、2 台の一般的な小型車両(車長 4.39m, 車幅 1.69m, 車高 1.5m)を支援車と抽出車と定め、配信の評価対象である支援車に車両装置及び路車間 WiGig を設置する(図 5.2.1-4)。車両の走行経路については、各評価シナリオで異なるため、以降で説明する。



図 5.2.1-4 実証環境・支援車と抽出車

① 評価シナリオ・UC2

UC2 における、車両の走行経路を図　5.2.1.①-1 に示す。支援車の右折先エリアにおいて、滞留車両が存在するシーンを想定しており、本接続確認では、抽出車が当該エリアで停車または徐行する一方、支援車は遠方から交差点へ進入後、右折する。ただし、右折後の走行については、抽出車が停車の場合は追い越し通過、徐行の場合は追い越し禁止とする。支援車は、評価シナリオに準じて、路車間 WiGig の通信開始距離、すなわち配信開始点 126m を所定の速度で通過するために、走行開始点を 200m、減速開始点を一般的な右折レーンの 30m と定めて評価する。評価にあたり、経路上には 200m, 126m, 30m にマーカーを設け、支援車は各距離での所定の速度を再現性よく走行できるよう配慮する。停車または徐行する抽出車の詳細な移動経路を図　5.2.1.①-2 に示す。交差点の端点から距離 18m(9.5+9.5m)の右折先進入スペースに一般的な車両 1 台の長さ(車長 5m)を加えた車道を移動する“経路 D”と定める。



図 5.2.1①-1　実証環境・車両の走行経路(評価シナリオ・UC2)

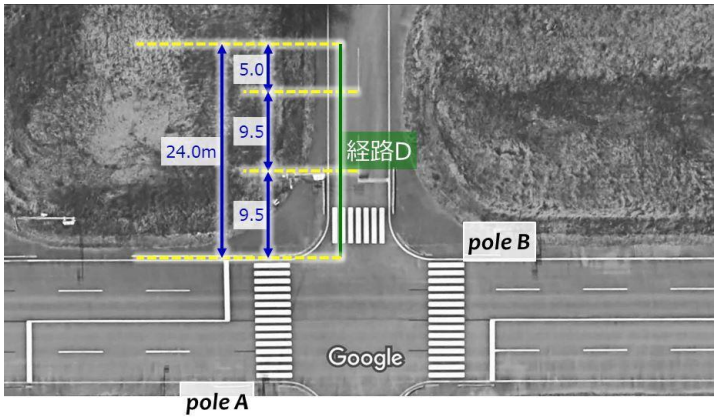


図 5.2.1①-2　実証環境・抽出車の走行経路(評価シナリオ・UC2)

② 評価シナリオ・UC3

UC3 における、車両の走行経路を図 5.2.1②-1 に示す。抽出車は交差点内で停車のまま、支援車は交差点進入から右折までのシーンを想定しており、本接続確認では、抽出車の背後で支援車からは見通しの悪い歩道を歩行者が移動する一方、支援車は遠方から交差点へ進入後、右折する。ただし、右折時については、交差点を横断する歩行者を確認した上で、一時停止または徐行とする。支援車の走行経路、方法については UC2 と同じとする。



図 5.2.1②-1　実証環境・車両の走行経路(評価シナリオ・UC3)

〈歩行者〉

ITS 通信端末を背負った被験者(図 5.2.1②-2)が、評価シナリオ・UC3 に準じて、歩行者または自転車で所定の経路を移動する。当社では、評価シナリオ・UC3 の内、支援車の走行経路(方向)に対向する歩道の歩行者等を抽出の評価対象として、接続確認を行う(図 5.2.1②-3)。詳細な歩行者及び自転車の移動経路を図 5.2.1②-4 に示す。交差点の端点から距離 32m の歩道に横断歩道の幅 7m を加えた移動経路に対して、歩行者が歩道から横断歩道を経由して移動する“経路 A”、自転車が歩道から車道に沿って直線的に移動する“経路 B”と定める。ただし、評価シナリオによっては歩行者 2 人が並列(横並び)もあり、歩道から横断歩道を経由して移動する必要があるため、経路 A と並行して移動する“経路 C”を追加して定める。従って、歩行者は経路 A または経路 C、自転車は経路 A または経路 B とする。評価にあたり、経路上にはガイドラインを設け、被験者は所定の経路を再現性よく移動できるように配慮する(図 5.2.1②-5、図 5.2.1②-6)。また、経路上の複数個所に通過時刻計測器を設け、歩行者、自転車問わず、各測定点を通過した絶対時刻を評価毎に記録すると共に、所定の速度で移動していること監視する。さらに、各測定点は予め絶対座標を RTK 測位することで、絶対時刻と絶対座標から KPI 算出等の真値データ(正解データ)として取り扱う。実施例として、各経路を歩行者または自転車を移動する写真を図 5.2.1②-7、図 5.2.1②-8 に示す。



図 5.2.1②-2　実証環境・被験者

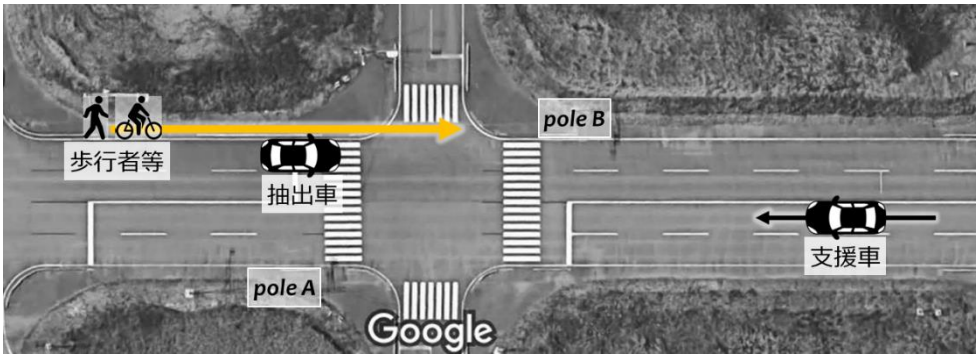


図 5.2.1②-3　実証環境・評価対象(評価シナリオ・UC3)

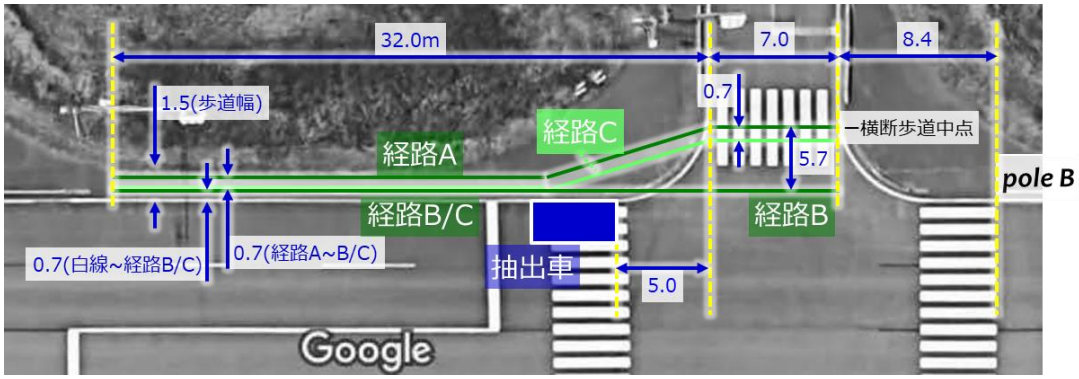


図 5.2.1②-4　実証環境・歩行者等の移動経路(評価シナリオ・UC3)

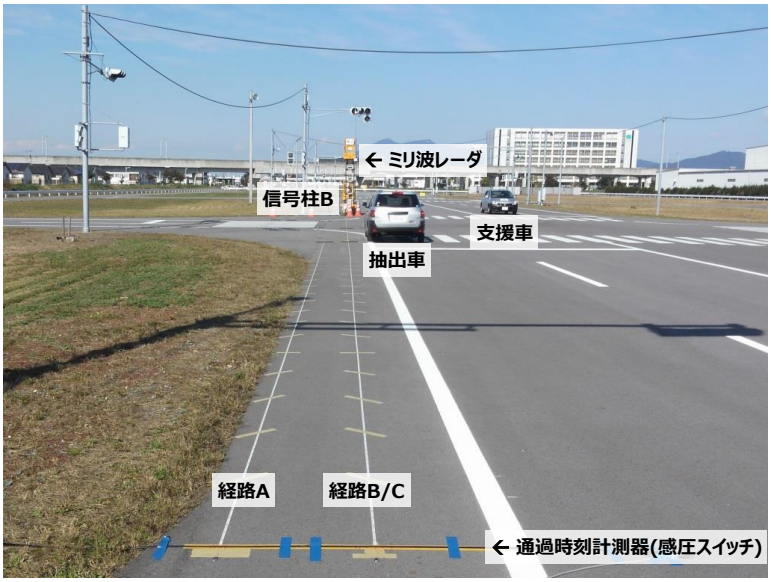


図 5.2.1②-5　実証環境・移動経路のガイドライン-開始点付近(評価シナリオ・UC3)

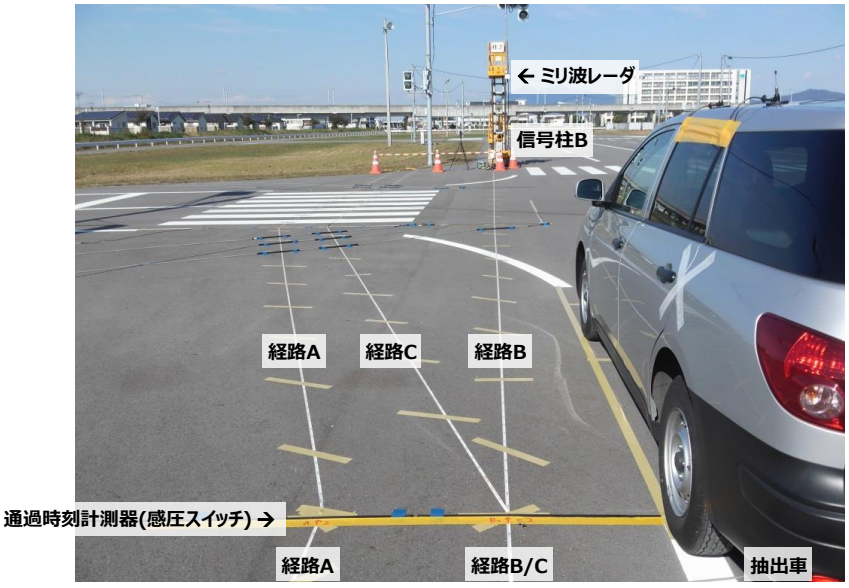


図 5.2.1②-6　実証環境・移動経路のガイドライン-分岐点付近(評価シナリオ・UC3)



図 5.2.1②-7　実証環境・経路 A を移動する歩行者(評価シナリオ・UC3)

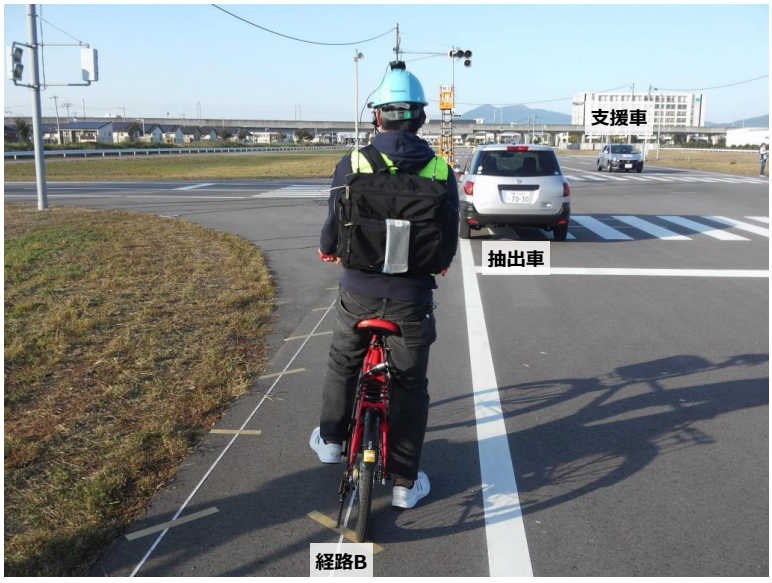


図 5.2.1②-8　実証環境・経路 B を移動する自転車(評価シナリオ・UC3)

③ WiGig 通信の環境構築

WiGig 通信は、先述したシステムイメージ図で示したように路車間と路路間の２つの通信系から構成される。以下にそれぞれの通信系の置局設計と回線設計ならびに評価結果について順に説明する。

(1) WiGig 通信の要求仕様と技術課題

(i) WiGig 通信カバーエリア

狭域ユースケースのシナリオ 2 とシナリオ 3 は、交差点の停止線から 126m 地点を時速 40km で走行する車両が円滑に交差点に進入し、安心安全に交差点を右折完了できるよう、交差点へ接近時から交差点を右折終了するまでの間、交差点周辺のセンシング情報を確実に配信し続ける必要がある。この配信エリアは、車両が停止線まで直進走行する「直線路エリア」と、交差点進入後に右折していく「交差点付近エリア」の二つに区分できる。以下、それぞれのエリアにおける要求仕様を示す。

(a) 直進路エリア：WiGig 通信＝停止線から距離 150m 以上をカバー

停止線から 126m 離れた地点を時速 40km で走行する車両へセンシング情報を配信するためには、126m 以上の地点で路側機と車載器の無線接続処理が完了し、126m 地点において安定にデータ通信が可能であることが基本要件となる。圏外から通信エリアに進入し、チャネルサーチからリンク接続までの処理時間は最大 1s 以内であり、また、時速 40km の車両は毎秒 11m 程度進む計算になることから、マージンも加え、目標通信距離を停止線から 150m 以上に設定した。

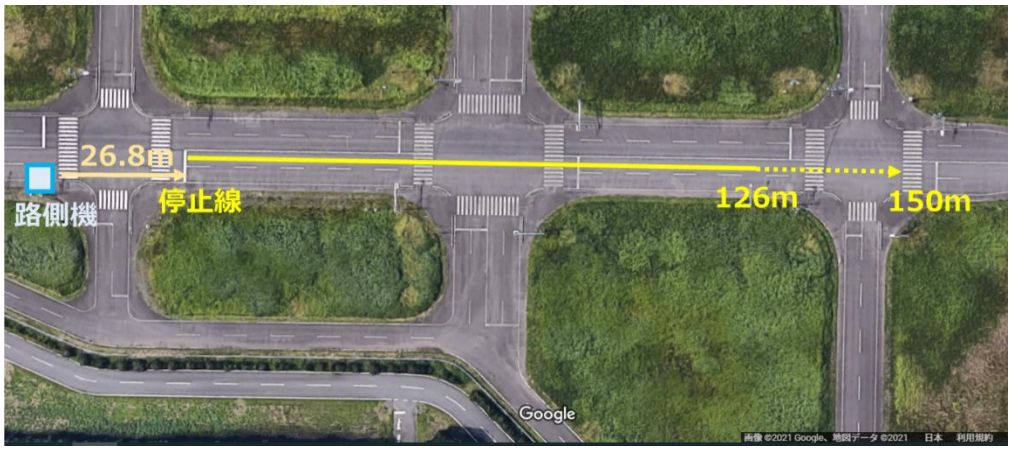


図 5.2.1 ③-1　直進路エリア

(b) 交差点付近エリア：WiGig 通信＝路側機正面方向から 45° 以上をカバー

交差点付近における配信は、交差点を右折する車両に周辺情報が確実に配信できるよう、路側機から広角にカバーする必要がある。右折交差点の路側機に対する車両の位置と角度の関係を図 5.2.1 ③-2 に示す。路側機から直線路エリアを向いた真正面方向を 0° とした場合、交差点中央付近を右折通過する車両の角度は 42.3° の計算になるが、右折が完了す

るまで、できるだけ長く配信を継続できるよう、交差点付近の WiGig 通信エリアは、路側機の正面方向から 45° 以上を目標値と設定した。

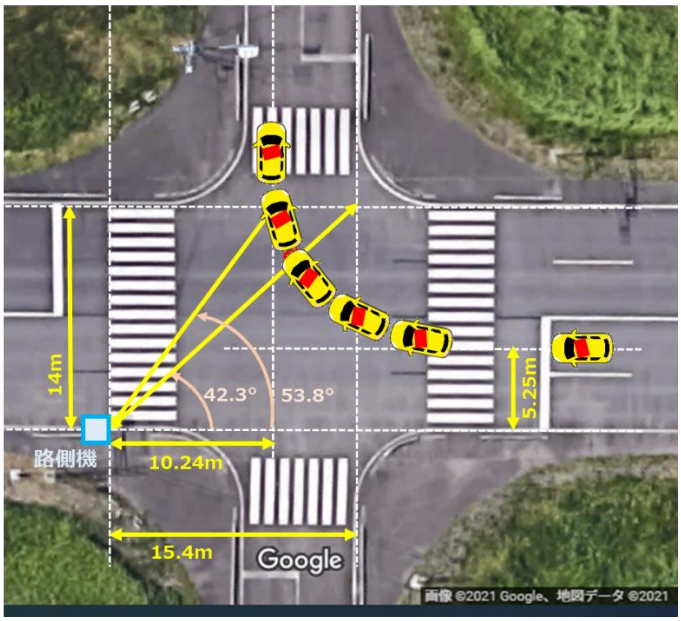


図 5.2.1 ③-2　交差点付近エリア

(ii) 技術課題

直進性の高いミリ波を用いた WiGig 通信にとって、直進路と交差点付近の両方のエリアをカバーすることは大きな課題となる。交差点からより離れたところまで電波を届かせようとすると、ビームを絞って直線状に利得を最大化させることになるが、その場合は交差点付近を広角にカバーできなくなってしまう。逆に、アンテナを広角にするとピーク利得が下がるため、直進路エリアの要求仕様をカバーできなくなってしまう。この相反する要件を両立させるため、WiGig が有するビームフォーミング機能を用いて、直進路エリアの要求仕様を満たしつつ、交差点内エリアを広角にカバーするための置局設計と回線設計を行った。

(2) 路車間通信系の置局設計・回線設計

交差点に設置した路側機と配信先となる車両間の路車間通信系に関する置局設計及び回線設計を以下に説明する。

(i) 路車間通信装置について

路車間通信装置は、RF ユニットと WiGig 制御装置から構成される。

(a) RF ユニット

路側機、車載器で使用する RF ユニットは共通であり、表 5.2.1 ③-1 に主要諸元を、図 5.2.1 ③-3 に外観とアンテナ放射パターンを示す。WiGig 通信装置は、ビームフォーミン

グ機能を有しており、水平面の±60°の範囲でビーム方向を電気的にスイープさせることが可能であるが、真正面方向(0°)で固定した場合の放射パターンを示している。

表 5.2.1 ③-1　RF ユニット主要諸元

項目		仕様値
周波数チャネル（中心周波数）		CH2(60.48GHz), CH3 (62.64GHz)
チャネル帯域幅		2.16GHz以内
送信出力		16dBm
アンテナ	偏波面	水平偏波
	利得	17dBi
	ビーム半値幅（水平面）	16°
	ビーム半値幅（垂直面）	32°
	ビーム走査範囲	水平面±60°
対応MCS		最大MCS12まで自動適応
物理インタフェース		USB3.0
消費電力		DC5V　4.5W以下

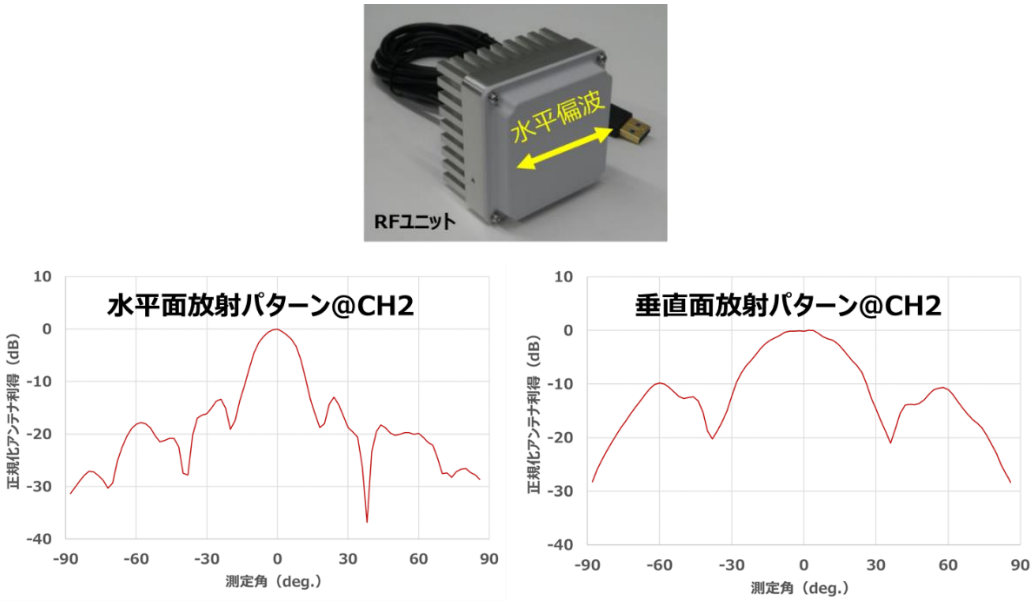


図 5.2.1 ③-3　RF ユニット外観とアンテナ放射パターン

(b) WiGig 制御装置

WiGig 制御装置は、先述したハードウェア構成図に示す路側インフラ装置及び車両装置内に搭載されており、RF ユニットと USB ケーブルで接続され、USB を介して RF ユニット

の制御を行う装置であるが、置局設計・回線設計に直接関係しないため詳細説明は省略する。

(ii) 装置単体評価結果

テストコースでの実証環境の置局設計に必要となる装置単体での伝搬特性と干渉耐性の基礎評価を事前にパナソニック株式会社構内で実施した。結果を以下に示す。

(a) 伝搬特性評価の試験機器構成と試験方法

図 5.2.1 ③-4 に試験機器構成を示す。路側機用セット（RF ユニット＋制御 PC）を三脚に固定設置し、台車に搭載した車載器用セット（RF ユニット＋制御 PC）を最大距離 200m の範囲で直線状に 25～50m ステップで移動させ、各測定ポイントにおいて、静止状態での受信レベルとスループットを計測した。スループットは、LAN の帯域で制限されないよう制御 PC 間での終端通信環境で評価した。また、路側機用セットと車載器用セット間の距離は、台車に搭載した GNSS 装置を用いて測位した 0m の起点座標と、各測定ポイントでの測位座標から求めた相対距離に、WiGig 通信機器のアンテナと GNSS アンテナ間のオフセット距離を補正して算出した。

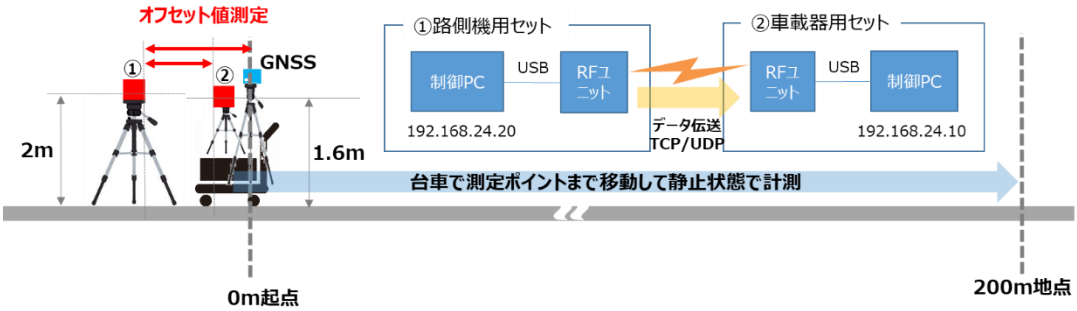


図 5.2.1 ③-4　WiGig 通信の伝搬特性試験機器構成

(b) 伝搬特性評価結果

図 5.2.1 ③-5 に測定した受信レベルと距離の関係を示す。受信レベルの実測値は、直接波だけを扱う自由空間計算値よりも全般的に低く、大地反射波も考慮した 2 波モデルの計算に比較的近い結果となっている。スループット特性に関しても、図 5.2.1 ③-6 に示すように、自由空間での受信感度レベルを元に計算したスループット期待値に対し、実測値のずれが大きく、反射波の影響を受けていることが、この結果からも見て取れる。以上の結果より、テストコースにおける WiGig 通信の置局設計及び回線設計は、自由空間モデルの計算に加え、2 波モデルも考慮して検討を進めた。

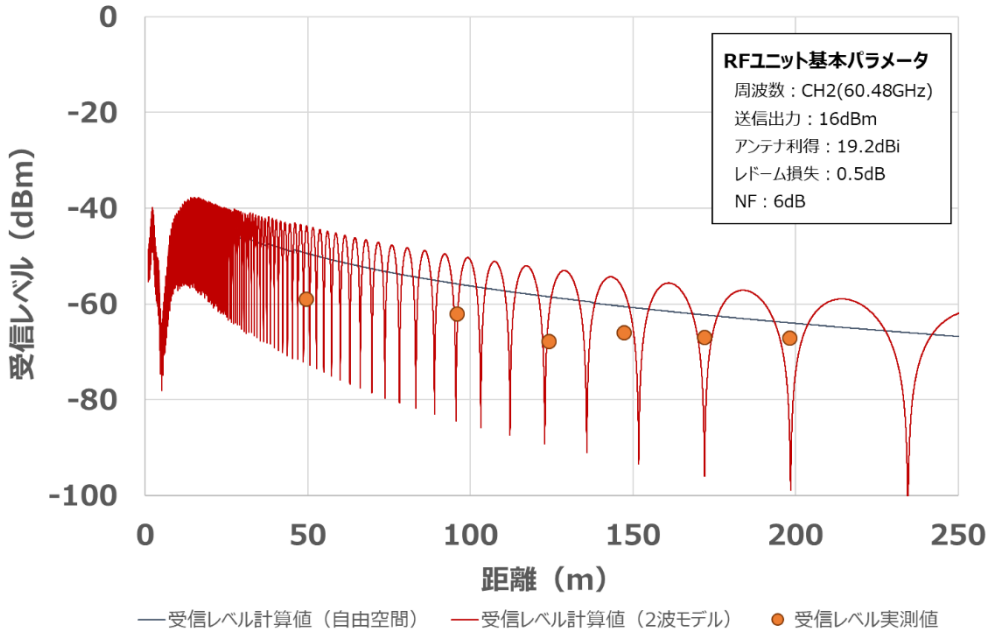


図 5.2.1 ③-5　伝搬特性評価結果（距離と受信レベルの関係）

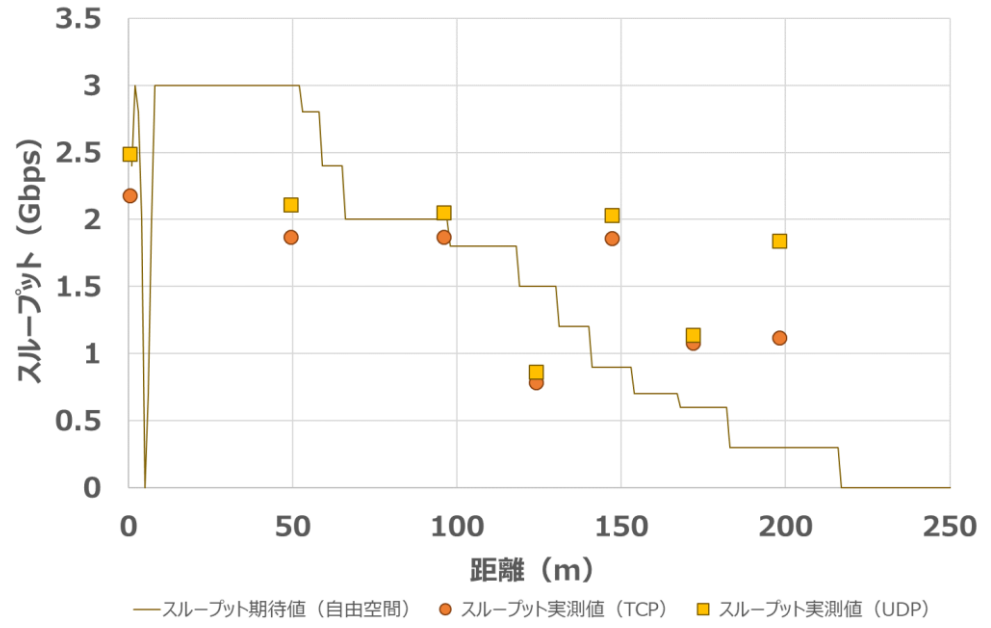


図 5.2.1 ③-6　伝搬特性評価結果(距離とスループットの関係)

(c) 干渉耐性評価の試験機器構成と試験方法

路車間通信系と路路間通信系は電波干渉を抑制するためチャネルを分離して配置するが、周波数が高いほど伝搬ロスが増えるため、交差点内の短距離通信となる路路間通信系は CH3(62.64GHz)を、走行車両と長距離通信が必要になる路車間通信系は CH2(60.48GHz)

を各々割り当てる。この構成において、路路間・路車間の通信系間で互いに無線干渉が発生するが、路車間通信系の路側機が通信エリア端に存在する車両と比較的弱い電界強度で通信中に、路路間通信系の強い干渉波を受けるケースが最も厳しい条件になる。

そこで、この干渉影響度を計算するために必要な装置の隣接チャネル妨害耐性を、希望波レベルと干渉レベルの比(D/U 比)をパラメータとして評価した。試験構成を図 5.2.1 ③-7 に示す。③与干渉系受信機と②被干渉系送信機を隣接設置し、④与干渉系送信機を真正面に見て、各々のアンテナの向きが対称関係になるよう設置角度を調整すると、③与干渉系受信機での受信レベルと等しいレベルで②被干渉系送信機へ干渉を与えること可能となる。この与干渉レベル（＝③与干渉系受信機における受信レベル）が-45dBm 程度になるよう、④与干渉系送信機の設置位置を調整し、この固定の干渉レベル（-45dBm 妨害波）に対して、①の被干渉系受信機の位置とアンテナ向きを調整しながら、希望波レベルを変化させることで、所望の D/U 比を設定した。

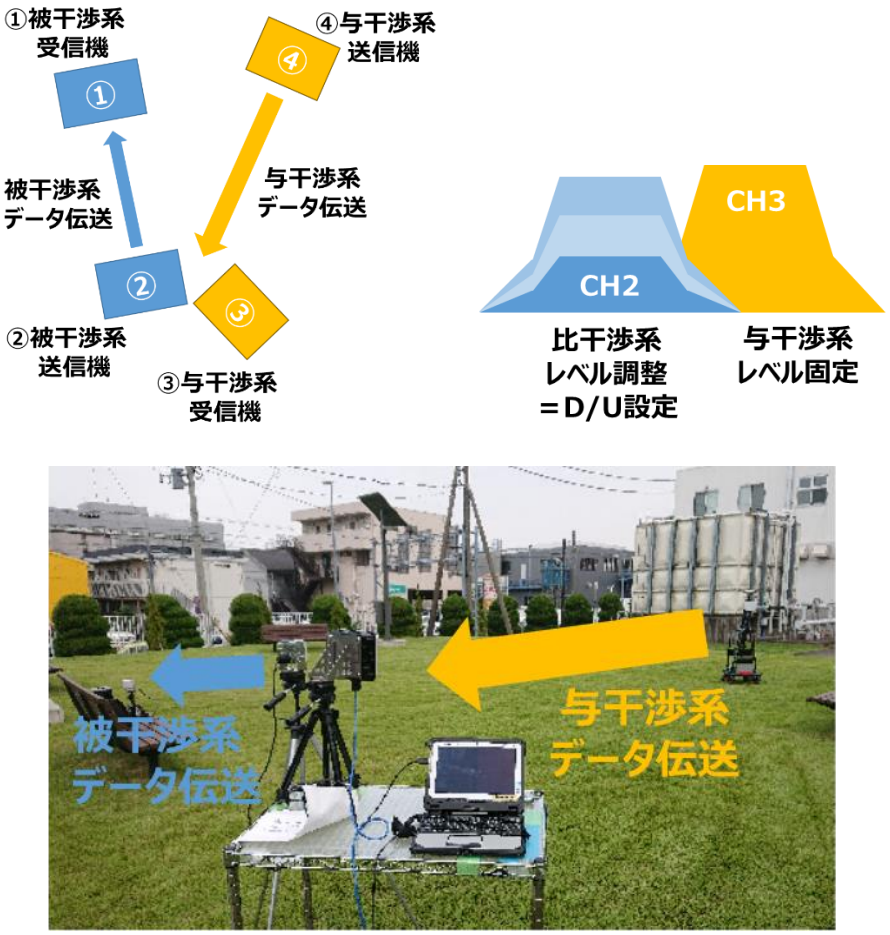


図 5.2.1 ③-7　干渉耐性評価試験構成

(d) 干渉耐性評価結果

図 5.2.1 ③-8 に評価結果を示す。横軸に示す D/U 比は、被干渉系の希望波受信レベルと隣接チャネルにおける与干渉系の干渉レベルの絶対値の差分(D-U)を、縦軸は TCP 伝送時のスループットをそれぞれ示している。CH2、CH3 ともに装置単体の干渉耐性として、D/U 比＝-10dB 以上あればスループットの劣化がほとんどなく、実用上支障のないレベルであることが確認できた。

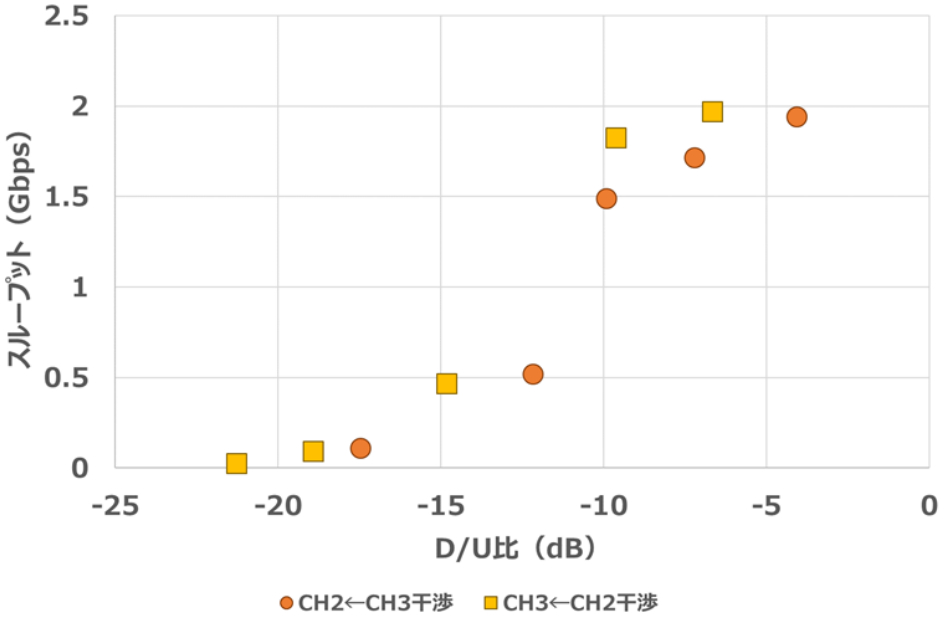


図 5.2.1 ③-8　干渉耐性評価結果

(iii) 路車間通信置局設計

上述の要求仕様と装置単体での評価結果を元に路車間通信系の置局設計を行った。

(a) 路側機の設置仕様

図 5.2.1 ③-9 に路車間通信系路側機の設置仕様を示す。交差点での右折にビームが追従できるよう水平面でビームフォーミングする向き（図 5.2.1 ③-3 の写真）でポールに RF ユニットを取付け、アンテナ方向を直進路エリアに正対させ、水平面 0° ・垂直面チルト角 0° に合わせ、高所作業車を用いてアンテナレドーム面の中心位置が路面から 5m の高さになるよう固定設置した。また、走行車両の位置をトラッキングできるよう GNSS 装置を車両に搭載するが、その基準点となる路側機の座標を計測するため、高所作業車上に GNSS アンテナも設置した。路側機から車載器までの距離は、高所作業車上に設置した RF ユニットのアンテナ位置が起点になるため、GNSS アンテナと RF ユニットのアンテナのオフセット距離をメジャーにより計測し、GNSS の測位結果にオフセット補正を加え、走行車両の相対距離を算出した。

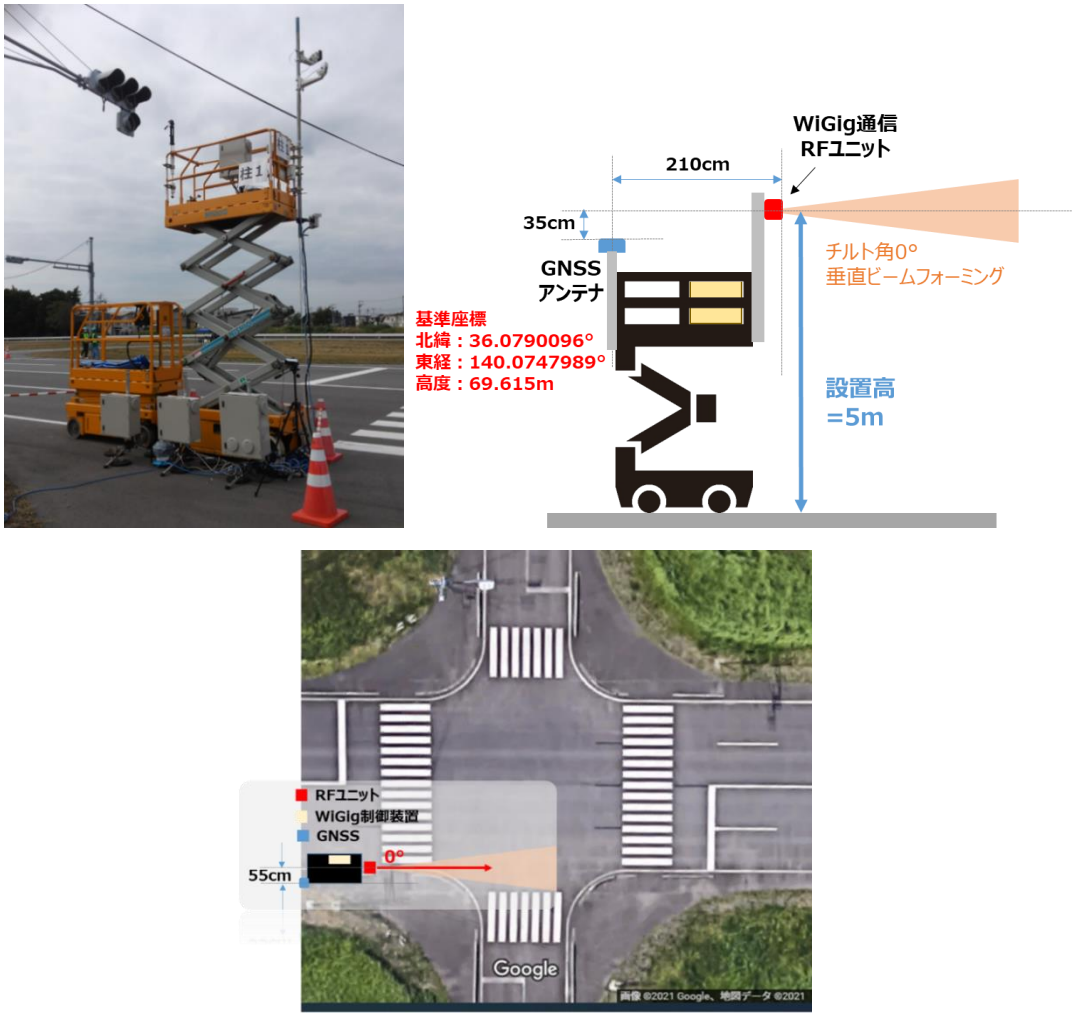


図 5.2.1 ③-9　路側機設置仕様

(b) 車載器の設置仕様

図 5.2.1 ③-10 に路車間通信系車載機の設置仕様を示す。車載器の RF ユニットは車両ルーフにマグネット式ポールを利用して固定設置し、トランクルームに設置した WiGig 制御装置まで USB リピータケーブルを用いて接続する構成とした。アンテナを設置する位置によって、車両のボンネットやルーフ等からの反射波レベルが変化するが、入射角が小さくなるルーフでの反射影響が最も大きく、ルーフ後方に設置した場合、直接波同等のレベルで反射波を受信してしまい、先述した 2 波モデルの特性が顕著に出てしまうことから、影響を最小化できるルーフ前方にポールを設置した。また、アンテナの取り付け向きは、交差点での右折時にビームが追従できるよう水平面でビームフォーミングが可能な向き（図 5.2.1 ③-3 写真の向き）とし、水平面は正面から 30° 回転させた方向に、垂直面はチルト角が 0° の方向にそれぞれ合わせ、アンテナレドーム面の中心が路面から 1.6m の高さになるよう固定した。

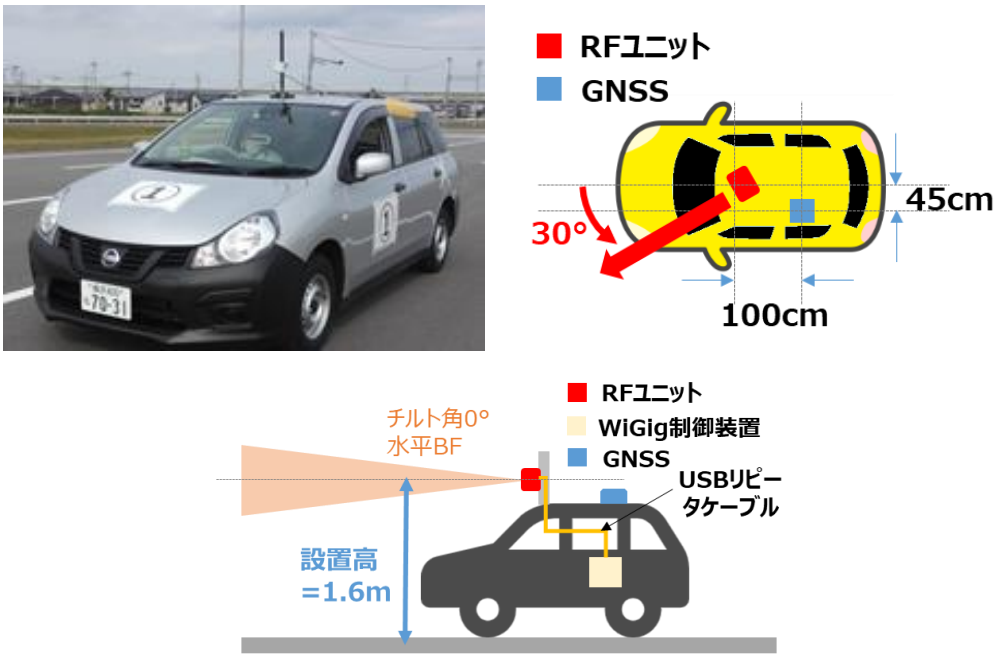


図 5.2.1 ③-10　車載器設置仕様

ここで RF ユニットのアンテナを水平面で正面から 30° 回転させている理由を以下で説明する。

先述した交差点内の配信エリア（路側機正面から 45° 以上）の要求仕様に対し、図 5.2.1 ③-11 で示した路側機と車両の位置関係において、車載器のアンテナを真正面方向に取り付けた場合、路側機と通信するためのビーム角度が 90° にもなり、装置仕様で示したビームのスイープ範囲以上になってしまう。従って、アンテナの向きを正面方向から 30° 以上回転させて、装置のスイープ範囲となる 60° 以内に収めることが必要になる。一方、図 5.2.1 ③-12 にビームフォーミングの設定角度とアンテナ利得の関係を示すが、設定角度が 60° まで大きくなると、アンテナ放射パターンの左右のバランスが崩れ、設定角度におけるピーク利得が 5dB 程度下がってしまうことがわかる。アンテナ利得が 5dB 劣化してしまうと、路側機との間の回線マージンが大きく下がり、直進路エリアの要求仕様となる停止線から 150m 以上をカバーできなくなってしまう。従って、路側機とほぼ真正面方向で通信することになる直進路エリア内では、アンテナの取り付け回転角は、ピーク利得の低下が 1dB 以内に抑制できる範囲、即ち 30° 以内にすることが望ましい。よって、両者の条件を満たせる角度として、アンテナの取り付け向きを正面方向から 30° 回転させて走行試験を実施することに決定した。

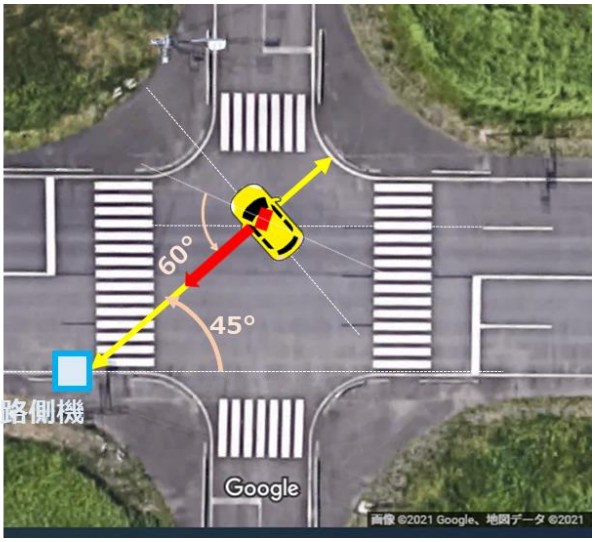


図 5.2.1 ③-11　車載器アンテナ設置向きと交差点内の位置関係

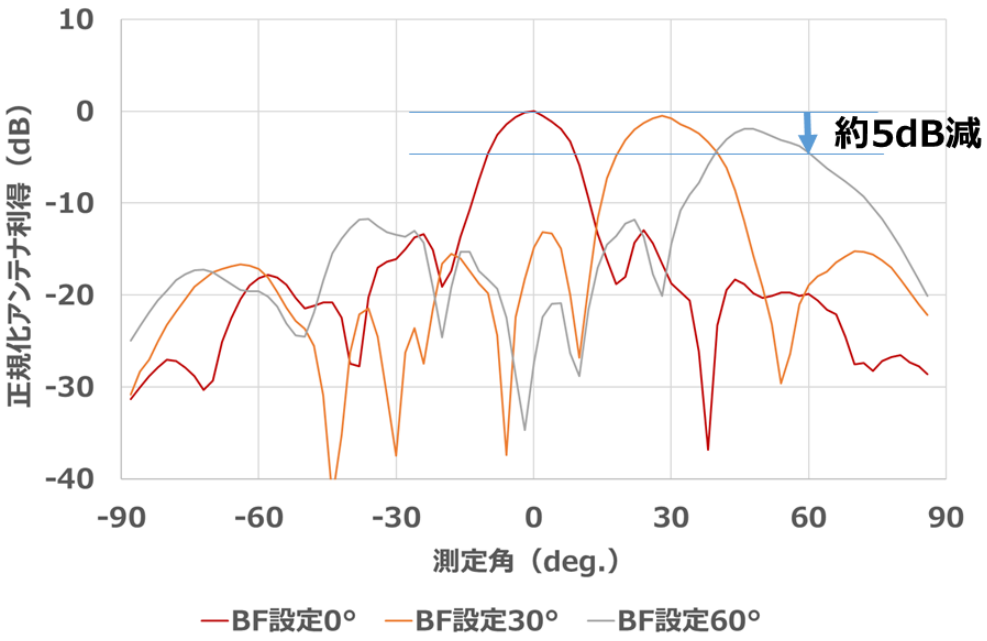


図 5.2.1 ③-12　アンテナのビームフォーミング(BF)設定角度と放射パターン

(iv) 路車間通信回線設計

路車間通信系の回線設計について以下に説明する。

(a) 回線設計パラメータ値

回線設計に使用する各パラメータ値を表 5.2.1 ③-2 に示す。

表 5.2.1 ③-2　回線設計パラメータ値

周波数チャネル	CH2（60.48GHz）	
送信出力	16dBm	
アンテナ偏波	水平偏波	
アンテナ利得	19.2dBi	ビーム放射正面方向固定実測値
ビーム走査範囲	±60°	水平面
レドーム損失	0.5dB	
酸素吸収損	16dB/km	[1]記載のグラフから読み取り
送信アンテナ高	5m	
送信アンテナ設置方向	0°方向	直進路に正対して正面方向
受信アンテナ高	1.6m	
受信アンテナ設置方向	真正面から左30°方向	走行方向に対しての角度

(b) 直進路における距離対受信レベル計算値

上記パラメータを用いて計算した結果を以下に示す。交差点に進入する直前の停止線まで車両が直進する区間の距離対受信レベルの計算結果を図 5.2.1 ③-13 に示す。直接波だけで計算される自由空間モデルでは、通信可能エリア内で安定受信でき、停止線の付近で -48dBm と MCS12 の高スループット通信が可能なレベルである一方、大地反射の影響を含めた 2 波モデルの場合は、周期的にレベルが変動し、距離 50m 以上になると、受信感度レベル以下になるヌル点が発生する計算となった。よって、このヌル点がどの程度影響するか検証するため、テストコースにおける WiGig 通信系の評価は、直進路エリア及び交差点内エリアの WiGig 通信カバーエリア確認とともに、エリア内の無線品質安定性も併せて確認することにした。

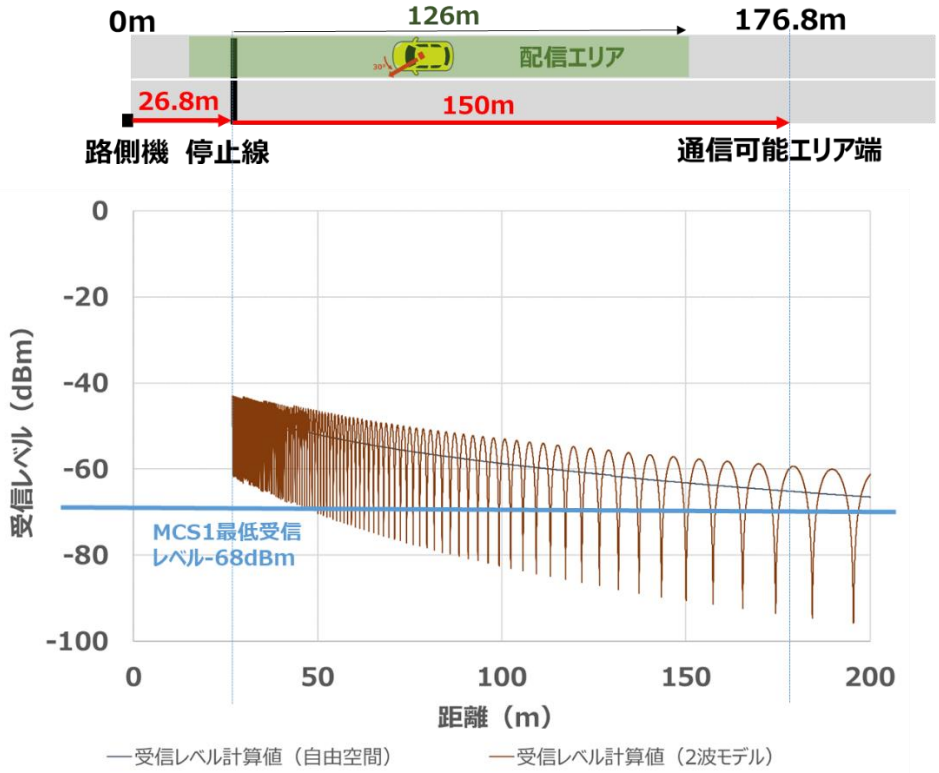


図 5.2.1 ③-13　直進路における距離対受信レベル計算値

(c) 交差点内での受信レベル計算値

交差点内に進入した車両は、右折に伴い路側機との間の相対角度が変化していくが、アンテナのビームフォーミングにより電波の放射角度も追従変化していく。この交差点内の WiGig 通信に関して、図 5.2.1 ③-14 に示す A～D の各ポイントでの受信レベルを算出する。路側機アンテナを原点として、X 軸、Y 軸を図に示した向きで定義すると、A～D の各ポイントでの路側機と車両の相対距離と角度の関係は、ビームフォーミングの追従性も考慮して表 5.2.1 ③-3 に示すように整理される。この相対距離とビーム放射角から受信レベルが計算されるが、自由空間モデルの場合は、各ポイントですべて-50dBm 以上となり、交差点の停止線付近から MCS12 の高スループット通信を継続できる計算になっている。2 波モデルとした場合もレベル変動は発生するが、近距離であるため感度点以下の落ち込みはなく、交差点内の配信は、どちらのモデルでも問題なく通信できる計算になる。

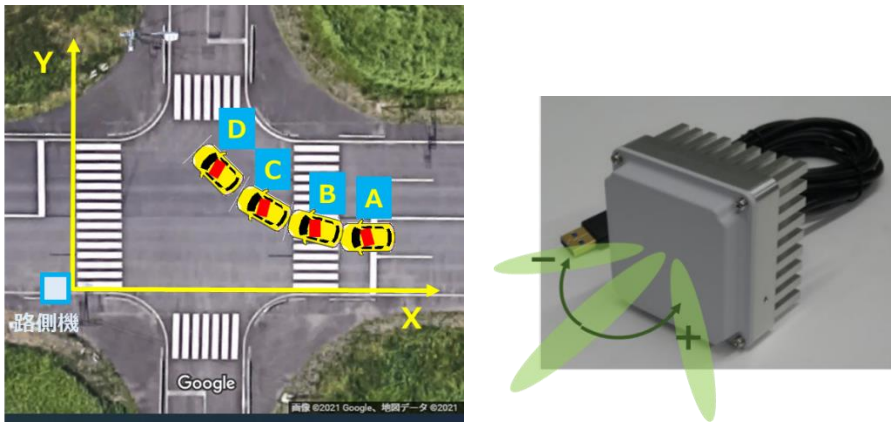


図 5.2.1 ③-14　交差点内における車両と路側機の位置関係とアンテナビーム放射角

表 5.2.1 ③-3　交差点内配信エリアでの車両受信レベル計算値（自由空間モデル）

位置 No.	距離 X (m)	距離 Y (m)	通信距離 (m)	路側機アンテナビーム角度 (deg.)	車両車体角度 (deg.)	車両アンテナ角度 (deg.)	車両ビーム角度 (deg.)	車両受信レベル (dBm)
A	26.8	5.25	27.3	11.1	0	30	-18.9	-48.2
B	21.8	6.2	22.7	15.9	-15	15	0.9	-45.2
C	16.9	8	18.7	25.3	-30	0	25.3	-44.7
D	11.9	11.9	16.8	45	-45	-15	60	-46.3

(3) 路路間通信系の置局設計・回線設計

交差点に設置する路路間通信系機器の一方は、路車間通信系の路側機とともに高所作業車上に設置する必要があるが、作業車上のスペースが狭く、路車間通信系機器よりもコンパクトに設置することが可能な RF ユニットと WiGig 制御部が一体となった別の機器を用いることにした。

(i) 路路間通信装置仕様

表 5.2.1 ③-4 に路路間通信系設置の主要諸元を、図 5.2.1 ③-15 に外観とアンテナ放射パターンを示す。

表 5.2.1 ③-4 路路間通信装置主要諸元

項目		仕様値
周波数チャネル（中心周波数）		CH2(60.48GHz), CH3 (62.64GHz)
チャネル帯域幅		2.16GHz以内
送信出力		16dBm
アンテナ	偏波面	水平偏波
	利得	17dBi
	ビーム半値幅（水平面）	16°
	ビーム半値幅（垂直面）	32°
	ビーム走査範囲	水平面±60°
対応MCS		最大MCS9まで自動適応
物理インタフェース		LAN(1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T)
電源インタフェース		PoE+(IEEE 802.3at)
消費電力		25.5W以下
サイズ		約140(W) x 140(H) x 60(D)



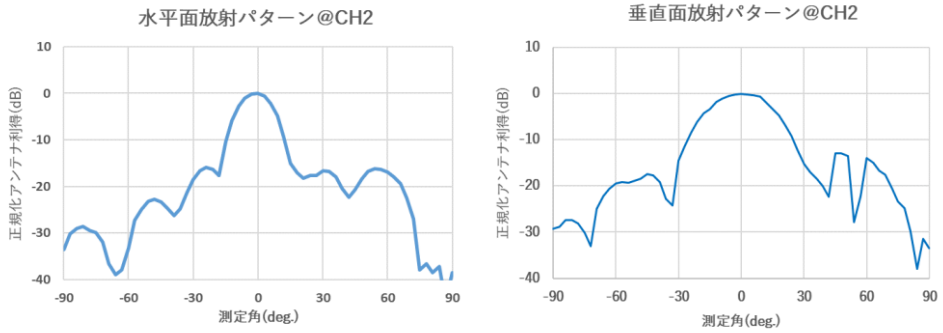


図 5.2.1 ③-15　路路間通信装置外観とアンテナ放射パターン

(ii) 装置単体評価結果

路路間通信装置の伝搬特性評価をパナソニック株式会社構内で実施した。以下に結果を示す。

(a) 伝搬特性評価結果

図 5.2.1 ③-16 に測定した距離と受信レベルの関係を示す。先述の路車間通信系の RF ユニットの伝搬特性評価結果同様に、大地反射波の影響を受けて実測値レベルは、2 波モデルに近い傾向を示すが、いずれも MCS1 の最低受信レベルとして規定されている-68dBm 以上となっており、交差点内の近距離通信となる路路間通信に十分適用できることが確認できた。

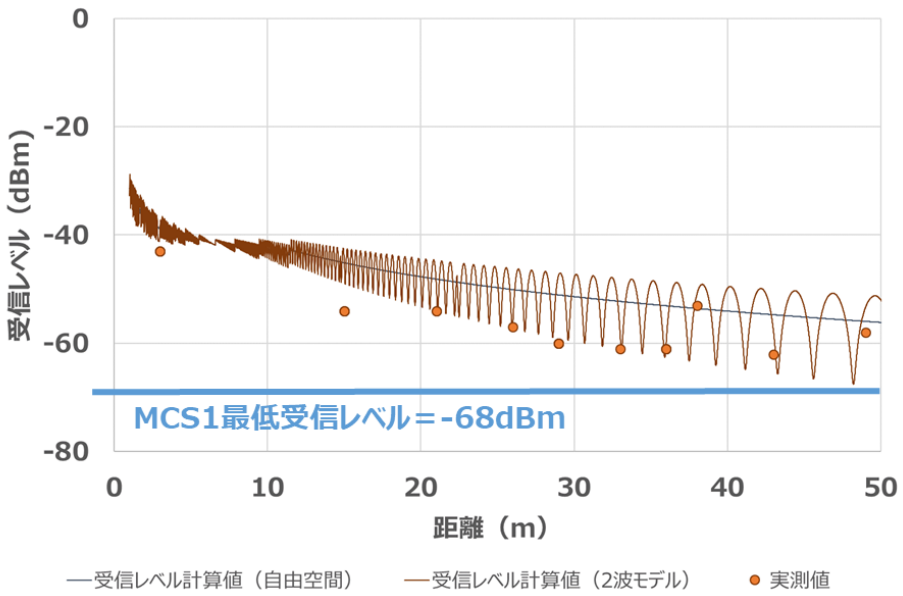


図 5.2.1 ③-16 伝搬特性評価結果（距離と受信レベルの関係）

また、図 5.2.1 ③-17 に距離とスループットの関係を示す。先述の路車間通信で使用する RF ユニットと対応する MCS の最大値が異なり、MTU サイズの拡張（ジャンボフレーム）に未対応のため、最大スループットが 1Gbps に満たないが、TCP 伝送で 600Mbps 以上であり、統合センシング情報程度のデータ転送スループットとして十分な速度であり、路路間通信系として問題なく適用できることが確認できた。

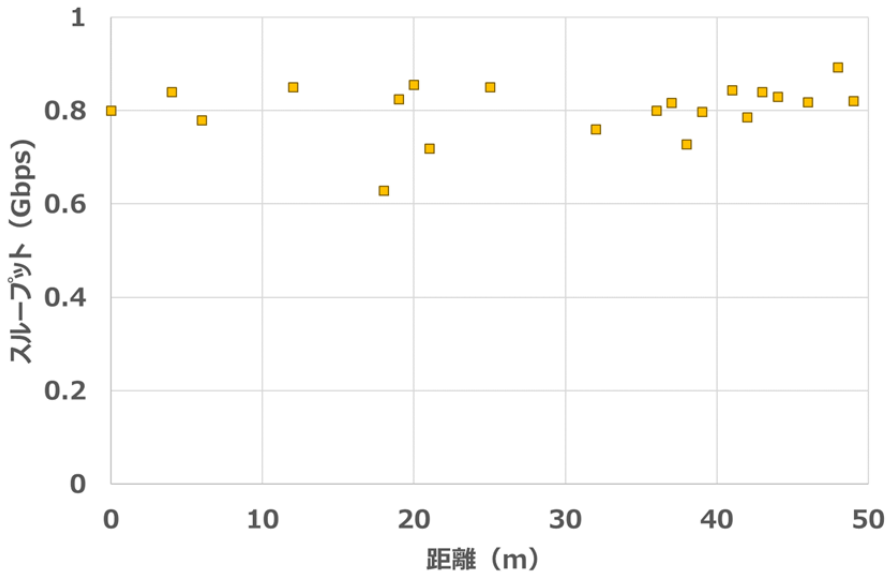


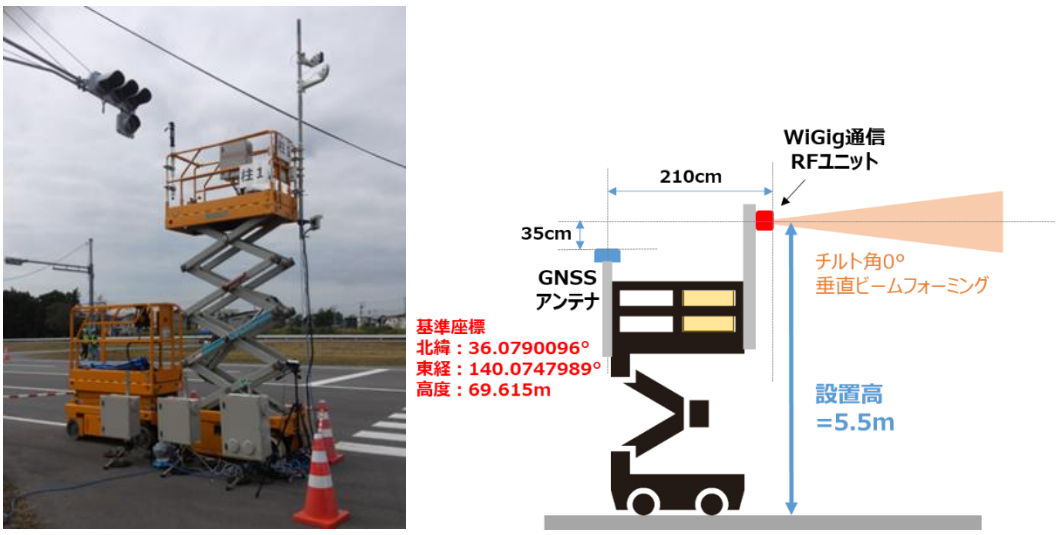
図 5.2.1 ③-17 伝搬特性評価結果（距離とスループットの関係）

(iii) 路路間通信置局設計

上述の要求仕様と装置単体での評価結果も踏まえ、路路間通信系の置局設計について以下に説明する。

(a) 路路間通信装置の設置仕様

図 5.2.1 ③-18 に路路間通信装置の設置仕様を示す。路車間通信系装置の路側機と共通のポールに地上から 5.5m の位置に取り付け、交差点の対角線上に真正面方向で対向する位置に高所作業車を設置し、同じ 5.5m の高さで対向する路路間通信装置を設置した。



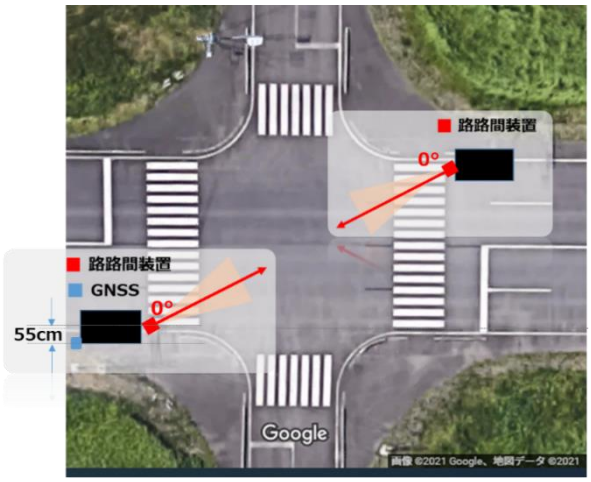


図 5.2.1 ③-18　路路間通信装置の設置仕様

路路間通信装置の取り付け向きは、路車間通信系との干渉を抑制するため、チャネル分離（路車間通信系＝CH2、路路間通信系＝CH3）するのに加え、アンテナ偏波面が直交関係となるよう路路間通信装置のアンテナ偏波を垂直（＝垂直ビームフォーミング）として設置した。この理由は、図 5.2.1 ③-19 のアンテナ偏波面と相対利得の実測評価結果に示すとおり、CH2、CH3 ともに概ね 20log(cos θ)の曲線で近似できる交差偏波損を利用して干渉の影響を軽減させることが可能であるためであり、先述したチャネル分離での干渉 D/U 比=-10dB に 90° の直交配置における交差偏波損（30dB 以上の計算）を加えた干渉マージンが期待できる。

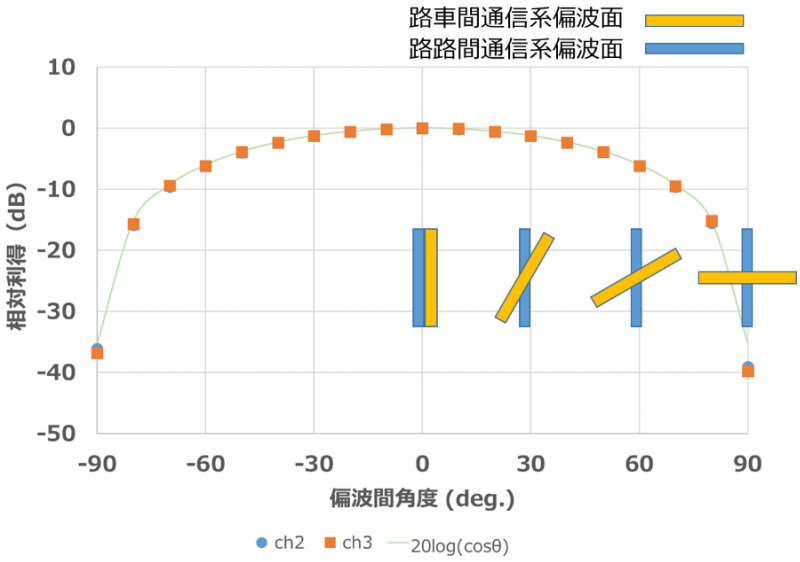


図 5.2.1 ③-19　交差偏波損

(iv) 路路間通信回線設計

路路間通信系の回線設計について以下に説明する。

(a) 回線設計パラメータ値

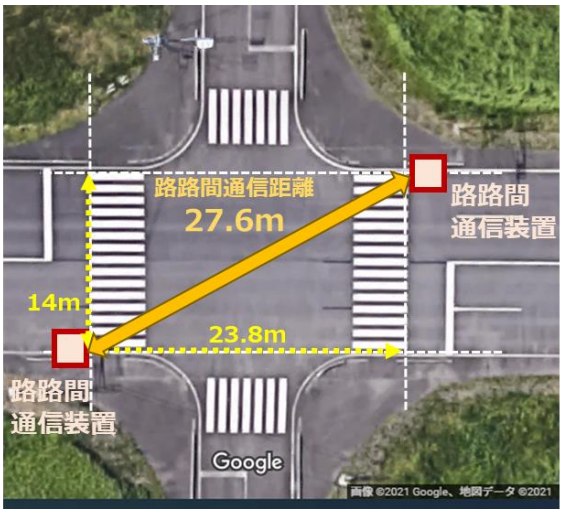
回線設計に使用する各パラメータ値を表 5.2.1 ③-5 に示す。

表 5.2.1 ③-5 回線設計パラメータ値

周波数チャネル	CH3（62.64GHz）	
送信出力	16dBm	
アンテナ偏波	垂直偏波	
アンテナ利得	16dBi	ビーム放射正面方向固定実測値
ビーム走査範囲	±60°	垂直面
レドーム損失	0.5dB	
酸素吸収損	16dB/km	[1]記載のグラフから読み取り
送信アンテナ高	5.5m	
送信アンテナ設置方向	正面方向、チルト角0°	交差点対角線上に配置
受信アンテナ高	5.5m	
受信アンテナ設置方向	正面方向、チルト角0°	交差点対角線上に配置

(b) 距離対受信レベル計算値

上記パラメータを用いて計算した結果を以下に示す。交差点内を対角線上に伝送する路路間通信系の距離対受信レベルの計算結果を図 5.2.1 ③-20 に示す。直接波のみの自由空間モデルと大地反射波も含めた 2 波モデルの計算値をそれぞれ示しているが、路路間通信距離 27.6m 付近は、それぞれのモデルの計算結果がほぼ等しくなる領域であり、路路間通信装置の適応最大 MCS 値となる MCS9 での高速通信が可能な受信レベルとなる。



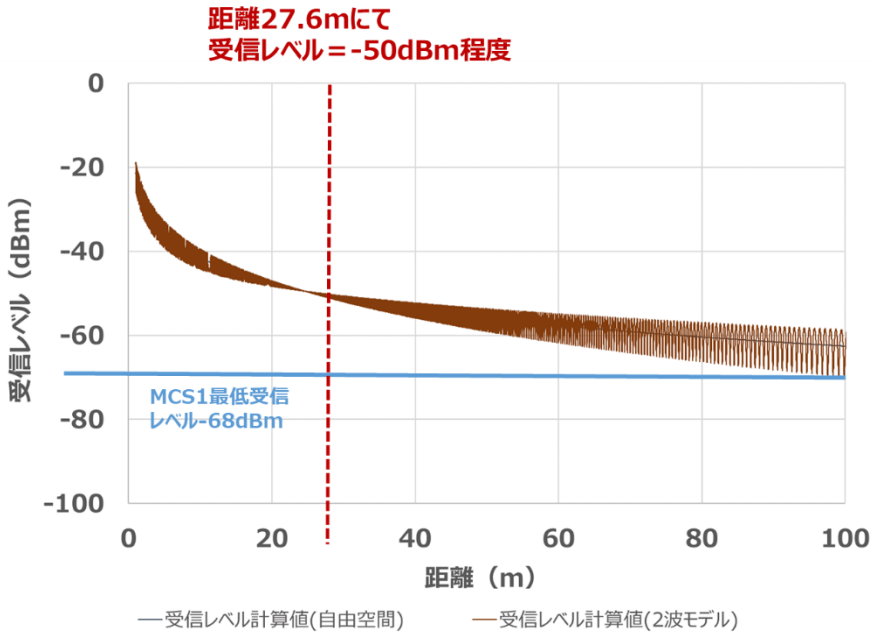


図 5.2.1 ③-20　路路間通信系距離対受信レベル計算値

(c) 路車間通信系との干渉計算

(2)(ⅱ)(c)干渉耐性評価の項で先述しているが、図 5.2.1 ③-21 に示すように、路車間通信系の路側機が通信可能エリア端に存在する車両と通信中に、路路間通信系の強い干渉波を受けるケースが最も厳しい条件になる。

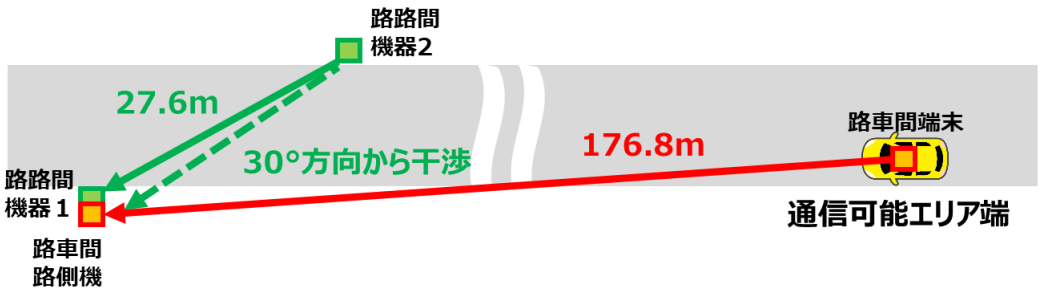


図 5.2.1 ③-21　路車間通信に対する路路間通信の干渉最悪ケース

このケースに対する干渉耐性計算結果を表 5.2.1 ③-6 に示す。チャネル分離と偏波直交配置により、D/U 比＝5.4dB となり、先述した装置の干渉耐性所用 D/U 比=-10dB 以上に対し、15dB 程度のマージンを確保できる計算である。

表 5.2.1 ③-6 交差点内干渉耐性計算

路車間通信系 希望波（D）	通信可能エリア端距離 176.8m	-65.1dBm	CH2　水平偏波
路路間通信系 妨害波（U）	交差点内対角線距離 27.6m	-50.5dBm	CH3　垂直偏波
交差偏波損（X）	VH直交配置	20dB	90°交差でロス30dB以上に対し、10dBマージン取った値
D/U比計算値		5.4dB	D-U-Xで計算
所用D/U比		-10dB以上	装置単体での干渉耐性評価結果からの所用値

(4) WiGig 通信環境評価結果

次に、テストコースで実施した路車間通信系の評価結果を以下で説明する。

(i) WiGig 通信カバーエリア検証

(a) 直進路エリア（停止線～150m）の実機検証結果

直進路エリア内の複数箇所で車両を停車させて測定した受信レベルを図 5.2.1 ③-22 に示す。距離 50m 以内で実測値が計算値から落ち込んでいる部分も見られるが、全般的に感度点となる MCS1 の最低受信レベル値よりも高く、距離が離れるほど自由空間から 2 波モデルに近づく傾向にあることがわかる。これは長距離になればなるほど、路面での反射角が小さくなり、直接波と同等レベルの反射波が受信機に入力され、位相の関係で受信レベ

ルが変動する影響が高くなるためであるが、2 波モデルで示される周期的なレベルの落ち込みは見られなかった。

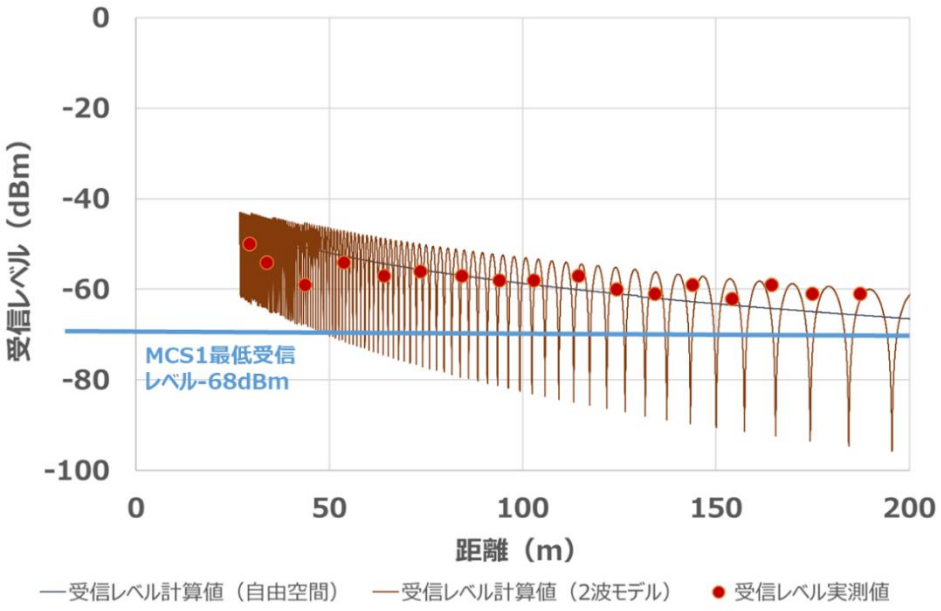


図 5.2.1 ③-22　受信レベル計算値と実測値の比較

次に、図 5.2.1 ③-23 に各ポイントで測定した路側機から車両への TCP 伝送時のスループットと距離の関係を示す。大地反射の影響を受けて、距離に対してスループットが上下に変動する 2 波モデルの傾向を示しているが、ヌル点に落ち込んで通信不可となるポイントはなく、直進路エリアの要求仕様である路側機から 176.8m（停止線から距離 150m）までの範囲内で、500Mbps 以上のスループットが出ていることが確認できた。

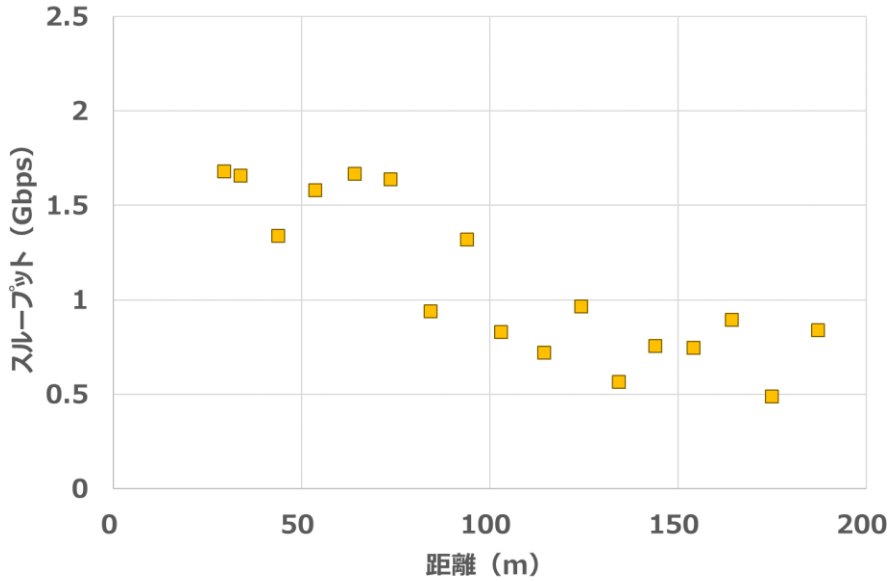


図 5.2.1 ③-23　距離対スループット（静止測定）

さらに、走行時のスループットも確認した。時速 20km、40km、60km の 3 パターンで測定した結果を図 5.2.1 ③-24 に示す。静止時の測定に比べ若干スループットの絶対値が下がってはいるものの、どの走行速度においても、直進路エリアとなる路側機から 176.8m（停止線から距離 150m）までの範囲内ではヌル点での落ち込みもなく、シナリオ要求仕様となる停止線から 126m 以内（路側機から 152.8m）ではスループットが 500Mbps 以上で安定に WiGig 通信ができていることが確認できた。

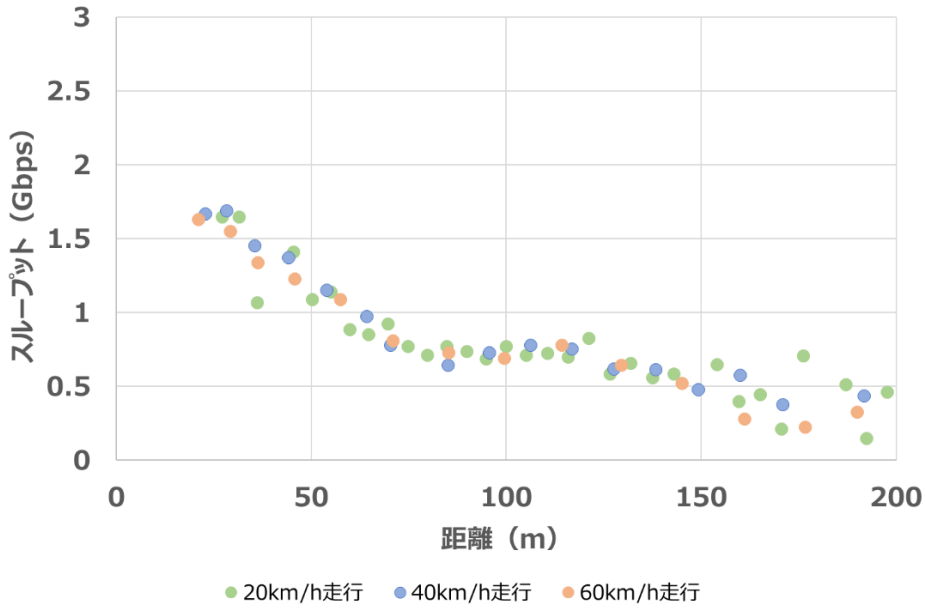


図 5.2.1 ③-24　距離対走行時スループット

(b) 交差点付近の配信エリア＝路側機正面方向から 45° 以上

交差点付近エリアでの受信レベルとスループットの実測結果を図 5.2.1 ③-25 に示す。図 5.2.1 ③-14 に示した交差点内の車両の各位置(A～D)での受信レベル計算値と比較すると、路側機と車両の相対角度が大きくなるにつれて計算値よりも実測値は低くなり、差が広がる傾向にあるが、スループットは各位置で 500Mbps 以上出ており、目標となる路側機のビーム放射角 45° 以上までカバーできていることを確認できた。

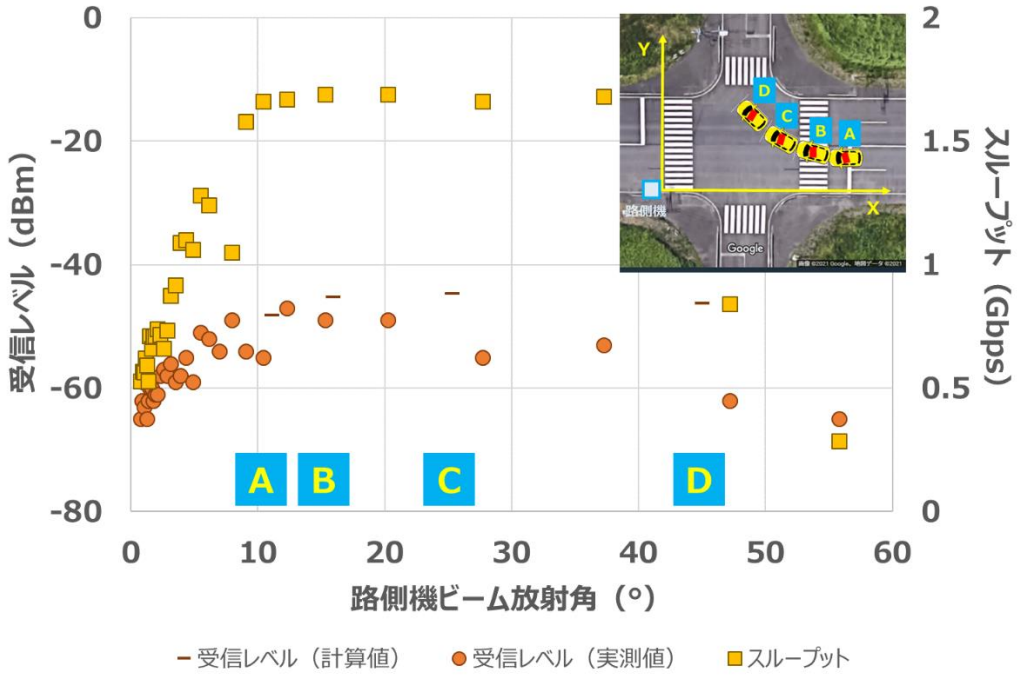


図 5.2.1 ③-25　路側機のビーム放射角と受信レベル/スループットの関係

(5) WiGig 通信の環境構築まとめと考察

(i) テストコースにおける WiGig 通信完成度

テストコースにおける WiGig 通信の完成度を設計目標に対する達成度として、表 5.2.1 ③-7 にまとめる。検証項目である通信カバーエリア及びエリア内の無線品質安定度それぞれに対する設計目標を全て満足する結果となり、環境構築を完了した。

表 5.2.1 ③-7　WiGig 通信環境の設計目標に対する達成度

検証項目		設計目標	検証結果	判定結果
WiGig通信カバーエリア	直進路エリア	停止線から150m以上	停止線から180m付近まで通信可能	PASS
	交差点付近エリア	路側機正面方向から45°以上	55°付近まで通信可能	PASS
エリア内無線品質安定度		MCS1最低受信レベル（-68dBm）以上 スループット300Mbps以上	受信レベルのヌル点は見られず、スループット500Mbps以上で安定通信	PASS

(ii) 狭域配信における WiGig 通信の実用化に向けた課題と方向性の一考察

テストコースにおける WiGig 通信は目標どおり環境構築できたものの、車載器のアンテナを水平面で 30° 回転させて設置する等、右折シナリオに特化した設置仕様となっており、実際の交差点での使用環境（右折の他、左折もあれば直進もあり）に対応するためには、解決すべき技術課題も少なくない。最後にそうした課題の一部と、対策の方向性を表 5.2.1 ③-8 にまとめる。具体的な対策の実現手段は、今後検討が必要になるが、他の無線技術に比べ、大容量のデータを低遅延且つ高速通信が可能な WiGig 通信の特徴を活用し、バックホールとしての路路間通信はもとより、実用化に向けた課題の多い路車間通信系にも適用できるよう、今後さらなる技術開発を進めていきたい。

表 5.2.1 ③-8 WiGig 通信の実用化に向けた課題と技術開発の方向性

項目	テストコース	実運用時	課題	対策の方向性	
				路側機	車載器
交差点進入車両の経路パターン	右折のみ	直進 右折 左折	すべての経路に対応するための置局設計	複数の路側機協調動作によるハンドオーバー実現等	複数の車載器を搭載してカバー範囲を拡張（±60°セクタ機3台で全方位カバー等）
交差点内のWiGig通信対象路	交差点 一方路のみ	交差点 4方路全て	4方路に複数の路側機を設置（既存の信号柱に設置等）する必要あり、相互干渉が発生	複数路側機のチャネル分離＆交差偏波配置および路側機間同期によるビームフォーミング協調制御等	水平／垂直両偏波対応、高速接続等
周辺交差点を含めた対象エリアの拡大	1交差点のみ	複数交差点で同時に運用	交差点間でのオーバーリーチ干渉や車載器のハンドオーバー	交差点間ネットワーク同期、ビームフォーミング技術を活用した干渉抑制制御等	高速ハンドオーバー切り替え等

5.2.2. 実証の流れ

本接続確認(実証)の実施項目として、対象とするユースケース(表 3.1.2-1)の内、当社の対応ユースケースを抜粋して表 5.2.2-1 に示す。これを踏まえて、本実証の評価シナリオ及び評価対象の一覧を表 5.2.2-2 に示す。なお、評価対象の項目の内、抽出については、位置や速度等、抽出する情報源を表記しており、R はミリ波レーダ、 I は ITS 通信端末を意味する。

表 5.2.2-1　対応ユースケース

SIP 協調型自動運転 UC	検知対象		UC 番号	UC 詳細
c-2-2	右折先道路渋滞	右折先状況	狭 2	右折先状況(空きスペース等)の情報を提供
	歩行者	接近	狭 3-1	横断歩道への歩行者・自転車の接近情報を提供
		横断中	狭 3-3	横断歩道上の歩行者や自転車の情報を提供

表 5.2.2-2　接続確認の実証一覧

	評価シナリオ		評価対象			
	UC 略称番号*	種別**	支援車	抽出車	歩行者	自転車
①	UC2-1-1	必須	配信	抽出 R	－	－
②	UC2-2	必須	配信	抽出 R	－	－
③	UC2-1-2	任意	配信	抽出 R	－	－
④	UC3-1-0 / 3-3-0	必須	配信	×	抽出 RI 統合	－
⑤	UC3-1-1 / 3-3-1	必須	配信	×	－	抽出 RI 統合
⑥	UC3-1-2 / 3-3-2	必須	配信	×	抽出 RI 統合	抽出 RI 統合

	評価シナリオ		評価対象			
	UC 略称番号*	種別**	支援車	抽出車	歩行者	自転車
⑦	UC3-1-3 / 3-3-3	任意	配信	×	－	抽出 RI 統合 (縦列 2 台)
⑧	UC3-1-4 / 3-3-4	任意	配信	×	－	抽出 RI 統合 (並列 2 名)
⑨	UC3-1-5 / 3-3-5	任意	配信	×	－	抽出 RI 統合 (並列 2 名)
⑩	UC3-1-6 / 3-3-6	任意	配信	×	抽出 RI 統合 (縦列 2 人)	－
⑪	UC3-1-7 / 3-3-7	任意	配信	×	抽出 RI 統合 (並列 2 人)	－
⑫	UC3-1-8 / 3-3-8	任意	配信	×	抽出 RI 統合 (並列 2 人)	－

* 狭域エリアの「狭」の文字は省略

** 3.2.2 項で定めた各評価シナリオの実施優先度

以下、各評価シナリオの詳細内容について説明する。

① UC2-1-1

本 UC では、評価対象の抽出車が経路 D 上の D2 に停車する。

- 抽出車：右折先進入スペースの中間位置(交差点の端点より 9.5m の D2)に停車。なお、位置については車両の後部端点を基準
- 支援車:交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して抽出車を追い越し
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 A)

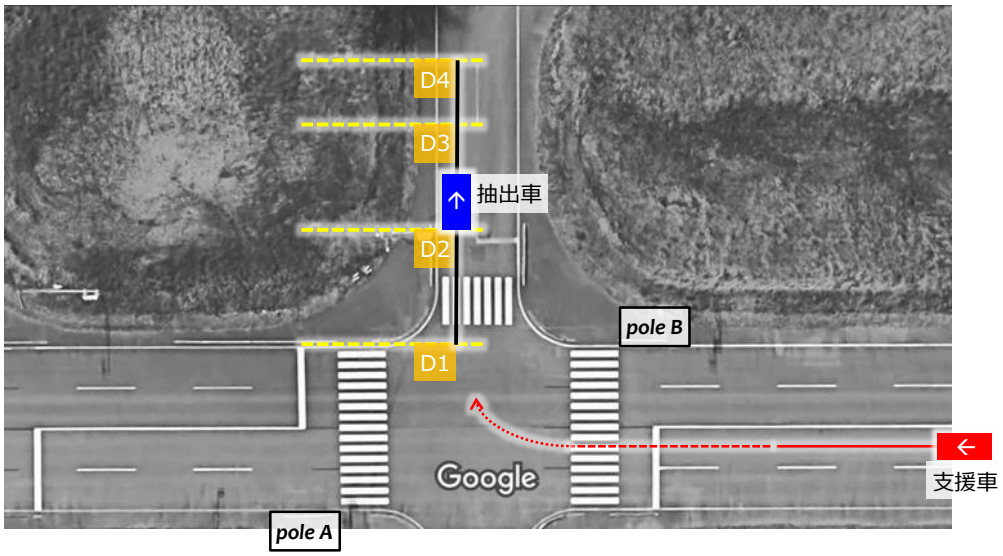


図 5.2.2①-1　評価シナリオ・UC2-1-1 の実証イメージ

② UC2-2

本 UC では、評価対象の抽出車が経路 D 上の D4 に停車する。

- 抽出車：右折先進入スペース+車両 1 台分の位置(交差点の端点より 24m の D4)に停車。なお、位置については車両の後部端点を基準
- 支援車:交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して抽出車を追い越し
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 A)

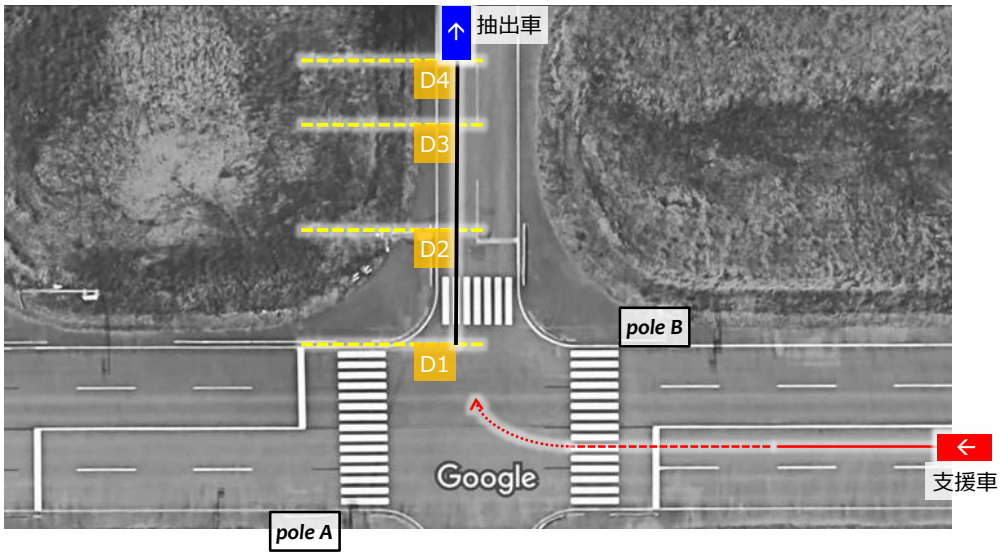


図 5.2.2②-1　評価シナリオ・UC2-2 の実証イメージ

③ UC2-1-2

本 UC では、評価対象の抽出車が経路 D を移動する。

- 抽出車：交差点の中心より走行開始して徐行、交差点の端点(D1)から右折先進入スペース+車両 1 台分の位置(D4)まで徐行維持
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、抽出車の D1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、抽出車の走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 A)

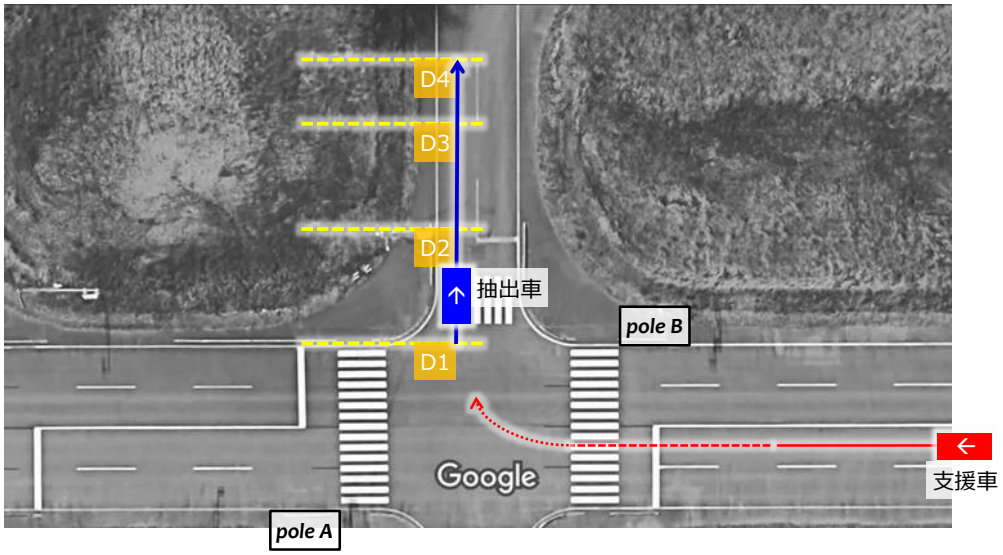


図 5.2.2③-1　評価シナリオ・UC2-2 の実証イメージ

④ UC3-1-0 / 3-3-0

本 UC では、評価対象の歩行者 1 人が経路 A を移動する。

- 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(A1)で 1m/s を維持したまま経路 A に沿って歩行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、歩行者の A1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、歩行者の歩行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

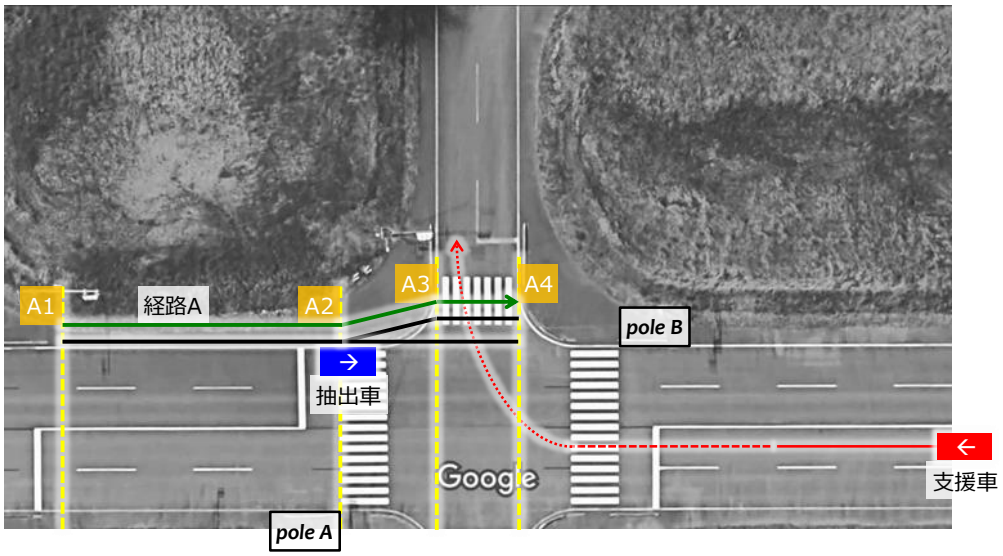


図 5.2.2④-1　評価シナリオ・UC3-1-0 / 3-3-0 の実証イメージ

⑤ UC3-1-1 / 3-3-1

本 UC では、評価対象の自転車 1 名が経路 B を移動する。

- 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(B1)で 15km/h を維持したまま経路 B に沿って走行、B4 を越えて停止。なお、横断歩道前(B3)の一時停止は不要
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、自転車の B1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、自転車の走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

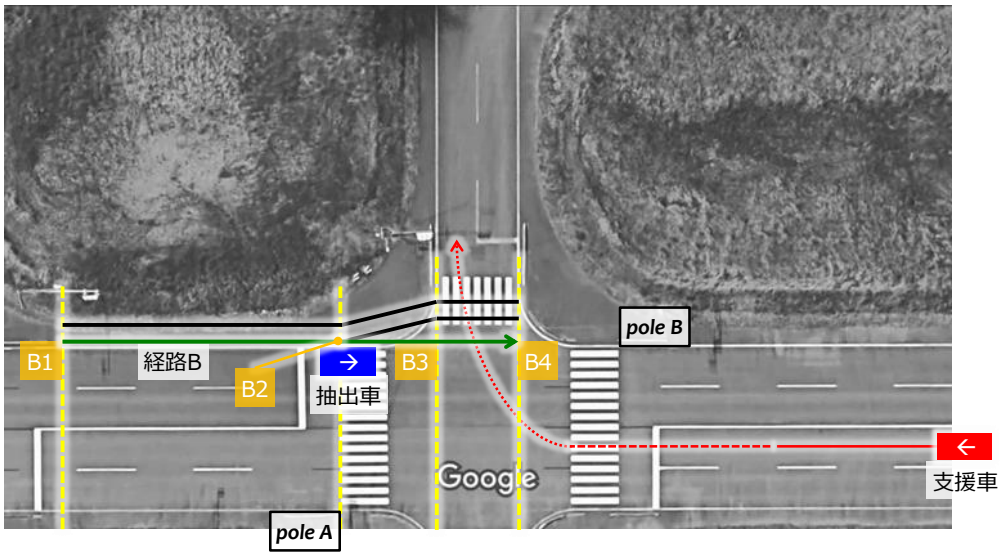


図 5.2.2⑤-1　評価シナリオ・UC3-1-1 / 3-3-1 の実証イメージ

⑥ UC3-1-2 / 3-3-2

本 UC では、評価対象の歩行者 1 人が経路 A、自転車 1 名が経路 B を移動する(速度差ありの並列)。

- 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(A1)で 1m/s を維持したまま経路 A に沿って歩行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(B1)で 15km/h を維持したまま経路 B に沿って走行、B4 を越えて停止。なお、横断歩道前(B3)の一時停止は不要。また、歩行者の A1 通過と自転車の B1 通過を合わせるため、自転車側でタイミングを調整
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、歩行者の A1 通過/自転車の B1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、歩行者/自転車の歩行/走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

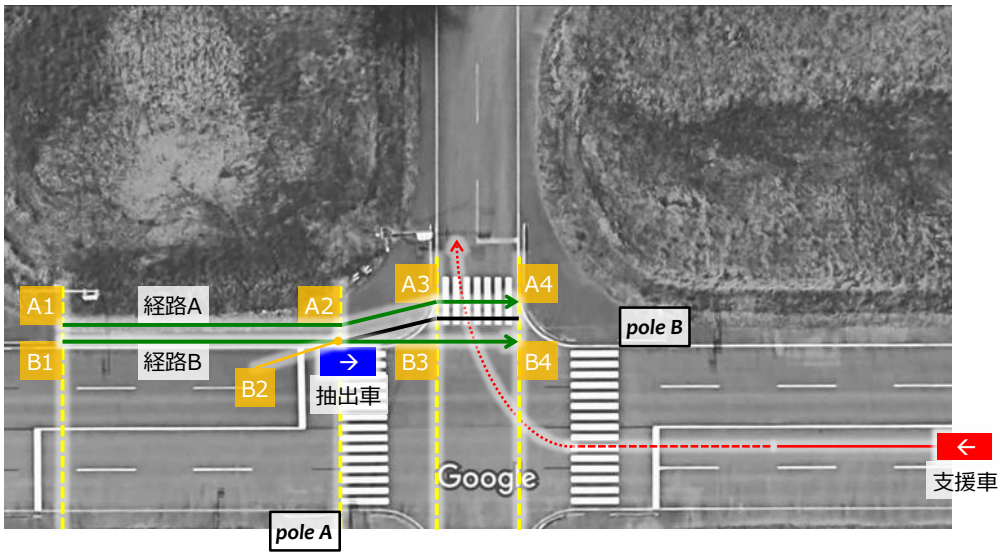


図 5.2.2⑥-1　評価シナリオ・UC3-1-2 / 3-3-2 の実証イメージ

⑦ UC3-1-3 / 3-3-3

本 UC では、評価対象の自転車 2 名が経路 B を移動する。なお、縦列で移動するため、前方自転車を“縦列前自転車”、後方自転車を“縦列後自転車”とする。

- 縦列前自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(B1)で 15km/h を維持したまま経路 B に沿って走行、B4 を越えて停止。なお、横断歩道前(B3)の一時停止は不要
- 縦列後自転車：縦列前自転車の後方につき、間隔 2m で縦列走行
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、縦列前自転車の B1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、縦列前自転車の走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

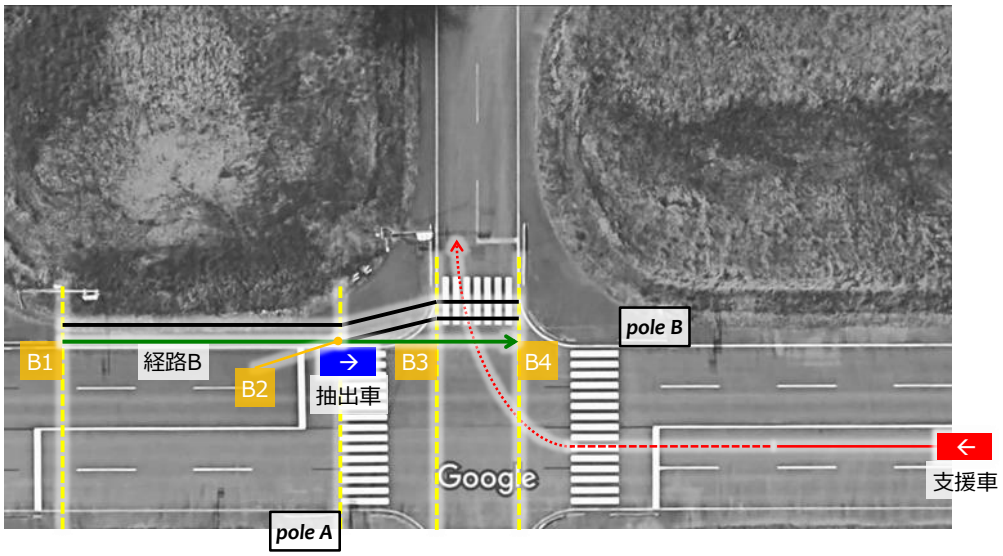


図 5.2.2⑦-1　評価シナリオ・UC3-1-3 / 3-3-3 の実証イメージ

⑧ UC3-1-4 / 3-3-4

本 UC では、評価対象の自転車 2 名が経路 A と B を移動する(速度差なしの並列)。なお、経路 A の自転車を“経路 A 自転車”、経路 B を“経路 B 自転車”とする。

- 経路 A 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(A1)で 15km/h を維持したまま経路 A に沿って走行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 経路 B 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(B1)で 15km/h を維持したまま経路 B に沿って走行、B4 を越えて停止。なお、横断歩道前(B3)の一時停止は不要。また、経路 A 自転車の A1 通過と経路 B 自転車の B1 通過を合わせるため、経路 B 自転車側でタイミングを調整
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、経路 A/B 自転車の A1/B1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、経路 A/B 自転車の走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

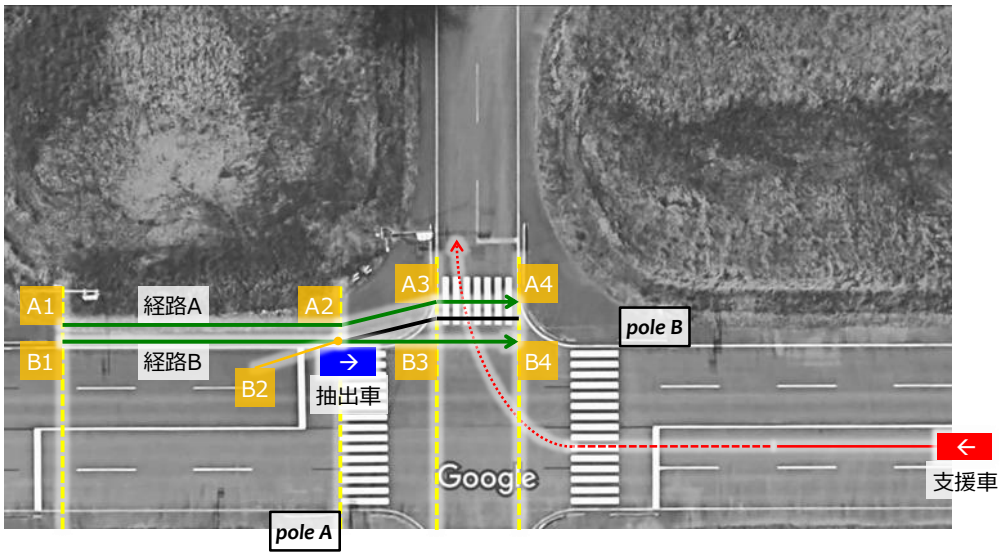


図 5.2.2⑧-1　評価シナリオ・UC3-1-4 / 3-3-4 の実証イメージ

⑨ UC3-1-5 / 3-3-5

本 UC では、評価対象の自転車 2 名が経路 A と B を移動する(速度差ありの並列)。なお、経路 A の自転車を“経路 A 自転車”、経路 B を“経路 B 自転車”とする。

- 経路 A 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 10km/h(=2.8m/s)まで加速、32m(A1)で 10km/h を維持したまま経路 A に沿って走行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 経路 B 自転車：交差点の端点より 37m から走行開始して 15km/h(=4.2m/s)まで加速、32m(B1)で 15km/h を維持したまま経路 B に沿って走行、B4 を越えて停止。なお、横断歩道前(B3)の一時停止は不要。また、経路 A 自転車の A1 通過と経路 B 自転車の B1 通過を合わせるため、経路 B 自転車側でタイミングを調整
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、経路 A/B 自転車の A1/B1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、経路 A/B 自転車の走行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

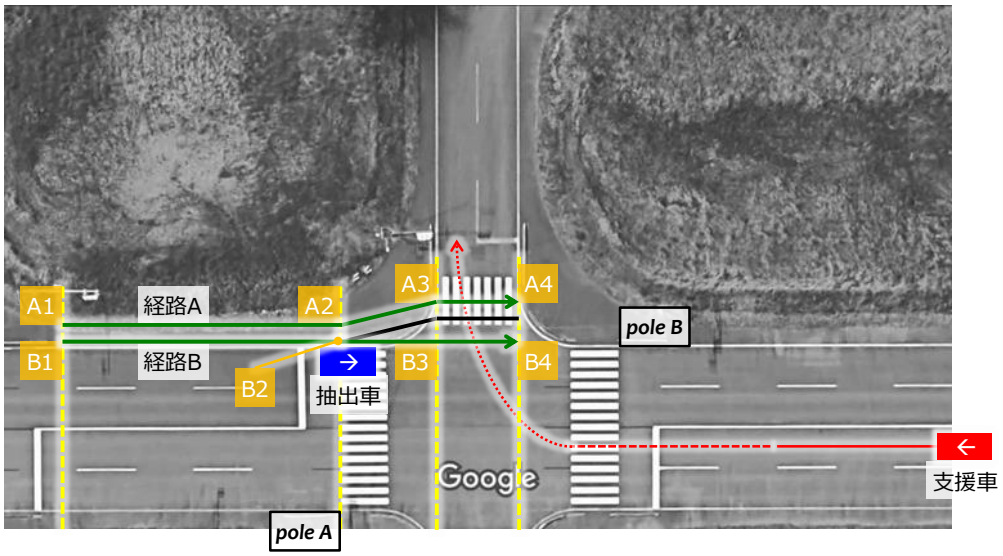


図 5.2.2⑨-1　評価シナリオ・UC3-1-5 / 3-3-5 の実証イメージ

⑩ UC3-1-6 / 3-3-6

本 UC では、評価対象の歩行者 2 人が経路 A を移動する。なお、縦列で移動するため、前方歩行者を“縦列前歩行者”、後方歩行者を“縦列後歩行者”とする。

- 縦列前歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(A1)で 1m/s を維持したまま経路 A に沿って歩行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 縦列後歩行者：縦列前歩行者の後方につき、間隔 2m で縦列歩行
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、縦列前歩行者の A1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、縦列前歩行者の歩行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

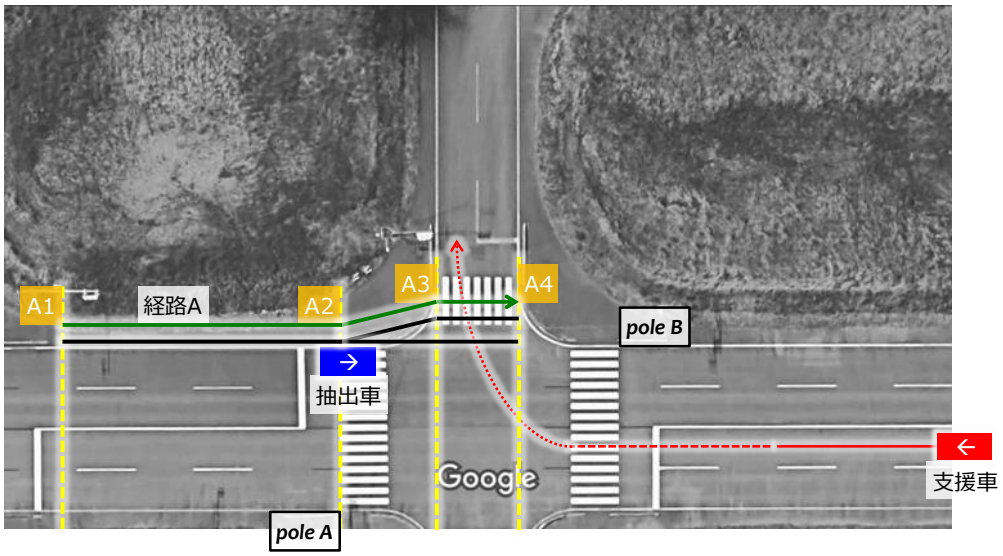


図 5.2.2⑩-1　評価シナリオ・UC3-1-6 / 3-3-6 の実証イメージ

⑪ UC3-1-7 / 3-3-7

本 UC では、評価対象の歩行者 2 人が経路 A と C を移動する(速度差なしの並列)。なお、経路 A の歩行者を“経路 A 歩行者”、経路 C を“経路 C 歩行者”とする。

- 経路 A 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(A1)で 1m/s を維持したまま経路 A に沿って歩行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 経路 C 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(C1)で 1m/s を維持したまま経路 C に沿って歩行、C4 を越えて停止。なお、横断歩道前(C3)の一時停止は不要。また、経路 A 歩行者の A1 通過と経路 C 歩行者の C1 通過を合わせるため、経路 C 歩行者側でタイミングを調整
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、経路 A/C 歩行者の A1/C1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、経路 A/C 歩行者の歩行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

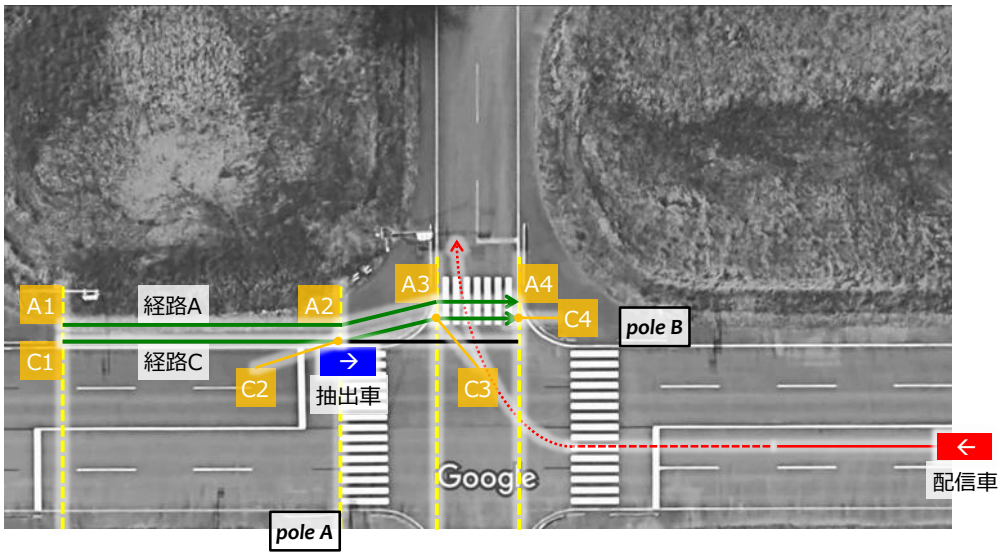


図 5.2.2.⑪-1　評価シナリオ・UC3-1-7 / 3-3-7 の実証イメージ

⑫ UC3-1-8 / 3-3-8

本 UC では、評価対象の歩行者 2 人が経路 A と C を移動する(速度差ありの並列)。なお、経路 A の歩行者を“経路 A 歩行者”、経路 C を“経路 C 歩行者”とする。

- 経路 A 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 1m/s まで加速、32m(A1)で 1m/s を維持したまま経路 A に沿って歩行、A4 を越えて停止。なお、横断歩道前(A3)の一時停止は不要
- 経路 C 歩行者：交差点の端点より 37m から歩行開始して 3m/s まで加速、32m(C1)で 3m/s を維持したまま経路 C に沿って歩行、C4 を越えて停止。なお、横断歩道前(C3)の一時停止は不要。また、経路 A 歩行者の A1 通過と経路 C 歩行者の C1 通過を合わせるため、経路 C 歩行者側でタイミングを調整
- 抽出車：交差点の端点より 5m に停車
- 支援車：交差点の停止線より 200m から走行開始して 40km/h まで加速、126m で 40km/h の速度確認、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、経路 A/C 歩行者の A1/C1 通過と支援車の 126m 通過を合わせるため、経路 A/C 歩行者の歩行開始タイミングを調整
- 情報源：ミリ波レーダ(信号柱 B)、ITS 通信端末

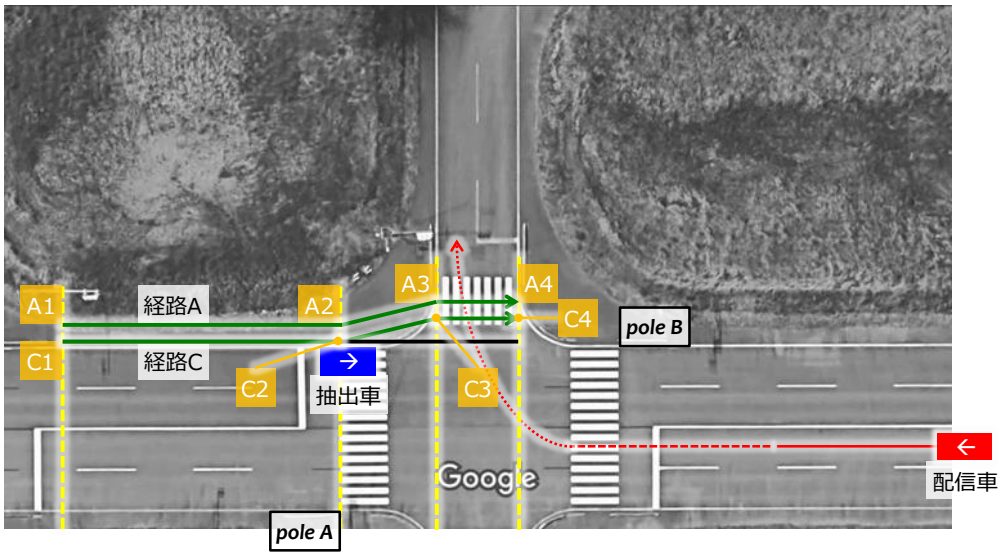


図 5.2.2⑫-1　評価シナリオ・UC3-1-8 / 3-3-8 の実証イメージ

5.2.3. 実証結果

① 抽出

(1) 評価対象とする狭域 UC と抽出手法の概要

本研究開発における狭域エリアは信号有り交差点及びその周辺としており、導入を想定する狭域システムは交差点で右折する車両への情報提供を主目的としている。この右折車両の走行支援に必要となる先読み情報は、右折先の道路状況である車両の存在や交差点へ接近する歩行者・自転車の位置や速度、進行方向等と考えられている。

したがって、開発した交差点周辺の交通情報をリアルタイムに抽出・統合・配信する狭域システムを検証することに際しても、右折先の状況を配信する狭域 UC2 と接近歩行者・自転車の情報を配信する狭域 UC3-1 を主な評価対象としている。

これらの狭域 UC においては、交差点付近では右折先道路の車両や接近して横断する歩行者・自転車の位置等を計測するセンシング手段が必要となる。前述したように、抽出される対象が保持する GNSS モジュールと一体動作の ITS 通信端末及び交差点の路側に設置されたミリ波レーダの各々が、抽出対象の位置情報等を取得した後でこれらの情報を統合して配信するシステム構成となっている。

ここで、GNSS はコード測位方式であり、アンテナは保持形態による影響を取り除くため、車両ボンネットやヘルメットの上に取り付けている。ミリ波レーダは 79GHz 帯高分解能レーダであり、設置点近傍を検知する必要があるため、レーダセンサ部は地上高 3m に取り付けてチルトさせている。

(2) ITS 通信端末とミリ波レーダに対する評価結果の総括

本研究開発において、狭域システムの抽出部に対する必須評価項目は、各抽出手法によって計測される位置の正解率である。表 5.2.3①-1 に、狭域 UC2-1-2、UC3-1-0/UC3-3-0、UC3-1-1/UC3-3-1、UC3-1-2 の各シナリオ実験によって得られた正解率の結果をまとめて示す。抽出手法は ITS 通信端末(GNSS)と路側設置の 79GHz 帯ミリ波レーダであり、正解率は位置計測データの（正解サンプル数/総サンプル数×100）% として算出している。

表 5.2.3①-1 各抽出手法に対する位置計測の正解率

抽出手法	UC2-1-2	UC3-1-0/3-3-0	UC3-1-1/3-3-1	UC3-1-2/UC3-3-2	
抽出対象	徐行車両	歩行者	自転車	歩行者	自転車
ITS 通信端末 (GNSS)	99 %	91 %	71 %	78 %	92 %
79GHz 帯 ミリ波レーダ	100 %	99 %	99 %	100 %	99 %

表 5.2.3①-1 からわかるように、ITS 通信端末の正解率が UC シナリオや抽出対象毎に異なる特性を示しており、一部では KPI 評価指標である 90%を満たしていない。具体的には、表 5.2.3①-1 において、UC3-1-0/3-3-0 の歩行者単独と UC3-1-1/3-3-1 の自転車単独の UC シナリオ間で比較すると歩行者の方が精度良く、一方で UC3-1-2/UC3-3-2 の歩行者と自転車が並走するシナリオでは自転車の方が良いという結果となっている。通常、移動方向が安定する自転車の方が GNSS による測位精度が高い傾向にあるが、自転車単独の実験結果は想定される傾向と異なっている。

このような測位精度のばらつき要因は、本節の後段「④ 抽出・収集・統合・配信・狭域全体の遅延評価 - (7)時刻ずれの発生した時刻同期構成と問題点」において述べる時刻ズレの発生に起因した計測誤差、及び「9.4 節において後述する GNSS 衛星配置が変化することに起因した位置誤差の時間変動が要因である。前者の時刻ズレは本試作システムの改良として対策済みであり、後者の位置誤差については GNSS の補正データ配信等のアプローチにより改良できる見込みがある。したがって、このような抽出手法の改良等も踏まえ、後段で説明する統合の検証においては、ITS 通信端末の正解率が KPI 評価指標を満すことを前提とした評価を実施している。尚、今回のシナリオ実験では、歩行者と自転車のいずれの試行においても、GNSS がアンテナを被験者の頭頂部に置かれた条件で実施しており、歩行と自転車走行による人体の揺らぎ等の条件を除いて同様の環境において実施されている。

また、ミリ波レーダの検知処理では、検知エリアを区分することで対象物の種別を簡易的に特定している。くわえて、同一のエリアに存在する歩行者と自転車に対して、計測される速度情報を用いた判別機能を実装しているが、本機能の評価までは実施していない。

ここで、位置計測の評価指標である正解率について、その定義を補足説明しておく。狭域 UC2 の各シナリオでは、計測された位置が X 方向（進行方向）の誤差 1.75m 以下、且つ Y 方向の誤差 2m 以下となる場合を正解とする。UC3-1 の各シナリオでは、計測された位置が誤差半径 2m 以下に含まれる場合を正解とする。各 UC シナリオの実験で得られた計測サンプルに含まれる正解事象の割合を正解率として算出し、その値を KPI 評価に用いている。

(3) 各評価項目（位置、速度、進行方向）に対する実験結果

表 5.2.3①-2 は、狭域 UC2（右折先状況の情報提供）のシナリオ実験で得られたミリ波レーダの正解率と各評価項目に対する計測誤差を示している。ここで、UC2-1-1 及び UC2-2 はいずれも停止車両を抽出するシナリオであるが、本実験に用いたレーダが移動体を検知する仕様のため、検知不可という結果になっている。ここで、UC-2-1-2 における ITS 通信端末(GNSS)の計測結果は、参考値として掲載するものであり、本研究開発の KPI 評価対象には位置付けていない。

表 5.2.3①-3 と表 5.2.3①-4 に、狭域 UC3（接近歩行者・自転車の情報提供）のシナリオ実験で得られた ITS 通信端末とミリ波レーダの正解率と各評価項目に対する計測誤差の実験結果を示している。

尚、各表の位置誤差については、上段に正解率、正解サンプル数/総サンプル数、下段に誤差の平均値、標準偏差及び累積相対度数分布の 90%値をそれぞれ示している。速度と進行方向の誤差については、正解率を定義していないため、平均値、標準偏差及び累積相対度数分布の 90%値を評価結果として示している。

また、図 5.2.3①-1 は、狭域 UC-2-1-2 徐行車両の抽出実験で取得した位置計測データの解析結果であり、図 5.2.3①-1a は ITS 通信端末(GNSS)、図 5.2.3①-1b は 79GHz 帯ミリ波レーダの計測データから求めた位置誤差の累積相対度数分布を示している。

同様にして、図 5.2.3①-2a と図 5.2.3.①-2b は、狭域 UC3-1-0 と 3-3-0 の全抽出区間に対する解析結果であり、歩行者位置誤差の累積相対度数分布を示している。また、図 5.2.3①-3b と図 5.2.3①-3b は、狭域 UC3-1-1 と 3-3-1 の全抽出区間に対する自転車の位置誤差解析結果である。さらに、図 5.2.3①-4 と図 5.2.3①-5 の各図は、狭域 UC3-1-2/UC3-3-2 歩行者・自転車並走シナリオにおける歩行者と自転車の各々の位置誤差解析結果を個別に示したものである。

表 5.2.3①-2　狭域 UC2 車両抽出シナリオに対する実験評価結果

評価項目	抽出手法	UC2-1-1 (停止)	UC2-2 (停止)	UC2-1-2 (徐行)
正解率 位置誤差［m］	ITS 通信端末 (GNSS)	―	―	99 %, 328/330 1.27, 0.30, 1.52
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	検知不可	検知不可	100 %, 3164/3164 1.04, 0.21, 1.30
速度誤差［m/s］	ITS 通信端末 (GNSS)	―	―	0.08, 0.07, 0.19
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	検知不可	検知不可	0.19, 0.18, 0.44
進行方向誤差［°］	ITS 通信端末 (GNSS)	―	―	0.3, 0.2, 0.6
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	検知不可	検知不可	4.0, 3.8, 8.1

表 5.2.3①-3　狭域 UC3-1/3-3 歩行者・自転車個別抽出シナリオに対する実験評価結果

評価項目	抽出手法	UC3-1-0 (歩行者単独)	UC3-1-1 (自転車単独)
正解率 位置誤差［m］	ITS 通信端末 (GNSS)	91 %, 2182/2389 1.36, 0.49, 1.92	71 %, 1103/1538 1.70, 0.54, 2.45
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	99 %, 11693/11702 0.52, 0.25, 0.82	99 %, 6545/6572 0.93, 0.46, 1.62
速度誤差［m/s］	ITS 通信端末 (GNSS)	0.06, 0.08, 0.11	0.09, 0.11, 0.20
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	0.09, 0.09, 0.19	0.13, 0.14, 0.32
進行方向誤差［°］	ITS 通信端末 (GNSS)	3.7, 3.4, 6.3	0.8, 0.7, 1.7
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	10.7, 8.9, 22.4	2.6, 2.5, 5.8

表 5.2.3①-4　狭域 UC3-1-2 歩行者・自転車同時抽出シナリオに対する実験評価結果

評価項目	抽出手法	UC3-1-2/UC3-3-2 (歩行者・自転車並走)	
		歩行者	自転車
正解率 位置誤差［m］	ITS 通信端末 (GNSS)	78 %, 1895/2428 1.36, 0.68, 2.45	92 %, 535/581 1.28, 0.39, 1.96
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	100 %, 10475/10475 0.60, 0.22, 0.87	99 %, 2595/2598 0.68, 0.29, 0.96
速度誤差［m/s］	ITS 通信端末 (GNSS)	0.06, 0.09, 0.10	0.12, 0.13, 0.29
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	0.08, 0.08, 0.17	0.14, 0.14, 0.34
進行方向誤差［°］	ITS 通信端末 (GNSS)	3.0, 4.3, 5.1	0.8, 0.6, 1.6
	79GHz 帯 ミリ波レーダ	9.3, 7.7, 20.2	2.8, 3.0, 7.3

・　UC2-1-2 徐行車両抽出時の位置誤差解析グラフ

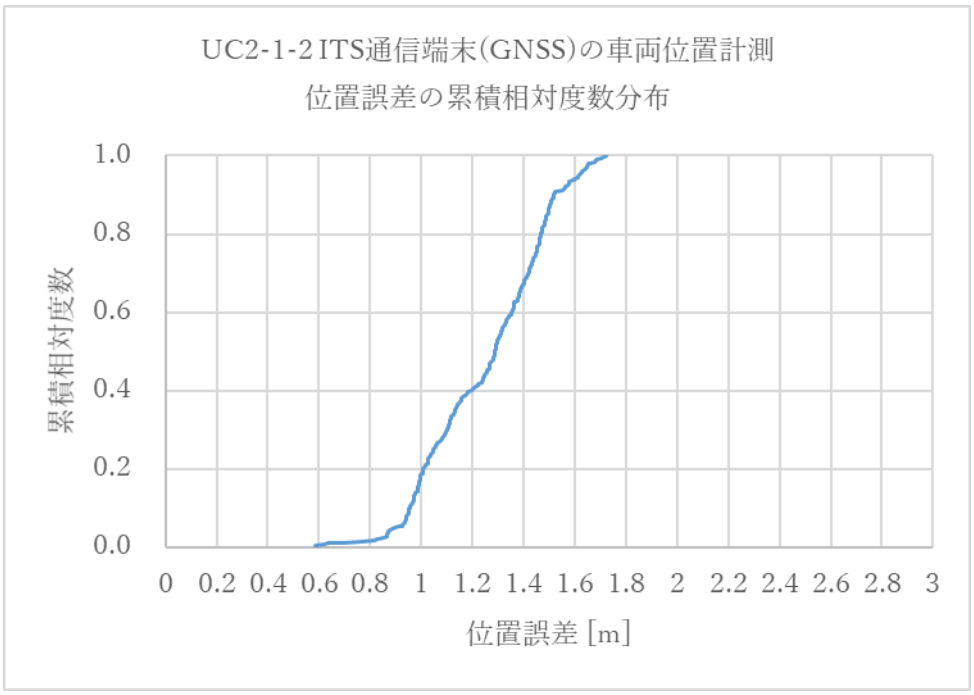


図 5.2.3①-1a　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：ITS 通信端末(GNSS)、抽出情報：車両位置）

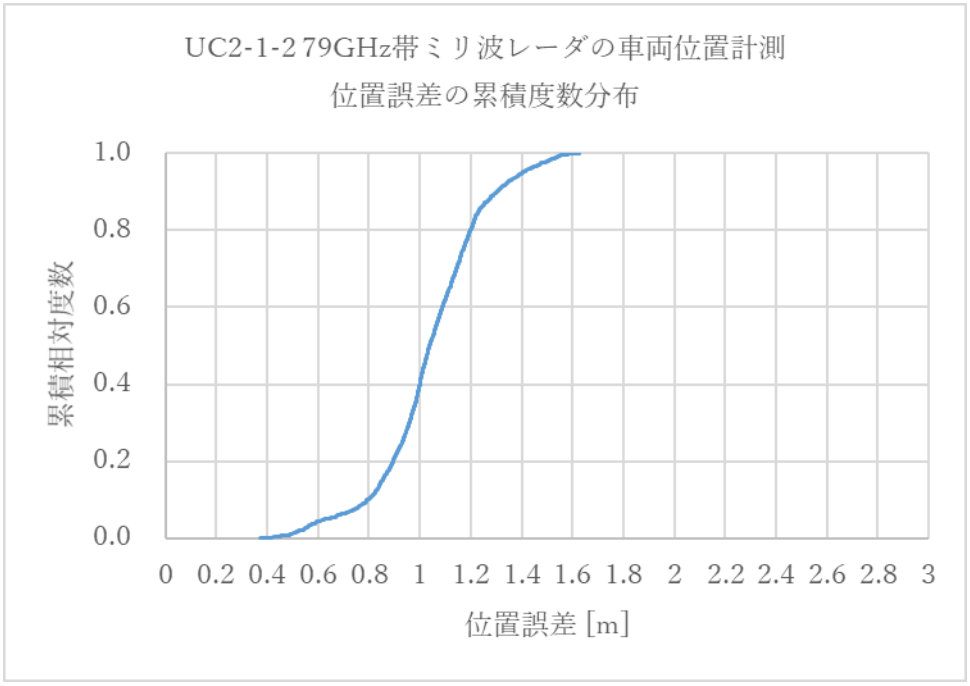


図 5.2.3①-1b　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：79GHz 帯ミリ波レーダ、抽出情報：車両位置）

・　C3-1-0/3-3-0 歩行者抽出時の位置誤差解析グラフ

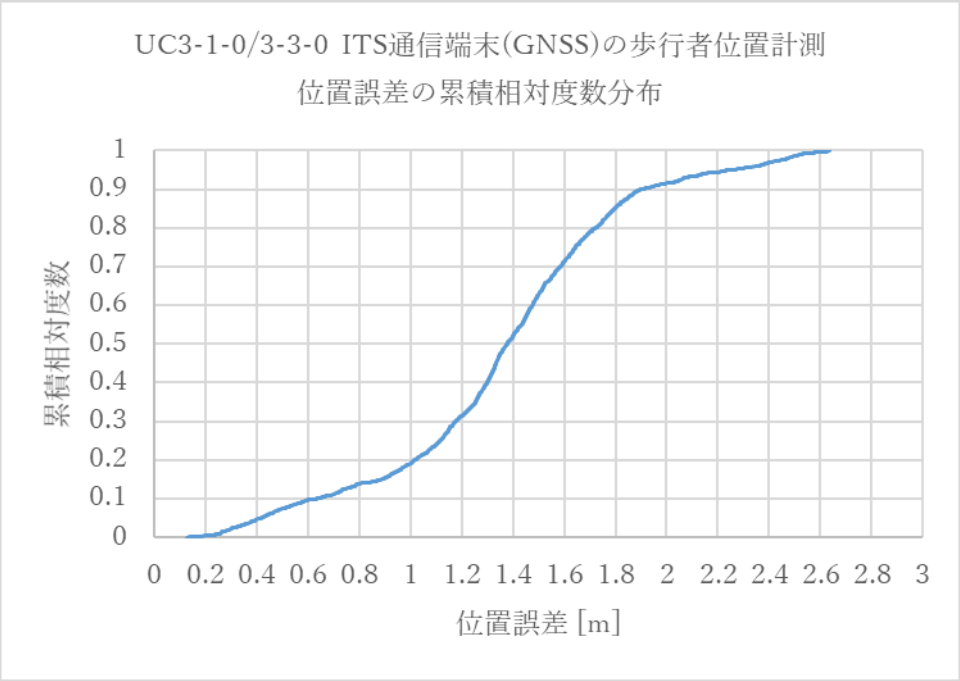


図 5.2.3①-2a　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：ITS 通信端末(GNSS)、抽出情報：歩行者位置）

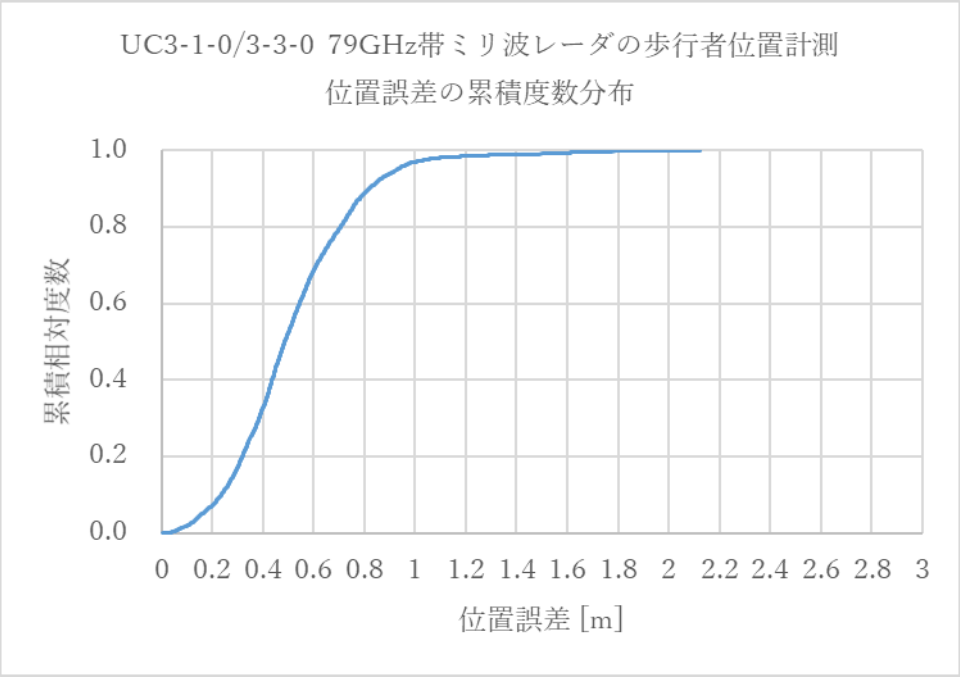


図 5.2.3①-2b　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：79GHz 帯ミリ波レーダ、抽出情報：歩行者位置）

・　UC3-1-1/3-3-1 自転車抽出時の位置誤差解析グラフ

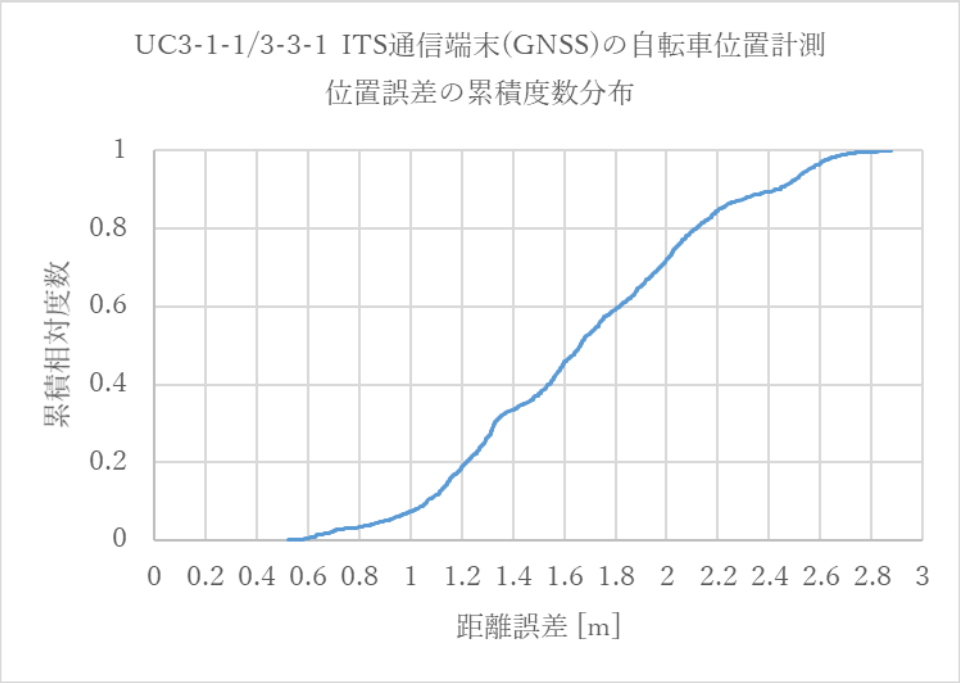


図 5.2.3①-3a　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：ITS 通信端末(GNSS)、抽出情報：自転車位置）

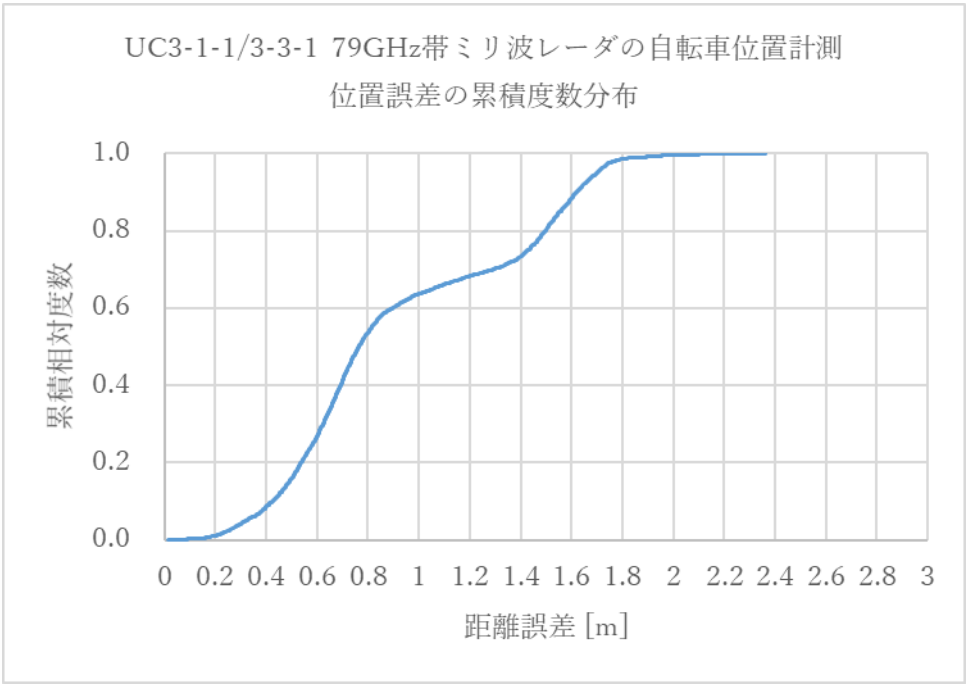


図 5.2.3①-3b　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：79GHz 帯ミリ波レーダ、抽出情報：自転車位置）

・　UC3-1-2/UC3-3-2 歩行者・自転車並走シナリオにおける歩行者位置誤差解析グラフ

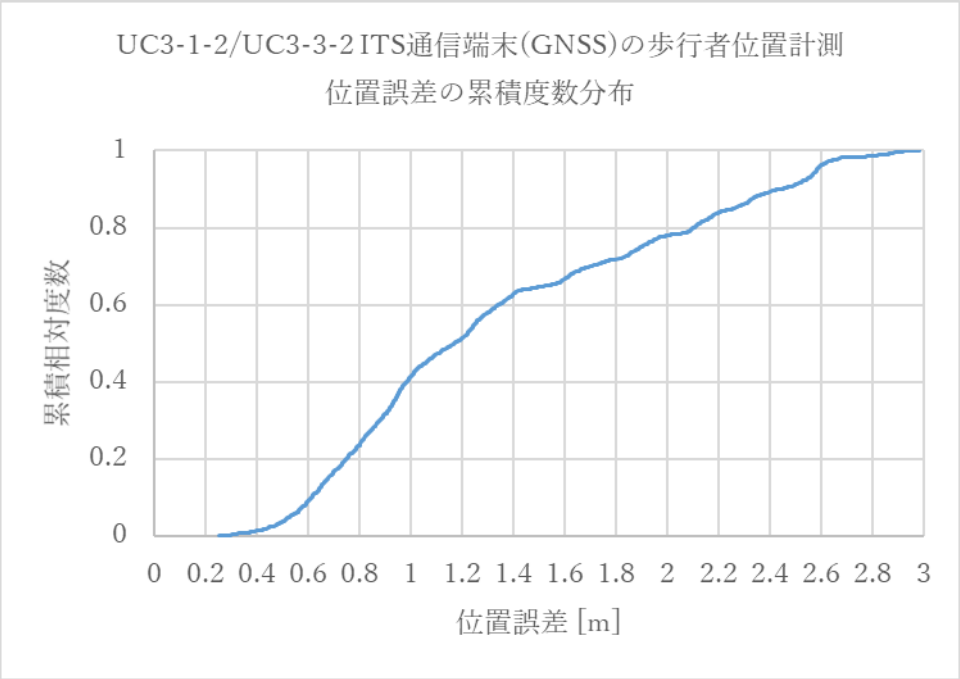


図 5.2.3①-4a　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：ITS 通信端末(GNSS)、抽出情報：歩行者位置）

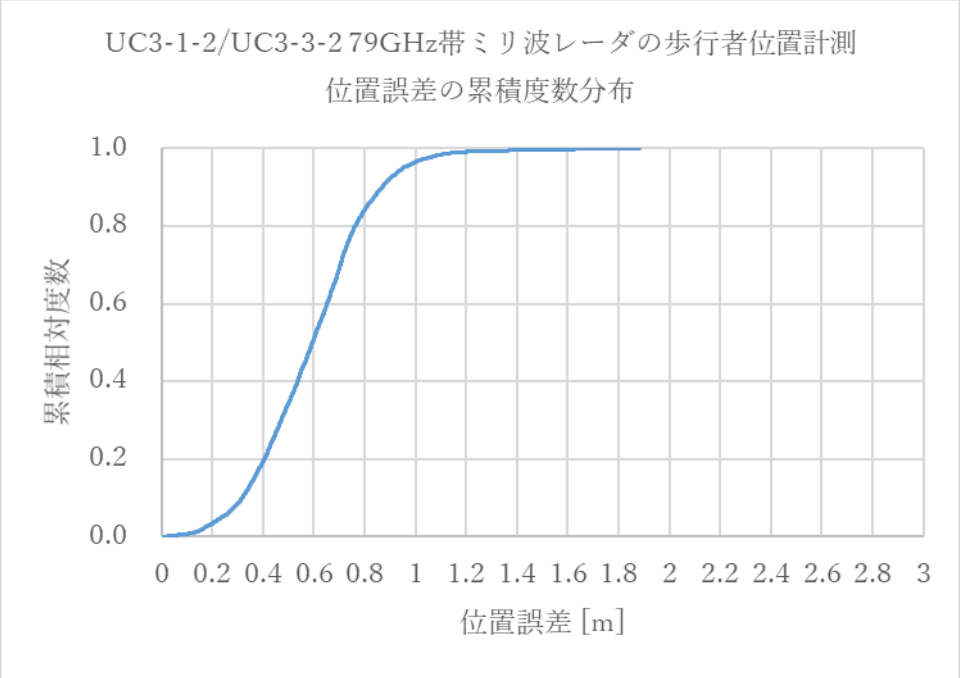


図 5.2.3①-4b　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：79GHz 帯ミリ波レーダ、抽出情報：歩行者位置）

・　UC3-1-2/3-3-2 歩行者・自転車並走シナリオにおける自転車の位置誤差解析グラフ

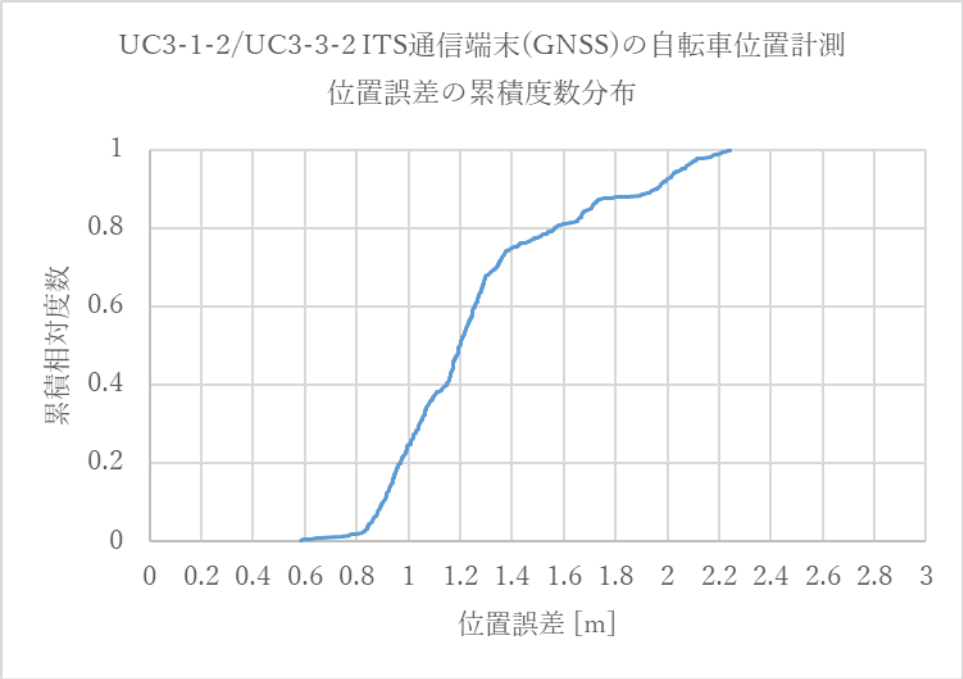


図 5.2.3①-5a　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：ITS 通信端末(GNSS)、抽出情報：自転車位置）

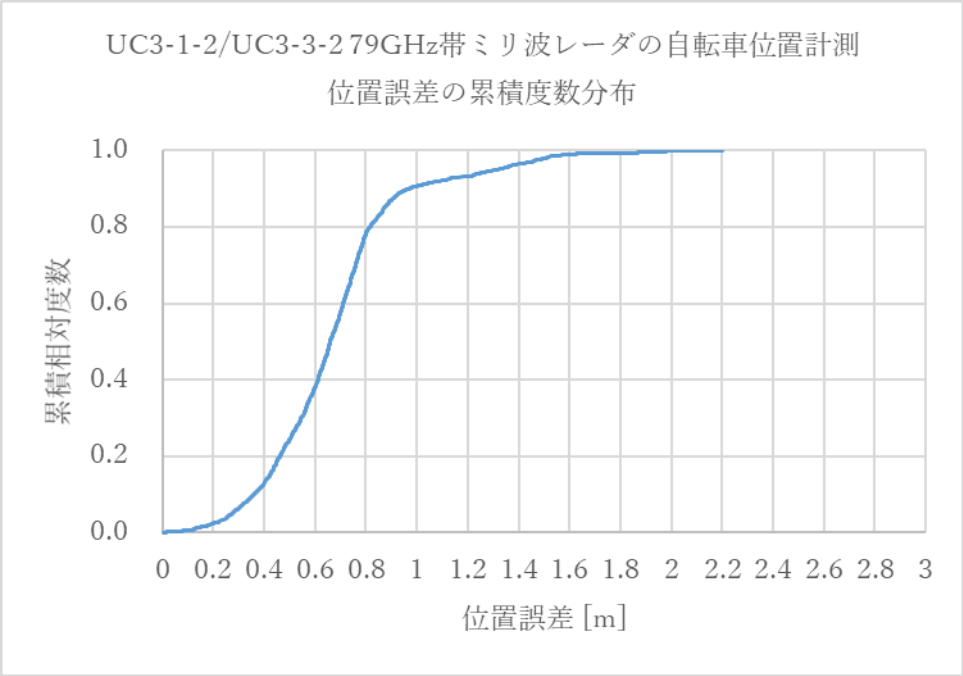


図 5.2.3①-5b　XY 平面座標系における位置誤差の累積相対度数分布
（抽出手法：79GHz 帯ミリ波レーダ、抽出情報：自転車位置

② 統合

本節では統合試験検証対象の UC-3 における統合の評価結果を示す。

(1) 評価パラメータ定義

本節では統合の評価に用いるパラメータの定義（算出方法）について説明する。

＜統合評価パラメータ＞

・ITS 通信端末、ミリ波レーダ、統合に関する評価範囲は、試験歩行経路全部とする。

・同一判定に関する評価範囲は、TS 通信端末とミリ波レーダが両方検知できる歩行経路（試験歩行経路の一部）を試験範囲とする。なお、試験ごとにミリ波レーダが検知できる範囲が違うため、試験ごと該当するミリ波のレーダが検知できたタイミングを評価範囲の開始としている。

図 5.2.3②(1)-1 に歩行経路に対する評価範囲のイメージを示す。

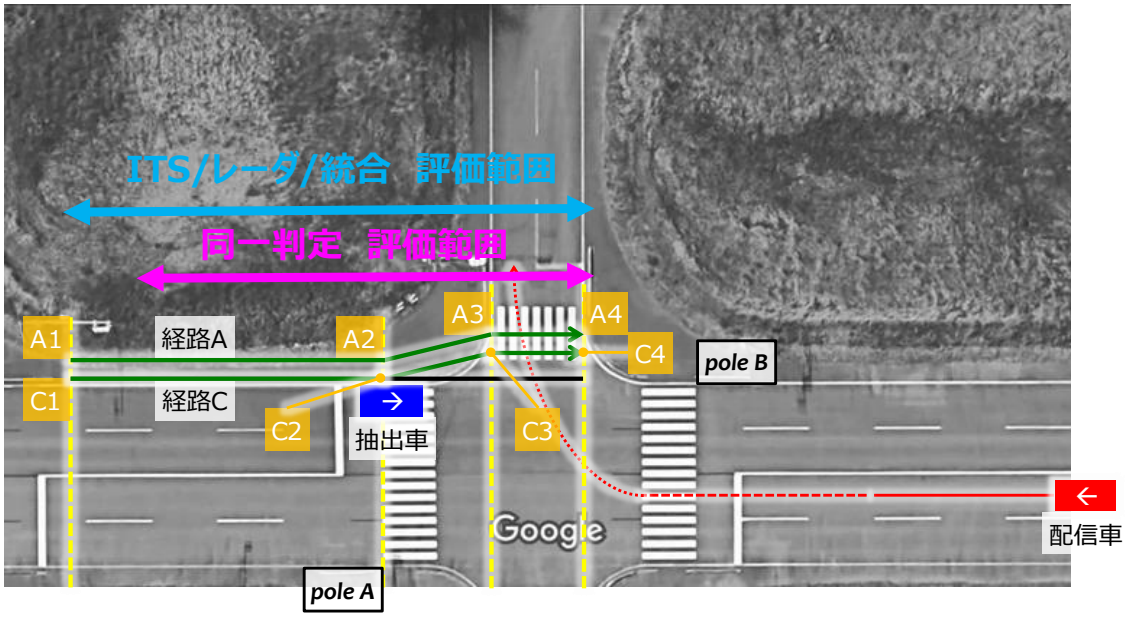


図 5.2.3②(1)-1　歩行経路に対する評価範囲のイメージ図

・期待サンプル数は、全試験歩行経路する時間に対して、システムが処理を行うサンプリング間隔から理論的に計算する。以下の計算式で求める。

-ITS 通信端末は、「試験歩行経路を歩く時間」÷「ITS 通信端末サンプリング間隔(250msec)」で算出。

-ミリ波レーダは、「試験歩行経路を歩く時間」÷「ミリ波レーダサンプリング間隔(50msec)」で算出。

-統合は、「試験歩行経路を歩く時間」÷「統合サンプリング間隔(250msec)」で算出。

・抽出サンプル数は、試験歩行経路に対して、抽出システムが物標を検知できたセンサのサンプル数とする。

・統合サンプル数は、全試験歩行経路に対して、統合システムが物標を検知できたサンプル数とする。同一判定失敗しても統合のサンプル数としてカウントする。

・正解サンプル数は、測定位置が正解位置に対して、２m 半径の円の中に入っているサンプル数。なお、実機のログを再生して、正解の ID 確認しながら決めている。

・抽出率は、全試験歩行経路に対して物標を検知した割合とする。「抽出サンプル数」÷「期待サンプル数」で算出。

・統合率は、全試験歩行経路に対して統合が検知した割合とする。「統合サンプル数」÷「期待サンプル数」で算出。

・正解率は、検知できた測定位置が、正解位置に対して測定位置が２m 半径の円の中に入っている割合。「正解サンプル数」÷「抽出・/統合サンプル数」で算出。

なお、位置、速度、移動方向の各正解値は、図 5.2.1.②で説明した経路上の複数個所に設置した通過時刻計測器で計測した通過時刻から、ポイント間を一定速度、一定移動方向で移動したものとして計算して算出している。

＜同一判定評価パラメータ＞

・同一判定サンプル数は、ITS 通信端末とミリ波レーダが両方検知できる試験歩行経路を歩く時間に対して、同定処理を行う間隔(250msec)で算出。

・同一判定正解サンプル数は、ITS 通信端末の ID とミリ波レーダの ID が同じ物標と正しく判定できるサンプル数。なお、実機のログを再生して、同一判定の正解の ID 確認しながら決めている。

・正解率：同一判定の試験範囲内で、ITS 通信端末の ID とミリ波レーダの ID が同じ物標と正しく判定できた割合。正解サンプル数÷同一判定サンプル数で算出。

(2) 統合に対する評価結果の総括

表 5.2.3②(2)-1 に各ユースケースにおける統合の正解率、誤差平均、統合サンプル数を示す。なお、抽出の誤差が統合の誤差に影響するため、抽出の誤差が大きい（２m 以上）サンプルは統計から除外して集計した。さらに、UC-3-1 と UC-3-3 の交差点への接近と交差点横断をまとめ、また、自転車２名、歩行者２人のユースケースにおいては、自転車、歩行者の差を比較するため、各ユースケース合計して KPI を算出した。

この表から、統合の平均正解率が KPI 評価指標である 90%を満たしていることがわかる。また、誤差が大きいデータを除外したら、歩行者、自転車の正解率には優位な差がないことがわかる。

なお、一部のユースケースで統合正解率が１００％にならないのは、ミリ波レーダが１つの物標に対して複数 ID 検知され､同一判定されるミリ波レーダの ID が切り替わるとき、既存の ID をしばらく残そうとするため、誤差の大きい既存の ID 位置に引きずられてしまうためである。

表 5.2.3②(2)-1　各ユースケースにおける統合の正解率、誤差平均、統合サンプル数

			正解率 (%)	誤差平均 (m)	統合 サンプル数	平均正解率 (%)	平均誤差 (m)	トータル統合 サンプル数
UC3-1-0/3-3-0	歩行者1人	歩行者1	100	0.52	2158	100	0.52	2158
UC3-1-1/3-3-1	自転車1台	自転車1	100	1.13	904	100	1.13	904
UC3-1-2/3-3-2	歩行者1人	歩行者1	100	0.61	1739	100	0.61	1739
	自転車1台	自転車1	100	0.67	484	100	0.67	484
UC3-1-3/3-3-3	自転車2台	自転車1	100	0.96	706	97	1.00	3511
		自転車2	100	1.35	72			
UC3-1-4/3-3-4		自転車1	96	1.09	579			
		自転車2	100	1.16	465			
UC3-1-5/3-3-5		自転車1	100	1.06	1095			
		自転車2	89	1.25	594			
UC3-1-6/3-3-6	歩行者2人	歩行者1	100	0.73	1356	99	0.80	6821
		歩行者2	100	1.40	499			
UC3-1-7/3-3-7		歩行者1	100	0.65	1548			
		歩行者2	100	0.75	1511			
UC3-1-8/3-3-8		歩行者1	99	0.81	1470			
		歩行者2	97	0.92	437			

(3) UC3-1-0/1/2 と UC3-3-0/1/2（歩行者１人、自転車１名、歩行者１人/自転車１名）の評価結果

表 5.2.3②(3)-1 歩行者１人、自転車１名、歩行者１人/自転車１名における統合と同一判定の評価結果を示す。統合の効果を評価するために、抽出の評価指標も記載するとともに、抽出の誤差が大きい（２ｍ以上）サンプルも含めて集計した。(なお、以降の節も断りがない限り同様とする。)

この表により以下のことがわかる。

・統合の正解率は、ITS 通端末の抽出の正解率より改善していることがわかる。これは､歩行開始し交差点(ミリ波レーダ)に近づくとミリ波レーダで検知できるようになり、位置精度が向上できるためである。

・統合率は、統合率が抽出率より良いことがわかる。その理由は、統合することで両方センサの検知範囲を補間することができ、試験範囲全体で検知できているからである。

・同一判定正解率は、７３％から９７％であり、抽出の位置の精度が良いほど同一判定の正解率が良い傾向であることがわかる。同一判定成功している時は、配信物標数を半分にすることも確認できた。

・統合の速度誤差は、ITS 通信端末の速度誤差とミリ波レーダの速度誤差の差が小さいため、ほぼ同じぐらいの速度誤差になっていることがわかる。

・統合の進行方向誤差は、ミリ波レーダの進行方向誤差より統合の進行方向誤差が改善していることがわかる。これは、レーダの検知範囲に入ったら、ITS 通信端末で検知した精度の良い進行方向を活用できるからである。

表 5.2.3②(3)-1　歩行者１人、自転車１名、歩行者/自転車各１における統合と同一判定の評価結果

4社試験ID				UC3-1-0/3-3-0	UC3-1-1/3-3-1	UC3-1-2/3-3-2	
試験内容				歩行者単独	自転車単独	自転車、歩行者	
			単位	歩行者1	自転車1	歩行者1	自転車2
位置(絶対値)	抽出(ITS)	正解率	%	91	71	78	92
		抽出率	%	91	91	98	95
		正解サンプル数	数	2184	1103	1895	536
		抽出サンプル数	数	2389	1538	2428	581
		期待サンプル数	数	2603	1681	2457	610
		誤差平均	m	1.36	1.70	1.36	1.28
		標準偏差	m	0.49	0.54	0.68	0.39
		CDF 90%	m	1.91	2.44	2.45	1.96
	抽出(レーダ)	正解率	%	99	99	100	99
		抽出率	%	89	77	85	84
		正解サンプル数	数	11693	6545	10475	2595
		抽出サンプル数	数	11702	6572	10475	2598
		期待サンプル数	数	13052	8494	12313	3086
		誤差平均	m	0.52	0.93	0.59	0.68
		標準偏差	m	0.25	0.46	0.22	0.29
		CDF 90%	m	0.82	1.62	0.87	0.96
	統合	正解率	%	97	80	90	97
		統合率	%	99	99	99	97
		正解サンプル数	数	2522	1348	2204	581
		統合サンプル数	数	2590	1665	2440	593
		期待サンプル数	数	2603	1681	2457	610
		誤差平均	m	0.63	1.36	0.83	0.76
		標準偏差	m	0.43	0.67	0.65	0.36
		CDF 90%	m	1.12	2.43	1.92	1.23
同一判定		正解率	%	96	73	89	97
		正解サンプル数	数	2279	966	1975	510
		同一判定サンプル数	数	2362	1321	2196	521
速度誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	m/s	0.06	0.09	0.06	0.12
		標準偏差	m/s	0.08	0.11	0.09	0.13
		CDF 90%	m/s	0.11	0.20	0.10	0.29
	抽出(レーダ)	平均	m/s	0.09	0.13	0.08	0.14
		標準偏差	m/s	0.09	0.14	0.08	0.14
		CDF 90%	m/s	0.19	0.32	0.17	0.34
	統合	平均	m/s	0.06	0.10	0.07	0.13
		標準偏差	m/s	0.09	0.11	0.14	0.14
		CDF 90%	m/s	0.13	0.21	0.13	0.31
方向誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	度	3.7	0.8	3.0	0.8
		標準偏差	度	3.4	0.7	4.3	0.6
		CDF 90%	度	6.3	1.7	5.1	1.6
	抽出(レーダ)	平均	度	10.7	2.6	9.3	2.8
		標準偏差	度	8.9	2.5	7.7	3.0
		CDF 90%	度	22.5	5.8	20.2	7.2
	統合	平均	度	5.4	0.9	4.5	1.2
		標準偏差	度	5.8	0.9	6.2	1.7
		CDF 90%	度	12.4	1.9	11.6	2.0

(4) UC3-1-6/7/8 と UC3-3-6/7/8（歩行者２人）の評価結果

表 5.2.3②(4)-1 歩行者２人における統合と同一判定の評価結果を示す。

この表により以下のことがわかる。

・概ね前節との結果の傾向は変わらない。以下には本ユースケース特有な事象について説明する。

・歩行者２人で前後２m（直列２m）離れているユースケースにおいて、交差点（ミリ波レーダ）から遠い試験領域では、ミリ波レーダは歩行者 2 人が重なるオクルージョンにより前方を歩いている人の位置でしか、物標が検知できない。したがって、前方を歩いている人は、ITS 通信端末とミリ波レーダの検知した物標が関連付けられた統合 ID の物標になり、後方をを歩いている人は、ミリ波レーダの誤差が大きいことから、ITS 通信端末の検知したのみ物標が関連付けられた統合 ID の物標になり、統合処理からは、２つの統合 ID が出力される。さらに、交差点に近づいた試験領域では、ミリ波レーダは前方と後方を歩いている人を分離できるため、ITS 通信端末とミリ波レーダの検知した物標が関連付けられた統合 ID の物標になり、２つの統合 ID が出力される。このように、オクルージョンが発生しても、２つの統合 ID が出力され、その統合 ID の連続性を維持しながらシームレスに検知できることがわかる。

・歩行者２人で並列（間隔 0.7m）離れている条件において、ミリ波レーダは歩行者の真ん中の位置で１つの物標を検知する。そのミリ波レーダの検知物標の位置は、正解の位置に対してズレが小さいため、通信端末で検知された２つの物標それぞれと同一判定し、統合することがでるため、２つの統合 ID が出力される。すなわちミリ波レーダでは１つの物標でしか見えないのに、ITS 通信端末と統合することで２つの物標として検知できるようになることがわかる。

表 5.2.3②(4)-1　歩行者２人における統合と同一判定の評価結果

4社試験ID				UC3-1-6/3-3-6		UC3-1-7/3-3-7		UC3-1-8/3-3-8	
試験内容				歩行者2人					
				直列2m		並列		並列速度差	
			単位	歩行者1	歩行者2	歩行者1	歩行者2	歩行者1	歩行者2
位置(絶対値)	抽出(ITS)	正解率	%	99	99	100	100	100	90
		抽出率	%	92	91	95	95	89	98
		正解サンプル数	数	1293	1252	1478	1485	1388	460
		抽出サンプル数	数	1295	1254	1478	1485	1388	511
		期待サンプル数	数	1398	1365	1551	1550	1549	517
		誤差平均	m	0.89	1.09	0.48	0.59	0.56	1.15
		標準偏差	m	0.49	0.41	0.17	0.25	0.28	0.58
		CDF 90%	m	1.56	1.62	0.71	0.86	0.95	1.99
	抽出(レーダ)	正解率	%	100	37	100	97	100	90
		抽出率	%	96	98	99	99	94	97
		正解サンプル数	数	6785	2536	7777	7602	7363	2306
		抽出サンプル数	数	6785	6765	7777	7764	7363	2539
		期待サンプル数	数	7012	6850	7781	7767	7771	2606
		誤差平均	m	0.70	2.25	0.66	0.88	0.83	1.15
		標準偏差	m	0.35	0.65	0.32	0.55	0.44	0.66
		CDF 90%	m	1.23	2.96	1.12	1.68	1.50	1.97
	統合	正解率	%	100	91	100	99	99	89
		統合率	%	100	99	100	100	100	100
		正解サンプル数	数	1404	1252	1557	1551	1538	473
		統合サンプル数	数	1404	1364	1557	1554	1549	527
		期待サンプル数	数	1398	1365	1551	1550	1549	517
		誤差平均	m	0.74	1.33	0.65	0.75	0.82	1.06
		標準偏差	m	0.39	0.52	0.32	0.44	0.45	0.73
		CDF 90%	m	1.32	1.93	1.12	1.39	1.49	2.06
同一判定		正解率	%	88	34	99	86	95	70
		正解サンプル数	数	1194	465	1545	1338	1407	361
		同一判定サンプル数	数	1356	1345	1548	1547	1470	512
速度誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	m/s	0.07	0.04	0.07	0.06	0.06	0.33
		標準偏差	m/s	0.13	0.04	0.14	0.13	0.13	0.51
		CDF 90%	m/s	0.14	0.09	0.11	0.09	0.12	0.84
	抽出(レーダ)	平均	m/s	0.19	0.19	0.08	0.07	0.08	0.50
		標準偏差	m/s	0.17	0.18	0.08	0.08	0.11	0.61
		CDF 90%	m/s	0.43	0.45	0.16	0.16	0.17	1.46
	統合	平均	m/s	0.09	0.05	0.07	0.07	0.07	0.37
		標準偏差	m/s	0.15	0.06	0.15	0.14	0.14	0.57
		CDF 90%	m/s	0.17	0.10	0.12	0.11	0.12	1.07
方向誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	度	3.4	3.0	3.9	3.4	4.0	12.5
		標準偏差	度	3.7	2.7	5.1	3.9	4.6	16.6
		CDF 90%	度	6.1	5.8	6.3	6.2	6.6	23.8
	抽出(レーダ)	平均	度	11.5	10.7	10.8	10.9	10.6	7.1
		標準偏差	度	11.5	11.1	8.4	8.5	8.6	6.9
		CDF 90%	度	23.9	22.8	22.4	22.6	22.8	15.9
	統合	平均	度	4.0	3.1	4.5	4.1	5.0	12.7
		標準偏差	度	4.9	2.9	5.7	5.0	5.9	17.2
		CDF 90%	度	8.1	6.1	8.1	7.9	9.8	24.4

(5) UC3-1-3/4/5 と UC3-3-3/4/5（自転車２名）の評価結果

表 5.2.3②(5)-1 に自転車２名における統合と同一判定の評価結果を示す。

この表により以下のことがわかる。

・ミリ波レーダの位置精度が悪い試験となっている。ミリ波レーダの位置精度が悪いと、同一判定の成功率も悪くなっていることがわかる。特に自転車２名、直列２m のシナリオの自転車 2 においては、ミリ波レーダで検知した位置誤差が３m 以上となっており、同一判定の正解率が７％と悪くなっている。（ミリ波レーダの位置精度が悪いのは時刻同時に失敗しているためである。）

・同一判定に失敗すると、それれぞ同定されないので、４つの統合 ID が出力され、配信物標数を減らすことができないことがわかる。また、同定が失敗した時の統合の正解率が良いのは、同定失敗した時、ITS 端末と関連付けられている統合 ID で正解率を求めている

からである。これから、４つの統合 ID が配信されるが、その中に精度の良い情報が含まれていることがわかる。

表 5.2.3②(5)-1　自転車２名における統合と同一判定の評価結果

4社試験ID				UC3-1-3/3-3-3		UC3-1-4/3-3-4		UC3-1-5/3-3-5	
試験内容				自転車2台					
				直列2m		並列		並列速度差	
			単位	自転車1	自転車2	自転車1	自転車2	自転車1	自転車2
位置(絶対値)	抽出(ITS)	正解率	%	99	99	96	99	99	99
		抽出率	%	90	89	91	90	95	93
		正解サンプル数	数	1005	970	1010	1025	1135	776
		抽出サンプル数	数	1007	973	1044	1027	1143	778
		期待サンプル数	数	1107	1084	1144	1141	1191	828
		誤差平均	m	0.95	0.61	0.67	0.43	1.21	1.17
		標準偏差	m	0.30	0.22	0.50	0.26	0.34	0.30
		CDF 90%	m	1.35	0.83	1.12	0.73	1.62	1.59
	抽出(レーダ)	正解率	%	66	7	51	42	93	75
		抽出率	%	96	99	96	96	97	97
		正解サンプル数	数	3568	411	2871	2367	5492	2947
		抽出サンプル数	数	5376	5439	5587	5555	5855	3888
		期待サンプル数	数	5594	5481	5784	5767	5997	3998
		誤差平均	m	1.60	3.62	2.05	2.26	1.14	1.42
		標準偏差	m	0.86	1.22	1.16	1.03	0.54	0.63
		CDF 90%	m	2.83	5.29	3.73	3.67	1.82	2.25
	統合	正解率	%	99	98	84	92	99	89
		統合率	%	100	100	100	99	100	100
		正解サンプル数	数	1107	1076	972	1049	1194	743
		統合サンプル数	数	1113	1093	1153	1140	1201	831
		期待サンプル数	数	1107	1084	1144	1141	1191	828
		誤差平均	m	0.96	0.69	1.04	0.85	1.07	1.25
		標準偏差	m	0.36	0.34	0.78	0.65	0.42	0.65
		CDF 90%	m	1.45	0.96	2.32	1.90	1.59	2.12
同一判定		正解率	%	48	7	55	45	50	59
		正解サンプル数	数	522	76	628	508	593	440
		同一判定サンプル数	数	1072	1080	1125	1110	1174	742
速度誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	m/s	0.20	0.16	0.15	0.17	0.07	0.10
		標準偏差	m/s	0.29	0.18	0.18	0.18	0.09	0.12
		CDF 90%	m/s	0.54	0.33	0.38	0.40	0.14	0.21
	抽出(レーダ)	平均	m/s	0.24	0.26	0.19	0.18	0.22	0.33
		標準偏差	m/s	0.23	0.31	0.14	0.15	0.25	0.41
		CDF 90%	m/s	0.53	0.54	0.35	0.36	0.49	1.10
	統合	平均	m/s	0.21	0.16	0.15	0.17	0.09	0.18
		標準偏差	m/s	0.29	0.18	0.18	0.18	0.12	0.31
		CDF 90%	m/s	0.56	0.33	0.37	0.39	0.19	0.40
方向誤差(絶対値)	抽出(ITS)	平均	度	1.1	1.1	2.7	0.9	2.2	0.7
		標準偏差	度	0.9	0.9	2.7	0.7	2.2	0.6
		CDF 90%	度	2.4	2.3	6.5	1.8	5.2	1.4
	抽出(レーダ)	平均	度	2.8	2.8	7.0	4.3	5.5	3.0
		標準偏差	度	2.9	2.9	6.4	4.0	4.8	3.2
		CDF 90%	度	6.4	6.4	15.6	9.8	13.0	7.3
	統合	平均	度	1.2	1.1	3.2	1.0	2.8	1.2
		標準偏差	度	1.0	0.9	3.5	1.0	3.2	1.8
		CDF 90%	度	2.5	2.3	9.0	2.0	6.9	2.4

③ 配信

配信機能は、交差点に近づいてくる車両（以降、配信車）が交差点に設置された WiGig アクセスポイントに接続して、狭域サーバが配信車からの配信要求を受信すると、狭域サーバは配信車の位置・方向を鑑みて配信車に必要となる最適な物標情報を生成し、WiGig を用いて配信車へと配信する。ただし本試験では配信可能なエリアの検証が必要なため、配信エリアの制限は設けていないため、配信車両の位置にかかわらずすべての物標が配信される。本節では実際に配信機能で物標情報を配信車が受信できた位置を図で表した。UC2-1-2、UC3-1-0/3-3-0、UC3-1-1/3-3-1、UC3-1-2/3-3-2 について、図 5.2.3③-1～図 5.2.3③-4 に示す。それぞれ複数回の試験結果を 1 つの図に集約している。どの試験も同じ結果となったため、図 5.2.3③-1 について説明する。配信車は、図の上部（北側）から下部（南側）の交差点に向かって走行する。試験の開始位置は、図中の「◇走行開始地点」である。走行開始地点の手前から交差点に設置された WiGig アクセスポイント(▲）に接

続できているため、赤色の受信点が記されている。次に走行開始後、物標情報の配信が少なくとも交差点の手前 126m（△の配信開始想定位置）から受信できることがスムーズな右折には必要となるが、十分手前から受信できていることがわかる。交差点で右折待ちをしたあとに、右折した際は、右折後の横断歩道手前で WiGig のエリア外となり接続切断され配信が終了する。右折動作開始後は、物標の配信は必要無い。以上から、交差点における WiGig を用いた配信機能が有効に機能したことが明らかとなった。

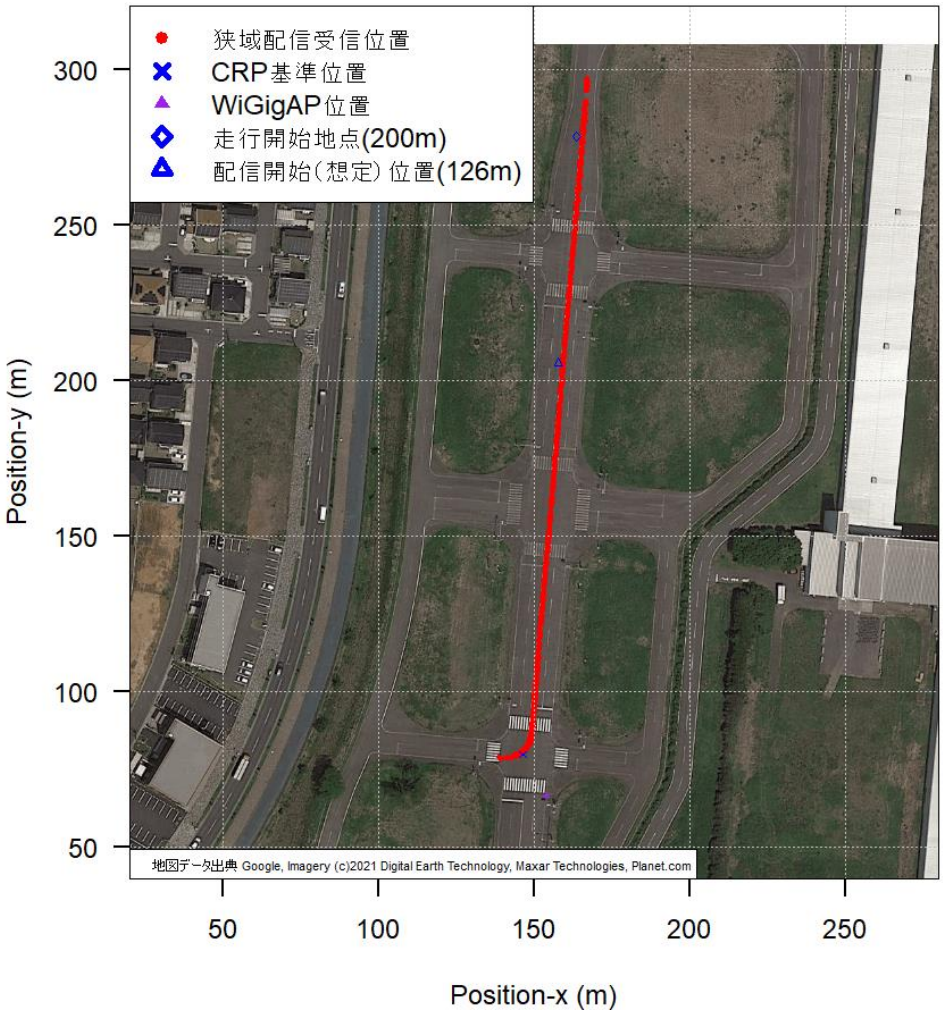


図 5.2.3③-1 狭域配信受信範囲(UC2-1-2)

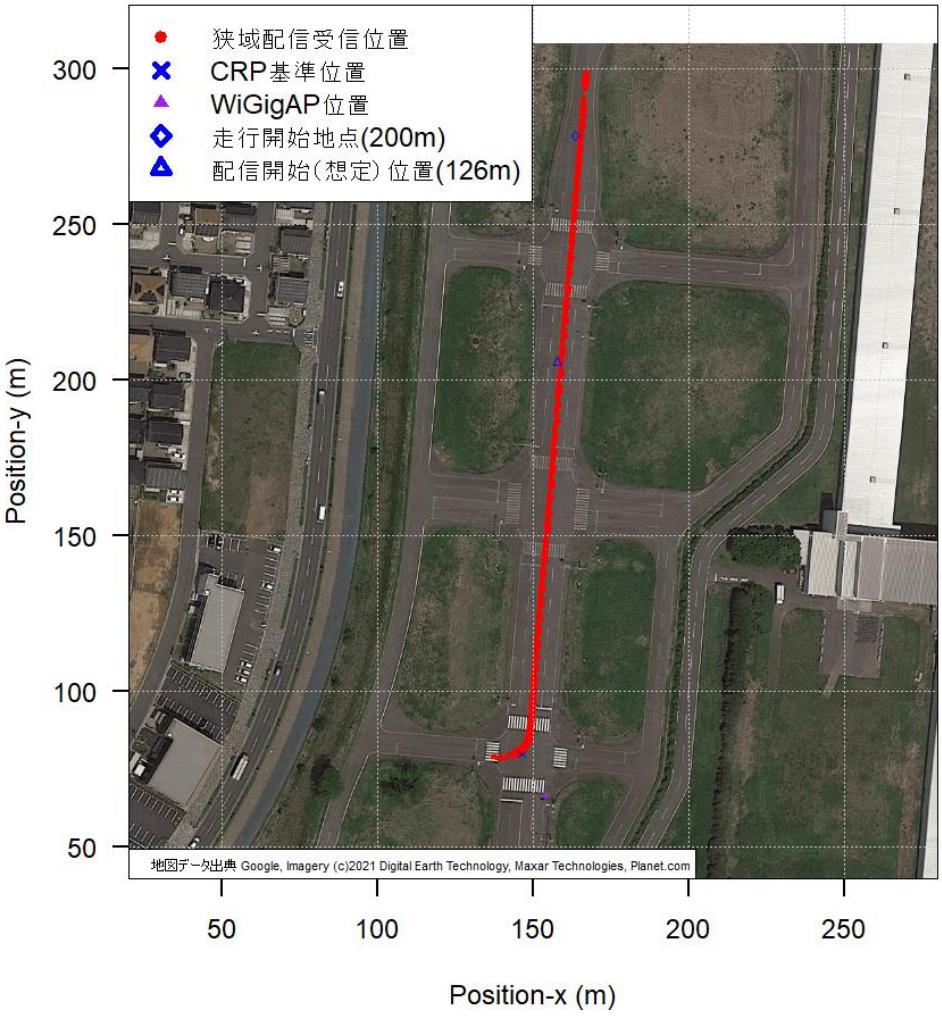


図 5.2.3③-2 狭域配信受信範囲(UC3-1-0/3-3-0)

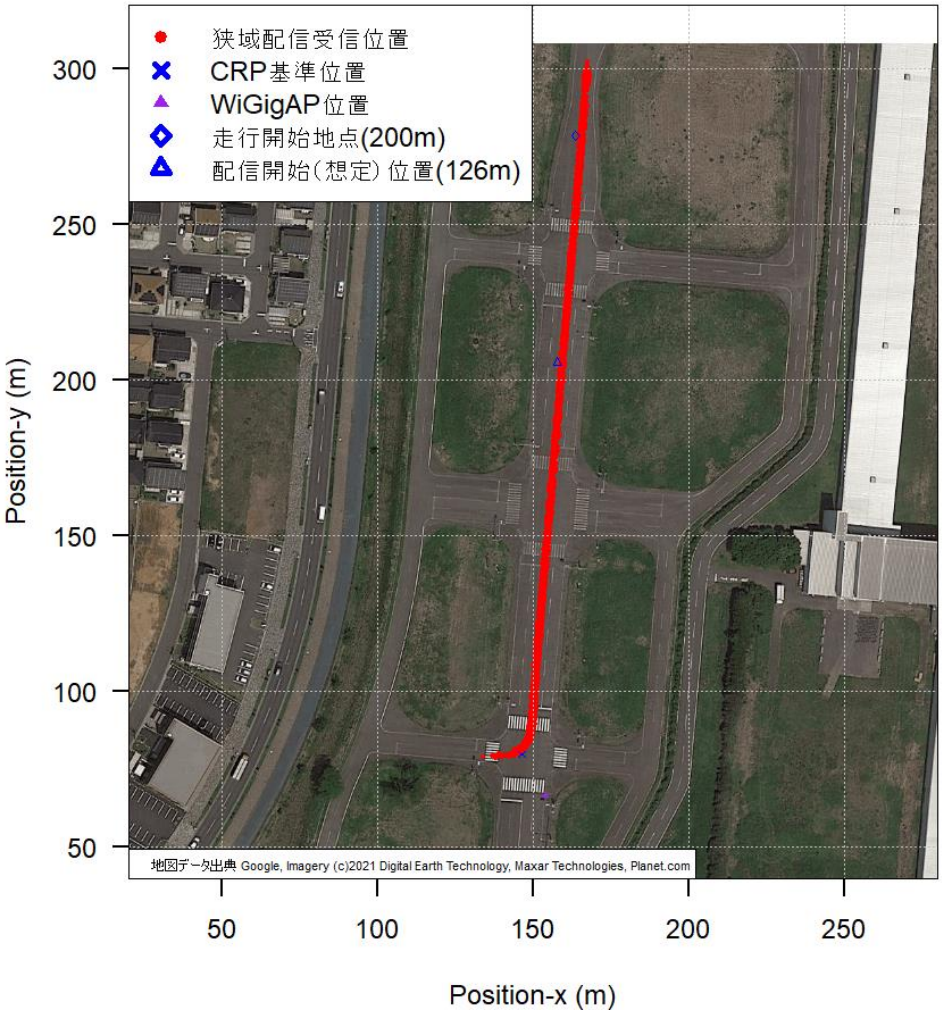


図 5.2.3③-3 狭域配信受信範囲(UC3-1-1/3-3-1)

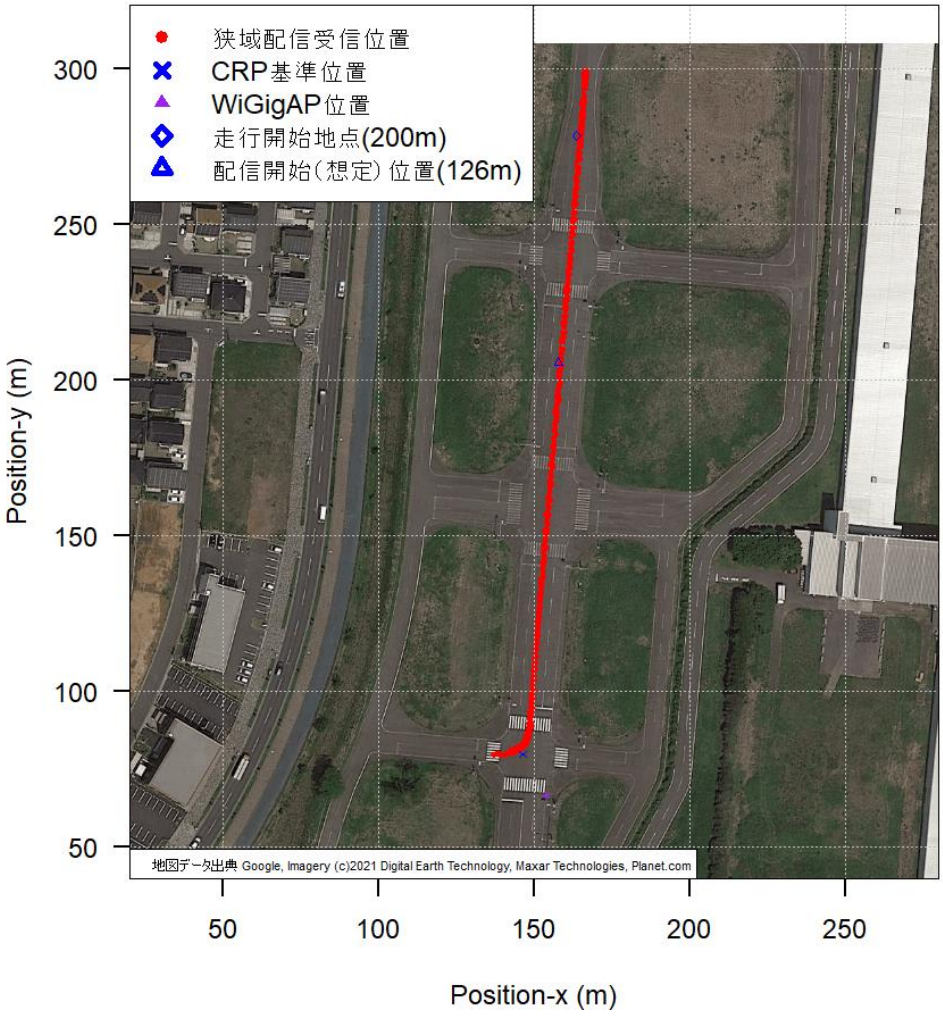


図 5.2.3③-4 狭域配信受信範囲(UC3-1-2/3-3-2)

④ 抽出・収集・統合・配信・狭域全体の遅延評価

(1) 測定方法

UC 毎の各機能の遅延時間を測定し、KPI の集計を行った。図 5.2.3.④-1 に測定区間を示す。共通フォーマットに存在するタイムスタンプまたは、存在しない場合は測定したいポイントにおけるタイムスタンプを独自のログに記録することで表 5.2.3.④-1 に示す遅延時間の算出式を用いて結果の集計を行った。なお、後述のようにコンピュータをまたいだタイムスタンプについて時刻同期が不十分であったことから正しく算出することが難しいため、テストコースで測定した情報源のログをログ再生環境で再生し、図 5.2.3.④-1 の情報源から狭域サーバへの送信時刻 t2(send_time)と、その REST の応答時間 t2_2 を用いて、(t2_2-t2)/2 を情報源・狭域サーバ間の通信時間として計上した。ログ再生環境では、コンピュータの型番は同一のものを用いたが、通信部分については有線接続のため、別途測定した WiGig の測定遅延分を合算して計上した。

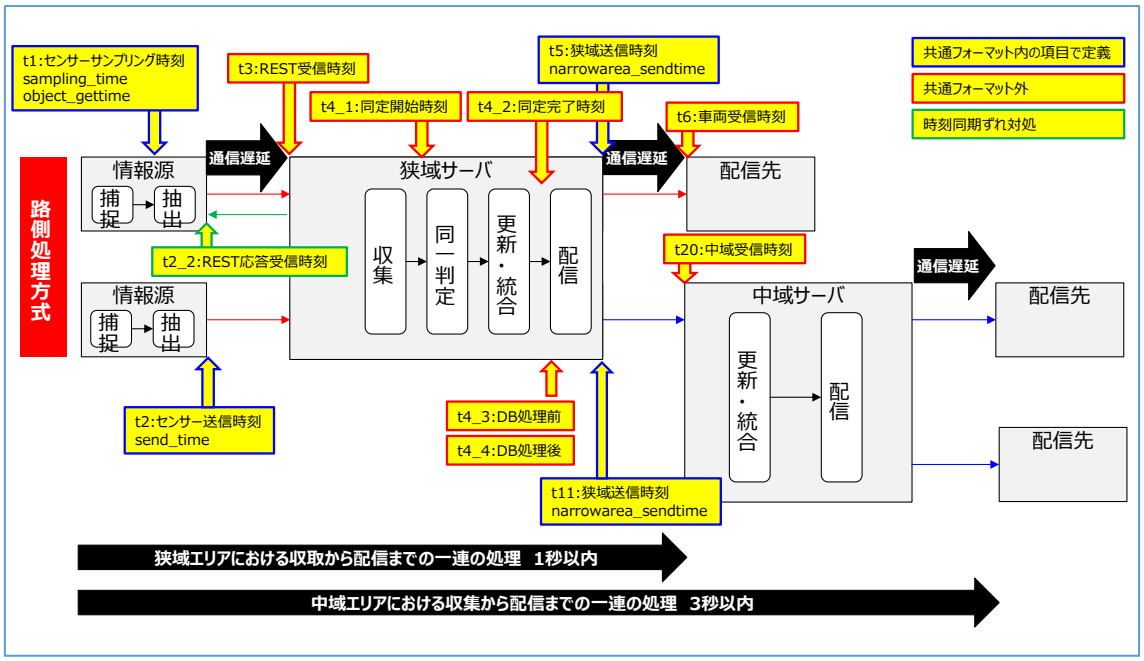


図 5.2.3④-1 遅延時間測定区間

表 5.2.3④-1 遅延時間算出の計算式

No.	集計区間	記号・計算式	備考
1	抽出	t2 - t1	※1 ※2
2	収集（情報源⇒狭域サーバ）	t3 - t2	(t2_2-t2)/2 で代用
3	統合	t4_2 - t4_1	
4	狭域サーバ内	t5 - t3	※3
5	配信（狭域サーバ⇒配信先の狭域車両）	t6 - t5	
6	狭域全体（情報源⇒配信先の狭域車両）	No.1+No.2+No.4+No.5	※3

※1:路側側 ITS 通信器・レーダトラッキング装置の受信タイミングを t1 とする。

※2:歩行者・/自転車の ITS 通信器の送信周期の遅延は含まれない。

※3:統合の処理周期(250ms)の待ち時間を含む

(2) KPI 評価結果（抽出）

各 UC の抽出機能の KPI 集計結果を表 5.2.3④-(2)-1 に示す。同表の※1 について、ITS 路側制御装置で ITS 通信データを受信したタイミングを基準に算出しており、歩行者・自転車が持つ ITS 通信機からの物標データが路側機まで届くまでに、GNSS 測位遅延と、ITS 送信周期(100ms)による外部要因の待ち時間が発生する。サンプル数について、レーダのカバーエリアに比べて ITS のカバーエリアの方が広いため、サンプル数が多く計上されている。

同表の通り、各 UC において 300ms 以内という目標を達成できている。

表 5.2.3④-(2)-1 KPI 集計結果（抽出）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC2-1-2	レーダ	4166	13.2	18.0	20.0	25.0	
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS	11879	1.3	2.0	2.0	2.0	※1
	レーダ	6511	15.5	22.0	24.0	30.0	
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS	6797	1.4	2.0	2.0	2.0	※1
	レーダ	4241	13.2	18.0	20.0	24.0	
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS	14633	1.3	2.0	2.0	2.0	※1
	レーダ	7644	14.3	20.0	22.0	26.0	

(3) KPI 評価結果（収集）

各 UC の収集機能の KPI 集計結果を表 5.2.3④-(3)-1 に示す。同表のセンサ列に記載の「レーダ 1」は、狭域サーバに有線接続で直結されているが、「レーダ 2」は WiGig のバックホール回線を経由しているため、若干遅延が増加している。

同表の通り、各 UC において 100ms 以内という目標を達成できている。

表 5.2.3④-(3)-1 KPI 集計結果（収集）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	100ms 未満最大 CDF
UC2-1-2	レーダ 1	4166	14.4	18.0	19.0	24.0	99%以上
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS	11879	3.4	5.0	5.5	6.5	99%以上
	レーダ 2	6511	15.3	19.0	20.0	25.5	99%以上
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS	6797	3.2	4.5	5.5	9.0	99%以上
	レーダ 2	4241	16.5	20.0	21.5	27.0	99%以上
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS	14633	3.3	4.5	4.5	5.5	99%以上
	レーダ 2	7644	15.4	18.5	20.0	25.5	99%以上

(4) KPI 評価結果（統合・狭域サーバ内）

各 UC の統合機能及び、狭域サーバ内合計の KPI 集計結果を表 5.2.3④-(4)-1、表 5.2.3④-(4)-2 に示す。表 5.2.3④-(4)-1 の※1 について、UC2-1-2 の右折先道路渋滞検知におけるセンサはレーダのみのため、統合処理は物標 ID の付与等の一部の処理だけ実施されるため、他の UC にくらべて遅延が小さくなっている。

表 5.2.3④-(4)-2 については、「統合（250ms 周期動作の待ち時間含む）」と「配信データの生成処理」を含んだ狭域サーバ内の合計遅延である。同表の通り、各 UC において 500ms 以内という目標を達成できている。

表 5.2.3④-(4)-1 KPI 集計結果（統合）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC2-1-2	レーダ	1697	39.1	55.0	58.0	73.0	※1
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS, レーダ	2622	47.7	68.0	75.0	89.0	
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS, レーダ	1712	40.8	65.0	67.0	74.0	
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS, レーダ	3075	50.5	72.0	79.0	93.0	

表 5.2.3④-(4)-2 KPI 集計結果（狭域サーバ内）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC2-1-2	レーダ	1012	185.8	242.0	258.0	275.0	
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS, レーダ	2915	234.1	373.0	405.0	443.0	
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS, レーダ	3297	221.8	305.0	331.0	383.0	
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS, レーダ	4192	224.6	355.0	399.0	443.0	

(5) KPI 評価結果（配信）

各 UC の狭域配信機能の KPI 集計結果を表 5.2.3④-(5)-1 に示す。

同表の通り、各 UC において 100ms 以内という目標を達成できている。

表 5.2.3④(5)-1 KPI 集計結果（配信）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	100ms 未満最大 CDF
UC2-1-2	レーダ	1012	4.1	5.0	5.0	6.0	99%以上
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS, レーダ	1495	4.0	5.0	5.0	5.0	99%以上
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS, レーダ	1653	4.1	5.0	5.0	6.0	99%以上
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS, レーダ	2120	4.1	5.0	5.0	5.0	99%以上

(6) KPI 評価結果（狭域全体）

各 UC の抽出から狭域配信まで合計した遅延時間の KPI 集計結果を表 5.2.3④-(6)-1 に示す。集計結果には統合の 250ms 周期動作の待ち時間を含む※。抽出（ITS センサ）の外部機器内の ITS 送信周期(100ms)等による待ち時間は含まない。

同表の通り、各 UC において 1000ms 以内という目標を達成できている。

※（参考）測定結果から、情報源からの物標の到着タイミングがばらけていたため、平均すると待ち時間は 250/2=125ms 程度となっていた。

表 5.2.3④(6)-1 KPI 集計結果（狭域全体）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	1000ms 未満最大 CDF
UC2-1-2	レーダ	1012	217.5	283.0	302.0	330.0	99%以上
UC3-1-0/ UC3-3-0	ITS, レーダ	1495	268.8	419.0	454.0	503.5	99%以上
UC3-1-1/ UC3-3-1	ITS, レーダ	1653	255.6	348.0	377.5	440.0	99%以上
UC3-1-2/ UC3-3-2	ITS, レーダ	2120	258.4	398.5	446.0	499.5	99%以上

(7)　時刻ずれの発生した時刻同期構成と問題点

テストコース測定当時の時刻同期の構成について図 5.2.3④-(7)-1 に示す。初めに、GNSS 受信機との時刻同期について説明する。PC1 では GNSS 受信機から USB 経由で「時刻情報が含まれている NMEA メッセージ(表 5.2.3④-(7)-1)」を受信し、PC1 側の受信タイミングにおける時刻と、メッセージ内の時刻の差分が無くなるように PC1 側の時刻を補正することで時刻同期を行う。PC1 側では時刻同期した時刻をソースとして NTP サーバの機能を提供する。PC2, PC3 側では、PC1 側の NTP サーバに時刻同期を行う。

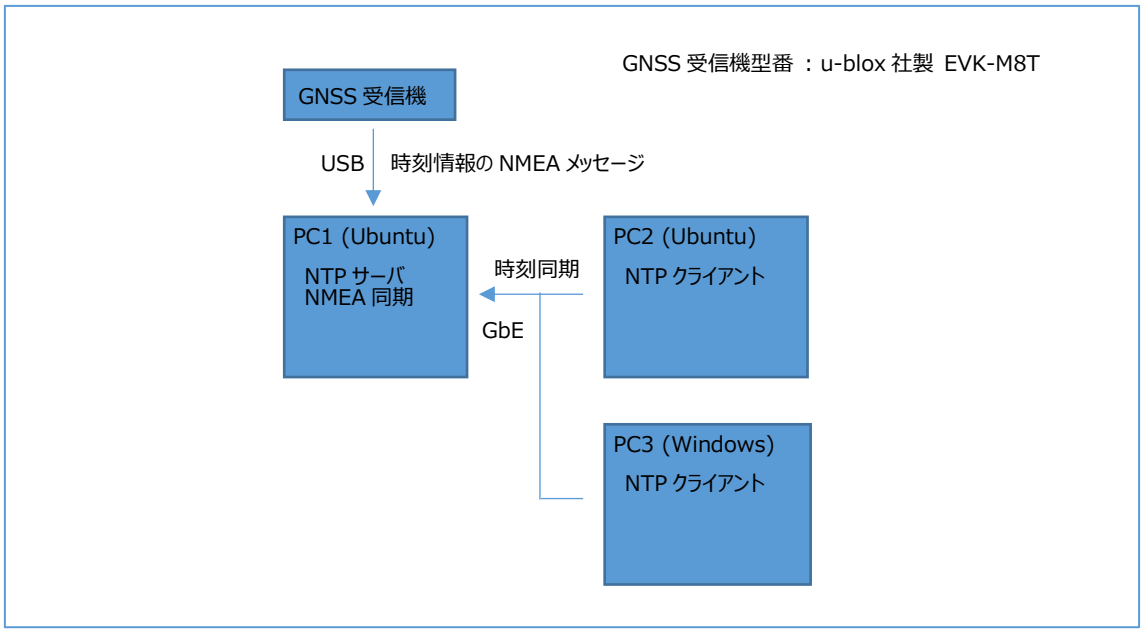


図 5.2.3④-(7)-1　テストコース測定当時の時刻同期の構成

表 5.2.3④-(7)-1 時刻情報の NMEA メッセージ例

$GNRMC,022151.00,A,3530.73965,N,13933.76860,E,0.015,,030221,,,A,V*18
$GNRMC,022151.25,A,3530.73964,N,13933.76860,E,0.011,,030221,,,A,V*1A
$GNRMC,022151.50,A,3530.73964,N,13933.76860,E,0.053,,030221,,,A,V*1E
$GNRMC,022151.75,A,3530.73964,N,13933.76860,E,0.008,,030221,,,A,V*17
$GNRMC,022152.00,A,3530.73963,N,13933.76860,E,0.020,,030221,,,A,V*1B
$GNRMC,022152.25,A,3530.73963,N,13933.76860,E,0.015,,030221,,,A,V*1A
$GNRMC,022152.50,A,3530.73963,N,13933.76860,E,0.021,,030221,,,A,V*1F
$GNRMC,022152.75,A,3530.73963,N,13933.76860,E,0.012,,030221,,,A,V*18
赤字:時刻、青字：日付

本構成には問題点が存在する。時刻情報が含まれている NMEA メッセージが PC1 側に届くまでに配信遅延（GNSS 受信機内の処理時間とデータ転送遅延）が発生する。NMEA メッセージ時刻情報を図 5.2.3④-(7)-2 に示す遅延測定系で測定を行った。PC2 の時刻は、GNSS 受信機の時刻同期をより正確に行える 1 秒毎の同期信号(1PPS)に同期されている。同期精度は 1us 程度である。PC1 は、PC2 に NTP を用いて同期している。同期精度は 1ms 程度である。PC1 で GNSS 受信機から届く NMEA メッセージの受信タイミングと、メッセージ内の時刻情報の差分を測定することで、NMEA メッセージの時刻情報の遅延を測定できる。結果を表 5.2.3④-(1)-2 に示す。結果の No.1 がテストコースで使用した設定である。本測定結果が示すように、使用する衛星システムの種別（実際に受信した衛星数）に依存して遅延時間が変動するため、本メッセージを用いて時刻同期をすると、時々刻々と変化する衛星配置等によって遅延時間が変動してしまうため、時刻も変動してしまう。また、変動だけでなく遅延のオフセットがかかっている。系全体が同一方式の時刻同期がされていれば局所的には問題ないが、例えば ITS 通信器が送信する GPS 時刻を NMEA 同期された PC で受けて差分計算すると、PC の時刻遅延分良化して計測されてしまうように、NMEA 遅延と測定しようとしている処理時間・/通信遅延が同程度のオーダーの場合に正確な測定が困難となってしまう。

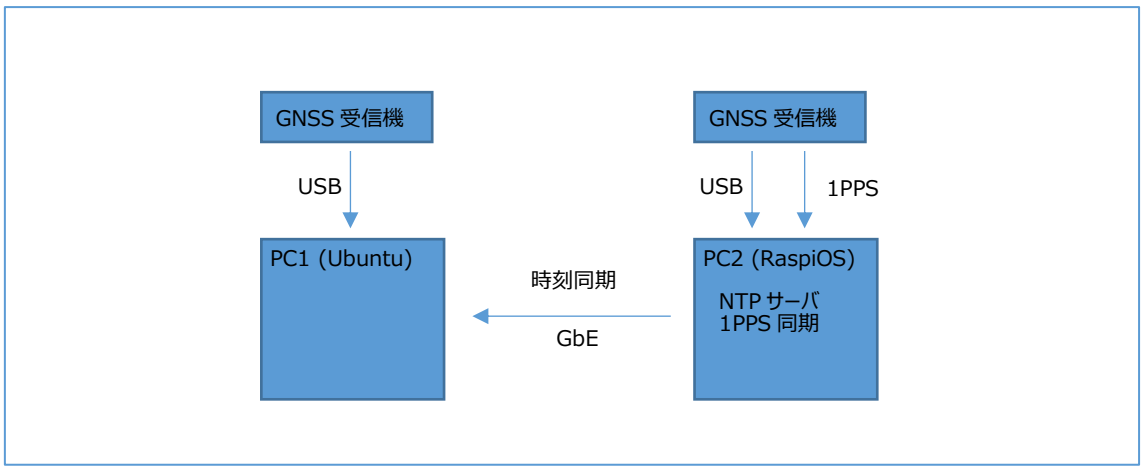


図 5.2.3④-(7)-2　NMEA メッセージ時刻情報の遅延測定系

表 5.2.3④(7)-4 NMEA 遅延測定結果

No.	使用衛星	平均遅延(ms)	備考
1	GPS,SBAS,QZSS,GALILEO,GLONASS	290.1	テストコース設定
2	GPS,SBAS,QZSS,GALILEO	194.5	
3	GPS,SBAS,QZSS	118.0	
4	GPS,SBAS	93.7	
5	GPS	48.3	

改善後の時刻同期構成は、NMEA 遅延測定に用いた図 5.2.3④-(1)-2 の構成である。GNSS 受信機が出力するタイムパルス信号に同期した NTP サーバを構築することで、本節で述べた問題点を解決することができ、時刻同期による時刻遅延は 1ms 程度になる。

5.3. 総合検証

狭域及び中域情報の収集・統合・配信に係る総合検証として、5G サービスエリア内の青海 1 丁目交差点周辺(東京都江東区青海地区)で実施する(図 5.3.-1)。当該交差点は、中央分離帯を有する 7 車線 x5 車線の大型交差点であり、街路樹や商業施設等で歩道の見通しが悪い部分が散見される。本検証では、実際の交通環境に沿った評価シナリオとして、交差点へ進入する支援車に、横断歩道を渡ろうとする歩行者の情報を WiGig の狭域、並びに 5G の中域で配信する、総合的な技術検証を NTT ドコモ社と共同で進める。なお、本検証で用いる CRP 基準は、Google マップを参考に交差点中心とする。



図 5.3-1　公道交差点

5.3.1. 実証環境の構築

実証環境として、狭域エリア(青海 1 丁目交差点)に配備する各装置類を図 5.3.1-2 に示す。配備にあたり、公道に伴う機器設置や指定場所の制約等から、5.1 節に示した当社システム(図 5.1.1-1)の一部で本検証を進める。具体的には、交差点の歩道上に仮設の信号柱(三脚) “pole”を設け、ミリ波レーダ “rad”、WiGig “wg”、ITS 通信機 “its”を設置する。また、支援車に WiGig “wg”、歩行者に ITS 通信端末 “its”を配置する。なお、WiGig の路車間及び ITS 通信機間の破線(青色、紫色)は通信リンクを、ミリ波レーダの破線(緑色)はセンシングエリアをそれぞれイメージとして示す。信号柱と支援車の設置写真を図 5.3.1-3、ITS 通信端末を背負った被験者写真を図 5.3.1-4 に示す。信号柱の上部に設置された各機器の設置高(路面基準)は、カバレッジ等を勘定して、ミリ波レーダ及び路車間 WiGig 2m 程度とする。また、信号柱の下部には、路側インフラ装置、狭域サーバ装置等を配置する。当社の車両については、一般的な中型車両(車長 4.69m, 車幅 1.69m, 車高 1.98m)を支援車と定め、車両装置及び路車間 WiGig を設置する。

詳細な支援車の走行経路、およぼ歩行者の移動経路を図 5.3.1-5 に示す。支援車の右折に合わせて、右折先横断歩道へ歩行者が移動する想定しており、本検証では、支援車から視認が困難な歩行者の抽出情報を収集、統合した後、交差点へ進入する支援車へ WiGig で直接的に車両へ配信と 5G で中域サーバへ配信に、5G で中域サーバから支援車へ配信を加えて評価する。実施例として、歩道を移動する歩行者、および右折レーンに向けて走行する支援車の写真を図 5.3.1-6、図 5.3.1-7 に示す。

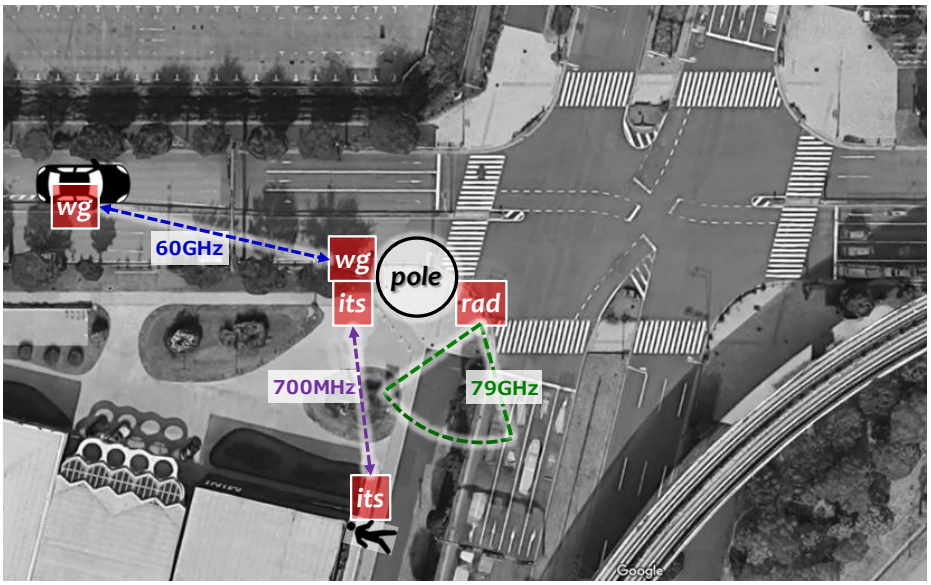


図 5.3.1-2　実証環境(総合検証)



図 5.3.1-3　実証環境・信号柱と支援車(総合検証)



図 5.3.1-4　実証環境・被験者(総合検証)

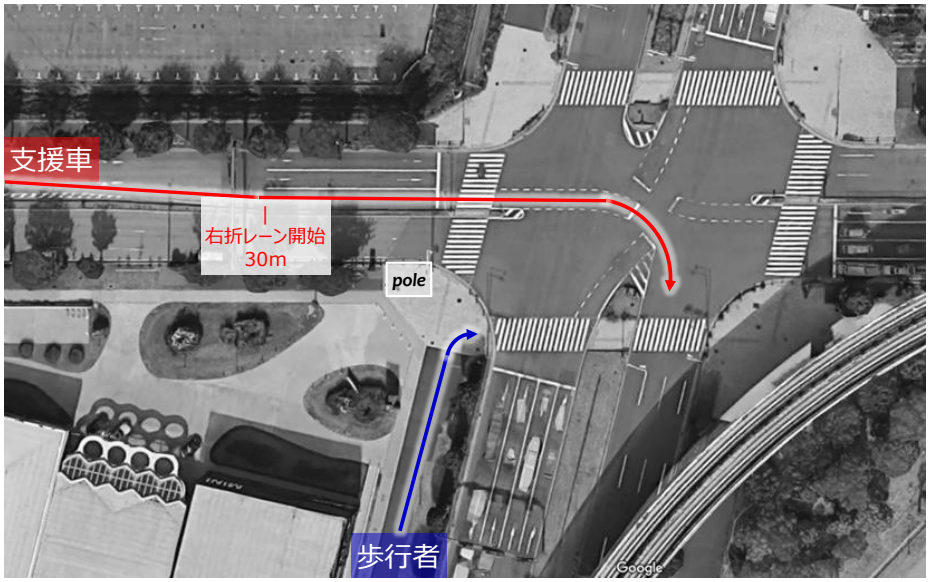


図 5.3.1-5　実証環境・支援車の走行経路と歩行者の移動経路(総合検証)

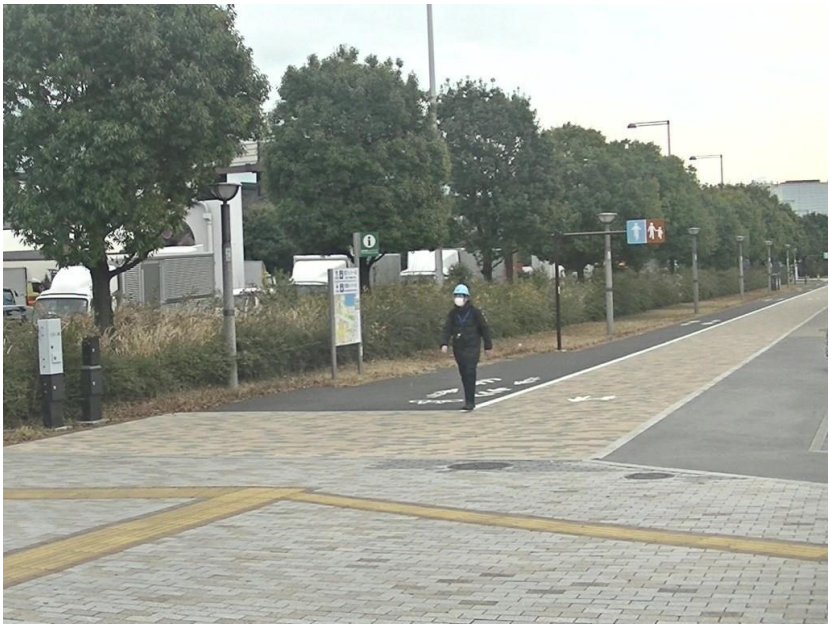


図 5.3.1-6　実証環境・横断歩道へ移動する歩行者(総合検証)



図 5.3.1-7　実証環境・交差点へ進入する支援車(総合検証)

① WiGig 通信の環境構築

総合検証における WiGig 通信環境構築について以下に説明する。

(1) 総合検証向け WiGig 通信環境の要求仕様

総合検証は公道を用いるため、先述したテストコースでの狭域配信実験時と試験環境が大きく異なるが、総合検証の実施シナリオから、以下の 2 点が WiGig 通信環境の要件となる。

- ✓ 交差点まで走行してくる区間において、できるだけ離れた位置から路側機と車載器がリンク接続し、走行中も途切れることなく安定してデータ伝送が可能なこと
- ✓ 交差点を右折する車両が右折レーンの停止線付近を通過するまでの間、確実に配信を継続できること

しかしながら、公道での検証となるため、路側機は、高所作業車を使用することができず、歩道に三脚を用いて固定設置となるが、設置場所の制約も多く、設置高も 2m 程度になるため、一般車両による通信路の遮断や周囲環境からの反射波の影響等を回避することが難しく、総合検証中、常に安定した無線品質が期待できない。

従って、総合検証における WiGig 通信環境の要求仕様は、

「一般車両による通信路遮蔽や周囲の車両からの反射波の影響を受けずに走行できた条件において、上記 2 点の要件を満たすこと」、

と決定した。以下、置局設計と回線設計に関して説明する。

(2) WiGig 通信の置局設計と回線設計

テストコースで実施した狭域配信の右折シナリオ検証時の伝搬試験の結果も踏まえ、公道を用いて実施する総合検証向けに WiGig 通信の置局設計と回線設計を行った。総合検証に用いる WiGig 機器は、テストコースの狭域シナリオ検証で用いた路車間通信装置と同じものであるため、装置仕様（5.2.1 項に記載）の説明は省略する。

(i) WiGig 通信置局設計

(a) 路側機の設置仕様

図 5.3.1 ①-1 に路側機の RF ユニット設置仕様を示す。交差点までの走行区間のエリア端から右折レーンの停止線付近までビームが追従できるよう水平面でビームフォーミングする向きで三脚に RF ユニットを取り付け、図に示した歩道スペースに三脚を設置した。RF ユニットのアンテナ面は、右折レーンの停止線付近がビームフォーミングのスイープ幅範囲である±60° 以内になるよう道路と平行した線上から 30° 回転させた向きに合わせ、アンテナレドーム面の中心が路面から 2m の高さになるようチルト角 0° で固定した。

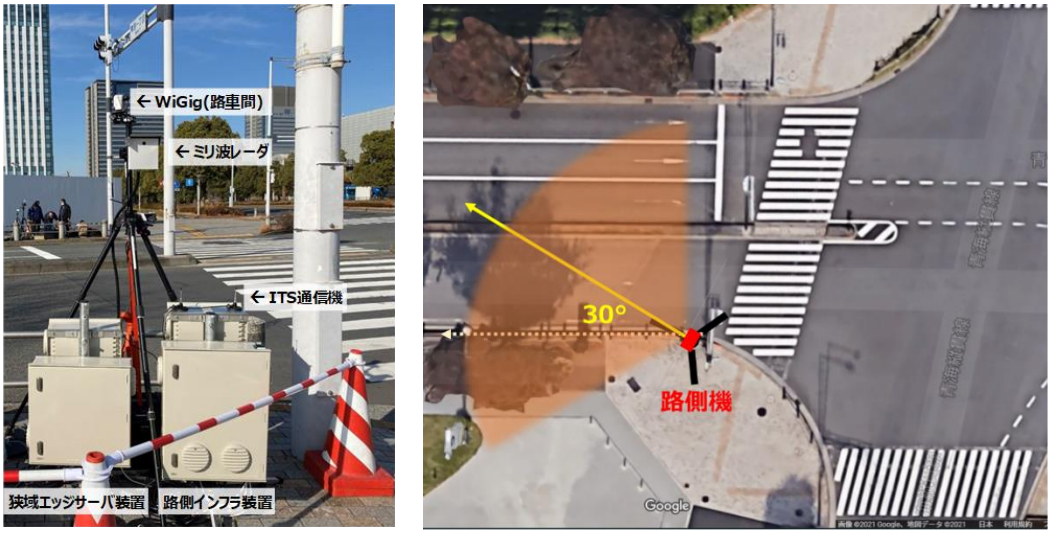


図 5.3.1 ①-1　WiGig 通信系路側機 RF ユニット設置仕様

(b) 車載器の設置仕様

図 5.3.1 ①-2 に車載器の RF ユニットの設置仕様を示す。テストコースでの検証時同様に、マグネット式の固定治具を用いて車両ルーフの前方に設置した。アンテナの取り付け向きは、走行時にビームが追従できるよう水平面でビームフォーミングが可能な向きとし、水平面は正面から 30° 回転させた方向に、垂直面はチルト角が 0° の方向にそれぞれ合わせ、アンテナレドーム面の中心が路面から 2.1m の高さになるよう固定した。水平面の回転角 30° は、路側機と同様に、右折レーンの停止線位置にて、ビームスイープ幅の範囲となる±60° 以内が満たせる回転角度である。



図 5.3.1 ①-2　WiGig 通信系車載器 RF ユニット設置仕様

(ii) WiGig 通信回線設計

(a) 回線設計パラメータ値

回線設計に使用する各パラメータ値を表 5.2.1 ①-1 に示す。

表 5.2.1 ①-1　回線設計パラメータ値

周波数チャネル	CH2（60.48GHz）	
送信出力	16dBm	
アンテナ偏波	水平偏波	
アンテナ利得	19.2dBi	ビーム放射正面方向固定実測値
ビーム走査範囲	±60°	水平面
レドーム損失	0.5dB	
酸素吸収損	16dB/km	[1]記載のグラフから読み取り
送信アンテナ高	2m	
送信アンテナ設置方向	30°方向	図5.3.1 ②-1参照
受信アンテナ高	2.1m	
受信アンテナ設置方向	30°方向	図5.3.1 ②-2参照

(b) WiGig 通信環境の距離対受信レベル計算値

上記パラメータを用いて計算した結果を図 5.3.1 ①-3 に示す。歩道設置の路側機のアンテナ位置に対する走行車両のアンテナ位置を路車間通信アンテナ間距離とし、交差点の右折レーン停止線までの範囲における受信レベルを計算すると、自由空間モデル上は、すべての範囲で感度点となる MCS1 の最低受信レベル(-68dBm)を上回るが、大地反射を加えた 2 波モデルでは、50m 以上の地点でヌル点が発生する結果となった。また、図に示したように、路側機の近隣に遮蔽物となる電話ボックスが設置されており、距離 100m 以上の地点は通信路が完全に遮蔽されてしまう位置関係となる。従って、総合検証用の WiGig 通信環境として、交差点に進入するまでの区間におけるカバーエリアは、右折レーンの停止線(12m)～100m の範囲となり、このエリアにおける無線品質のパフォーマンスと安定度の評価を実施することに決定した。

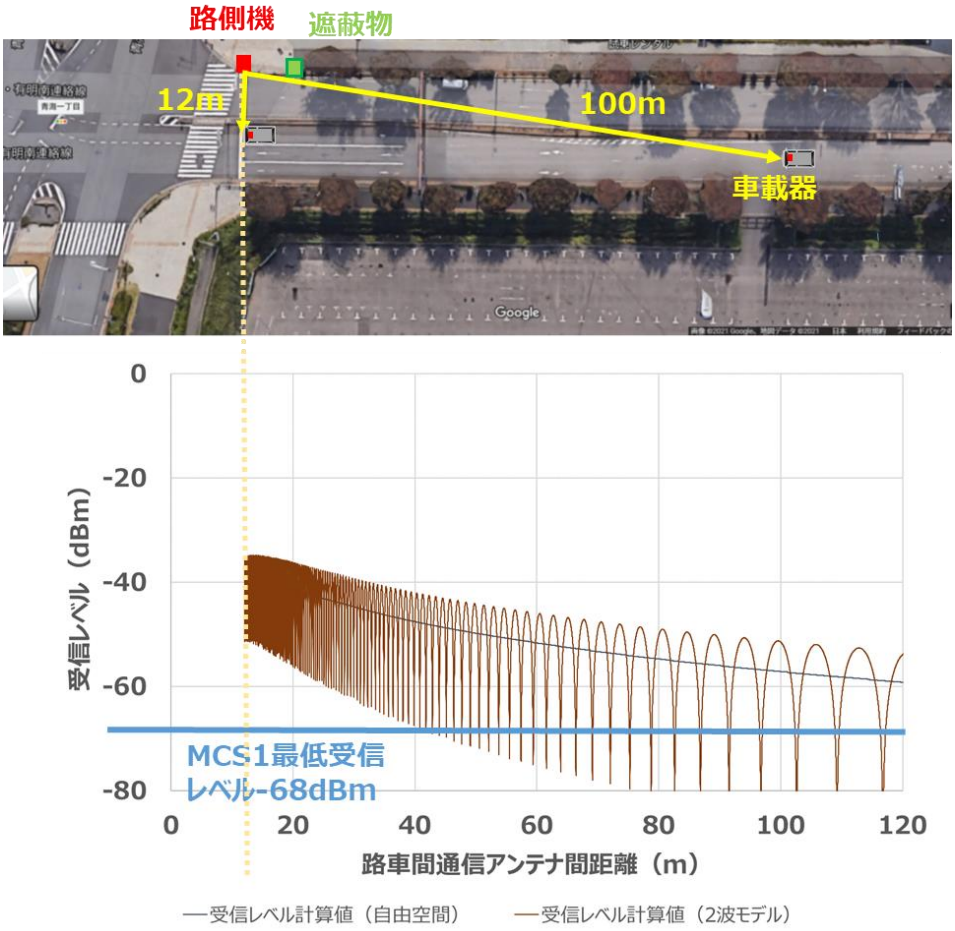


図 5.3.1 ①-3　距離対受信レベル計算値

(3) WiGig 通信カバーエリアの無線品質評価結果

通信エリアとなる距離 100m 地点を時速 20km で走行するため、距離 170m 程度の地点から走行を開始し、追い越し車線から交差点の右折レーンに進入し、停止線を通過するまでの距離と実測したスループットの関係を図 5.3.1 ①-4 に示す。通信エリアとなる右折レーンの停止線から 100m の範囲内でほぼ 500Mbps 以上のスループットが確認できたが、距離 50m 以上はスループットが暴れる傾向を示した。これは先述した 2 波モデルでの回線設計で示したように、路面での反射波の影響を受けて、受信レベルが変動することによるものであるが、通信エリアとなる距離 100m までの範囲内においては、受信感度点以下の落ち込みとなるヌル点の発生はなく、走行中も安定して通信を持続できることが確認できた。なお、距離 120m 付近でスループットの落ち込みが見られるが、これは 2 波モデルで計算される大地反射の影響による落ち込みではなく、遮蔽物による通信伝搬路の妨害が主要因である。

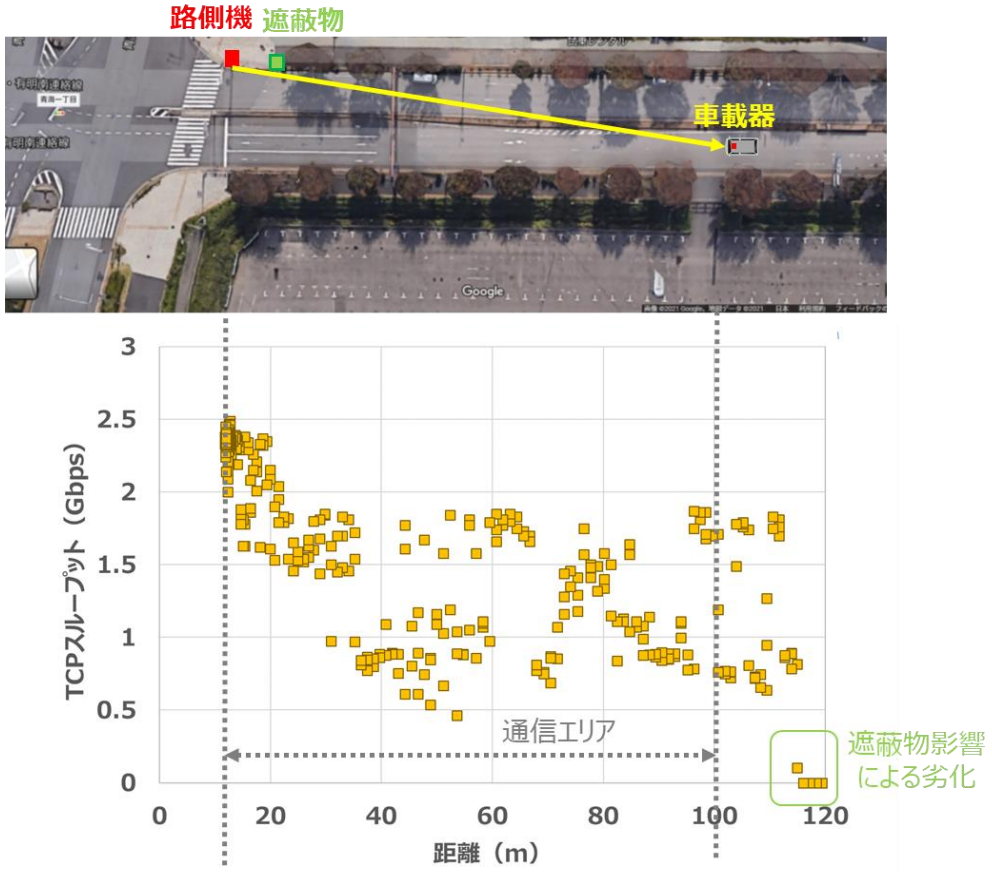


図 5.3.1 ①-4　WiGig 通信の距離対スループット

次に、交差点における通信限界エリアを図 5.3.1 ①-5 に示す。アンテナのセクタ角度が 90° の位置関係のところまで通信が持続するが、90° 以上の角度関係になると路側機と車載器の接続が切れる結果となった。WiGig 装置のビームスイープ幅仕様(±60°)を超える角度まで通信が持続できているが、これは路側機と車載器が比較的近距離の位置関係にあり、90° の位置関係でアンテナ利得が大きく低下（90° で 20dB 低下相当）しても、受信レベルが感度点以上であることを示している。この結果、先述した総合検証における WiGig 通信の要求仕様に対し、十分マージンのある回線を構築できており、公道検証の配信環境準備を完了した。



図 5.3.1 ①-5　交差点付近の通信限界エリア

5.3.2. 実証の流れ

本総合検証の実施項目として、公道では評価シナリオに完全に準じることが困難なため、評価シナリオの内、UC3-1-0/3-3-0 を基にした内容で実施する。なお、本検証では、実際の 5G セルラ網を用いて中域サーバへ配信を行い、総合的な通信に係る遅延時間の評価が主目的であるため、評価シナリオに完全準拠しなくても問題ない。支援車については、当社の WiGig を搭載した狭域配信用支援車(パナソニック株式会社)、及び 5G を搭載した中域配信用支援車(NTT ドコモ)の車両 2 台を接近して縦列走行することで、ほぼ同位置を走行する車両に対する狭域、並びに中域の配信時間を測定する(図 5.3.2-1)。



図 5.3.2-1　実証環境・縦列走行する支援車(総合検証)

以下、本検証の詳細内容について説明する。

- 歩行者：交差点の端点(信号柱)より 50m 付近(E1)から歩行開始して一般的な歩行速度で経路 E に沿って歩行、15m 付近(E2)で曲がり、横断歩道前(E3)で停止
- 狭域配信用支援車：交差点の停止線より 100m 付近から走行開始(車線変更)して 20km/h まで加速、30m で減速開始、交差点中心で一時停車。周囲の安全を確認後、右折して徐行。なお、歩行者と支援車は同タイミングで歩行/走行開始
- 中域配信用支援車：狭域配信用支援車の後方につき、接近して縦列走行
- 情報源：ミリ波レーダ、ITS 通信端末

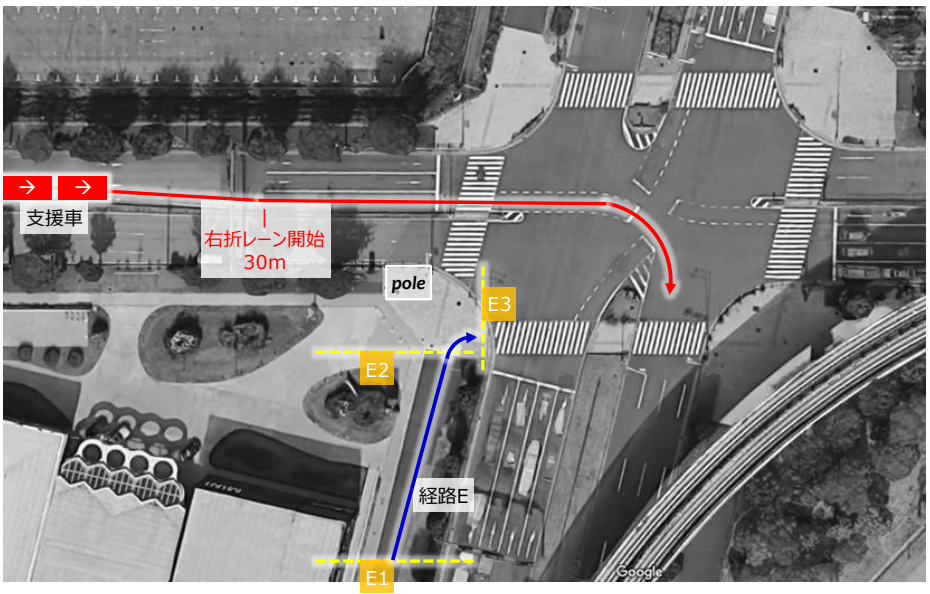


図 5.3.2-2　評価シナリオ・総合検証の実証イメージ

5.3.3. 実証結果

① 配信

総合実証の狭域配信において、実際に配信機能で物標情報を狭域配信車が受信（図 5.3.3①-1）できた位置を図で表した。中域 UC、狭域 UC それぞれについて図 5.3.3①-2、図 5.3.3①-3 に示す。2 つの UC について狭域配信車の動作は同じため、図 5.3.3 ①-2 について説明する。狭域配信車は図中左下の「◇走行開始地点」で待機しており、試験開始タイミングで右上の交差点に向かって走行する。その際、第一車線から第二車線に進路変更後、さらに右折レーンに進路変更を行う。走行開始地点から交差点に設置された WiGig アクセスポイント(▲)に接続できているため、赤色の受信点が記されているが、走行開始後の第一車線から第二車線への進路変更の際に通信が一時不通となった。これは交差点の WiGig アクセスポイントの設置位置の関係上、進路変更する位置付近が障害物で WiGig の電波が遮蔽されるためである。その後、交差点に近づくことで通信が復帰し、停止線前での右折信号待ちの間まで赤色の受信点が記されている。停止線通過後すぐに WiGig のエリア外となり接続切断され配信が終了する。以上から、実際の交差点における WiGig を用いた配信機能が有効に機能したことが明らかとなった。



図 5.3.3①-1 配信車両上の表示 UI

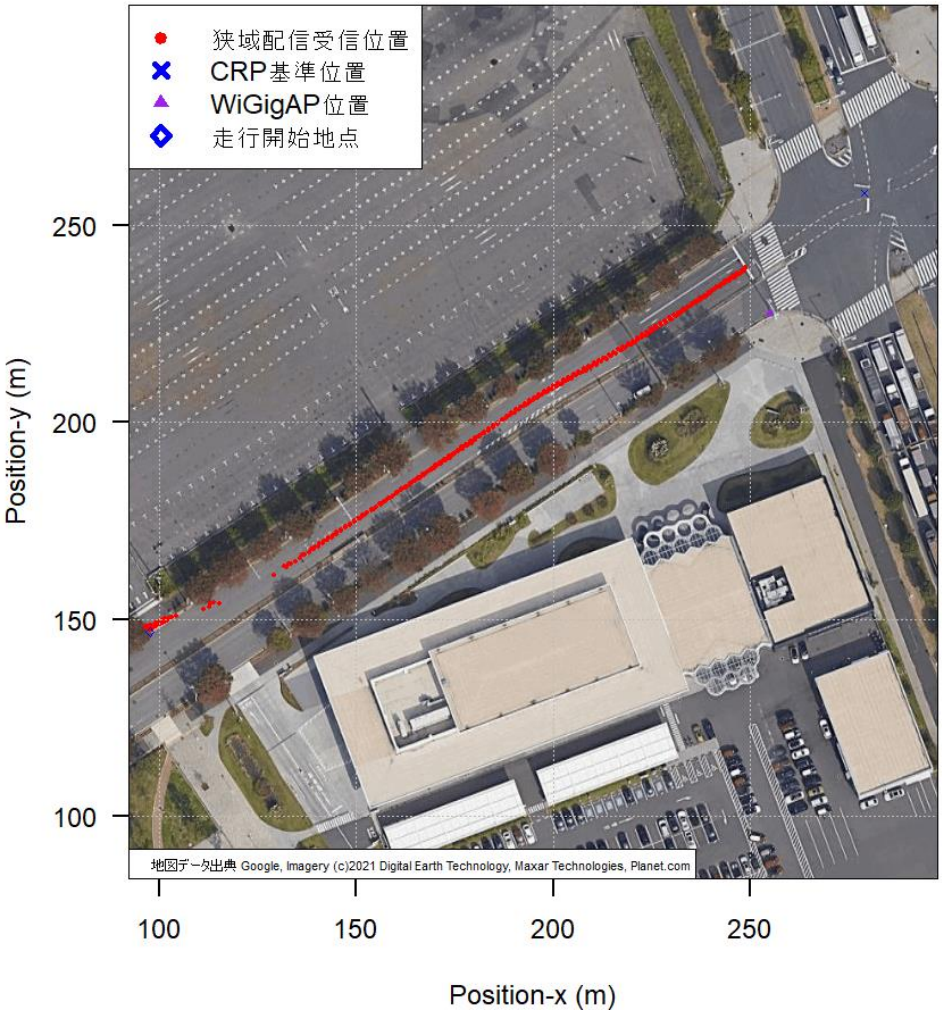


図 5.3.3①-2 狭域配信受信範囲（UC 中 1-1-1 滞留無し）

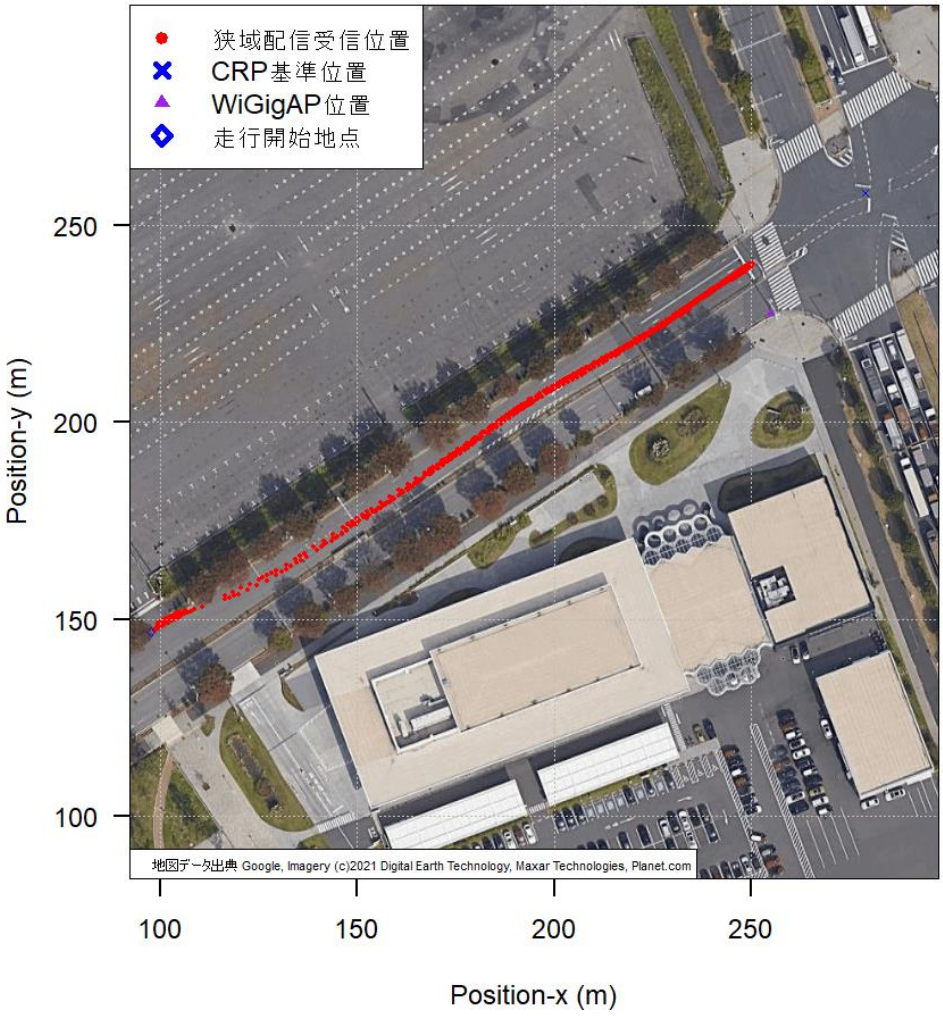


図 5.3.3①-3 狭域配信受信範囲（UC 狭 3-1-0～3-1-3）

② 抽出・収集・統合・配信・狭域全体の遅延評価

(1) KPI 評価結果（抽出）

各 UC の抽出機能の KPI 集計結果を表 5.3.3②(1)-1 に示す。同表の※1 について、ITS 路側制御装置で ITS 通信データを受信したタイミングを基準に算出しており、歩行者・自転車が持つ ITS 通信機からの物標データが路側機まで届くまでに、GNSS 測位遅延と、ITS 送信周期(100ms)による外部要因の待ち時間が発生する。

同表の通り、各 UC において 300ms 以内という目標を達成できている。

表 5.3.3②(1)-1 KPI 集計結果（抽出）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC 中域	ITS	1512	1.4	2.0	2.0	2.0	
	レーダ	760	13.3	18.0	19.0	23.0	
UC 狭域	ITS	4303	1.3	2.0	2.0	2.0	
	レーダ	4006	13.4	18.0	20.0	23.0	

(2) KPI 評価結果（収集）

各 UC の収集機能の KPI 集計結果を表 5.3.3②(2)-1 に示す。

同表の通り、各 UC において 100ms 以内という目標を達成できている。

表 5.3.3②(2)-1 KPI 集計結果（収集）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	100ms 未満 最大 CDF
UC 中域	ITS	1512	2.9	4.0	4.0	5.0	99%以上
	レーダ	760	2.1	3.0	3.0	4.0	99%以上
UC 狭域	ITS	4303	2.9	4.0	4.0	6.0	99%以上
	レーダ	4006	1.9	3.0	3.0	5.0	99%以上

(3) KPI 評価結果（統合・狭域サーバ内）

各 UC の統合機能及び、狭域サーバ内合計の KPI 集計結果を表 5.3.3②(3)-1、表 5.3.3②(3)-2 に示す。

表 5.3.3②(3)-2 については、「統合（250ms 周期動作の待ち時間含む）」と「配信データの生成処理」を含んだ狭域サーバ内の合計遅延である。同表の通り、各 UC において 500ms 以内という目標を達成できている。

表 5.3.3②(3)-1 KPI 集計結果（統合）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC 中域	ITS, レーダ	304	48.0	70.0	72.0	78.0	
UC 狭域	ITS, レーダ	1609	32.2	64.0	74.0	91.0	

表 5.3.3②(3)-2 KPI 集計結果（狭域サーバ内）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	備考
UC 中域	ITS, レーダ	494	213.2	268.0	283.0	362.0	
UC 狭域	ITS, レーダ	2317	221.4	284.0	307.0	354.0	

(4) KPI 評価結果（狭域配信）

各 UC の狭域配信機能の KPI 集計結果を表 5.3.3②(4)-1 に示す。同表の通り、各 UC において 100ms 以内という目標を達成できている。

なお、実際の交差点環境において WiGig アクセスポイントの設置位置に制限があったため、WiGig 電波の遮蔽による影響の排除のため、500ms 以上の遅延が発生したパケットは破棄する設定とした。破棄しきれなかった遅延パケットが表中の※に現れている。

表 5.3.3②(4)-1 KPI 集計結果（狭域配信）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	100ms 未満 最大 CDF
UC 中域	ITS, レーダ	288	6.7	2.0	2.0	239※	98.6%
UC 狭域	ITS, レーダ	1383	2.4	2.0	2.0	3.0	99%以上

(5) KPI 評価結果（狭域全体）

各 UC の抽出から狭域配信まで合計した遅延時間の KPI 集計結果を表 5.3.3②-(5)-1 に示す。集計結果には統合の 250ms 周期動作の待ち時間を含む。抽出（ITS センサ）の外部機器内の ITS 送信周期(100ms)等による待ち時間は含まない。

同表の通り、各 UC において 1000ms 以内という目標を達成できている。

表 5.3.3②(5)-1 KPI 集計結果（狭域全体）

シナリオ	センサ	サンプル数	平均値 [ms]	CDF90% [ms]	CDF95% [ms]	CDF99% [ms]	1000ms 未満最大 CDF
UC 中域	ITS, レーダ	288	235.3	291.0	307.0	628.0	99%以上
UC 狭域	ITS, レーダ	1383	239.2	307.0	332.0	385.0	99%以上

5.4. シミュレーション検証

本章では、開発した狭域システムに対して、交通量ピーク時の処理時間と配信先数の限界、物標の統合数の限界に関する机上検討及び一部機能のシミュレーション検討を実施する。

一般道交通量のピーク時を模擬、検証するための諸条件は、3.2.1 項において先に述べられており、机上・シミュレーション検討のための前提条件についてのみ改めて表 5.4-1 に示す。ここに示すように、1 つの交差点に 1 つの狭域サーバが設置される想定のシステム構成が前提であり、動的な情報を収集・配信する道路や歩道の範囲を 4×2 車線の一般的な交差点規模より算出している。

これら算出された道路や歩道の範囲に基づくと、交通量ピーク時に抽出される車両数、歩行者数、自転車数は、合計で 44 の物標情報となり、ビーク時にはこれらの全物標データを狭域サーバが統合・配信すると仮定している。

また、配信処理においては、信号情報等に基づいて配信先のエリア等を最適制御することが想定される。しかしながら、ここでのピーク時相当の机上/シミュレーション検証においては、対象規模の交差点周囲に存在する車両数として見積もられた 57 台の車両全てに、抽出される全物標データを情報提供する仮定としている。

表 5.4-1　交通量ピーク時のシステム処理時間を検証するための前提条件

項　目		机上/シミュレーション
サーバ構成	狭域サーバ数	1 台
交通環境 （狭域）	交差点数	1 交差点
	交差点規模・/サイズ	約 7m×約 14m(4×2 車線)
	車両数	32 台(ピーク時最大数想定)
	歩行者数	8 人(ピーク時最大数想定)
	自転車数	4 名(ピーク時最大数想定)
	配信車両数(通信対象)	57 台(狭域エリア内ピーク想定)
通信エリア	狭域	126m 以上(停止線から)
天候/時間帯	天候等による影響	影響は考慮しない

以上のような最も処理負荷がかかる交通環境想定の下で、路側処理方式を採用する本狭域システムを対象として、システムを構成する機能ブロック間等で生じる遅延時間とセンサで抽出されたデータが配信されるまでのシステム全体に掛かる遅延時間について検討する。

すなわち、各センサが抽出した動的な物標データを収集する路側機を介して狭域サーバへ伝送する通信の遅延時間、これら複数のセンサデータを統合してエリア内の配信先毎に動的データを生成するための処理時間、さらには狭域内の全車両へ無線通信によりデータ伝送するための通信遅延を定量的に把握する。

前述したように、本研究開発における動的情報の収集から配信までの一連のシステム処理時間に関する KPI は、狭域システムのエリア内で 1 秒以内、中域システムを含めた全体エリアで 3 秒以内となっており、図 5.4-1 にシステム構成と処理時間の関係を示している。

具体的には、本狭域システムにおいては、情報源から狭域サーバまでと狭域サーバから配信先までの通信遅延がいずれも 100ms 以内が目標となっており、システム全体で 1 秒以内を仮定した場合の内訳として、情報源における処理時間 300ms、狭域サーバにおける処理時間 500ms を目安として定めている。

以降では、交通量のピークを想定した条件において、これらの通信や処理の時間を目標として達成可能であるかを見極めることにくわえ、システムの限界性能を把握する目的として上記の目標値を満たす最大の配信先数を推定している。また、統合処理にフォーカスした限界性能の検討も実施しており、本検討において前提とした抽出対象物の配置等の諸条件については後述する。

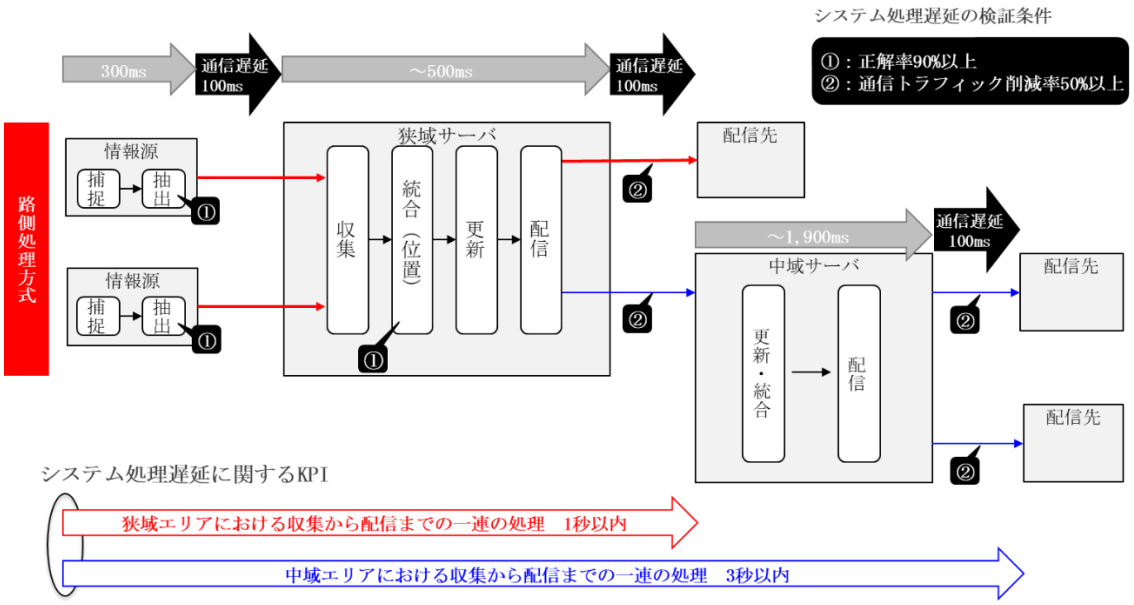


図 5.4-1 路側処理方式のシステム全体構成と処理時間に関する KPI

5.4.1. ピーク性能・配信限界性能

① 環境構築

図 5.4.1①-1 に示している試作開発した狭域システムでは、交通量が増えて抽出される物標データと配信先の車両が増えた場合、特に狭域サーバを具現化したＰＣにおける処理負荷が大きくなる。一方、ITS 通信端末と路側機間の通信遅延やミリ波レーダによる処理時間は、想定する抽出対象が数十程度であれば大きく増加することはない。よって、一連の処理に係る遅延時間を計測するためのシミュレーション検証環境は、図 5.4.1①-2 に示すように、各情報源から収集される擬似物標データを生成する PC、狭域サーバを具現化した PC、及びは配信先として物標データを受信する PC で構成しており、いずれも汎用性の高い機器を選定している。



図 5.4.1①-1 試作開発した狭域システムの主要機能構成

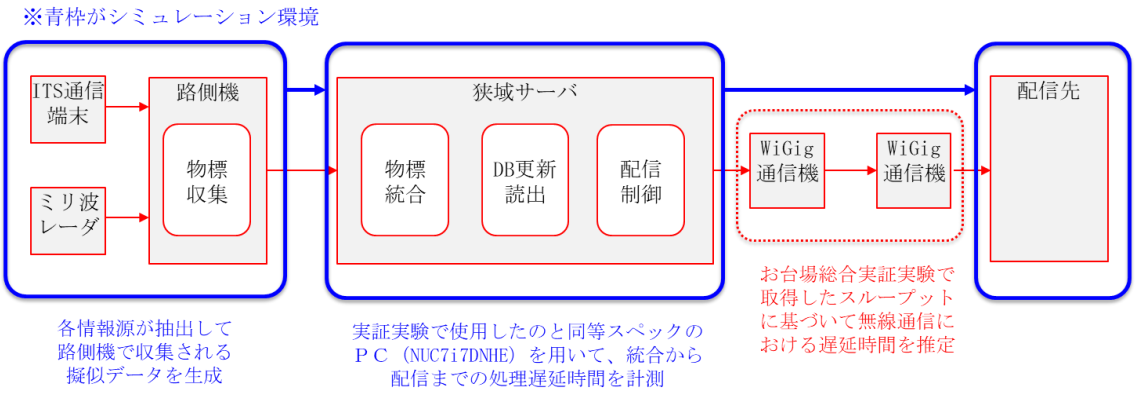


図 5.4.1①-2 処理時間を計測するためのシミュレーション検証環境

② 検証の流れ

(1) 収集から配信までの遅延時間推定

図 5.4.1②-1 に示すように、交差点の周辺に車（□印）、歩行者（○印）、自転車（△印）を配置することで、交通量ピーク時の前記条件を模擬している。検証する狭域システムにおいては、歩行者と自転車は ITS 通信端末を具備している前提としており、路側に設

置されたミリ波レーダでも同時に抽出されるものとする。くわえて、これら歩行者と自転車に対しては、ITS 通信端末とミリ波レーダで捕捉された位置情報が、同一判定されるように配置する条件に設定しており、抽出されている物標データのサイズが統合処置によって約 1/2 となる。一方、車両についてはミリ波レーダのみで抽出される前提としているため、物標データのサイズは統合処理後もほぼ変わらない。

ここで、交通量のピーク時を模擬するためには、配信先の車両数が 57 台とするのが検証条件であるが、前述したようにシミュレーション環境は配信先として 1 台の PC を模擬する構成としている。よって、本検証のステップ 1 としては、抽出される物標の擬似データ数はピーク時の条件とした上で、配信先の車両 1 台に全ての物標情報が提供される条件で、狭域システムとしての一連の処理時間を統計的に求めることにしている。

つまり、路側機等を模擬した PC が、同時に抽出される物標数 44 の擬似データを繰り返し生成して、そのデータを狭域サーバの PC へ伝送する。狭域サーバ PC では、位置の統合処理と物標データベースの更新/読出処理と配信制御に係わる処理を実行することで配信データを生成して、そのデータを配信先へ伝送する。このような時系列に繰り返し実行される狭域システムの一連の処理に対して、試行毎の遅延時間を計測した上でその平均値を算出する。

この一連の処理において、狭域サーバが配信データを WiGig で配信先に伝送する際の通信遅延については、後述するお台場での総合実証実験で取得された無線伝送スループットの実測値に基づき机上で算出する。すなわち、本検証のステップ 2 としては、ピーク時の配信先数である 57 台に対して 44 の物標データを伝送する場合に必要となるデータサイズを積算した上で、実測した WiGig スループット値を用いて、無線通信回線で生じる遅延時間を推定する。

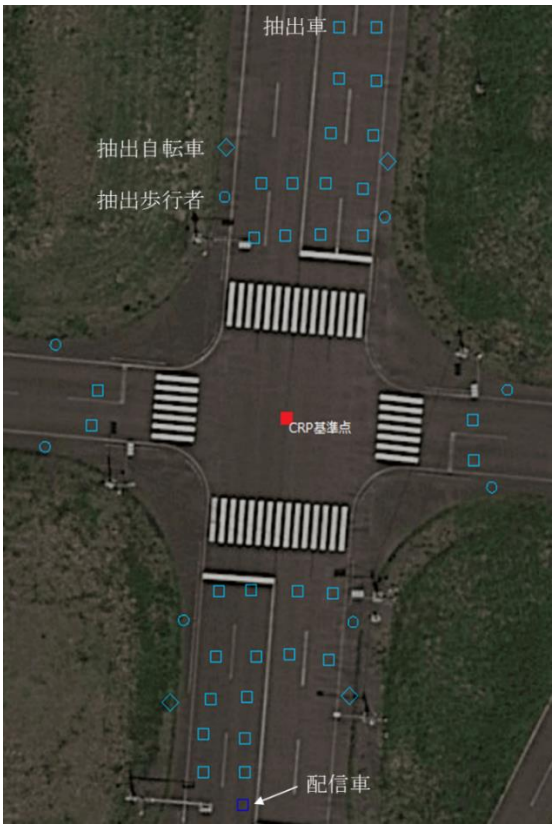


図 5.4.１②-1 狭域システムの交通量ピーク時を模擬するための抽出対象の配置

（地図データ出典：Google）

③ 検証結果

(1) 交通量ピーク時の遅延時間

前述したシミュレーション検証環境を用いて、交差点の交通量ピーク時に相当する抽出物標数44、配信先台数 57 の条件で、狭域システムとしての一連の処理に係る遅延時間を推定した結果を、表 5.4.1③-1 に示す。ここで、各遅延時間は、繰り返し擬似抽出データを生成して計測した値の平均を示している。また、物標データの抽出から収集までの遅延は、ITS 通信端末を用いた場合の値であり、ミリ波レーダを用いた場合はより遅延が小さくなることを確認している。

結果として、狭域システムの一連の処理時間が 1 秒以内を達成しており、狭域サーバ内の処理時間の目安である 500ms も同時に満たしている。

尚、WiGig 配信先の通信遅延は、お台場の総合実証実験において交差点から 150m 先で確認されたスループットの実測値 500 Mbps、その際に計測されたベースとなる平均の処理遅延 2.4 ms、及びピーク時相当における統合処理後の物標データサイズが約 5000 byte であることに基づいて、机上計算により算出している。(表 5.4.1③-2 を参照)

表 5.4.1③-1　交通量ピーク時の狭域システムにおける一連の処理時間の推定結果

抽出・収集間 (ｾﾝｻ→路側機) dt1	収集・ｻｰﾊﾞ間 (路側機→ｻｰﾊﾞ) dt2	狭域ｻｰﾊﾞ内 処理 dt3	WiGig 通信遅延 (ｻｰﾊﾞ→配信先) dt4	一連の処理 DT
51 ms	3 ms	457 ms	7 ms	518 ms

表 5.4.1③-2　WiGig 配信時の通信遅延の推定結果

配信先車両数	統合ﾃﾞｰﾀｻｲｽﾞ	WiGig ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ	ﾍﾞｰｽ処理時間	WiGig 通信遅延 dt4
57 台	4947 byte	500 Mbit/s	2.4 ms	7.0 ms

(2) 配信先数の限界に関する検討

ここでは、本狭域システムの限界性能を把握することを目的とし、最も処理負荷が大きく現状はシステム処理時間のボトルネックとなっている狭域サーバの処理時間 500ms を上限として、配信可能な車両台数を見積もった結果について述べる。

まず、表 5.4.1③-3 に示すように、57 台の配信先にピーク時相当の物標データを統合して配信するまでの狭域サーバでは、複数センサデータの統合、物標データベースの更新と読み出し及び配信制御に係わる各機能ブロックにおいて処理時間が生じる。その中で、物標統合の処理は、抽出対象数にのみ依存する設計となっているため、配信先の車両台数を増やしても影響がない。そこで、今回の限界性能を把握するための机上検討では、データ

バースの更新と読み出し及び配信制御に係わる遅延が配信先数に概ね比例すると仮定して、狭域サーバ処理が 500ms となる条件を算出した。

結果として、配信先の車両台数が 73 台までは、狭域サーバにおける処理時間の目安を満たしていることが確認された。

実際、データベースの更新や読み出しから配信制御に関わる処理の設計指針は、低遅延でリアルタイム性が求められる本配信サービスのあり方にも依存する。つまり、配信先である車載システムの要求タイミングに応じて、データベースから所要範囲（時間や空間の範囲）の物標情報を選択することが想定される一方で、路側システムが予め定められた時間スロットにおいて抽出物標データを発信することも考えられる。将来的なエッジプロセッサ等の性能向上を見据えつつ、例えば、物標情報への信頼度やデータ伝送時のセキュリティの担保といった要求を処理遅延の観点でも検討すべきと考えられるため、低遅延なリアルタイム配信の在り方については継続的な取組みが必要と思われる。

表 5.4.1③-3 交通量ピーク時における狭域サーバ内での処理時間内訳

配信先車両数	物標統合処理	DB 更新/読出処理	配信制御処理	狭域ｻｰﾊﾞ内処理 dt3
57 台	303 ms	62 ms	92 ms	457 ms

表 5.4.1③-4 交通量ピーク時における狭域サーバ内での処理時間内訳

配信先車両数	物標統合処理	DB 更新/読出処理	配信制御処理	狭域ｻｰﾊﾞ内処理 dt3
73 台	303 ms	79 ms	117 ms	499 ms

5.4.2. 配信制御によるトラフィック削減検証

① 検証環境の構築

本検証は、シミュレーション検証の交通量ピーク時の試験環境で行った。

狭域の配信制御について処理フローを図 5.4.2-1 に示す。まず、対象交差点に近づいてきた狭域配信車#N(複数同時接続可能なため、ここではN台目の配信車について説明する)は、WiGig アクセスポイントとの接続が確立し、狭域 MQTT Broker の自己の車両番号の topic に車両情報収集の情報を配信する。狭域サーバ（配信制御）は、同 topic を購読しており、配信された情報を配信車の要求情報として DB に格納する。狭域サーバ内で同定処理が完了すると、狭域サーバ（配信制御）に通知されるため、同信号をトリガとして配信処理を開始する。

配信処理では、まず DB から規定の時間範囲内の同定完了物標と配信車の要求情報を取り出す。次に、配信車の要求情報毎に最適な配信情報を生成するため、配信車の位置・速度・方位を元に、あらかじめ定義されたマップ情報「配信車両領域定義」から合致する情報を検索する。検索結果が得られた場合、検索した情報内に記された配信物標領域定義を参照し、配信車に必要な物標が存在するエリアの定義を取得する。その後、同定完了物標のうち定義されたエリア内の物標のみ残るようにフィルタリング処理を行い、配信する情報を生成する。同処理を配信車数分繰り返す。

配信する情報が生成できたら、送信タイムスタンプを付与・CBOR エンコード後に MQTT Broker の配信車両の車両番号を示す topic に配信する。配信車両は同 topic を購読しているので、即座に配信車両に情報が伝送される。同処理を配信車両数分繰り返す。

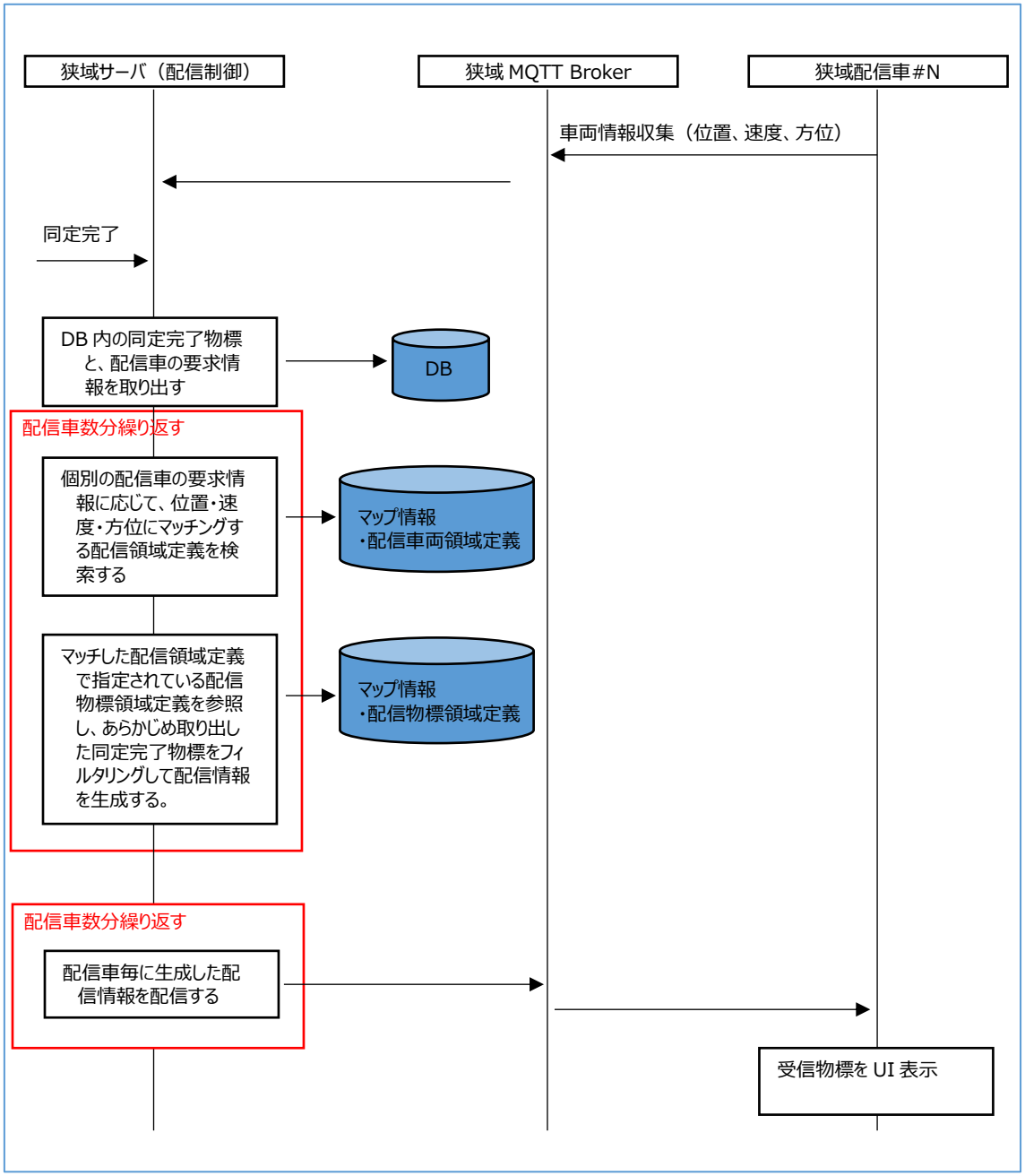


図 5.4.2-1　配信制御の処理フロー

② 検証の流れ

シミュレーションの諸元を表 5.4.2-1 に示す。同表の評価パターン①と、②・③を比較することで配信制御の効果を確認する。シミュレーションに入力する評価パターン①相当の物標配置と、図 5.4.2-1 に記載の配信車両領域定義・配信物標領域定義を図 5.5.2-1 に示す。図 5.5.2-1 では、各物標の配置について、ITS 通信機ありの歩行者・自転車は同一位置にレーダで検知された物標と、ITS 通信機から通知された物標を重ねて配置している。赤線閉領域は配信車両領域を表しており、配信車がこの領域内に存在するときに、同図の緑線閉領域の配信物標領域内に存在する統合後の物標だけを選択して狭域配信車に配信する。

表 5.4.2-1 シミュレーション諸元 （評価パターン毎の配信物標数）

		配信物標数		
	評価パターン	①	②	③
		統合なし	統合あり	統合あり
抽出対象の数	員数 (内 ITS)	配信制御 なし	配信制御 なし	配信制御 あり
車両数	32 台(0)	32	32	11
歩行者数	8 人(8)	16	8	4
自転車数	4 名(4)	8	4	2
全配信物標数	ー	56	44	17



図 5.5.2-1 情報源の配置と領域定義

（地図データ出典:Google）

③ 検証結果

シミュレーション検証の評価結果を表 5.5.3-1 に示す。あわせて、狭域配信車に配信された物標表示 UI の画面キャプチャについて、配信制御なし（統合あり・なしで同一表示）の画面キャプチャを図 5.5.2-2 に、配信制御あり（統合あり）の画面キャプチャを図 5.5.2-3 に示す。

表 5.5.3-1 の結果の通り、図 5.5.2-1 で定義した領域定義に従った配信制御が有効に機能したことがわかる（図 5.5.2-3 の表示物標が配信物標領域定義と一致）。以上のことから、「統合あり」及び「配信制御あり」の場合に削減率目標（50%以上）を達成することができた。

表 5.5.3-1 配信制御シミュレーション評価結果

評価パターン	①	②	③
	統合なし	統合あり	統合あり
項目	配信制御 なし	配信制御 なし	配信制御 あり
1 配信あたりの平均通信データ量(バイト)	6218.0	4947.0	2069.0
削減率(%)	0.00	-20.44	-66.72

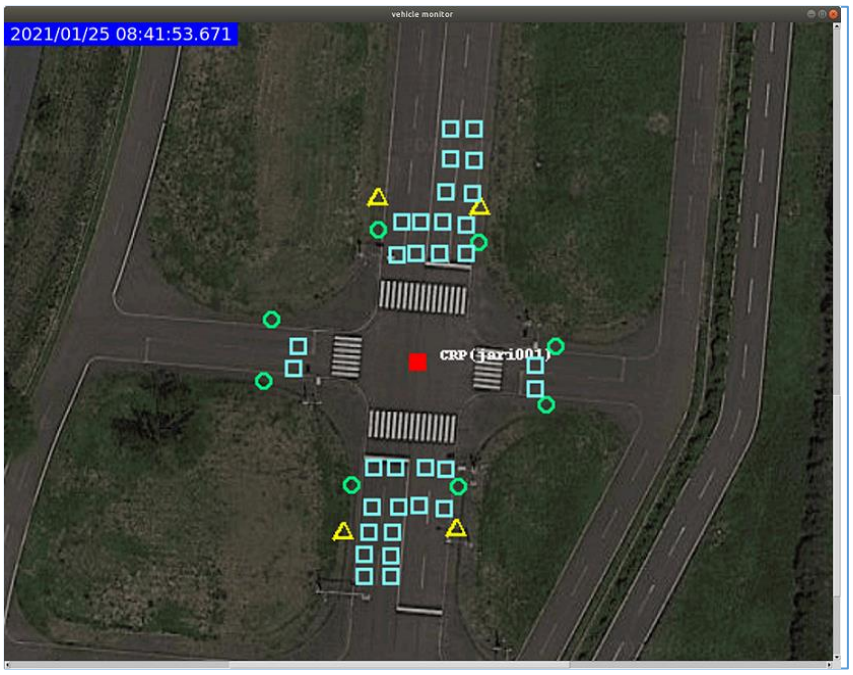


図 5.5.2-2　配信車の物標表示 UI（配信制御なし）

（地図データ出典：Google）

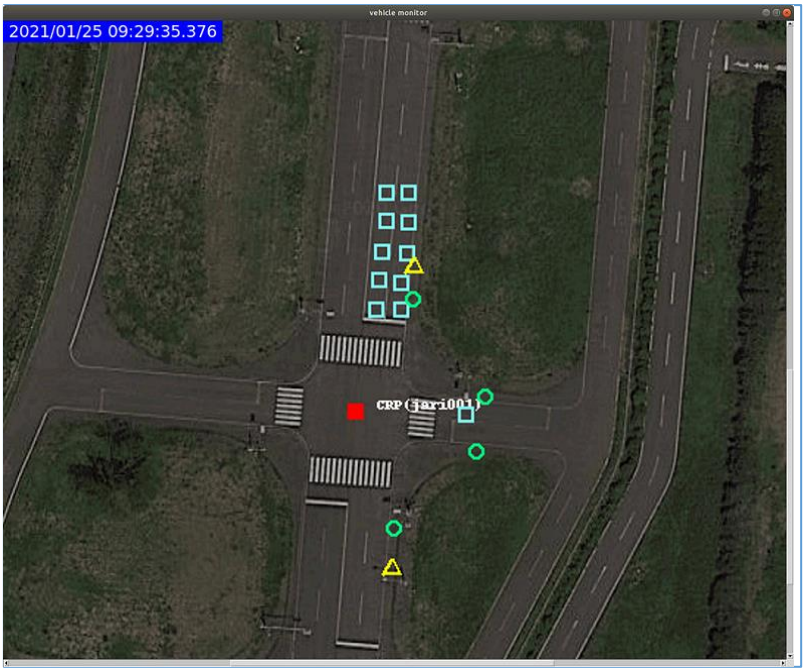


図 5.5.2-3　配信車の物標表示 UI（配信制御あり）

（地図データ出典：Google）

5.4.3. 統合限界値性能

本節では統合の限界値性能を狭域サーバでいくつの物標まで処理できるかを検証する。

① 環境構築

図 5.4.3①-1 に統合限界値の検証環境を示す。

３台の汎用的で安価な PC である NUC7i7DNHE を用意して、それぞれをイーサケーブルでつなぎ、それぞれの PC に、疑似データ発生アプリケーション、狭域サーバアプリケーション（統合処理、配信処理）、配信受信アプリケーションをインストールし検証を行う。

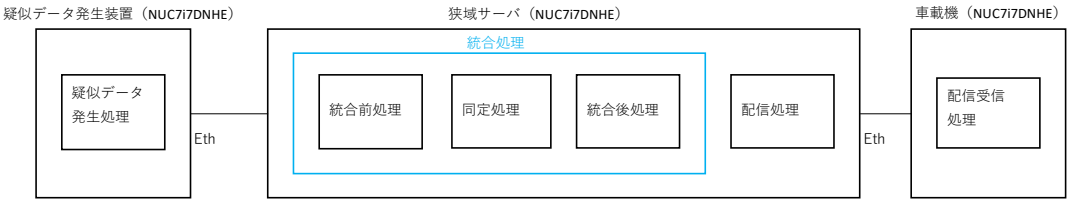


図 5.4.3①-1　統合限界値の検証環境

② 検証の流れ

統合の限界値性能の検証の流れを説明する。

1. 図 5.4.3②-1 で示した物標（人）の配置のように、ITS 通信端末とミリ波レーダの物標を２m 間隔で渦巻状に双方を配置したデータを生成する。なお、処理時間を見るために、位置誤差は０とし、速度は静止、移動方向は北向きのデータとした。

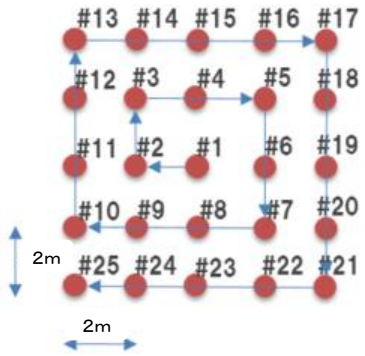


図 5.4.3②-1　物標（人）の配置

2. 1.で生成したデータを疑似データ発生装置から、実機と同様なタイミング（ITS 通信端末データは 250msec に１度、ミリ波レーダデータは 50msec に一度）で狭域サーバに入力する。
3. 狭域サーバでは統合処理、配信処理を実機と同様な処理を行い、狭域サーバの処理時間を計測する（約１３分：統合処理 3120 サンプル）

4. 1.で生成するデータの物標数を増やしながら、その都度狭域サーバの処理時間を計測して、統合処理の処理時間が平均 250msec 以下かつ狭域サーバの処理時間の平均処理時間が500msec 以下になる物標数を求める。

なお、統合処理は 250msec 間隔でおこわなれるため、平均 250msec 以上の処理時間がかかると、統合処理が間に合わず処理が破綻すること、さらに、狭域サーバの処理時間の目標が500msec 以内であることから、限界値性能の指標として、統合処理の処理時間が平均 250msec 以下かつ狭域サーバの処理時間の平均処理時間が 500msec とした。

本検証をするにあたり、各社接続試験、総合検証のアプリに対して、ログの処理の削除等を行った処理削減をしたアプリを用いた。

③ 検証結果

表 5.4.3③-1、5.4.3③-2　、図 5.4.3③-1、5.4.3③-2 に物標数対統合処理時間、物標数対狭域サーバ処理時間を示す。

計測した物標数以上の処理量を推定するために、図内には、測定値から 1 次近似した直線を点線で示している。

統合処理の処理時間が平均 250msec 以下かつ狭域サーバの処理時間の平均処理時間が 500msec 以下になるのは、物標数が 40 程度であることがわかる。

表 5.4.3③-1　物標数対統合処理時間

物標数	統合処理時間[ms]			
	平均	CDF90%	CDF95%	CDF99%
1	19	32	33	35
10	75	96	98	113
20	126	144	149	173
30	197	219	226	245
40	242	259	270	302

表 5.4.3③-2　物標数対狭域サーバ処理時間

物標数	狭域サーバ処理時間[ms]			
	平均	CDF90%	CDF95%	CDF99%
1	186	236	244	257
10	222	276	288	304
20	263	316	327	349
30	334	378	390	413
40	374	421	436	460

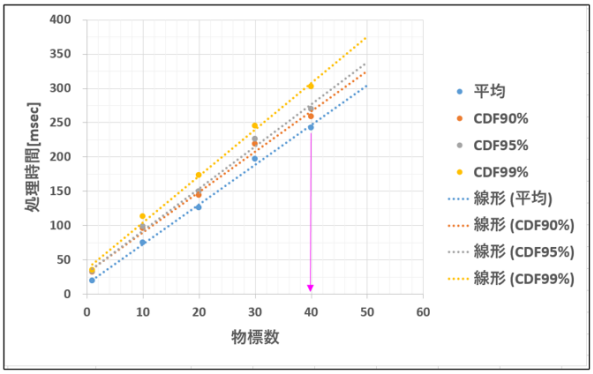


図 5.4.3③-1　物標数対統合処理時間

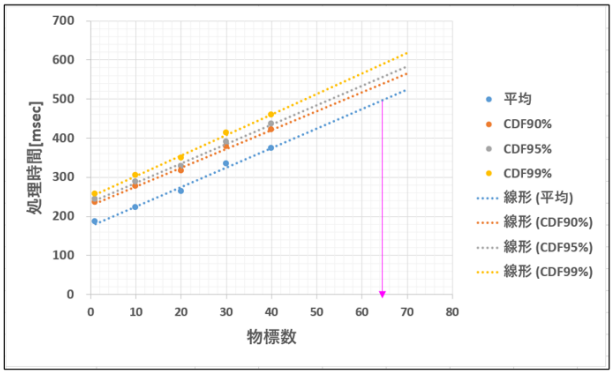


図 5.4.3③-2　物標数対狭域サーバ処理時間

6. 研究開発評価・検証（沖電気工業株式会社）

本章では、沖電気工業が担当した、狭域通信として DSRC 方式又はセルラ（直接通信）方式を用いる路側処理方式の評価・検証結果について示す。本方式は第 3 章の図 3.1.5①-1 に示したシステム構成の路側処理方式の一つである。

まず、6.1 節に担当システムのアーキテクチャを示し、6.2 節及び 6.3 節に、それぞれテストコースにて実施した接続確認・フィールド検証、及び公道の交差点周辺の 5G 通信エリアにて実施した総合検証について実施内容、結果等を示す。フィールド検証では、テストコースにおける収集・配信の通信遅延や一連の処理時間の KPI、及び抽出・統合の KPI の評価・検証を行った。総合検証では、交差点周辺を走行する車両について抽出・統合した物標情報を狭域エッジサーバ（以下、「狭域サーバ」とする）から中域エッジサーバ（以下、「中域サーバ」とする）に 5G 通信により配信しつつ、交差点に近づく車両へ狭域通信により配信する際の通信遅延や一連の処理時間の KPI の評価・検証を行った。つづいて、6.4 節のシミュレーション検証では、車両台数増加時や周辺構造物による見通し外環境の影響を考慮した場合の収集・配信の通信性能評価、及び物標情報増加時の統合に必要な処理時間評価について実施内容、結果等を示す。

6.1. アーキテクチャ詳細

狭域通信の通信方式として DSRC 方式又はセルラ（直接通信）方式を用いた路側処理方式（以下、「路側処理方式（DSRC・セルラ）」とする）では、交差点周辺を狭域エリアとして、抽出、収集、統合、及び配信の処理を行う。

- 交差点周辺を移動する車両や歩行者、自転車等の対象物に対して、路側センサを用いて、位置や速度等の物標情報を抽出する。また、GNSS 受信機等の自律センサを搭載した車両において、自律センサにより得られた自車両情報も物標情報として活用する。
- 路側センサにて抽出した物標情報を、路側処理方式（DSRC・セルラ）を用いた路路間通信により狭域サーバに収集する。また、自律センサを搭載した車両にて抽出した自車両情報を路車間通信（アップリンク）により狭域サーバに収集する。
- 狭域サーバにおいて、同一の対象物か否かの判定処理等により、複数の情報源から収集した物標情報の統合処理を行う。
- 統合処理で得られた物標情報は路車間通信（ダウンリンク）により交差点周辺の路側処理方式（DSRC・セルラ）の車載機を搭載した自動運転車に配信（ブロードキャスト）する。合わせて、セルラ通信（5G）を用いて狭域サーバから中域サーバに配信する。

図 6.1-1 に、上記処理を行う路側処理方式（DSRC・セルラ）のシステムイメージを示す。

本システムでは、交差点周辺の車両、歩行者等をセンシングするための路側の情報源（路側センサ）として 360° LiDAR を、交差点に接近する自動車を遠方からセンシングするための路側センサとして長距離 LiDAR、ミリ波レーダを対角に位置する柱（信号柱等）を利用して配置する（同図【1】、【2】）。

路側センサにて抽出した車両、歩行者等の位置、速度等の情報は、路路間通信を用いて狭域サーバにて収集する（同図【3】）。さらに、GNSS 受信機等の自律センサを搭載した車両において、自律センサにより得られた自車両情報を物標情報として活用可能な場合、路車間通信（アップリンク）により狭域サーバに送信する（同図【4】）。なお、DSRC 及びセルラ（直接通信）として、それぞれ ITS FORUM RC-015 のうち ITS FORUM RC-005 参照方式及び LTE V2X（PC5）参照方式を用いる。

つづいて、狭域サーバにおいて、異なる情報源から収集した情報について当該対象物に対する同一判定等の統合処理を行い、統合した情報を路車間通信（ダウンリンク）により交差点周辺の車両（自動運転車）へ配信（ブロードキャスト）するとともに、狭域情報として中域サーバへセルラ通信（5G）により配信する（同図【5】）。



図 6.1-1　路側処理方式（DSRC・セルラ）のシステムイメージ

6.1.1. ハードウェア構成

路側処理方式（DSRC・セルラ）では、路側センサにて抽出した物標情報を DSRC 又はセルラ（直接通信）を用いた路路間通信、及び自動運転車の車両情報を路車間通信（アップリンク）で狭域サーバに収集し、狭域サーバ上で統合処理を行う。統合処理で得られた物標情報は路車間通信（ダウンリンク）で周辺の自動運転車に配信される。

図 6.1.1-1 に、交差点におけるシステムイメージに対応した路側処理方式（DSRC・セルラ）のハードウェア構成を示す。

交差点の信号柱に設置された路側センサ A は、交差点をカバーする 360° LiDAR、遠方をカバーするミリ波レーダ、及び両者の中間をカバーする長距離 LiDAR により構成され交差点周辺のセンシングを行う。これらのセンサは、抽出処理装置に接続され、センシングデータに基づいて車両、歩行者及び自転車の対象物の抽出を行う。

つづいて、各センサによる抽出処理結果は狭域サーバに送信されるが、狭域サーバと同じ信号柱 A に設置された路側センサ A からの抽出結果は有線 LAN を介して送信され、異なる信号柱に設置された路側センサ B からは狭域通信機を介して送信される(路路間通信)。また、GNSS 受信機を搭載した車両にて抽出した自車両情報は狭域通信機を介して狭域サーバに送信される（路車間通信（アップリンク））。

狭域サーバは、これら抽出結果に基づき統合処理を行い、配信データを作成する。作成された配信データは交差点周辺の車両に対しては狭域通信機を介して配信され（路車間通信（ダウンリンク）によるブロードキャスト)、中域サーバに対しては 5G 通信機を介して送信される。

また、狭域サーバと路側センサの間で同期をとることが必要となるため、路側センサと狭域サーバには、それぞれ高精度の時刻情報を提供する NTP サーバが接続される。

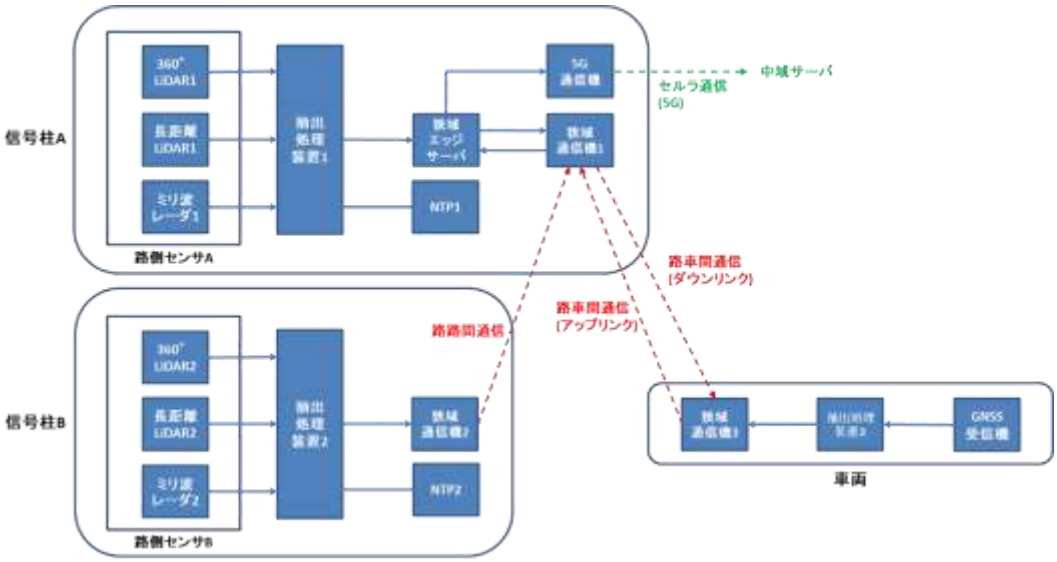


図 6.1.1-1　路側処理方式（DSRC・セルラ）のハードウェア構成

6.1.2. ソフトウェア構成

路側処理方式（DSRC・セルラ）の評価・検証で使用したソフトウェア構成として狭域サーバアプリと路側センサアプリを示す。

① 狭域サーバアプリ

図 6.1.2①-1 に、狭域サーバアプリのソフトウェア構成を示す。

狭域サーバアプリは路側センサからの物標情報を受信するデータ受信部と、受信したデータを格納する受信バッファと、受信した物標情報を統合する統合処理部と、統合処理結果を格納する送信バッファと、統合処理結果を狭域エリア内に配信する狭域配信処理部と統合処理結果を中域サーバに配信する中域配信処理部により構成される。

- データ受信部
  路側センサからの物標情報を受信後、所定のフォーマットに変換後受信バッファに格納する。この受信バッファに格納されたデータは統合処理部で使用される。
- 統合処理部
  統合処理部は 100ms 周期で実行され、受信バッファからデータを抽出するデータ抽出部と同一判定を行う同一判定処理部と同一化処理を実施する同一化処理部で構成される。
- データ抽出部
  起動時刻を取得した後に、受信バッファを確認する。受信バッファにデータが存在していた場合、データ内に存在する物標情報の取得時刻と統合処理部の起動時刻を比較し、時刻の差が 200ms 以下であるデータのみ選定し、同一判定処理部に出力する。
- 同一判定部
  入力されたデータに対して同一の物標を示すデータが複数存在するかどうかを判定する。、つづいて、同一物標を表すであると判定した複数のデータを同一化処理部に出力し、そうでないデータを送信バッファに出力する。
- 同一化処理部
  入力されたデータに対して同一化処理を実施し、得られた結果を送信バッファに出力する。送信バッファに格納されたデータは狭域配信処理部と中域配信処理部で使用される。
- 狭域配信処理部
  100ms 周期の統合処理が終了すると、送信バッファ内部のデータ有無を確認し、データが存在すれば所定のフォーマットに変換し、狭域エリアへの配信データとして狭域通信装置に送信する。
- 中域配信処理部

100ms 周期の統合処理が終了すると、中域サーバにデータを送信するかどうかについて、中域サーバから提供される配信間隔情報に基づいて中域サーバへの送信有無の判定を行う。送信が必要であると判定した場合、送信バッファ内部のデータ有無を確認し、データが存在すれば所定のフォーマットに変換し、中域サーバへの配信データを 5G 通信装置に送信する。

なお、狭域サーバでは、路側センサからの送信データを時刻情報に基づいて処理するため、時刻情報は高い精度が要求される。これを達成するため路側センサと同様に NTP サーバが接続されており、制御装置のシステム時刻を NTP サーバが提供する高精度時刻に合わせる時刻情報更新処理を上記の処理と並列して実施している。

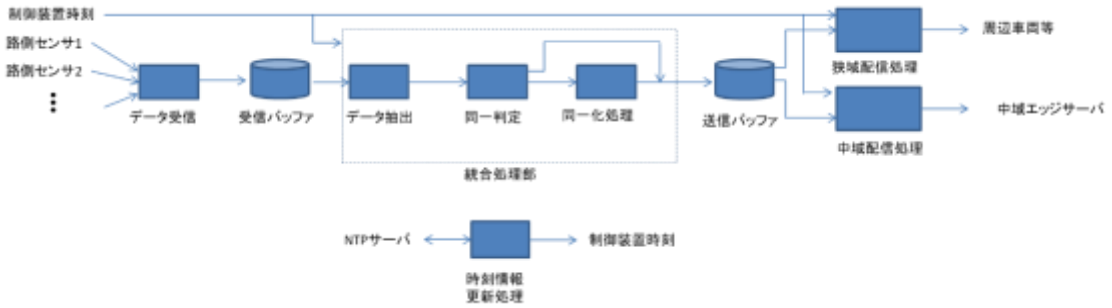


図 6.1.2①-1　路側処理方式（DSRC・セルラ）の狭域サーバのソフトウェア構成

② 路側センサアプリ

図 6.1.2②-2 に、路側センサアプリのソフトウェア構成を示す。

路側センサアプリはセンサ情報処理部と、受信バッファと物標情報抽出部と、送信バッファと物標情報送信処理部から構成される。

- センサ情報処理部は、LiDAR やレーダ等から送信されるデータを物標情報抽出処理部が要求するフォーマットに変換し、情報取得時刻を追加して受信バッファに格納する。
- 物標情報抽出処理部は、受信バッファに格納されているデータに基づき物標情報の抽出を行い、抽出結果を送信バッファに格納する。この抽出においては、物標の検知及びその追跡処理がなされ、これにより一貫した物標情報を提供される。
- 物標情報送信処理部は、送信バッファに格納されているデータを狭域サーバが求めるフォーマットに変換し、変換処理後の時刻情報を追加して狭域サーバに送信するため狭域通信装置に出力する。

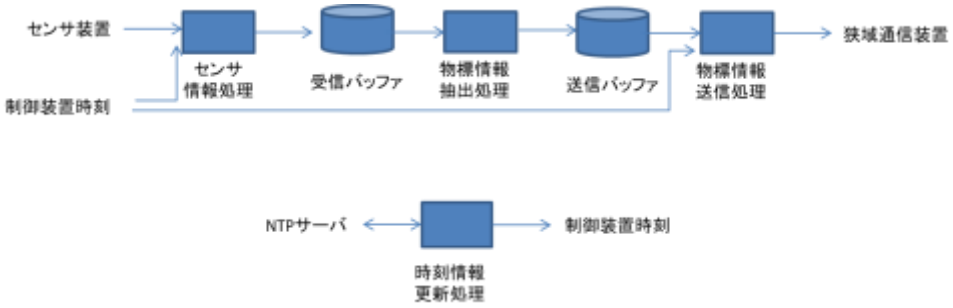


図 6.1.2②-1　路側処理方式（DSRC・セルラ）の路側センサアプリのソフトウェア構成

（物標情報の抽出）

路側に設置した LiDAR から取得した点群情報を用いて物標情報の抽出を行う流れを以下に示す（図 6.1.2②-2）。本処理は、検知処理と追跡処理により構成される。まず、検知処理では、センサ起動直後に取得した点群情報を利用して背景点群を作成する。この背景点群と、以降 100 ms ごとに取得される点群情報との差分を 3 次元位置情報に基づいてクラスタリングすることにより、物標情報の抽出を行う。差分処理では、LiDAR 計測時のちらつき等により発生するノイズのような点群が残る場合があるため、それらを除去するためのノイズ除去処理を行っている。次に、追跡処理では、現フレームで抽出した物標情報と過去のフレームでの物標情報とを 3 次元座標値や速度情報に基づいて比較し、フレーム間でペアリングを実施する。これにより同一物体の物標情報が時系列に同じ ID に紐づけられる（図 6.1.2②-3）。図 6.1.2②-4 に本手法による車両検知例を示す。

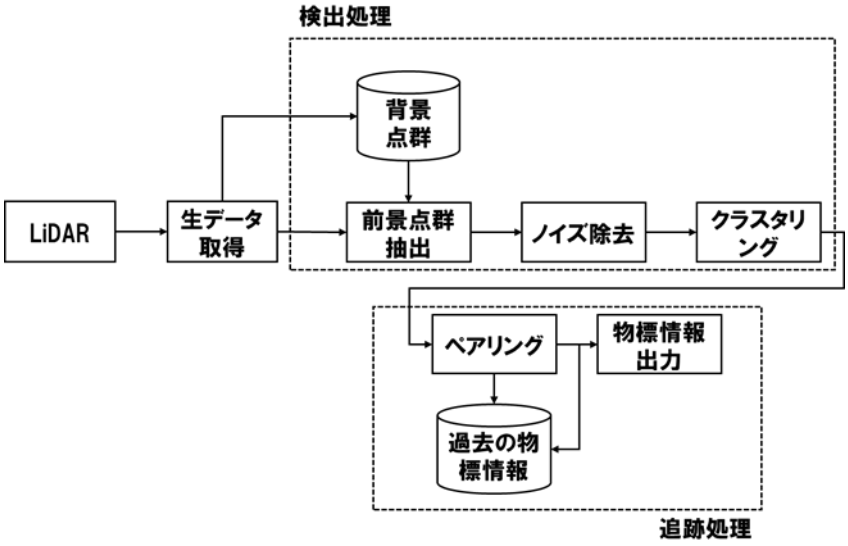


図 6.1.2②-2 物標情報の抽出の流れ

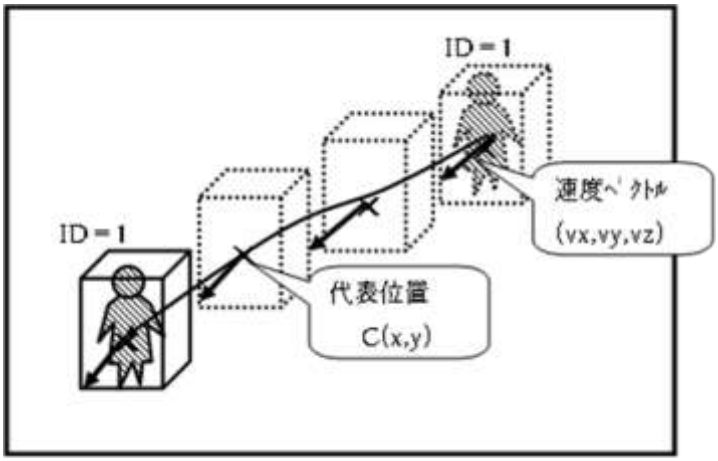


図 6.1.2②-3 ID の紐づけ

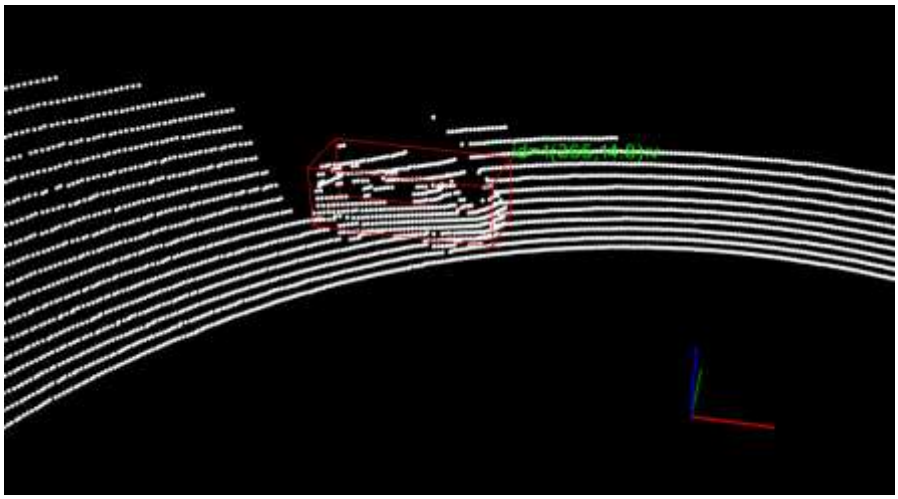


図 6.1.2②-4　360° LiDAR 車両検知例

6.1.3. 統合手法

本項ではまず統合処理の目的を説明し、次に図 6.1.2①-1 に示されるように統合の核となる処理である同一判定処理と同一化処理について説明する。

① 統合処理概要

狭域サーバは交差点周辺を走行する車両に対して周囲の交通情報の提供を行う。このために、交差点周辺の広範なエリアを監視する必要があるが、これを一つのセンサだけで実現することは難しく、複数のセンサを使用することが必要になる。

複数のセンサを使用する場合、同一の物標に対する情報が複数収集される可能性があるが、これらを一つの情報に統合することができれば、一つの広範なエリアをカバーすることが可能になる。

さらに、使用するセンサを増やし車両や歩行者を監視する視点を増やすことで、一つのセンサからは見えない物体が存在する状況でも他のセンサによってカバーできる信頼性が高いシステムを構築することが可能となる。例えば図 6.1.3①-1 ではセンサ 2 のみ使用していた場合、車両 1 の検知は不可能だが、センサ 1 があることで検知が可能となっている。

また、同じエリアをカバーするセンサを複数設置することで、一つのセンサが故障し物標の抽出ができなくなっても他のセンサによりカバーすることができ、システムとしての可用性を高めることが可能となる。例えば図 6.1.3①-2 では、センサ 1, センサ 2 のみ設置した場合、センサ 1 の故障により車両 1 の物標抽出ができなくなってしまうが、センサ 1 と同じ場所にセンサ 1’を設置していればセンサ 1’により車両 1 の物標抽出を問題なく実施できる。

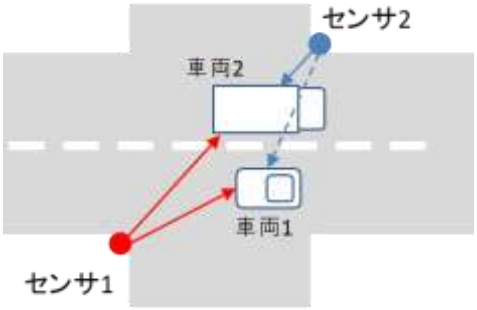


図 6.1.3①-1　複数センサによる検知エリアのカバー（見えない物体が存在する場合）

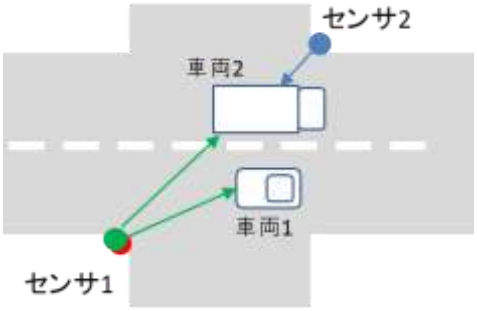


図 6.1.3①-2　複数センサによる検知エリアのカバー（センサが故障した場合）

このように、複数のセンサを用いて交通状況の監視を行えるようにすることには複数の利点があり、それを実現するために必要な機能が統合処理である。本章における統合処理では、まずデータ抽出処理により複数センサからの物標抽出情報を収集し、次に同一の物体に対する物標情報を分類する同一判定処理を実施する。最後に同一判定処理で分類された、同一物体に対する複数の物標情報から一つの物標情報を生成する同一化処理を実施することで、統合処理結果として複数センサにより抽出された冗長性のない物標情報を得ることが可能になる。

② データ抽出処理

路側センサから送信される物標情報を受信すると、狭域エッジ装置はそれらを受信バッファに格納する。本処理ではこの受信バッファを一定周期毎に監視し、バッファ内の情報が更新されたことを検出すると、現在時刻から 200ms 以内に受信した最新の物標情報を抽出し、同一判定処理に送信する。　路側センサと狭域エッジ装置のデータ送受、データ抽出のタイミングを図 6.1.3②-1 に示す。このようにすることで、複数の路側センサの物標情報のタイミング同期を実施している。

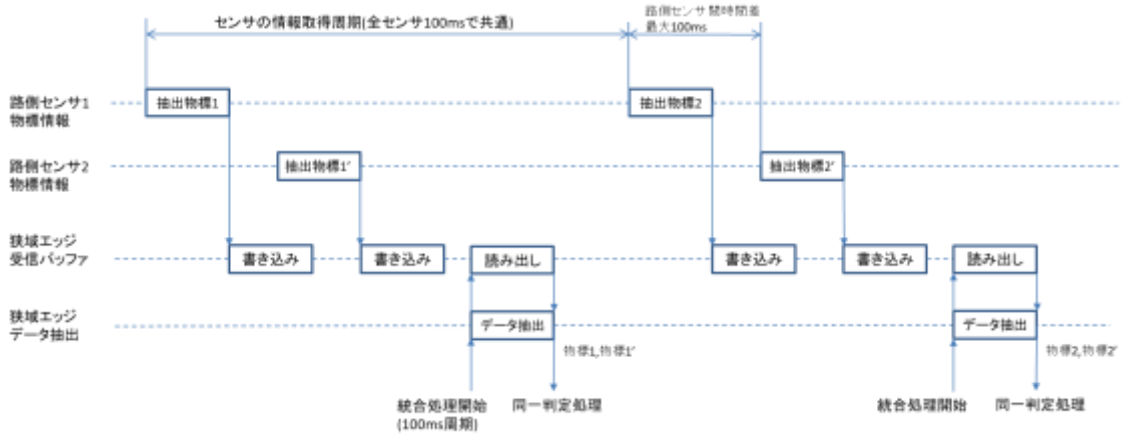


図 6.1.3②-1　データ送受信及び抽出処理のタイミングチャート

③ 同一判定処理

本処理ではまず、路側センサから取得したすべての物標情報に対して、位置情報とサイズ情報に基づき、物標の外形情報を生成し付加する。外形情報は、図 6.1.3③-1 の(b)のように直方体の頂点情報で構成される。ここでは簡単のために 2 次元の矩形領域として表現し、説明を簡単化している。

次に、各物標情報に対して ID 情報を付加する。この時、同一物体に対しては同じ ID 値を割り当てる。例えば図 6.1.3③-2 の(b)の車両 2, 車両 4 のように、同一物体に対するセンサ情報は重なりのある部分が存在する可能性が高い。

従って、本処理では外形情報を使用した重なり判定を実施し、重なっている場合は同一物体に対する物標情報であると判定する。

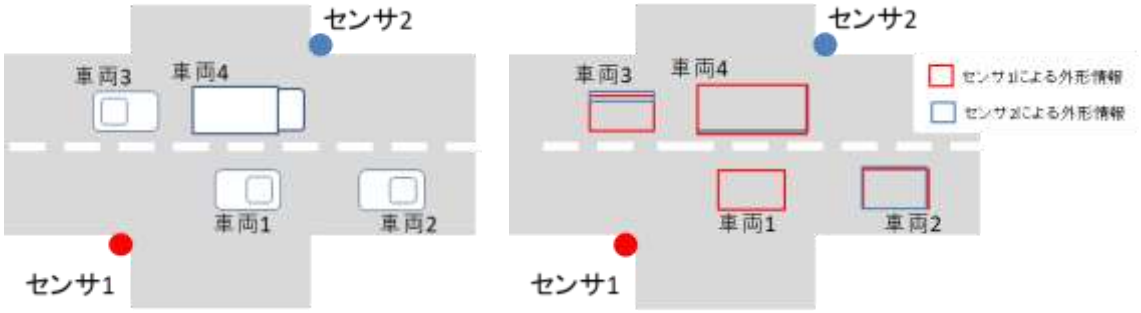
これにより、例えば図 6.1.3③-2 の(b)の車両 3 のようにセンサが物体の一部のみを抽出している場合でも同一判定を実施することが可能である。

最後に， 物標情報を検索し， 重複のある ID を持つ物標情報は冗長性除去のために同一化処理部に出力し、重複の無い ID 情報を持つ物標情報は統合処理結果として出力する。

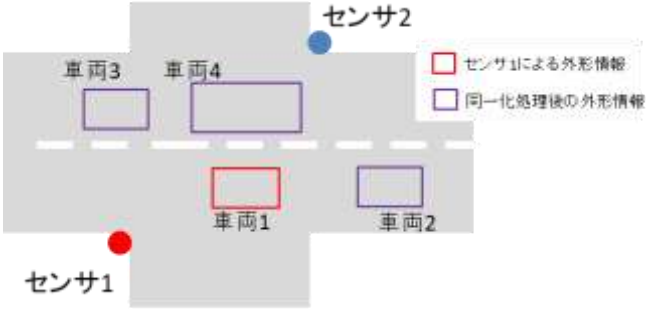


(a) 位置情報とサイズ情報による物標表現　　(b) 外形情報による物標表現

図 6.1.3③-1　物標表現



(a) 車両配置例　　(b) 同一判定処理



(c) 同一化処理

図 6.1.3③-2　物標表現

① 同一化処理

本処理は、重複のある物標情報を使用して、一つの物標情報を生成する。このために、同一判定処理により付加された外形情報を使用する。

まず、複数の物標情報から、外形情報を構成する頂点情報を抽出し、これらの頂点情報を包含する最小の直方体領域を計算する。

次に、この直方体領域の頂点情報の中点を算出して位置情報とし、また、直方体領域の各辺の長さをサイズ情報とする。

最後にその他の情報をもとの物標情報から取得して一つの物標情報を生成し、統合処理結果として出力する。

これらの処理により、図 6.1.3③-2 の(a)の車両が同図(c)となり、車両 2、車両 4 については冗長性が削除される。
また、車両 3 のように、一つのセンサによる抽出情報が遮蔽の影響を受けて実際とは異なる物標情報を出力していたいた場合でも、他のセンサの情報を統合することによって実物に近い物標情報を再現することが可能である。

6.2. 各社接続確認

6.2.1. 実証環境の構築

実験場所や路側センサの設置等の環境構築について示す。

① 実験場所

一般財団法人日本自動車研究所（JARI）の自動運転評価拠点 Jtown（茨城県つくば市苅間 2530）敷地内の実験施設「V2X 市街地」にて実験を行った。



図 6.2.1①-1　JARI Jtown「V2X 市街地」

② 道路条件

図 6.2.1②-1 に、実験を行った道路条件を示す。同図に示す 4×2 車線の交差点の対角位置付近に路側センサ 1 及び 2 を設置した。同図中の緑、黄色のエリアは 360° LiDAR の検知エリアのイメージを示し、青のエリアは長距離 LiDAR 及びミリ波レーダの計測方向のイメージを示している。また、交差点の中心を原点として、矢印の方向に x 軸及び y 軸を定める直角座標系を基準座標系として設定した。正解率や位置精度等の KPI 評価はこの座標系を基準に行った。

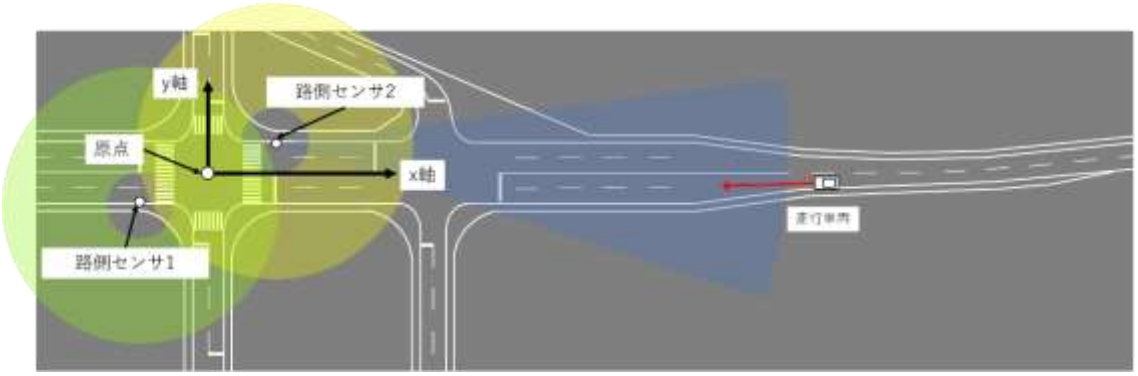


図 6.2.1②-1　道路条件

③ 実験機器構成

図 6.2.1③-1 及び表 6.2.1③-1 に、それぞれ本実機検証で使用した実験機器の構成及び主な仕様を示す。

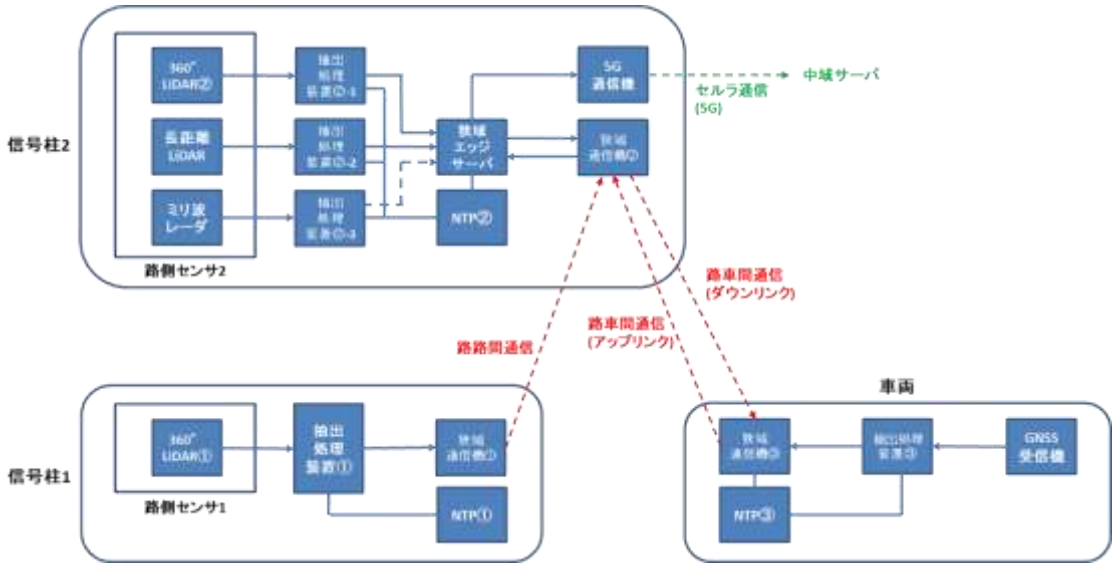


図 6.2.1③-1　実験機器構成（Jtown）

表 6.2.1③-1　実験機器一覧（Jtown）

No.	機器名	主な仕様
1	狭域通信機①～③	DSRC：TIS FORUM RC-015のうちITS FORUM RC-005参照方式準拠 セルラ（直接通信）：ITS FORUM RC-015のうちLTE V2X参照方式準拠 周波数：5.8GHz帯
2	360° LiDAR①、②	Ouster製OS-1-64 Gen2 レーザ計測距離：120 m、画角：360°（H）×45°（V） 分解能：0.35°（H）×0.70°（V）、フレームレート：10fps
3	長距離LiDAR	Cepton製VISTA P-60 レーザ計測距離：200 m(反射率30%)、画角：60°（H）×22°（V） 分解能：0.25°（H）×0.25°（V）、フレームレート：10fps
4	ミリ波レーダ	OKI製79GHz帯FMCWレーダ
5	狭域エッジサーバ	OKI製AE2100 CPU：Intel Atom® x7-E3950プロセッサー（4コア／1.6GHz） メモリ：DDR3L 4GB ストレージ：32GB（eMMC）／SDXC（UHS-I）×1
6	5G通信機	メーカ：NTTドコモ 型番：SH-52A
7	GNSS受信機 (真値取得)	Docomo IoT 高精度GNSS位置情報サービスを利用 固定局（電子基準点）：国土交通省国土地理院（〒305-0811 茨城県つくば市北郷） 移動局：RTK W-band GNSS レシーバー(DG-PRO1RWS 及び Multi-band Active GNSS Antena SMA type ANN-MB-00)
8	GNSS受信機 （車両用）	マゼランシステムジャパン多周波マルチGNSS受信モジュール 捕捉衛星・信号：GPS（L1・L2・L5）、QZSS（L1・L2・L5・L6）、GLONASS（G1・G2）、Galileo（E1・E5a・E5）、Beidou（B1・B3） 最大出力レート：20Hz
9	NTP①～③	シチズン製TSV-500GP 本体 同期精度：±1ms以内（GPS同期時） プロトコル：プロトコル NTPv3/v4 SNTPv3/v4 受信アンテナ 受信電波：GPS衛星電波L1帯/準天頂衛星電波 L1帯 受信周波数：1575.42MHz 受信感度：-145dBm（コールドスタート時）

① 設置条件

図 6.2.1④-1 に、路側センサ等の設置条件を示す。同図のように、交差点の対角位置に停車させた高所作業車 2 台のバケットに路側センサや狭域通信機等を設置した。路側センサ装置としては、路側センサ 1 に 360° LiDAR①を 1 台、路側センサ 2 に 360° LiDAR②、長距離 LiDAR、ミリ波レーダを各 1 台設置した。また、狭域通信機としては、ITS FORUM RC-005 参照方式又は LTE-V2X(PC5)方式の通信機を各 1 台設置した。

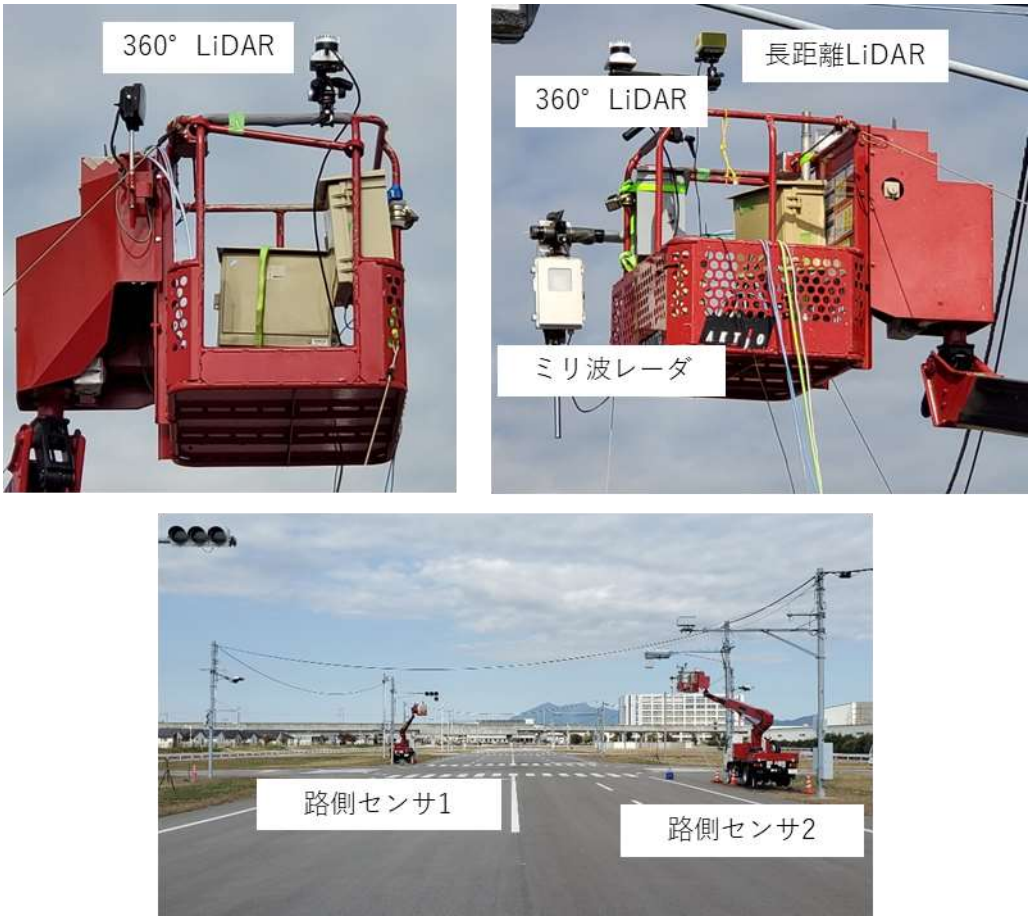


図 6.2.1④-1　路側センサ等の設置条件
（左上図：路側センサ 1、右上図：路側センサ 2、下図：対象交差点全体）

表 6.2.1④-1 に、各センサ装置の設置位置（x 及び y 座標）及び地上高（原点位置の路面の高さを基準）を示す。これらの位置は GNSS 受信機（真値取得）を使用して測定した。

表 6.2.1④-1 路側センサの設置位置（道路条件の原点基準）

路側センサ	センサ装置	x 座標[m]	y 座標[m]	地上高[m]
1	LiDAR①	-15.2	-7.5	5.2
2	LiDAR②	16.9	7.5	5.2
	長距離 LiDAR	16.9	7.9	5.3
	ミリ波レーダ	16.2	7.4	4.7

⑤ 物標（車両、歩行者、自転車）条件

表 6.2.1⑤-1 に実験における車両、歩行者、自転車のサイズを示す。

表 6.2.1⑤-1　抽出車両・自転車・歩行者のサイズ

	名称	長さ[m]	幅[m]	高さ[m]	備考
抽出車両	マツダ　BONGO VAN 型式：DBF-SLP2V 排気量：1798cc	4.28	1.69	1.86	
抽出歩行者	-	0.40	0.50	1.70	
抽出自転車	DAHON Route	0.89	0.34	1.70(乗車時) 0.64(車体)	
支援車両	マツダ　MAZDA6 型式：3DA-GJ2FW 排気量：2188cc	4.80	1.84	1.48	路側センサの計測対象外

(1) 抽出車両

図 6.2.1⑤-1 に UC 狭 1、UC 狭 2 において抽出対象車両として使用した抽出車両を示す。車両の座標（真値）を取得するために、車両上部中心に GPS アンテナを設置した。



図 6.2.1⑤-1　抽出車両

(2) 抽出歩行者

図 6.2.1⑤-2（左）に UC 狭 3 における抽出歩行者を示す。歩行者の座標（真値）を取得するため、ヘルメットに GPS アンテナを設置した。リュックには、GNSS 受信機（真値取得）及びモバイルバッテリーを格納した。

(3) 抽出自転車

図 6.2.1⑤-2（右）に UC 狭 3 における抽出自転車を示す。抽出歩行者と同様に、自転車の座標（真値）を取得するため、ヘルメットに GPS アンテナを設置した。リュックには、歩行者同様、GNSS 受信機（真値取得）及びモバイルバッテリーを格納した。



図 6.2.1⑤-2 抽出歩行者（左）と抽出自転車（右）

(4) 支援車両

図 6.2.1⑤-3 に UC 狭 2 及び UC 狭 3 で使用した支援車両を示す。なお、評価対象となる物標ではない。



図 6.2.1⑤-3　支援車両

⑥ 抽出精度評価方式

図 6.2.1⑥-1 に誤差算出方法の構成図を示す。本実証実験では、各路側センサで計測された物標位置（センサ原点直交座標系）と GNSS 測位で得られた真値（緯度系）を、図 6.2.1②-1 で定義した座標系に変換し、時刻同期をして、誤差を算出する。抽出物標は、

時系列に ID が紐づけられている（図 6.1.2②-3）ため、真値の時刻と比較したうえで、評価される物標を特定する。

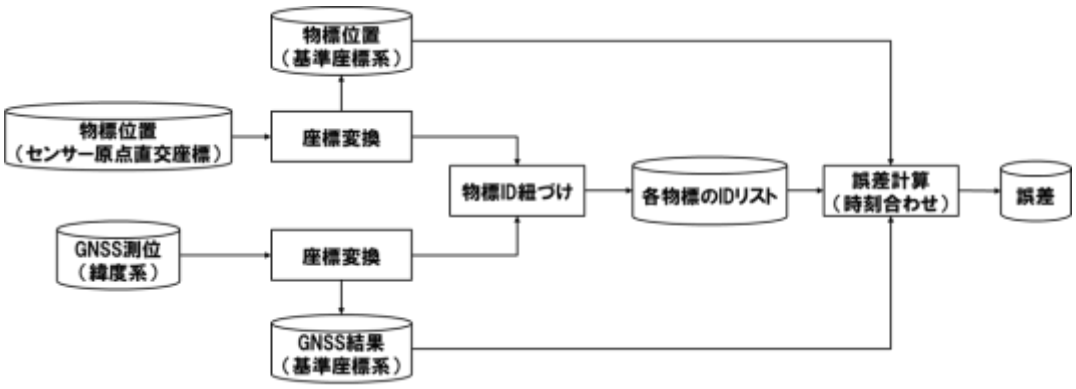


図 6.2.1⑥-1　誤差算出方法

各ユースケースの KPI に従った抽出車両・歩行者・自転車の正解の許容範囲を図 6.2.1⑥-2～4 に示す。各図に示す路側センサの位置は、路側センサ単体又は統合処理で推定した物標の外形の中心位置である。正解率は、真値と対応付けられた ID の物標が、正解範囲以内に存在する割合となる。また、位置ズレ（誤差）は、正解範囲に存在するかどうかにかかわらず、真値と対応付けられた物標を用いて算定した。

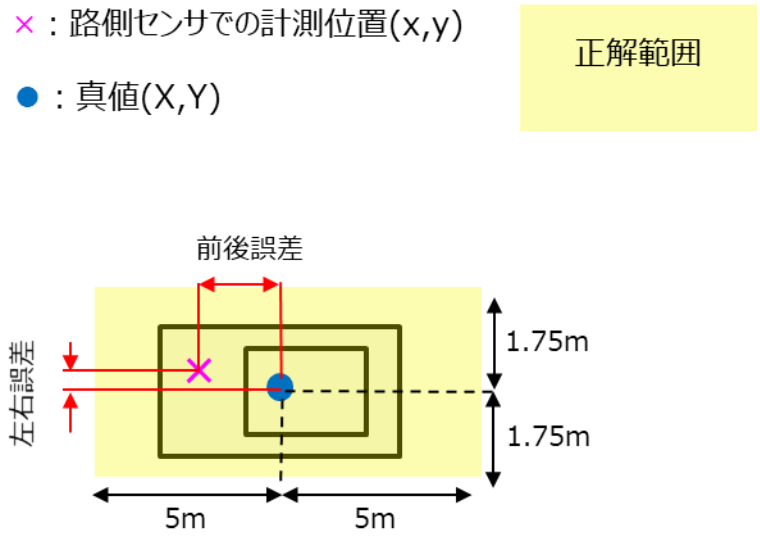


図 6.2.1⑥-2 抽出車両の検知位置と正解の範囲

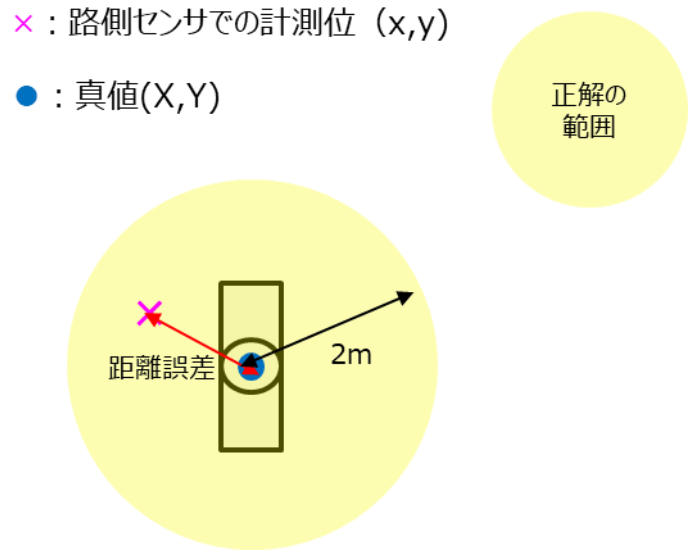


図 6.2.1⑥-3 抽出歩行者の計測位置と正解の範囲

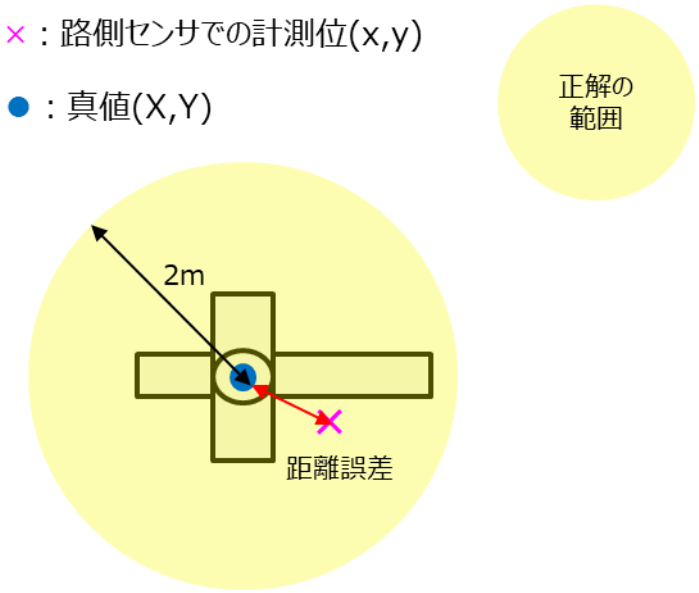


図 6.2.1⑥-4 抽出自転車の検知位置と正解の範囲

6.2.2. 実証の流れ

6.2.1 項で示した実証環境を用いた本評価・検証は、2020 年 11 月 9 日(月)から 13 日(金)に行った。表 6.2.2-1 に期間中の実施内容を示す。

Jtown における実証では、狭域ユースケース 1～3（UC 狭 1～3）実験に加えて、DSRC 又はセルラ（直接通信）を用いた際の収集/配信の通信性能、処理時間の評価実験、LTE 通信を用いた中域 IF 接続（狭域 - 中域サーバ間通信）の確認、及び中域試験用シナリオ走行・データ取得を行った。

表 6.2.2-1　実施内容（Jtown）

月日	実施内容	天候
11 月 9 日(月)	・　機器設置・調整 ・　テスト走行・測定	晴天
11 月 10 日(火)	・　通信性能・処理時間評価実験	晴天
11 月 11 日(水)	・　UC 狭 3 実験	晴天
11 月 12 日(木)	・　中域 IF 接続確認 ・　中域試験用シナリオ走行・測定	晴天
11 月 13 日(金)	・　UC 狭 1 実験 ・　UC 狭 2 実験	晴天

以下に、通信性能・処理時間評価実験及び狭域ユースケース 1～3（UC 狭 1～3）実験の測定方法等について述べる。

① 通信性能・処理時間評価実験

本実験では、通信方式として DSRC 又はセルラ（直接通信）を用いた際の収集・配信に係る通信性能(パケットエラー率、通信遅延)及び一連の処理時間について評価した。図 6.2.2①-1 に示すように、交差点に設置された路側センサ 1（360° LiDAR①）と路側センサ 2（360° LiDAR②、長距離 LiDAR、ミリ波レーダ）は、右折待ち車両及び走行車両を検知する条件で測定を行った。路側センサ 1 の検知結果は路路間通信により狭域サーバへ送信、走行車両および右折待ち車両は GNSS 受信機の受信結果をもとに生成した自車両情報を路車間通信へ送信しつつ狭域サーバからの配信パケットを受信、狭域サーバはこれら収集した情報を統合し走行車両及び右折待ち車両へ配信する状態でデータ取得を行った。

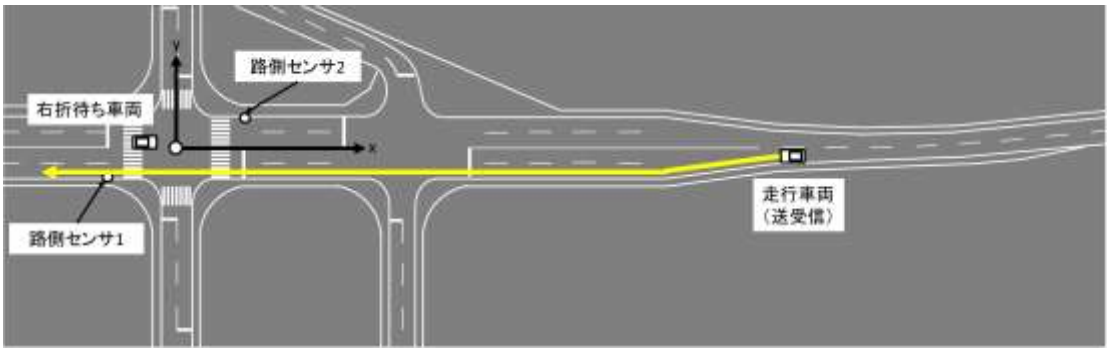


図 6.2.2①-1　通信性能・処理時間評価実験

② UC 狭 1 実験

本実験では、自車両センサでは検知できない対向直進車の情報を支援するためことを目的とし、交差点に設置された路側センサ 1（360° LiDAR①）と路側センサ 2（360° LiDAR②、長距離 LiDAR、ミリ波レーダ）による対向車の測位精度を評価するために表 6.2.2②-1 及び図 6.2.2②-1 に示すような試行を実施した。

本実験では、交差点中央から車線方向に 0～150m の範囲でデータ取得を行った。

表 6.2.2②-1　UC 狭 1 実験項目

ユースケース	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	備考
UC狭1-1-1	0	0	0	1台	抽出車: 速度40km/h、車線中央 対象エリア: 近傍エリア　x=0.0～53.5m、y=-7.0～0.0m 遠方エリア　x=0.0～150.0m、y=-7.0～0.0m

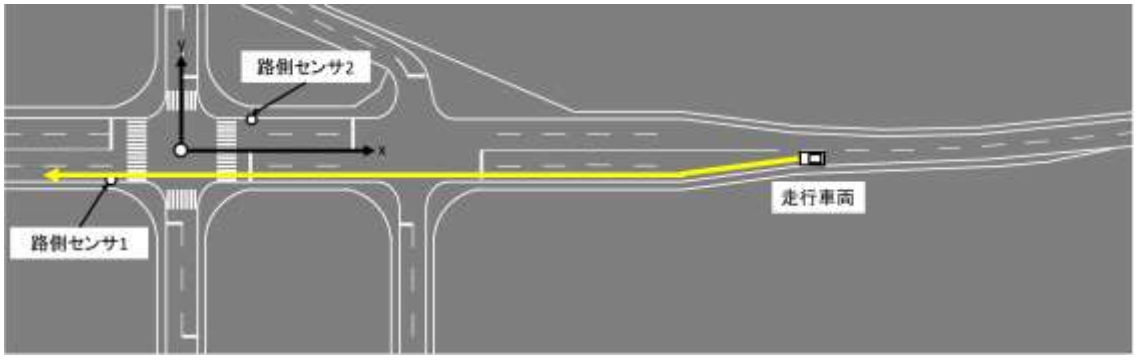


図 6.2.2②-1　UC 狭 1 実験

③ UC 狭 2 実験

本実験では、右折先状況（空きスペース等）の情報を支援することを目的とし、路側センサ 1 と路側センサ 2 に設置された 360° LiDAR による右折先の車両の測位精度を評価するために、表 6.2.2③-1、図 6.2.2③-1 及び図 6.2.2③-2 に示すような試行を実施した。

表 6.2.2③-1　UC 狭 2 実験項目

ユースケース	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	備考
UC狭2-1-1	0	0	1台	1台	支援車: 速度40km/h→徐行、停止線126m手前からスタートし、右折通過 抽出車: 停止（進入スペース中心に配置） 対象エリア: x=0.0～3.5m、y=-36.0～0.0m
UC狭2-2	0	0	1台	1台	支援車: UC狭2-1-1と同様 抽出車: 停止（進入スペースから5mに配置） 対象エリア: UC狭2-1-1と同様

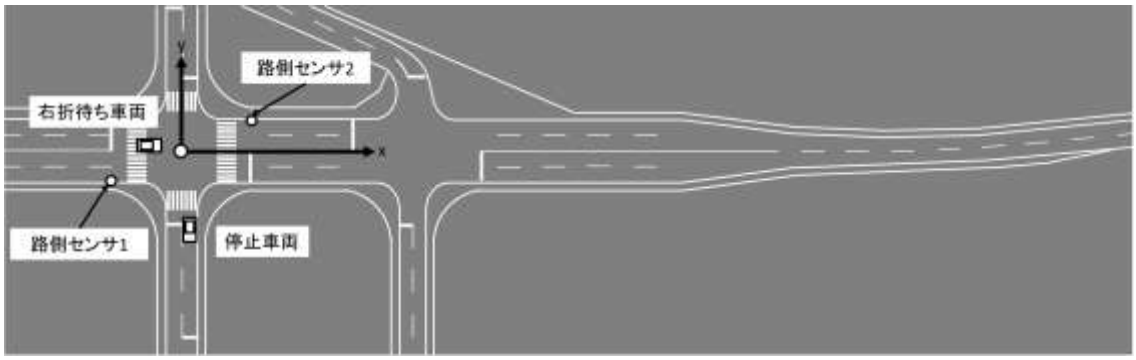


図 6.2.2③-1　UC 狭 2 実験（進入スペース内で停車）

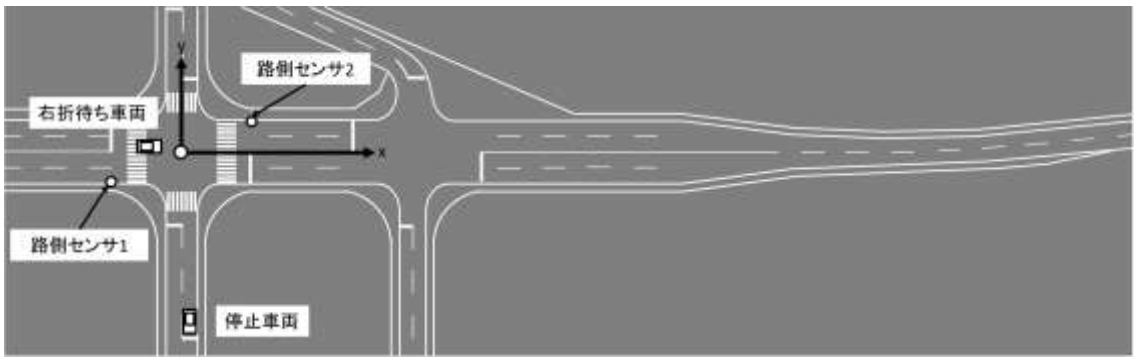


図 6.2.2③-2　UC 狭 2 実験（進入スペース外で停車）

① UC 狭 3 実験

本実験では、交差点の停止車両により隠蔽された横断歩道付近及び横断歩道へ接近する歩行者・自転車の情報を支援することを目的とし、路側センサ 1 と路側センサ 2 に設置された 360° LiDAR による歩行者・自転車の測位精度を評価するために、表 6.2.2④-1、図 6.2.2④-1～図 6.2.2③-2 に示すような試行を実施した。

表 6.2.2④-1 UC 狭 3 実験項目

ユースケース	抽出人	抽出自転車	支援車	抽出車	備考
UC狭3-1-0	1名	0	1台	1台	抽出人: 交差点から32mの地点から横断歩道を通過して停止、歩道中央を時速1m/hで歩行 支援車:UC狭2-1-1と同様 抽出車: 停止(遮蔽車両として白線に寄せ停車) 対象エリア: x=-3.5～35.5m、y=-13.0～-6.25m
UC狭3-1-1	0	1名	1台	1台	抽出自転車: 交差点から32mの地点から横断通過して停止、車道を時速15m/hで走行 支援車: UC狭2-1-1と同様 抽出車: UC狭3-1-0と同様 対象エリア: UC狭3-1-0と同様
UC狭3-1-2	1名	1名	1台	1台	抽出人: UC狭3-1-0と同様 抽出自転車: UC狭3-1-1と同様 支援車: UC狭2-1-1と同様 抽出車 UC狭3-1-0と同様 対象エリア: UC狭3-1-0と同様

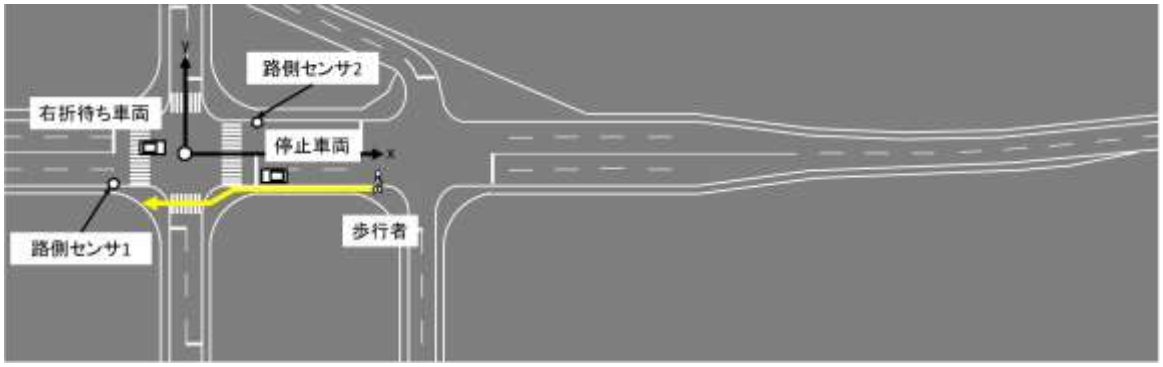


図 6.2.2④-1　UC 狭 3 実験（歩行者 1 名）

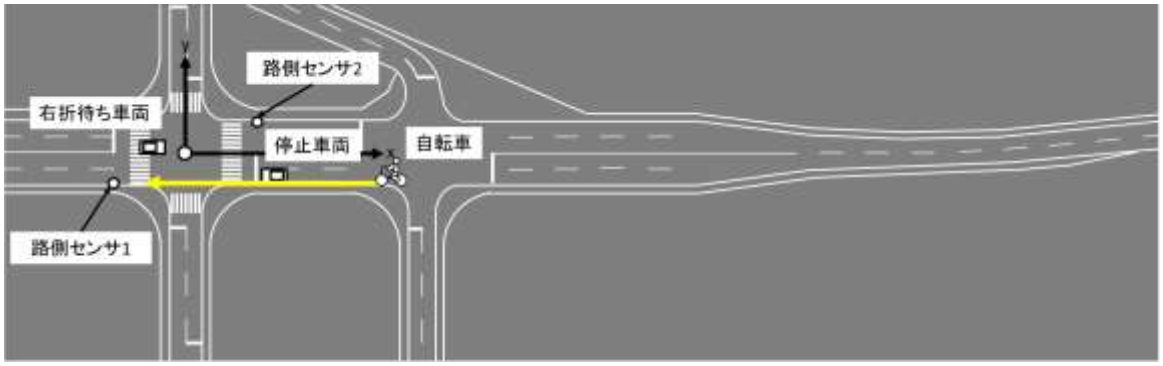


図 6.2.2④-2　UC 狭 3 実験（自転車 1 名）

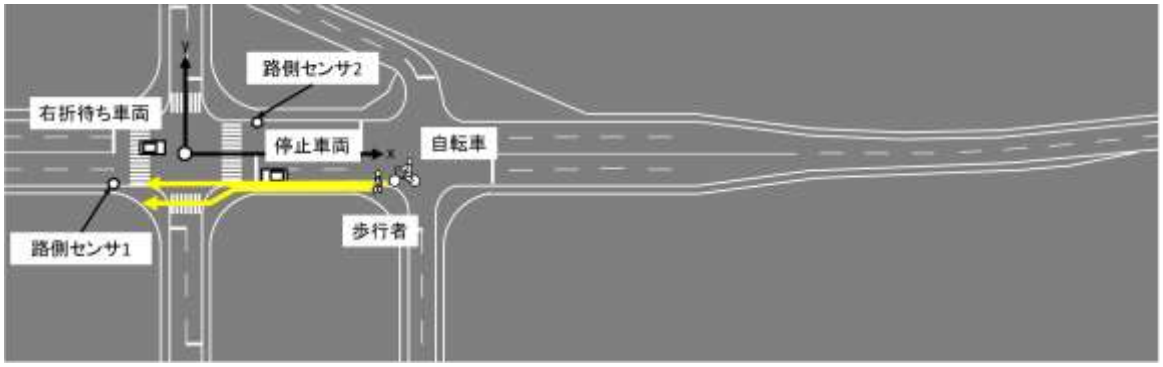


図 6.2.2④-3　UC 狭 3 実験（歩行者 1 名、自転車 1 名）

6.2.3. 実証結果

6.2.2 項の通信性能評価実験及び各ユースケース評価実験の実験結果について示す。

① 通信性能評価実験結果

図 6.2.3①-1 から図 6.2.3②-5 に、狭域通信機として DSRC 無線機を用いた場合の収集（路車間、路路間）及び配信の通信性能評価結果（PER-距離（走行車両の車頭位置 x）特性及び通信遅延時間 CDF 特性）を示す。なお、収集（路路間）に関するパケットエラーは検出されなかった。

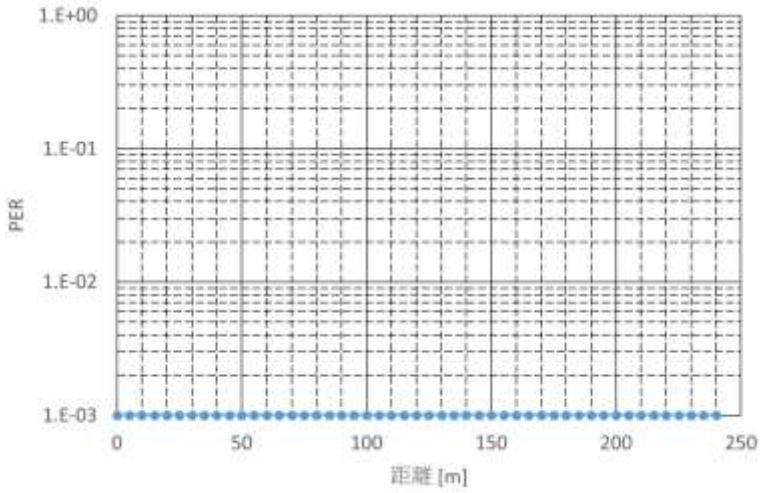


図 6.2.3①-1　PER-距離特性（DSRC：収集-路車間）

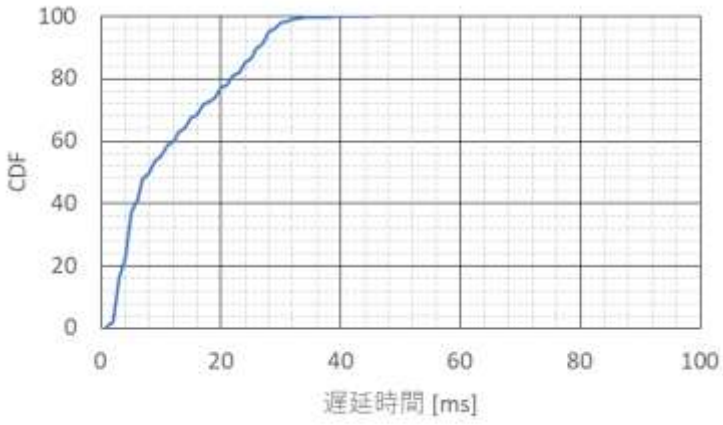


図 6.2.3①-2　通信遅延時間 CDF 特性（DSRC：収集-路車間）

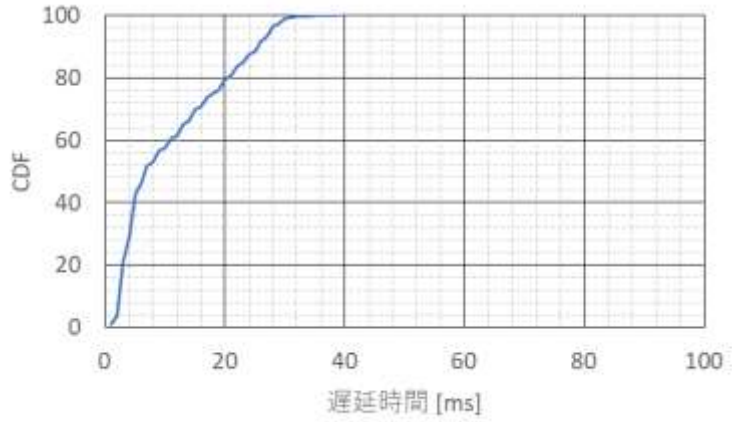


図 6.2.3①-3　通信遅延時間 CDF 特性（DSRC：収集-路路間）

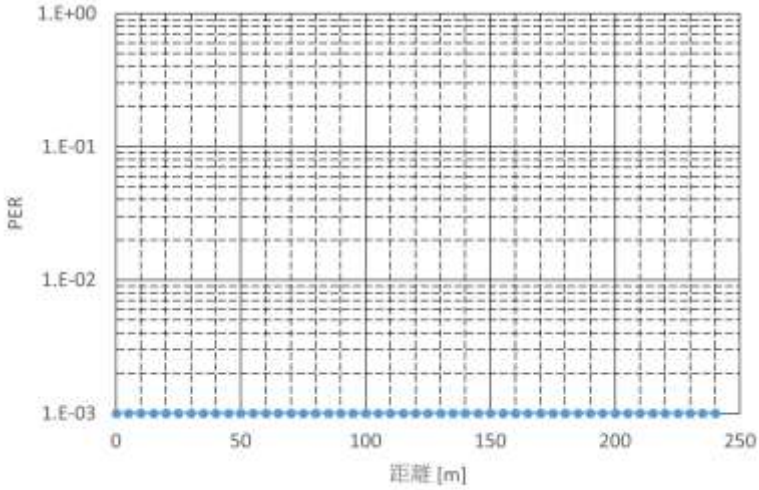


図 6.2.3①-4　PER-距離特性（DSRC：配信）

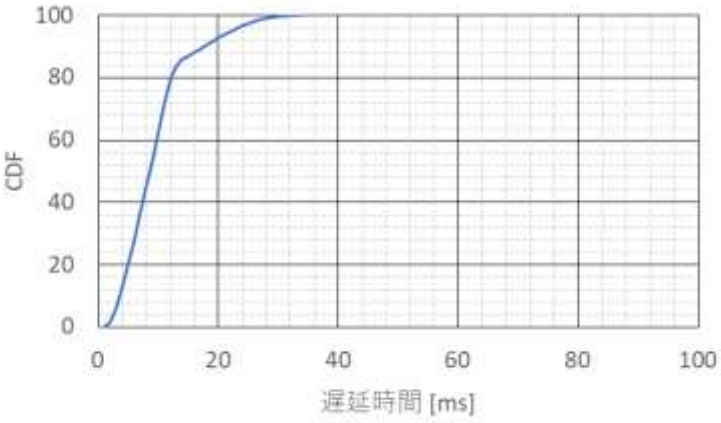


図 6.2.3①-5　通信遅延時間 CDF 特性（DSRC：配信）

図 6.2.3①-6 から図 6.2.3②-10 に、狭域通信機としてセルラ（直接通信）無線機を用いた場合の収集（路車間、路路間）及び配信の通信性能評価結果（PER-距離（走行車両の車頭位置 x）特性及び通信遅延時間 CDF 特性）を示す。なお、収集（路路間）に関するパケットエラーは検出されなかった。

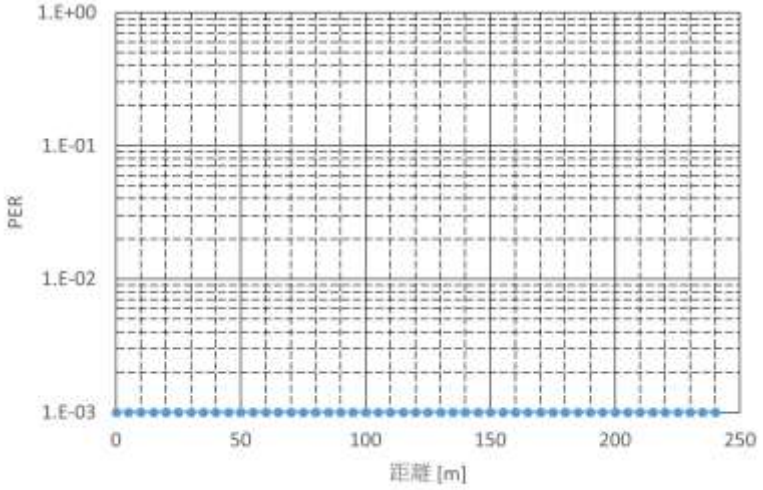


図 6.2.3①-6　PER-距離特性（セルラ（直接通信）：収集-路車間）

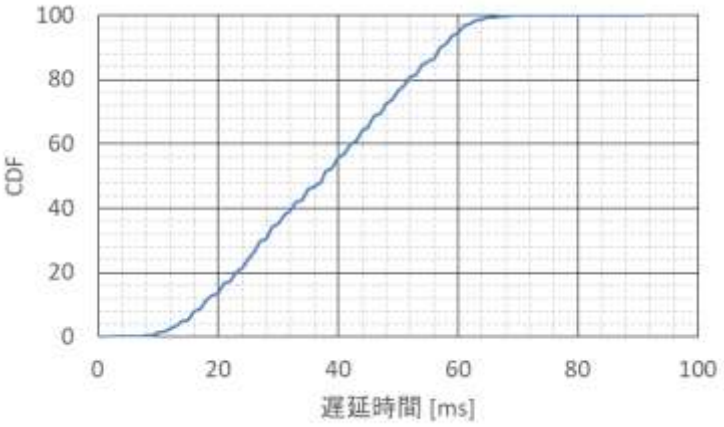


図 6.2.3①-7　通信遅延時間 CDF 特性（セルラ（直接通信）：収集-路車間）

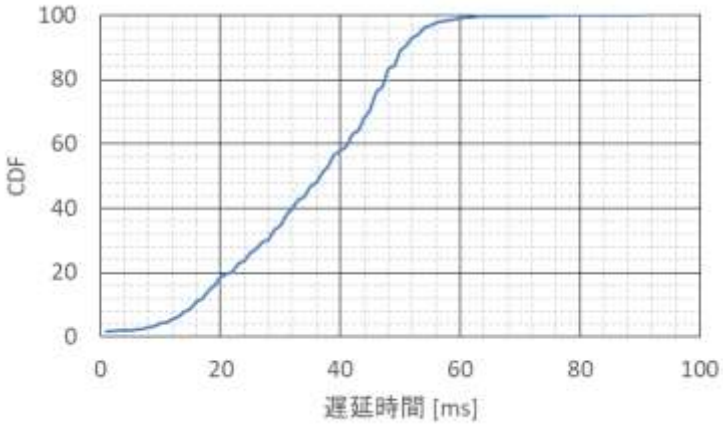


図 6.2.3①-8　通信遅延時間 CDF 特性（セルラ（直接通信）：収集-路路間）

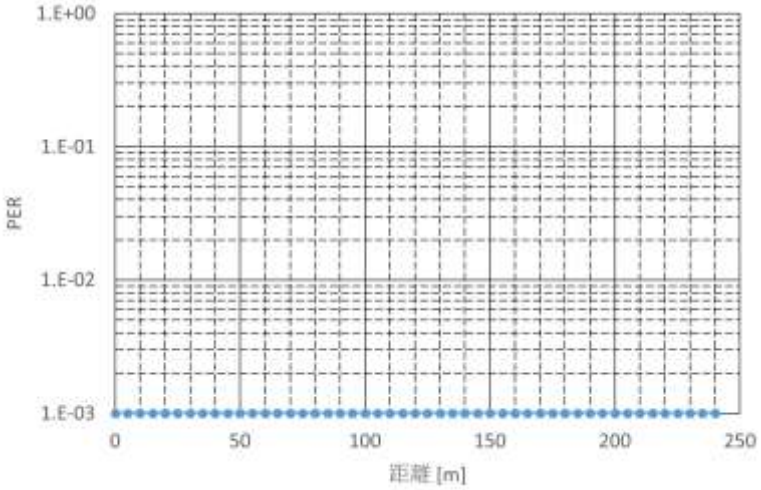


図 6.2.3①-9　PER-距離特性（セルラ（直接通信）：配信）

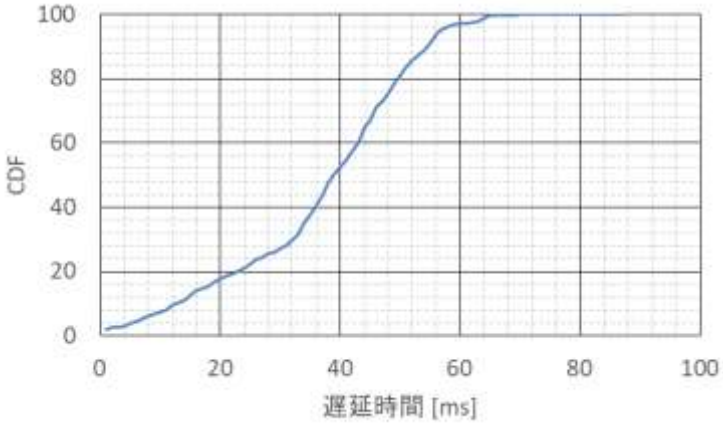


図 6.2.3①-10　通信遅延時間 CDF 特性（セルラ（直接通信）：配信）

表 6.2.3①-1 に、狭域通信機として DSRC 無線機、セルラ（直接通信）無線機を用いた場合の通信性能評価結果をまとめる。テストコースにおいて送信する車載機が 2 台のみという環境・条件の実験ではあるが、目標パケット到達率を PER<1E-2 とすると、収集（路車間）の通信距離は UC 狭 1 の目標検知距離 150m 以上、配信の通信距離は目標配信距離 126m 以上となることを確認した。

また、セルラ（直接通信）が DSRC と比べて 30ms 前後の増加の傾向にあるものの、両通信方式の収集及び配信の通信遅延時間は 100ms 以下となることを確認した。

表 6.2.3①-1　通信性能評価実験結果まとめ

通信方式	通信形態	通信距離 [m]	通信遅延 [ms]		
		PER<1E-2	平均	CDF95%	CDF99%
DSRC	収集(路車間)	240以上	13	28	32
	収集(路路間)		12	28	30
	配信	240以上	10	23	28
セルラ（直接通信）	収集(路車間)	240以上	38	61	65
	収集(路路間)		36	54	61
	配信	240以上	37	57	65

② UC 狭 1 実験結果

図 6.2.3②-1、表 6.2.3②-1 及び表 6.2.3②-2 に、それぞれ UC 狭 1-1-1 実験における抽出・統合結果例、センサ単体の評価結果及び統合時の評価結果を示す。本 UC において、全てのセンサ単体及び統合において、KPI(正解率 90%以上)を達成した。

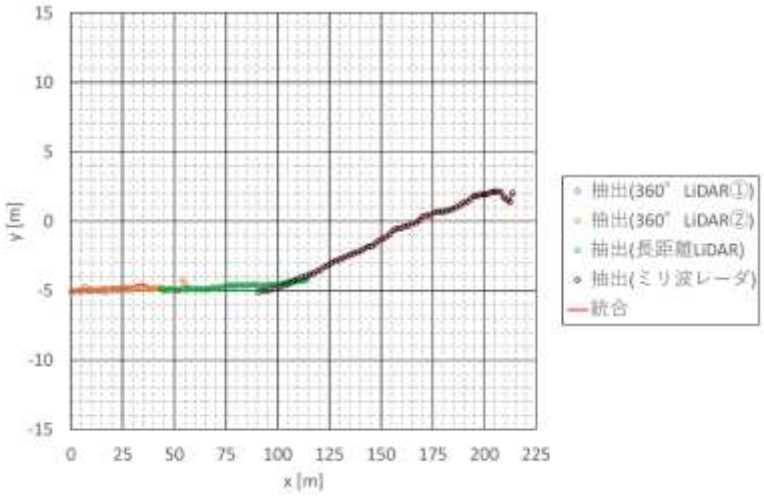


図 6.2.3②-1　センサ単体の抽出・統合結果例（UC 狭 1-1-1）

表 6.2.3②-1　センサ単体の評価結果（UC 狭 1-1-1）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(x)方向)				位置誤差(左右(y)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 1-1-1	360° LiDAR①	x:0~25 y:-7~0	車両	71	1.05	0.53	1.66	100.0	0.09	0.05	0.15	100.0
	360° LiDAR②	x:0~54 y:-7~0		151	0.49	0.34	0.90	100.0	0.15	0.10	0.27	100.0
	長距離 LiDAR	x:43~115 y:-7~0		193	0.68	0.35	1.17	100.0	0.27	0.14	0.46	100.0
	ミリ波レーダ	x:90~150 y:-7~0		162	2.26	0.41	2.80	100.0	0.23	0.22	0.62	100.0

表 6.2.3②-2　統合時の評価結果（UC 狭 1-1-1）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(x)方向)				位置誤差(左右(y)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 1-1-1	統合（構成は表6.2.3.②-1参照）	近傍 x:0~53.5 y:-7~0	車両	149	0.97	0.75	1.88	100.0	0.19	0.03	0.43	100.0
		遠方 x:0~150 y:-7~0		408	1.28	0.61	2.18	100.0	0.23	0.03	0.49	100.0

③ UC 狭 2 実験結果

表 6.2.3③-1 から表 6.2.3③-4 に、UC 狭 2-1-1 実験、UC 狭 2-2 実験における各センサ単体の評価結果及び統合時の評価結果のまとめを示す。本 UC において、全てのセンサ単体及び統合において、KPI（正解率 90%以上）を達成した。

表 6.2.3③-1　センサ単体の評価結果（UC 狭 2-1-1）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(y)方向)				位置誤差(左右(x)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 2-1-1	360° LiDAR①	x:0~3.5 y:-36~-7	車両	2576	0.03	0.03	0.06	99.9	0.11	0.06	0.17	99.9
	360° LiDAR②	x:0~3.5 y:-28~-7		2576	0.06	0.05	0.11	99.9	0.30	0.04	0.34	99.9

表 6.2.3③-2　統合時の評価結果（UC 狭 2-1-1）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(y)方向)				位置誤差(左右(x)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 2-1-1	統合（構成は表6.2.3.③-1参照）	x:0~3.5 y:-36~0	車両	2517	0.03	0.00	0.05	100.0	0.10	0.00	0.13	100.0

表 6.2.3③-3　センサ単体の評価結果（UC 狭 2-2）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(y)方向)				位置誤差(左右(x)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 2-1-2	360° LiDAR①	x:0~3.5 y:-36~-7	車両	2446	0.09	0.04	0.14	99.7	0.30	0.05	0.34	99.7

表 6.2.3③-4　統合時の評価結果（UC 狭 2-2）

シナリオ	センサ	検知範囲[m]	抽出対象	母数[個]	位置誤差(前後(y)方向)				位置誤差(左右(x)方向)			
					平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]	平均[m]	標準偏差[m]	CDF 90%[m]	正解率[%]
UC狭 2-1-2	統合（構成は表6.2.3.③-3参照）	x:0~3.5 y:-36~0	車両	2380	0.36	0.47	1.75	99.9	0.18	0.31	0.43	99.4

④ UC 狭 3 実験結果

表 6.2.3④-1、及び表 6.2.3④-1 から表 6.2.3④-8 に、それぞれ UC 狭 3 実験における抽出・統合結果例、及び UC 狭 3-1-0 実験から UC 狭 3-1-2 実験における各センサ単体の評価結果及び統合時の評価結果のまとめを示す。本 UC において、全てのセンサ単体及び統合において、KPI（正解率 90%以上）を達成した。

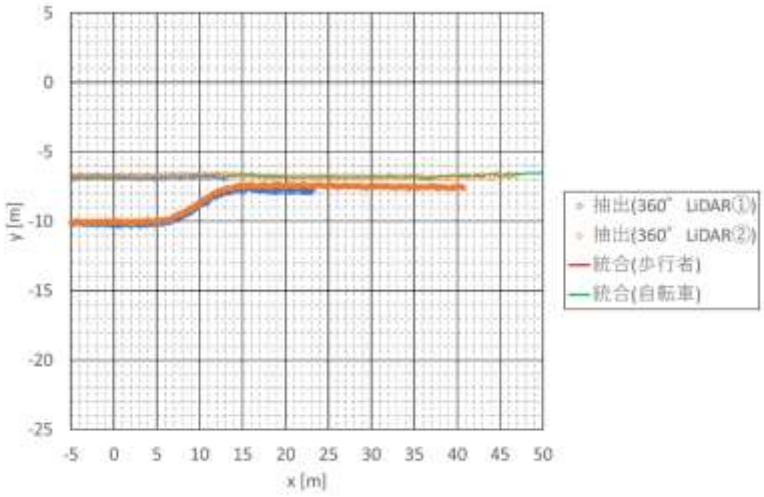


図 6.2.3④ -1　センサ単体の抽出・統合結果例（UC 狭 3-1-2）

表 6.2.3④ -1　各センサ単体の評価結果（UC 狭 3-1-0、歩行者）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-0	360° LiDAR①	x:-3.5~14 y:-13~-6.25	歩行者	472	0.13	0.05	0.20	100.0
	360° LiDAR②	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25		1127	0.12	0.06	0.20	100.0

表 6.2.3④-2　統合時の評価結果（UC 狭 3-1-0、歩行者）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-0	統合（構成は表6.2.3.④-1参照）	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25	歩行者	1123	0.12	0.00	0.20	100.0

表 6.2.3④-3　各センサ単体の評価結果（UC 狭 3-1-1、自転車）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-1	360° LiDAR①	x:-3.5~14 y:-13~-6.25	自転車	96	1.34	0.20	1.64	100.0
	360° LiDAR②	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25		212	0.91	0.17	1.13	100.0

表 6.2.3④-4　統合時の評価結果（UC 狭 3-1-1、自転車）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-1	統合 （構成は表6.2.3.④-3参照）	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25	自転車	212	0.93	0.04	1.13	100.0

表 6.2.3④-5　各センサ単体の評価結果（UC 狭 3-1-2、歩行者）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-2	360° LiDAR①	x:-3.5~14 y:-13~-6.25	歩行者	257	0.40	0.07	0.50	100.0
	360° LiDAR②	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25		587	0.21	0.06	0.30	100.0

表 6.2.3④-6　統合時の評価結果（UC 狭 3-1-2、歩行者）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-2	統合 （構成は表6.2.3.④-5参照）	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25	歩行者	587	0.29	0.01	0.40	100.0

表 6.2.3④-7　各センサ単体の評価結果（UC 狭 3-1-2、自転車）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-2	360° LiDAR①	x:-3.5~14 y:-13~-6.25	自転車	64	1.39	0.13	1.56	100.0
	360° LiDAR②	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25		141	0.75	0.12	0.91	100.0

表 6.2.3④-8　統合時の評価結果（UC 狭 3-1-2、自転車）

シナリオ	センサ	検知範囲 [m]	抽出対象	母数 [個]	位置誤差(直線距離)			
					平均 [m]	標準偏差 [m]	CDF 90% [m]	正解率 [%]
UC狭 3-1-2	統合 （構成は表6.2.3.④-7参照）	x:-3.5~35.5 y:-13~-6.25	自転車	141	0.96	0.10	1.38	100.0

⑤ 処理時間結果（抽出・統合）

表 6.2.3⑤-1 に、上記 6.2.3②から④の各ユースケース実験時の抽出及び統合処理時間の評価結果のまとめを示す。

表 6.2.3⑤ -1　抽出及び統合処理時間の評価結果

シナリオ	処理時間[ms]					
	抽出			統合		
	平均	CDF 95%	CDF 99%	平均	CDF 95%	CDF 99%
UC狭 1-1-1	50	59	69	46	97	102
UC狭 2-1-1	51	60	68	51	96	100
UC狭 2-2	50	57	67	51	94	100
UC狭 3-1-0	49	54	60	49	96	101
UC狭 3-1-1	51	57	60	56	95	100
UC狭 3-1-2	51	56	59	54	97	101

6.3. 総合検証

本検証では、一般道の交差点（青梅一丁目交差点）に設置した路側センサによって周辺の車両や歩行者、自転車を検知したした結果を、DSRC の無線通信によって右折待ち等の交差点周辺の車両に伝える際や、5G 通信を用いて隣の交差点等の離れたところを走行する車両に伝える際の通信データを取得した。

6.3.1. 実証環境の構築

① 実験場所

本実験は、2021 年 1 月 25 日～26 日に江東区青海一丁目交差点周辺にて実施した（図 6.3.1①-1）。



図 6.3.1①-1 「青海一丁目交差点」

② 道路条件

図 6.3.1②-1 に、本実験を行った道路条件を示す。道路は片側３車線で構成されており、中央分離帯側の車線は、停止車線から約 30m の地点で右折専用レーンとなっている。路側センサ及び狭域サーバ・狭域通信機器は、停止線横の歩道に設置した。

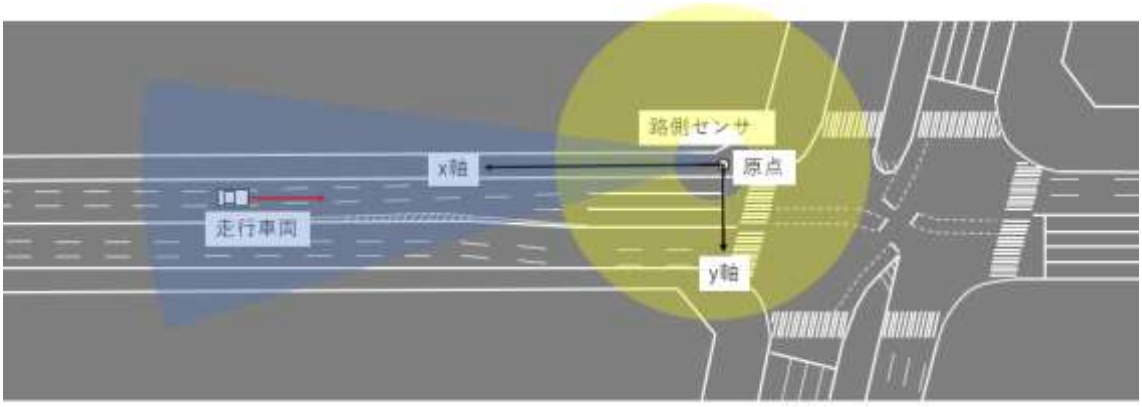


図 6.3.1②-1 道路条件(青海一丁目交差点)

③ 実験機器構成

本実験の機器構成を図 6.3.1①-1 に示す。本実験では、6.2 節の表 6.2.1③-1 に示す路側センサ 2（ミリ波レーダ除く）による交差点周辺の車両検知と、DSRC 通信機を用いて走行車両と路車間通信（アップリンク、ダウンリンク）を行う状態で実施した。

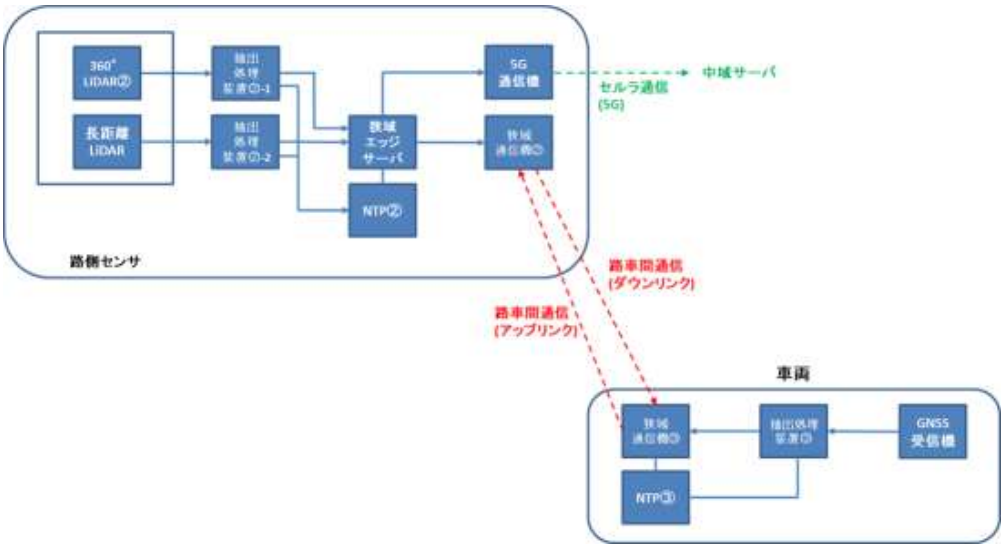


図 6.3.1③-1 実験機器構成（総合検証）

④ 設置条件

図 6.3.1④-1 に、本実験の機器設置を示す。本実験では、試験車両が走行する道路脇の歩道に三脚を設置して、路側センサ及び狭域通信機を設置した。路側センサは、表 6.3.1④-1 に示す高さに設置した。



図 6.3.1④-1 路側センサの設置

表 6.3.1④-1 路側センサの設置位置（総合検証）

路側センサ	設置高[m]	備考
360° LiDAR②	1.69	設置高は、歩道上からの高さ
長距離LiDAR	1.35	

6.3.2. 実証の流れ

本実験で、狭域の検証実験としては、UC 狭 1 実験に相当する車両の走行実験と同じ手順で実施した。中域ネットワーク検証実験としては、4.2.2 項に沿って、通信実験を実施した。また、狭域通信機としては DSRC 無線機を用いた。

表 6.3.2-1 実験内容（総合検証）

日程	実施内容	天候
1月25日	・機器設置・調整 ・DSRC・5G通信テスト ・テスト走行による処理時間の事前確認	晴れ
1月26日	・機器設置・調整 ・通信性能・処理時間性能のデータ取得	晴れ

6.3.3. 実証結果

① 通信性能評価実験結果

表 6.3.3①-1 に、狭域通信機として DSRC 無線機を用いた場合の収集（路車間）及び配信の通信性能評価結果を示す。図 6.3.3①-1 及び図 6.3.3①-2 に、配信時の PER-距離特性及び通信遅延時間の CDF 特性結果を示す。

表 6.3.3①-1　通信性能評価実験結果まとめ

通信方式	通信形態	通信距離 [m]	通信遅延 [ms]		
		PER<1E-2	平均	CDF95%	CDF99%
DSRC	収集(路車間)	300以上	11	29	31
	配信	240	10	22	28

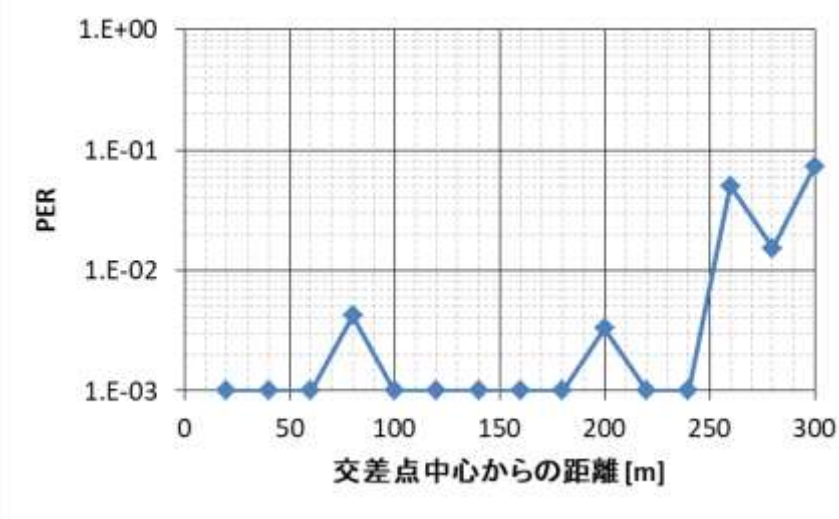


図 6.3.3①-1　PER-距離特性（DSRC：配信）

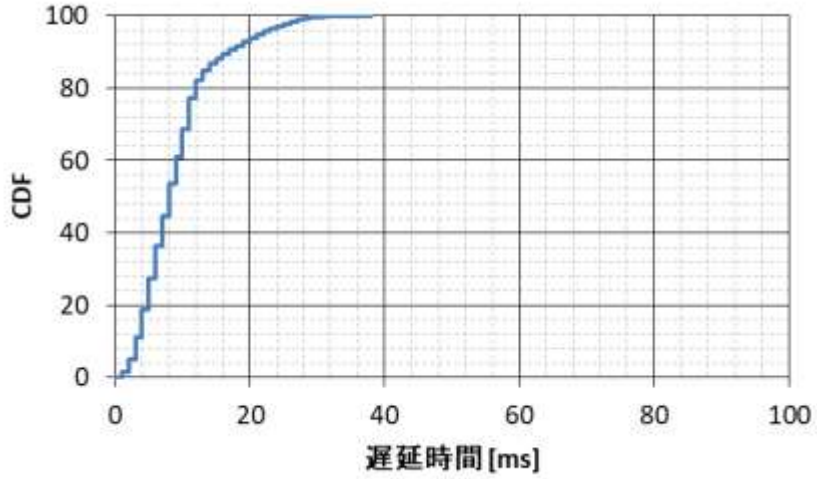


図 6.3.3①-4　通信遅延時間 CDF 特性（DSRC：配信）

6.4. シミュレーション検証

6.2 及び 6.3 の実証実験では、テストコース等において 1、2 台の普通車が搭載する車載機が送信を行う環境・条件で実施したものであり、実際の交差点のものと異なる。交差点角の建物や大型車の車体等の障害物により電波が遮蔽され受信電力が低下し、複数の車載機の送信により電波の干渉が発生する。本節では、これら実道路環境における通信時の電波の遮蔽や干渉の影響を考慮した通信シミュレーション評価系を構築し、通信性能評価を実施する。

6.4.1. 検証環境の構築（収集・配信）

本項では路側処理方式（DSRC・セルラ）の通信性能評価を行うために構築した通信シミュレーション評価系で採用したモデル、条件を示す。

① 交差点モデル

図 6.4.1①-1 に、本シミュレーション評価で用いる交差点モデルを示す。同図のように、本研究開発で対象とする 4×2 車線の交差点角に狭域エッジサーバと接続された路側機 A は、交差点対角に設置された路側機 B と路路間通信を行う。路側機 A 及び B に接続された路側センサは、UC 狭 1、2 及び 3 を対象とする共通シナリオに従い、共に同図に示す Area1 から 6 を走行する車両、及び交差点周辺の歩道上を移動する歩行者、自転車を検知し、統合した物標情報に関するメッセージを送信する。通信トラフィックの増加により通信性能は劣化する傾向にあり、通信評価の観点ではメッセージサイズが最大の場合を評価することが望ましいため、両路側センサは上記対象を全て検知できた場合のメッセージサイズを想定して評価する。

また、建物等による電波の遮蔽の影響が大きいほど、周辺の通信状況の把握が困難となり通信性能は劣化する傾向にある。従って、同図に示すように、交差点の 4 つの角には全て建物等が存在し、直交する車線を走行する車両間は見通し外（NLoS）となる状況が発生する条件で、本シミュレーション評価を実施することとする。

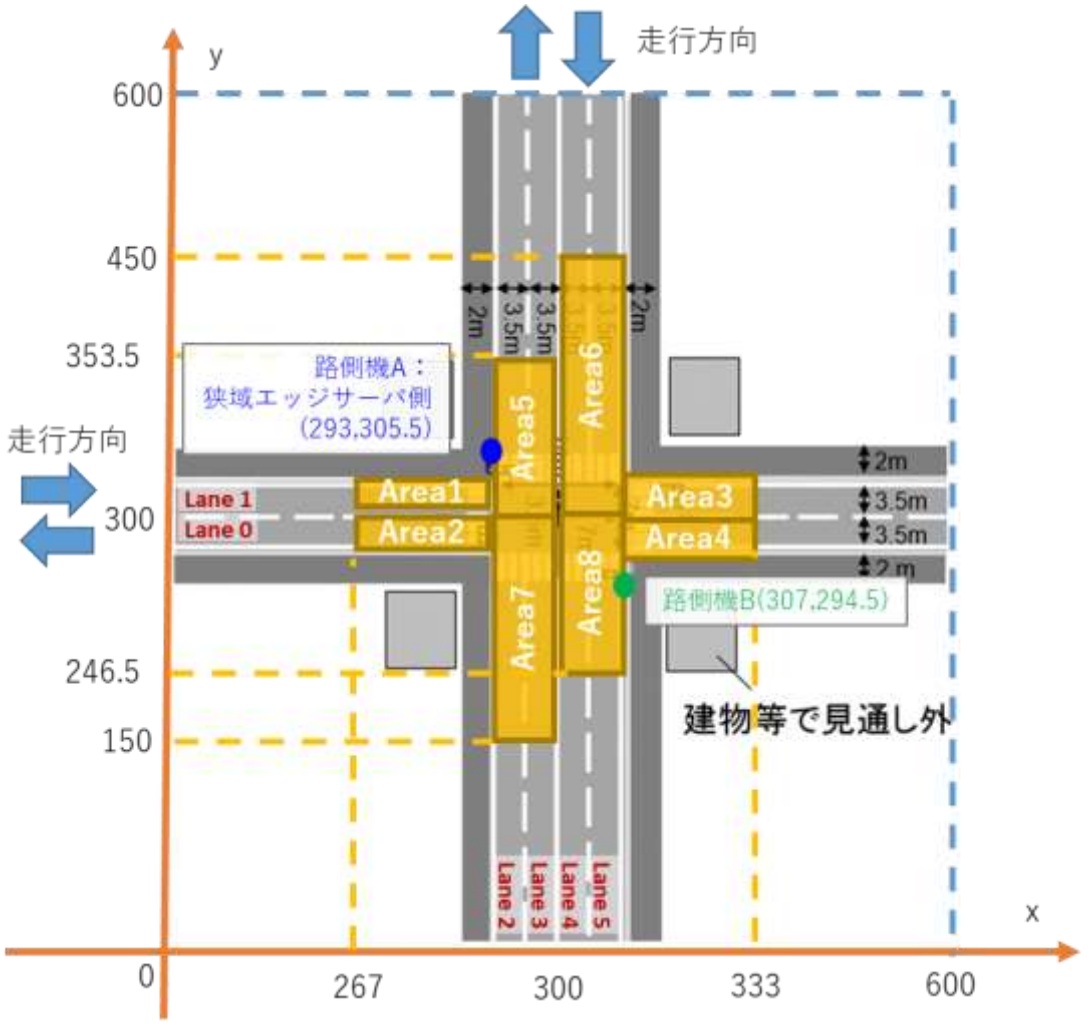


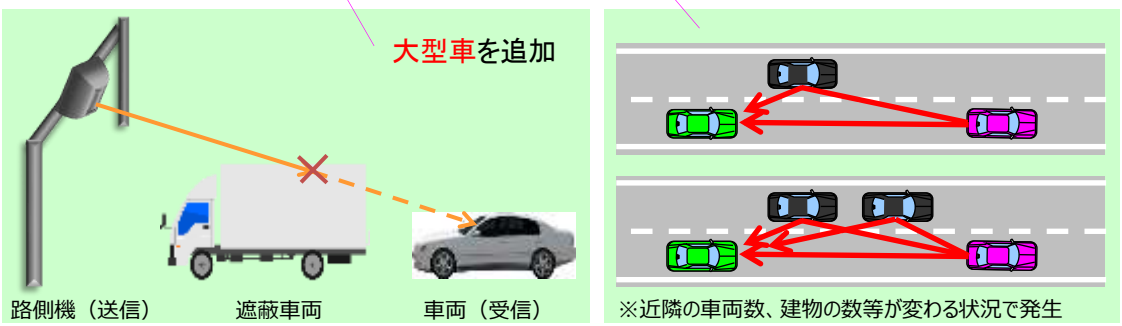
図 6.4.1①-1　交差点モデル

② 電波伝搬モデル

シミュレーションにおける実環境を想定した電波伝搬モデルを説明する。電波伝搬特性は、距離特性（パスロス）、シャドウイング、瞬時フェージング及び遮蔽損失で特徴付けられる。表 6.4.1②-1 に、本電波伝搬特性の分類を示す。同表の距離特性（パスロス）、シャドウイング、瞬時フェージング及び遮蔽損失に対して、それぞれモデルを適用し本シミュレーション評価を行う。

表 6.4.1②-1　電波伝搬特性の分類

分類	概要	検討モデル	備考
距離特性 （パスロス）	通信距離 による減衰	・ITU-R P.1411勧告 ストリートキャニオン モデル（LoS/NLoS）	・都市部環境を想定
シャドウイング	周辺環境の 変化による変動	・対数正規分布モデル ・標準偏差は、 3.36dB@5.9GHz、 4.57dB@700MHz	・URBAN-Hgh densityの パラメータを採用
瞬時 フェージング	通信シンボル 単位の変動	・ITS FORUMにおける 検討モデル、または 3GPP検討モデル	・都市部環境のパラメータ を採用
遮蔽損失	送受信間に 大型車が存在 する場合の減衰	・3GPP TR 38.901 Blockage model B を用いて設定 （隣接する大型車1台 の遮蔽に基づく固定 値）	・ナイフエッジ回折によるモ デル



(1) 距離特性（パスロス）

見通し内（LoS）及び交差点角の建物による見通し外（NLoS）環境の距離特性は、以下に示す ITU-R 勧告 P.1411 のストリートキャニオン環境下におけるパスロスモデルを使用する。

見通し内モデル

$$L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20\log_{10}\left(\dfrac{d}{R_{bp}}\right) & \text{for} \quad d \le R_{bp} \\ 40\log_{10}\left(\dfrac{d}{R_{bp}}\right) & \text{for} \quad d > R_{bp} \end{cases}$$

$$L_{bp} = \left| 20\log_{10}\left(\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2}\right)\right| \qquad R_{bp} \approx \frac{4h_1 h_2}{\lambda}$$

ここで、$L_{LoS,m}$ は伝搬損失[dB]、λ は波長[m]、h_1, h_2 は送受信のアンテナ高[m]、d はアンテナ間距離[m]である。

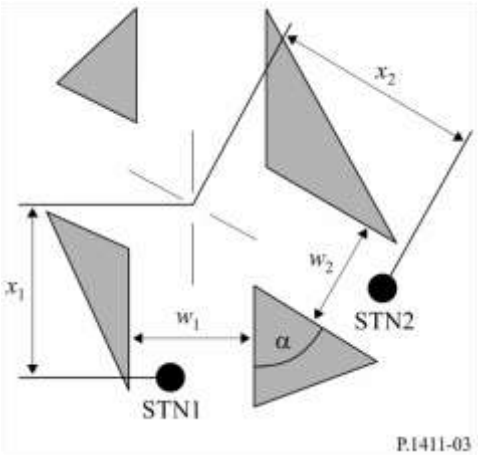
見通し外モデル

$$L_{NLoS2} = L_{LoS} + L_c + L_{att}$$

$$L_c = \begin{cases} \dfrac{L_{corner}}{\log_{10}(1+d_{corner})}\ \log_{10}(x_2 - w_1/2) & w_1/2+1 < x_2 \le w_1/2+1+d_{corner} \\ L_{corner} & x_2 > w_1/2+1+d_{corner} \end{cases}$$

$$L_{att} = \begin{cases} 10\beta\log_{10}\left(\dfrac{x_1+x_2}{x_1+w_1/2+d_{corner}}\right) & x_2 > w_1/2+1+d_{corner} \\ 0 & x_2 \le w_1/2+1+d_{corner} \end{cases}$$

Definition of parameters for the NLoS2 case



The relevant parameters for this situation are:

w_1: street width at the position of the Station 1 (m)

w_2: street width at the position of the Station 2 (m)

x_1: distance Station 1 to street crossing (m)

x_2: distance Station 2 to street crossing (m)

α: is the corner angle (rad).

(2) シャドウイング

マルチパスフェージング（短区間）による電力変動は、一般的に対数正規分布（標準偏差σ[dB]）で表現される。本シミュレーション評価においても対数正規分布の変動として反映する。参考文献「Path Loss Characterization for Vehicular Communications at 700 MHz and 5.9 GHz Under LOS and NLOS Conditions」における URBAN-High density のときの値を採用し、標準偏差σは 3.36dB@5.9GHz 帯及び 4.57dB@700MHz 帯とする。

(3) 瞬時フェージング

DSRC を評価する際は、ITS 情報通信システム推進会議 運転支援通信システム専門委員会 伝搬モデル検討合同連絡会の検討モデル（都市部、郊外、市街地）の内、表 6.4.1②-3 に示す最も厳しい都市部環境のモデルを評価では用いることとする。

表 6.4.1②-3　瞬時フェージングモデル（DSRC）

遅延量 [us]	相対電力 [dB]	ライスファクタ [dB]
0	0	9.85
0.1	-7.61	6.05
0.2	-12.78	4.97
0.3	-17.48	4.56
0.4	-19.33	4.24
0.5	-21.65	4.07
0.6	-21.71	4.06
0.7	-24.88	4.39
0.8	-28.48	4.03
0.9	-29.44	4.36
1.0	-30.49	6.39
1.1	-32.90	6.63
1.4	-32.92	7.27
1.7	-33.70	6.51

一方、セルラ（直接通信）を評価する際は、3GPP 規格（TS36.101 V14.14.0）でモデル化された Extended Vehicular A model（EVA）を用いることとする。

表 6.4.1②-4　瞬時フェージングモデル（セルラ（直接通信））

遅延量 [μs]	相対電力 [dB]
0.00	0.0
0.03	-1.5
0.15	-1.4
0.31	-3.6
0.37	-0.6
0.71	-9.1
1.09	-7.0
1.73	-12.0
2.51	-16.9

(4) 遮蔽損失

遮蔽損失は遮蔽車両の位置、遮蔽車両の台数等で変動する値である。本シミュレーション評価では、最近接の 1 台の大型車両による影響が支配的と考え、遮蔽損失の値は固定値として扱う。

国内の高速道路を想定した 5.8GHz 及び 700MHz 帯に対応する遮蔽損失による電力の減衰量は、測定結果の十分な報告はない。そのため、周波数をパラメータに待ち、測定時の周辺環境に依存しない幾何学(ナイフエッジ回折)モデルである「3GPP TR 38. 901 V14.3.0」の Blockage model B を用いて遮蔽損失を決定することとする。以下に算出式を示す。

$$L_{\mathrm{dB}} = -20\log_{10}\left(1-\left(F_{h_1}+F_{h_2}\right)\left(F_{w_1}+F_{w_2}\right)\right)$$

F_{h_1}、F_{h_2}、F_{w_1}及びF_{w_2}は次式で与えられる。

$$F_{h_1|h_2|w_1|w_2} = \frac{\tan^{-1}\left(\pm\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{\pi}{\lambda}\left(\mathrm{D1}_{h_1|h_2|w_1|w_2}-r'\right)}\right)}{\pi}$$

ここで、λは波長[m]である。また、で示すように、$D1_{h_1|h_2|w_1|w_2}$は、受信点と遮蔽物の 4 つ（上下左右）のエッジとの間の距離[m]、r'は、受信点と遮蔽物（送信点と受信点を結んだ線と遮蔽物との交点）との距離[m]である。

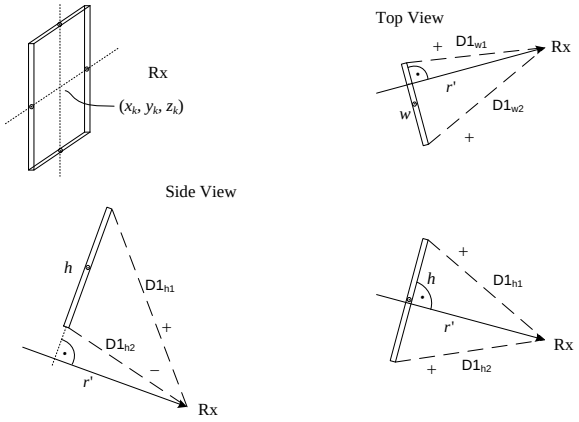


図 6.4.1②-1　遮蔽物と受信点間の幾何学的関係の図

表 6.4.1②-5、図 6.4.1②-2 にそれぞれ、遮蔽損失算出時のパラメータ、遮蔽物と送受信車両の位置関係を示す。同表のパラメータは、同図で示すように普通車(アンテナ高 1.6m)同士で送受信やキャリアセンス等により通信状況を把握する際に、大型車（車幅 2.5m×車高 4m）によって遮蔽をされた場合を想定した。図 6.4.1②-5 に、遮蔽損失の算出結果を示す。同図の通り、遮蔽損失は距離特性を持つ。しかし、最近接大型車の影響が支配的とし、同一車線上、40km/h、車間距離 1 秒の位置にいる大型車両による遮蔽損失を本検証では採用し、10dB@5.9GHz 帯とする（同様な計算により 4dB@700MHz 帯とする)。また、一般的には路車間通信における遮蔽損失は車車間通信に比べ小さい値となるが、路側機の設置条件の違いを許容するため、車車間通信と同じ値を適用する。

表 6.4.1②-5　遮蔽損失算出時のパラメータ

パラメータ			
大型車寸法 [m]		アンテナ高 [m]	周波数[GHz]
幅（w）	高さ（h）		
2.5	4	1.6	5.8 / 0.76

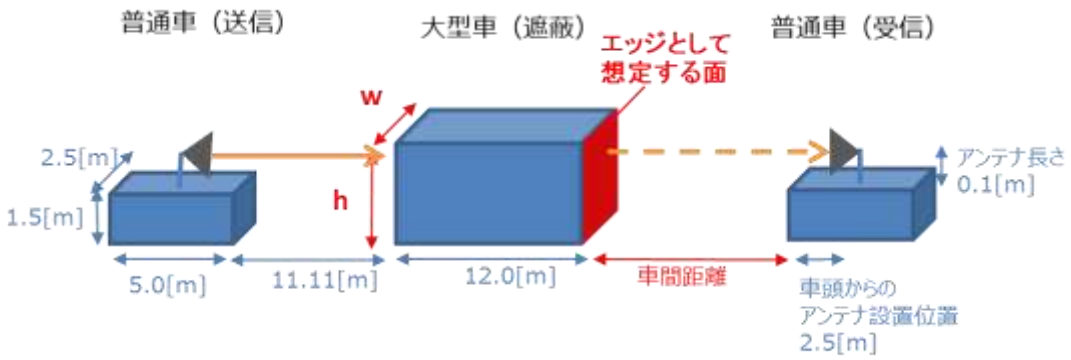


図 6.4.1②-3　遮蔽物と送受信車両の位置関係

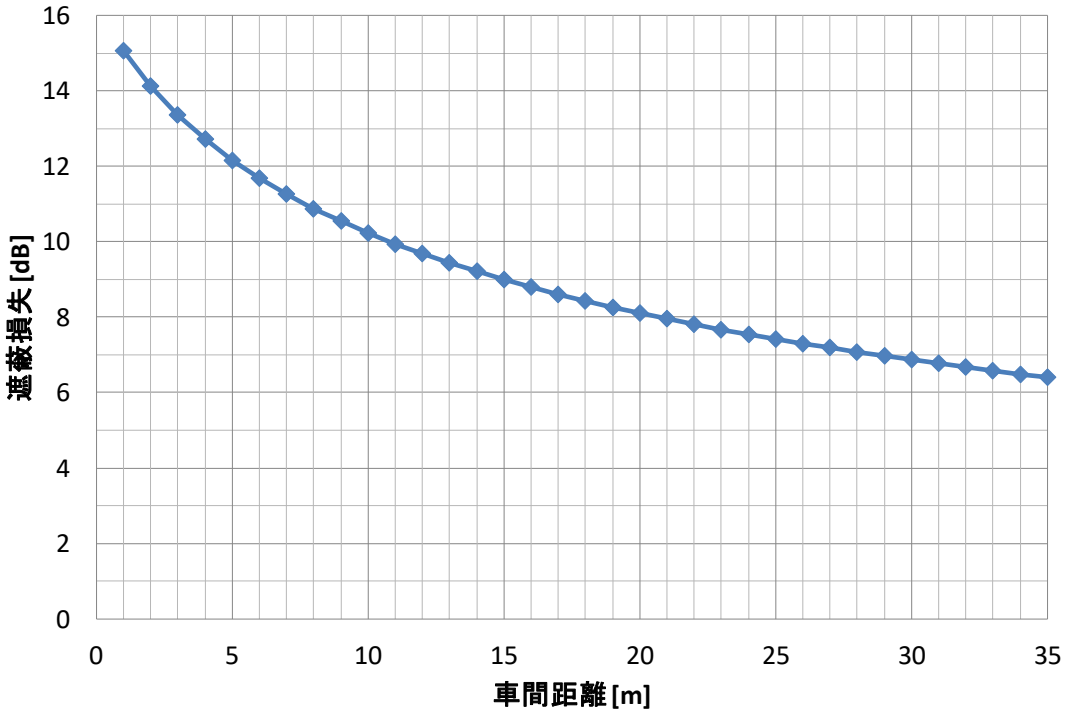


図 6.4.1②-4　遮蔽損失算出結果

6.4.2. 検証の流れ（収集・配信）

前項に示したシミュレーション評価系を用いて、評価対象の DSRC 及びセルラ（直接通信）を適用した場合の収集及び配信の通信性能を評価した。収集としては、検知対象エリア内に進入した車両が自律センサ情報をもとに自身の物標情報を狭域サーバへ送信する路車間通信（アップリンク）と、路側センサ・狭域サーバ間の路路間通信を想定した。通信性能としてはパケットエラー率（PER）及び通信遅延について評価した。

また、既存の通信方式として ARIB STD-T109 を適用した場合の評価も行い、DSRC 及びセルラ（直接通信）の通信性能と比較し、検討方式の効果検証を行った。

① シミュレーション評価条件

表 6.4.2①-1 に、各通信方式を適用した場合の評価条件を示す。DSRC 及びセルラ（直接通信）は、自動運転（自専道）通信活用ユースケース向け通信システムの実験用ガイドライン ITS FORUM RC-015 の内、ITS FORUM RC-005 参照方式及び LTE V2X 参照方式をもとにしているが、中心周波数は 5.8GHz 帯から 5.9GHz 帯に変更している。

表 6.4.2①-1　シミュレーション評価条件

a) DSRC：ITS FORUM RC-005 参照方式

項目		値
L1/L2 関連	中心周波数	5.9GHz
	空中線電力	10mW/MHz
	占有帯域幅	9MHz
	変調方式	QPSK/OFDM
	誤り訂正(符号化率)	畳み込み符号(0.5)
	ダイバーシチ	あり(最大比合成)
	雑音電力密度	-173.9dBm/Hz
	雑音指数	10dB
	固定劣化	5dB
	アンテナ利得	路側機:6dBi, 車載機:4dBi
	アンテナ指向性	路側機、車載機とも全方位無指向
	ケーブル・コネクタロス	路側機:0dB, 車載機:4dB
	MAC方式	CSMA/CA
	CWサイズ	63
	スロットタイム	13us
	キャリアセンス感度	プリアンブル:-85dBm、プリアンブル以外:-65dBm
	通信形態	ブロードキャスト
	連送回数	2回
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411(ストリートキャニオンモデル、LoS/NLoS)
	瞬時フェージング	ITS FORUMによる検討モデル
	シャドウイング	対数正規分布モデル(標準偏差:3.36dB): 3GPP TR36.885(A.1.4 channel model)による空間相関を考慮
	遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合:10dB
	アンテナ高	路側機:6.0m、車載機:1.6m(普通車), 4.1m(大型車)

b) セルラ（直接通信）：LTE V2X 参照方式

項目		値
L1/L2 関連	中心周波数	5.9GHz
	空中線電力	23-1.5 dBm
	システム帯域幅	10MHz
	変調方式	QPSK/SC-FDM
	誤り訂正(符号化率)	データ信号:ターボ符号(0.5)、制御信号:TBCC(0.1)
	ダイバーシチ	あり
	雑音電力密度	-173.9dBm/Hz
	雑音指数	10dB
	固定劣化	5dB
	アンテナ利得	路側機:6dBi, 車載機:4dBi
	アンテナ指向性	路側機、車載機とも全方位無指向
	ケーブル・コネクタロス	路側機:0dB, 車載機:4dB
	センシングウィンドウ	1000ms
	リソース選択ウィンドウ	50ms
	同期	GNSS
	通信形態	ブロードキャスト
	連送回数	2回
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411(ストリートキャニオンモデル、LoS/NLoS)
	瞬時フェージング	3GPPによる検討モデル
	シャドウイング	対数正規分布モデル(標準偏差:3.36dB): 3GPP TR36.885(A.1.4 channel model)による空間相関を考慮
	遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合:10dB
	アンテナ高	路側機:6.0m、車載機:1.6m(普通車), 4.1m(大型車)

c) ARIB STD-T109

項目		値
L1/L2関連	中心周波数	760MHz
	空中線電力	10mW/MHz
	占有帯域幅	9MHz
	変調方式	QPSK/OFDM
	誤り訂正(符号化率)	畳み込み符号(0.5)
	ダイバーシチ	あり(最大比合成)
	雑音電力密度	-173.9dBm/Hz
	雑音指数	10dB
	固定劣化	5dB
	アンテナ利得	路側機:0dBi, 車載機:4dBi
	アンテナ指向性	路側機、車載機とも全方位無指向
	ケーブル・コネクタロス	路側機:0dB, 車載機:4dB
	MAC方式	CSMA/CA
	CWサイズ	63
	スロットタイム	13us
	キャリアセンス感度	プリアンブル:-85dBm、プリアンブル以外:-65dBm
	通信形態	ブロードキャスト
	連送回数	1回(連送なし)
電波伝搬	パスロス	ITU-R P.1411(ストリートキャニオンモデル、LoS/NLoS)
	瞬時フェージング	ITS FORUMによる検討モデル
	シャドウイング	対数正規分布モデル(標準偏差:4.57dB): 3GPP TR36.885(A.1.4 channel model)による空間相関を考慮
	遮蔽損失	送受信間に大型車が存在する場合:4dB
	アンテナ高	路側機:6.0m、車載機:1.6m(普通車), 4.1m(大型車)

表 6.4.2①-2 に、本研究開発の通信方式の検証において共通とする交通量ピーク時想定の交通条件を示す。本シミュレーション評価では、同表のピーク時想定の条件を基本として、検知対象エリア内の交通量、すなわち通信トラフィックが増減した場合の通信性能の変化を評価する。表 6.4.2①-3 に、本シミュレーション評価における通信トラフィック条件を示す。収集及び配信による通信トラックとして、以下に示すパターンを評価することとする。なお、車両及び路側機のメッセージサイズは共通 IF 仕様のうち必須のものを送信する場合を想定して設定した。

表 6.4.2①-2　ピーク時想定の交通条件

項目	値
検知対象エリア内の車両数	32台
検知対象エリア内の歩行者数	8人
検知対象エリア内の自転車数	4名

表 6.4.2①-3 通信トラフィック条件

項目		値	備考
メッセージ更新周期		100ms	車載機は検知対象エリア内でのみ送信
車載機のメッセージサイズ		55バイト	共通IF仕様のうち必須のみ想定
評価パターン		値	備考
①	検知対象エリア内の車両数	32	ピーク時想定
	同歩行者数	8	
	同自転車数	4	
	路側機のメッセージサイズ	2000バイト	
②	検知対象エリア内の車両数	16	ピーク時の1/2倍
	同歩行者数	4	
	同自転車数	2	
	路側機のメッセージサイズ	1000バイト	
③	検知対象エリア内の車両数	64	ピーク時の2倍
	同歩行者数	16	
	同自転車数	8	
	路側機のメッセージサイズ	4000バイト	
④	検知対象エリア内の車両数	96	ピーク時の3倍 （限界性能評価相当）
	同歩行者数	24	
	同自転車数	12	
	路側機のメッセージサイズ	6000バイト	

② 収集・配信制御方式の検討及び評価

検討対象の DSRC およびセルラ（直接通信）では配信時の通信形態としてブロードキャストを想定しており、配信先のエリアに応じた情報を限定する等の配信制御は適用できないため、検知対象である車両が自律センサ情報をもとにした自身の物標情報を狭域エッジサーバに送信する路車間通信（アップリンク）と路側センサ - 狭域エッジサーバ間の路路間通信、配信の路車間通信（ダウンリンク）が混在する際の収集・配信制御について検討を行った。

これら通信では、交差点角の建物や大型車による電波の遮蔽により、他の無線機の通信状況が把握できず、パケット衝突が増加するケースが発生する。この問題を解決する収集・配信制御として、路側機と車載機の送信タイミングを時分割し、かつ車載機の送信タイミングを走行車線や交差点までの距離により定めるエリア毎に時分割する方式を検討し、シミュレーション評価により効果検証を行った。

図 6.4.2②-1 に、検討した収集・配信制御による送信タイミングの時分割例を示す。同図は、収集、配信ともに送信周期（データ更新周期）が 100ms の場合の時分割例であり、路側機 A、B 及び Area 1 から Area 8 の車載機は、同図の青色部分のタイミングで送信を試みる。車載機は自律センサにより自身の走行車線を、配信情報に含まれる路側機位置により交差点中心からの距離を把握することで、自身の走行エリアを判定するものとする。

図 6.4.1①-2 に示すように、従来方式の ARIB STD-T109 に対しては、車車間・路車間共用通信制御情報層（IVC-RVC 層）における通信制御を適用し、路側機と車載機の送信タイミングを時分割した場合の通信性能評価を行う。

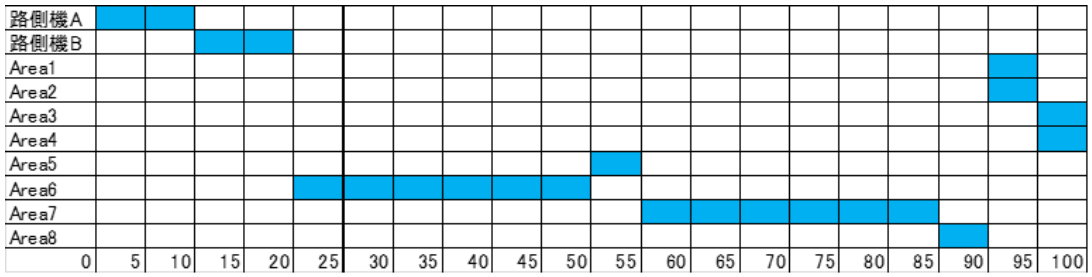


図 6.4.2②-1 検討方式（収集・配信制御）による送信タイミングの時分割例
（青色部分が送信タイミング）

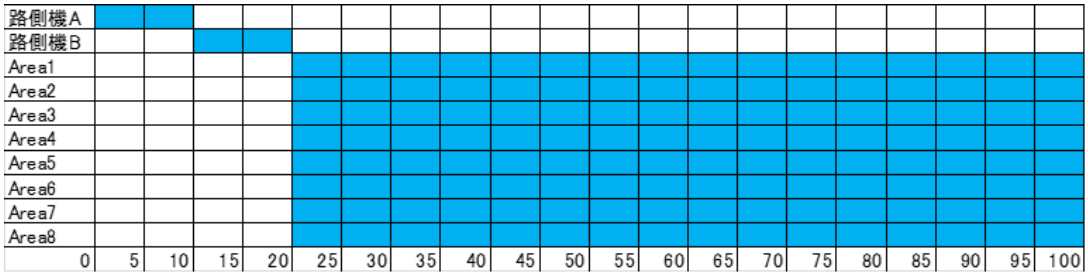


図 6.4.2②-2　ARIB STD-T109（）における送信タイミングの時分割例
（青色部分が送信タイミング）

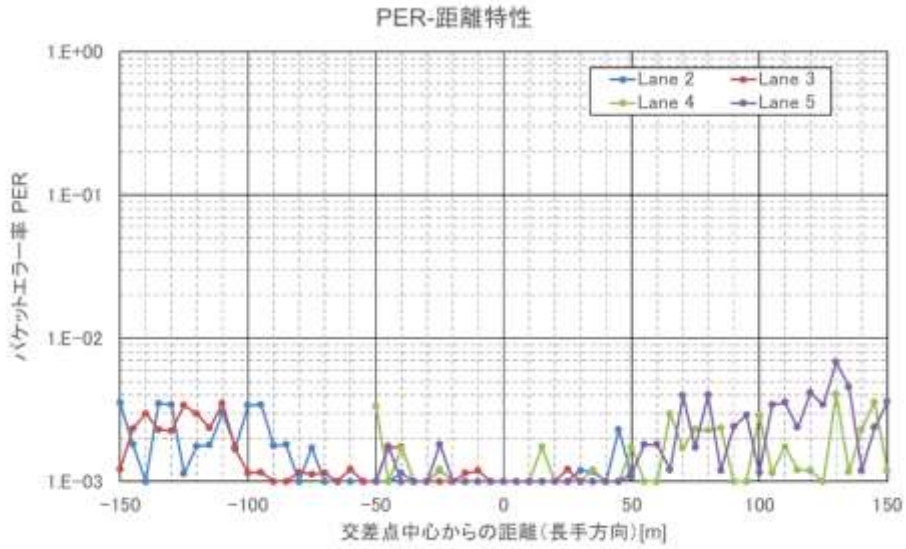
6.4.3. 検証結果（収集・配信）

本項では、前節までに示した評価系を用いたシミュレーション評価結果を示す。

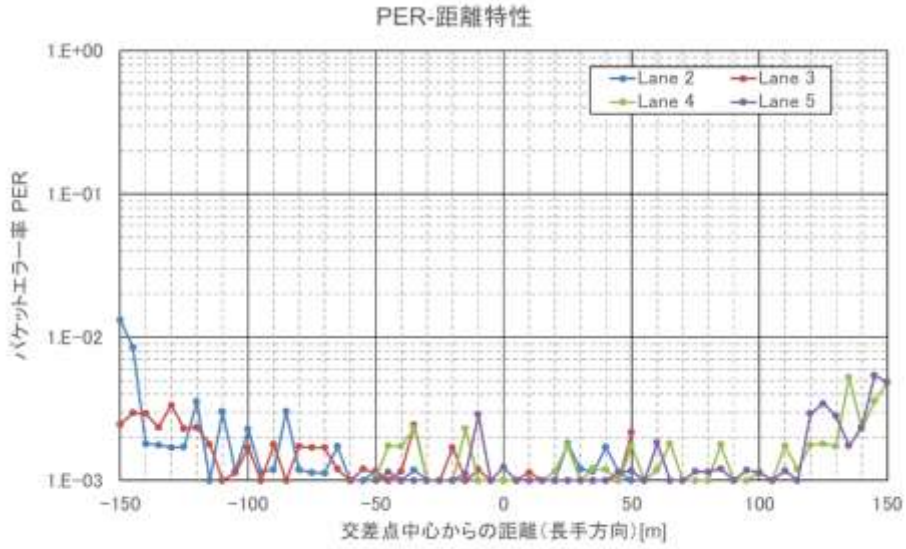
① ピーク時想定（収集・配信制御は適用せず）

図 6.4.3①-1 から図 6.4.3①-3 に、表 6.4.2①-3 の評価パターン①(ピーク時想定)に対して、DSRC:ITS FORUM 参照方式、セルラ(直接通信):LTE V2X 参照方式、及び従来方式:ARIB STD-T109 方式を適用した場合のシミュレーション評価結果として、PER-距離特性を示す。横軸の距離は、交差点中心から車両までの距離(長手方向)としている。

通信エリア内におけるパケットエラー率(PER)が 1E-2 以下(パケット到達率が 99%以上)となることを目標通信性能とした場合、図 6.4.3①-1 から図 6.4.3①-3 より、検討の収集・配信制御を適用することなく 3 方式ともに目標通信性能を達成することが分かる（収集：路車間及び配信の通信エリアは、それぞれ交差点中心から 150m 及び停止線から 126m)。



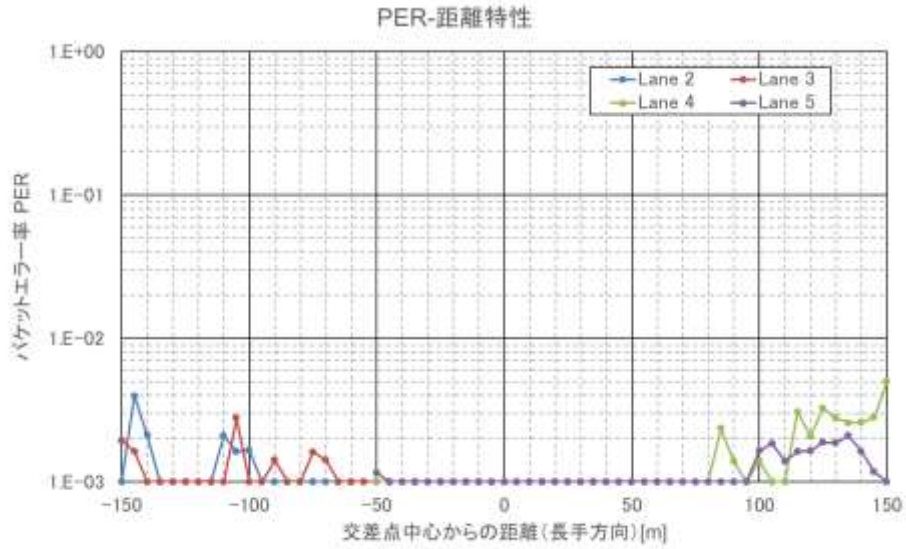
a)　収集：路車間



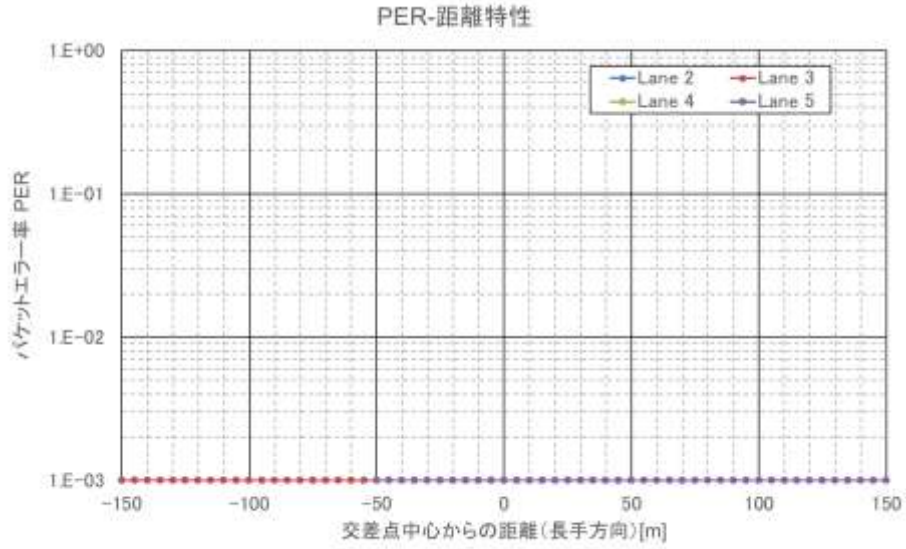
b)　配信

図 6.4.3①-1　PER-距離特性

－ITS FORUM RC-005 参照方式：評価パターン①－



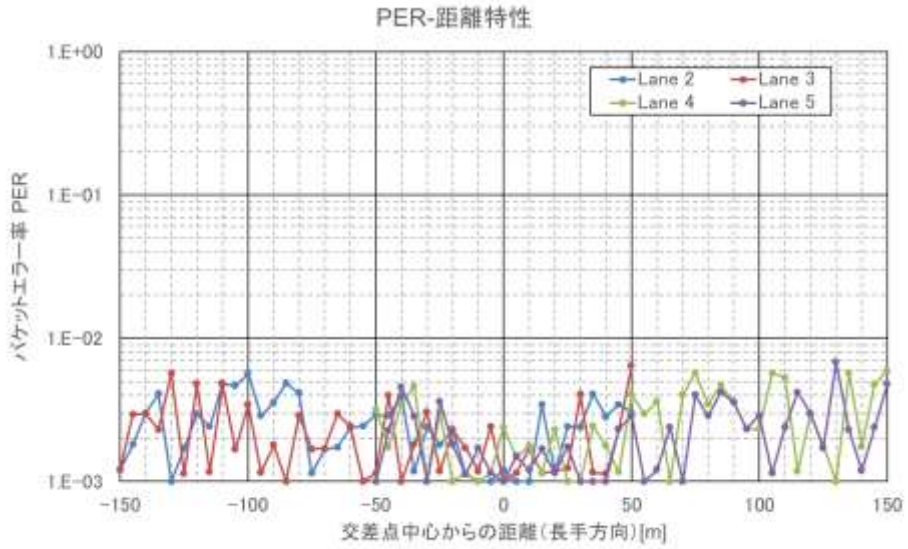
a)　収集：路車間



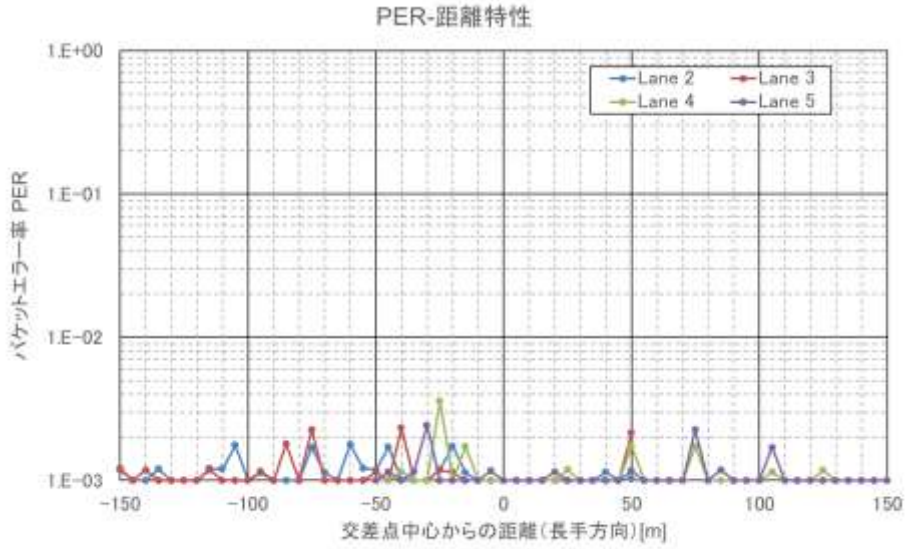
b)　配信

図 6.4.3①-2　PER-距離特性

－LTE V2X 参照方式：評価パターン①－



a)　収集：路車間



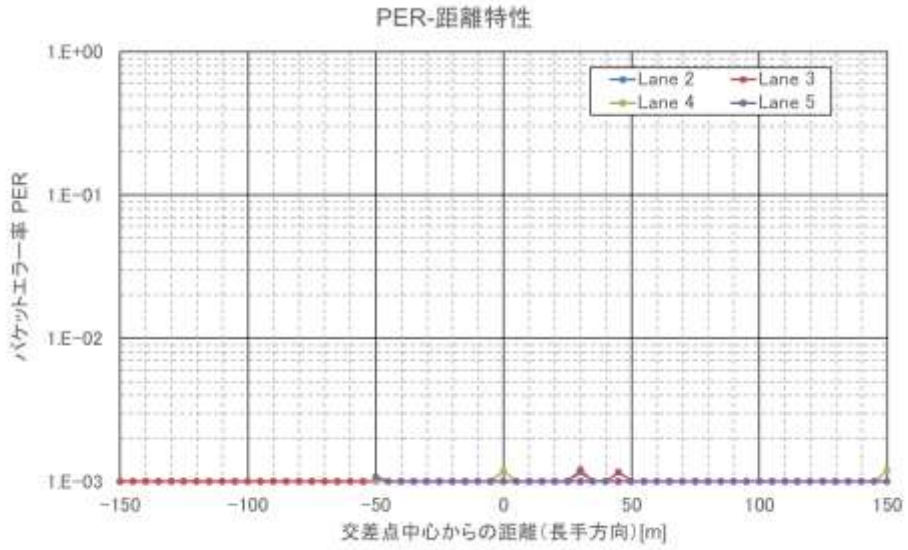
b)　配信

図 6.4.3①-3　PER-距離特性

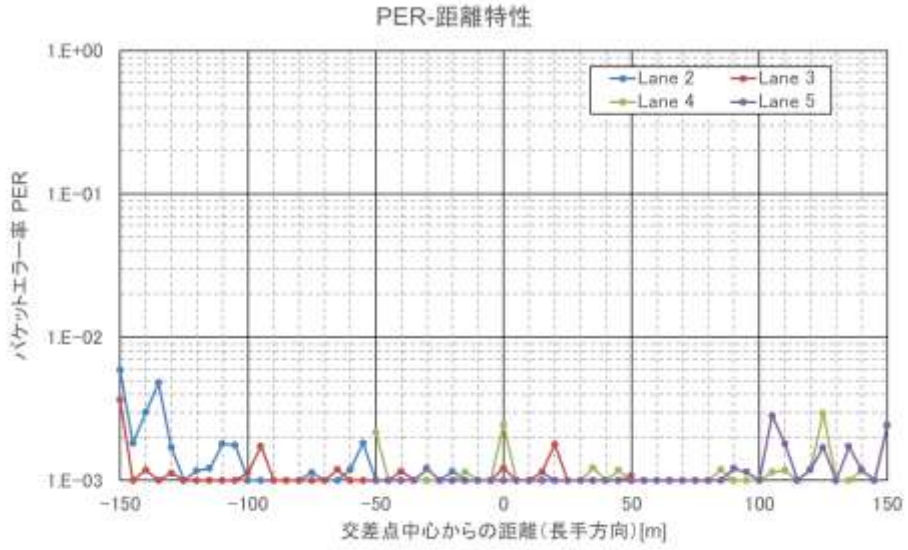
－ARIB STD-T109：評価パターン①－

② ピーク時想定（収集・配信制御を適用）

図 6.4.3②-1 及び図 6.4.3②-2 に、評価パターン①(ピーク時想定)に対して、6.4.2②において検討した収集・配信制御を適用した場合の DSRC:ITS FORUM 参照方式、セルラ(直接通信):LTE V2X 参照方式、及び従来方式:ARIB STD-T109 方式の PER-距離特性を示す。



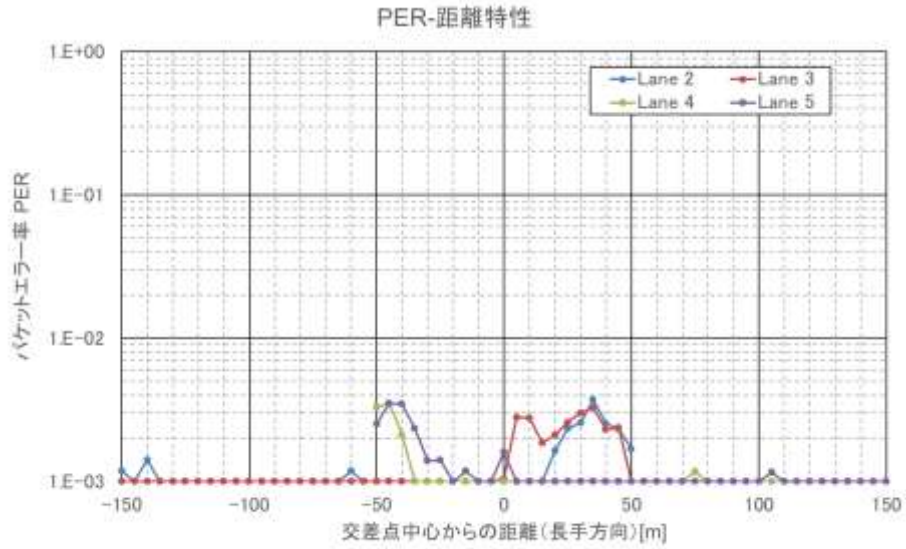
a)　収集：路車間



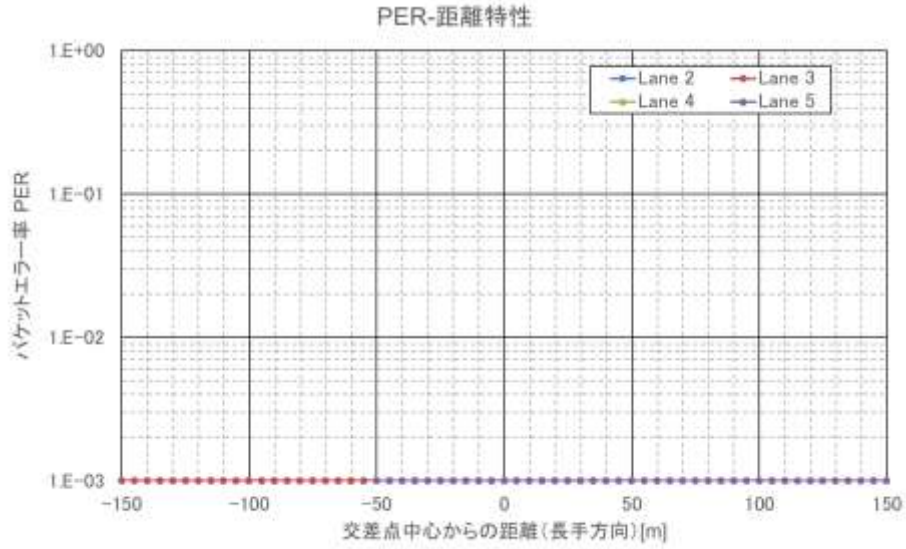
b)　配信

図 6.4.3②-1　PER-距離特性

－DSRC/ITS FORUM RC-005 参照方式（収集・配信制御を適用）：評価パターン①－



a)　収集：路車間



b)　配信

図 6.4.3②-2　PER-距離特性

ーセルラ（直接通信）/LTE V2X 参照方式（収集・配信制御を適用）：評価パターン①ー

表 6.4.3②-1 に、ピーク時想定の評価パターン①のシミュレーション評価結果まとめを示す。同表には、対象エリア内の平均及び最大 PER、並びに通信遅延として CDF99%値を示している。

同表の比較により、DSRC においては、収集・配信制御を適用することで大きく PER が減少し、収集（路車間）の PER は ARIB STD-T109 のものよりも一桁以上小さくなることが分かる。

一方、セルラ（直接通信）においては、収集・配信制御の適用有無に関わらず、ARIB STD-T109 と比べて PER が十分小さいが、収集・配信制御の適用による改善効果は小さい。図 6.4.3②-1 の a)より、交差点中心でのパケットエラーが増加している。これは、交差点中心を通過後の車両が送信タイミングを切り替える際、空きスロットからランダムに送信スロットを選択するが、隣の走行車線の車両が並走する状況では、同時に送信タイミング切替えを行い、確率的にパケット衝突が発生するためである。すなわち、必要以上に送信タイミングを分割し、通信途中で送信タイミングを強制的に切り替える状況を増やす方法はセルラ（直接通信）には適していない。

表 6.4.3②-1　評価パターン①（ピーク時想定）のシミュレーション評価結果まとめ

a)　収集・配信制御を適用せず

通信方式	通信形態	PER		通信遅延 [s]
		平均	最大	CDF 99%
DSRC	収集(路車)	1.28E-03	6.84E-03	6.36E-03
	収集(路路)		5.13E-04	1.17E-02
	配信	1.30E-03	1.33E-02	1.19E-02
セルラ(直接通信)	収集(路車)	5.78E-04	4.99E-03	4.84E-02
	収集(路路)		1.00E-04	4.82E-02
	配信	1.00E-04	1.00E-04	6.00E-03
ARIB STD-T109	収集(路車)	2.36E-03	6.83E-03	1.82E-03
	収集(路路)		1.00E-04	4.50E-03
	配信	6.23E-04	3.59E-03	4.82E-03

※PER<1E-4の結果はPER=1E-4と記載

b)　収集・配信制御を適用

通信方式	通信形態	PER		通信遅延 [s]
		平均	最大	CDF 99%
DSRC ＋収集・配信制御	収集(路車)	1.38E-04	1.20E-03	2.06E-03
	収集(路路)		1.03E-04	6.71E-03
	配信	6.86E-04	5.92E-03	7.73E-03
セルラ(直接通信) ＋収集・配信制御	収集(路車)	5.48E-04	3.71E-03	2.90E-02
	収集(路路)		1.00E-04	1.00E-02
	配信	1.00E-04	1.00E-04	6.00E-03

※PER<1E-4の結果はPER=1E-4と記載

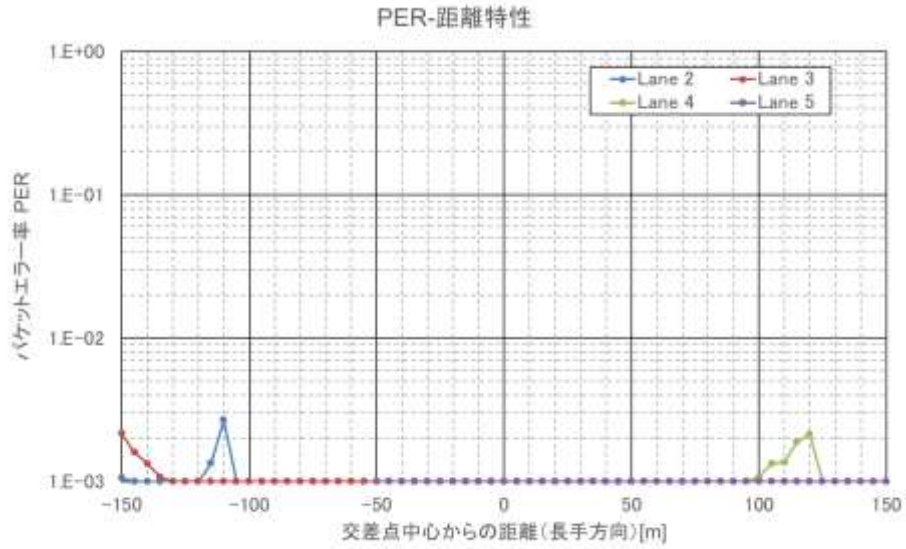
セルラ（直接通信）における上記問題に対して、収集・配信制御の見直しを行い、交差点通過前後で送信タイミングの切り替えは行わない方法での評価を行う。すなわち、図6.4.1①-1のArea 5及び7、並びにArea 5及び7の送信タイミングはそれぞれ共通とし、交差点中心での送信タイミングの切り替えは行わないものとする。

表6.4.3②-2及び図6.4.3②-3に、収集・配信制御を見直し後のセルラ（直接通信）のシミュレーション評価結果を示す。上記見直しによりPERが減少し、改善効果が大きくなることが確認できた。次項以降は、見直し後の収集・配信制御を適用した場合の評価結果を示す。

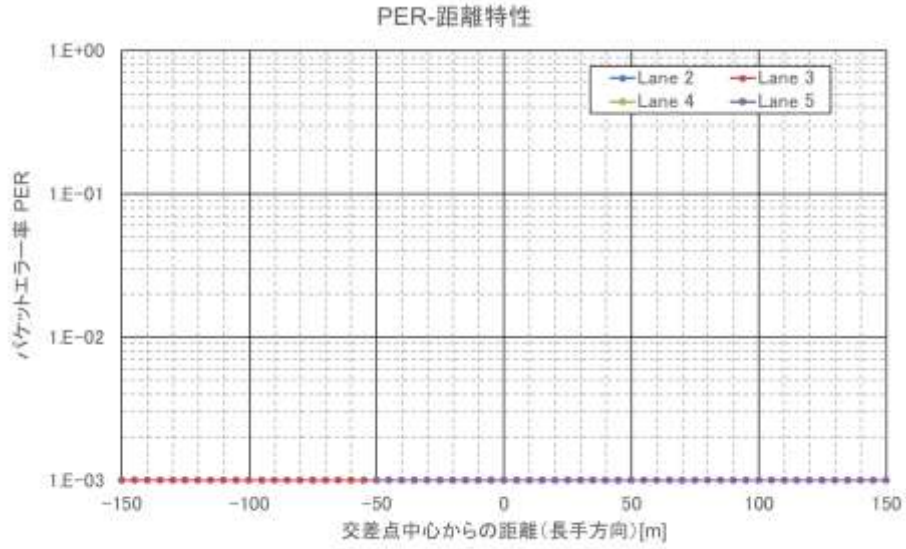
表6.4.3②-2　評価パターン①（ピーク時想定）のシミュレーション評価結果まとめ
-見直し後の収集・配信制御を適用-

通信方式	通信形態	PER		通信遅延 [s]
		平均	最大	CDF 99%
セルラ(直接通信)＋収集・配信制御（見直し後）	収集(路車)	1.84E-04	2.68E-03	3.40E-02
	収集(路路)		1.00E-04	1.20E-02
	配信	1.00E-04	1.00E-04	6.00E-03

※PER<1E-4の結果はPER=1E-4と記載



a)　収集：路車間



b)　配信

図 6.4.3②-3　PER-距離特性

－セルラ（直接通信）/LTE V2X 参照方式

（見直し後の収集・配信制御を適用）：評価パターン①－

③ 通信トラフィック特性

交通量の増減に応じて収集、配信による通信トラフィックも増減し、通信性能が変化する。表 6.4.2③-3 に示した評価パターン①～④の通信トラフィックにおける各通信方式の通信性能評価を行った。

表 6.4.3③-1 に、各通信方式の PER-通信トラフィック特性を示す。同表の車両台数は、表 6.4.2③-3 の検知対象エリア内の車両数を示している。また、評価パターン④である車両台数が 96 台の場合が、本研究開発全体で対象としている限界性能の検証における想定条件と同等の通信トラフィックである。

表 6.4.3③-1 に示すように、通信トラフィック（車両台数）の増加時も収集・配信制御による PER の改善効果があることが分かった。ただし、評価パターン③、④においては、PER＞1E-2 となる通信形態がある結果となった。

表 6.4.3③-1　通信性能（PER）の通信トラフィック特性の評価結果まとめ

a）ITS FORUM RC-005 参照方式

通信形態	収集(路車)		収集(路路)	収集(路車)	
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
16	1.87E-04	2.37E-03	1.54E-04	2.83E-04	3.61E-03
32	1.28E-03	6.84E-03	5.13E-04	1.30E-03	1.33E-02
64	3.74E-02	1.43E-01	8.41E-03	1.58E-02	5.08E-02
96	1.08E-01	3.60E-01	1.09E-02	3.35E-02	7.93E-02

b）DSRC/ITS FORUM RC-005 参照方式（収集・配信制御を適用）

通信形態	収集(路車)		収集(路路)	収集(路車)	
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
16	1.00E-04	6.22E-04	1.54E-04	2.59E-04	3.61E-03
32	1.38E-04	1.20E-03	1.03E-04	6.86E-04	5.92E-03
64	3.94E-03	2.00E-02	4.83E-03	7.18E-03	2.76E-02
96	4.70E-02	2.00E-01	1.09E-02	2.44E-02	7.13E-02

c）セルラ（直接通信）/LTE V2X 参照方式

通信形態	収集(路車)		収集(路路)	収集(路車)	
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
16	1.00E-04	1.41E-03	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
32	5.78E-04	4.99E-03	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
64	1.28E-02	3.76E-02	8.16E-02	1.00E-04	1.00E-04
96	6.71E-02	1.46E-01	5.47E-01	6.80E-02	1.25E-01

d）セルラ（直接通信）/LTE V2X 参照方式（見直し後の収集・配信制御を適用）

通信形態	収集(路車)		収集(路路)	収集(路車)	
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
16	1.00E-04	1.39E-03	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
32	1.84E-04	2.68E-03	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
64	1.65E-03	1.12E-02	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
96	8.04E-03	4.95E-02	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04

e）ARIB STD-T109

通信形態	収集(路車)		収集(路路)	収集(路車)	
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
車両台数	平均	最大	平均	平均	最大
16	8.60E-04	3.60E-03	1.00E-04	1.00E-04	1.28E-03
32	2.36E-03	6.83E-03	1.00E-04	6.23E-04	3.59E-03
64	1.47E-02	6.78E-02	1.00E-04	1.72E-03	5.17E-03
96	3.40E-02	5.92E-02	1.76E-02	1.63E-02	2.29E-02

6.4.4. 検証環境の構築（統合）

① 統合処理の限界性能について

狭域サーバは、複数の路側センサから送信される抽出結果を受信後、それを入力とする統合処理を実施し、配信データ作成を行う。従って抽出結果の数が多いほど統合処理にかかる時間が増大する。統合処理における許容処理時間は 500ms であり、従って 500ms 以内に処理できる抽出結果の数が統合処理における限界性能であると言うことができる。

ただし、本システムでは路側センサからのデータ送信周期と狭域エッジ装置における統合処理開始の周期はともに 100ms であるが、両者はシステムとして独立しており同期されていないため、路側センサからのデータ受信後、統合処理が開始されるまでに最大で 100ms の遅延が発生する。

本節ではこれを考慮し、路側センサからのデータ受信から統合処理結果の出力までが 500ms 以内になるよう、統合処理にかかる許容時間を 400ms とし、400ms 以内で処理できる抽出結果数を統合処理の限界性能と定義する。

② 限界性能測定

本節では路側センサにおける抽出結果を机上にて作成し、それらに対して統合処理を適用した際の処理時間を実機により測定した結果を示す。これに基づいて統合処理時間が 400ms となる抽出結数を算出することで限界性能値の推定を行う。

6.4.5. 検証の流れ（統合）

① 抽出結果の作成

限界性能測定にあたり、図 6.4.5①-1 に示すように、5m 間隔で渦巻き状に抽出対象を 1 個から 100 個まで増加させていき各路側センサにおける抽出データ作成を行った。

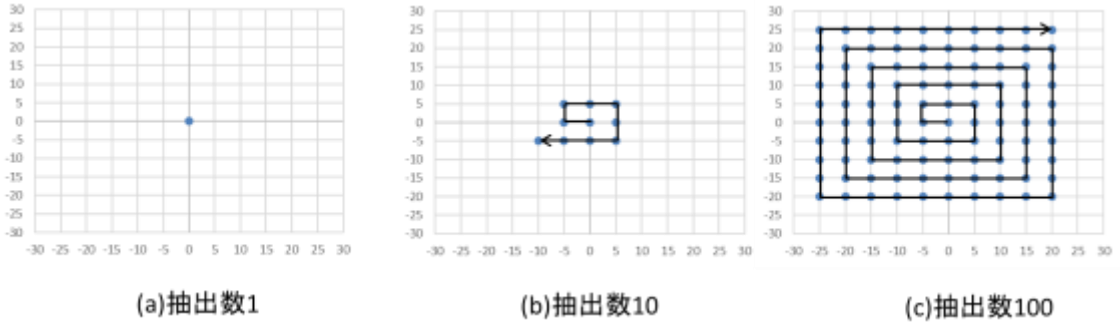


図 6.4.5①-1　抽出データ作成

② 統合処理時間の確認方法

図 6.4.5②-1 に示すように、狭域エッジ装置と PC を接続し、PC から図 6.4.5①-1 の抽出データを送信し、狭域エッジ装置内部のデータ受信処理出力と統合処理出力の時間差をモニタし処理時間の算出を行った。

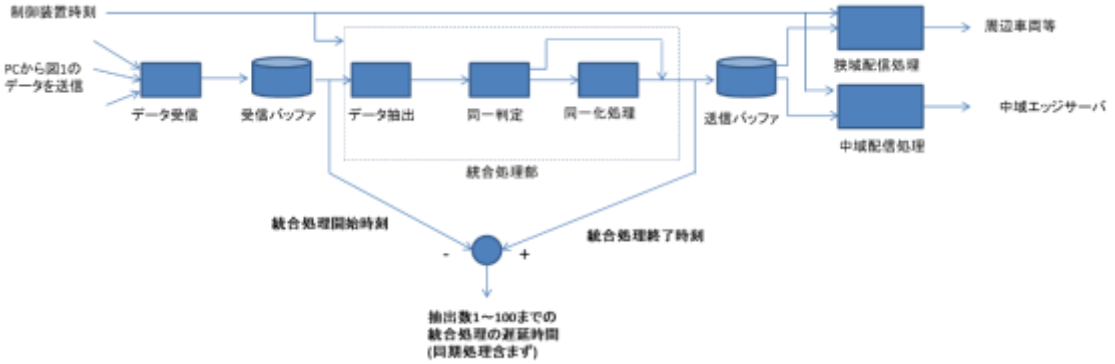


図 6.4.5②-1　統合処理時間確認系

6.4.6. 検証結果（統合）

図 6.4.6-1 に、抽出数に対する統合処理時間の平均値と、それを近似した直線を示す。近似直線は f(x)=0.14x+1.1 となった（ここで x は抽出数[個]、f(x)は統合処理時間（平均）[ms]）。この近似曲線を使用すると、統合処理時間 f(x)が 400[ms]となる抽出数 x は 2849 となる。従って本システムにおける統合処理の限界性能は、抽出数 2849 である。本システムが想定する狭域エリアにおいて、同時に存在できる車両台数は 150 台であるため、狭域エッジ装置は要求される処理性能を十分満たしていると言える。

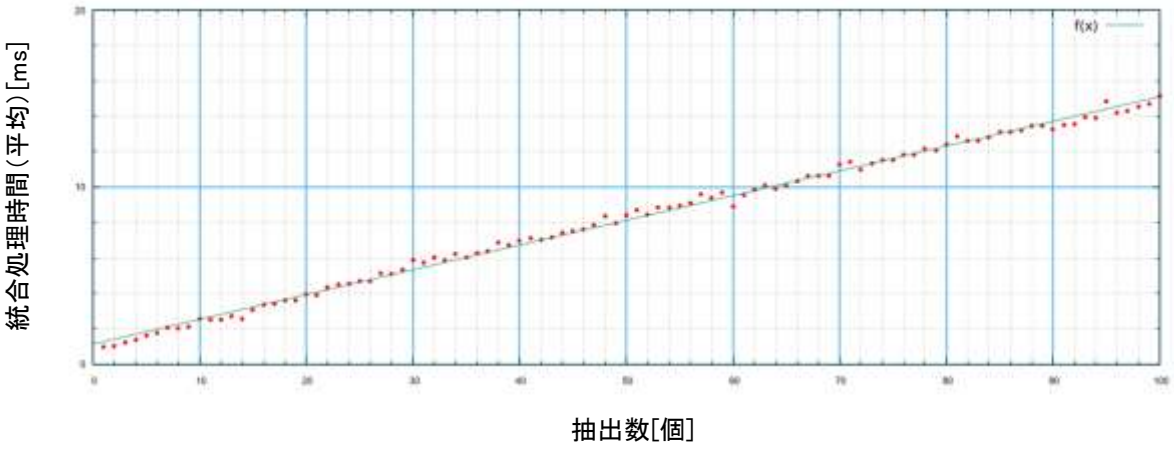


図 6.4.6-1　統合処理時間-抽出数特性

7. 研究開発評価・検証（住友電気工業株式会社）

本章では住友電気工業株式会社担当の評価・検証内容について記載する。当社は、第 3 章に示したシステム構成(図 3.1.5①-1)のセンタ処理方式を担当する。評価・検証内容の概要と KPI 評価項目については、それぞれ図 7.-1 と表 7.-1 に示す。最初に 7.1 節では当社システムのアーキテクチャを説明する。7.2 節では当社テストコースで実施した各社接続確認で、抽出・統合の KPI を評価・検証した接続確認の内容と結果を記載する。7.3 節では 5G 通信エリア内の公道で実施した総合検証の内容と結果を記載する。7.4 節では 5G エミュレータ装置を使用し通信遅延・一連の処理時間の KPI を評価・検証した、シミュレーション検証の内容と結果を記載する。7.5 節では机上検証によるシミュレーション検証で通信トラフィック削減率の KPI を評価・検証した、配信制御の内容と結果を記載する。なお、本章内の一部の図において、説明を補足する目的で国土地理院撮影の全国最新写真(https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html)を使用する。

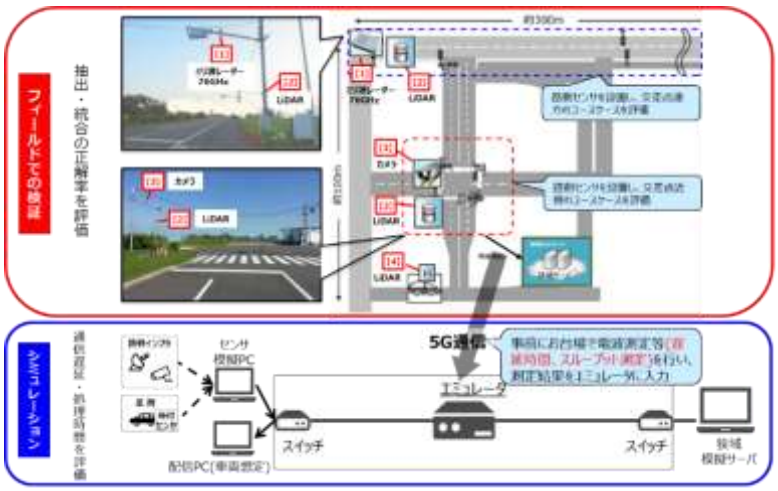


図 7.-1　検証内容イメージ

表 7.-1　検証内容一覧

各研究開発項目の検証内容一覧（○：KPI評価、△：参考評価、－：実施せず）

研究開発項目と評価指標		抽出	収集	統合	配信		センサでの捕捉から、狭域内の配信
		正解率	通信遅延	正解率	通信遅延	通信トラフィック削減率	上記一連の処理時間
シミュレーション/机上検討	4×2交差点	－	○	－	○	○	○
フィールド検証	テストコース	○	－	○	－	－	－
	公道(お台場)	－	△	－	△	－	－

7.1. アーキテクチャ詳細

5G 通信を用いたセンタ処理方式の当社システム（以降、住友システムと称す）は、交差点周辺を狭域エリアとして、以下のように、収集、抽出、統合、配信の機能で構成されている。

① 交差点周辺に散在する対象物を捉えた各情報源からのデータを、5G 通信を用いてクラウドの狭域サーバにアップロード（収集）
ミリ波レーダは、自動車の位置や速度等の抽出情報をアップロードする
LiDAR は、自動車、歩行者、自転車、障害物を捉えた生データをアップロードする
カメラは、自動車、歩行者、自転車を捉えた生データをアップロードする

② 収集した各情報源の生データ等を狭域サーバで解析処理して物標情報を抽出

③ 抽出した物標情報に対して、狭域サーバで時系列の追跡処理、異種情報源間で同一の対象物か否かの判定処理等を行い、当該対象物の物標情報として過不足なく統合

④ 交差点へ進入する車両が車両情報を狭域サーバにアップロードした場合、狭域サーバは、統合した物標情報を当該車両に対して配信（車両情報のアップロード、物標情報の配信とも 5G 通信）、並びに有線接続通信でクラウドの中域サーバに配信

具体例として、交差点におけるシステムイメージを図 7.1-1 に示す。住友システムでは、情報源の 1 つであるミリ波レーダを、交差点に進入する自動車を遠方からセンシングするために、交差点付近の柱（信号柱等）を利用して外向きに配置する。情報源の 1 つである LiDAR、カメラを、交差点周辺を広範囲にセンシングするため、対角に位置する柱（信号柱等）を利用して配置する。さらに情報源の 1 つである LiDAR を、交差点周辺の障害物をセンシングするため、車両に搭載する。ミリ波レーダでは電波の反射波から得られる対象物の位置や速度等の抽出情報を、5G 通信でアップロードし、狭域サーバに収集する（①）。LiDAR ではレーザの反射光から、カメラでは撮像した画像からそれぞれ位置や速度を狭域サーバで抽出するための生データを、5G 通信でアップロードし、狭域サーバに収集する（①）。収集した LiDAR、カメラの生データを狭域サーバで解析して物標情報を抽出し（②）、ミリ波レーダ、LiDAR、カメラからそれぞれ抽出した物標に対して時系列の追跡処理、異種情報源間での同一物体か否かの判定処理を行い、物標情報を統合する（③）。交差点に進入する車両（自動運転車両）が 5G 通信で自身の位置等の車両情報を狭域サーバにアップロードすると、狭域サーバは当該車両対応する統合した物標情報を 5G 通信で配信する（④）。同時に狭域サーバは中域サーバに対して、中域サーバから指定された周期で統合した物標情報を有線接続通信で配信する（④）。

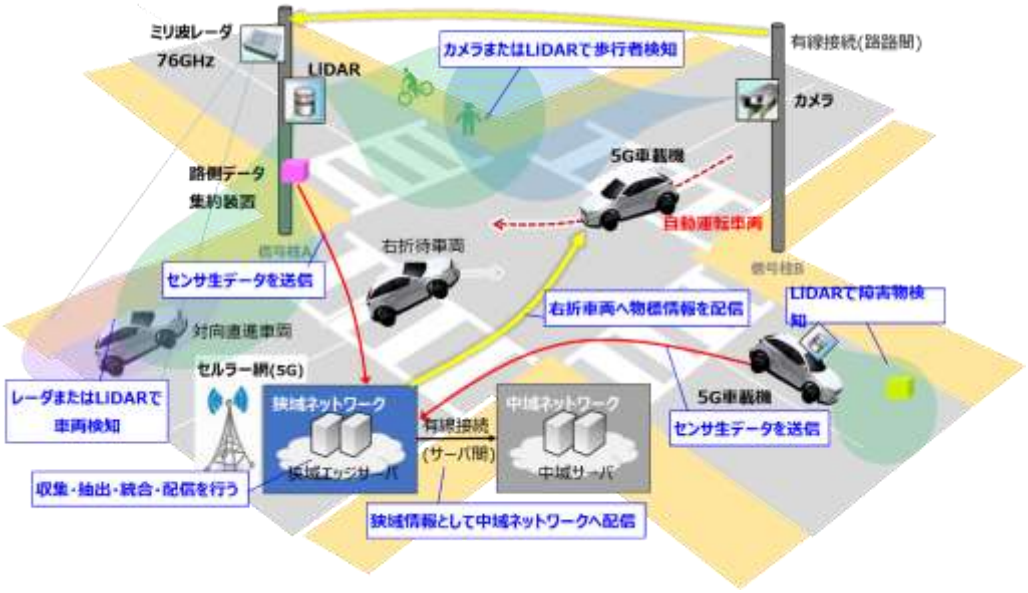


図 7.1-1　システムイメージ

7.1.1. ハードウェア構成

センタ処理方式では、センサの生データ等を 5G 通信で狭域サーバにアップロードし、狭域サーバ上で抽出・統合を行う。自動運転車の車両情報を 5G 通信で狭域サーバにアップロードし、抽出・統合処理の結果得られた物標情報を 5G 通信で自動運転車に配信する。

センタ処理方式のハードウェア構成を図 7.1.1-1 に、本開発に使用した機器の情報を表 7.1.1-1 に示す。

路側装置は、センサ本体（LiDAR、カメラ、ミリ波レーダ）とアップロード装置（PC、5G 端末）で構成される。路側の各装置は全てイーサネットで接続されており、センサデータもイーサネットでやり取りされる。

サーバ装置は、総合検証とエミュレータ検証で使用する機器が異なる。統合検証では、NTT ドコモが提供するクラウド dOIC（ドコモオープンイノベーションクラウド）上に仮想的に狭域サーバを構築している。エミュレータ検証では、ローカルのワークステーションに狭域サーバを構築している。

配信装置は、PC と 5G 端末で構成される。

路側装置とサーバ装置、配信装置とサーバ装置は、5G 通信で接続される。

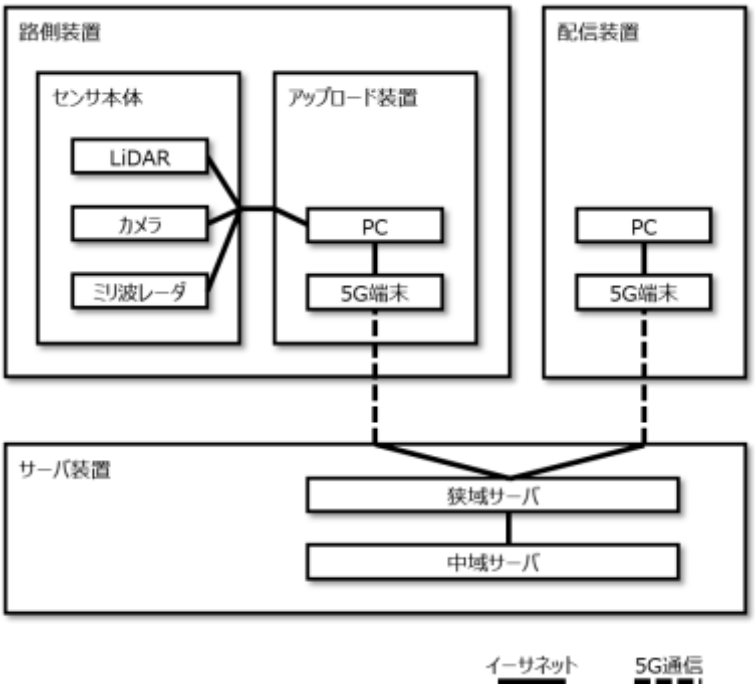


図 7.1.1-1　センタ処理方式のハードウェア構成図

表 7.1.1-1　センタ処理方式のハードウェア一覧表

No.	ハードウェア	仕様
1	LiDAR	メーカ：Velodyne 型番：VLP-32C 主な仕様： FOV：水平 360°、垂直 40°
2	カメラ	メーカ：Panasonic 型番：WV-S1131
3	ミリ波レーダ	メーカ：住友電気工業株式会社 型番：SR-44
4	PC（アップロード装置）	メーカ：HP 型番：PROBOOK 430 G3
5	PC（配信装置）	メーカ：DELL 型番：PRECISION T5820 MT
6	5G 端末（アップロード装置・配信装置）	メーカ：NTT ドコモ 型番：SH-52A
7	狭域サーバ（dOIC）	CPU：Intel Xeon Gold 6140 動作周波数：2.3GHz（ベース）/3.7GHz（ブースト時） コア数/スレッド数：18/36 キャッシュ：24.75MB L3 メモリ：80GB GPU：Nvidia NTesla V100
8	狭域サーバ （シミュレーション検証）	メーカ：DELL 型番：PRECISION T7920 MT CPU：Intel Xeon Silver 4120 動作周波数：2.2GHz（ベース）/3.2GHz（ブースト時） コア数/スレッド数：10/20 キャッシュ：13.75MB メモリ：32GB GPU：Nvidia GeForce RTX2080

7.1.2. ソフトウェア構成

センタ処理方式のソフトウェア構成を図 7.1.2-1 に示す。

ミリ波レーダのセンサハードウェア上で動作するミリ波レーダ解析アプリは、ミリ波レーダのセンサデータを解析し、自動車を抽出し、抽出した物標データをアップロード装置の PC へ UDP 通信で伝送する。

アップロード装置の PC 上で動作するセンサデータ収集アプリは、LiDAR、カメラ、ミリ波レーダの各センサから 100ms 周期でセンサデータを収集し、指定のメッセージフォーマットに変換して、HTTP 通信を使用して狭域サーバの HTTP サーバへ送信する。センサを接続せず、収集済みのセンサデータ（LiDAR、カメラ、ミリ波レーダ）をファイル読み込みすることもできる。その際の動作周期も 100ms 周期となる。

配信装置の PC 上で動作する車両情報収集アプリは、車両の緯度・経度等の車両データを、指定のメッセージフォーマットに変換して、MQTT 通信を使用して狭域サーバの MQTT ブローカへ送信する。動作周期は指定可能だが、100ms をデフォルト値とした。

配信装置の PC 上で動作する物標情報受信アプリは、狭域サーバの MQTT ブローカから MQTT 通信を使用して、物標データを指定のメッセージフォーマットで受信する。本アプリは MQTT ブローカの指定のトピックが更新された際に物標データを受信するため、動作周期をもたない。

狭域サーバ上で動作するセンサデータ受信アプリは、HTTP サーバに送信されたセンサデータを狭域サーバ内に保存するとともに、各解析プログラムにセンサデータを受信したことを通知する。本アプリは HTTP サーバでセンサデータを受信したときに動作するため、動作周期をもたない。

狭域サーバ上で動作する画像解析アプリは、カメラのセンサデータを解析し、歩行者、自転車、自動車を抽出し、物標管理データベースに物標データを書き込みする。動作周期は 100ms 周期を基本とし、それ以上の処理時間がかかった場合はベストエフォートで動作する。

狭域サーバ上で動作する LiDAR 解析アプリは、LiDAR のセンサデータを解析し、歩行者、自転車、自動車を抽出し、物標管理データベースに物標データを書き込みする。動作周期は 100ms 周期を基本とし、それ以上の処理時間がかかった場合はベストエフォートで動作する。

狭域サーバ上で動作するミリ波レーダ受信アプリは、レーダから伝送された抽出結果をデータベース用の形式に変換し、物標管理データベースに物標データとして書き込みする。動作周期は 100ms 周期を基本とし、それ以上の処理時間がかかった場合はベストエフォートで動作する。

狭域サーバ上で動作する障害物検知アプリは、LiDAR 解析アプリがデータベースに書き込んだ車載 LiDAR の物標データを読み込みし、高精度デジタル地図に紐づけて後続車両向

けの交通情報として加工し、物標データベースを更新する。動作周期は 100ms 周期を基本とし、それ以上の処理時間がかかった場合はベストエフォートで動作する。

狭域サーバ上で動作する物標統合アプリは、物標管理データベースに書き込まれた各センサから抽出された物標データを読み込み、同一物体か否かの判定を行い、物標管理データベースを更新する。動作周期は 100ms 周期を基本とし、それ以上の処理時間がかかった場合はベストエフォートで動作する。

狭域サーバ上で動作する対車両配信アプリは、MQTT ブローカから受信した車両データに基づき、必要な物標情報を指定のメッセージフォーマットに変換して、MQTT ブローカに送信する。本アプリは、MQTT ブローカの指定のトピックが更新された際に動作するため、動作周期をもたない。

狭域サーバ上で動作する対中域配信アプリは、中域サーバから指定された物標データ配信周期に基づき、物標データを指定のメッセージフォーマットに変換して、MQTT 通信を使用して中域サーバの MQTT ブローカへ送信する。本アプリは、中域サーバから指定された配信周期で動作する。途中で配信周期が変更された際は、次の送信の際から変更された配信周期で動作する。

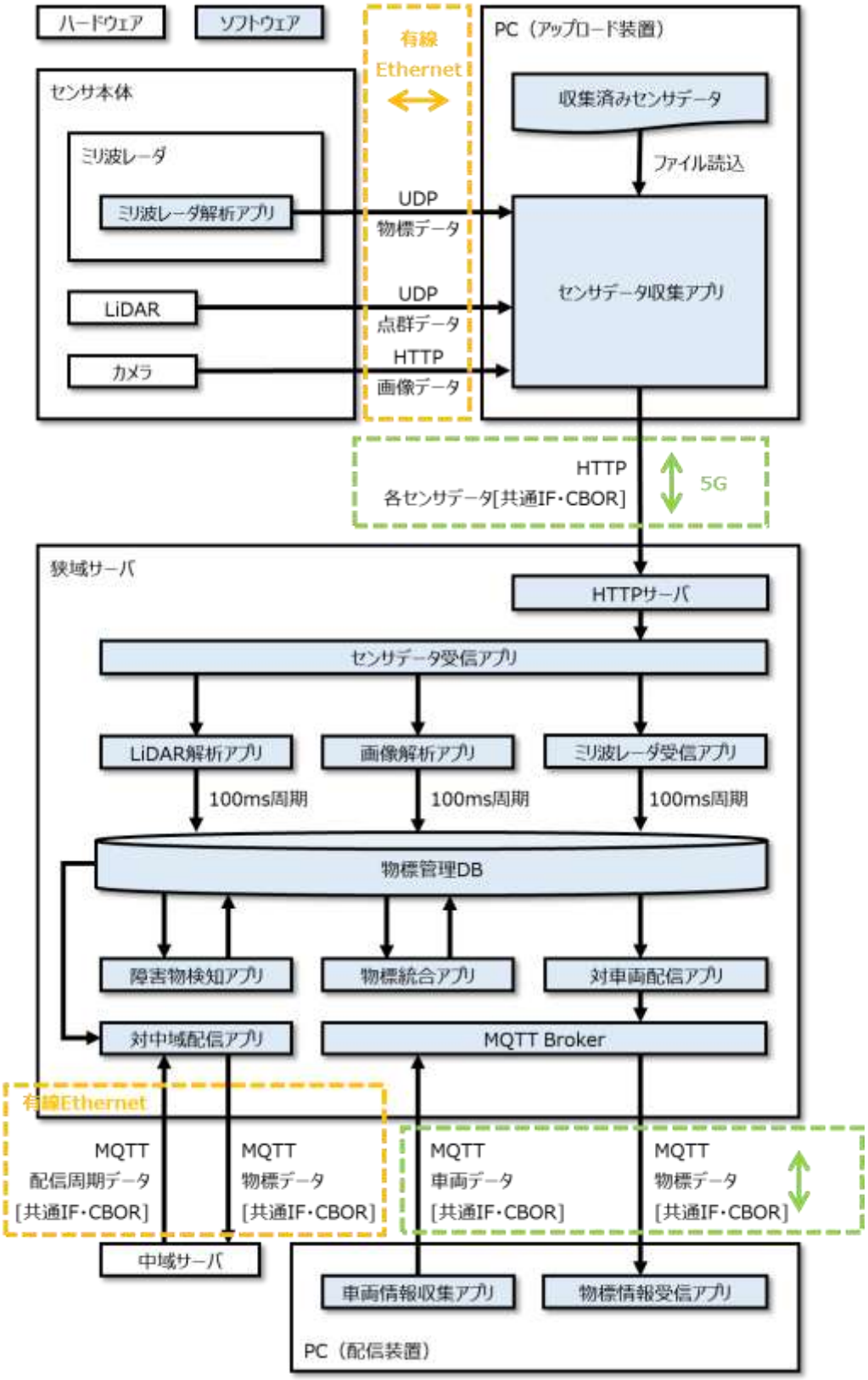


図 7.1.2-1　センタ処理方式のソフトウェア構成図

7.2. 各社接続確認

センタ処理方式における抽出/統合の性能評価を行うため、住友電気工業株式会社のテストコースにて路側センサや車載センサの収集環境を構築し、各ユースケースを模擬した実験を行うことで性能を評価した。図 7.2-1 に実験環境の概要を示す。テストコースに路側センサ、車載センサの計測環境を構築し、抽出対象の車両や歩行者を配置した。表 7.2-1 に示す各ユースケースにおいて、各種センサを使用し、ユースケース対象についての抽出性能と統合性能を確認した。

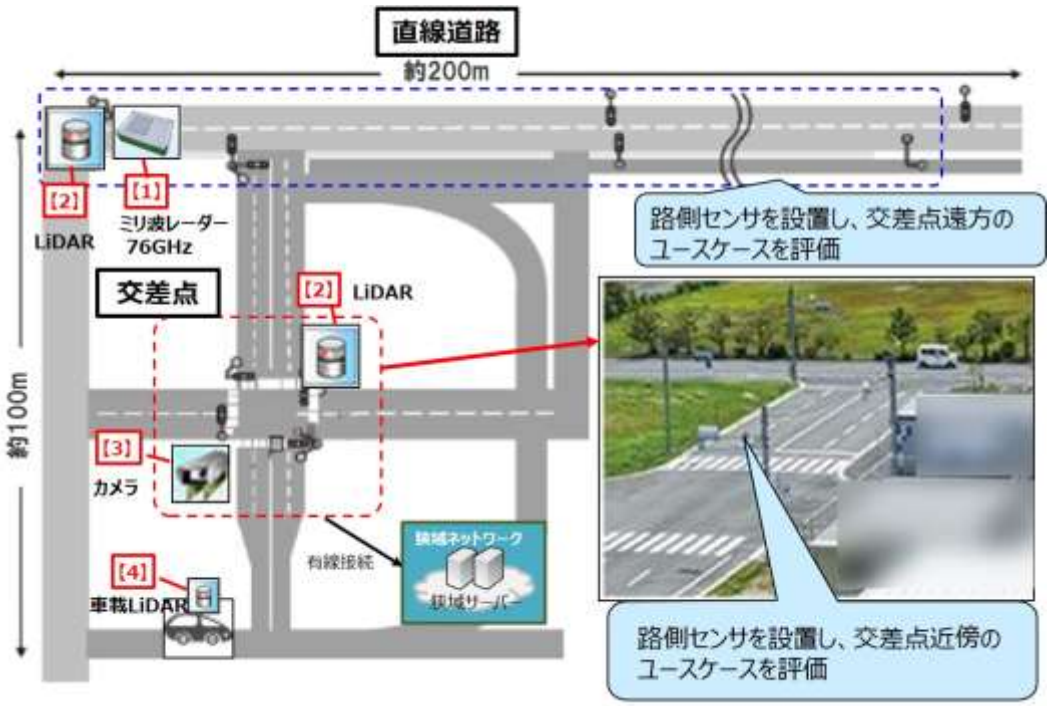


図 7.2-1　実験環境の概要

表 7.2-1　実験対象のユースケースと実験要件

ユースケース	実験場所	使用センサ	抽出対象
UC1	直線道路	路側センサ （ミリ波レーダ、LiDAR）	車両
UC2	交差点	路側センサ （LiDAR）	車両
UC3	交差点	路側センサ （カメラ、LiDAR）	歩行者、自転車
UC4	直線道路	車載センサ （LiDAR）	道路上障害物 （停止車両、段ボール箱）

7.2.1. 実証環境の構築

実験場所やセンサ機器の設置等の環境構築について述べる。

① 実験場所

住友電気工業株式会社横浜製作所内のテストコースにて実験を行った。

(1) 住所

〒244-8588 横浜市栄区田谷町１

(2) 実験用道路

図 7.2.1①-1 に実験用道路の写真を示す。直線道路（長さ 200m）を UC1、UC4 の評価で使用し、交差点（縦横 100m）を UC2、UC3 の評価で使用した。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

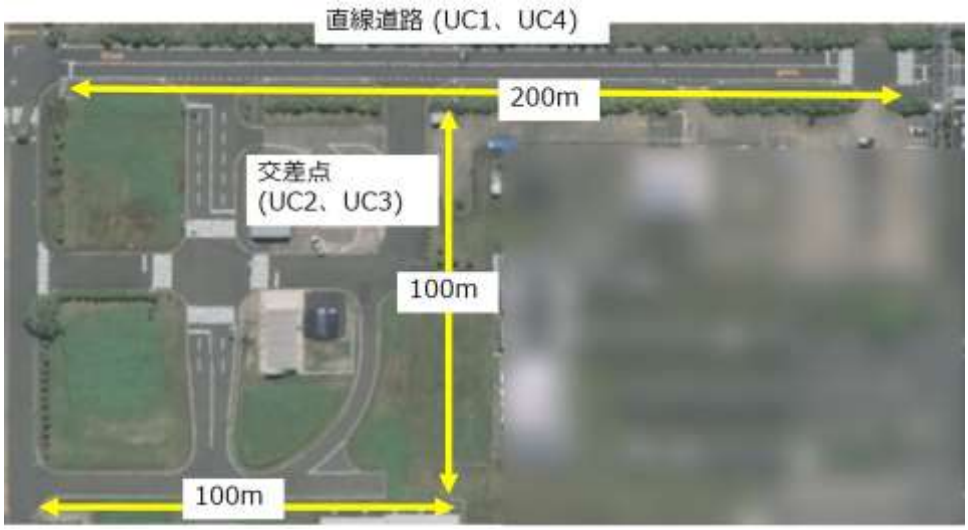


図 7.2.1①-1　実験用道路の概要

② 路側センサ機器の設置

UC1、UC2，UC3 で使用する各種路側センサを以下のように設置した。

(1) 直線道路へのセンサ設置（UC1 にて使用）

図 7.2.1②-1 に示すように、ミリ波レーダと LiDAR を直線道路の一端に設置した。道路端を仮想的な交差点に見立て、そこに進入する車両を抽出するためのセンサ配置とした。ミリ波レーダは車道上の信号用支柱に設置し、設置高さは 6.4m である。LiDAR は歩道上に三脚で設置し、設置高さは 3.0m である。なお両センサの設置高さは日本の道路構造令における車道上、歩道上の最低設置高制限を満たす高さとした。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

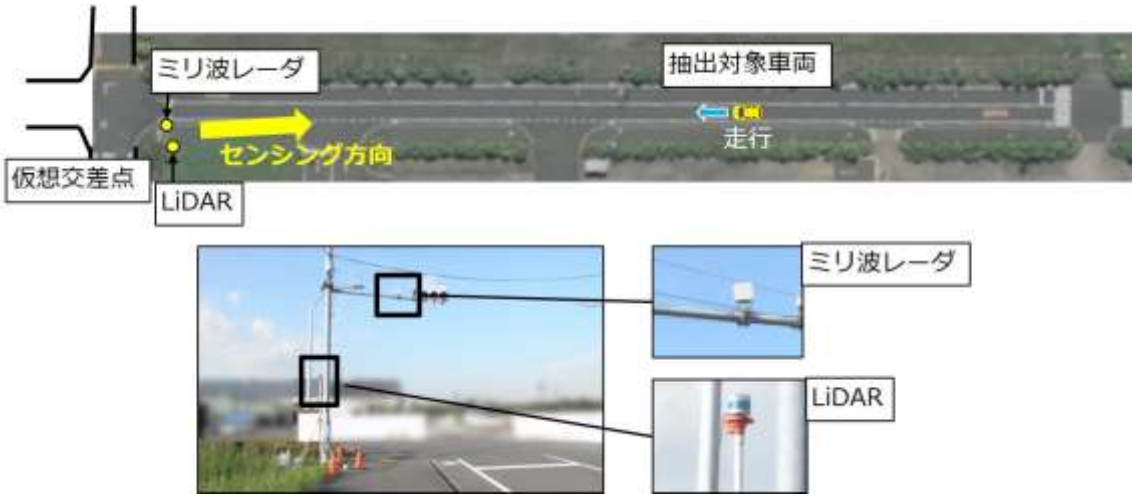


図 7.2.1②-1　実験用直線道路へのセンサ設置

(2) 交差点へのセンサ設置（UC2、UC3 にて使用）

図 7.2.1②-2 に示すように、カメラと LiDAR を交差点に設置した。交差点を通行する歩行者、自転車、車両を抽出するためのセンサ配置とした。カメラは車道上の信号用支柱に設置し、設置高さは 6.4m である。LiDAR は交差点の一角の歩道に相当するエリアに三脚で設置し、設置高さは 3.0m である。なお両センサの設置高さは日本の道路構造令における車道上、歩道上の最低設置高制限を満たす高さとした。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

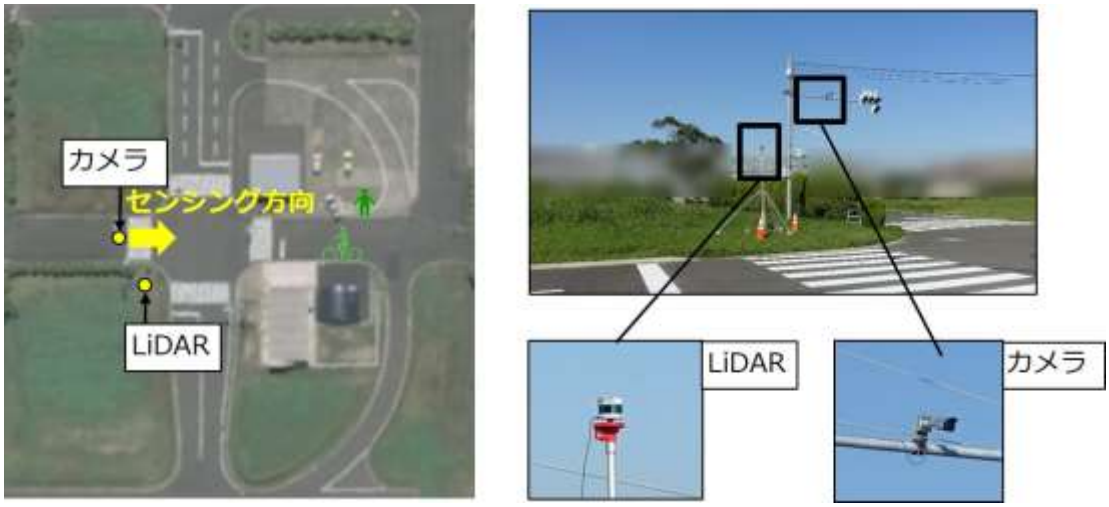


図 7.2.1②-2　実験用交差点へのセンサ設置

③ 車両センサ機器の準備

本実験での車両の使用は、UC1、UC2、UC4 における抽出対象車両としての使用目的と、UC4 におけるセンサ搭載車両としての使用目的がある。車両の使用方法の詳細は 7.2.2 のユースケース詳細でも後述する。以下に示す 2 台の車両を使用した。

(1) 車両 1(ホンダ　アコード)

図 7.2.1③-1(a)に示す車両を UC1、UC2 における抽出対象車両ならびに、UC4 におけるセンサ搭載車両として使用した。車両の正確な位置座標や速度、進行方向を取得するために RTK-GPS を搭載した。UC4 における前方物体検知用センサとして LiDAR を搭載した。

(2) 車両 2(トヨタ　クラウン)

図 7.2.1③-1(b)に示す車両を UC１における 2 台同時走行時の抽出対象車両と、UC4 における抽出対象車両として使用した。センサ類は非搭載である。



(a)車両1(センサ搭載)　　(b)車両2

図 7.2.1③-1　実験に使用した車両機器

④ データ収集機器の接続

センサデータを収集・保存するための機器接続を行った。センタ処理方式では各センサの生データ等を、データ集約装置において狭域サーバが受信可能な共通の形式に整形し、狭域サーバに向けてアップロードを行う。図 7.2.1④-1 に接続環境を示す。本環境では収集機器としてノート PC や組込み型 PC を利用し、整形されたセンサデータを保存した。後ほどセンサデータの解析や結果の評価を行う際に、路側センサデータの時刻と実験車両のセンサデータの時刻を同期する必要があるため、各 PC には GPS レシーバーを接続し GPS 時刻に同期することで路側と車両間でセンサデータ取得時刻を同期した。

路側センサデータについては集約装置で整形した後データ保存用サーバに伝送しデータを保存した。車載センサデータについては集約装置に保存用メディアを接続し保存した。

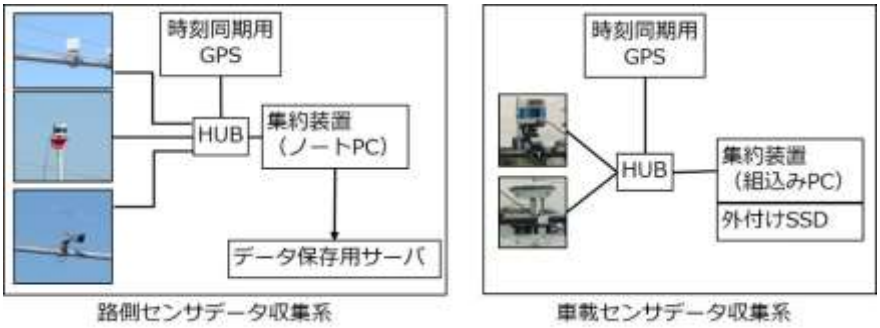


図 7.2.1④-1　センサデータ収集のための機器接続方法

⑤ データの解析と評価の方法

収集・保存したセンサデータは後日、別の機器でオフライン再生し、狭域サーバ上で処理することで抽出/統合結果を出力した。出力した結果に対して、RTK-GPS 等で取得した真値データ（正解データ）を突き合わせ、研究開発目標の KPI を評価した。図 7.2.1⑤-1 にはオフライン解析と KPI 評価時のシステム構成を簡易的に示している。

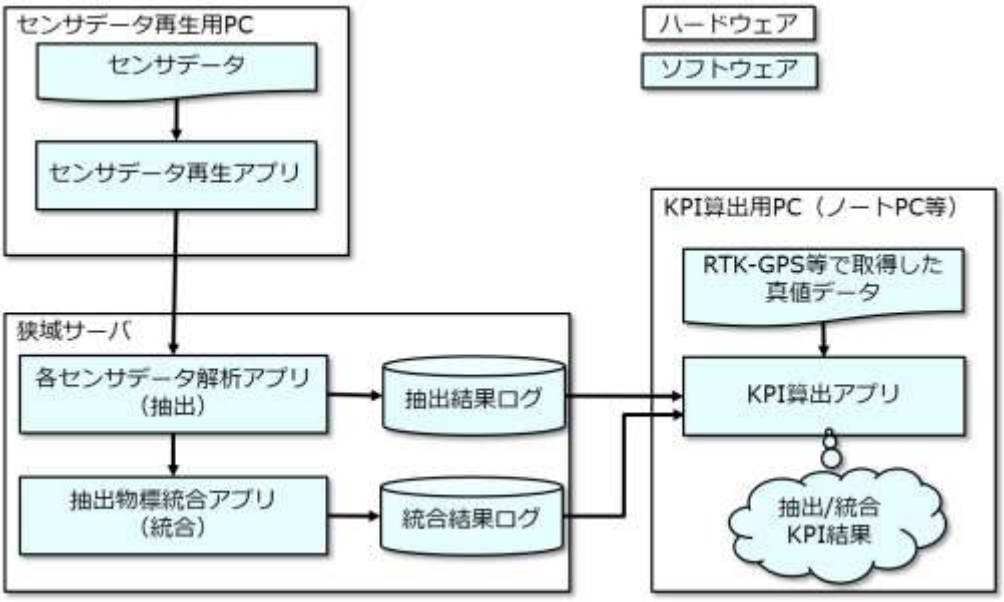


図 7.2.1⑤-1　収集したデータの解析と評価方法

7.2.2. 実証の流れ

7.2.1 で構築した実証環境を用いて実施した各ユースケースの性能評価実験の実施方法について述べる。

① ユースケース 1(UC1)の評価シナリオ

(1) シナリオ実施手順

本ユースケースでは交差点に接近する車両の存在を路側センサ(ミリ波レーダと LiDAR)で検知する。車両台数を変えた 2 パターンのシナリオを実施した。

(i) UC1-1-1

図 7.2.2①-1 (a) に示すように、車両 1 は開始地点をスタートし 40km/h まで加速し、終了地点まで走行する。路側センサのミリ波レーダと LiDAR で車両 1 の位置を検知し、性能を評価する。なお 40km/h はテストコース内で安全に実験を行うための上限速度から決定した。図 7.2.2①-2 に実験の模様を示す。なお、図 7.2.2①-1 の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

(ii) UC1-1-2

本シナリオでは対象車両が 2 台存在する場合も、後方の 2 台目車両を 1 台目と同様に検知可能であることを確認する。図 7.2.2①-1 (b) に示すように、車両 1 と車両 2 は開始地点をスタートし 40km/h まで加速し、終了地点まで走行する。車両 1 と車両 2 の間には安全のため 30m 程度の車間距離を空けるよう走行する。路側のミリ波レーダと LiDAR で車両 1 と車両 2 の位置を検知し、車両 1 (後方車両) に対する検知性能を評価する。

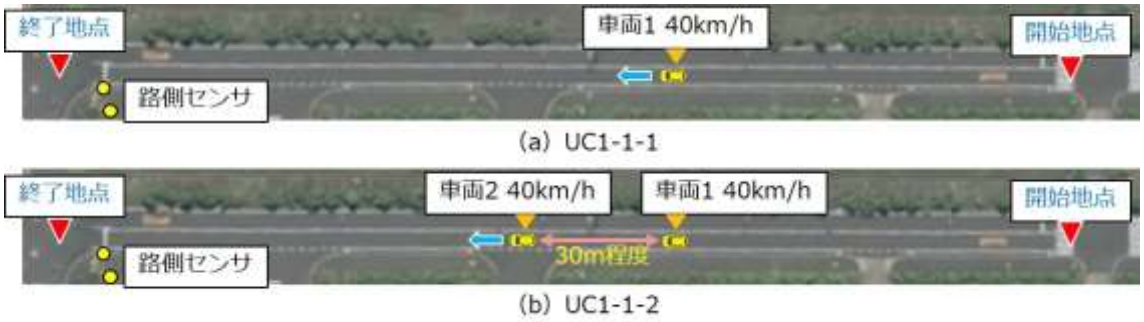


図 7.2.2①-1　ユースケース 1 の各シナリオ実施方法



図 7.2.2①-2　UC1-1-1 の実験中の模様

(2) 各センサのセンシングエリアの設定

ミリ波レーダは検知可能距離が長く、LiDAR は検知位置精度が高い特徴があることから、図 7.2.2①-3 に示すようにミリ波レーダのセンシングエリアを 30～150m、LiDAR を 0～80m と定義した。2 つのセンシングエリアが重なる 30～80m のエリアにてセンサ間の統合を行う。なお、ゼロメートル地点は直線道路と交差点が接続される端点に設定した。なお、30m という数値はミリ波レーダの足元が死角となることから、80m という数値は LiDAR の事前検証により一定の検知確度が期待できるエリアとして確認できたことから設定した。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

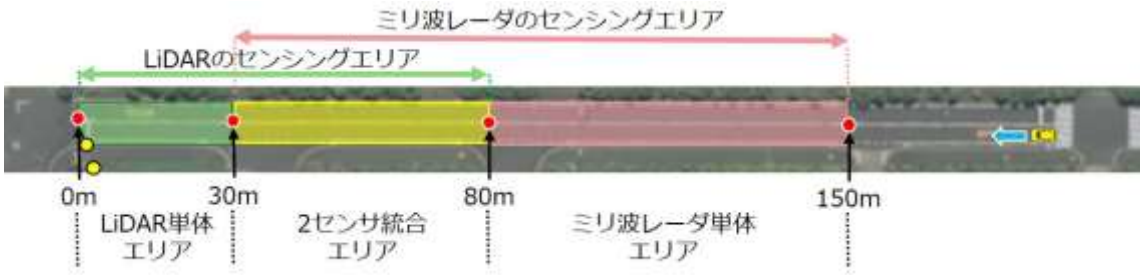


図 7.2.2①-3　ミリ波レーダと LiDAR のセンシングエリアの設定

(3) 車両位置情報の取得方法

正解率の評価時に用いる車両の位置（真値）は、抽出対象車両に搭載した RTK-GPS より取得した。位置の取得周期はセンサの抽出周期に合わせ 100ms とした。

② ユースケース 2(UC2)の評価シナリオ

(1) シナリオ実施手順

本ユースケースでは自動運転車が進入するための右折先の進入スペースが十分にあるかを判断するために、進入スペース付近に存在する車両を路側センサ（LiDAR）で検知する。進入スペースは横断歩道端から 15m までと定義している。進入スペース付近の車両の位置を変えた下記 3 パターンのシナリオを実施した。図 7.2.2②-1 にシナリオ実施方法の概要を示している。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

(i) UC2-1-1

本シナリオは図 7.2.2②-1（a）に示すように右折先の進入スペースが車両に占有されているパターンである。車両は右折後に進入スペース内で停車し、1 分以上停車する。路側センサでその間の車両存在を抽出できているかを評価する。　図 7.2.2②-2 に実験の模様を示す。

(ii) UC2-1-2

本シナリオは図 7.2.2②-1（ｂ）に示すように右折先の進入スペースが徐行する車両に一時的に占有されるパターンである。車両は右折後に進入スペースを徐行し、進入スペース外まで進行する。路側センサでその間の車両存在を抽出できているかを評価する。

(iii) UC2-2

本シナリオは図 7.2.2②-1（ｃ）に示すように右折先の進入スペースが車両に占有されていないパターンである。車両は右折後に進入スペース外の場所で停車し、1 分以上停車する。路側センサでその間の車両存在を抽出できているかを評価する。

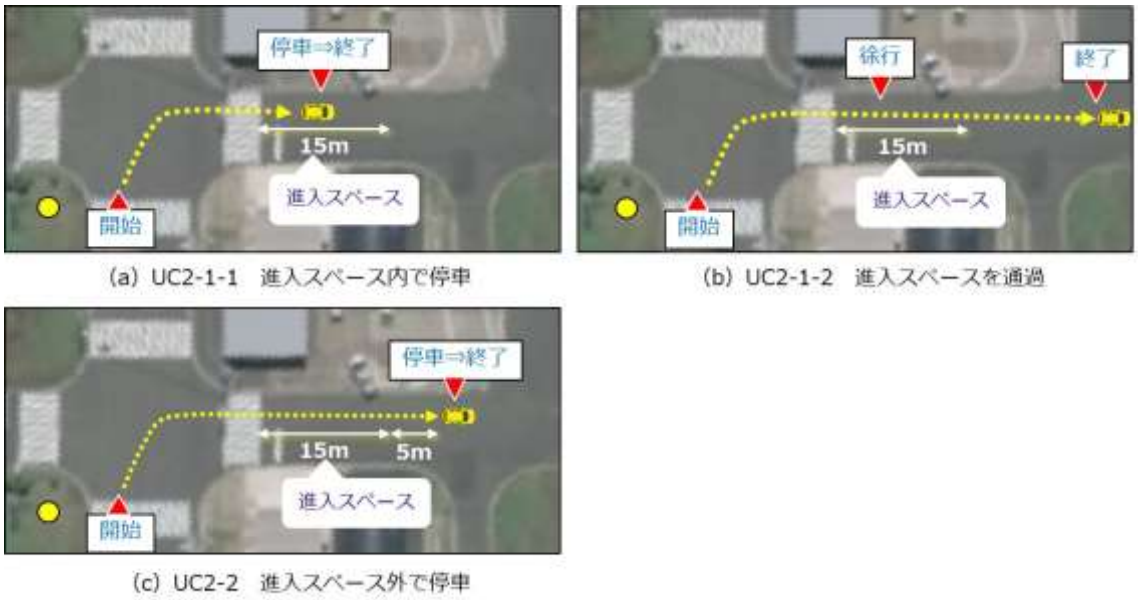


図 7.2.2②-1　ユースケース 2 の各シナリオ実施方法



図 7.2.2②-2　UC2-1-1 の実験中の模様

(2) センサのセンシングエリアの設定

LiDAR のセンシングエリアは交差点全体を対象とした。

(3) 車両位置情報の取得方法

正解率の評価時に用いる車両の位置（真値）は、抽出対象車両に搭載した RTK-GPS より取得した。位置の取得周期はセンサの収集周期に合わせ 100ms とした。

③ ユースケース 3 (UC3)の評価シナリオ

(1) シナリオ実施手順

本ユースケースでは交差点の歩道を通行する歩行者・自転車の存在を路側センサ（カメラと LiDAR）で検知する。UC3 は 3-1（接近)、3-2（横断待ち)、3-3（横断中）の 3 パターンに分割されることから、それらを組み合わせて接近→横断のパターンと、横断待ちのパターンに分けてシナリオを定義した。

さらに検知位置精度の評価用シナリオと通常シナリオを用意した。これは歩行者・自転車の検知位置精度を評価する際に、位置の真値を歩行者の移動に合わせて連続的に取得するのではなく、事前に真値を計測した複数の地点で歩行者・自転車を停止させその時の検知位置精度を評価する方法を取ったためである。検知位置精度評価用シナリオは歩行者 1 名と自転車 1 名の状況で実施し、各物体の検知精度を確認した。一方の通常シナリオでは歩行者と自転車は連続的に移動し、歩行者 2 名などのより複雑な状況も実施した。通常シナリオでは検知位置精度は（位置精度評価用シナリオで確認済みのため）評価しないが、物体の存在(人数)を正しく検知できたか検証するために検知位置のエリア判定を実施した。エリア判定の詳細は 7.2.3③の検証結果で記述する。

最終的に以下の(i)～(xiii)のようにシナリオを構成し実験を行った。

(i) 位置精度評価用　UC3-1-0/3-3-0（接近→横断）（歩行者 1 名）

本シナリオは検知位置精度の評価用シナリオである。図 7.2.2③-1 に示すように歩行者 1 名が各計測地点で 10 秒立ち止まり、その間の検知精度を評価する。図中の色つき線で示す 4 本の移動経路と横断歩道上において、丸点で示す各計測地点を設定した。計測地点は最遠方を横断歩道から 32m とし、次に 30m、以降は 5m おきに設定した。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

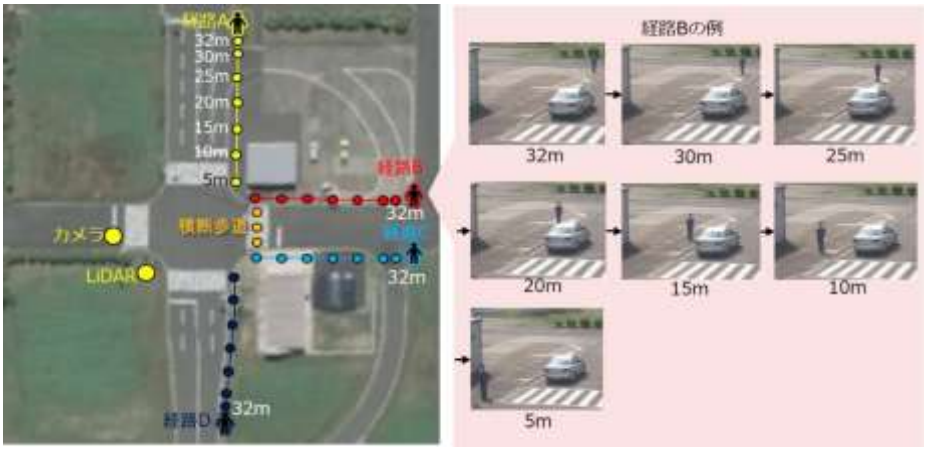


図 7.2.2③-1　位置評価用シナリオの実施方法

(ii) 位置精度評価用　UC3-1-1/3-3-1（接近→横断）（自転車１名）

(i)と同様の内容で自転車１名を対象に行う。

(iii) UC3-1-0/3-3-0　（接近→横断）（歩行者１名）

本シナリオ以降は、検知位置精度以外の項目の評価用シナリオである。図 7.2.2③-2 に示すように歩行者１名が開始地点から終了地点まで歩行する。歩行者は歩道中央を歩行する。図中の色つき実線で示す４本の移動経路のデータを別々に取得する。図 7.2.2③-3（a）に実験の模様を示す。なお、図 7.2.2③-2 の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

なお各移動経路のシナリオ実施の際に、図中に示す支援対象の自動運転車に相当する車両（赤）と、死角の原因となる車両（黄色）を配置した。ただし車両の検知は本ユースケースにおいては評価の対象外となっている。

(iv) UC3-1-1/3-3-1（接近→横断）（自転車１名）

(iii)と同様の内容で自転車１名を対象に行う。自転車は路側帯を走行する。図 7.2.2③-3（b）に実験の模様を示す。

(v) UC3-1-2/3-3-2（接近→横断）（歩行者１名・自転車１名）

(iii)と同様の内容を歩行者１名と自転車 1 名を対象に行う。歩行者は歩道中央を歩行、自転車は路側帯を走行し、2 名とも開始地点から同時に動き出す。図 7.2.2③-3（c）に実験の模様を示す。

(vi) UC3-1-3/3-3-3（接近→横断）（自転車２名　縦並び）

(iii)と同様の内容で自転車２名を対象に行う。2 名は縦方向に並び路側帯を走行した。図 7.2.2③-3（d）に実験の模様を示す。

(vii) UC3-1-4/3-3-4（接近→横断）（自転車２名　横並び）

(iii)と同様の内容で自転車 2 名を対象に行う。2 名は横方向に並び、1 名は路側帯を走行しもう 1 名は歩道中央を走行した。図 7.2.2③-3（e）に実験の模様を示す。

(viii) UC3-1-6/3-3-6（接近→横断）（歩行者２名　縦並び）

(iii)と同様の内容で歩行者 2 名を対象に行う。2 名は縦方向に並び歩道中央を歩行した。図 7.2.2③-3（ｆ）に実験の模様を示す。

(ix) UC3-1-7/3-3-7（接近→横断）（歩行者２名　横並び）

(iii)と同様の内容で歩行者２名を対象に行う。2 名は横方向に並び歩道内を歩行した。図 7.2.2③-3（g）に実験の模様を示す。

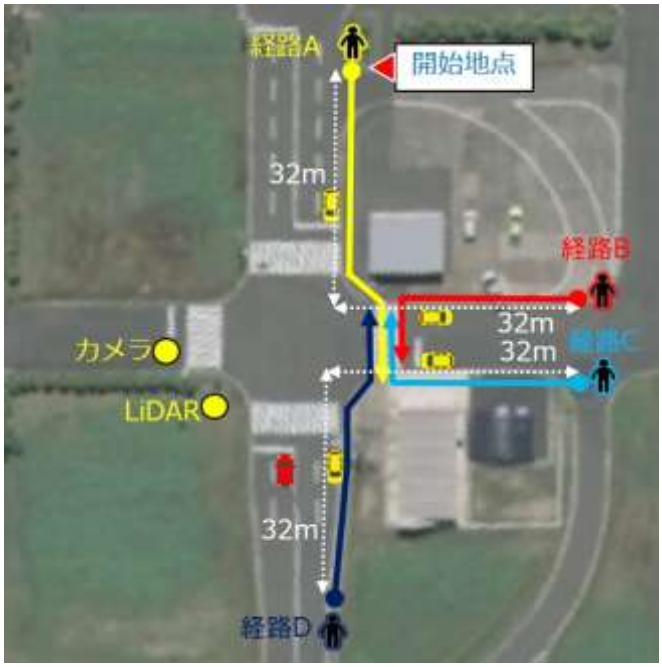


図 7.2.2③-2　歩行者・自転車の交差点接近横断シナリオの実施方法

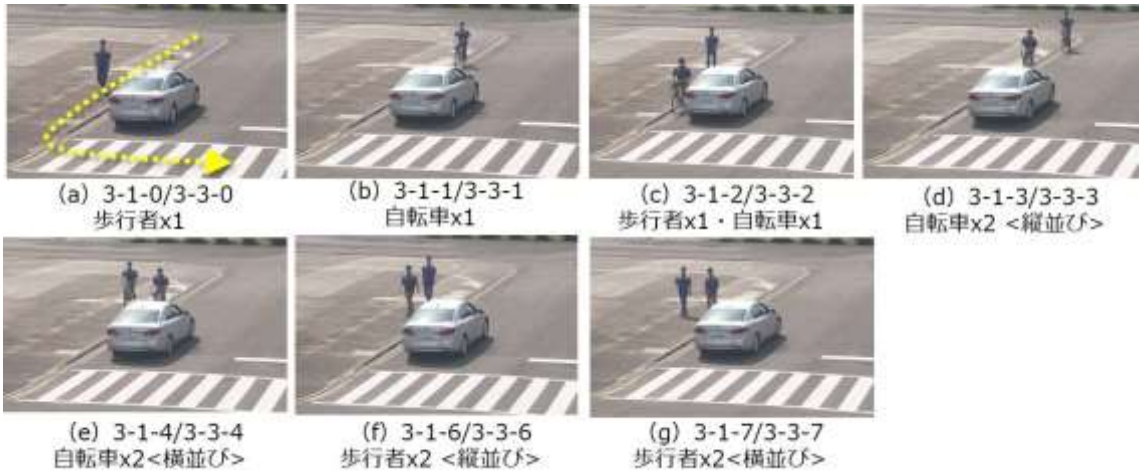


図 7.2.2③-3　歩行者・自転車の交差点接近横断シナリオの実施例

(x) UC3-2-0（横断待ち）（歩行者 1 名 向き：横断方向）

本シナリオは横断待ちをしている歩行者の身体の向きの検知性能の評価用シナリオである。歩行者の身体の向きを判断することで支援対象の自動運転車において歩行者の横断意思を推定可能となる。図 7.2.2③-4（a）に示すように歩行者 1 名が開始地点から横断歩道待機エリアまで移動後、停止し 10 秒間待機して終了する。本シナリオも図 7.2.2③-2 の色つき実線で示す 4 本の移動経路についてデータを取得する。

(xi) UC3-2-1（横断待ち）（歩行者 2 名 向き：横断方向）

(x)と同様の内容で歩行者を 2 名に変更する。図 7.2.2③-4 (b) に実験の模様を示す。

(xii) UC3-2-2（横断待ち）（歩行者 1 名 向き：非横断方向）

(x)と同様の内容で待機時の向きを非横断方向に変更する。図 7.2.2③-4 (c) に実験の模様を示す。

(xiii) UC3-2-3（横断待ち）（歩行者 2 名 向き：非横断方向）

(xi)と同様の内容で待機時の向きを非横断方向に変更する。図 7.2.2③-4 (d) に実験の模様を示す。



図 7.2.2③-4 歩行者の横断待ちシナリオの実施例

(2) 各センサのセンシングエリアの設定

路側カメラと路側 LiDAR のセンシングエリアは図 7.2.2③-5 のようになっている。カメラは横断歩道周辺を監視するよう画角を設定し、LiDAR で交差点全域をカバーする。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

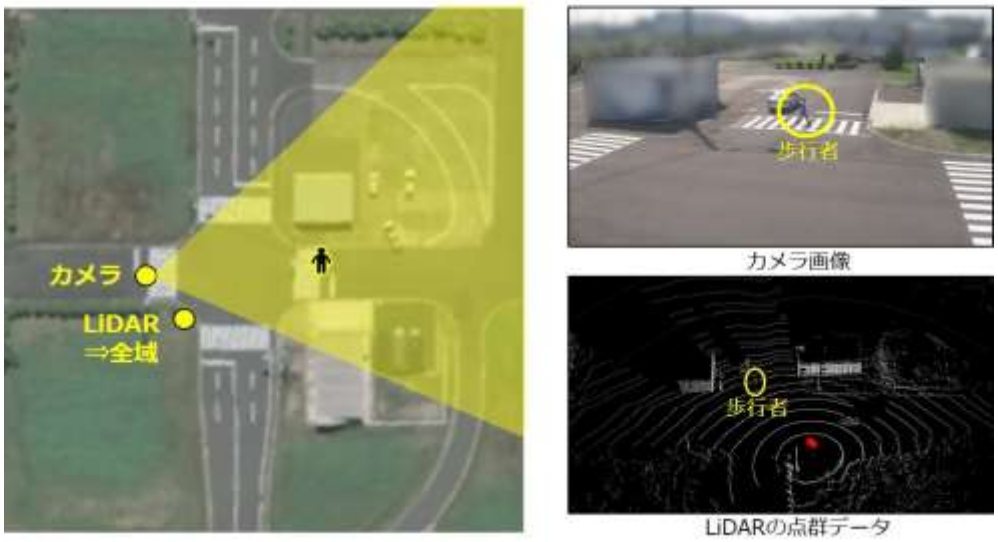


図 7.2.2③-5　カメラと LiDAR のセンシングエリアの設定

(3) 歩行者と自転車の位置真値の取得方法

正解率の評価時に用いる歩行者と自転車の位置（真値）は、前述の通り事前に真値を計測した複数の地点で歩行者・自転車を停止させその時の位置と時間を記録する方法にて行った。なお真値の取得間隔はセンサの抽出周期に合わせ 100ms とした。

④ ユースケース 4(UC4)の評価シナリオ

(1) シナリオ実施手順

本ユースケースでは LiDAR を搭載した車両により道路上に存在する物体を検知し、後続車両の走行計画立案用の情報として加工した際の精度評価を行う。障害物を検知するシナリオとして、2 種類（大：車両/小：段ボール箱）の物体を用意し道路に設置して検知する 2 シナリオを実施した。また、非障害物を障害物と誤判定しないことを確認するためのシナリオとして、大きい物体（車両）を走行させて検知するシナリオも実施した。図 7.2.2④-1 に各シナリオ実験の模様を示し、図 7.2.2④-2 に各シナリオ実施方法を示す。なお、図 7.2.2④-2 の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

なお評価は以下 3 点の項目で実施する。

・検知物体が後続車両のよけるべき障害物であるか否かの種別判定の正解率

・検知物体が障害物と判定された場合は、障害物の設置位置に対する存在車線判定の正解率

・検知物体が障害物と判定された場合は、地図上の障害物の代表点と設置位置との距離

(i) UC4-1-1

本シナリオでは図 7.2.2④-2(a)に示すように車両 1 が 40km/h で直線道路を走行し、前方の道路上に存在する停止車両（車両 2）をセンサで検知する。車両 2 の設置位置は左車線、道路中央、右車線の 3 パターンを用意する。センサでの検知結果に対し障害物判定処理を実行し、対象が障害物であると正しく判定できたかを評価する。また、障害物と判定した場合には、車両 2 の設置車線が正しく判定できたかを評価し、加えて障害物のデジタル地図上での代表点と設置位置との距離を算出し評価する。

(ii) UC4-1-2

本シナリオでは図 7.2.2④-2(b)に示すように車両 1 が 40km/h で直線道路を走行し、前方の道路上に存在する段ボール箱（サイズ:幅 55cmx 奥行 50cmx 高さ 70cm）をセンサで検知する。段ボール箱の設置位置は左車線、道路中央、右車線の 3 パターンを用意する。センサでの検知結果に対し障害物判定処理を実行し、対象が障害物であると正しく判定できたかを評価する。また、障害物と判定した場合には、段ボール箱の設置車線が正しく判定できたかを評価し、加えて障害物のデジタル地図上での代表点と設置位置との距離を算出し評価する。

(iii) UC4-1-3

本シナリオでは図 7.2.2④-2(c)に示すように車両 1 の前方を車両 2 が 40km/h で走行する。車両 1 は追従し、前方の車両 2 をセンサで検知する。検知結果に対し障害物判定処理を実行し、対象が障害物ではないと正しく判定できたかを評価する。



図 7.2.2④-1　ユースケース 4 の各シナリオ実施時の車載カメラ映像

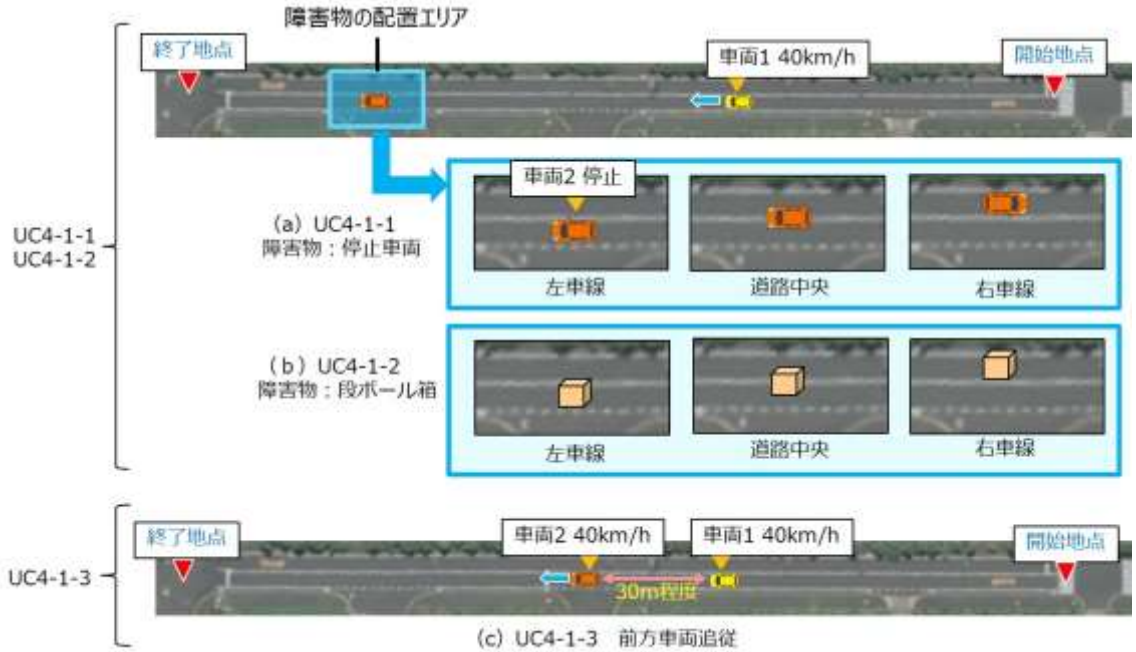


図 7.2.2④-2　ユースケース 4 の各シナリオ実施方法

(2) センサのセンシングエリアの設定

車載 LiDAR のセンシングエリアは車両の前方正面±90 度とした。

(3) 障害物位置の取得方法

正解率の評価時に用いる障害物の設置位置（真値）は、UC4-1-1、UC4-1-2 についてはテストコース現地で設置座標を計測した。UC4-1-3 については前方走行車両が障害物でないことを判定することが目的のため、車両位置の真値は計測していない。

7.2.3. 実証結果

7.2.2 の各ユースケース評価実験における抽出・統合手法と実験結果を述べる。

① ユースケース 1（UC1）

(1) 抽出・統合手法の概要

UC1 では交差点に進入する直進車両を路側ミリ波レーダと路側 LiDAR により検知し、2 つのセンサの検知エリアが重複するエリアにおいて統合処理を行う。以下に抽出、統合手法の概要を述べる。

(i) 路側ミリ波レーダを用いた抽出手法

ミリ波レーダにより車両を検知する流れは以下の通りである。路側に設置したミリ波レーダから電波を送信し、対象物体から受信した反射波を解析する。具体的には、対象物体までの距離を、反射波受信までの時間を測定することで算出する。対象物体の方向は、ミリ波レーダ内に配置された複数の受信アンテナが反射波を受信する際の時間差から生じる位相差をもとに算出する。また、対象物体の速度を、反射波のドップラーシフトをもとに算出する。（図 7.2.3①-1） このようにして得た対象物体の位置（距離と方向）および速度の時系列データをもとに、検知アルゴリズムを用いて対象物体の中から車両を抽出する。検知アルゴリズムでは、まず対象物体のうち反射波の強さが閾値以上のものを抽出し、カルマンフィルタの入力値として適用する。カルマンフィルタにて誤差分布が収束した場合、対象物体が存在すると判断し、さらに対象物体を車両、歩行者、固定物に識別する。このようにして抽出した車両の位置と速度の情報を 100ms 周期で出力する。

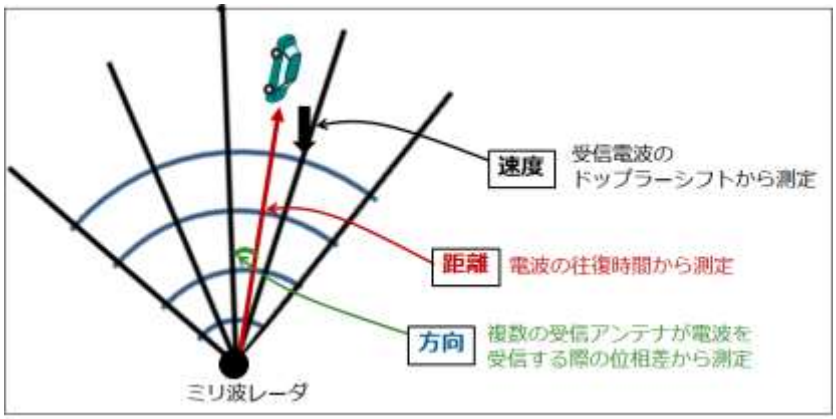


図 7.2.3①-1　ミリ波レーダによる位置と速度の算出

(ii) 路側 LiDAR を用いた抽出手法

路側 LiDAR から取得した点群情報を用いて検知を行う流れは以下の通りである。まず点群データに対して背景差分を適用し、静的な点群と動的な点群を区別する。本システムでは移動物体混在環境下においても背景データを作成可能な手法を採用しており、背景データは一般的な道路環境であれば数十分から 1 時間程度毎の更新を想定している。ただし本実証における背景データの作成は各シナリオ開始前の 10 秒間を用いて行った。背景差分の実行後に、動的な点群を占有グリッドマップへ入力し、グリッドマップ上でセルをクラスタリングし物体を検知する。検知物体の種別識別は、物体が存在する地点の道路構造情報（例：車道、歩道）と物体の大きさに基づき、車両か歩行者の 2 クラスに識別する。それら検知物体を複数フレームに渡って追跡し、カルマンフィルタを用いて物体の位置、速度、移動方向等を推定する。推定結果を 100ms 周期で出力する。図 7.2.3①-2 に本ユースケースにおける車両検知例を示す。

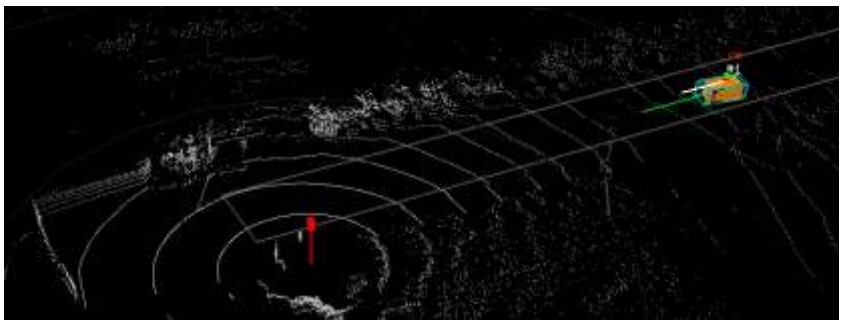


図 7.2.3①-2　LiDAR による直進車両検知の例（図中赤点は LiDAR 設置位置）

(iii) 統合手法

図 7.2.3①-3 に複数センサの統合処理の概要を示す。異なるセンサで検知した物体を同定・統合する処理の流れは以下の通りである。まず各センサでの検知処理で得た物標をデータベースに出力する。図 7.2.3①-3 の例では車両 1 台と歩行者 2 名を各センサで検知したと仮定している。このとき各センサは非同期のため物標感知時刻には時刻ズレが含まれ、さらに各センサの物標位置にも通常は位置ズレがある。次の統合処理ではまずデータベース内の物標から最新の感知時刻を持つ物標を選択し、現在時刻を基準に一定以内の時刻ズレに収まる物標を有効な統合可能対象とする。続けて、各センサの物標が同一物体であるかを同定するために、物標間のユークリッド距離を算出し、距離が閾値以内でかつ最も近い物標同士を対応付ける。すなわち、検知位置が一定程度近い物標は同一物体であると推定している。最後に、対応付けた各センサの物標から、精度が高く優先すべき値を選択し統合物標の代表値として採用する。例えば、ミリ波レーダと LiDAR の物標が対応付けば LiDAR の検知位置の方が高い精度を期待できるので LiDAR を優先する。以上の統合処理を 100ms 周期で実行する。

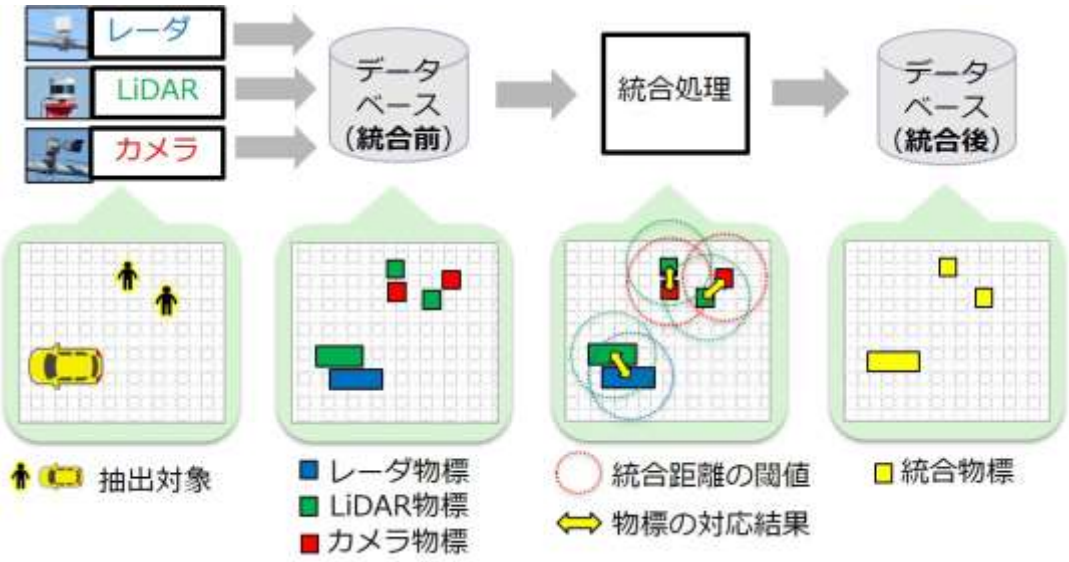


図 7.2.3①-3 複数センサの統合処理の概要

図 7.2.3①-4 に統合処理全体の処理フローを示す。統合処理の内部では、各センサの検知物標同士を同定し紐づいた結果を統合物標として管理しており、統合物標には紐づいた検知物標の ID が登録されている。また、他の物標と同定されていない単独の検知物標についても単独統合物標として管理される。一度統合物標が生成されるとその統合物標は次のフレームに引き継がれ、次のフレームで統合物標に紐づいた検知物標 ID と同じ ID を持つ検知物標が新たにセンサから得られれば、統合物標の値をそのセンサの値で更新する。

検知物標 ID がどの統合物標にも紐づいていない場合、検知物標に対して同定処理が実行され、他のセンサの物標との新規紐づけを行う。同定処理について図 7.2.3①-5 に処理フローを示す。なお、図中に登場するユークリッド距離の閾値は、本実証では 5m を採用した。

統合物標の数値の更新に当たっては、統合物標と紐づいた検知物標のうち、優先度の高いセンサの検知物標の値を採用する。

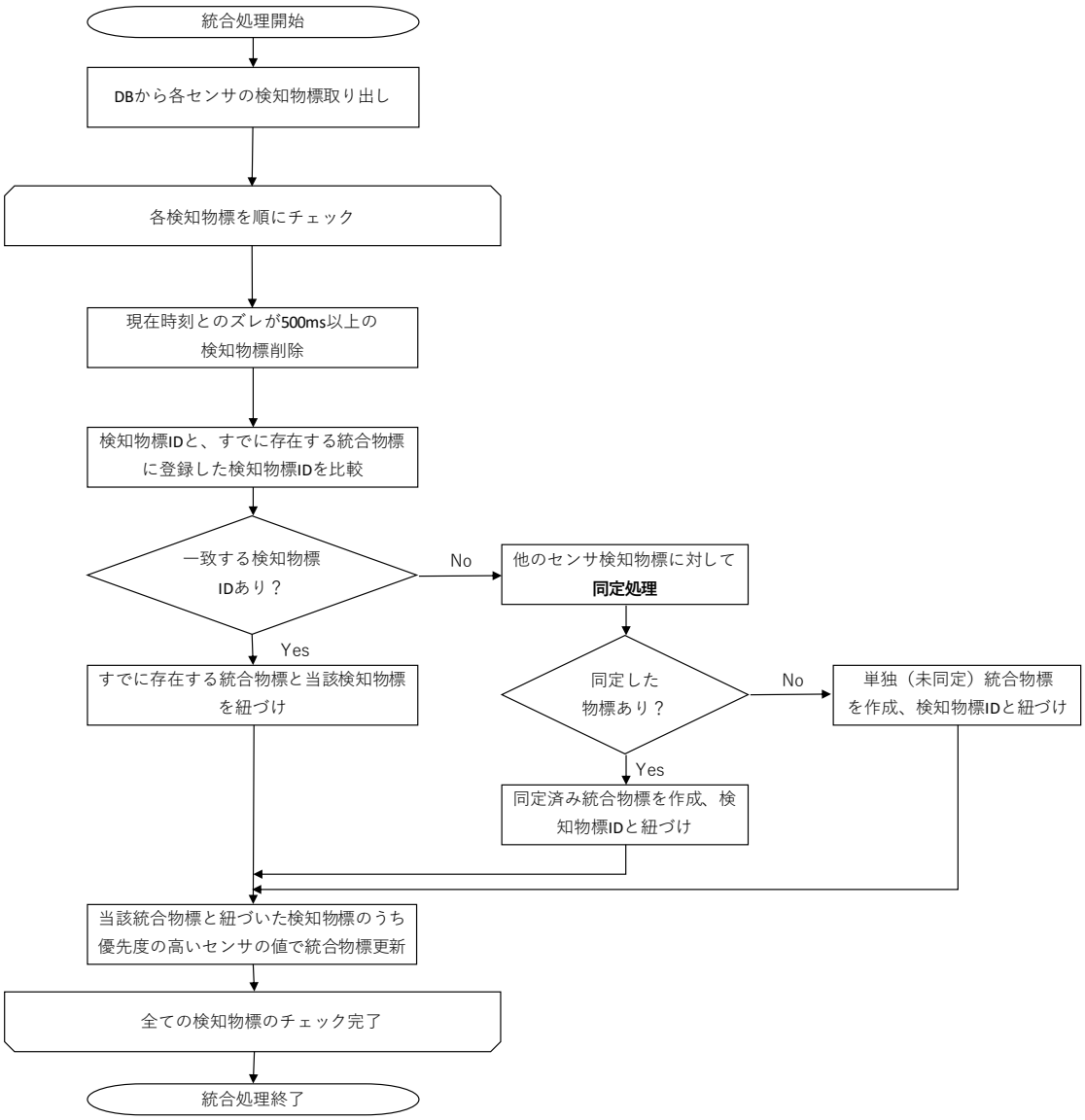


図 7.2.3①-4　統合処理全体の処理フロー

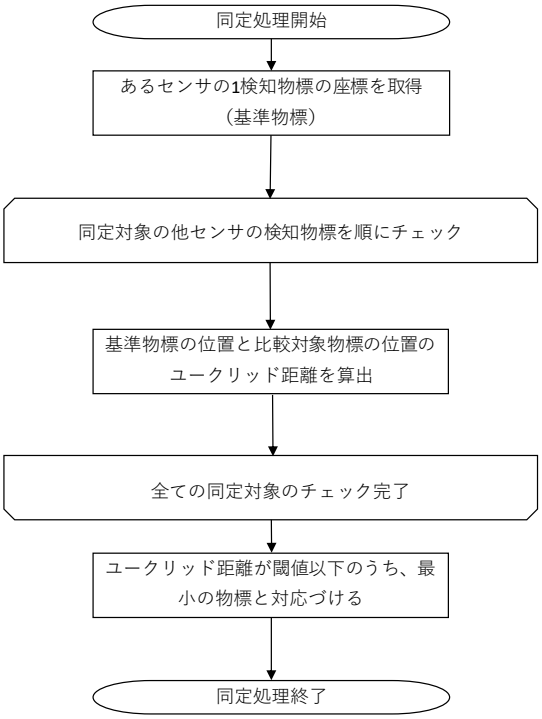


図 7.2.3①-5　同定処理の処理フロー

UC１においてはミリ波レーダと LiDAR の検知範囲が重複するエリアにおいて物標の統合が行われる。ミリ波レーダと LiDAR で検知可能な物体情報は位置・種別・速度・進行方向であり同一内容であるため、統合後に優先すべきセンサは、一般的により高い検知精度が期待できる LiDAR とした。

図 7.2.3①-6 に UC1-1-1 における１回実験分の、各センサの抽出処理・統合処理の出力例をまとめて示す。直進車両を検知する際、ミリ波レーダと LiDAR がそれぞれ検知した結果を統合処理により同定し、統合結果においては 1 つの車両として認識できているとわかる。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

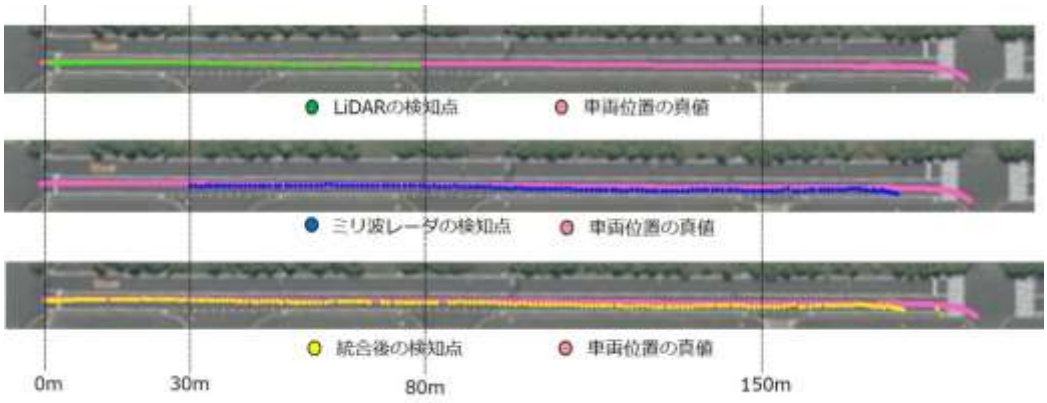


図 7.2.3①-6　LiDAR、ミリ波レーダによる直進車両の検知と統合結果の例

(2) KPI 評価方法

UC1 での必須評価項目は抽出対象車両を検知した位置の正解率 90%を満たすことである。その他評価項目として位置、速度、進行方向の誤差を評価する。車両に設置した RTK-GPS から 100ms 周期で取得した車両位置情報の時刻と、検知結果の時刻を対応付け、各種誤差を計測した。ミリ波レーダ単体の抽出性能、LiDAR 単体の抽出性能、2 センサの統合性能を各々の評価エリア内にて評価する。

図 7.2.3①-7 に検知位置誤差の計測方法を示す。位置の代表点は車両の先頭部とする。位置の真値は、GPS アンテナの座標と車長、進行方向情報により算出できる。位置の真値を中心に、車両の進行方向を前後軸、その垂直方向を左右軸と定義する。前後方向の許容誤差は 5.0m、左右方向の許容誤差は 1.75m であり、抽出位置の誤差が前後/左右の許容誤差以内のとき、抽出位置を正解とみなす。この図の例では抽出位置が許容誤差範囲の矩形内に存在しているので、抽出位置は正解と判定する。なおここでのセンサの抽出位置は、ミリ波レーダまたは LiDAR の抽出結果から得られる物体の中心点と物体の長さ、移動方向を用いて車両先頭部の位置を推定している。

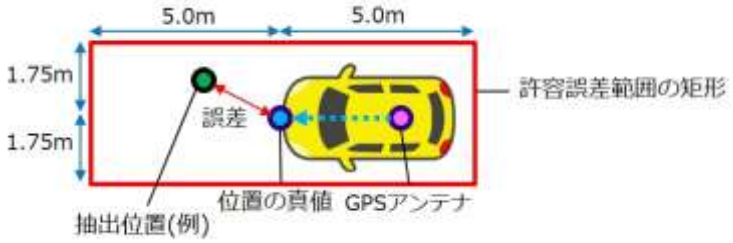


図 7.2.3①-7　ユースケース 1 における検知位置誤差の計測方法

その他評価項目である、速度と進行方向の誤差については RTK-GPS で取得した車両速度と車両進行方向を、センサで検知した値と比較し誤差を測定した。

(3) KPI 評価結果

表 7.2.3①-1 に UC1 の必須評価項目である位置正解率の評価結果を示す。各シナリオにおいて、LiDAR 単体エリアの結果、ミリ波レーダ単体エリアの結果、それらを統合したときの全エリアにおける評価結果を示す。位置や種別の正解率の算出は、各エリア内に抽出対象車両が存在したサンプル数を分母、正解したサンプル数を分子として算出した。評価対象となるサンプル数は複数回行った実験をまとめて合算しており、実験回数は表中に記載している。なお統合結果の評価に際して、抽出の段階で物体の誤検知（実際には存在しない物体を検知）が発生していると、統合結果も必然的に不正解となってしまうため、統合処理自体の性能を評価するために誤検知結果は除外している。

表 7.2.3①-1　位置正解率の KPI 評価結果

シナリオ (実験回数)	センサ	位置 正解率[%]	評価 サンプル数
1-1-1 車両 1 台 (計 15 回)	レーダ	99	1,702
	LiDAR	100	1,292
	統合	100	2,271
1-1-2 車両 2 台 (計 6 回)	レーダ	100	721
	LiDAR	100	601
	統合	100	1,006

上記表より、レーダ、LiDAR、それらの統合結果全てにおいて本研究開発の KPI 目標値である正解率 90%を満たしていることが確認できる。

表 7.2.3①-2 には必須評価項目以外の誤差測定結果を示す。表中の CDF90%とは累積度数分布において出現確率が 90%以下となる最大の誤差を示している。

表 7.2.3①-2　その他評価項目の KPI 評価結果

シナリオ (実験回数)	センサ	位置誤差[m]			速度誤差[km/h]			進行方向誤差[度]		
		平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%
1-1-1 車両 1 台 (計 15 回)	レーダ	0.87	0.71	1.21	0.58	1.10	0.83	1.67	1.61	2.81
	LiDAR	0.58	0.24	0.86	1.52	1.12	3.06	1.26	0.40	1.74
	統合	0.63	0.22	0.90	1.17	0.79	2.31	1.28	0.73	2.02
1-1-2 車両 2 台 (計 6 回)	レーダ	0.81	0.38	1.32	0.45	0.32	0.85	1.38	0.80	2.46
	LiDAR	0.52	0.23	0.77	1.49	0.89	2.69	1.12	0.46	1.69
	統合	0.74	0.25	1.03	1.08	0.63	1.97	1.11	0.55	1.80

上記表より結果の傾向として、位置誤差はLiDAR単体が最も小さく、統合ではLiDARとレーダの中間的な値となる。中間的となるのは、レーダでしか見えないエリアではレーダの結果をそのまま使用し、LiDARとレーダの両方で見えるエリアではLiDARの結果を優先しているためでる。速度誤差についてはレーダの誤差がより小さく、進行方向についてはLiDARの誤差がより小さいことがわかる。

追加検証として、シナリオUC1-1-1データにおいてLiDARのセンシング範囲を変更してKPI算出を行った。表7.2.3①-3にはLiDARのセンシング範囲3パターン設定時の位置正解率を示している。各センサのセンシングエリアの設定（7.2.2①(2)）にて記載の通り、LiDARのセンシングエリアは事前テストの結果から、本システムでは80mまでと設定しており、実際に80mまでは高い正解率が得られた。一方で、LiDAR単独では80m以遠は検知の確度が低下していくことを示しており、ミリ波レーダと統合することにより0m-150mまでで100%の正解率（表7.2.3①-1）を達成できたことから、複数センサの統合が有効であるとわかる。

表7.2.3①-3　LiDAR単独のセンシングエリア別の位置正解率

シナリオ（実験回数）	センサ	位置正解率[%]		
		0m-80m	80m-90m	90m-100m
1-1-1（計15回）	LiDAR	100.0	97.04	93.33
	レーダ	92.18	100.0	100.0

② ユースケース 2（UC2）

(1) 抽出・統合手法の概要

UC2 では交差点の右折先進入スペースに存在する車両を路側 LiDAR で検知する。本ユースケースにおける LiDAR の検知手法は UC1 の車両検知方法（7.2.3①(1)(ii)）と同一であるが、UC2 の状況は UC1 と異なり検知対象物が停止するという違いがある。先に述べたように本システムでは LiDAR の点群の背景差分を利用して物体を検知しているので、移動物体があるタイミングで停止しても継続して検知可能である。一方で背景差分には、物体が停止状態のまま数十分から 1 時間程度が経過して物体が背景の一部として認識されると対象の検知が不可能になる欠点が存在する。ただし本ユースケースが対象とする状況は右折先進入スペースが一時的な滞留車両により占有されている場合であるため長時間の車両停止は発生しないことから、背景差分手法で本ユースケースに対応可能と判断した。図 7.2.3②-1 に UC2 の各シナリオにおける抽出処理の出力例を示す。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

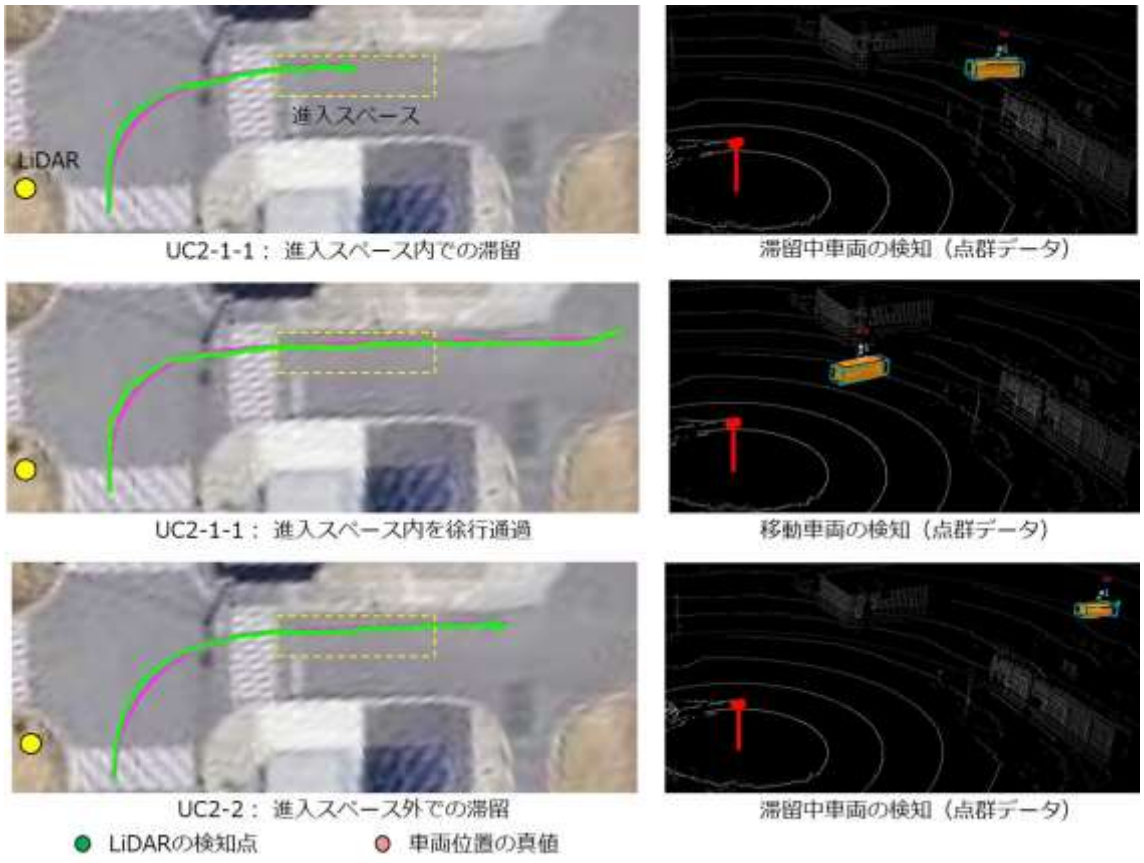


図 7.2.3②-1　（左）検知座標のプロット、（右）LiDAR の点群データ上での検知例

(2) KPI 評価方法

UC2 での必須評価項目は抽出対象車両を検知した位置と種別の正解率 90%を満たすことである。その他評価項目として位置、速度、進行方向の誤差を評価する。車両に設置したRTK-GPSから100ms周期で取得した真値情報の時刻と、検知結果の時刻を対応付け、各種誤差を計測した。

図 7.2.3②-2 に位置誤差の計測方法を示す。位置の代表点は車両の後端部とした。位置の真値は、GPS アンテナの座標と車長、進行方向情報により算出できる。位置の真値を中心として車両の進行方向を前後軸、その垂直方向を左右軸と定義する。前後方向の許容誤差は 2.0m、左右方向の許容誤差は 1.75m であり、抽出位置誤差が前後/左右ズレの許容誤差以内のとき、抽出位置を正解とみなす。この図の例では抽出位置が許容誤差範囲の矩形内に存在しているので、抽出位置は正解と判定する。なお抽出位置は、LiDAR の抽出結果から得られる物体の中心点と物体の長さ、移動方向を用いて車両後端部の位置を推定する。



図 7.2.3②-2　ユースケース 2 における検知位置誤差の計測方法

その他評価項目である、速度と進行方向の誤差については RTK-GPS で取得した車両速度と車両進行方向を、センサで検知した値と比較し誤差を測定した。

(3) KPI 評価結果

表 7.2.3②-1 にユースケース 2 の必須評価項目である位置正解率の評価結果を示す。位置や種別の正解率の算出は、各エリア内に抽出対象車両が存在したサンプル数を分母、正解したサンプル数を分子として算出した。評価対象となるサンプル数は複数回行った実験をまとめて合算しており、実験回数は表中に記載している。

表 7.2.3②-1 位置と種別の正解率の KPI 評価結果

シナリオ (実験回数)	センサ	位置 正解率[%]	評価 サンプル数
2-1-1 (1 回)	LiDAR	100	783
2-1-2 (計 3 回)	LiDAR	100	641
2-2 (1 回)	LiDAR	100	1,036

上記表より、LiDAR の抽出結果が本研究開発の KPI 目標値である位置正解率 90%を満たしていることが確認できる。

表 7.2.3②-2 には必須評価項目以外の誤差測定結果を示す。

表 7.2.3②-2 その他評価項目の KPI 評価結果

シナリオ (実験回数)	センサ	位置誤差[m]			速度誤差[km/h]			進行方向誤差[度]		
		平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%
2-1-1 (1 回)	LiDAR	0.80	0.14	0.94	0.45	0.32	0.92	12.13	1.32	12.46
2-1-2 (計 3 回)	LiDAR	0.48	0.14	0.65	0.84	0.80	2.17	8.22	4.55	10.92
2-2 (1 回)	LiDAR	0.41	0.06	0.48	0.68	0.58	1.53	6.35	0.67	6.49

③ ユースケース 3 （UC3）

(1) 抽出・統合手法の概要

UC3 では交差点の横断歩道へ接近する歩行者・自転車を路側カメラと路側 LiDAR により検知し、2 つのセンサが重複するエリアにおいて統合処理を行う。以下に抽出、統合手法の概要を述べる。

(i) 路側 LiDAR を用いた抽出手法

LiDAR の物体検知手法は UC1、UC2 と同一である（①(1)(ii)を参照）。ただし UC3 では抽出対象が歩行者または自転車であるが、先に述べたように本システムの LiDAR による物体識別は車両か歩行者の 2 クラス識別であるため自転車の扱いが問題となる。2 クラス識別とした理由は、LiDAR で得られる点群の形状から歩行者と自転車を正確に識別することが困難なためで、遠距離では歩行者と自転車の点群は似た形状となる一方、近距離では自転車は小型車両程度の大きさで検知され得る。このような 2 クラス識別のシステムにおいて、自転車を歩行者か車両のどちらとして扱うか定義するのは困難であるため、本検証では自転車をどちらに識別しても正しいという条件を設けた。図 7.2.3③-1（a）に LiDAR による抽出処理の出力例を示す。

(ii) 路側カメラを用いた抽出手法

路側カメラにより歩行者または自転車を検知する流れは以下の通りである。まずカメラから JPEG 形式で画像を取得する。画像を畳み込みニューラルネットの検知器に入力し、画像平面上の物体位置と物体種別を得る。このとき物体追跡処理も同時に行う。次に物体位置を画像平面座標から実世界座標へ変換するため、射影変換行列による座標変換を行う。最後に、変換後の座標に基づき物体の移動速度と移動方向を算出する。検知器が検知可能な物体種別は歩行者/自転車/自動車の 3 種である。検知器は一般の公開データセットとテストコースにて収集した訓練用データセットで訓練されている。

さらに本システムでは横断待ちの歩行者の身体の向きを識別する。身体向きを識別することで支援対象車において歩行者の横断方向が推定可能となる。身体向きは 0 度～360 度までを 45 度刻みで 8 方向に離散化して表現する。身体向き識別の流れは、まず上記検知器で検知された歩行者の矩形領域を画像から切り出し、画像リサイズを行う。次にその画像を畳み込みニューラルネットの身体向き識別器に入力し、歩行者の身体向きを得る。識別器はテストコースにて収集した訓練用データセットで訓練されている。

検知器と身体向き識別器の実行とその他処理を含め全体を 100ms 周期で実行する。なお検知器と身体向き識別器は狭域サーバ上の GPU で実行する。図 7.2.3③-1（b）にカメラによる抽出処理の出力例を示す。

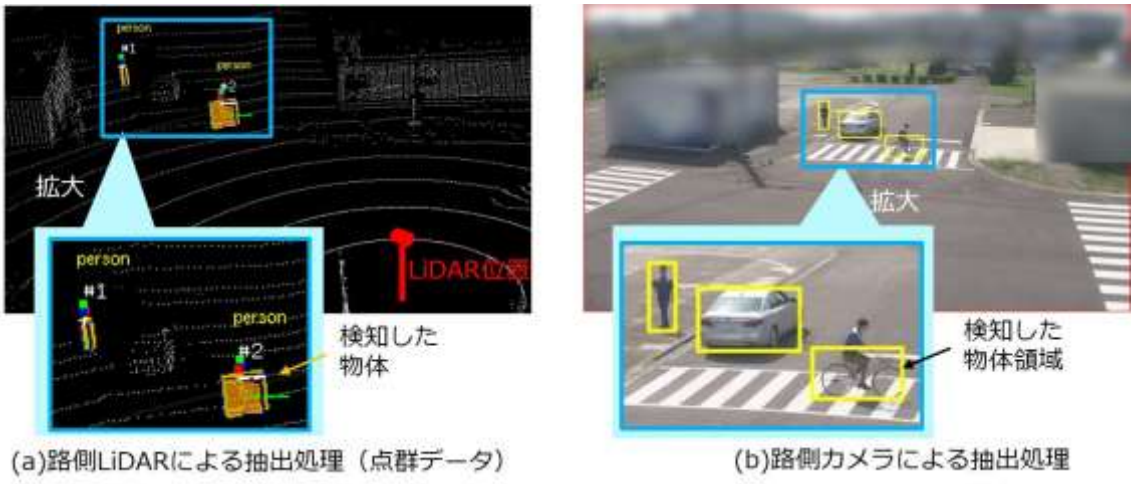


図 7.2.3③-1　路側のカメラと LiDAR による歩行者と自転車の抽出例（UC3-1-2/3-3-2）

(iii) 統合手法

カメラと LiDAR の検知結果の統合手法は UC1 の項にて説明した統合手法(①(1)(iii))と同一であるが、統合後の物標で採用する値は LiDAR とカメラの検知値から、下記の表 7.2.3③-1 のセンサの検知値をそれぞれ採用する。物体の位置や速度、サイズなどの空間的測定値については LiDAR の精度が良く、物体種別や身体向きなどの見た目情報についてはカメラが良いとの判断から決定した。

表 7.2.3③-1 カメラと LiDAR の統合後に採用する物標の値

物標に含まれる項目	統合後に採用する値
物体の位置	LiDAR の抽出結果
物体の種別	カメラの抽出結果
物体の速度	LiDAR の抽出結果
物体の進行方向	LiDAR の抽出結果
物体のサイズ	LiDAR の抽出結果
歩行者の身体の向き	カメラの抽出結果

図 7.2.3③-2 にカメラと LiDAR の抽出処理・統合処理の出力例をまとめて示す。例として UC3-1-2/3-3-2 における経路 B 実験分の、歩行者と自転車に対する結果を用いた。統合処理により同一物体に対してカメラと LiDAR が抽出した結果を同定して物体を認識できているとわかる。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。



図 7.2.3③-2　カメラと LiDAR の抽出処理と統合処理の出力例（UC3-1-2/3-3-2）

(2) KPI 評価方法

ユースケース 3 での必須評価項目は対象物体を検知した位置の正解率 90%を満たすことである。位置の真値との比較は、実証の流れ（7.2.2③）で述べたとおり、位置正解率評価用のシナリオを用意し、事前に真値を測定した計測ポイントで歩行者が立ち止まることで、その間の抽出結果と真値の誤差を求めた。

図 7.2.3③-3 に位置精度評価用シナリオにおける位置誤差の計測方法を示す。位置の真値は歩行者または自転車の中心とし、この座標を中心に 2.0m が許容誤差円となる。検知位置が許容誤差範囲内のとき、抽出を正解とみなした。

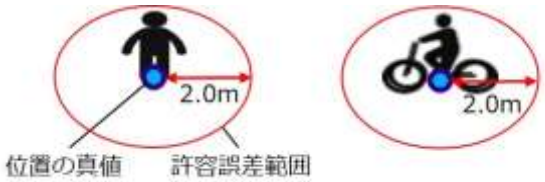


図 7.2.3③-3　ユースケース 3 における検知位置誤差の計測方法

一方で、位置精度評価用シナリオ以外の通常シナリオにおいては、位置正解率は絶対位置との比較ではなく、物体が指定エリア内に存在する時に、正しい物体数の検知結果が指定エリア内に得られれば正解とした。図 7.2.3③-4 に各移動経路用の正解判定エリアを示す。図中赤色のポリゴン領域内に検知値が得られれば正解と判定した。表 7.2.3③-4 以降の結果についてはこの正解率を「エリア正解率」として記載する。なお、進行方向誤差と速度誤差の算出は、エリア内で検知した物体に対して実施した。なお、当図の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。

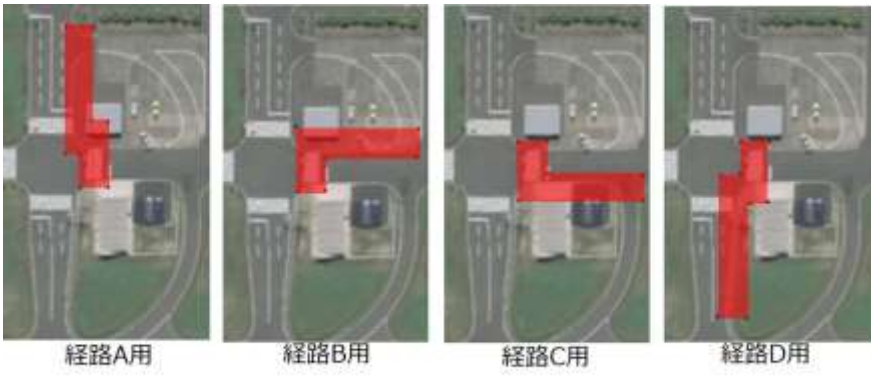


図 7.2.3③-4　ユースケース 3 の物体移動経路毎の検知正解判定エリア

その他評価項目として速度、進行方向、歩行者の身体向きの誤差を評価した。これらについてはカメラ画像から計算もしくは目視で推定した値を真値とし、センサで検知した値と比較して誤差を測定した。

(3) KPI 評価結果

(i) 歩行者または自転車 1 名　交差点接近横断検知（UC3-1-0/3-3-0/3-1-1/3-3-1）

表 7.2.3③-2 に歩行者 1 名または自転車 1 名の交差点接近横断状況における位置精度評価シナリオにおける評価結果を示す。LiDAR 単体の結果、カメラ単体の結果、それらを統合したときの結果を示している。正解率の算出は、各計測ポイントに歩行者または自転車が存在したサンプル数を分母、正解したサンプル数を分子として算出した。評価対象となるサンプル数は複数回行った移動経路の異なる実験（図 7.2.2③-2(実証の流れ)における経路 A～経路 D、横断歩道上）をまとめて合算している。

表 7.2.3③-2　歩行者 1 名または自転車 1 名　交差点接近横断検知の位置精度評価結果

シナリオ	センサ	位置	位置誤差[m]			サンプル数
		正解率[%]	平均	標準偏差	CDF90%	
(位置精度評価)	LiDAR	100	0.108	0.093	0.213	2,428
3-1-0/3-3-0	カメラ	99	0.696	0.429	1.21	1,489
歩行者 1 名	統合	100	0.114	0.123	0.269	2,368
(位置精度評価)	LiDAR	100	0.189	0.124	0.343	2,541
3-1-1/3-3-1	カメラ	99	0.676	0.311	1.067	1,584
自転車 1 名	統合	99	0.205	0.174	0.425	2,451

上記表より、LiDAR、カメラ、統合結果全てにおいて本研究開発の KPI 目標値である位置正解率 90%を満たしていることが確認できる。位置精度に関しては LiDAR がカメラより優

れていることがわかり、統合後もLiDARの位置を優先しているためLiDAR同等の精度となっている。

なお、抽出（LiDAR）の正解率が100%にも関わらず統合の正解率が100%となっていない箇所があるが、これは各センサの抽出処理と統合処理が非同期で動作することに起因する。抽出処理の実行タイミングによっては、稀に統合処理周期の100msの間に抽出結果が生成されない場合があり、そのフレームでは統合結果は未生成となるため正解率が低下した。

表7.2.3③-3には同じく歩行者1名または自転車1名の交差点接近横断シナリオにおけるその他評価項目の結果をまとめる。

表7.2.3③-3 歩行者1名または自転車1名 交差点接近横断検知のその他項目評価結果

シナリオ	センサ	進行方向誤差[度]			速度誤差[km/h]			サンプル数
		平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	
3-1-0/3-3-0 歩行者1名	LiDAR	9.21	29.93	47.42	0.42	0.65	1.19	958
	カメラ	17.77	41.15	69.66	1.31	1.91	3.7	651
	統合	9.77	31.03	49.03	0.49	1.45	2.30	933
3-1-1/3-3-1 自転車1名	LiDAR	8.56	17.92	30.49	1.76	1.36	3.48	740
	カメラ	31.53	47.29	91.88	3.46	3.13	7.44	404
	統合	10.01	28.14	45.42	1.83	1.45	3.67	725

上記表より傾向として、進行方向と速度の精度はLiDARがカメラより優れていることがわかる。統合後もLiDARの数値を優先しているためLiDAR同等の精度となっている。

(ii) 歩行者1名と自転車1名同時　交差点接近横断検知（UC3-1-2/3-3-2）

表7.2.3③-4に歩行者1名・自転車1名が同時に接近横断するシナリオにおけるエリア正解率とその他評価項目の結果を示す。ここでのエリア正解率は物体を指定エリア内で検知できたかどうかで判定している。

表7.2.3③-4 歩行者1名と自転車1名同時 交差点接近横断検知の評価結果

シナリオ	センサ	エリア正解率[%]	進行方向誤差[度]			速度誤差[km/h]			サンプル数
			平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	
3-1-2/3-3-2 歩行者1名 自転車1名	LiDAR	99	8.25	17.61	30.41	1.05	1.25	2.64	1,462
	カメラ	99	18.14	21.71	45.91	2.18	4.24	7.57	960
	統合	100	8.70	18.96	32.27	1.12	1.44	2.97	1,443

上記表より、LiDAR、カメラ、統合結果全てにおいて本研究開発の KPI 目標値である正解率 90%を満たしていることが確認できる。その他項目の傾向は 1 名検知シナリオ時と同様である。

(iii) 自転車 2 名　交差点接近横断検知 (UC3-1-3/3-3-3/3-1-4/3-3-4)

表 7.2.3③-5 に自転車 2 名が同時に接近横断するシナリオにおけるエリア正解率とその他評価項目の結果を示す。ここでのエリア正解率は物体を指定エリア内で検知できたかどうかで判定している。

表 7.2.3③-5 自転車 2 名同時 交差点接近横断検知の評価結果

シナリオ	センサ	エリア	進行方向誤差[度]			速度誤差[km/h]			サンプル数
		正解率[%]	平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	
3-1-3/3-3-3	LiDAR	97	10.76	16.62	30.92	0.82	0.74	1.77	416
自転車 2 名	カメラ	100	30.67	45.39	87.29	1.02	1.30	2.62	149
縦並び	統合	96	13.38	18.94	36.46	0.82	0.83	1.81	384
3-1-4/3-3-4	LiDAR	96	10.87	15.88	30.81	1.10	0.97	2.27	378
自転車 2 名	カメラ	50	31.09	17.76	48.72	1.25	4.06	5.11	176
横並び	統合	97	11.00	15.93	30.81	1.13	1.03	2.35	377

上記表より、LiDAR、統合において KPI 目標値である位置正解率 90%を満たしているが、カメラによる自転車 2 名横並びの検知で 90%未達である。未達箇所では、カメラから見ると自転車が 2 名重なってオクルージョンが発生したため検知ができず正解率が低下した。その他項目の傾向は 1 名検知シナリオ時と同様である。

(iv) 歩行者 2 名　交差点接近横断検知 (UC3-1-6/3-3-6/3-1-7/3-3-7)

表 7.2.3③-6 に歩行者 2 名が同時に接近横断するシナリオにおけるエリア正解率とその他評価項目の結果を示す。ここでのエリア正解率は物体を指定エリア内で検知できたかどうかで判定している。

表 7.2.3③-6 歩行者 2 名同時　交差点接近横断検知の評価結果

シナリオ	センサ	検出正解率[%]	進行方向誤差[度]			速度誤差[km/h]			サンプル数
			平均	標準偏差	CDF90%	平均	標準偏差	CDF90%	
3-1-6/3-3-6	LiDAR	97	9.72	16.85	30.65	0.37	0.34	0.81	637
歩行者 2 名	カメラ	97	38.22	33.73	80.48	1.46	2.44	4.32	309
縦並び	統合	100	9.79	16.67	30.65	0.40	0.41	0.92	640
3-1-7/3-3-7	LiDAR	98	9.30	16.37	30.12	0.38	0.39	0.87	599
歩行者 2 名	カメラ	59	33.95	31.29	70.77	1.47	2.69	4.69	302
横並び	統合	100	9.43	16.94	31.01	0.41	0.74	1.35	580

上記表より、LiDAR、統合において KPI 目標値である位置正解率 90%を満たしているが、カメラによる歩行者 2 名横並びの検知で 90%未達である。カメラの画角内では歩行者が 2 名重なりオクルージョンが発生したため検知ができず正解率が低下した。その他項目の傾向は 1 名検知シナリオ時と同様である。

(v) 横断待ち検知　横断方向 (UC3-2-0/3-2-1)

表 7.2.3③-5 に、歩行者 1 名または 2 名が横断歩道前で、横断方向に身体を向けて横断待ちをするシナリオにおける、歩行者の身体向き検知の正解率評価結果を示す。身体向きは 0～360 度までを 45 度刻みに 8 方向で離散表現しているが、正解率は、正解の方向と同じ向きを検知できた場合（誤差±0 度）と、正解の方向と同じ向きか隣接する方向のどれかを検知できた場合（誤差±45 度）の 2 条件で評価した。

表 7.2.3③-7 横断待ち歩行者(横断方向)の身体向き検知精度評価結果

シナリオ	センサ	身体向きの方向	身体向き正解率[%]		サンプル数
			誤差±0 度のみ正解	誤差±45 度まで正解	
3-2-0	カメラ	横断方向	94	99	578
歩行者 1 名	統合		98	99	575
3-2-1	カメラ	横断方向	97	99	218
歩行者 2 名	統合		97	99	222

上記表より、横断方向を向く歩行者の身体向き正解率は 90%以上を満たしている。

なお、本シナリオにおける統合結果（カメラと LiDAR）は、LiDAR が身体向きを検知できないため、評価の目的としてはカメラの身体向きデータが統合結果に正しく反映されることを確認することとなる。なお、歩行者 1 名の評価にて統合結果の正解率がカメラ単体の正解率を上回っているが、これはカメラの検知処理と統合処理が非同期で動作するため、カメラの出力タイミングによっては統合の身体向きが更新されないフレームが生じ、その

結果偶然に正解率が上昇したものである。よって身体向き検知の性能評価指標としてはカメラ単体の結果を重視すべきである。

(vi) 横断待ち検知　非横断方向 (UC3-2-2/3-2-3)

表 7.2.3③-6 に、歩行者 1 名または 2 名が、横断歩道前で非横断方向に身体を向けて横断待ちをするシナリオにおける、歩行者の身体向き検知の正解率評価結果を示す。

表 7.2.3③-8 横断待ち歩行者(非横断方向)の身体向き検知精度評価結果

シナリオ	センサ	身体向きの方向	身体向き正解率[%]		サンプル数
			誤差±0 度のみ正解	誤差±45 度まで正解	
3-2-2 歩行者 1 名	カメラ	非横断方向	57	98	399
	統合		57	98	399
3-2-3 歩行者 2 名	カメラ	非横断方向	11	87	184
	統合		10	84	190

上記表より、非横断方向を向く歩行者の身体向き正解率は誤差±0 度にて 90%未達となっている。誤差±45 度では 2 名の場合に 90%未達となっている。

④ ユースケース 4 (UC4)

(1) 抽出手法の概要

UC4 では車載 LiDAR の抽出結果を基に道路上の障害物を検知し、後続車両の走行計画立案用の情報として加工した際の精度評価を行う。以下に、前段となる車載 LiDAR の物体検知処理、後段となる障害物検知処理の概要を述べる。

(i) 車載 LiDAR を用いた道路上の物体検知手法

車載 LiDAR から取得した点群情報を用いて物体検知を行う際は、路側センサのアルゴリズムと異なりセンサが移動するため背景差分法による検知を行えない。そこで、道路上の物体を検知するために、事前に実験エリアの道路領域座標をポリゴン化しておき、道路領域内の立体物のみを検知する手法を用いた。まず、入力された点群を路面の点群とそれ以外の立体物点群に識別する。次に立体物点群のうち、道路領域ポリゴン内の点群を検知対象の点群とする。対象の点群に対する検知・追跡処理は、路側センサにおける処理と同一である（①(1)(ii)を参照)。この処理を 100ms 周期で実行し結果を出力する。図 7.2.3④-1 には UC4-1-2 における段ボール箱の検知例を示す。

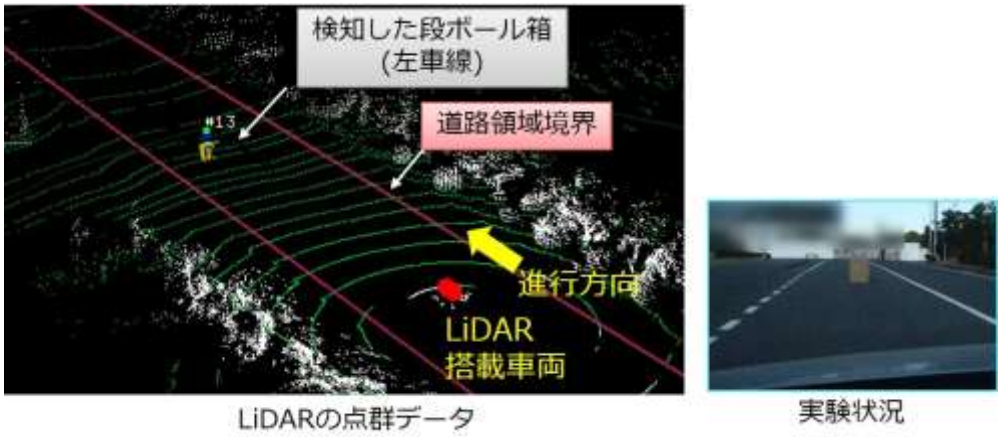


図 7.2.3④-1　車載 LiDAR による道路上の物体検知概要

(ii) 障害物検知

障害物検知では、車載 LiDAR の物体検知データを入力として、検知物体が障害物であるか否かの種別判定処理、後続車両の走行計画立案用の情報に加工するためのデジタル地図上への対応付け処理を行う。

デジタル地図上への対応付けは存在車線判定処理による車線への紐づけと代表点算出処理によるデジタル地図上の代表点への対応付けを実施する。これら 3 種類の処理は 100ms 毎に処理が起動される。

種別判定処理では車載 LiDAR を用いた物体検知の出力データに含まれる物体の移動速度が 500ms の間、時速 5.5km/h を下回る場合に障害物と判定する。障害物判定された物体に対して存在車線判定処理と代表点算出処理を実施する。

存在車線判定処理では矩形として表現されたデジタル地図と障害物とのオーバーラップを計算し、オーバーラップが生じている矩形が所属する車線に障害物を紐づける。障害物の占めるエリアは障害物の中心座標から車載 LiDAR を用いた物体検知の出力データに含まれる 2 つの幅の内、小さい方を半径とした円とする。

代表点算出処理では車両と障害物までの道のり距離を算出しやすくするために、障害物の中心座標とデジタル地図の車線中央線を構成する補間点との距離を算出し、最小距離となるデジタル地図上の点に紐づけ、それを障害物のデジタル地図上での代表点とする。

(2) KPI 評価方法

本ユースケースでは、静止している物体を障害物として認識できること、さらに認識した物体（障害物）の前後ズレの許容範囲は直線距離で 5m 以内であること、実際に障害物が存在する車線と一致することの全てを満たせば正解とし、サンプル数に対して正解となる割合を正解率とする。

設置位置は左車線、道路中央、右車線の 3 パターンを用意し、道路中央の場合は障害物に対する存在車線は左車線と右車線を同時に出力した場合に正解とする。

(3) KPI 評価結果

表 7.2.3④-1 にユースケース 4 の 3 つのシナリオについての評価結果を示す。評価対象となるサンプル数は複数回行った実験を合計しており、実験回数は表中に記載している。

表 7.2.3④-1 障害物検知の種別判定と位置判定の正解率評価

シナリオ (実験回数)	サンプル数	種別判定正解率[%]	種別判定後レコード数	存在車線判定正解率[%]	地図上の代表点と設置位置との距離が 5m 以内の割合 [%]	正解率 (KPI) [%]
4-1-1 (計 9 回)	795	96	768	97	100	93
4-1-2 (計 15 回)	821	100	821	96	100	96
4-1-3 (計 4 回)	907	94	評価対象外	評価対象外	評価対象外	94

上記表より、全てのシナリオにおいて、情報の種別ならびに存在車線判定の正解率が本研究開発の KPI 目標値である正解率 90%を満たしていることが確認できる。本評価結

果は LiDAR を搭載した車両と検知対象の物体との距離が 80m 以内を対象としており、かつ検知した物体の幅の下限値を 70cm に設定した時の結果である。

7.3. 総合検証

センタ処理方式における収集・配信の性能評価を行うため、5G サービスエリア内の青海 1 丁目交差点周辺（東京都江東区青海地区）において、各ユースケースのデータやピーク時を想定したデータを通信して性能を評価した。

表 7.3-1、表 7.3-2、表 7.3-3 に統合検証の項目を示す。

表 7.3-1 は、センサデータをアップロードする検証である。事前に収集済みのセンサデータを読み込みして使用した。

表 7.3-2 は、車両情報をアップロードする検証である。

表 7.3-3 は、物標情報をダウンロードする検証である。

表 7.3-4 にスループットの算出目安にした各データのサイズを示す。

表 7.3-1　統合検証項目 1 （センサデータアップロード）

検証No.	試験箇所	センサ数	スループット
o-1-1	情報源から狭域サーバ	LiDAR×1	14.1Mbps
o-1-2	情報源から狭域サーバ	レーダ×1	0.04Mbps

表 7.3-2　統合検証項目 2 （車両情報アップロード）

検証No.	試験箇所	車両数	スループット
o-2-1	情報源から狭域サーバ	1台	0.01Mbps
o-2-2	情報源から狭域サーバ	29台	0.3Mbps
o-2-3	情報源から狭域サーバ	57台	0.7Mbps

表 7.3-3　統合検証項目 3 （物標情報ダウンロード）

検証No.	試験箇所	車両数	送信物標数	スループット
o-3-1	狭域サーバから配信先	1台	1件	0.01Mbps
o-3-2	狭域サーバから配信先	1台	11件	0.1Mbps
o-3-3	狭域サーバから配信先	6台	11件	0.6Mbps
o-3-4	狭域サーバから配信先	29台	11件	2.8Mbps

表 7.3-4　トラフィック・スループットの算出目安

データの種類		1台当たり トラフィック	1件当たりの トラフィック	1台/1件当たりの スループット
センサデータ	LiDAR	180KB	―	14.1Mbps
	カメラ	230KB	―	18Mbps
	レーダ	0.5KB	―	0.04Mbps
車両情報		―	155B	0.01Mbps
物標データ		―	ヘッダ：53B 物標：112B	0.01Mbps

7.3.1. 実証環境の構築

① 実験場所

実験機器を搭載した車両を青海 1 丁目交差点周辺に停車し、検証を行った（図 7.3.1①-1）。なお図 7.3.1①-1 の背景地図の出展は国土地理院撮影の全国最新写真である。



図 7.3.1①-1　実験場所

② 機器の接続

総合検証の機器接続構成について図 7.3.1②-1 に示す。青海 1 丁目交差点付近に停車する車両側にアップロード装置として PC と 5G 端末を、配信装置として PC と 5G 端末を設置した。狭域サーバと中域サーバは、dOIC に構築した。各機器は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が公開する NTP サーバと同期させた。使用している機器は、表 7.3.1②-1 に記載したもの以外は「表 7.1.1-1：センタ処理方式のハードウェア一覧表」と同じである。

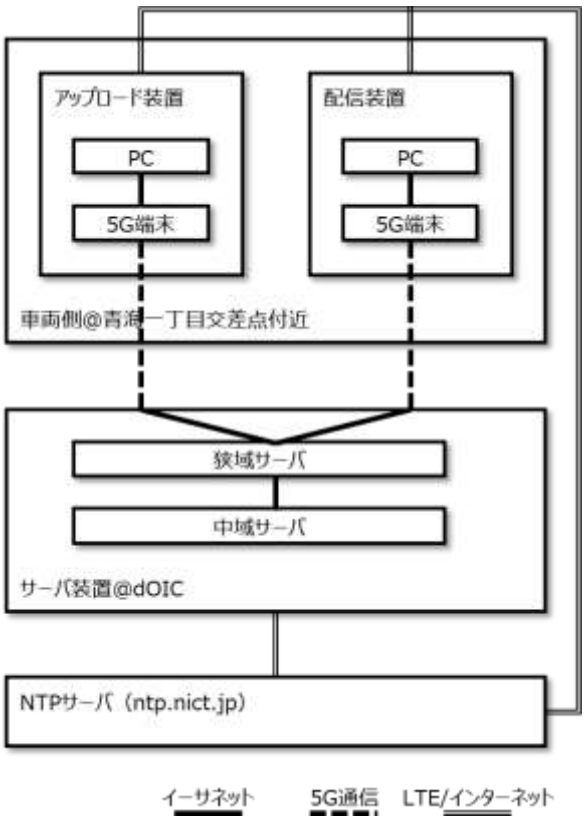


図 7.3.1②-1　総合検証の機器接続構成

表 7.3.1②-1　総合検証の機器一覧表

No.	ハードウェア	仕様
1	PC（配信装置）	メーカ：HP 型番：PROBOOK 430 G3

7.3.2. 実証の流れ

① 検証内容

総合検証では、「7.2.各社接続確認【住友電気工業株式会社】」で収集したセンサデータと車両情報を 5G 端末経由で狭域サーバにアップロードする。さらに 5G 端末経由で物標情報を配信する。

② 検証項目

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延を測定する。

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延について、

・平均値
・CDF90%
・CDF95%
・CDF99%

の値を算出する。

③ 検証手順

(1) 時刻同期

PC(アップロード装置)、狭域サーバ、PC(配信装置)の時計について、NTP サーバとの同期オフセットが 5ms 未満であることを確認する。

(2) センサデータのアップロード

PC(アップロード装置)でセンサデータ収集アプリを実行し、5 分間センサデータをアップロードする。

(3) 車両情報のアップロード

PC(配信装置)で車両情報収集アプリを実行し、5 分間車両情報をアップロードする。

(4) 車両情報の受信と物標データの配信

狭域サーバで車両情報受信・物標情報配信アプリを実行し、5 分間車両情報を受信し、送信元の車両に対して物標データを配信する。

(5) 物標データの受信

PC(配信装置)で物標情報受信アプリを実行し、5 分間物標データを受信する。

7.3.3. 検証結果

① 統合検証項目１（センサデータアップロード）

表 7.3.3①-1 にセンサデータをアップロードした際の情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。LiDAR について、平均値が 100ms を上回った。ミリ波レーダについて、CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.3.3①-1　統合検証１（センサデータアップロード）の通信遅延

			通信遅延[ms]				
検証No.	センサ台数	サンプル数	平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
o-1-1	LiDAR×1	3,283	186.629	302.447	336	391.717	16.541
o-1-2	レーダ×1	3,376	10.675	17.473	19.402	22.944	100

② 統合検証項目２（車両情報アップロード）

表 7.3.3②-1 に車両情報をアップロードした際の情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.3.3②-1　統合検証２（車両情報アップロード）の通信遅延

			通信遅延[ms]				
検証No.	車両台数	サンプル数	平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
o-2-1	1台	3,008	17.107	29.974	31.822	40.266	99%以上
o-2-2	29台	86,156	17.426	53.63	63.883	83.149	99%以上
o-2-3	57台	170,458	20.8219122	41.065	46.821	57.576	99%以上

③ 統合検証項目３（物標情報ダウンロード）

表 7.3.3③-1 に物標情報をダウンロードした際の狭域サーバから配信先の通信遅延について示す。CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.3.3③-1　統合検証３（物標情報ダウンロード）の通信遅延

				通信遅延[ms]				
検証No.	車両台数	物標数	サンプル数	平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
o-3-1	1台	1件	3,010	22.619	25	26	28	99%以上
o-3-2	1台	11件	3,012	23.202	42	46	46	99%以上
o-3-3	6台	11件	17,783	26.245	40	45	51	99%以上
o-3-4	29台	11件	84,555	25.009	44	49	60	99%以上

7.4. シミュレーション検証

センタ処理方式における収集・配信の性能評価を行うため、株式会社 NTT ドコモ保有の 5G エミュレータで 5G 通信の模擬環境を構築し、各ユースケースやピーク時を想定した収集/配信データを通信して性能を評価した。

図 7.4-1 にシミュレーション検証の実験システム構成の概要を示す。

表 7.4-1 に示すシミュレーション検証の試験項目で通信性能を確認した。

表の「センサデータ」列について、実センサからセンサデータを収集した場合は実データ欄に「○」を、事前に収集済みのセンサデータを読み込みして使用した場合は収集済みデータ欄に「○」を記載している。

「センサ種別[台]」列について、各試験で使用するセンサ台数を記載しており、空欄は未使用となる。

「物標データ[件]」列について、アップロードしたセンサデータを解析して DB に書き込みする場合は解析結果欄に「○」を記載、解析を行わずに事前に決めた物標を DB に書き込みする場合はダミー欄に書き込みする物標の件数を記載している。

「配信車両[台]」列について、物標の配信先の車両台数を記載している。なお、ここに記載した車両台数分の車両台数が狭域サーバにアップロードされる。

「送信方式」列について、物標や車両情報の位置の送信形式を記載している。

「スループット[Mbps]」列について、センサデータ収集、車両情報収集、物標情報配信で想定されるスループットを記載している。

「測定箇所」列について、通信遅延、処理時間を計測する場合は「○」「●」を、計測しない場合は「-」を記載している。なお、「○」は実機上で測定した結果であり、「●」は dOIC 上で測定した結果となる。

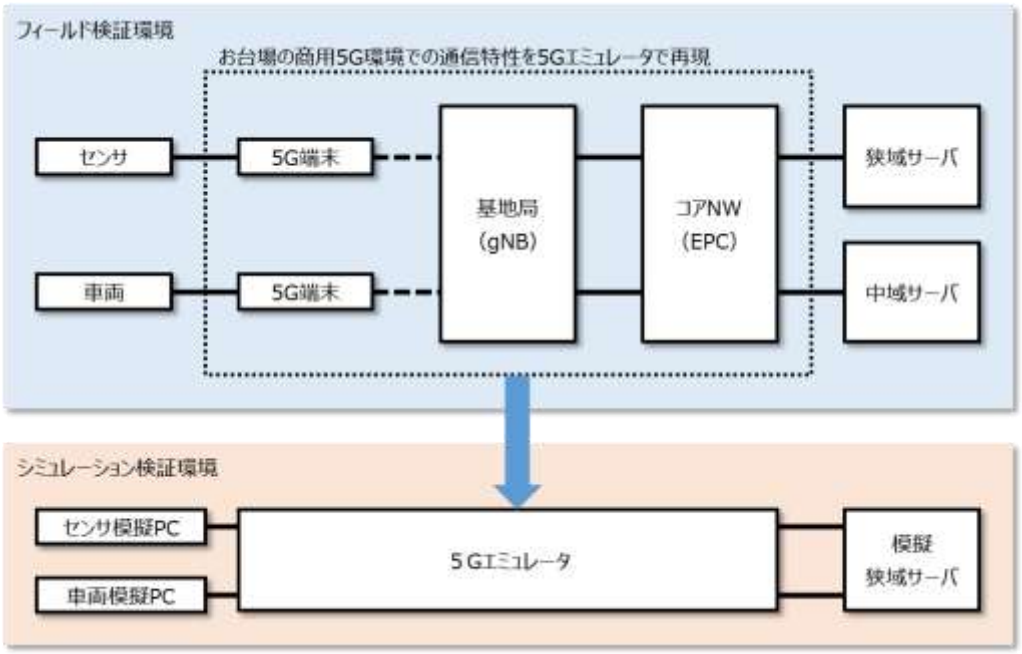


図 7.4-1　シミュレーション検証の実験システム構成

表 7.4-1　シミュレーション検証の試験項目

検証No,	検証種別	想定 UCシナリオ	センサデータ		センサ種別[台]					物標データ[件]		配信 車両 [台]	送信方式	スループット[Mbps]			測定箇所（○：実機で測定、●：dOIC上で測定、―：対象外）				
			実データ	収集済データ	路側LiDAR	路側カメラ	路側レーダ	車側LiDAR	車側カメラ	解析 結果	ダミー			センサ収集	車両情報収集	物標情報配信	①情報源 ⇒狭域サーバ 通信遅延	② 抽出処理 遅延	③ 統合処理 遅延	④狭域サーバ ⇒配信先 通信遅延	①～④ 一連時間
1-1	実センサ検証	―	○		1	1							CRP	32	―	―	○	―	―	―	―
2-1	フィールド	UC1-1-1		○	1		1			○		1	CRP	14.1	0.01	0.01	○	●	●	○	○
2-2-1	想定検証	UC2-1-1		○	1					○		1	CRP	14.1	0.01	0.01	○	●	●	○	○
2-2-2		UC2-1-1		○	1					○		1	緯度経度	14.1	0.01	0.01	○	●	●	○	○
2-3		UC3-1-0		○	1	1				○		1	CRP	32	0.01	0.01	○	●	●	○	○
2-4-1		UC4-1-1		○				1		○		1	CRP	14.1	0.01	0.01	○	●	●	○	○
2-4-2		UC4-1-2		○				1		○		1	緯度経度	14.1	0.01	0.01	○	●	●	○	○
3-1	ピーク時	UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		48	1	CRP	96.2	0.01	0.4	○	―	●	○	○
3-2	想定検証	UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		48	6	CRP	96.2	0.1	2.5	○	―	●	○	○
3-3		UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		48	29	CRP	96.2	0.3	12	○	―	●	○	○
3-4		UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		48	57	CRP	96.2	0.7	23.6	○	―	●	○	○
3-5		UC2~UC3		○	2	2					32	1	CRP	64.1	0.01	0.3	○	―	●	○	○
3-6		UC2~UC3		○	2	2					32	6	CRP	64.1	0.1	1.7	○	―	●	○	○
3-7		UC2~UC3		○	2	2					32	29	CRP	64.1	0.3	8	○	―	●	○	○
3-8		UC2~UC3		○	2	2					32	57	CRP	64.1	0.7	15.8	○	―	●	○	○
3-9		UC1~UC4		○	1	1	1	1	1		18	1	CRP	64.1	0.01	0.2	○	―	●	○	○
3-10		UC1~UC4		○	1	1	1	1	1		18	6	CRP	64.1	0.1	0.9	○	―	●	○	○
3-11		UC1~UC4		○	1	1	1	1	1		18	29	CRP	64.1	0.3	4.6	○	―	●	○	○
3-12		UC1~UC4		○	1	1	1	1	1		18	57	CRP	64.1	0.7	9	○	―	●	○	○
3-13		UC2~UC3		○	1	1					11	1	CRP	32	0.01	0.1	○	―	●	○	○
3-14		UC2~UC3		○	1	1					11	6	CRP	32	0.1	0.6	○	―	●	○	○
3-15		UC2~UC3		○	1	1					11	29	CRP	32	0.3	2.8	○	―	●	○	○
3-16		UC2~UC3		○	1	1					11	57	CRP	32	0.7	5.6	○	―	●	○	○
4-1	限界検証	UC3		○	2	2					125	150	CRP	64.1	1.8	160.8	○	―	―	○	○
4-2		UC3		○	2	2					125	100	CRP	64.1	1.2	107.2	○	―	―	○	○
4-3		UC3		○	2	2					125	50	CRP	64.1	0.6	53.6	○	―	―	○	○
4-4		UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		80	114	CRP	96.2	1.3	78.4	○	―	―	○	○
4-5		UC1~UC4		○	2	2	2	1	1		96	143	CRP	96.2	1.7	117.9	○	―	―	○	○

7.4.1. 実証環境の構築

① 実験場所

実証環境は、試験内容に応じて、2か所で行った。

- 5Gエミュレータを使用する試験（表 7.4-1 の測定箇所の○）：住友電気工業株式会社大阪製作所内実験室
- 5Gエミュレータを使用しない試験（表 7.4-1 の測定箇所の●）：dOIC（ドコモオープンイノベーションクラウド、NTT ドコモが提供するクラウドサーバ）

(1) 5Gエミュレータの設定

5Gエミュレータの設定値は、商用 5G の通信特性と同等になるように株式会社 NTT ドコモが設定した値を使用した。図 7.4.1①-1 に 5G エミュレータの遅延、帯域設定を示す。11.1.1 節に記載の通り、図内に記載のスループットを想定した際の遅延＋帯域設定が施されており、商用 5G の実測値を基に設定している。

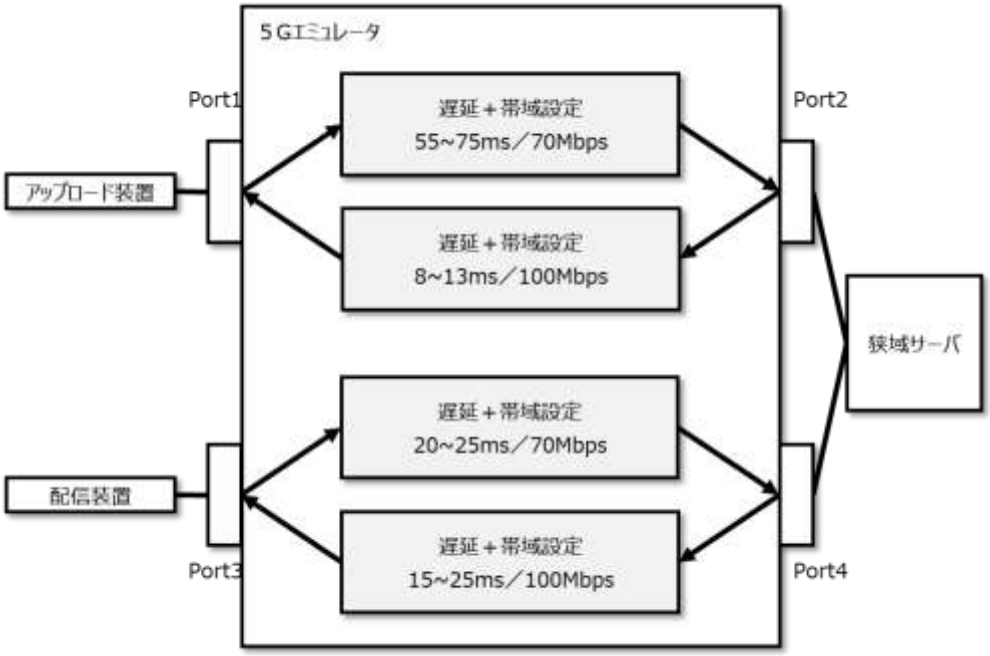


図 7.4.1①-1　5Gエミュレータの設定

(2) 機器の接続

5Gエミュレータと実験機器の接続構成について図 7.4.1①-2 に示す。収集側はセンサ本体（LiDAR、カメラ）と PC（アップロード装置）で構成される。センサ本体として、ミリ波レーダは使用していない。配信側は PC（配信装置）で構成される。サーバ側は狭域サーバで構成される。収集側とサーバは 5G エミュレータの収集側設定を経由して接続されており、5Gエミュレータによって 5G 通信相当の帯域制限・通信遅延が付与される。同じく、

配信側とサーバは 5G エミュレータの配信側設定を経由して接続されており、5G エミュレータによって 5G 通信相当の帯域制限・通信遅延が付与される。通信遅延を測定するために、正確に時刻同期を行う必要があるため、別途 NTP サーバと PC（アップロード装置)、PC（配信装置)、狭域サーバが別のネットワークで接続されている。使用している機器は、「表 7-1-1-1：センタ処理方式のハードウェア一覧表」と同じである。HUB、NTP サーバには表 7.4.1①-1 の機器を使用した。

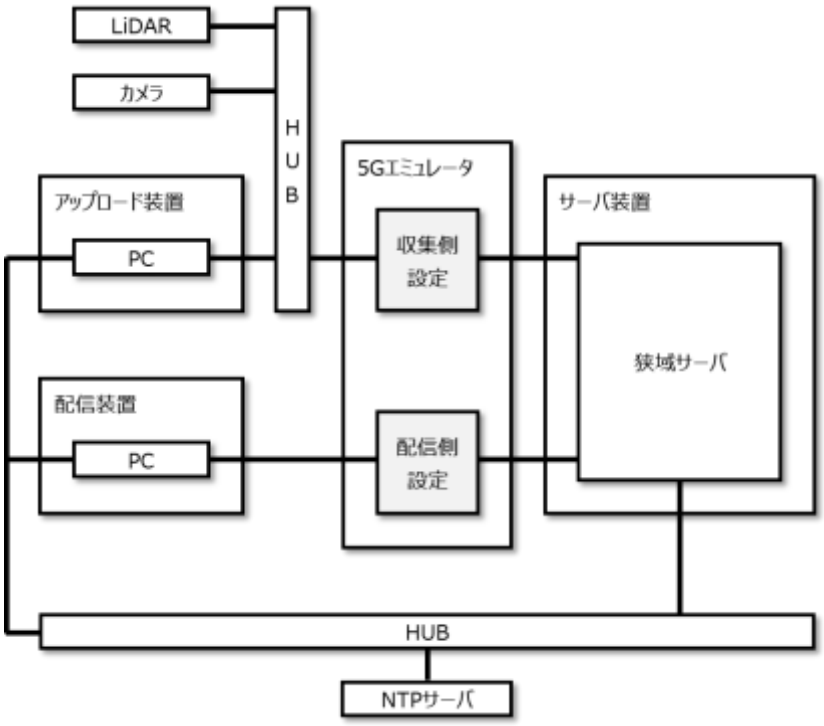


図 7.4.1①-2　5G エミュレータと実験機器の接続構成

表 7.4.1①-1　センタ処理方式のハードウェア一覧表

No.	ハードウェア	仕様
1	HUB	メーカ：HPE 型番：J9777A
2	NTP サーバ本体	メーカ：I・O DATA 型番：UD-RP3BP（Raspberry Pi3 Model B+)
3	NTP サーバ GPS アンテナ	メーカ：YUECHUNG INTERNATIONAL CORP. 型番：GT-902PMGG

7.4.2. 検証の流れ

① 実センサ検証

(1) 検証内容

実センサ検証では、LiDAR、カメラ実機から収集したセンサデータを 5G エミュレータ経由で狭域サーバにアップロードする。

(2) 検証項目

情報源から狭域サーバへの通信遅延のみを測定し、抽出処理時間、統合処理時間、狭域サーバから配信先への通信遅延の測定は行わない。

情報源から狭域サーバへの通信遅延について、

- 平均値
- CDF90%
- CDF95%
- CDF99%

の値を算出する。

(3) 検証手順

(i) 時刻同期

PC（アップロード装置)、狭域サーバの時計について、NTP サーバとの同期オフセットが 5ms 未満であることを確認する。

(ii) センサデータのアップロード

PC（アップロード装置）でセンサデータ収集アプリを実行し、5 分間センサデータをアップロードする。

② フィールド想定検証

(1) 検証内容

フィールド想定検証では、5G エミュレータを使用する試験（「7.2. 各社接続確認【住友電気工業株式会社】」で収集したセンサデータと車両情報を 5G エミュレータ経由で狭域サーバにアップロードする。さらにセンサデータから抽出・統合処理を行って、物標データを配信する。

(2) 検証項目

情報源から狭域サーバへの通信遅延、抽出処理時間、統合処理時間、狭域サーバから配信先への通信遅延、それらを合計した一連の処理時間を測定する。

情報源から狭域サーバへの通信遅延、抽出処理時間、統合処理時間、狭域サーバから配信先への通信遅延、一連の処理時間について、

- 平均値
- CDF90%
- CDF95%
- CDF99%

の値を算出する。

(3) 検証手順

(i) 時刻同期

PC（アップロード装置)、狭域サーバ、PC（配信装置）の時計について、NTP サーバとの同期オフセットが 5ms 未満であることを確認する。

(ii) センサデータのアップロード

PC（アップロード装置）でセンサデータ収集アプリを実行し、5 分間センサデータをアップロードする。

(iii) 物標データの抽出・統合処理

狭域サーバで画像解析アプリ、LiDAR 解析アプリ、ミリ波レーダ解析アプリ、障害物検知アプリ、物標統合アプリを実行し、アップロードされたセンサデータから抽出・統合処理を行う。

(iv) 車両情報のアップロード

PC（アップロード装置）で車両情報収集アプリを実行し、5 分間車両情報をアップロードする。

(v) 車両情報の受信と物標データの配信

狭域サーバで車両情報受信・物標情報配信アプリを実行し、5 分間車両情報を受信し、送信元の車両に対して物標データを配信する。

(vi) 物標データの受信

PC（配信装置）で物標情報受信アプリを実行し、5 分間物標データを受信する。

③ ピーク時想定検証

(1) 検証内容

ピーク時想定検証では、情報源から狭域サーバへの通信遅延と狭域サーバから配信先への通信遅延について、5G エミュレータを使用した図 7.4.1.①-2 に示す環境で検証した。統合処理時間について、dOIC 上で検証した。「7.2. 各社接続確認【住友電気工業株式会社】」で収集したセンサデータと車両情報を 5G エミュレータ経由で狭域サーバにアップロードする。抽出処理は行わず、ダミー物標データをデータベースに書き込みし、統合処理を行って、物標データを配信する。統合処理について、すべての物標で 2 センサでの統合が行われるようにダミー物標データを作成している。

(2) 検証項目

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延、それらを合計した一連の処理時間を測定する。

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延、一連の処理時間について、

- 平均値
- CDF90%
- CDF95%
- CDF99%

の値を算出する。

なお、ピーク時想定検証では抽出を行わないため、フィールド想定検証で最長の抽出処理時間であった画像解析の抽出処理時間を合算することで一連処理時間とする。

(3) 検証手順

(i) 時刻同期

PC（アップロード装置)、狭域サーバ、PC（配信装置）の時計について、NTP サーバとの同期オフセットが 5ms 未満であることを確認する。

(ii) センサデータのアップロード

PC（アップロード装置）でセンサデータ収集アプリを実行し、5 分間センサデータをアップロードする。

(iii) 物標データの抽出・統合処理

狭域サーバでダミー物標データをデータベースに書き込みし、物標統合アプリを実行し、統合処理を行う。

(iv) 車両情報のアップロード

PC（アップロード装置）で車両情報収集アプリを実行し、5 分間車両情報をアップロードする。

(v) 車両情報の受信と物標データの配信

狭域サーバで車両情報受信・物標情報配信アプリを実行し、5 分間車両情報を受信し、送信元の車両に対して物標データを配信する。

(vi) 物標データの受信

PC（配信装置）で物標情報受信アプリを実行し、5 分間物標データを受信する。

④ 限界検証

(1) 検証内容

限界検証では、「7.2. 各社接続確認【住友電気工業株式会社】」で収集したセンサデータと車両情報を 5G エミュレータ経由で狭域サーバにアップロードする。抽出・統合処理は行わず、ダミー物標データをデータベースに書き込みし、物標データを配信する。

(2) 検証項目

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延を測定する。

情報源から狭域サーバへの通信遅延、狭域サーバから配信先への通信遅延について、

- 平均値
- CDF90%
- CDF95%
- CDF99%

の値を算出する。

(3) 検証手順

(i) 時刻同期

PC（アップロード装置）、狭域サーバ、PC（配信装置）の時計について、NTP サーバとの同期オフセットが 5ms 未満であることを確認する。

(ii) センサデータのアップロード

PC（アップロード装置）でセンサデータ収集アプリを実行し、5 分間センサデータをアップロードする。

(iii) 物標データの抽出・統合処理

狭域サーバでダミー物標データをデータベースに書き込みする。

(iv) 車両情報のアップロード

PC（アップロード装置）で車両情報収集アプリを実行し、5 分間車両情報をアップロードする。

(v) 車両情報の受信と物標データの配信

狭域サーバで車両情報受信・物標情報配信アプリを実行し、5 分間車両情報を受信し、送信元の車両に対して物標情報を配信する。

(vi) 物標データの受信

PC(配信装置)で物標情報受信アプリを実行し、5 分間物標データを受信する。

7.4.3. 検証結果

① 実センサ検証

(1) 情報源から狭域サーバの通信遅延

表 7.4.3①-1 に実センサ検証における情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。CDF95%までは 100ms 未満となることを確認した。ただし本検証のビットレートは 32Mbps であり、それに相当する 5G エミュレータの遅延＋帯域設定へ変更した場合、CDF99%においても 100ms 未満を満たすことが可能な見込みである（11.1.1 節参照)。

表 7.4.3①-1　実センサ検証・情報源から狭域サーバの通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
1-1	LiDAR×1 カメラ×1	5,825	73.315	89.059	93.436	101.114	98.379

(2) 狭域サーバでの抽出・統合処理時間

検証対象外。

(3) 狭域サーバから配信先の通信遅延

検証対象外。

② フィールド想定検証

(1) 情報源から狭域サーバの通信遅延

表 7.4.3②-1 にフィールド想定検証における情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF95%までは 100ms 未満となることを確認した。ただし本検証のビットレートは 14.1～32Mbps であり、それに相当する 5G エミュレータの遅延＋帯域設定へ変更した場合、CDF99%においても 100ms 未満を満たすことが可能な見込みである（11.1.1 節参照）。

表 7.4.3②-1　フィールド想定検証・情報源から狭域サーバの通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms] 平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満 最大CDF
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	5,912	69.039	81.094	84.509	90.749	99.934
2-2-1	LiDAR×1	3,299	70.84	82.832	86.101	91.452	99.797
2-2-2	LiDAR×1	2,965	72.046	83.785	87.128	93.126	99.862
2-3	LiDAR×1 カメラ×1	6,040	73.603	89.975	94.454	102.747	97.966
2-4-1	LiDAR×1	11,987	73.841	89.633	93.983	101.743	98.118
2-4-2	LiDAR×1	11,668	72.004	90.224	95.453	105.048	97.051

(2) 狭域サーバでの抽出・統合処理時間

表 7.4.3②-2、表 7.4.3②-3 にフィールド想定検証における狭域サーバでの抽出・統合処理時間について示す。抽出処理時間のすべてのシナリオで CDF99%まで 300ms 未満となること、統合処理時間の全てのシナリオで CDF99%まで 500ms 未満となることを確認した。検証 No.2-4-1 は統合処理に該当する障害物検知で処理時間が大きくなっている。

表 7.4.3②-2　フィールド想定検証・狭域サーバの抽出処理時間

検証No.	解析対象	サンプル数	抽出処理時間[ms] 平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	300ms未満 最大CDF
2-1	LiDAR	5,294	30.535	38	40	43	100
	ミリ波レーダ	5,055	16.0515	16.556	16.706	16.903	100
2-2-1	LiDAR	3,149	29.099	36	38	42	100
2-2-2	LiDAR	抽出処理は同上のため省略					
2-3	LiDAR	3,167	30.241	38	41	45	100
	カメラ	3,220	70.338	78.862	81.27	85.482	100
2-4-1	LiDAR	9,109	36.371	46	49	55	100
2-4-2	LiDAR	抽出処理は同上のため省略					

表 7.4.3②-3　フィールド想定検証・狭域サーバの統合処理時間

検証No.	センサ台数	サンプル数	統合処理時間[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	500ms未満最大CDF
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	5,510	4.602	5.987	6.38	7.104	100
2-2-1	LiDAR×1	3,378	1.797	2.099	2.178	2.342	100
2-2-2	LiDAR×1	統合処理は同上のため割愛					
2-3	LiDAR×1 レーダ×1	3,407	5.938	7.733	8.25	9.217	100
2-4-1	LiDAR×1	2,713	211.152	219.511	221.843	226.354	100
2-4-2	LiDAR×1	統合処理は同上のため割愛					

(3) 狭域サーバから配信先の通信遅延

表 7.4.3②-4 にフィールド想定検証における狭域サーバから配信先の通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.4.3②-4　フィールド想定検証・狭域サーバから配信先の通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	3,010	22.134	26	28	29	99%以上
2-2-1	LiDAR×1	3,010	21.123	25	26	28	99%以上
2-2-2	LiDAR×1	3,010	21.117	25	26	27	99%以上
2-3	LiDAR×1 レーダ×1	3,010	21.197	25	26	26	99%以上
2-4-1	LiDAR×1	3,011	21.445	26	27	28	99%以上
2-4-2	LiDAR×1	3,010	21.331	25	27	27	99%以上

(4) 一連の処理時間

表 7.4.3②-5 にフィールド想定検証における一連の処理時間について示す。一連の処理時間は、(1) ～ (3) の「情報源から狭域サーバの通信遅延」「抽出処理時間」「統合処理時間」「狭域サーバから配信先の通信遅延」の平均値、CDF90%、CDF95%、CDF99%の値と「配信する物標データのデータベース読出し遅延」の平均値、CDF90%、CDF95%、CDF99%の値を合算して算出した。抽出時間について、検証 No.2-1 では、LiDAR とレーダの抽出処理時間を比較して、大きい LiDAR 解析の値を合算対象とした。検証 No.2-3 については、LiDAR とカメラの抽出処理時間を比較して、大きいカメラ解析の値を合算対象とした。すべてのシナリオで CDF99%まで 1000ms 未満となることを確認した。

表 7.4.3②-5　フィールド想定検証・一連処理時間

検証No.	センサ台数	一連処理時間[ms]			
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	129.154	157.423	165.302	176.266
2-2-1	LiDAR×1	125.559	152.11	159.174	171.204
2-2-2	LiDAR×1	抽出・統合処理は2-2-1と同じため算出しない。			
2-3	LiDAR×1 レーダ×1	173.931	207.832	216.95	230.527
2-4-1	LiDAR×1	346.424	387.289	398.443	419.588
2-4-2	LiDAR×1	抽出・統合処理は2-4-1と同じため算出しない。			

③ ピーク時想定検証

(1) 情報源から狭域サーバの通信遅延

表 7.4.3③-1 にピーク時想定検証における情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF95%までは 100ms 未満となることを確認した。ただし、路側、車側で 5G 端末を分けることやデータ削減を行うことにより、それに相当する 5G エミュレータの遅延＋帯域設定へ変更した場合、CDF99%においても 100ms 未満を満たすことが可能な見込みである（11.1.1 節参照）。

表 7.4.3③-1　ピーク時想定検証・情報源から狭域サーバの通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	26,362	73.71	89.355	93.799	102.131	98.423
3-2		26,002	73.488	90.86	95.779	105.02	97.448
3-3		25,838	72.782	93.193	98.8	109.526	95.602
3-4		26,095	72.759	88.667	93.162	101.538	98.583
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	11,982	74.317	91.406	96.24	104.643	97.142
3-6		11,771	74.74	90.626	95.166	103.374	97.864
3-7		11,828	75.356	91.676	96.323	104.97	97.318
3-8		13,004	75.178	93.079	98.112	107.417	96.186
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	16,225	72.114	86.216	90.215	97.658	99.399
3-10		16,415	74.021	93.358	98.802	108.983	95.719
3-11		16,734	74.647	92.758	97.9	107.326	96.346
3-12		16,272	72.672	88.417	92.925	100.987	98.649
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	6,588	72.359	86.831	90.921	98.662	99.219
3-14		5,972	75.44	88.82	92.606	99.722	99.061
3-15		5,966	75.42	91.302	95.816	104.246	97.606
3-16		5,888	75.232	91.837	96.467	105.125	97.165

⑵ 狭域サーバでの抽出・統合処理時間

表 7.4.3③-2 にピーク時想定検証における狭域サーバでの統合処理時間について示す。すべてのシナリオで CDF99%まで 500ms 未満となることを確認した。

なお、抽出処理時間は検証対象外。

表 7.4.3③-2　ピーク時想定検証・狭域サーバの統合処理時間

検証No.	センサ台数	サンプル数	統合処理時間[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	500ms未満最大CDF
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	2,817	106.828	156.116	170.241	195.634	100
3-2		2,684	112.436	165.589	180.716	209.341	100
3-3		3,135	142.017	208.925	228.109	263.486	100
3-4		2,906	147.97	218.882	238.893	276.524	100
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	3,227	82.716	120.161	130.898	150.699	100
3-6		3,158	85.068	123.865	134.756	153.767	100
3-7		3,105	88.6	128.976	140.553	161.781	100
3-8		3,176	89.055	129.933	141.443	163.493	100
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	3,270	43.246	60.117	64.72	74.006	100
3-10		3,252	42.732	59.104	63.6	70.914	100
3-11		3,244	45.208	63.769	68.889	78.73	100
3-12		3,252	46.842	65.451	70.821	80.072	100
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	3,440	22.664	32.471	35.312	39.856	100
3-14		3,401	23.354	33.646	36.363	39.757	100
3-15		3,298	24.698	33.699	36.158	40.997	100
3-16		3,287	25.626	35.069	37.671	42.769	100

(3) 狭域サーバから配信先の通信遅延

表 7.4.3③-3 にピーク時想定検証における狭域サーバから配信先の通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.4.3③-3　ピーク時想定検証・狭域サーバから配信先の通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	3,011	22.7	27	28	31	99%以上
3-2		18,058	22.381	27	28	30	99%以上
3-3		87,290	22.337	26	28	30	99%以上
3-4		171,571	22.394	27	28	30	99%以上
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	3,010	22.081	26	27	28	99%以上
3-6		18,060	22.092	26	27	29	99%以上
3-7		87,286	22.004	26	27	30	99%以上
3-8		171,570	21.549	26	27	30	99%以上
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	3,010	21.619	26	27	29	99%以上
3-10		18,060	21.588	26	27	29	99%以上
3-11		87,290	21.534	26	27	29	99%以上
3-12		171,570	21.61	26	27	30	99%以上
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	3,010	21.424	25	27	27	99%以上
3-14		18,060	21.346	25	27	29	99%以上
3-15		87,290	21.459	26	27	29	99%以上
3-16		171,570	21.51	26	27	29	99%以上

(4) 一連の処理時間

表 7.4.3③-4 にピーク時想定検証における一連の処理時間について示す。一連の処理時間は、「情報源から狭域サーバの通信遅延」「抽出処理時間」「統合処理時間」「狭域サーバから配信先の通信遅延」の平均値、CDF90%、CDF95%、CDF99%の値をそれぞれ合算して算出した。抽出時間について、最大の抽出時間となったカメラ解析の値を合算対象とした。すべてのシナリオで CDF99%まで 1000ms 未満となることを確認した。

表 7.4.3③-4　ピーク時想定検証・一連処理時間

検証No.	センサ台数	一連処理時間[ms]			
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	282.32	364.698	373.863	405.979
3-2		286.701	374.886	384.494	417.474
3-3		313.967	417.114	428.161	466.221
3-4		322.412	428.604	438.277	476.196
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	256.386	327.318	336.626	362.902
3-6		259.798	330.939	340.029	367.458
3-7		263.2	335.958	345.017	374.337
3-8		263.604	340.025	349.791	380.301
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	212.701	260.313	268.704	288.993
3-10		213.902	265.063	274.629	296.845
3-11		217.517	270.092	279.469	301.778
3-12		218.413	270.264	279.48	302.562
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	191.271	230.619	239.914	256.921
3-14		194.926	232.865	241.652	258.807
3-15		197.172	237.373	245.935	264.235
3-16		198.106	240.87	249.957	269.398

④ 限界検証

(1) 情報源から狭域サーバの通信遅延

表 7.4.3④-1 に限界検証における情報源から狭域サーバの通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF95%までは 100ms 未満となることを確認した。ただし、路側、車側で 5G 端末を分けることやデータ削減を行うことにより、それに相当する 5G エミュレータの遅延＋帯域設定へ変更した場合、CDF99%においても 100ms 未満を満たすことが可能な見込みである（11.1.1 節参照）。

表 7.4.3④-1　限界検証・情報源から狭域サーバの通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
4-1	LiDAR×2 カメラ×2	13,090	73.681	88.629	92.744	100.75	98.76
4-2		13,072	75.262	91.875	96.59	105.328	97.138
4-3		13,125	74.612	92.033	96.963	106.036	96.753
4-4	LiDAR×3 カメラ×3 レーダ×2	26,248	73.545	89.923	94.571	103.267	98.054
4-5		26,030	73.903	91.805	96.855	106.249	96.91

(2) 狭域サーバでの抽出・統合処理時間

検証対象外。

(3) 狭域サーバから配信先の通信遅延

表 7.4.3④-2 に限界検証における狭域サーバから配信先の通信遅延について示す。すべてのシナリオで CDF99%まで 100ms 未満となることを確認した。

表 7.4.3④-2　限界検証・狭域サーバから配信先の通信遅延

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
4-1	LiDAR×2 カメラ×2	450,496	30.188	41	44	49	99%以上
4-2		298,666	28.338	35	37	41	99%以上
4-3		150,351	29.933	37	39	43	99%以上
4-4	LiDAR×3 カメラ×3 レーダ×2	343,175	27.648	35	38	42	99%以上
4-5		429,841	33.581	47	51	58	99%以上

(4) 一連の処理時間

検証対象外。

7.5. 配信制御

センタ処理方式での配信制御機能における通信トラフィック削減に関する性能評価を行うため、机上検証によるシミュレーション検証を実施した。

シミュレーション検証は、図 7.5-1 の評価環境、表 7.5-1 の前提条件の通り、4×2 車線の交差点 1 箇所におけるピーク時最大構成をユースケースとして実施した。

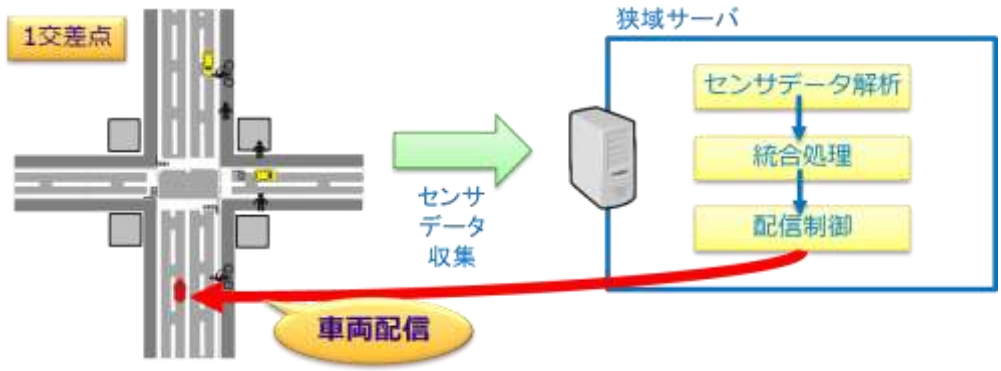


図 7.5-1　評価環境

表 7.5-1　前提条件

サーバ構成	狭域サーバ数	1 台
狭域の交通環境	交差点数	1 交差点
	交差点規模	約 7m×約 14m(4×2 車線)
	車両数	32 台(ピーク時最大数想定)
	歩行者数	8 名(ピーク時最大数想定)
	自転車数	4 名(ピーク時最大数想定)
	配信車両数(通信対象)	57 台(狭域エリア内ピーク想定)
通信エリア	狭域	126m 以上(停止線から)
天候/時間帯	天候等による影響	影響は考慮しない

トラフィック削減手法としては、図 7.5-2 のように配信制御機能、及び統合処理機能の組み合わせを用いることとした。「配信制御あり」については、右折シーンにおける一例として記載している。配信制御機能では、車両の位置情報と進行方向に従い配信エリアの限定を行う。統合処理機能では、複数のセンサで検知した重複する同一物標について統合を行う。これらにより必要な情報のみ抽出することで配信データ量の削減を行い、トラフィック削減率について評価を実施した。

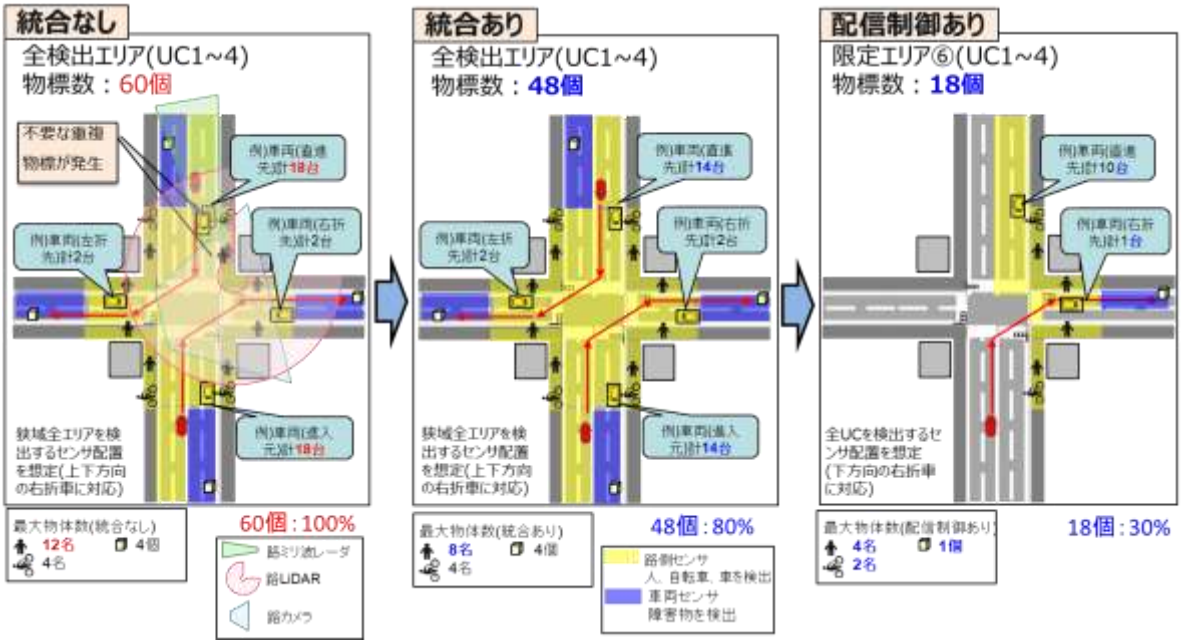


図 7.5-2　トラフィック削減手法

配信制御機能は、配信車両から受信する走行位置情報、及び進行経路情報に基づいて実現した。アルゴリズム例の概要図を図 7.5-3 に示す。

最初に、交差点内を車道や歩道等のエリアによって分けそれぞれ ID を割り振り、各エリア ID は緯度経度座標と対応付けを行っておく。現在位置する交差点、次の交差点、次の次の交差点の 3 カ所の CPR を用いて表した進行経路毎に、エリア ID を定義したテーブルを用意しておき、配信時に車両の進行経路を元にテーブルを参照することで物標を配信するエリアを限定する。

次に、交差点地形を考慮して配信角度を設定しておく。配信車両の走行位置情報から車両の位置座標、及び方位を元に、設定した配信角度を適用して配信エリア内で対象となる物標情報の抽出を行った。

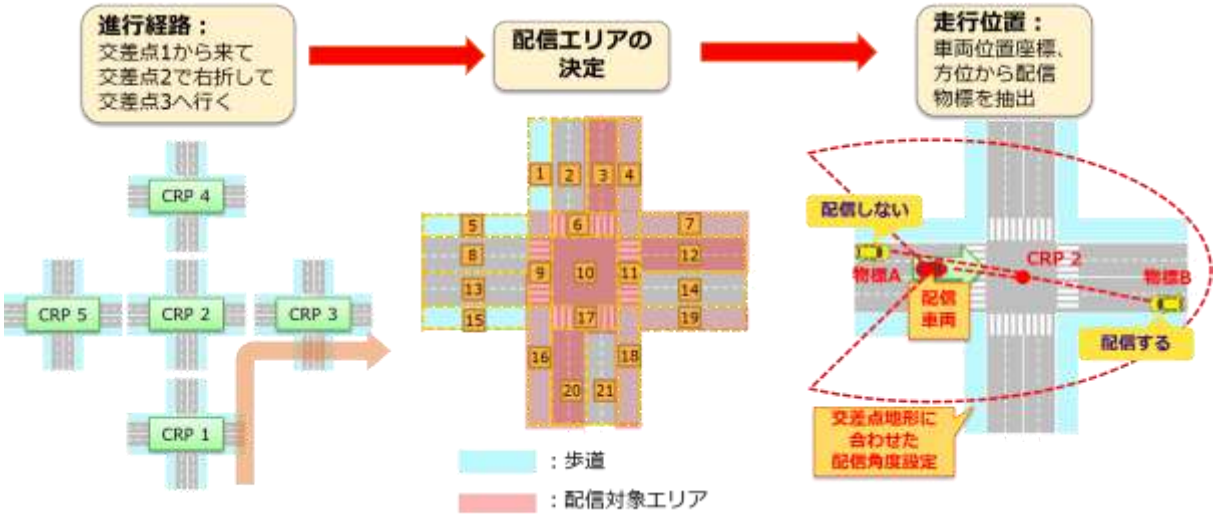


図 7.5-3　配信制御のアルゴリズム例の概要

7.5.1. 実証環境の構築

① 配信制御システム概要

本検証において想定するシステム構成は図 7.5.1①-1 の通り、狭域サーバ、及び配信車両端末各 1 台とする。配信車両端末から車両情報（走行位置、進行経路）を CBOR 形式で狭域サーバへ送信し、狭域サーバはその車両情報を元に、狭域サーバ内の交通情報データベースから配信情報を選択、CBOR 形式で配信を行うものとする。

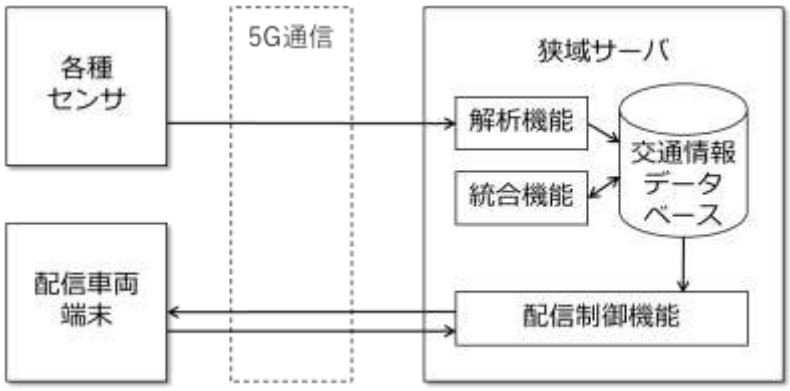


図 7.5.1①-1　想定システム概要

② 検証シナリオ

検証シナリオは図 7.5.1②-1 に示す通りの 1 交差点を想定する。配信対象車両は南 5 から交差点に向かって走行し、左折、直進、右折の 3 パターンの経路について検証を行う。進行経路毎に 8 ポイントの走行位置を設定し、配信情報のデータサイズからトラフィックを机上検証により計測することとした。

配信情報としては、各センサで検知し狭域サーバで収集した物標の種別と位置座標を通知する。物標種別は、車両、歩行者、自転車、障害物の 4 種類とした。

「統合なし」の場合は、各センサで検知した物標情報を全て配信する。このため、同一物体を複数センサで検知した場合はそのセンサ数分の情報を重複して配信することになる。一方、「統合あり」の場合は複数センサで同一物体を検知した場合、狭域エッジサーバ内で統合を行うことで配信情報は 1 件となる。

「配信制御なし」の場合は、車両の進行経路や走行位置について考慮せず、狭域サーバが保持する配信用データベースの情報全てを配信する。一方、「配信制御あり」の場合は車両の進行経路と走行位置を考慮し、ポイント毎に配信用データベースから情報を選択して配信する。

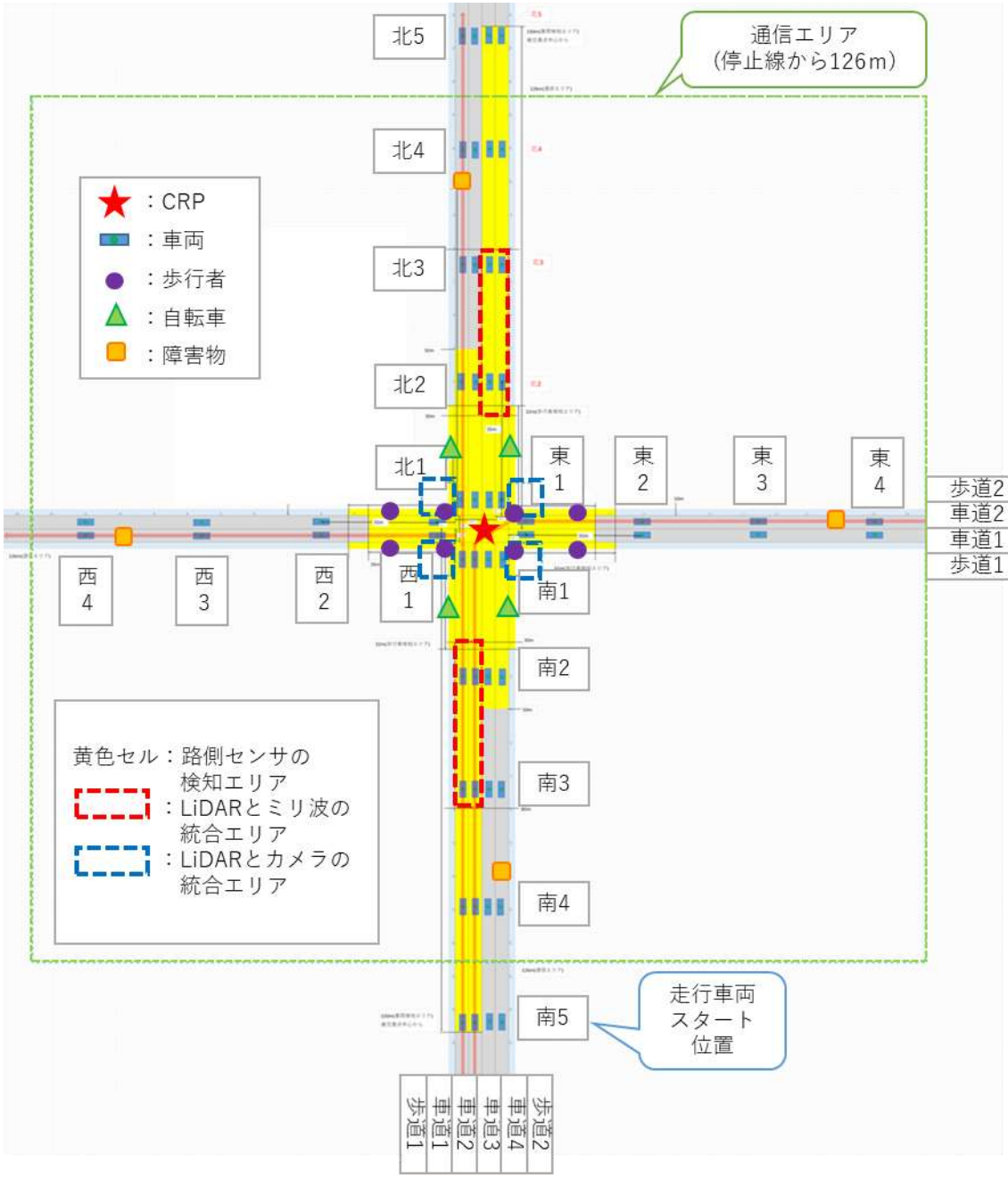


図 7.5.1②-1　検証シナリオ交差点イメージ

7.5.2. 検証の流れ

① 検証パターンの作成

図 7.5.1①-1 を元にセンサ解析結果による同一物標の統合の有無､配信制御機能の有無、及び進行経路（左折/直進/右折）によって場合分けを行い、検証パターンとして表 7.5.2①-1 の通り 12 パターンを作成した。

表 7.5.2①-1　検証パターン

検証 No.	統合	配信制御	走行コース	抽出物標(最大数)			
				車両	歩行者	自転車	障害物
1	なし	なし	左折	40	12	4	4
2			直進	40	12	4	4
3			右折	40	12	4	4
4		あり	左折	40	12	4	4
5			直進	40	12	4	4
6			右折	40	12	4	4
7	あり	なし	左折	32	8	4	4
8			直進	32	8	4	4
9			右折	32	8	4	4
10		あり	左折	32	8	4	4
11			直進	32	8	4	4
12			右折	32	8	4	4

また、各走行コースにおける 8 ポイントの走行位置を図 7.5.1②-1 から以下の表 7.5.2①-2 の通り定める。

表 7.5.2①-2　8 ポイントの走行位置の定義

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
左折	南 4	南 3	南 2	南 1	西 1	西 2	西 3	西 4
直進	南 4	南 3	南 2	南 1	北 1	北 2	北 3	北 4
右折	南 4	南 3	南 2	南 1	東 1	東 2	東 3	東 4

(1) 例 1：検証 No.1「統合なし/配信制御なし/左折」

狭域サーバで収集した物標数は以下の通り。

- 車両 40 台
- 歩行者 12 名
- 自転車 4 名
- 障害物 4 個

車両の走行経路は考慮せず、8 ポイント全てにおいて全物標情報を配信する。



図 7.5.2①-1　検証 No.1 の配信情報イメージ

(2) 例 2：検証 No.10「統合あり/配信制御あり/左折」

狭域サーバで収集した物標数は以下の通り。

- 車両 32 台
- 歩行者 8 名
- 自転車 4 名
- 障害物 4 個

車両の走行経路から進行方向となる情報のみを配信、各ポイントでは通過したエリアの情報は配信しない。

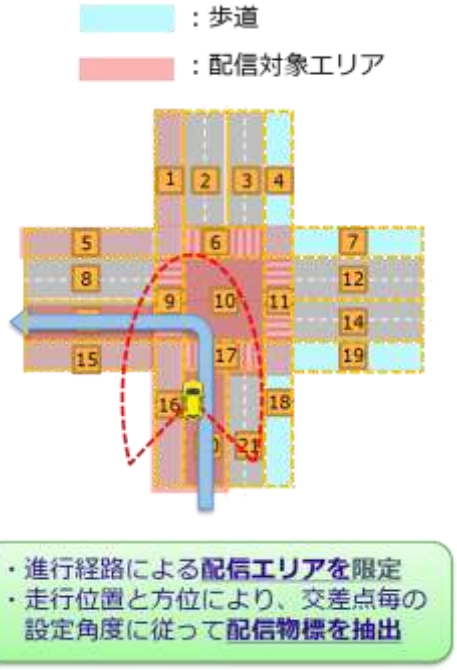


図 7.5.2①-2　検証 No.10 の配信情報イメージ

② 入力情報の作成

トラフィック削減率について机上検証を行うため、必要となる入力情報を以下の通り定義した。

(1) CRP と位置対応情報

交差点位置は CRP で表記するため、CRP と緯度経度座標との対応付けを行う。

本検証で対象とする交差点位置を「中央」とし、その東西南北に同様の交差点が存在するものとして計算を行った。

表 7.5.2②-1　CRP と位置座標

位置	CRP-ID	相対位置（m）		CRP 座標	
		X方向	Y方向	緯度	経度
南	1	0	-300	35.370850	139.526704
中央	2	0	0	35.373545	139.526704
東	3	300	0	35.373545	139.530009
北	4	0	300	35.376240	139.526704
西	5	-300	0	35.373545	139.523399

⑵ 配信エリアと緯度経度対応情報

交差点内は、図 7.5-3 に図示した通り、車道や歩道のエリア毎に ID を設定している。配信エリアは、このエリア ID と CRP により管理することとし、各エリア ID と緯度経度座標との対応付けを行った。

⑶ 進行経路と配信エリア対応情報

車両の進行経路情報は図 7.5-3 に図示した通り、現在位置する交差点、次の交差点、次の次の交差点の 3 カ所の CPR を用いて表す。右折/直進/左折における CRP との対応を表 7.5.2②-2 に示す。

表 7.5.2②-2　CRP と進行経路

経路	CRP-ID		
	現在	次	次の次
右折	1	2	3
直進	1	2	4
左折	1	2	5

⑷ 車両情報

図 7.5.1②-1 に示す通り、右折/直進/左折の各進行経路における 8 ポイントの車両位置について、緯度経度座標の対応付けを行った。

⑸ 交通情報データベース

図 7.5.1②-1 に示す通り、狭域サーバが収集した前提として、交差点内において検知された各物標情報を抽出データとして用意した。位置座標からエリア ID が紐付けられ、配信対象エリアに含まれていた場合に配信される情報となる。

③ トラフィックの定義

トラフィック削減率について机上検証を行うため、配信車両 1 台に対するトラフィックについて表 7.5.2③-1 の通り定義した。物標数に応じて物標情報のデータ件数を変更して、トラフィック（バイト）を算出した。

例）物標件数が 10 件の場合

23＋29＋9＋(164×10)＝1701 バイト

表 7.5.2③-1　配信車両 1 台当たりのトラフィックの定義

メッセージ項目 / 定義項目	狭域サーバ ID	狭域サーバ送信時刻	物標情報	
			ヘッダ	データ ※ 1 件ごと
トラフィック（バイト）	23	29	9	164

また本検証においては車両への配信は 100msec 周期で実施することを前提とするため、例えば配信物標件数が 1 件と 10 件の場合のスループットは以下のように計算でき、表 7.5.2③-2 の通りとなる。

例）物標件数が 10 件の場合

{23＋29＋9＋(164×10)} × 8 ÷ 0.1 秒 ＝ 136,080 bps ＝ 0.136 Mbps

表 7.5.2③-2　配信物標によるスループット例

配信物標件数	1 件	10 件
スループット（Mbps）	0.018	0.136

7.5.3. 検証結果

机上検証によって計測した 12 パターン×8 ポイントのトラフィックについて、表 7.5.3-1 に記載する。

表 7.5.3-1　各検証で計測したトラフィック（バイト）

走行位置 / 検証 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
1	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901
2	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901
3	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901	9,901
4	3,505	3,341	2,685	1,865	1,537	717
5	2,685	2,521	1,865	1,209	1,209	717
6	5,309	5,145	4,489	3,669	1,701	717
7	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933
8	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933
9	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933	7,933
10	2,521	2,357	2,029	1,373	881	717
11	2,029	1,865	1,537	1,209	1,209	717
12	3,669	3,505	3,177	2,521	1,045	717

走行位置 / 検証 No.	⑦	⑧	平均値
1	9,901	9,901	9,901.0
2	9,901	9,901	9,901.0
3	9,901	9,901	9,901.0
4	389	61	1,762.5
5	553	61	1,352.5
6	389	61	2,685.0
7	7,933	7,933	7,933.0
8	7,933	7,933	7,933.0
9	7,933	7,933	7,933.0
10	389	61	1,291.0
11	553	61	1,147.5
12	389	61	1,885.5

また、表 7.5.3-1 から、「統合機能」および「配信制御機能」の有無による、平均トラフィックの変化を表 7.5.3-2、平均トラフィックの削減率を表 7.5.3-3 に示す。

統合なし・配信制御なしは検証 No.1～3、統合なし・配信制御ありは検証 No.4～6、統合あり・配信制御なしは検証 No.7～9、統合あり・配信制御ありは検証 No.1～12 をそれぞれ対象に平均を取った。各評価パターンは進行経路が右折/左折/直進の 3 パターン、車両位置 8 ポイントの計 24 回計測分の平均値となっている。

表 7.5.3-2　平均トラフィック

評価パターン / 項目	統合なし		統合あり	
	配信制御なし	配信制御あり	配信制御なし	配信制御あり
配信車両 1 台の平均トラフィック（バイト）	9,901.0	1,933.3	7,933.0	1,441.3

表 7.5.3-3　平均トラフィックの削減率

評価パターン / 項目	統合なし		統合あり	
	配信制御なし	配信制御あり	配信制御なし	配信制御あり
平均トラフィックの削減率（%）	0.00	80.47	19.88	85.44

8. KPI 検証のまとめ（株式会社 NTT ドコモ）

中域ネットワークシステムについては、今回想定したユースケース（車線変更および経路変更）や前提条件（交通量や基地局カバー面積など）の範囲内においては、全ての KPI（中域サーバでの情報収集および配信時の通信トラフィックの削減率 50%以上、中域サーバから車両への配信時の通信遅延 100 ミリ秒以下、中域サーバの処理を含む収集・統合・配信の一連の処理時間 3 秒以内）を達成することができた。また、特定の用途や条件下ではあるが、検討したシステムアーキテクチャの有用性を確認した。

以下 7.1 節から 7.4 節に検証結果のまとめと考察について示す。

8.1. 共通 IF の考察

共通 IF については､中域サーバにおいて狭域サーバからの情報を統合するための IF と、狭域サーバや中域サーバから車両へ情報を配信するための IF を共通化することにより、中域サーバや配信先車両においてデータ変換処理等が不要となり、処理時間の低減やコンピュータリソースの削減の効果があると考えられる。

また、車両における位置参照方式が、自動運転システムの仕様によって異なることや、同一車両の内部においても各種アプリケーションの用途等によって望ましい方式が異なるであろうことを踏まえると、これらの共通 IF における物標等の位置座標の定義（位置参照方式）については､「緯度経度」による表現形式（絶対位置表現形式）と「基準点からの差分距離」「道のり距離からのオフセット」による表現形式（相対位置表現形式）の 2 つを併用することが望ましい。

8.1.1. 配信制御の考察

車両への配信時の通信遅延については、5G の mmW 及び Sub6 のいずれを用いた場合も、平均値・中央値・CDF[95%or99%タイル値]が 20 ミリ秒強までの範囲内に収まることを確認した。LTE を用いた場合は、5G よりもバラツキが大きく、平均値や中央値は 20 ミリ秒強までの範囲内に収まったものの、CDF は 95%タイル値で約 87 ミリ秒、99%タイル値で約 115 ミリ秒となることを確認した。

また、通信トラフィック削減率については、本研究開発において検討した技術を適用する前（狭域サーバからの全て情報を統合する場合や、1 つの中域サーバに保持するデータを全て配信する場合）と比較して、統合時の通信トラフィックは 70%程度、配信時の通信トラフィックは 96%以上となることを確認した。これらを踏まえると、配信先車両の速度や進行方向に応じた配信範囲の絞り込みを行うことは有効だと考えられる。

また、配信範囲の絞り込みの方式については、前述の 2 つの位置参照方式と合わせて、絶対位置表現形式によるエリア指定と相対位置表現形式による車線指定の 2 つの方式を併用することが望ましい。車両が相対位置参照形式で物標等の位置を関している場合には、

車線指定の方式を採ることにより、本来は不要となる自車両が走行する車線とは反対の車線の情報の配信を抑止するといった、更なる効率的な配信が可能となるためである。

8.2. 狭域・中域の一連の処理に関する考察

中域サーバの処理を含む一連の処理時間については、中域サーバに係る処理時間（中域サーバでの統合、車両への配信（車両側アプリにてメッセージを受信し切るまで））が、最悪条件（配信先車両台数が最大など）においても、平均値が 551 ミリ秒程度、CDF95%タイル値が 1,524 ミリ秒程度、CDF99%タイル値が 1,927 ミリ秒程度となり、狭域サーバに係る処理時間（一連の処理の KPI は 1 秒以内）を足しあげても、3 秒以内に収まる見込みであることを確認した。

8.3. 中域ネットワークシステムに関する考察

今回想定したユースケースや前提条件の範囲においては、中域ネットワークシステムへの負荷は限定的であった。具体的には、実運用を想定して見積もった最大の交通量（1km^2 当たりの最大配信先車両台数が 422 台）や配信データ量（1 つの狭域サーバ当たりの最大配信物標数が 52 個、また 1km^2 当たりの狭域サーバ台数が 4 台）に対応する場合の 1 基地局に係る負荷、すなわち通信トラフィックは、最大容量（実効速度を仮設定）に対して、1 割以下であった。つまり、本研究開発で検討した共通 IF や配信制御技術等を活用することにより、現在の商用携帯電話ネットワーク（5G および LTE）に対して中域ネットワークシステムを導入しても、ネットワーク的には問題なく運用等が可能であることが分かった。

一方で、MQTT を活用して構築した配信アプリケーションについては、配信先の車両台数や配信データ量の増加に伴う処理時間の増加が大きくなることが分かった。これを踏まえると、今後のスケールアップも考慮して中域ネットワークシステムを実用化するには、アプリケーションを含めたシステム全体の設計の改善等が必要となることが分かった。

また、配信制御については、通信の逼迫や干渉等による V2X サービスの品質低下を防ぐための検討に関しても、今後の V2X に関する研究開発において重要なテーマであると考える。

例えば、ETSI では、自動車同士が直接無線通信でつながる車両アドホックネットワーク（VANET）を前提に、事故などにより数秒の間に、非常に高い密度の車両が、お互いの無線範囲内に入る状況を想定し、その間の通信局間の干渉を避けることを目的とした DCC（Decentralized Congestion Control）という送信制御アルゴリズムに関する検討が進められている。[1]

[1]出典：Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part（2011 年に第 1 版（v1.1.1）が公開、2018 年 4 月に第 2 版（v1.2.1）が公開）
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102687/01.02.01_60/ts_102687v010201p.pdf

同文書では、ネットワークの負荷を制御する技術として送信電力制御（TPC)、送信レート制御（TRC)、送信データレート制御（TDC）の 3 種類が示されている。

表 8.3-1　ネットワークの負荷を制御する技術

制御技術	概要
送信電力制御（TPC)	チャネルの負荷を調整するために､出力電力を変更する。ITS 局は利用率の高い期間には出力電力を下げることにより､干渉範囲を小さくすることができる。
送信レート制御（TRC)	ITS 局から送信される連続した 2 つのパケット間の時間を調整する。利用率が高い期間には、ITS 局のから送信される 2 つのパケット間の時間を長くする。
送信データレート制御（TDC)	いくつかの転送レートオプションを提供する無線システムで使用できるメカニズムであり､使用率が高い期間やアプリケーションによっては､より高い転送レートを使用して送信時間を短くすることができる。

DCC による制御の仕組みとしては、異なるビーコン送信周期と送信電力等をパラメータとして持つ状態を、車両の密度に応じて、「Relaxed」,「Active」,「Restrictive」の 3 つのステータスで定義し、ビーコンー車両間、車車間の通信に係る制御を行っている。[2]

- 各車両はビーコンを受信したときの受信電力を基に車両密度を推定する。
- 各車両が推定した車両密度が高い場合､DCC の状態は Restrictive となり､長い送信周期、小さい送信電力、低い通信レートでビーコンを送信し、車両密度が低い場合、状態は Relaxed となり、短い送信周期、大きい送信電力、高い通信レートでビーコンを送信する。
- 各車両は受信したビーコンの受信電力を各状態に対して決められた閾値と比較し、閾値よりも高い場合は車両密度レベルが高い状態に遷移する。逆に、ビーコンの受信電力が閾値よりも低い場合は車両密度レベルの低い状態に遷移する。

[2] 参考:岡本 圭右　金原 辰典　石原　進, 車車間通信における周囲的なビーコン送信電力増減による車両位置情報通知の信頼性向上

以上のような制御を行う事で、車両密度が高い状態においても車両はビーコンからの情報を安定して周辺車両に届ける事が可能となる。一方で、遅延に非常に敏感で、かつ、安全性が求められる重要なアプリケーションにおいて、通信交換を制限すると、性能の低下につながる可能性があることから、C-ITS の性能の低下を防ぐために、デフォルトのものよりもより効果的な DCC パラメータに関する研究も行われている。

本研究開発では、交差点の情報による走行支援(V2I)を想定したものであるが、今後、最適な配信制御の方式を検討するにあたり、上述の検討内容及び観点については、十分に考慮すべき内容と考える。

9. KPI 検証のまとめ（パナソニック株式会社）

9.1. 共通 IF の考察

9.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF

各社接続確認（テストコース）及び、総合検証の結果から特に問題は発生しなかったが、シミュレーション検証にて 1 点課題が発生した。シミュレーション系を構築するときに、情報源（ITS 通信機）の実装として対向の歩行者/自転車(もしくは自動車)からの ITS 送信データを受信した際に 1 受信、1 メッセージとして狭域サーバに転送する実装仕様としていたため、多量の物標が発生するピークシミュレーションで送信が間に合わないケースが発生した。課題は送信を並列で行うことで回避したが、ITS の送信周期の半分 50ms 程度でバッファリングを行い 1 つのメッセージに複数の物標を格納してトータルの情報源・狭域サーバ間の転送回数を抑えた方がより効率が良いと考えられる。平均遅延が増加するが、送信周期の半分の 50ms 程度の待ちであるなら影響は少ないと考えられる。

セキュリティ面では、一般的な RESTful なインタフェースとして実装されているため今回は内部接続のため暗号化無し・認証無しで実験を行ったが、容易にセキュア化することが可能となっている。（実験機器の構成として、機器内部での有線接続・もしくは暗号化された WiGig バックホールを用いた接続のため、セキュリティは不要と判断した。）

9.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF

各社接続確認（テストコース）及び、総合検証の実験において、WiGig 通信が良好なエリアでは問題は発生しなかったが、WiGig 接続の接続可能な範囲の境界付近や、WiGig アクセスポイントとの間に遮蔽物が入ることによる通信の瞬断などにより、狭域サーバの MQTT ブローカーから配信車の MQTT クライアントへのデータ配信に遅延が発生する課題があった。回避方法として、受信したパケットの GPS 同期されたタイムスタンプと、配信車の GPS 同期されたシステム時刻を比較し、遅延が発生していた場合は破棄することで実用上問題はない。WiGig のように通信可能なエリアへの進入・退出があるシステムの場合、MQTT クライアントの実装に依存するが、低遅延の配信にはバッファリングの無効化や通信エリアの入出をトリガとした MQTT 接続切断・MQTT キープアライブ時間の短縮などが別途必要となる。

9.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF

総合検証の結果から特に問題は発生しなかった。狭域配信と比較して、中域配信は長い送信周期（狭域 250ms 周期、中域 1000ms 周期）のため、狭域側で配信するデータの生存期間を考慮する必要がでてくる（中域配信周期途中で検出外になった物標などを次の配信周期に配信するかどうか）。中域側のアプリケーションにも依存するため、データの生存期間を配信周期より若干長く設定して、中域側で物標内の情報取得時間と現在時刻を比較して取捨選択することに委ねることとする。

セキュリティ面では、一般的なMQTTプロトコルを用いているため、既存のセキュリティ機能を利用することが可能となっている。本実証では、MQTTのUsername/Password認証、クライアント証明書による認証、TLS暗号化を用いるように実装している。その他、改ざん・妨害に対する検討は今後の課題である。

9.2. 統合手法の考察

統合の位置の正解率は、抽出の KPI を達成しないデータを除外すれば、KPI を達成することを確認した。

同一判定をすることで配信データ量を削減できることを確認した。しかしながら、抽出誤差が大きい場合、同一判定の正解率が大きく劣化する場合があることが確認できた。速度等等他の指標等を用いて、同一判定の正解率さらなる向上させることは今後の課題である。

その他特徴的なことについて項目別に考察していく。

9.2.1. 検出エリア境界のシームレスな検出

交差点に向かって走行、歩行始めのエリアでは、ITS 通信端末からのみ検出され統合 ID（人物 ID）を付与し、ミリ波レーダ検出エリアに入ったら、統合 ID（人物 ID）を継続しながら、ITS 通信端末とミリ波レーダから検出された ID を統合して、統合 ID（人物 ID）の位置精度等を向上し、シームレスな検出が可能となることを確認した。

図 9.2.1-1 に検出エリア境界のシームレスな検出イメージを示す。

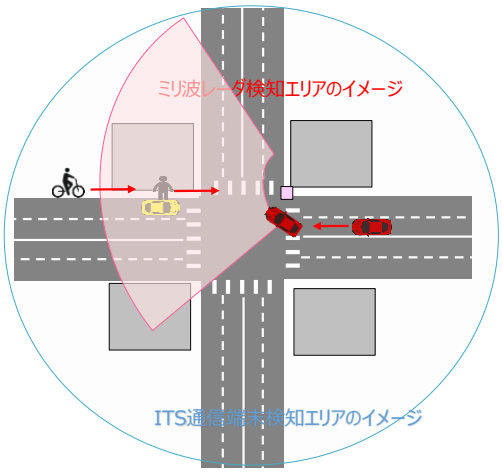


図 9.2.1-1 検出エリア境界のシームレスな検出イメージ

9.2.2. 重複エリアにおける精度向上

本システムでは重複エリアにおいて 2 センサの結果が得られた場合、精度の高い検出結果を優先したことで、情報精度の向上ができることを確認した。

9.2.3. 重複エリアにおけるロバスト性の向上

どちらかのセンサが検出に失敗しても情報の提供を継続できることを確認した。

さらに、2 物体を検出するような状況下で、ミリ波レーダではオクルージョン等が発生し 2 物体を分離検出できない事例が確認された。ミリ波レーダで分離検出できない間も ITS 通信端末では 2

物体を検出しており、統合した結果、2つの統合 ID が出力さる。このように検出性能の異なるセンサを統合することで、複雑な状況下でも精度の高い検出を行える利点を確認した。

9. 2. 4. 限界値性能に関する考察

安価な PC1台で狭域サーバを構成なら、物標数 40 までなら統合処理ができることから、安価なPC1台の構成でも、小規模な交差点なら十分対応可能であることを確認できた。

さらに、大規模な交差点について対応する場合の考察をする。大規模交差点の場合は、物標数数百程度満たせる構成を考える必要がある。

狭域サーバの処理は、「統合前処理」、「同定処理」、「統合後処理」、「配信処理」に分割することができる。

「統合前処理」、「同定処理」、「統合後処理」、「配信処理」は収集から配信まで短時間で行う必要があるため、リアルタイム処理が必要となる。一方「同定処理」は、同定処理はある程度遅延を許しても、同定処理が数サンプル遅れる程度で、システム性能への影響は小さいといえる。

以上のことから、「統合前処理」/「統合後処理」、「同定処理」、「配信処理」をそれぞれ別々の PC に処理を分散させたり、1つの PC 性能を強化することで、限界値性能を大幅に向上させることができ、交差点の規模によって適切な PC 構成を選択すれば、どのような交差点状況でも対応可能ということを確認した。

図 9.2.4-1 に安価な PC3台に処理分割した場合の狭域サーバの構成を示す。

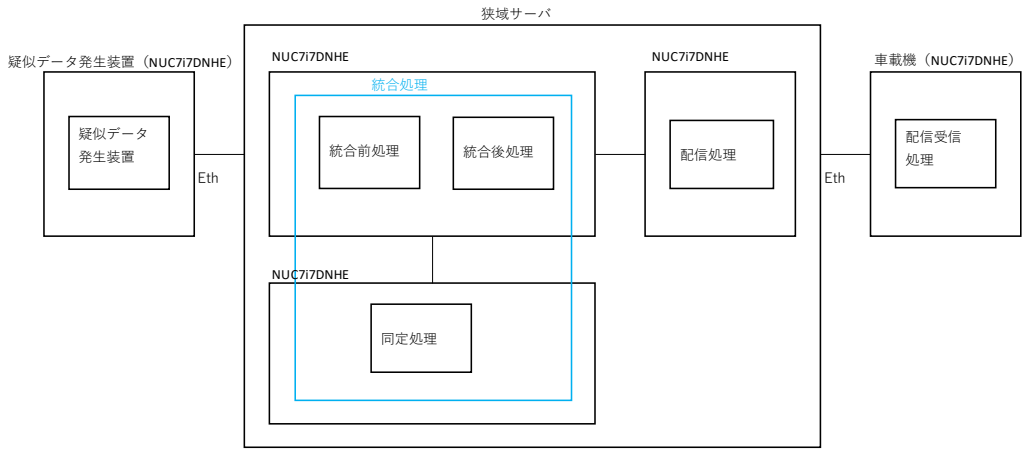


図 9.2.4-1 安価な PC3台に処理分割した場合の狭域サーバの構成

9. 3. 配信制御の考察

シミュレーション検証にて配信車両領域定義及び配信物標領域定義を用いたエリア区分で配信の制御によるトラフィック削減の効果を確認した。シミュレーションでは配信車両領域定義内に入っていた配信車に、右折に必要な情報として配信物標領域で定義された領域内の物標を配信する動作としていたが、実環境では配信車が右折か直進かどうかは路側

機側では判別が難しいため、さらなる発展として車両側のナビゲーション情報との連携や、車両側からのサービス種別（右折情報など）の要求選択をすると、より適切で効率的な情報の提供を行うことが可能になると考える。

9.4. 抽出手法の考察

4.3.2 節において前述した通り、テストコース環境でのシナリオ試験を通じて確認された位置計測の正解率は、ITS 通信端末（GNSS）が 70～90%程度、79GHz 帯ミリ波レーダが 99%以上をそれぞれ達成している。ITS 通信端末の正解率が UC シナリオや抽出対象毎に異なる特性を示しており、一部では KPI 評価指標である 90%以上を満たしていない。

9.4.1. ITS 通信端末の位置計測誤差に関する見解

はじめに、ITS 通信端末（GNSS）の位置計測誤差について、定点での測位データを参照として考察する。

図 9.4.1-1a は、実験場所としたテストコース内の定点において、同じくコード測位方式を用いた GNSS 測位データから、その誤差の時間変動特性を解析した結果を示している。このデータから、1m 前後の比較的大きな誤差も断続的に発生することが分かる。XY 平面座標系では、図 9.4.1-1b に示すように、期待値に対して半径 1m 程の範囲内で測位点が連続した軌跡として観測される。今回のシナリオ実験を通じた ITS 通信端末（GNSS）の位置誤差解析では、取得データにこのような定点測位誤差が大きくなる時間帯を含んでいる。

GNSS 測位に利用する GPS 等の衛星は概ね 24 時間で地球を周回しており、観測地点から見たこれら衛星の配置は時間帯によって異なる。特に、測位する場所から見て低仰角に位置している衛星が相対的に多くなると測位精度が劣化して、計測される位置が時間と共にシフトしていくようになる。このような測位点の時間的なシフトの発生が、歩行者等の位置計測において正解率が 70%程度まで劣化することの主要因となっている。実使用を想定した場合、定点からの位置補正情報配信といった測位誤差を補償する仕組みの導入等、歩行者が携帯する GNSS デバイスの高精度化につなげる検討も必要だと考えられる。

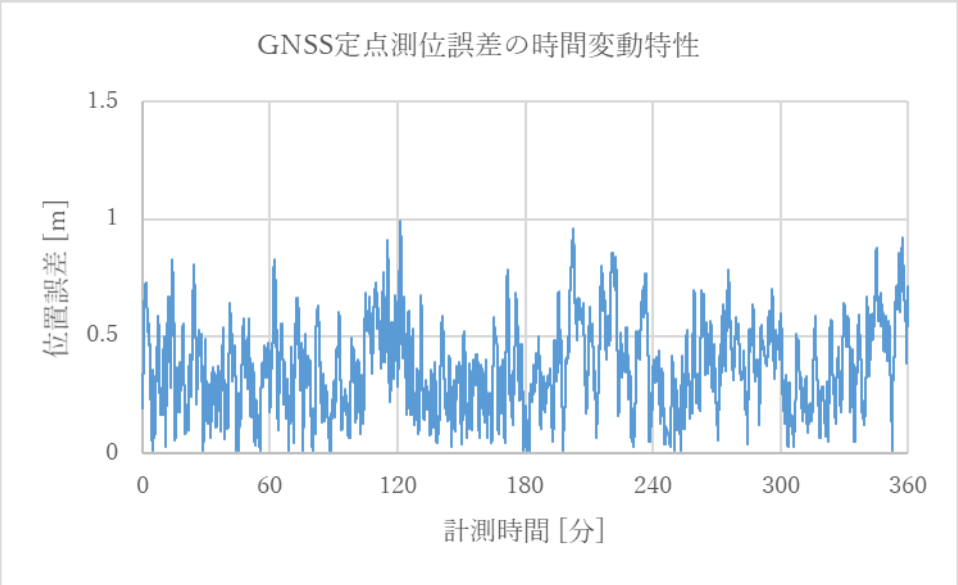


図 9.4.1-1a　シナリオ実験環境における GNNS 定点測位誤差の時間変動
（計測時間帯は 10 時から 16 時迄）

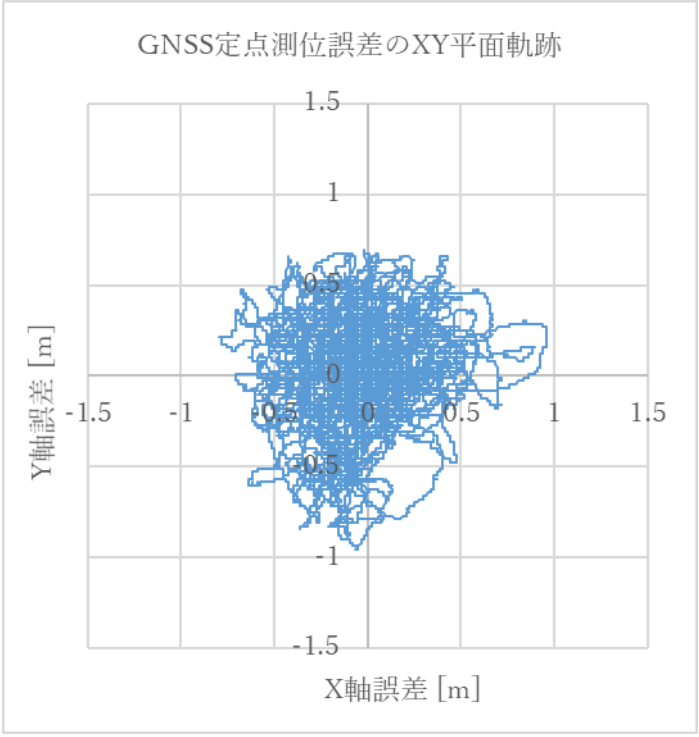


図 9.4.1-1b　シナリオ実験のテストコース環境における GNSS 定点測位軌跡
（XY 座標の原点が位置の期待値）

9.4.2. ミリ波レーダの計測誤差要因に関する見解

次に、79GHz 帯ミリ波レーダの計測誤差に対する要因分析として、進行方向の誤差が位置や速度の誤差と比較して大きい点について述べる。具体的には、歩行者の進行方向を計測した結果であり、計測誤差の平均値＋１σ値が 20° 程度であった。（第 5.2.3 節の表を参照）。一方で、位置の計測誤差は同じく＋1σ値が 1m 以下、速度の計測誤差は＋1σ値が 0.2m/s 以下といった精度の高い結果が得られている。

これらの要因の一つには、ミリ波レーダの遠方では、角度分解能の影響を受けて横方向の位置計測誤差が増えるため、方位計測の誤差も増加することが上げられる。もう一つの要因として、歩行時の手足の動きに伴い散乱されるミリ波のエコー点群は、その分布形状がダイナミックに変動するという特性がある。一般に、レーダによる対象物の位置検出処理は、グループ化された対象物の点群分布を入力とするため、その形状が時間的に変動すると検出される位置も揺らぐことになる。

歩行者のミリ波レーダ検出に対する定性的な理解のため、図 9.4.2-1 には歩行者が遠方からレーダに接近するシナリオで取得された位置計測データを軌跡表示画面のキャプチャを示す。比較として、図 9.4.2-2 には自転車が接近するシナリオにおいて取得された同様の軌跡を示す。

つまり、今回のシナリオ実験では、79GHz 帯ミリ波レーダの計測位置誤差は評価指標である 2m 以内に収まっている。しかしながら、ミリ波レーダから遠方を計測する場合や歩行者を検出する場合には、進行方向の計測誤差が相対的に大きくなる傾向が確認された。

くわえて、歩行者を自転車が追抜くシーンにおいては、路側のレーダから見て後方に位置する歩行者人体の一部が前方自転車に遮蔽されることで、歩行者のトラッキングが一時的に途切れる場合があることも確認されている。このような距離方向の部分的な重なりによるレーダトラッキングの瞬断は、検知対象物（この場合は後方の歩行者）が比較的遠方に存在し、感度のマージンが小さい条件で発生し易い。

図 9.4.2-3 には、自転車が歩行者を追抜いた後のタイミングで、歩行者の軌跡が一旦途切れ、その後再びトラッキングが可能になった試行実験のデータを示したものである。ここで、図中の◇マークに重畳している軌跡が自転車のミリ波レーダ軌跡であり、○マークの軌跡が歩行者の計測結果を示している。左図は、交差点の遠方において歩行者の軌跡が途切れた後に再び検知されるまでの計測区間を示しており、右図は左図のデータが取得された時間以降（自転車が交差点を横断して検知エリア外に移動した以降）の歩行者に対するミリ波レーダ軌跡を示している。また、図 9.4.2-4 には、同じシナリオ実験で記録されたレーダ視点のカメラ映像のスナップショットを掲載している。図中の各スナップショットは、試行実験の時間経過に合わせて左から右に移行したことを示している。中央のスナップショットタイミングでは、歩行者の人体が前方の自転車運転者によって部分的に遮られていることが分かる。このような場合、比較的遠方に位置する後ろ側の歩行者からは感度点に近い微弱なレーダエコーが受信されるだけでなく、そのレーダ断面積（反射率）も減少するようになるため、検出性能が劣化していると考えられる。

一般に、路側センサーから見た前後位置関係により生じるオクルージョンを回避するためには、センサーの設置高を上げる必要がある。一方で、設置高を上げると俯角が大きくなり、距離方向の検出エリアが短くなるというトレードオフが生じる。すなわち、このようなオクルージョンの発生を前提とした上で、情報提供のあり方等を検討していくことが必要と思われる。例えば、歩行者や自転車の検出が確認された時、その後方には一定のオクルージョン領域が生じていることも合わせて情報提供することの技術的な可能性やその情報を利用する側からの見た必要性等が検討事項だと考えられる。

・　レーダ誤差要因分析のための計測データ例

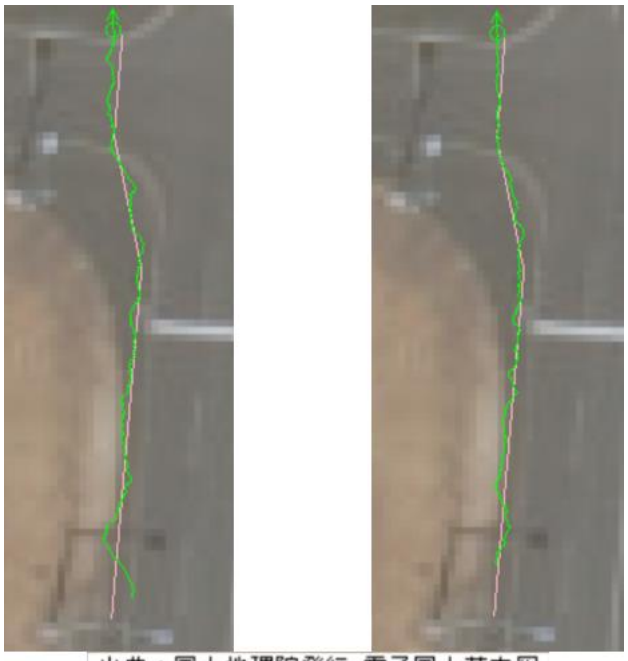


図 9.4.2-1 UC3-1-0/UC3-3-0 接近歩行者に対するレーダ計測軌跡例
（歩行者単独シナリオの試行２回分）

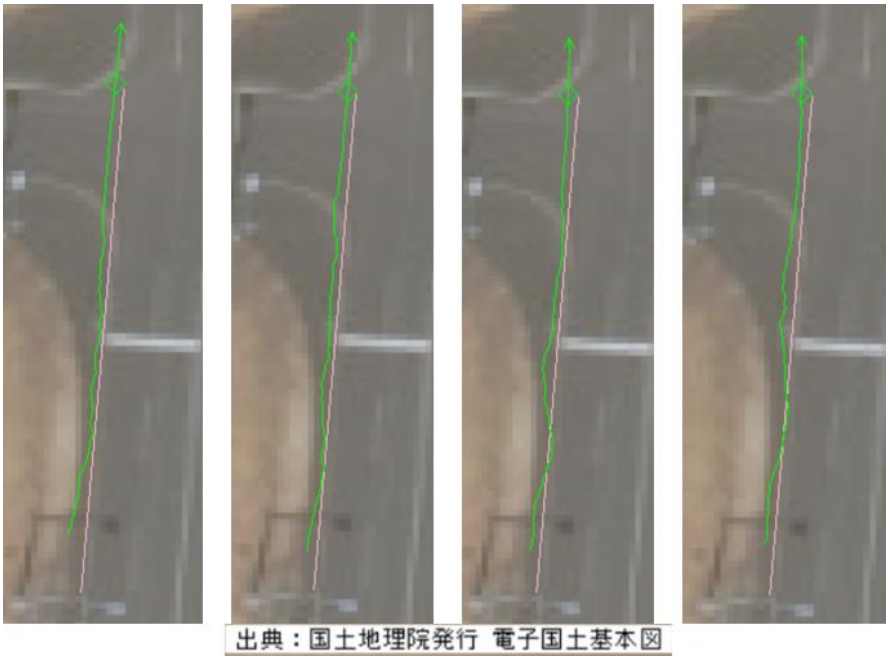


図 9.4.2-2 UC3-1-1/UC3-3-1 接近自転車に対するレーダ計測軌跡例
（自転車単独シナリオの試行４回分）

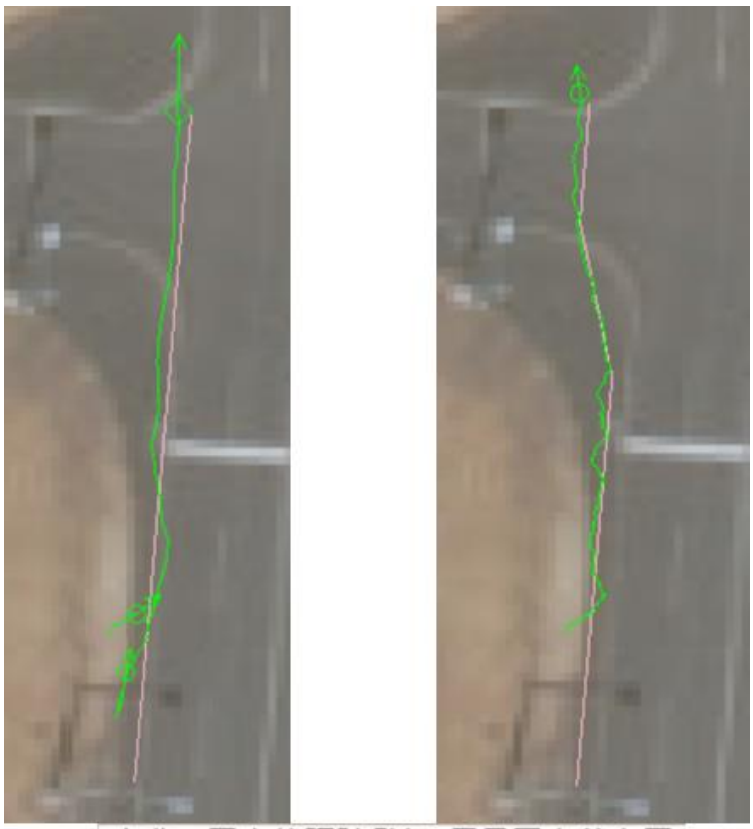


図 9.4.2-3 UC3-1-2/UC3-3-2 歩行者・自転車並走時のレーダ計測軌跡例
（左図：歩行者と自転車が同時に存在する計測区間、右図：歩行者単独の計測区間）

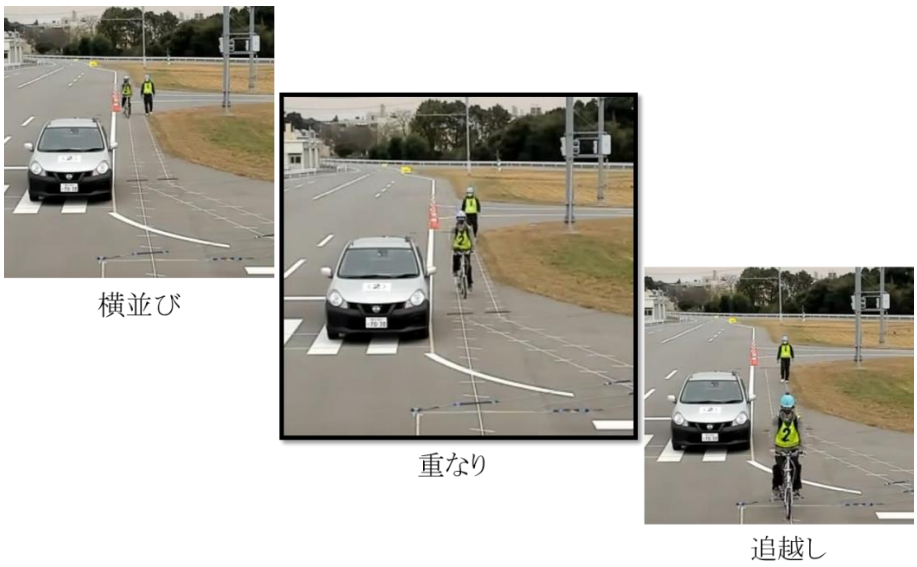


図 9.4.2-4 レーダ視点の映像スナップショット
（自転車が歩行者の横を追抜いていくシーン）

9.5. エッジサーバの諸元考察

GPU 等のデバイス進化を踏まえると汎用性が高く低コストな処理デバイスによる狭域システムの構成も可能と考えられる。すなわち、対象とする交差点毎に狭域エッジサーバを設置することを基本とする路側処理方式では、交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理遅延等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討する必要がある。詳細は実装ガイドラインを参照。

10. KPI 検証のまとめ（沖電気）

本章では、6 章で得られた沖電気工業担当の域通信として DSRC 方式またはセルラ（直接通信）方式を用いる路側処理方式の KPI 検証結果のまとめと考察を行う。

代表的なユースケースにおける KPI 検証結果の概要を表 10-1 に示す。同表に示すように、概ね目標性能を満足することを確認できた。

ただし、これらは今回実施したフィールド検証の実施環境や機器構成、シミュレーション検証の評価条件を前提とした検証結果である。今後の実運用での要求や制約がある中で性能確保・向上へ向けての課題を整理する必要がある。例えば、路側センサ毎に設計した検知エリアにおいて、抽出や統合手法の性能は目標を達成したが、設置条件やセンサ数に制限がある場合や統合手法による更なる性能向上を期待する場合、検知エリア拡大が必要となり、設定した検知エリア外で発生する問題を解決することが重要となる。

以下に共通 IF や各手法に対して KPI 検証結果および分析・考察を示す。

表 10-1　KPI 検証結果の概要



10.1. 共通 IF の考察

10.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF

各社接続確認（Jtown）及び総合検証（お台場）の実験において、特に問題は発生しなかった。情報源・狭域サーバ間メッセージ IF にて今後検討が必要な点を考察する。

情報源である路側センサの設置位置や向きの正確さが、物標の測位精度に影響するため、上記実験において情報源である路側センサの設置に多くの時間を要した。実際の導入時には、限られた人員・時間で路側センサの設置を完了する必要があるため、設置位置・向きについて、正確な把握やキャリブレーションには限界があり、誤差や信頼度にばらつきが発生する。

統合処理において、高精度な情報源の情報を優先する等、複数の情報源の測位精度の違いを考慮することで、統合処理後の測位精度を向上させる方法が考えられる。その際、センサ種別から精度の高低を決めるだけでなく、上記の設置位置・向きの誤差・信頼度の違いも考慮することで更なる精度向上が期待できる。

以上のことから、情報源・狭域サーバ間メッセージの中の「センサ設置位置」の誤差・信頼度に関する情報をメッセージに追加することを検討する必要がある。

10.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF

各社接続確認及び総合検証の実験において、特に問題は発生しなかったが、以下にしめすように、車載端末と狭域サーバ間の時刻同期機能について検討する必要がある。

各社接続試験、総合検証共に実験場所はオープンスカイであり、GNSS 受信機を用いた NTP サーバの時刻同期は安定していたが、総合検証の事前確認において実験場所を離れた高い建物や高架で囲まれた地点を走行中に、GNSS 受信機による衛星捕捉数が減少し NTP による時刻同期の精度が低下する状況が発生した。

高層ビル街や高架下等の GNSS 受信が安定しない交差点において、狭域サーバを設置し検討ユースケースを行う場合、上記のように車載機や狭域サーバの時刻同期が難しいため、中域サーバとの通信に用いる 5G を活用する等、GNSS 以外の NTP サーバを使用する時刻同期が必要である。

10.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF

総合検証の実験において、特に問題は発生しなかった。ただし、以下に示すように、今回の総合実証における狭域サーバから中域サーバへ送信したメッセージは限られたものであり、今後の実証実験では合わせて検討が必要である。

6 章の図 6.3.1①-1 に示すように、総合検証における路側センサの検知エリアでは工事が行われており、複数の車両が駐車していた。総合検証での狭域ユースケースとして UC 狭域 1 を対象としたため、上記の工事車両の検知結果はフィルタリングにより取り除いたものを中域サーバへ送信した。工事等による車両の停滞情報を中域に提供することは有用であり、狭域サーバ側の処理負荷を考慮しつつ中域サーバへの提供範囲の拡張検討が必要。

10.2. 抽出手法の考察

センサ単体による位置正解率は全 UC において 90%以上を達成したが、100%でない UC も存在した。そこで本節では、センサにおける抽出方法の考察として、正解できなかったケースが発生した 360° 及び長距離 LiDAR について、設定した検知可能範囲及び、正解できなかった原因について記述する。まとめとして、図 10.2-1 に車両に対する各センサの検知範囲を示す。

①360° LiDAR

検知可能範囲については、車両はセンサの直下から 9.7 m～40 m の範囲自転車・歩行者はセンサの直下から 9.7 m～30 m の同心円で囲まれる範囲であった。センサの直下から 9.7 m の範囲については、センサの設置高さ（約 5 m）と視野角の関係から、幾何学的に LiDAR から出射されるレーザが当たらない範囲である。また、遠方については、その距離でどれほどのデータ点が取得できたのか等、物標情報が抽出可能であるかが関係している。そのため、物体の大きさやレーザ光の反射率などに依存すると考えられるが、本実験に使用した車両、歩行者、自転車の場合には上記の範囲であった。

また､360° LiDAR では UC 狭 2-1-1 及び UC 狭 2-2 において正解率が 100%ではなかった。これは位置の正解データである RTK と LiDAR 時刻が完全には同期していないために、両者を比較した際に比較対象となる時刻を飛ばしてしまうことがあり、これらが不検出となってしまったことが原因である。

②長距離 LiDAR

検知可能範囲については、センサの直下から x 軸方向に 25.7 m～100 m の範囲であった。センサの直下から x 軸方向に 25.7 m の範囲については、360° LiDAR と同様にセンサの設置高さ(約 5 m)と視野角の関係から決まる範囲である。また、遠方についても 360° LiDAR の場合と同様に、その距離でどれほどのデータ点が取得できたのか等、物標情報が抽出可能であるかが関係しており、本実験に使用した車両の場合には上記の範囲であった。

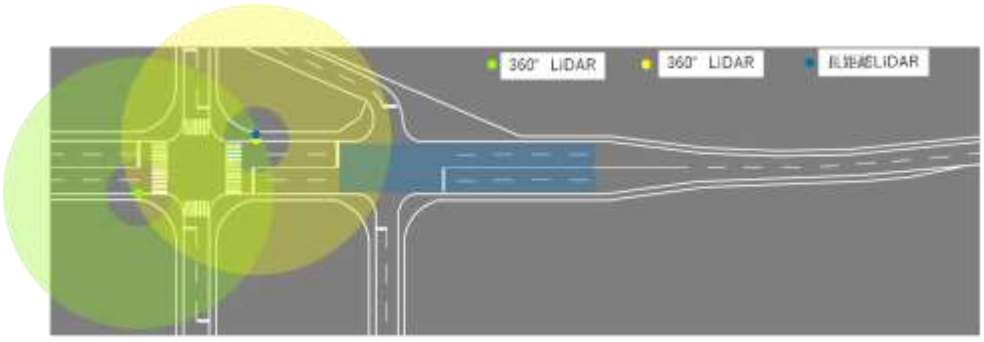


図 10.2-1　車両に対する各センサの検知範囲

(黄緑:路側センサ 1 の 360° LiDAR、黄色:路側センサ 2 の 360° LiDAR、青:長距離 LiDAR)

10.3. 統合手法の考察

各ユースケースに対して、複数のセンサを使用して広範なエリアを監視し、車両・自転車・歩行者の物標情報を精度良く実施することができ、KPI 目標値を達成することを確認した。

また、性質の異なるセンサ(2 種類の LiDAR とミリ波レーダ)を複数組み合わせても統合処理を適用できることを確認した。

限界性能について、今回採用した統合手法は複雑な処理を行っていないため、狭域エッジサーバとしては監視する車両数が 150 台でも問題なく動作することを確認した。

今回は車両の移動速度を最大 70km/h と想定し、統合処理の実装を行ったが、実用に当たっては速度違反車両などの存在を考慮する必要がある。現状では路側センサはセンサが情報を出力するタイミングで抽出処理を行っており、各センサは 100ms 周期で情報を出力するため、最大で 100ms タイミングがずれる可能性がある。

このずれを吸収する補間処理またはセンサが出力するタイミングを操作できる仕組みを設ける必要がある。

10.4. 収集・配信手法の考察

検討対象の DSRC およびセルラ（直接通信）ではブロードキャストによる配信を想定しており、配信先のエリアに応じて情報を限定する等の配信制御は適用しない。車両が自律センサ情報をもとに自身の物標情報を狭域エッジサーバに送信するアップリンクと、路側センサ - 狭域エッジサーバ間の路路間通信、車両への配信が混在する際の収集・配信制御について検討を行った。交差点角の建物や大型車による電波の遮蔽により他無線機の通信状況が把握できず、パケット衝突が増加する状況が発生する問題に対して、路側機と車載機の送信タイミングを時分割し、車載機の送信タイミングを車線や交差点までの距離等に応じて時分割する収集・配信制御を検討した。シミュレーション評価により検討方式を適用することで PER が減少し、通信混在時でも PER＜1E-2 を達成することを確認した。

表 10.4-1 に、シミュレーション検証結果まとめを示す。同表より、目標 PER（パケット到達率）を 1 E-2 以下（99%以上）とすると、通信トラフィックがピーク時想定の 2 倍以上となると収集・配信制御を適用しても目標は達成しないが、安全運転支援システムが想定する目標 PER<2E-1（パケット到達率 80%以上）は満足することが分かる。

通信トラフィック増加時の通信性能の改善策として、広帯域化(チャネル帯域幅を 20MHz に拡大等）や複数チャネル化（通信形態毎にチャネルを割当等）が考えられるが、広帯域化による受信感度低下の対策やマルチチューナの適用。等の検討が必要である。

検討した収集・配信制御を適用するには、路側機・車載機間で時刻同期を取る必要がある。時刻同期方法としては、GNSS 受信機から 1 秒周期で得られるパルス信号を用いる方法、狭域エッジサーバからのパケットの受信タイミングや時刻情報をもとに行う方法、等があり、今後検討が必要である。

表 10.4-1　収集・配信制御のシミュレーション検証結果まとめ

通信方式	DSRC				セルラ(直接通信)			
収集・配信制御	適用		適用せず		適用		適用せず	
目標PER（パケット到達率）	1E-2（99%）	2E-1（80%）	1E-2（99%）	2E-1（80%）	1E-2（99%）	2E-1（80%）	1E-2（99%）	2E-1（80%）
トラフィック	検証結果　○:目標達成、×:未達							
ピーク時想定の1/2倍	○	○	○	○	○	○	○	○
ピーク時想定	○	○	×	○	○	○	○	○
ピーク時想定の2倍	×	○	×	○	×	○	×	○
ピーク時想定の3倍	×	○	×	○	×	○	×	×

10.5. 路側処理方式（DSRC・セルラ（直接通信））の考察

本検証結果を踏まえて、路側処理方式（路側・セルラ（直接通信））の特徴や課題を考察した。

特徴

- コネクションレスで広範囲に配信（ブロードキャスト）し低遅延な通信を実現。配信エリア毎に情報を変更する等のトラフィック削減方法の追加が不要。
- 同時に、路車間通信（アップリンク）により、車両情報を収集することで、統合処理の精度向上に寄与。
- 使用を想定する周波数（5.9GHz 帯）の特性から、大型車による電波遮蔽時においても通信が途切れる頻度が減少。

課題

- 収集・配信制御や広帯域化等のトラフィック対策の具体設計・実装が今後必要。
- 同一・隣接周波数は放送事業や DSRC（ETC/ETC2/0）等の既存無線システムが使用しており、チャネル割当や干渉対策等の共用検討が必要（図 10.5-1）。

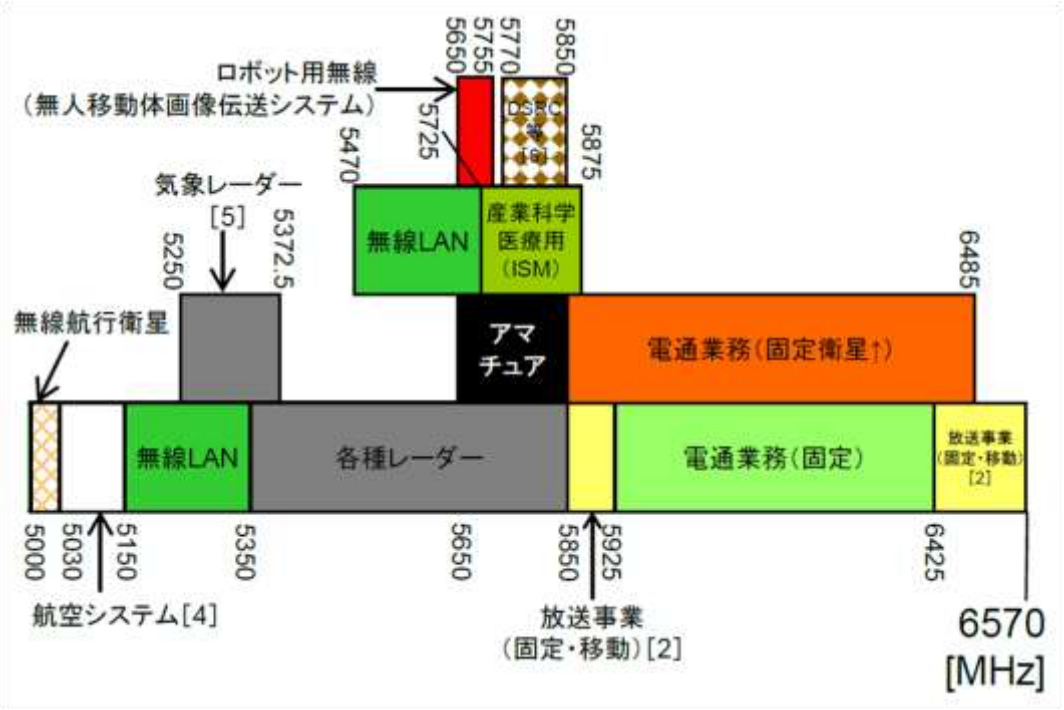


図 10.5-1　5.9GHz 帯周辺の周波数利用状況

11. KPI 検証のまとめ（住友電気工業株式会社）

本章では 7 章で得られた住友電気工業株式会社担当の KPI 検証結果のまとめと考察を行う。代表的な UC における KPI 評価結果の概要を表 11.-1 に示す。情報源から狭域サーバの通信遅延については情報源に応じたデータ削減対策を施した(詳細は、11.1.1 節にて記載)考察を反映した結果である。また、配信制御における通信トラフィック削減率は 11.4.1 節で KPI 評価結果をまとめている。KPI 評価の対象は検証種別がフィールド検証とピーク時想定の結果を対象とし、限界試験は対象外としている。

表 11.-1　検証結果の概要



表 11.-1 の結果に対して、2.3.3 節で記載している狭域の KPI の達成状況を以下に記載し、表 11.-2 に整理した。

- 動的な情報の収集に係る研究開発
  - 各種情報源から情報を抽出する技術
  - 抽出した情報の正解率 90%以上

    ⇒フィールド検証結果より達成
  - 抽出した情報を収集する技術
  - 各種情報源から収集場所である狭域エッジサーバまでの通信遅延 100　ミリ秒以内

    ⇒シミュレーション/机上検討結果より CDF99%で達成
- 動的な情報の統合等の処理による生成に係る研究開発
  - 狭域エリアにおいて収集した情報を統合・更新する技術
  - 抽出した情報の正解率 90%以上

    ⇒フィールド検証結果より達成

・ 動的な情報の配信に係る研究開発
  - 収集・統合した情報を配信する技術
  - 狭域又は中域エッジサーバから自動運転車両等までの通信遅延 100 ミリ秒以内

    ⇒シミュレーション/机上検討結果より CDF99%で達成
・ 周囲の状況に応じて情報の配信を制御する技術
  - 当該技術を適用しない場合と比較して通信トラフィック削減率 50%以上

    ⇒シミュレーション/机上検討結果より達成
  - エッジサーバに関する検討
  - 狭域エリアについては収集から配信までの一連の処理時間 1 秒以内

    ⇒シミュレーション/机上検討結果より CDF99%で達成

表 11.-2 KPI 検証結果の一覧

各研究開発項目の検証結果一覧（○：KPI評価、△：参考評価、－：実施せず）

研究開発項目と評価指標		抽出	収集	統合	配信		センサでの捕捉から、狭域内の配信
		正解率	通信遅延	正解率	通信遅延	通信トラフィック削減率	上記一連の処理時間
シミュレーション/机上検討	4×2交差点	－	○ CDF99% 100ms以内達成	－	○ CDF99% 100ms以内達成	○ 50%以上達成	○ CDF99% 1秒以内達成
フィールド検証	テストコース	○ 90%以上達成	－	○ 90%以上達成	－	－	－

なお、限界試験は KPI の達成が目的ではなく、限界性能を見極めることが目的であり、ピーク時想定を超える物標数や配信車両台数の条件で、通信遅延、処理時間等の各機能を個別に評価した。限界試験の結果については、7.4.3.④節で「狭域サーバから配信先の通信遅延」を、11.1.1 節で「情報源から狭域サーバの通信遅延（5G エミュレータ遅延設定見直し）」を、11.3.2 節で「統合処理時間の限界性能」を記載している。

11.1. 共通 IF の考察

11.1.1. 情報源・狭域サーバ間メッセージ IF

総合検証、シミュレーション検証において、メッセージ IF の機能的な問題は発生しなかった。

一方で、7.4 節のシミュレーション検証で前述したとおり、情報源から狭域サーバの遅延は CDF95%では全て 100ms 以下を満たしているものの、CDF99%では 100ms を上回ることがあった。考えられる原因と対策について、表 11.1.1-1 に示す。

表 11.1.1-1　CDF99%の遅延時間 100ms 超過の原因と対策

No.	推測される原因	対策
1	センサデータサイズが大きい	・路側装置で前処理を行う ⇒LiDAR:視野角の限定 ⇒カメラ：AIで使用する解像度へのリサイズ ・エンコード方式を変更する カメラ：画像圧縮ではなく動画圧縮を行う ・生データを圧縮して送信する

表 11.1.1-2 に各センサのメッセージ IF でのデータサイズについて示す。表 11.1.1-3 に各センサの情報源から狭域サーバの遅延時間を示す。ミリ波レーダの場合、CDF99%においても 84ms となっており、100ms 未満を満たしている。一方で LiDAR とカメラは CDF99%で 100ms を超えている。この違いの原因は、ミリ波レーダのデータサイズが小さいことであり、LiDAR とカメラのデータサイズも同様に小さくすることで、遅延時間の改善が期待できる。

表 11.1.1-2　各センサのメッセージ IF でのデータサイズ

センサ	平均[Byte]	最大[Byte]	最小[Byte]
LiDAR	182,369	183,684	181,272
カメラ	241,114	242,783	238,670
ミリ波レーダ	549	694	429

表 11.1.1-3　各センサの情報源から狭域サーバの遅延時間

センサ	サンプル数	通信遅延[ms]				
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
LiDAR	9,886	75.963	93.08	97.892	106.98	96.386
カメラ	9,886	75.784	91.308	95.718	103.962	97.565
ミリ波	6,590	67.22	76.525	79.134	84.017	99.983

対策の 1 案として、LiDAR、カメラのセンサデータを路側装置で前処理した場合の削減案について表 11.1.1-4 に示す。このようにセンサデータを削減できた場合、想定されるビットレートが小さくなるため、表 11.1.1-5 より 5G エミュレータの遅延設定を 30ms 程度緩和することが可能である。さらに、センサデータをアップロードする 5G 端末を増やすことで、1 台当たりのビットレートを抑え、遅延を緩和することが可能である。7.4.3 節の検証結果より、情報源から狭域サーバの通信遅延での CDF99%の最大値は、検証 No.3-3 の 109.526ms（表 7.4.3③-1）であり、遅延設定が 30ms 緩和された場合、79.526ms となり、100ms 未満を達成可能となる。表 11.1.1-6 に 5G エミュレータ遅延設定見直し後の情報源から狭域サーバの通信遅延を示す。7.4.3 節で検証した、情報源から狭域サーバの通信遅延の全ての検証 No について、遅延設定が 30ms 緩和された場合としている。なお、検証 No.3-1～3-4、検証 No.4-4、4-5 については、合計のビットレートが約 44Mbps となることから 1 台の 5G 端末ではアップロードできない可能性があるため、2 台の 5G 端末を使用することを想定している。5G 端末を全ての検証 No において CDF99%で 100ms を下回っており、問題なく動作可能であることを確認した。

表 11.1.1-4　路側装置での削減効果

センサ	削減方法	データサイズ[Byte]	
		対策前	対策後
LiDAR	視野角の削減（360°⇒270°）	181,272	135,954
	視野角の削減（360°⇒180°）		90,636
カメラ	リサイズ（1920x1080⇒1280x720）	238,837	188,325
	リサイズ（1920x1080⇒640x360）		54,032

表 11.1.1-5　ビットレートの低減と 5G エミュレータ遅延設定の見直し

対策	センサ	台数	データサイズ[KB]	スループット[Mbps]		5Gエミュレータ遅延設定
				センサ単位	合計	
対策前	LiDAR	2	180KB×2	27.4Mbps	64.1Mbps	55ms～75ms
	カメラ	2	240KB×2	36.6Mbps		
	レーダ	1	550B×1	0.04Mbps		
対策後	LiDAR	2	135KB×2	20.5Mbps	28.8Mbps	22.6ms～44.6ms
	カメラ	2	54KB×2	8.2Mbps		
	レーダ	1	550B×1	0.04Mbps		

表 11.1.1-6　情報源から狭域サーバの通信遅延（5G エミュレータ遅延設定見直し）

検証No.	センサ台数	サンプル数	通信遅延[ms]				
			平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
1-1	LiDAR×1 カメラ×1	5,825	42.915	58.659	63.036	70.714	67.979
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	5,912	38.639	50.694	54.109	60.349	69.534
2-2-1	LiDAR×1	3,299	40.44	52.432	55.701	61.052	69.397
2-2-2	LiDAR×1	2,965	41.646	53.385	56.728	62.726	69.462
2-3	LiDAR×1 カメラ×1	6,040	43.203	59.575	64.054	72.347	67.566
2-4-1	LiDAR×1	11,987	43.441	59.233	63.583	71.343	67.718
2-4-2	LiDAR×1	11,668	41.604	59.824	65.053	74.648	66.651
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	26,362	43.31	58.955	63.399	71.731	68.023
3-2		26,002	43.088	60.46	65.379	74.62	67.048
3-3		25,838	42.382	62.793	68.4	79.126	65.202
3-4		26,095	42.359	58.267	62.762	71.138	68.183
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	11,982	43.917	61.006	65.84	74.243	66.742
3-6		11,771	44.34	60.226	64.766	72.974	67.464
3-7		11,828	44.956	61.276	65.923	74.57	66.918
3-8		13,004	44.778	62.679	67.712	77.017	65.786
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	16,225	41.714	55.816	59.815	67.258	68.999
3-10		16,415	43.621	62.958	68.402	78.583	65.319
3-11		16,734	44.247	62.358	67.5	76.926	65.946
3-12		16,272	42.272	58.017	62.525	70.587	68.249
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	6,588	41.959	56.431	60.521	68.262	68.819
3-14		5,972	45.04	58.42	62.206	69.322	68.661
3-15		5,966	45.02	60.902	65.416	73.846	67.206
3-16		5,888	44.832	61.437	66.067	74.725	66.765
4-1	LiDAR×2 カメラ×2	13,090	43.281	58.229	62.344	70.35	68.36
4-2		13,072	44.862	61.475	66.19	74.928	66.738
4-3		13,125	44.212	61.633	66.563	75.636	66.353
4-4	LiDAR×3 カメラ×3 レーダ×2	26,248	43.145	59.523	64.171	72.867	67.654
4-5		26,030	43.503	61.405	66.455	75.849	66.51

11.1.2. 車載端末・狭域サーバ間メッセージ IF

総合検証、シミュレーション検証において、メッセージ IF の機能的な問題は発生しなかった。本節には、シミュレーション検証で評価した車両情報収集・物標データ配信の通信遅延結果について考察する。

① 車両情報の収集（車載端末⇒狭域サーバ）

車両情報の収集の通信遅延を表 11.1.2-1 に示す。最も車両台数が多い検証 No.4-1/150 台においても CDF99%で 100ms を下回っており、問題なく動作していることを確認した。

表 11.1.2-1　車両情報収集の通信遅延

			通信遅延[ms]				
検証No.	車両台数	サンプル数	平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	100ms未満最大CDF
3-1	1	3,564	23.575	25.493	26.039	27.053	100
3-2	6	21,538	23.556	25.471	26.014	26.874	100
3-3	29	101,618	23.457	25.361	25.901	26.906	100
3-4	57	202,006	23.773	25.981	26.607	27.781	100
3-5	1	3,235	23.653	25.532	26.065	26.808	100
3-6	6	19,404	23.727	25.671	26.222	27.25	100
3-7	29	94,224	23.635	25.584	26.137	27.167	100
3-8	57	201,210	23.921	25.955	26.531	27.613	100
3-9	1	3,514	23.665	25.566	26.055	26.322	99.998
3-10	6	21,469	23.578	25.504	26.049	27.053	100
3-11	29	105,419	23.679	25.617	26.167	27.198	100
3-12	57	199,975	24.168	26.394	27.025	28.207	100
3-13	1	3,582	23.663	25.595	25.961	26.87	100
3-14	6	19,542	23.622	25.548	26.094	27.108	100
3-15	29	94,244	24.155	26.253	26.848	27.964	100
3-16	57	183,128	24.234	26.58	27.245	28.493	100
4-1	150	527,419	24.31	27.383	28.254	29.888	100
4-2	100	362,360	23.663	25.812	26.422	27.565	100
4-3	50	175,818	24.01	26.231	26.861	28.042	100
4-4	114	400,975	25.134	29.751	31.06	33.516	100
4-5	143	497,993	27.749	35.724	37.985	42.227	100

② 物標データの配信（狭域サーバ⇒車載端末）

物標データの配信は、表 7.4.3④-2 に示した通り、最も物標数が多く（125 体）、配信車両が多い（150 台）、検証 No.4-1 においても CDF99%で 100ms を下回っており、問題なく動作していることを確認した。

11.1.3. 狭域・中域サーバ間メッセージ IF

住友電工は総合検証を単独で行ったため、総合検証で NTT ドコモとの接続試験は行っていないが、別途個別に NTT ドコモの中域サーバとの接続試験を行って、メッセージ IF の機能的な問題は発生しなかった。以降、通信遅延について考察する。

① 配信周期の取得（中域サーバ⇒狭域サーバ）

住友システムでは、狭域サーバ、中域サーバはどちらも NTT ドコモが提供するクラウド dOIC(ドコモオープンイノベーションクラウド)上に実装される。dOIC 上では狭域サーバ、中域サーバは有線接続しており、配信周期の通信遅延も十分小さな値となることが期待できる。

② 物標データの配信（狭域サーバ⇒中域サーバ）

①と同じく、物標データ配信の通信遅延も十分小さな値となることが期待できる。中域サーバの配信周期はデフォルトで 1 秒周期のため、狭域サーバの配信周期の 100ms 周期に比べて長期間となることから物標データの生存期間を考慮する必要がある。中域サーバの配信周期は、中域サーバから随時更新可能となるため、設定される配信周期に従って、物標データの生存期間も動的に制御する方法が考えられる。

11.2. 抽出手法の考察

11.2.1. 各路側センサによる動的物体検知の考察

① 路側ミリ波レーダの考察

(1) 検知可能範囲

路側ミリ波レーダは、UC1（対向直進車）の対向車線を走行している遠方の車両検知に利用した。検知可能範囲については、UC1 において直線道路の 30-150m までの全域で検知が可能とわかり（参照：図 7.2.3①-6)、LiDAR と比較しても交差点に進入する車両の早期検知に有利である。なお、本実証では、ミリ波レーダで遠方（150m 以上）まで検知させるため、道路上 6mに設置し、チルト角の調整を行っている。このため、30m 以内については、センシング範囲外となる。

(2) 検知精度

抽出の正解率に関しては UC1 で正解率 90%を達成しているが、100%にはなっていない（参照：表 7.2.3①-1 位置正解率)。これは実際には存在しない物体を検知する誤検知が発生したためである。この原因は主に、車両がレーダの近くを走行する際に反射点が多

くなり複数の車両と認識する場合があるためで、誤検知率低減のためには検知アルゴリズムの改善により、1 台の車両と認識する精度を上げることが必要である。

しかし、位置の検知精度に関しては、LiDAR に及ばないものの平均で 1m 以下であり、位置の正解条件である前後誤差 5m 以下であること、さらに近傍において左右誤差 1.7m 以下であることを十分満足しており、ミリ波レーダの広い検知範囲（距離）の活用が期待できる（参照：表 7.2.3①-1 位置平均誤差)。

一方、速度の検知精度に関してはミリ波レーダが反射波のドップラー効果により対象物の速度を直接観測可能していることから、LiDAR より優れている。なお、今回の評価では、位置情報を短周期で配信することで、対象物標がどの程度の時間で交差点に達するかを予測できるため、評価指標としての速度誤差はオプション扱いとしたが、位置情報と共に物標の属性としては有用な情報を考える。

② 路側 LiDAR の考察

(1) 検知可能範囲

路側 LiDAR は、UC1（対向直進車）の対向車線を走行している比較的近傍の車両の検知、UC2（右折先渋滞）の右折先車線の車両検知、UC3（交差点接近横断）の歩行者・自転車の検知に利用した。検知可能範囲については、UC1 において直線道路の 0-80m までの全域で検知が可能であり、UC2、UC3 においても交差点全域での検知が可能とわかる（図 7.2.3①-1、図 7.2.3②-1 および図 7.2.3③-2 より)。広範囲の検知が実現できた理由は本システムで使用した LiDAR センサが 360 度回転式であり広い視野を得られたことと、ミリ波レーダやカメラが車道上 6m 程度の高所設置に対して、LiDAR は歩道上 3m の比較的低所の設置としたことでセンサ近傍 0m まで検知が可能であったためである。ただし、大型車両など背の高い物体で遮られる可能性もあり、設置高や設置場所については、適用する UC や設置する交差点の状況、制約を踏まえた上で検討・調整する必要がある

(2) 検知精度

抽出の位置正解率に関しては全ての UC で正解率 100%を達成している。

しかし、UC3 の検知対象が複数となるシナリオにおいて、エリア正解率が 100%となっていない。検知の失敗例としては、UC3 の自転車 2 名を検知するシナリオ (3-1-3/3-3-3) (表 7.2.3③-5)においては、自転車を追跡中に対象の自転車から 2 つの検知点が得られ、2 つの物体として追跡してしまうことがわかった。これを防ぐためには追跡物体リストと検知物体の対応付け時に近傍の検知物体をひとつの物体とみなす処理が有効であるが、本研究開発のユースケースにおいては歩行者・自転車同士の距離が近いため、物体を少しでも精度良く分離するためにそのような処理を意図的に導入していない。2 物体を分離する性能と、1 物体を分離させない性能はトレードオフの関係にあるため、実運用においては、まず歩行者集団の分離がどの程度必要かを運転支援の要件から定め、それに合わせ適切にパラメータを設定することが必要と考えられる。

また同様に、2 名の歩行者を検知するシナリオ（3-1-6/3-3-6）（表 7.2.3③-6)においては接近した 2 名を 1 つの物体として検知してしまうことがわかったが、これは歩行者間の距離が近かったため、占有グリッドマップ上でのクラスタリング時に 1 つの物体としてまとめて検知されたことが原因である。このようなオーバークラスタリングを回避するため、占有グリッドマップのセルサイズ縮小によりある程度対策可能であるが、一方の欠点として 1 つの物体から 2 つ以上の検知物体が生成されるオーバーセグメンテーションを引き起こす可能性があり、こちらもトレードオフの関係にある。

位置の検知精度に関しては、UC1、UC3 の他センサとの比較から LiDAR の検知位置精度が高いことがわかる（参照：表 7.2.3①-2 および表 7.2.3③-2 位置誤差)。LiDAR はレーザにより対象物との正確な距離を取得でき、さらに点群データにより対象物体形状を把握することで物体の中心点や端点を正確に算出できたことが理由として考えられる。

速度と進行方向の精度に関しても比較的高いと言えるものの、UC2 の停止車両検知においては進行方向の誤差が 8 度程度あり（参照：表 7.2.3②-2 進行方向誤差)、これは停止中の物体の向きを推定するために直前までの進行方向情報を利用しているため、直前の推定結果の誤差が大きいと停止中の誤差も大きくなるためである。また、UC1 における物体速度の精度ではミリ波レーダに及ばないことがわかり、LiDAR における追跡に基づく速度推定手法に誤差が存在することが読み取れる（参照：表 7.2.3①-2 速度誤差)。これら進行方向や速度の推定精度を高めるためにカルマンフィルタの状態更新パラメータの見直し、運動モデルの見直しにより対策可能と考えられる。

③ 路側カメラ

(1) 検知可能範囲

路側カメラは、UC3（交差点横断）の歩行者、自転車検知に利用した。検知可能範囲については、UC3 においてカメラ画角内で横断歩道から 32m 遠方まで歩行者・自転車を検知可能であることがわかる（参照：図 7.2.3③-2)。

(2) 検知精度

抽出の位置正解率に関しては正解率 90%を達成しているが、100%にはなっていない。歩行者 1 名（シナリオ 3-1-0/3-3-0）もしくは自転車 1 名（シナリオ 3-1-1/3-3-1）の場合において、交差点から 30m の歩行者もしくは自転車を失報している。深層学習ベースの検知器を使用しているため詳細な失報要因はわからないが、学習データをより充実させることで対策可能であると考えられる。

検知対象が複数となるシナリオ（3-1-4/3-3-4、3-1-7/3-3-7）では、カメラ画角内での物体同士の重なり（オクルージョン）（図 11.2.1③-1）によって、1 名のみが検知されてしまうことがある（参照：表 7.2.3③-5 および表 7.2.3③-6 エリア正解率)。対策として本システムのように複数のセンサ、あるいは複数カメラを用いて、統合を行うことが有効である。

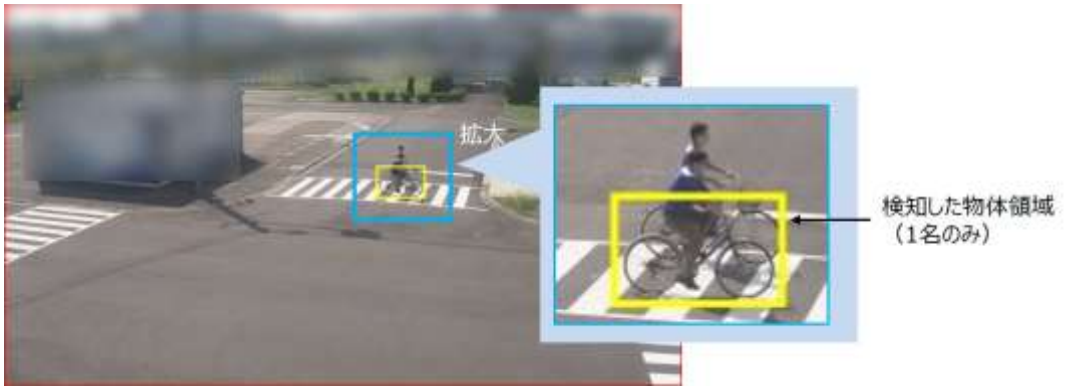


図 11.2.1③-1　物体の重なりによるオクルージョンの発生

位置の検知精度に関しては、LiDAR と比較すると低いことがわかる（参照：表 7.2.3③-2 位置誤差)。この理由は画像内で検知された物体の位置を画像上の平面座標系から実世界座標へ変換する際の誤差によるものと考えられる。遠方になればなるほど、1 ピクセルにおける実正解座標系のサイズが大きくなる。図 11.2.1③-2 から図 11.2.1③-5 に交差点から 32m、10m において、1 ピクセル真値とズレが発生した場合の誤差を示す。Y 方向においては、数ピクセルずれただけでも 0.1m 単位の誤差が発生することがわかる。交差点から 32m での歩行者のサイズは縦 64 ピクセル・横 26 ピクセル程度のため検知枠が数ピクセル単位でずれるのを現状防ぐことが難しい。さらに、射影変換行列の変換精度が不完全であること、カメラ画像に若干の歪みが生じていることも一因として考えられ

る。一方で、図 7.2.3③-2 のカメラで検知した歩行者の移動軌跡からもわかるとおり、歩行者の横断歩道接近を検知するための精度は十分に達成できていると考える。

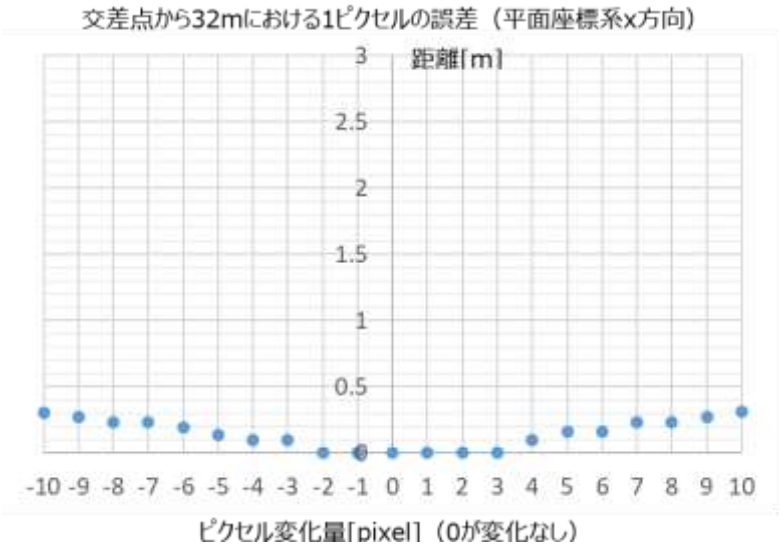


図 11.2.1③-2　カメラにおける画像座標系から実世界座標への変換誤差（X 方向、32m 地点）

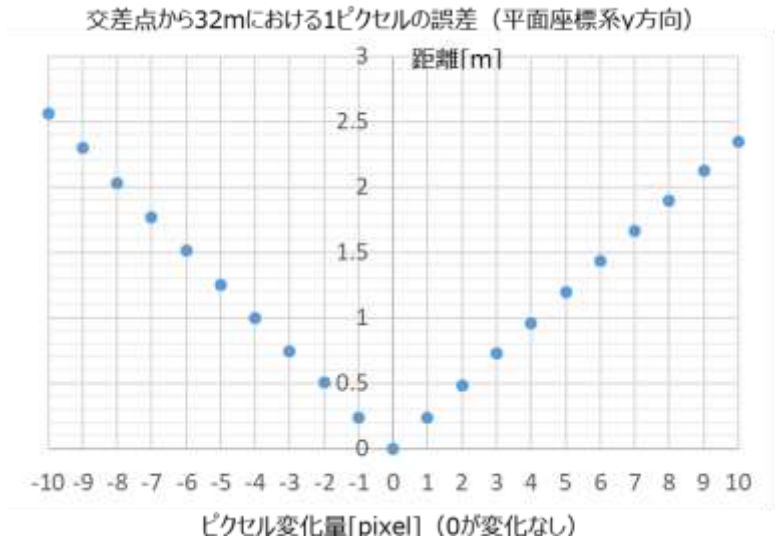


図 11.2.1③-3　カメラにおける画像座標系から実世界座標への変換誤差（Y 方向、32m 地点）

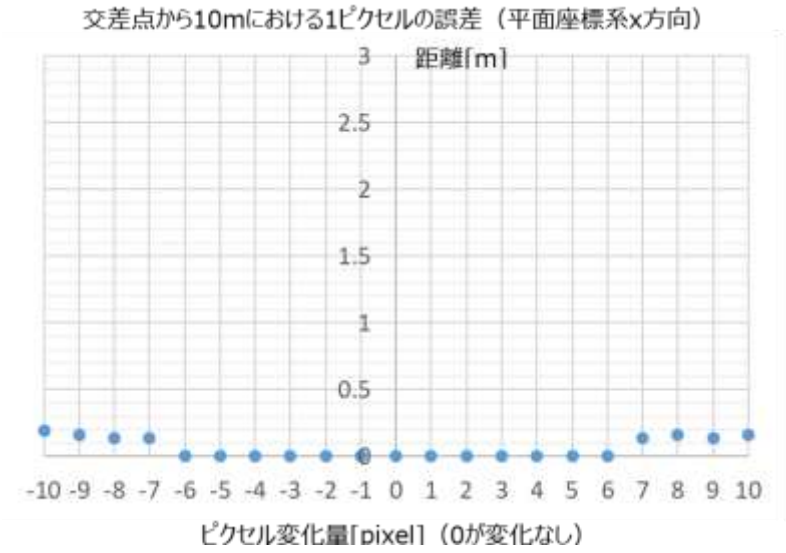


図 11.2.1③-4　カメラにおける画像座標系から実世界座標への変換誤差（X 方向、10m 地点）

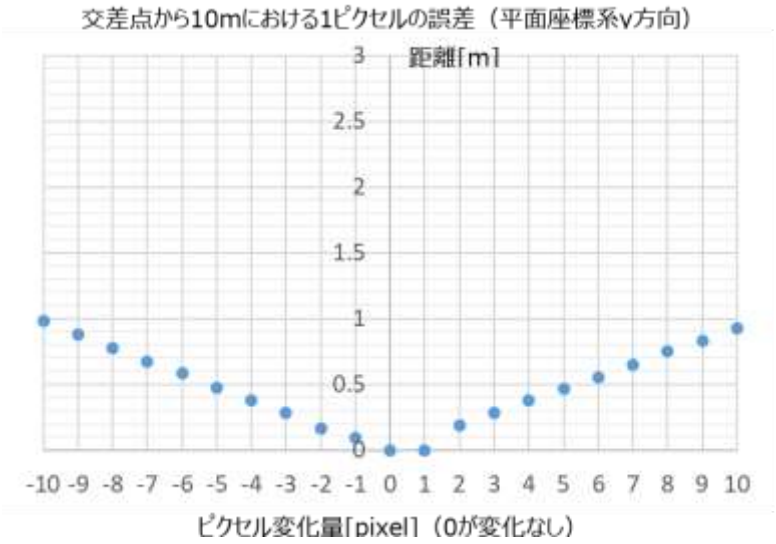


図 11.2.1③-5　カメラにおける画像座標系から実世界座標への変換誤差（Y 方向、10m 地点）

また、カメラではミリ波レーダ、LiDAR と異なり画像特徴から歩行者の詳細属性を取得することも可能であり、本システムでは歩行者が横断待機中であるかどうかを判断するための追加情報として、カメラ画像から身体の向きを識別した。歩行者の身体向きが横断方向を向いているシナリオでの身体向き識別の正解率は 90%以上を達成しているが(参照：表 7.2.3③-7)、非横断方向を向いているシナリオでは 90%を下回った（参照：表 7.2.3③-8)。

不正解となった画像を確認したところ、識別器の学習時に使用したデータと比べて、身体の傾きや手、顔や歩行の違いが確認された（図 11.2.1③-6）。学習時に使用したデータに含まれない若干の違いがあったことで身体向き識別性能が下がったと考えられる。身体向き識別により、横断待ち判断における補助的な情報としての可能性を見いだすことができたが、より確度を向上させるため、学習データを増やすことや、8 方向としている出力から実際の角度を出力するように改良することなどが考えられる。



図 11.2.1③-6　身体向き正解画像と不正解画像の比較

11.2.2. 車載センサによる道路上の障害物検知の考察

① 車両から障害物までの距離と存在車線判定処理の正解率に関する考察

検知物体が小さい段ボール箱の場合、LiDAR によって遠方から存在を発見することが困難で、実験を通して段ボール箱を観測できた距離の最大値は 69.33m であった。また、遠方から LiDAR で検知した場合に物体の幅の取得が不安定であった。特に遠方から検知した場合に、極端に小さく測量される傾向が確認できた。一例として車両から遠方(62.72m)と近辺(25.03m)から段ボール箱を物体として認識した際の違いを図 11.2.2①-1 に示す。 図中黄色円が遠方から認識した段ボール箱で幅は 17.0cm と認識しており、近辺から認識した段ボール箱は 45.7cm と認識されている。上述のような認識結果は特に検知物体が道路中央に設置された場合に存在車線判定処理の精度を下げる要因となる。この例では設置した障害物は存在車線判定処理によってリンク番号 105 及び 110 に紐づけられる必要があるが、遠方から認識した物体に対してはリンク番号 105 しか紐づけることができず不正解となっている。

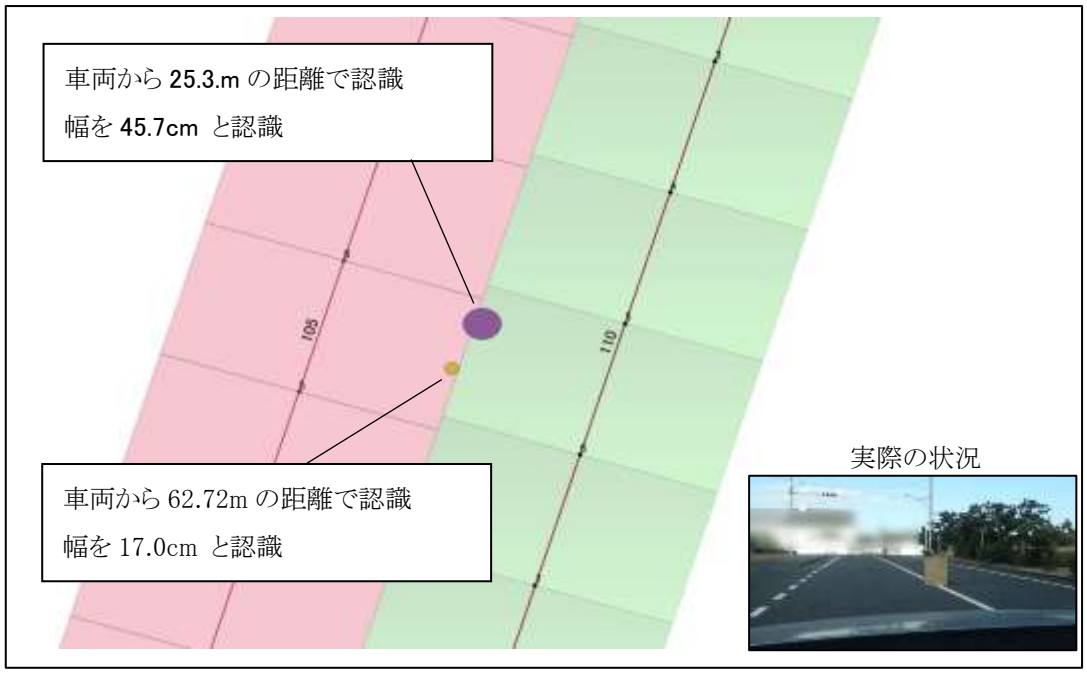


図 11.2.2①-1　遠方、近方から認識した障害物の大きさの違い

これに対する改善案として、検知した物体の幅に下限値を設定することを検討した。また、下限を設定した際にどの程度遠方から認識した場合に精度が確保できるかの観点でデータを整理した。距離と幅の下限値をパラメータとして精度を評価した結果を図 11.2.2①-2 に示す。

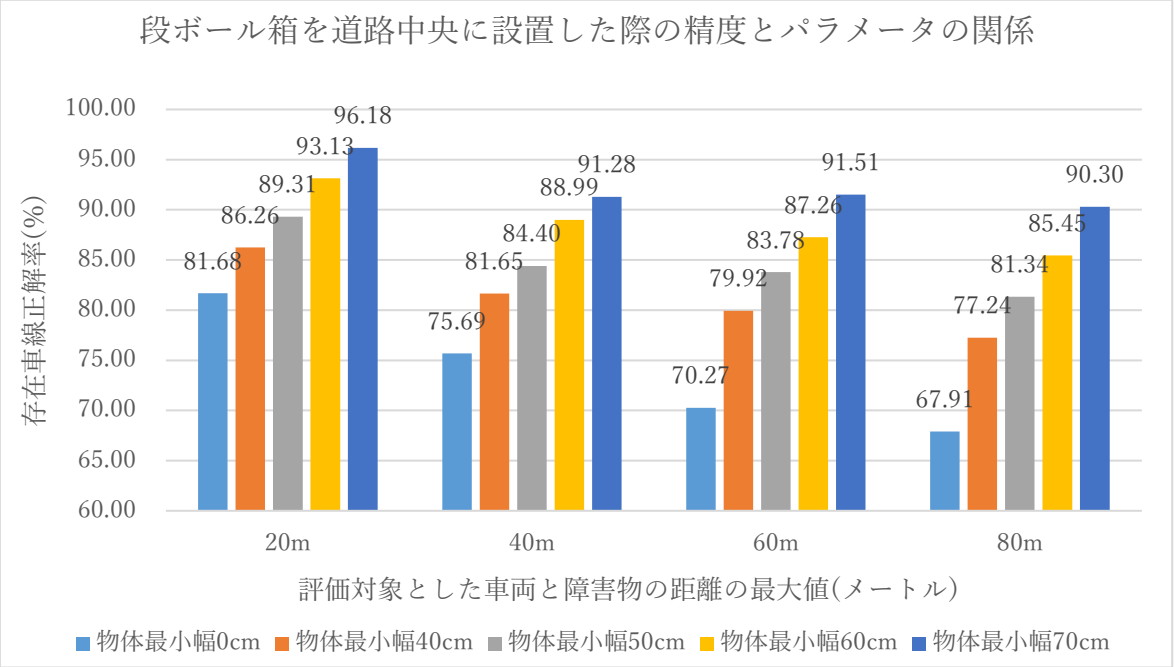


図 11.2.2①-2　段ボール箱を道路中央に設置した際の精度とパラメータの関係

上記グラフからわかるように、物体の幅に設ける下限値を大きくするにしたがって同一距離内での精度が向上している。初めて精度 90%を達成するパラメータの組み合わせは 20m 以内の距離で測定された段ボール箱に対して幅の下限値 60 cmを課した場合であり、遠方から認識した物体は破棄する必要がある。物体の幅の下限値を 70cm まで引きあがると、全ての距離に対して精度 90%を達成することが可能である。

② 障害物判定処理に関する考察

障害物判定処理では検知物体の移動速度に応じて障害物か否かを判定しており、信号待ちの停止車両などを障害物として判定してしまう。このような検知物体に関しては、複数台のセンシング車両の情報と地図の情報を組み合わせて判定する処理が有用だと考えられる。例えば定周期で動く信号交差点付近で、赤信号の点灯時間以上停止している場合は障害物と判定する等の処理が必要となる。

③ 存在車線判定処理時間の改善に関する考察

表　11.-1　検証結果の概要における UC4-1-1　に対する③統合の結果が示す処理時間には障害物判定処理、存在車線判定処理、代表点算出処理の処理時間が含まれる。このうち約 100ms が存在車線判定処理に費やされており改善の余地が残る。今回の実装形態として高精度デジタル地図のデータを汎用的なリレーショナルデータベースである PostgreSQL に格納したうえで、地理情報の操作に関する拡張プラグイン PostGIS を適用した。PostGIS を用いると 2 点間の距離の計算や矩形間のオーバーラップの計算が

Structured Query Language（SQL）内で扱えるようになり、存在車線判定処理ではこれを利用している。また一般的にリレーショナルデータベースの検索処理時間を向上させる仕組みとしてインデックスが挙げられる。PostGIS では地理情報に対してのインデックスを作成する拡張機能も提供しており、高精度デジタル地図データに適用した。このように汎用的な既存技術を組み合わせて今回の開発を実施したが、SQL 内で実行される処理やインデックスの作成に関してはブラックボックスとして扱っているため、これらの内部構造や処理を専用のソフトウエェアとして再実装することで処理速度を向上することが可能だと考えられる。

11.2.3. 抽出処理時間に関する考察

抽出処理時間において、表 7.4.3.②-2（フィールド想定検証）において、CDF99%で 300ms 未満を達成した。一方でフィールド想定検証では、同種のセンサで複数台同時に抽出処理を行った場合について計測していないため、本節で考察する。

表 11.2.3-1 に 1 台～3 台の LiDAR のセンサデータから同時に抽出処理を行った場合の抽出処理時間を示す。台数の増加に対する影響はほぼないことがわかる。

表 11.2.3-1　LiDAR の抽出処理時間（1 台～3 台）

センサ台数	サンプル数	抽出処理時間[ms]				
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	300ms未満最大CDF
LiDAR×1	5,294	30.535	38	40	43	100
LiDAR×2	6,212	31.534	40	42	47	100
LiDAR×3	9,812	32.314	41	44	49	100

表 11.2.3-2 に 1 台～2 台のミリ波レーダのセンサデータから同時に抽出処理を行った場合の抽出処理時間を示す。こちらも LiDAR と同様に台数の増加による影響はないことがわかる。なお、ミリ波レーダの最大数は表 7.4-1 に示すとおり 2 台のため、3 台以上の場合の計測はしていない。

表 11.2.3-2　ミリ波レーダの抽出処理時間（1 台～2 台）

センサ台数	サンプル数	抽出処理時間[ms]				
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	300ms未満最大CDF
ミリ波レーダ×1	5,055	16.052	16.557	16.707	16.904	100
ミリ波レーダ×2	5,828	15.091	20.722	21.943	24.967	100

カメラの抽出処理については、画像解析アプリのソフトウェア設計・実装上 GPU1 台に対してカメラ 1 台の抽出処理を割り当てているため、現状複数台を同時に処理することがで

きない。ここでは、GPU1 台で複数台に対して抽出処理を行うことが可能かについて考察する。表 11.2.3-3 にカメラの抽出処理時間の内訳を示す。図 11.2.3-1 に 1 台のカメラに対する画像解析アプリの動作を示す。対策として、図 11.2.3-2 のようにパイプライン処理できるようにソフトウェア設計・実装を見直すことで、2 台までであれば CDF99%でも 100ms 以内の抽出処理時間を実現可能な見通しである。一方で、パイプライン処理による処理待ちが発生するため、GPU 解析処理を待つ 50ms 程度遅延が発生する。その上であっても、画像データの取得を起点として 300ms 未満の遅延で 2 台分の抽出処理が実行できる見込みである。3 台以上とする場合は、GPU 解析の処理時間を短縮するために AI モデルの見直しや GPU の追加が必要になる。

表 11.2.3-3：カメラの抽出処理時間の内訳（1 台）

		抽出処理時間[ms]				
カメラ抽出処理部	サンプル数	平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%	300ms未満最大CDF
A. 画像読み込み	2,339	25.138	27.8	28.1	29.9	100
B. GPU解析	2,339	41.63	46	46.9	49.2	100
C. DB登録等	2,339	1.697	2.1	2.3	2.5	100
全体（A＋B＋C）	2,339	68.531	75.544	77.56	80.987	100

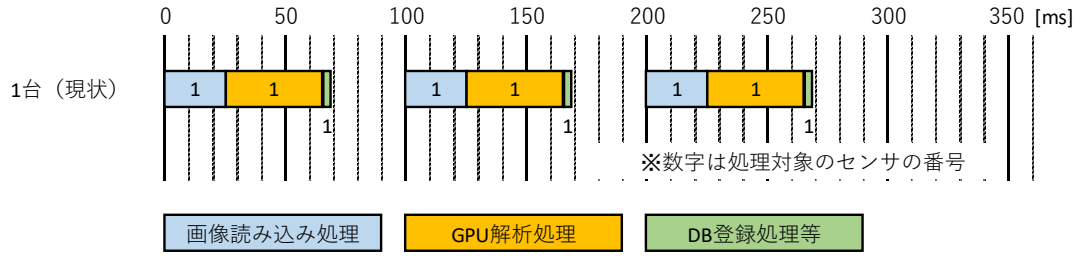


図 11.2.3-1　1 台のカメラに対する画像解析アプリの動作

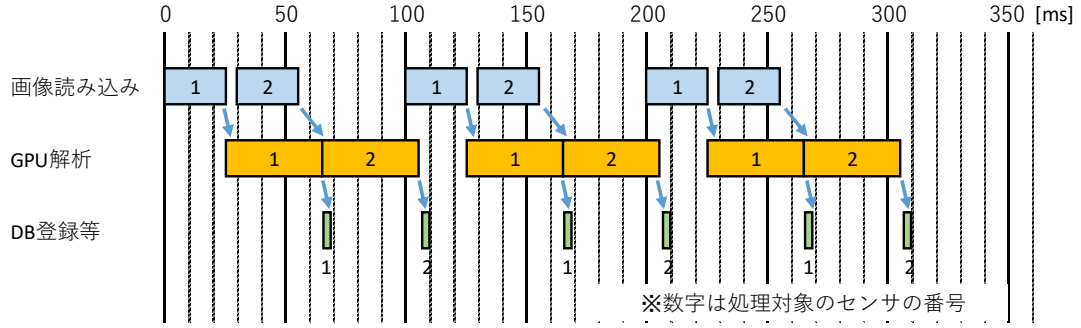


図 11.2.3-2　2 台のカメラに対する画像解析アプリの動作（改善案）

11.3. 統合手法の考察

11.3.1. 各ユースケースにおける複数センサ統合の評価結果の考察

① ユースケース 1（路側ミリ波レーダと路側 LiDAR の統合）

UC1 においては、それぞれ検知可能範囲（あるいは距離）の異なるミリ波レーダと LiDAR の抽出結果の統合を行った。以下に、統合を実施したことによる影響を考察する。

(1) 検知可能エリアの拡大と、検知エリア境界のシームレスな接続

ミリ波レーダの検知範囲が距離 30m～150m、LiDAR が 0m～80m であり、それぞれ単体のセンサのみを用いた場合は検知可能エリアに空白が生まれることとなるが、2 センサを統合することで 0m～150m の連続した検知が可能となることが確認できた。また、2 センサの検知エリアが重複する領域においては、統合処理を行わないと各センサで同じ物体を検知し、2 つの物体があるように検知されてしまうが、各センサで検知された結果を統合することで重複を打ち消し 1 つの物体としての検知が可能となることが確認できた（参照：表 7.2.3①-1 位置正解率）。これらの効果により、支援を受ける自動運転車の側から見ると、自車センサの死角から進入する他車両の存在を 150m 地点で早期に把握でき、他車両が交差点に進入する時点（0m 地点）に至るまで、複数のセンサ検知領域をまたがって移動してきても正確な位置情報を取得可能となる。

(2) 重複エリアにおけるロバスト性の向上と、より高精度な情報の選択

統合により、ミリ波レーダと LiDAR の重複検知エリアにおいて、どちらかのセンサで車両や樹木等による死角により検知に失敗しても、一方のセンサで検知できていれば、お互いに補完することが可能であり情報の提供を継続できる。さらに、本システムでは重複エリアにおいて 2 センサの結果が得られた場合、精度の高い LiDAR の検知結果を優先したことで、ロバスト性を向上しつつ情報の位置精度も向上可能であると確認できた（参照：表 7.2.3①-2 位置誤差）。

課題としては、センサ単体の抽出結果の評価結果からはミリ波レーダの物体速度検知精度が LiDAR のそれを上回ることが確認されたため、要求される速度検知精度が高い場合などでは、物体速度に関してはミリ波レーダを優先するといったセンサ特性に合わせた統合アルゴリズムの検討が必要である。

② ユースケース 3（路側 LiDAR と路側カメラの統合）

UC3 においては、LiDAR とカメラの抽出結果の統合を行った。これらセンサは検知対象範囲が異なると同時に、検知可能な物体情報が異なる。基本的に、上記①のユースケース 1 における統合の利点は本ユースケースにも当てはまるため、以下では本ユースケース特有の統合の影響を考察する。

(1) LiDAR による正確な位置情報とカメラによる詳細な物体情報の結合

7.2.3③(1)(iii) の統合手法で述べたように、本システムでは物体位置などの空間的情報は位置精度が高い LiDAR の結果を使用し、LiDAR では検知が困難な物体種別や歩行者の身体向きなどの視覚から得られる情報はカメラの結果を使用した。この結果、支援対象の自動運転車においては、歩行者の位置を精度高く認識することができ、横断歩道直前での歩行者の身体の向きで横断待ち状態なのかどうかの判定の確度を向上できる。

(2) 複雑な状況におけるロバスト性の向上

11.2.1.③(2)の路側カメラの検知精度の考察で述べた通り、2 物体を検知するような複雑な状況下で、1 センサ単体ではオクルージョンが発生し 2 物体を検知できない事例が確認された。シナリオ 3-1-4/3-3-4 におけるカメラ単体の検知正解率は 50%である（表 7.2.3③-5 より）。一方、同シナリオにおいて LiDAR の検知正解率は 96%であり、さらに統合後の正解率は 98%となっている。この例では、カメラでオクルージョンが発生している間も LiDAR では 2 物体を検知しており、統合した結果高い正解率を達成できたことを示している。別の事例では、LiDAR で近接する 2 物体を検知できないとき、カメラでは 2 物体を検知可能といった状況も確認した。このように検知性能の異なるセンサや、あるいは視野の異なるセンサを統合することで、複雑な状況下でも精度の高い検知を行える利点についても確認した。

11.3.2. 統合処理時間に関する考察

統合処理時間について、フィールド想定検証（表 7.4.3②-3）、ピーク時想定検証（表 7.4.3③-2）において、CDF99%で 500ms 未満を達成した一方、限界検証では、統合処理時間を計測しなかったため、本節で考察する。

図 11.3.2-1 にピーク時想定検証の統合物体数と統合処理時間の関係について示す。図より、統合処理時間は統合物体数とほぼ線形の関係にあることがわかる。表 11.3.2-1 に統合処理時間の限界性能の推定値を示す。CDF99%で 500ms 未満を満たすためには、物体数は 90 個未満である必要がある。現状のシステムでは、データベースにはリレーショナルデータベースを用いているため、書込・読込時の遅延がより小さいドキュメント指向データベースへ置き換えすることや、書込・読込のタイミングを最適化することで遅延時間を小さくすることができると考えられる。

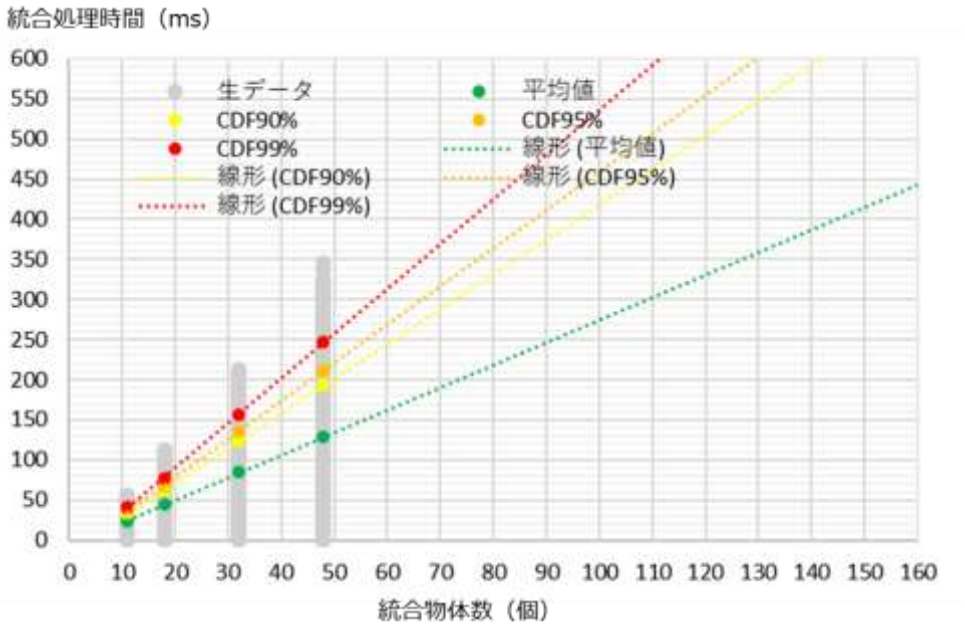


図 11.3.2-1　統合物体数と統合処理時間の関係（ピーク時想定検証）

表 11.3.2-1　統合処理時間の限界性能

条件	平均	CDF90%	CDF95%	CDF99%
処理時間500ms未満となる物体数	180個	120個	105個	90個
125体のときの統合処理時間	350ms	525ms	575ms	700ms

11.3.3. 社会実装へ向けた複数インフラ統合のコストパフォーマンス等の検討

社会実装に向けては、最低限の設置コストで最大限の効果を発揮するインフラ構成を検討していく必要がある。本研究開発においてはテストコース交差点に複数のセンサを設置しユースケース 1，2，3 の成立性を検証したが、実際の公道においては各設置箇所に最適化したインフラ構成とすることが重要と言える。例えば右折時の接触事故の件数が多い交差点であれば路側の長距離レーダを重点的に用いて接近車両の存在を早期に通知することが有効である。右左折時の歩行者との接触事故が多い交差点であれば路側カメラにより歩行者の存在と横断意図等を推定し通知することが有効である。このように単一センサでも効果が高い場合もあれば、複数センサにより広範囲の情報を取得したり、各センサでの死角を相互補完することが有効な交差点も存在すると考えられ、そのような場合は本システムで実装したような複数センサ統合が有効に機能すると考える。

11.3.4. 先行技術（統合手法）との比較

自動車運転支援システムにおける路側インフラ同士のデータ統合技術や、路側インフラと車両間のデータ統合技術について先行文献をピックアップし、本研究開発の手法との比較を行った。

① 文献[1]：H.Gunther et al.,"Realizing Collective Perception in a Vehicle"

本文献では、先進運転支援システム（ADAS）を搭載する車両において、自車のセンサで検知した周辺の物標情報と、他車両あるいは路側器から無線通信（V2X）により取得した物標情報の統合方法を提案している。本文献と、本研究開発で当社が採用した統合手法（以下、当社統合手法）の相違点として、V2X 装置（本研究開発では路側インフラ）から支援対象の車両に配信する時点での物標情報の統合有無の違いがある。

本文献では、V2X 装置から送信する物標情報は当該装置に接続されたセンサで検知した物標であるが、複数のセンサが接続されている場合、それら複数の物標情報を統合する前の各センサ単体の検知物標を送信すべきと述べている。統合前の物標情報を送信することで、統合方法は受信する車両側に任せることとなる。受信する車両側では、自車のセンサ情報と受信した情報を含めた統合処理が行われることを想定している。一方で当社統合手法は、複数の路側センサで検知した物標に対して統合処理をかけたのち、支援対象の車両に配信する方式を採用している。この違いによる影響としては、通信データ量の違いと、受信車両側における情報取扱いの自由度が上げられる。

通信データ量の観点では、本文献の方式はセンサが増えるほど通信データ量も増大するため通信負荷が大きいが、当社統合手法では配信する物標数を可能な限り少なくすることで通信負荷の低減を図っている。また物標数が少ないと受信車両におけるデータ処理負荷も低減される。

受信車両側における情報取扱いの自由度の観点では、本文献の方式は車両側にて受信情報の取捨選択を行い、例えば特定の種別のセンサで検知された情報のみを信頼するなど受信側車両のポリシーに沿った情報統合が可能となる。また、受信する情報は統合される前の各センサの観測値レベルの情報であるため、自車両のセンサ観測値と合わせて同一空間でのトラッキング処理を適用するなど処理の選択肢が増える。一方で当社統合手法では路側インフラにおいて統合・追跡等の処理を加えたデータであるため、例えば位置誤差の分布が正規分布に従わない可能性など、受信車両における追跡・統合処理でアルゴリズムによっては使用しづらい可能性がある。ただしそれらの欠点は配信した情報を自動運転車の周辺認識ロジックに直接統合することを前提とした場合であり、より上位のロジック（一例として自動運転車の走行パスプランニング）に取り込むことを前提とした場合、当社統合手法のように複数センサの結果を１つにまとめることで追加処理なしですぐに情報を利用できる利点があると考える。

② 文献[2]：Z.Wang et al.,"Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey"

本文献では複数センサを使用し複数の物体を検知・追跡する手法を調査、比較を行っている。車載センサに関する論文ではあるが、複数の路側センサの統合にも適用可能な手法である。本文献を参考にしつつ、以下で本研究開発にて当社が採用した統合手法（以下、当社統合手法）の考察を行う。

(1) 複数センサの統合方針について

複数のセンサを統合する手法は様々であるが、以下にその一例を挙げる。

・センサの生データレベルで統合を行う手法。例えばカメラ画像にLiDAR、レーダで得た距離情報を重畳する。

・センサで検知した特徴を組み合わせ統合する手法。例えばLiDARで物体の存在を検知し、カメラ画像中で対象物体領域を求め、物体の識別を行う。

・各センサが個別に検知処理を行い、結果を統合する手法。例えばカメラ、LiDAR、レーダが個別に検知を実行し、互いの不得意を補うことで検知精度を向上する。

当社統合手法では、各センサが個別に検知処理を行う手法を採用した。これは路側センサが分散配置であることが主な理由である。例えば生データレベルでの統合を行う場合はセンサ同士が近い位置に配置されており互いの視野を共有していることが条件となるが、本研究開発では路側センサの分散配置を前提としたため不可能である。また、生データレベルの統合ではセンサ精密なキャリブレーションが不可欠であるため路側センサの設置コストが増加すると共に、(強風や地震等での)路側設備の位置の僅かな移動に対するロバスト性が失われてしまうと考えられる。

(2) 複数センサの検知結果の統合・追跡手法について

本文献では複数センサの検知結果を統合して追跡を行うために、追跡物標の状態推定としてパーティクルフィルタやカルマンフィルタ等を使用し、データアソシエーションとしてnearest neighbor法、JPDA法、MHT法、GLMB法、PHD法等を使用する手法が挙げられている。各手法の特徴の一例として、JPDA法ではクラッタ(センサノイズ等による誤検知)の発生が多いセンサに対して確率的手法で真の状態を推定する精度が高く、PHD法では存在する物体数の推定精度が高いといった特徴がある。

当社統合手法とこれらの統合・追跡手法を比較すると、当社手法の特徴としては、各センサ単独での物体追跡を完了させたのち、追跡物標同士を統合するアプローチを取っていることが上げられる。これにより、各センサに適した追跡手法を用いることが可能である。一例として、ミリ波レーダとLiDARでは実世界座標系で追跡を行う一方、画像センサではより追跡が容易な画像平面座標系での追跡を行っている。また、クラッタの多いミリ波レーダやLiDARにはカルマンフィルタによる状態推定処理を行っている。各センサで追跡した物標同士の統合は、ユークリッド距離により対応付ける比較的簡易なアルゴリズムを採

用しているが、事前に定めた特定種別のセンサの結果を優先させる処理を導入していることが特徴となる。以下に当社統合手法と本文献中の参考手法とを比較した利点と課題を示す。

利点

・事前に精度が高いセンサが判明している場合、当社統合手法では特定センサの検知情報を優先的に統合後の数値として使用可能であり、統合後の情報精度が高い。

・まず各センサ単独で追跡を行うため、各センサにおいてはセンサ特性に応じた追跡手法を適用可能である。

課題

・各センサ検知物体間の対応付け可能範囲(ユークリッド距離の閾値)は定数値で比較的余裕を持たせているため、各センサで検知した別の物体を統合する可能性がある。一方で本文献中の PHD 法を始めとする手法では真の物体数を推定することを重視しており、物体数の推定精度は当社手法を上回る可能性がある。

・統合後の物体の位置情報等にただ 1 つのセンサの検知結果を使用することで、そのセンサの観測条件が悪くなった際に、全センサを使用した確率的アプローチより精度が低下している可能性がある。

本研究開発では他の統合手法との比較実装までには至らなかったため、今後の課題としては先行技術の特徴を検討しつつセンタ処理方式に最適な統合手法を継続検討する必要がある。

11.4. 配信制御の考察

11.4.1. 配信制御の評価結果についての考察

7.5.3 に記載の検証結果から、各検証で計測したトラフィックの平均値における通信トラフィック削減率について、配信制御機能のみによる場合の削減率 80.47%、統合処理機能を組み合わせた場合の削減率 85.44%を得ており、KPI 指標とした 50%以上削減を達成できることを確認できた。

検証対象としたユースケースである、4×2 車線の交差点 1 箇所におけるピーク時最大構成時に想定される、配信車両台数の最大値となる 57 台のトラフィックとスループットは表 11.4.1-1 の通りとなる。

表 11.4.1-1：配信車両 57 台の場合のトラフィックとスループット

評価パターン / 項目	統合なし		統合あり	
	配信制御なし	配信制御あり	配信制御なし	配信制御あり
配信車両 1 台の平均トラフィック（バイト）	9,901.0	1,933.3	7,933.0	1,441.3
配信車両 57 台の想定トラフィック（バイト）	564,357.0	110,198.1	452,181.0	82,154.1
配信車両 1 台の平均スループット（Mbps）	0.792	0.155	0.635	0.115
配信車両 57 台の想定スループット（Mbps）	45.149	8.816	36.174	6.572

また各検証項目の結果である表 7.5.3-1 から、「配信制御あり」の項目である検証 No.4～6. 10～12 について、走行位置①に対する各走行位置の削減率を計算すると表 11.4.1-2 の通り、とくに走行位置⑤、⑥を過ぎる辺りから大幅なトラフィック削減効果が確認できる。

以上から車両の位置情報と進行方向に基づいた配信エリアの限定により交差点通過以降の情報に限定して配信することが、トラフィック削減効果に大きく寄与することがわかる。

表 11.4.1-2：配信制御ありの場合の走行位置①に対する各走行位置の削減率(%)

走行位置 / 検証 No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
4	0	4.68	23.40	46.79	56.15	79.54	88.90	98.26
5	0	6.11	30.54	54.973	54.97	73.300	89.40	97.73
6	0	3.09	15.45	30.89	67.96	86.49	92.67	98.85
10	0	6.51	19.52	45.54	65.05	71.56	84.57	97.58
11	0	8.08	24.25	40.41	40.41	64.66	72.75	96.99
12	0	4.47	13.41	31.29	71.52	80.46	89.40	98.34

11.4.2. 配信制御の課題点

本検証では、狭域サーバが収集した交差点内の物標数は、ピーク時最大構成を想定として実施したため、本項では物標数が少ない場合についての考察を行った。

検知された物標数が 2 分の 1、4 分の 1 の場合について、配信制御による通信トラフィックの削減率を計算した。またこの際、各物標数は図 7.5.1②-1 の交差点イメージにおいて均等に割合を減ずるものとした。

表 11.4.2-1　物標数 2 分の 1 の場合の検証パターン

検証 No.	統合	配信制御	走行コース	抽出物標(最大数)			
				車両	歩行者	自転車	障害物
21	なし	なし	左折	20	6	2	2
22			直進	20	6	2	2
23			右折	20	6	2	2
24		あり	左折	20	6	2	2
25			直進	20	6	2	2
26			右折	20	6	2	2
27	あり	なし	左折	16	4	2	2
28			直進	16	4	2	2
29			右折	16	4	2	2
30		あり	左折	16	4	2	2
31			直進	16	4	2	2
32			右折	16	4	2	2

表 11.4.2-2　物標数 4 分の 1 の場合の検証パターン

検証 No.	統合	配信制御	走行コース	抽出物標(最大数)			
				車両	歩行者	自転車	障害物
41	なし	なし	左折	10	3	1	1
42			直進	10	3	1	1
43			右折	10	3	1	1
44		あり	左折	10	3	1	1
45			直進	10	3	1	1
46			右折	10	3	1	1
47	あり	なし	左折	8	2	1	1
48			直進	8	2	1	1
49			右折	8	2	1	1
50		あり	左折	8	2	1	1
51			直進	8	2	1	1
52			右折	8	2	1	1

検証パターンを元にした、物標数 2 分の 1 の場合のトラフィックを表 11.4.2-3、物標数 4 分の 1 の場合のトラフィックを表 11.4.2-4 に示す。

表 11.4.2-3　物標数 2 分の 1 の場合のトラフィック（バイト）

走行位置 / 検証 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
21	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971
22	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971
23	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971	4,971
24	1,865	1,701	1,373	1,045	881	389
25	1,373	1,373	1,045	717	717	389
26	2,685	2,685	2,357	1,865	881	389
27	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997
28	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997
29	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997	3,997
30	1,373	1,209	1,045	717	553	389
31	1,045	1,045	881	717	717	389
32	1,865	1,701	1,701	1,373	717	389

走行位置 検証 No.	⑦	⑧	平均値
21	4,971	4,971	4,971.0
22	4,971	4,971	4,971.0
23	4,971	4,971	4,971.0
24	225	61	942.5
25	389	61	758.0
26	225	61	1,393.5
27	3,997	3,997	3,997.0
28	3,997	3,997	3,997.0
29	3,997	3,997	3,997.0
30	225	61	696.5
31	389	61	655.5
32	225	61	1,004.0

表 11.4.2-4　物標数 4 分の 1 の場合のトラフィック（バイト）

走行位置 検証 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
41	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521
42	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521
43	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521	2,521
44	881	881	717	553	389	225
45	717	717	553	389	389	225
46	1,373	1,373	1,209	1,045	553	389
47	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029
48	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029
49	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029	2,029
50	717	717	553	389	225	225
51	553	553	389	389	225	225
52	1,373	881	881	717	389	225

走行位置 検証 No.	⑦	⑧	平均値
41	2,521	2,521	2,521.0
42	2,521	2,521	2,521.0
43	2,521	2,521	2,521.0
44	225	61	491.5
45	225	61	409.5
46	225	61	778.5
47	2,029	2,029	2,029.0
48	2,029	2,029	2,029.0
49	2,029	2,029	2,029.0
50	225	61	389.0
51	225	61	327.5
52	225	61	594.0

以上の計算結果から平均トラフィックとその削減率は、物標数 2 分の 1 の場合に表 11.4.2-5 となり、物標数 4 分の 1 の場合に表 11.4.2-6 となる。

表 11.4.2-5　物標数 2 分の 1 の場合の平均トラフィックと削減率

評価パターン 項目	統合なし		統合あり	
	配信制御なし	配信制御あり	配信制御なし	配信制御あり
配信車両 1 台の平均トラフィック（バイト）	4,971.0	1,031.3	3,997.0	785.3
平均トラフィックの削減率（%）	0.00	-79.25	-19.59	-84.20

表 11.4.2-6　物標数 4 分の 1 の場合の平均トラフィックと削減率

評価パターン 項目	統合なし		統合あり	
	配信制御なし	配信制御あり	配信制御なし	配信制御あり
配信車両 1 台の平均通信データ量（バイト）	2,521.0	559.8	2,029.0	436.8
平均トラフィックの削減率（%）	0.00	-77.79	-19.52	-82.67

配信メッセージのヘッダ部分があまり大きくないことから、抽出した物標数が少ない場合でも削減率に大きな影響は無いことがわかる。

ただし、前提として記載した通り、物標の配置が均等な場合におけるシミュレーションであるため、例えば車両の進行方向に物標の多くが偏って存在するケース等においては削減効果が減少することが考えられる。

11.4.3. 先行技術（配信制御手法）との比較

運転支援情報の配信制御について、先行文献を調査し、本研究開発で当社が開発した手法（以下、当社配信制御手法）との比較を行った。

当社の配信制御手法では、サーバで生成したデータを送信する際、配信先の車両の位置に応じて運転支援に必要な情報を選択的に送信することでトラフィックを削減する。前提となるシステムは異なるが、関連する文献(Tsukada et al.,“Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving”)[3]との比較を行った。

本文献が前提とするシステムでは、コネクテッド車両の位置情報や検知した周囲物体の情報を近くの路側器に無線送信し、路側器から別のコネクテッド車両に向けて情報配信を行う。さらに、路側器を多数配置し、路側器同士をネットワーク接続することにより無線伝搬範囲を超えた距離に存在する車両に対しても情報配信を可能にしている。また本文献では配信情報数が増加した際の路側器間のネットワーク負荷軽減を図るために、送信情報の優先度付けを行い、送信可否を判断する手法を導入している。

さらに、ある路側器が情報を受信した際、別の路側器に情報を送信するか否かは、情報発信源の位置と受信した路側器の距離から決定される。ネットワーク負荷状況に応じて送信可否を決定する閾値を制御することで、ネットワーク混雑時は、より距離が近い情報、言い換えると安全への貢献度が高い情報が優先して配信される。

前提となるシステムが異なるものの、当社配信制御手法の特徴として、交差点における配信対象車両の位置や進路（右折など）に応じて運転支援に必要な情報のみを配信可能であることが挙げらる。それを活かして支援に必要な情報は距離に限定されず配信しつつ（例:右折時の遠距離の対向直進車の情報)、不要な情報の削減率を効率的に上げることが可能である。

11.5. 総合検証の考察

11.5.1. 総合検証での通信遅延の考察

7.3 節の総合検証で前述した通り、センサデータのアップロード時の情報源から狭域サーバの遅延について、平均値で 100ms を上回ることがあった。この原因箇所を調査するため、統合検証の環境（図 7.3.1②-1）において、アップロード装置の PC から 5G 端末経由で狭域サーバの通信遅延を PING 機能により測定した。表 11.5.1-1 に PING 送信サイズとラウンドトリップタイム（RTT）の関係を示す。図 11.5.1-1、図 11.5.1-2 に PING 送信サイズとラウンドトリップタイム（RTT）の関係のグラフを示す。図 11.5.1-2 の線形予測で分かるように、200KB（LiDAR、カメラのセンサデータと同等サイズ）では 400ms の RTT と予想されることから、片側の通信遅延は 200ms 以上となる見込みである。従って、検証 No.o-1-1（表 7.3.3.①-1）での LiDAR の通信遅延は妥当な値であると考えられる。通信遅延が平均値で 100ms を上回る件については、dOIC における通信はベストエフォートサービスであるため、アクセスが集中した際に処理負荷が高まり、100ms 以上の通信遅延となることも考えられる。

表 11.5.1-1　PING 送信サイズと RTT の関係

	PING送信サイズ[Byte]							
PING RTT	1	500	1000	5000	10000	20000	40000	60000
平均値[ms]	28.8	31	38.5	52	52.6	70	93.4	146.6
最大値[ms]	251	238	308	327	238	448	2759	489
最小値[ms]	15	18	16	30	31	43	52	61
標準偏差	15.4	13.8	24.6	28.9	14.2	37.2	157.2	72.2

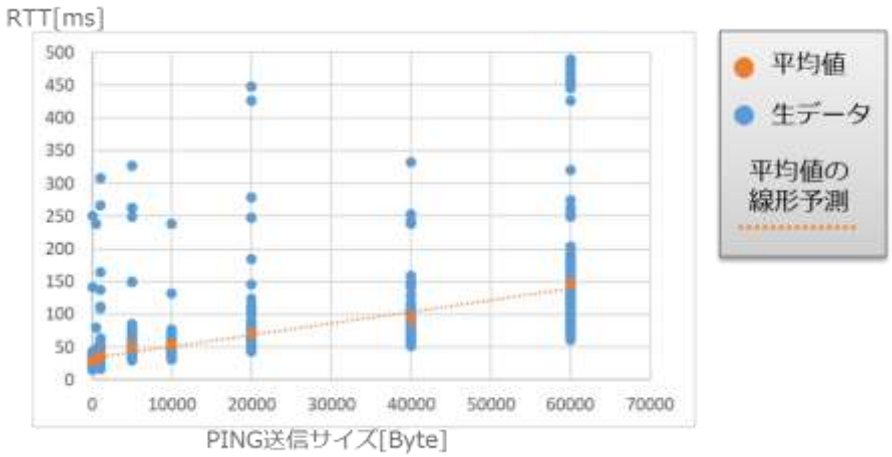


図 11.5.1-1　PING 送信サイズと RTT の関係（全データ）

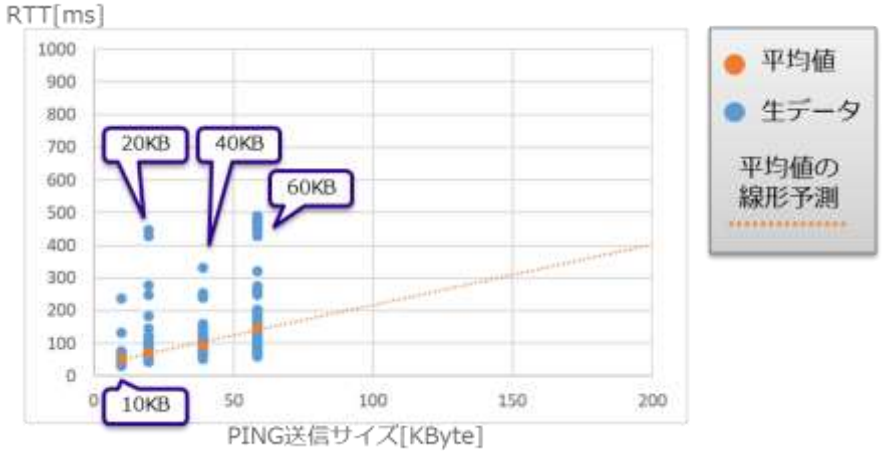


図 11.5.1-2　PING 送信サイズと RTT の関係（10KByte 以上）

一方、車両情報のアップロード、物標情報のダウンロードについては、CDF99%で 100ms を下回っており（表 7.3.3②-1、表 7.3.3③-1）、問題なく動作していることを確認した。

11.5.2. 総合検証での帯域幅の考察

センサデータの通信遅延について、平均値で 100ms を上回ることがあったが、ここでは総合検証の帯域幅について考察する。表 11.5.2-1 に総合検証の環境で、1 秒間に受信したセンサデータサイズから帯域幅を算出した結果を示す。センサ台数から算出される想定帯域幅に対して平均値で近い値が出ていることから、5G 通信での帯域幅は想定通り確保されていると考えられる。

表 11.5.2-1　総合検証での帯域幅

センサ台数	想定帯域幅 [Mbps]	帯域幅[Mbps]				サンプル数
		平均値	最大値	最小値	標準偏差	
LiDAR×1	14.1	14.2	23.4	1.7	2.9	313
カメラ×1	17.9	16.1	25.7	5.5	3.1	304
LiDAR×1 カメラ×1	32	30.7	48.5	1.4	6.5	321
LiDAR×2 カメラ×2 レーダ×1	64.1	59.5	87.4	8.4	14.4	84

11.6. センタ処理方式の考察

11.6.1. センタ処理方式の特徴についての考察

センサの生データを狭域サーバにアップロードし、サーバ側で抽出・統合・配信制御を行うセンタ処理方式の特徴を考察する。併せて路側処理方式と比較し、以下に示す利点と課題の考察も実施した。

利点

(1)路側器の設置コストを低減できる可能性がある。センタ処理方式で路側器に必要なのはセンサと、セルラー無線の通信機、通信制御等を行うコンピュータのみであり扱いやすいコンパクトな路側器の仕様(重量・サイズ・消費電力・熱対策)を狙い易い。その結果、設置を含めたコストの低減にもつながる可能がある。さらに、セルラー通信機一体型のセンサの開発等で、設置の簡易化や低コスト化の工夫も盛り込める可能性がある。

(2)リソースの動的割り当てが可能である。一部の路側器あるいは一部の交差点の処理負荷が一時的に高まるような場面において、センタ処理方式であればサーバ側の処理でリソース(コンピューティング・メモリ等)を必要な路側器の処理に割り振ることも可能であり、結果としてシステム全体のリソースを最適化することが出来る。

(3)ソフトウェアのメンテナンスが容易である。センタ処理方式ではサーバ側にソフトウェアが集中しているため、バージョンアップや機能追加等の作業を一括管理できる。路側処理方式に比べて、運用開始後のメンテナンス(機能追加含む)手順が簡易になる可能性が高い。

(4)収集データを用いた新機能の実装が可能である。車載センサに関して、当面の通常の運用においては、自車両の自動運転や運転支援等の目的に限ってセンサが使用され、本研究開発のユースケース 4 で実装したような他者に情報を提供するための情報加工処理は実施されない。センタ処理方式においては、サーバにセンサ生データが収集されるためいかなる解析処理・アプリケーションもサーバ側で実行可能であり、時代や社会ニーズに応じたセンサデータの利用も可能になる。

課題

(1)サーバにセンサの生データをアップロードするため、通信データが大きくなる。通信データの増大は、ネットワーク整備コストの増加、通信コストの増加等を招く恐れがある。特に、従量課金制セルラー通信ではコストが大きすぎ、センタ処理方式実現の障壁となる。一方、将来の通信設備充実や技術革新により通信コストの大幅な低下が実現されればセンタ処理方式の実現性はより高まる。また、本課題に対しては、伝送するセンサデータの適切な圧縮等を検討し可能な限り通信負荷を低減していく等も対応策となる可能性がある。

(2)サーバにセンサの生データをアップロードするため、データ転送必要である。路側処理方式ではセンサデータを即座に検知処理にかけ、物標情報を直接通信で配信できるためデータ転送に伴うオーバヘッドは少ない(or 発生しない)。一方センタ処理方式ではサーバに伝送するオーバヘッドが必ず入るため、低遅延配信の観点では路側処理方式より不利となる。データ転送オーバヘッドを小さくしていくため、セルラー通信網においては本システム用の通信に優先制御やネットワークスライシングを導入するなどの対策が本課題の解決法となる可能性がある。また、仮に遅延が存在するとしても、許容遅延時間の観点から交通円滑化等のユースケースへの使用は問題ないので、さらに遅延センシティブなユースケース適用する場合は、抽出や統合も含めたシステム全体の処理時間の短縮も本課題の解決法となる可能性がある。

(3)センタ処理方式では比較的強力なサーバとネットワーク環境が必要である。例えば物理的な狭域サーバを 1 市町村に 1 つ配置するとしたとき、全市町村にサーバを設置可能な施設やネットワーク環境があるとは限らない。そこで、狭域サーバのスペック、1 つのサーバが担当する範囲を検討して普及が容易なシステムに仕立てることが課題となる。狭域サーバを小規模化し道路インフラの一部として組み込む選択肢や、逆に大規模化し複数の市町村を 1 サーバが担う選択肢も考えられる。

11.6.2. 一連の処理時間に関する考察

表 11.6.2-1 に 5G エミュレータ遅延設定見直し後の一連の処理時間を示す。CDF99%で 1 秒未満を達成した。一方で、安全支援の観点で目標となる一連の処理時間 300ms を上回った箇所がある。まず、検証 No.2-4-1 について、平均値が 300ms を上回ったが、これは表 7.4.3.②-3 に記載の通り、障害物検知の処理時間が大きいためである。11.2.2.③節に記載の対策を実施することで、改善が期待できる。検証 No.3-1～3-8 について、CDF90%で 300ms を上回った。これは表 7.4.3.③-2 に記載の通り、統合の処理時間が大きいためである。11.3.2 節に記載の対策を実施することで、改善が期待できる。

表 11.5.6-1　一連処理時間（5G エミュレータ遅延設定見直し）

検証No.	センサ台数	一連処理時間[ms]			
		平均値	CDF90%	CDF95%	CDF99%
2-1	LiDAR×1 レーダ×1	98.754	127.023	134.902	145.866
2-2-1	LiDAR×1	95.159	121.71	128.774	140.804
2-3	LiDAR×1 レーダ×1	143.531	177.432	186.55	200.127
2-4-1	LiDAR×1	316.024	356.889	368.043	389.188
3-1	LiDAR×3 レーダ×2 カメラ×3	251.92	334.298	343.463	375.579
3-2		256.301	344.486	354.094	387.074
3-3		283.567	386.714	397.761	435.821
3-4		292.012	398.204	407.877	445.796
3-5	LiDAR×2 カメラ×2	225.986	296.918	306.226	332.502
3-6		229.398	300.539	309.629	337.058
3-7		232.8	305.558	314.617	343.937
3-8		233.204	309.625	319.391	349.901
3-9	LiDAR×2 レーダ×1 カメラ×2	182.301	229.913	238.304	258.593
3-10		183.502	234.663	244.229	266.445
3-11		187.117	239.692	249.069	271.378
3-12		188.013	239.864	249.08	272.162
3-13	LiDAR×1 カメラ×1	160.871	200.219	209.514	226.521
3-14		164.526	202.465	211.252	228.407
3-15		166.772	206.973	215.535	233.835
3-16		167.706	210.47	219.557	238.998

12. 取り纏め・考察

12.1. KPI の達成状況

本研究開発では、狭域、中域、全体ともに図 12.1-1 の通り、設定した KPI を達成、一連の処理時間について、円滑・快適走行の目標として狭域配信で 1 秒、中域配信で 3 秒を設定したが、今回のユースケースと交差点規模においては、充分対応可能と考えられる。

また、安全・安心走行の目標として 300ms を目安としたが、今回実施したユースケースについては、大部分で問題ない範囲であった。ただし、狭域サーバや中域サーバ内部での統合処理や、配信の周期によっては、300ms 以上になることも想定されるため、その場合にはエッジサーバでの内部処理のチューニングや負荷分散の検討が必要である。

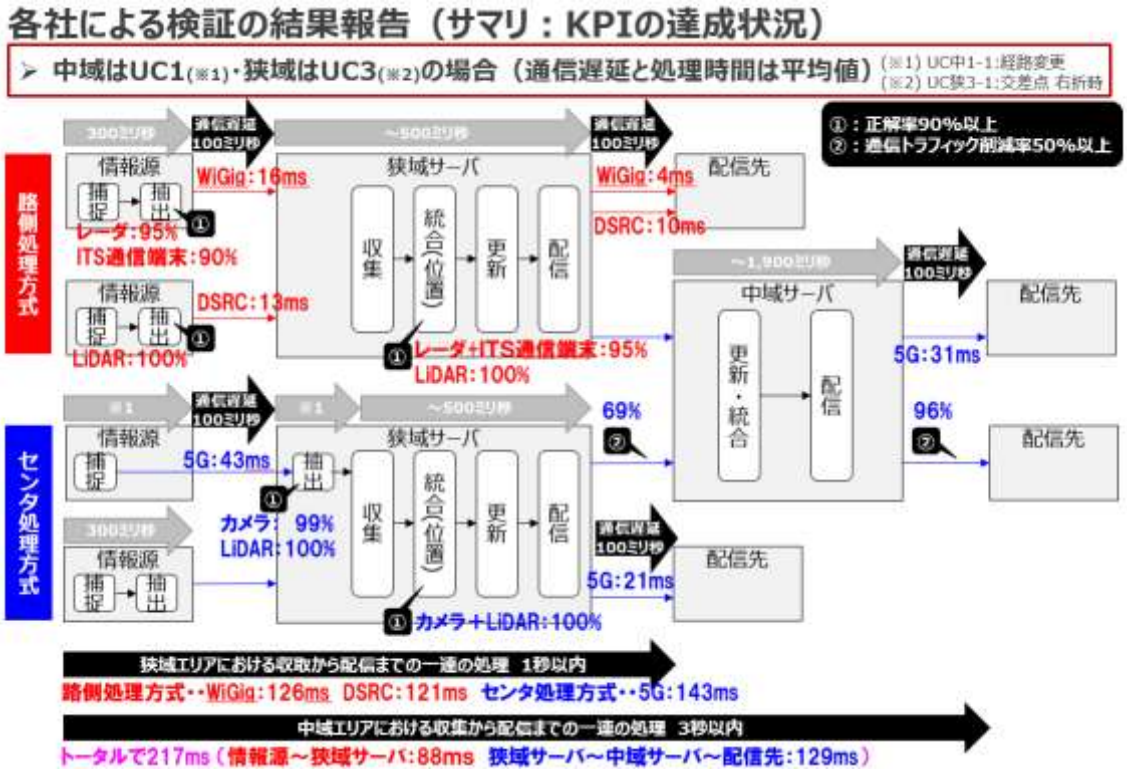


図 12.1-1 KPI の達成状況

12.1.1. 狭域

- 複数の路側センサの抽出結果の統合処理を実施して以下を確認した。
  - ✧ テストコースにおけるフィールド検証で、抽出・統合の正解率の KPI を達成することを確認した。
- 交差点の情報による走行支援（V2I）で、今後有望と考えられる複数の通信メディアの比較評価を実施して以下を確認した。

- ✧ 狭域のセンタ処理方式（5G）と路側処理方式１（DSRC）／路側処理方式２（WiGig）で、収集・配信の通信遅延の KPI を達成すること、一連の処理時間の KPI を達成することを確認した。

・ 同一ユースケースに対し、各社で構築したシステム構成で同一の評価基準による検証を実施し以下を確認した。

- ✧ 各社システム構成によらす、前提条件の範囲において、全ての KPI を達成することを確認した。

・ 自動運転車両の処理負荷軽減や配信情報量削減のために、路側からの配信制御を実施して以下を確認した。

- ✧ 狭域では配信先車両の位置や経路等に応じて配信対象やタイミングの制御を実施し、通信トラフィック削減率の KPI を達成することを確認した。

12.1.2. 中域

中域ネットワークシステムについては、今回想定したユースケース（車線変更および経路変更）や前提条件（交通量や基地局カバー面積等）の範囲内においては、全ての KPI（中域サーバでの情報収集および配信時の通信トラフィックの削減率 50%以上、中域サーバから車両への配信時の通信遅延 100 ミリ秒以下、中域サーバの処理を含む収集・統合・配信の一連の処理時間 3 秒以内）を達成することが出来た。

具体的には、車両への配信時の通信遅延については、5G の mmW 及び Sub6 のいずれを用いた場合も、平均値・中央値・CDF[95%or99%タイル値]が 20 ミリ秒強までの範囲内に収まることを確認した。LTE を用いた場合は、5G よりもバラツキが大きく、平均値や中央値は 20 ミリ秒強までの範囲内に収まったものの、CDF は 95%タイル値で約 87 ミリ秒、99%タイル値で約 115 ミリ秒となることを確認した。

また、通信トラフィック削減率については、本研究開発において検討した技術を適用する前（狭域サーバからの全て情報を統合する場合や、1 つの中域サーバに保持するデータを全て配信する場合）と比較して、統合時の通信トラフィックは 70%程度、配信時の通信トラフィックは 96%以上となることを確認した。

中域サーバの処理を含む一連の処理時間については、中域サーバに係る処理時間（中域サーバでの統合、車両への配信（車両側アプリにてメッセージを受信し切るまで)）が、最悪条件（配信先車両台数が最大等）においても、平均値が 551 ミリ秒程度、CDF95%タイル値が 1,524 ミリ秒程度、CDF99%タイル値が 1,927 ミリ秒程度となり、狭域サーバに係る処理時間（一連の処理の KPI は 1 秒以内）を足しあげても、3 秒以内に収まる見込みであることを確認した。

12.1.3. 全体

・ 通信メディアとして 5G を 1 つの検証対象として採用し、狭域から中域への収集と中域から車両への配信に商用 5G ネットワークを活用した実証実験として、お台場の商用 5G 環境で本システムの動作検証を実施し、以下を確認した。

✧ 中域エリアにおいて経路変更を支援し、狭域エリアにおいて交差点での右折を支援するという、一連の UC シナリオを想定した検証を実施し、検討・構築したシステムアーキテクチャ全体の有用性確認や一連の処理時間の KPI を達成することを確認した。

12.2. 得られた知見

本研究開発によって得られた知見を以下に記載する。

12.2.1. 狭域

・ 自動運転車両の処理負荷軽減や配信情報量の削減のため、複数の路側センサの抽出結果の統合処理を実施して、以下が明らかになった。

✧ 自動運転車両に、重複なく高精度で切れ目のない情報を提供でき、遮蔽や位置精度改善の効果を確認した。

✧ 複数センサ情報を統合する際の時刻ズレや位置ズレへの対策についての知見を獲得した。

✧ 路側処理方式 1 では、検知センサとして路側のレーダ、LiDAR(長距離と 360°)と DSRC 車載機を使用した。統合処理において角度分解能が低いレーダを長距離用として使用する方法と、路側センサにてオクルージョン発生時に DSRC 車載機の活用により補完する方法が有効であることが分かった。実際の導入に対して、エリア拡張によるセンサ数削減や車載機に接続する GNSS 等の自律センサによる検知安定化が課題。

✧ 路側処理方式 2 では、検知センサとして路側のレーダと ITS 端末を使用したが、GNSS 測位ベースの ITS 端末に対して、レーダの位置検出精度が高いことから、統合処理において位置情報はレーダの検出結果を優先する一方、静止物の検出や遮蔽などレーダ検知の弱点を補うため、物標の追跡については ITS 端末の情報を優先する方法が有効であることがわかった。

✧ センタ処理方式では、検知センサとして路側のレーダ(長距離)、LiDAR(近距離)、カメラを使用した。統合処理において長距離レーダと近距離 LiDAR をシームレスに接続し検知エリアを拡大しつつ精度が高い方のセンサ結果を採用することや、カメラで取得した歩行者の属性情報を LiDAR の位置情報と統合し運転支援に活用することが有効であるとわかった。

・ 交差点の情報による走行支援 (V2I)で、今後有望と考えられる複数の通信メディアの比較評価を実施して、以下が明らかになった。

- ✧ 狭域のセンタ処理方式（5G)と路側処理方式（DSRC、WiGig)で、一連の処理時間に大きな差分がないことを確認した。
- ✧ 路側処理方式では、狭域通信（DSRC、及び、WiGig）と、低コストなエッジ処理デバイスを使用して、交差点の規模(4x2 車線)においては KPI に設定した時間内で収集～配信までの一連の処理が行えることを確認した。
- ✧ 路側処理方式 1 では、路車間通信（V2I・I2V)、路路間通信（I2I）の通信メディアとしてコネクションレスで広範囲に通信が可能な DSRC またはセルラ（直接通信）を使用し、瞬時に物標情報を収集・配信できることを確認した。また、使用周波数（5.9GHz 帯）の特性から、大型車による遮蔽時においても通信が有効であることが分かった。検討した収集・配信制御や広帯域化等のトラフィック対策の具体設計・実装が今後必要。
- ✧ 路側処理方式 2 では、路側機間通信（I2I)、路車間通信（V2I）の通信メディアとして高速大容量通信が可能な WiGig を使用し、瞬時に物標情報を伝達できることを確認した。また、高速大容量の特性を活かし、交差点周辺の物標情報が大幅に増えた場合や、将来、レーダや LiDAR の点群情報を直接伝達するケースにも適用できる見通しが得られた。実際の交差点への導入に対しては、使用周波数（60GHz 帯）の特性を考慮した無線通信機の設置高やアンテナ角度等を含めた通信エリア設計が重要であり、その一例についても示すことができた。
- ✧ センタ処理方式は高性能なサーバを使用して、KPI に設定した処理時間内で画像処理等の詳細解析が可能となり、詳細な歩行者属性の提供や、路側センサのない場所でも車両からの情報（センサ生データ)を収集して解析し障害物情報を提供する等の付加価値を提供できる目途が立った。
- ✧ センタ処理方式は、センサの生データを狭域サーバにアップロードし、サーバ側で抽出・統合・配信制御を行うため、路側機の設置コストを低減できる可能性があること、リソースの動的割り当てが可能であること、ソフトウェアのメンテナンスが容易であること、収集データを用いた新機能の実装が可能であること等の特徴があることを確認した。

表 12.2.1 狭域システム比較

担当	方式	通信		路側センサ（上段：使用実績、下段：特徴）					KPI（上段：達成状況、下段：特徴）			
		メディア	特徴	レーダ	LiDAR	カメラ	ITS 端末	DSRC 車載機	抽出正解率	収集通信頻度	統合正解率	配信通信遅延/トラフィック
沖電気工業株式会社	路側処理方式	DSRC	物標情報等軽いデータ向き（分散処理）	●	●	－	－	●	○	○	○	○
				位置精度○ 検知距離○ 停止時 × 属性 ×	位置精度○ 検知距離△ 停止時 ○ 属性 ×	－	－	位置精度○ 検知距離○ 停止時 ○ 属性 ○	課題なし	収集・配信制御の適用	位置精度向上	通信量△ 配信エリア○
パナソニック株式会社		WiGig		●	－	－	●	－	○	○	○	○
				位置精度○ 検知距離○ 停止時 × 属性 ×	－	－	位置精度△ 検知距離○ 停止時 ○ 属性 ○	－	課題なし	課題個使用問題なし	位置精度向上	通信量○ 配信エリア△限定
住友電気工業株式会社	センタ処理方式	5G	大容量の生データ等も処理可能（集中処理）	●	●	●	－	－	○	○	○	○
				位置精度○ 検知距離○ 停止時 × 属性 ×	位置精度○ 検知距離△ 停止時 ○ 属性 ×	位置精度△ 検知距離△ 停止時 ○ 属性 ○	－	－	課題なし	シミュレーション検証問題なし	位置精度向上 属性追加	通信量○ 配信エリア○(広域)

12.2.2. 中域

今回想定したユースケースや前提条件の範囲においては、中域ネットワークシステムへの負荷は限定的であった。具体的には、実運用を想定して見積もった最大の交通量（1km^{2}当たりの最大配信先車両台数が 422 台）や配信データ量（1 つの狭域サーバ当たりの最大配信物標数が 52 個、また 1km^2 当たりの狭域サーバ台数が 4 台）に対応する場合の１基地局に係る負荷、すなわち通信トラフィックは、最大容量（実効速度を仮設定）に対して、１割以下であった。つまり、本研究開発で検討した共通 IF や配信制御技術等を活用することにより、現在の商用携帯電話ネットワーク（5G および LTE）に対して中域ネットワークシステムを導入しても、ネットワーク的には問題なく運用等が可能であることが分かった。

一方で、MQTT を活用して構築した配信アプリケーションについては、配信先の車両台数や配信データ量の増加に伴う処理時間の増加が大きくなることが分かった。これを踏まえると、今後のスケールアップも考慮して中域ネットワークシステムを実用化するには、アプリケーションを含めたシステム全体の設計の改善等が必要となることが分かった。

12.2.3. 全体

・ 通信メディアとして 5G を 1 つの検証対象として採用し、狭域から中域への収集と中域から車両への配信に商用 5G ネットワークを活用した実証実験として。お台場（東京都江東区青海１丁目交差点付近)の商用 5G 環境で本システムの動作検証を実施し、以下が明らかになった。

✧ 前方交差点での滞留状態の把握による手前交差点での経路変更を可能とする中域配信、前方交差点での円滑な右折を実現するための交差点情報の狭域配信を実現し、狭域情報から中域情報までをシームレスに支援が可能であることを確認した。

12.3. 提言

自律型の自動運転車両は、交差点等複雑な環境下では自車両のセンサの死角が増え、交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止もしくは徐行することになり、交通流に影響を及ぼす恐れがある。

これら見通し外の物標情報について、複数の情報源から得られる動的情報を収集・リアルタイムな交通状況として統合し、必要な範囲の情報のみを自動運転車両側の情報と共有可能な形式で配信することで、自動運転車両が、自車両のセンサの死角、検知外の制御に必要な対象物の位置、属性等の状況を俯瞰的に把握することが可能となる。

本研究開発の検証結果を踏まえて以下を提言する。

路側処理システムへの入出力と路側処理方式内での分担、狭域、中域間を含む、3 点の共通 IF、路側処理システムで収集した物標情報の配信にあたって自動運転車両での処理負荷軽減のための配信制御、路側処理システムの物標検知を高精度とするための複数の検知センサ、路側処理システムで使用すべきエッジサーバの性能、通信メディアの 5 つについて以下に述べる。

12.3.1. 狭域

- 共通 IF 仕様
  - ✧ 交差点での多種多様な情報源（路側センサ、車載センサ、ITS 端末等）、狭域サーバの処理方式や通信メディアの違い等の対応を考慮し、
    交差点情報の収集 IF（狭域）を共通化すること
- 配信制御
  - ✧ 配信情報について自動運転車両での処理量軽減、通信量削減のため、配信先車両の位置や経路等に応じて必要な情報に限定する制御をすること
- 路側センサ
  - ✧ 交差点周辺での遮蔽対策のため
    センサのコストを加味した上でセンサの特徴を考慮し、複数センサを路側に設置して統合すること

12.3.2. 中域

共通 IF については、中域サーバにおいて狭域サーバからの情報を統合するための IF と、狭域サーバや中域サーバから車両へ情報を配信するための IF を共通化することを提言す

る。これらの 2 つの IF を共通化することにより、中域サーバや配信先車両においてデータ変換処理等が不要となり、処理時間の低減やコンピュータリソースの削減の効果がある。また、これらの共通 IF における物標等の位置座標の定義（位置参照方式）については、「緯度経度」による表現形式（絶対位置表現形式）と「基準点からの差分距離」「道のり距離からのオフセット」による表現形式（相対位置表現形式）の 2 つを併用することが望ましい。これは、車両における位置参照方式が、自動運転システムの仕様によって異なるであることや、同一車両の内部においても各種アプリケーションの用途等によって望ましい方式が異なるであろうことを踏まえての提言である。

中域サーバにおける配信制御技術については、配信先車両の速度や進行方向に応じた配信範囲の絞り込みを行うことを提言する。本研究開発において検証したように、車両への配信全体の通信トラフィックを 9 割以上削減することが見込めるため、効果が大きい。また、配信範囲の絞り込みの方式については、前述の 2 つの位置参照方式と合わせて、絶対位置表現形式によるエリア指定と相対位置表現形式による車線指定の 2 つの方式を併用することが望ましい。車両が相対位置参照形式で物標等の位置を関している場合には、車線指定の方式を採ることにより、本来は不要となる自車両が走行する車線とは反対の車線の情報の配信を抑止するといった、更なる効率的な配信が可能となるためである。

12.3.3. 全体

- 共通 IF 仕様
  - ✧ 交差点情報（狭域）、周辺交差点情報（中域）を自動運転車両に活用可能とするため、標準化団体（ETSI 等）で規定されているフォーマット、位置参照方式（CRP）等も考慮し、車両への配信 IF（狭域）（中域）を共通化すること
- 検知センサ
  - ✧ 交差点周辺における遮蔽等の対策として、各センサの特徴を活かしつつ精度や信頼性を高める必要があるため、各センサのコストを加味した上で、種別や設置数を最適化して路側処理システムで使用すること
- エッジサーバ
  - ✧ 本実証より一般的な交差点規模（4×2）における交通量の想定では、GPU 等のデバイス進化を踏まえると汎用性が高く低コストな処理デバイスによる狭域システムの構成も可能と考えられる。すなわち、対応すべき交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理時間等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討すること。
- 通信メディア

✧ 主に交差点右折支援を想定した狭域・中域の本システム検証では、通信メディア（5G、DSRC、WiGig)に依る処理時間に大きな差異は見られなかった。しかし、将来的な画像・センサの高解像度化やよりリアルタイム性の高い走行支援等の用途拡大を見据え、路側システムを構築する際には、それぞれの通信メディアの特徴に適した用途に合わせて使用すること。

12.4. 今後の課題

12.4.1. 実用化に向けた検証や実証について

本研究開発の検証や実証について、実用化に向けた今後の課題は以下になると考えられる。

① 狭域

・ 路側で支援する更なるUCへの対応及びセンシング対象の拡大に関する検討や検証が必要となる。本研究開発では路側支援の実用化に向けた基礎検討のため、センシング対象も限られたものになっている。今後は、社会課題を考慮したさらなるユースケースへの対応とその実現のためのセンシング対象の拡大を行う必要がある。

② 中域

・ 今回の対象情報だけでなく、他の交通環境情報を含めた総合的な中域NWの検討や検証が必要となる。社会課題解決のための自動運転車両を活用した社会システムとして、地域自治体や関連省庁、またエコシステム関連企業等を巻き込んだ社会実証を複数エリアで実施し、有効性、認知度向上を図る必要がある。

③ 全体

・ 自動運転車両やダイナミックマップとの連携を含めた実証実験が必要となる。

本実証では、配信車両として一般車両を使用し、交差点情報の配信までを実施したが、自動運転車両への配信を実施し、交差点情報の配信による円滑走行、安全走行への効果を路側支援がある場合とない場合とで定量的に評価する必要がある。

さらに、路側支援による交差点情報と自動運転車両の自センサ情報と合わせた処理量の負荷に問題ないか、路側機で検知した物体と自動運転車両が検知した物体の整合性等の検討も必要と考えられる。今後の実用化と交通事故低減のため、自動運転車両との連携に加え、今後普及が進むと考えられる5Gスマートフォンを使った歩行者端末や自転車端末と路側支援連携、端末を持たない歩行者や自転車、車両との混在環境での支援検討が必要である。また、現状のダイナミックマップの情報には歩行者や自転車、車両の動的情報の反映がされていないため、動的情報としてダイナミックマップへの反映とその有効な活用についての検討も必要と思われる。

・ フィールドでの大規模な実証実験（車両数十台規模)が必要となる。

実環境での実証としてはお台場での基礎的な実証のみであり、路側支援の実用化に向けた、有効性の確認や社会受容性の獲得（市場性やコスト）の点では不十分である。今後は、実用化に向けたお台場等での実証、複数エリアでの実証を通じ、課題抽出や有効性の検証・評価が必要である。上記により、日本でも全国展開の機運が高まり、市場拡大、コスト低減に繋がると考える。

12.4.2. ビジネスモデルの検討

本実証で構築した、路側センサからの情報の収集・結合・配信の一連の処理方式について、社会実装していくためには、誰がシステムや設備を提供するのか、エコシステムとして、ビジネスモデルモデルをどのように構築することが可能であるのか、一方で、協調的な領域として関連する事業者間における役割分担として、どのようなことが考えられるか等、また、カーOEM事業者との連携も考慮したビジネスモデルの検討が必要である。

中域ネットワークシステムについては、本研究開発では通信キャリアの携帯電話ネットワーク（5G及びLTE）を用いて実証実験環境を構築して検証を行ったが、実運用においても同様の構成を採る場合には、その通信料を誰が負担するかの整理も課題となる。本システムの想定サービサーが自動車メーカやTier1ベンダであればそれらの事業者が通信料も負担するということになるだろうが（最終的には自動車や車載機等の価格に転化され、それを購入するユーザが負担するとしても）、想定サービサーが公的機関ということになると、当該機関によるMVNOの設立等も含めた検討が必要になるかもしれない。

12.4.3. 他システムとの連携

他システムの情報を活用することや、他システムへの情報提供で付加価値向上するために、既存のサービスやシステムと連携するにあたり、連携の方法や連携すべき事業者、接続にあたり、共通的なIFをどのように整理すべきか等の検討が必要である。

中域ネットワークシステムについては、本研究開発では通信キャリアの携帯電話ネットワークの網内に設置したサーバ（これも商用サービス）を用いて実証実験環境を構築して検証を行ったが、実運用においても同様の構成を採る場合には、異なる通信キャリア間の情報共有をどのように行うかの実現方式の検討も課題となる。インターネット経由で接続して情報共有を行うというのが最も単純かつ安価な方式となるが、それでは携帯電話ネットワークの網内に設置をしたサーバを用いたメリット（低遅延や高セキュリティ等）を十分に享受することが出来ない。各通信キャリアの設備計画やサービス状況等も踏まえて、現実的かつ効果的な実現方式を検討する必要がある。

12.4.4. プライバシー保護、セキュリティに対する考慮

プライバシー保護、セキュリティについては、2016年にヨーロッパでGDPR(General Data Protection Regulation：一般データ保護規則）が発効される等、近年議論が活発になって

いる。V2X 通信においても、欧米のプロジェクトや標準化団体を中心にプライバシー保護、セキュリティの仕組みの検討がなされてきている。[1]

日本においても将来的にプライバシー保護、セキュリティの仕組みが実装されることが想定され、本研究開発内容の実用化にあたっては、それらを踏まえた検討が今後の課題となる。

① プライバシー保護、セキュリティの仕組みの検討

V2X 通信における具体的なプライバシー保護、セキュリティ検討の例として、ETSI における ITS のセキュリティに関する検討内容を下表に示す。

表 12.4.4①-1 ETSI における ITS のセキュリティに関する成果物
（2021 年 2 月時点、直近 5 年のもの）

検討成果物名	タイトル
ETSI TS 102 941 V1.4.1 (2021-01)	Trust and Privacy Management
ETSI TR 103 630 V1.1.1 (2020-11)	Pre-standardization Study on ITS Facility Layer Security for C-ITS Communication Using Cellular Uu Interface
ETSI TS 103 601 V1.1.1 (2020-10)	Security management messages communication requirements and distribution protocols
ETSI TS 103 097 V1.4.1 (2020-10)	Security header and certificate formats
ETSI TR 103 460 V2.1.1 (2020-10)	Pre-standardization study on Misbehavior Detection
ETSI TR 103 415 V1.1.1 (2018-04)	Pre-standardization study on pseudonym change management
ETSI TS 102 940 V1.3.1 (2018-04)	ITS communications security architecture and security management
ETSI TR 102 893 V1.2.1 (2017-03)	Threat, Vulnerability and Risk Analysis (TVRA)

[1] 5GAA, Privacy by Design Aspects of C-V2X, 2020 年 10 月
https://5gaa.org/wp-content/uploads/2020/11/5GAA_White-Paper_Privacy_by_Design_V2X.pdf

また、上記のうち具体的な検討として、「仮名変更管理」(pseudonym change management)と「誤動作の検出」(Misbehavior Detection)について以下に検討の概要を記す。

(1) 仮名変更管理 (pseudonym change management)

仮名変更 (pseudonym change) は、V2X における安全に関するメッセージの認証に使用される仮名証明書 (pseudonym certificates) を頻繁に変更することによりプライバシーを保護する仕組みである。VPKI (Vehicular Public Key Infrastructure：車両向け公開鍵暗号基盤) を構築することで仮名証明書を管理する方法については、欧米のプロジェクトや標準化団体で議論がなされてきた。

ETSI のセキュリティコンセプトでは、ITS-S (ITS ステーション：車載機、路側機等) の識別とアカウンタビリティのために登録証明書 (Enrolment Certificates) と呼ばれる長期的な証明書を使用し、V2V・V2I 通信のために仮名証明書と呼ばれる一時的で匿名化された証明書を使用する。(仮名証明書は認証チケット：Authorization Tickets とも呼ばれる。) PKI (公開鍵暗号基盤) は各 ITS-S に多数の仮名証明書を発行し、配布する。

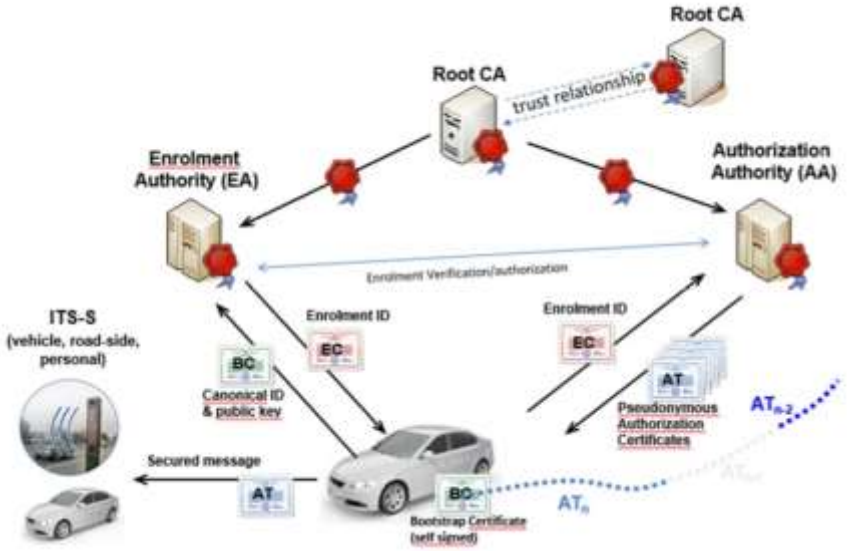


図 12.4.4①-2 ETSI ITS の信頼モデル (PKI)

(2) 誤動作の検出 (Misbehavior Detection)

誤動作の検出 (Misbehavior Detection) についても、仮名変更管理 (pseudonym change Management) 同様、欧米のプロジェクトや標準化団体で議論されており、ETSI の技術文書では、誤動作の検出と報告のユースケースとして、以下の 4 点を挙げている。

- アクセス層での測定における、パケット受信に関するデータを利用した、CAM[2]の妥当性チェック
- 受信した CAM に含まれる車両移動情報（位置、進行方向、スピード等）を利用した、CAM の妥当性チェック
- セキュリティテストによる受信した C-ITS（協調 ITS）メッセージのローカルでのチェック
- トラフィックイベントをシグナリングする DENM[3]のチェック
- また同技術文書では、誤動作の検出と報告がローカルでの誤動作の検知、誤動作の報告、グローバルでの誤動作の検知の 3 段階で実施されるプロセスが示されている。

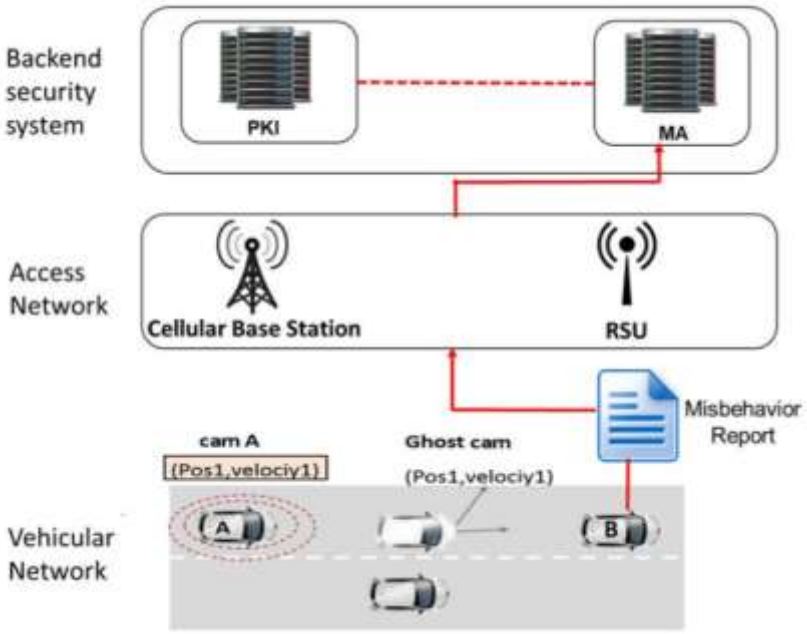


図 12.4.4②-3 誤動作の報告（Misbehavior reporting）のユースケース

[2] CAM(Co-operative Awareness Message) : V2X における安全に関するメッセージとして欧州標準で用いられている用語。準連続的に（1～10 Hz で）配信され、車両の特徴や運動に関するデータを含む。

[3] DENM（Decentralized Environment Notification Message）：CAM と合わせて、V2X における安全に関するメッセージとして欧州標準で用いられている用語。CAM メッセージに加えて配信されるが、特定の事象（事故等）が発生した場合や緊急時にのみに配信され、その事象に関する位置情報が含まれている。

② プライバシー保護、セキュリティの通信への影響

本研究開発内容の実用化に向けた課題として、上記のようなプライバシー保護、セキュリティの仕組みが実装されることを想定し、それらが通信品質に与える影響を検討する必要がある。例えば、仮名変更の仕組みについては、仮名変更のタイミング（条件）[4][5]や、仮名証明書のフォーマット[6]の検討、標準化が既に進んでいることから、通信の観点でもそれらを踏まえたオーバーヘッド（送りたいデータや信号そのものとは別に付加的に必要となる制御用のデータ自体や、それを処理、伝送するために余計にかかる負荷や時間）等の検討が望まれる。

例えば、本研究開発においては、メッセージプロトコルとして MQTT を採用しており、MQTT を使用する製品やシステムを開発・利用するにあたり、セキュリティ対策の１つとして、SSL/TLS による暗号化が推奨されている。

MQTT は、送信者/受信者の区別なく通信をすることができ、1 対多や多対多の通信を行うことができる Publish-subscribe 型のメッセージプロトコルであり、具体的にはメッセージの送信者もしくはメッセージの受信者となる MQTT クライアントとメッセージの中継者となる MQTT ブローカー間の通信が暗号化によってそれぞれ保護される。

本研究開発においては、中域サーバが MQTT ブローカーの役割を果たす構成となっており、中域サーバと車両間における通信、また中域サーバと狭域サーバ間における通信が SSL/TLS での暗号化対象とされている。

その SSL/TLS による暗号化の際に発生するオーバーヘッド（送りたいデータや信号そのものとは別に付加的に必要となる制御用のデータ自体や、それを処理、伝送するために余計にかかる負荷や時間）等を踏まえ、将来的に安全・安心走行を目的とする超低遅延のユースケース等を見据えた場合、目標とする KPI 等、更なる検討が必要となる事が想定される。

---

[4] 「仮名変更管理」（pseudonym change management）
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103415/01.01.01_60/tr_103415v010101p.pdf

[5] 誤動作の検出(Misbehavior Detection)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103400_103499/103460/02.01.01_60/tr_103460v020101p.pdf

[6] セキュリティヘッダーと証明書のフォーマット（Security header and certificate formats）
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103000_103099/103097/01.04.01_60/ts_103097v010401p.pdf

12.4.5. 既存の標準化団体等へのアプローチ

本実証の成果を、国内及び国際的な認知度を向上するために、関連省庁と相談しながら既存の標準化団体（関連する団体：3GPP、5GAA、ITS 情報通信システム推進会議、IEEE 等）等へのアプローチが必要である。具体的なアプローチ先としては ITS 情報通信システム推進会議と 5GAA の 2 つが考えられる。

13. 参考資料

[1] Recommendation ITU-R P.676-11(09/2016) Attenuation by atmospheric gases

[2] H.Gunther, B.Mennenga, O.Trauer, R.Riebl and L.Wolf (2016) “Realizing collective perception in a vehicle,” 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)

[3] Z.Wang, Y.Wu and Q.Niu (2019)“Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey,”IEEE Access

[4] M.Tsukada, T.Oi, M.Kitazawa and H.Esaki (2020) “Networked Roadside Perception Units for Autonomous Driving,” Sensors 2020, 20(18), 5320

以上

狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る
実装ガイドライン

第 1.0 版

2021 年 3 月

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 2 期／自動運転
（システムとサービスの拡張）／狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る研究開発」

株式会社ＮＴＴドコモ
沖電気工業株式会社
住友電気工業株式会社
パナソニック株式会社

改定履歴

版数	年月日	改定箇所	改定理由	改定内容
1.0	2021/3/31	策定	新規策定	

まえがき

本実装ガイドラインは狭域・中域情報の収集・統合・配信に係る業界のプレイヤー（例：路車協調型の情報収集・統合・配信を行うサービサー）がシステムを構築、本システムからの配信情報を利用する自動運転車両メーカが参照することを想定して、以下に示す項目を目的としている。

1）狭域・中域情報の収集・統合・配信インフラ構築の容易性向上

・ 共通 IF 仕様

①交差点での多種多様な情報源(路側センサ、車載センサ、ITS 端末等)、狭域サーバの処理方式や通信メディアの違い等の対応を考慮し、交差点情報の収集 I/F(狭域)を共通化することを可能とする。

②中域サーバや配信先車両においてデータ変換処理等が不要とし、処理時間の低減やコンピュータリソースの削減を可能するため、中域サーバにおいて狭域サーバからの情報を統合するための IF(中域)を共通化することを可能とする。

・ 配信制御

配信情報について自動運転車両での処理量軽減、通信量削減のため、配信先車両の位置や経路、速度、進行方向等に応じて必要な情報に限定する制御をすることを可能とする。また、車線、交差点からの距離に応じて車載機の送信タイミングを分離することで、パケット到達率を向上/収集可能台数を増加させることを可能とする

・ 統合処理

自動運転車両の処理負荷軽減や配信情報量の削減のため、複数の路側センサの抽出結果の統合処理を実施して、重複なく高精度で切れ目のない情報を提供でき、遮蔽対策や位置精度改善を可能とする

・ エッジサーバ

交通事故が多い交差点規模（4×2）における交通量の想定で、対応すべき交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理遅延等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討することを可能とする。

2）本インフラからの配信情報を利用する自動運転車両等の利便性向上

・ 共通 IF 仕様

交差点情報(狭域)、周辺交差点情報(中域)を自動運転車両に活用可能とするため、標準化団体(ETSI 等)で規定されているフォーマット、位置参照方式(CRP)等も考慮し、車両への配信 I/F（狭域）（中域）を共通化することを可能とする。

目次

1. 概要 6
1.1. 全体構成 6
1.2. アーキテクチャ 8
1.2.1. 路側処理方式 8
1.2.2. センタ処理方式 8
1.2.3. 中域処理方式 9
2. 共通インタフェース仕様 11
2.1. 情報源・狭域サーバ間のインタフェース(収集 IF) 12
2.2. 狭域サーバ・中域サーバ間のインタフェース(統合 IF) 13
2.3. 狭域/中域サーバ・配信先車両間インタフェース(配信 IF) 14
3. 配信手法 15
3.1. 狭域サーバからの配信制御(エリア別、周期別) 15
3.1.1. エリア別 15
3.1.2. 周期別 15
3.2. 中域サーバからの配信制御(エリア指定、車線指定) 16
3.2.1. エリア指定 18
3.2.2. 車線指定 18
4. 統合手法 19
4.1. ITS 通信端末、路側ミリ波レーダ間 19
4.2. 路側ミリ波レーダ、路側 LiDAR、路側カメラ間 21
4.2.1. シームレスな検知な実現 21
4.2.2. 複数センサ間の時刻同期の実現 21
4.2.3. 同一物体の同定・統合の実現 21
4.2.4. 統合後の情報選択 22
4.2.5. 統合アルゴリズム例 22
5. エッジサーバの設置基準・諸元 23
5.1. 狭域サーバの設置基準・諸元 23
5.1.1. 路側処理方式 23
5.1.2. センタ処理方式 23
5.2. 中域サーバの設置基準・諸元 24
6. その他 26
6.1. 通信メディア 26
6.2. 検知センサ 26
付属資料 E.エリア別配信制御アルゴリズムの例 27

付属資料 F.　エリア指定配信方式の実現手法 29
付属資料 G.　車線指定配信方式の実現手法 32
付属資料 H.　統合処理アルゴリズム.....35
付属資料 I.　 統合処理アルゴリズムの例（ミリ波レーダ、LiDAR、カメラ） 40
付属資料 J.　 統合処理アルゴリズムの例（ミリ波レーダ、LiDAR） 43
付属資料 K.　狭域エッジサーバのスペック例1 46
付属資料 L.狭域エッジサーバのスペック例 2 47
付属資料 M.中域サーバのスペック例 49

1. 概要

1.1. 全体構成

自律型の自動運転車両は交差点など複雑な環境下では、自車両のセンサの死角が増える(一般車両も同様)。これにより交差点手前で交差点内の安全が確認できるまで停止もしくは徐行することとなり、交通流に影響を及ぼす恐れがある。このような課題を解決するためには、自車両のセンサでは認識できない見通し外の範囲にある物標情報を、センサやカメラ等の複数の情報源から収集・統合、自動運転車両へ配信し、交差点への円滑な進入・通過及び交差点手前での事前の車線変更、経路変更に対して支援を行うことが必要となる。

こうした支援を実現するためには、交差点又はその周辺エリアに存在する複数の情報源から動的情報を収集し、リアルタイムな交通状況として、狭域エリア、中域エリアにて情報を統合し、最終的に、必要な範囲の情報のみを自動運転車両側が保有する情報と共有可能な形式で配信することが有効である。

本ガイドラインにおいては、このような自動運転車両の支援を行うシステムを構築する際の指針を示す。想定するシステムは、一般的な一つの交差点程度の大きさを想定した「狭域エリア」をカバーする狭域サーバ、市区町村程度の大きさを想定した「中域エリア」をカバーする中域サーバで構成するものである。

なお、狭域サーバについては、車両や歩行者の位置情報など軽くて単純な情報の分散処理を行うことを目的とした「路側に設置して専用通信」を行う方式と、カメラ映像など情報量が多く高度な演算が必要な集中処理を行うことを目的とした「センタに設置してモバイル通信」を行う方式の 2 つに関する指針を示す。中域サーバについては、インターネットを経由せずに低遅延かつセキュアな処理を行うことを目的とした「モバイル通信網内に設置する構成」の方式に関する指針を示す。これらのイメージを図1. 1. ①に示す。

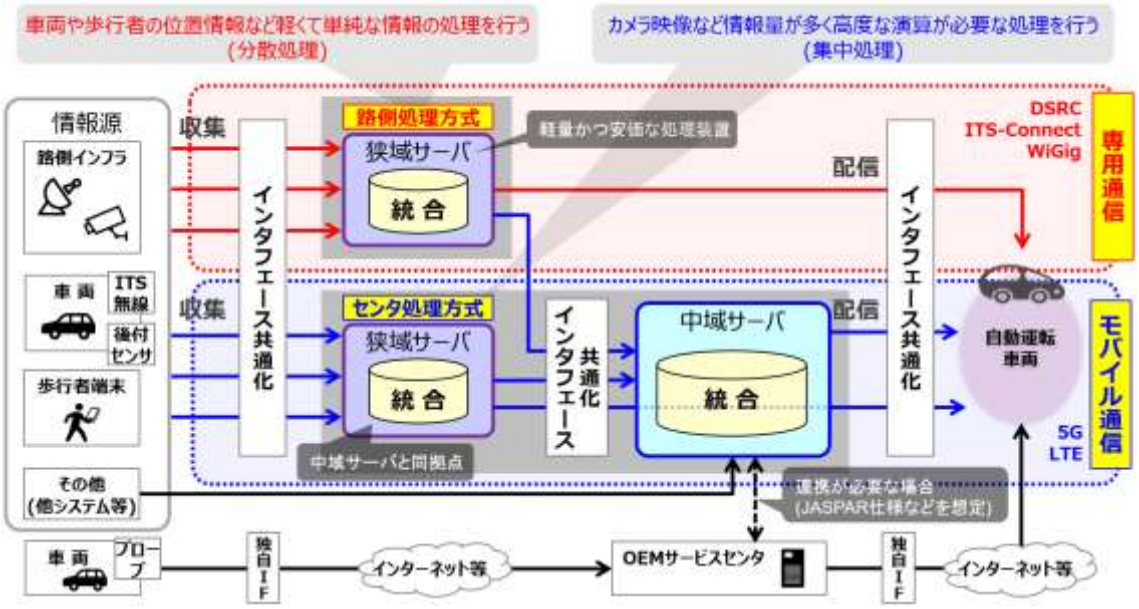


図 1.1.① 想定するシステムの全体構成（イメージ）

1.2. アーキテクチャ

本節では、狭域サーバ（路側処理方式、センタ処理方式）および中域サーバ（中域処理方式）の物理構成や通信プロトコルスタックといったシステムアーキテクチャを規定する際の指針を示す。

1.2.1. 路側処理方式

情報源から狭域サーバ(路側処理方式)そして OBU(車載端末等)の物理構成、および、それに対応する通信プロトコルスタック(通信の各レイヤの構成)は以下の通りである。路側処理方式は、交差点に設置した路側機で交差点での物標情報の収集、統合、配信までを実施する。比較的安価な PC を路側機側に設置して各種処理を実施することを想定している。各種センサを路側機に接続可能なように、センサ毎の個別のメッセージフォーマットとプロトコルを狭域収集共通のメッセージフォーマットと共通プロトコルで吸収できるように構成している。

狭域サーバから OBU(車載端末等)への配信メッセージフォーマットとプロトコルは、中域サーバからの配信と同じインタフェース仕様とすることで、OBU(車載端末等)側での物標情報受信を容易にしている。

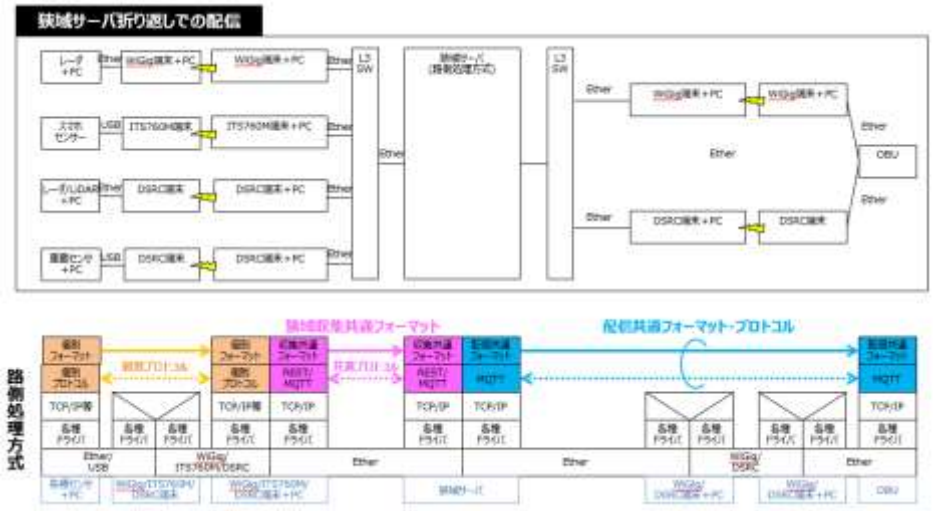


図 1.2.1.① 路側処理方式（狭域配信）

1.2.2. センタ処理方式

情報源から狭域サーバ(センタ処理方式)そして OBU(車載端末等)の物理構成、および、それに対応する通信プロトコルスタック(通信の各レイヤの構成)は以下の通りである。センタ処理方式は、交差点に設置された路側機が周辺をセンシングし、モバイルネットワーク（5G／LTE）を経由してセンタ側に設置された狭域サーバが物標情報もしくはセンサデータを収集する。さらに、狭域サーバでは収集した物標情報とセンサデータから抽出した物標情報を統合し、車両に配信する。センタ処理方式では狭域サーバとして比較的高性能なハードを使用することになるが、ビデオ映像の解

析や LiDAR データの解析も行うことが可能となり、路側機側は安価に構成できる。路側機から狭域サーバまでの情報収集においては、路側処理方式と共通の狭域収集共通フォーマットとている。

狭域サーバから OBU(車載端末等)への配信メッセージフォーマットとプロトコルは、中域サーバからの配信と同じインタフェース仕様とすることで、OBU(車載端末等)側での物標情報受信を容易にしている。

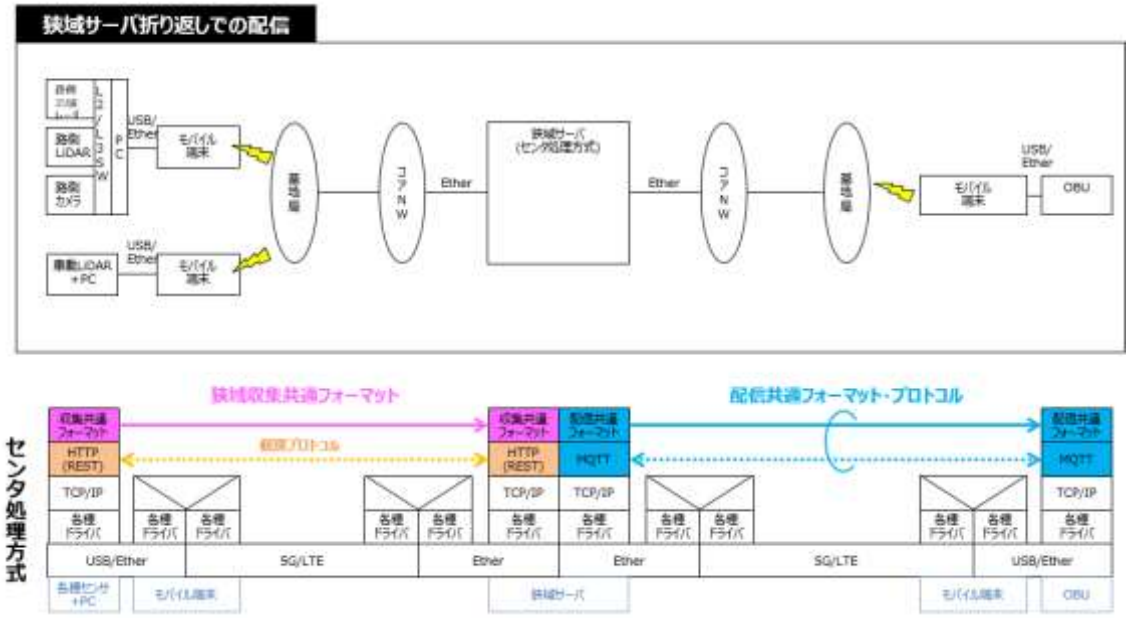


図 1.2.1① センタ処理方式（狭域配信）

1.2.3. 中域処理方式

前述の狭域サーバ（路側処理方式およびセンタ処理方式）から中域サーバを経由して OBU(車載端末等)に至るまでの物理構成、および、それに対応する通信プロトコルスタック(通信の各レイヤの構成)は以下の通りである。

中域処理方式は、複数の狭域サーバが収集・統合した物標情報を、モバイルネットワーク（5G／LTE）を経由してモバイルネットワーク内に設置した中域サーバにて収集・統合する。中域サーバで収集・統合した物標情報は、配信先車両の走行速度や方向等に応じて必要な情報のみに絞り込んだ上で車両に配信する。中域処理方式では、中域サーバとしてモバイルネットワーク内に設置をする、いわゆる MEC（Multi-access Edge Computing）の構成を採ることにより、インターネット経由してアクセスすることが必要なパブリッククラウドと比較して、低遅延かつセキュアな処理を実現することが出来る。また、通信トラフィックがインターネットに抜けないことから、システム全体として効率的な通信が実現可能となる。

狭域サーバから中域サーバの間のメッセージフォーマットとプロトコル、および中域サーバから OBU（車載端末等）の間のメッセージフォーマットとプロトコルについては、前述の狭域サーバから OBU(車載端末等)への配信メッセージフォーマットとプロトコルと共通化している。このことにより、

中域サーバにおけるフォーマット変換処理などのボトルネックの削減することが出来る。また、OBU（車載端末等）側においても、狭域サーバから配信される情報と中域サーバから配信される情報を同一のメッセージフォーマットで受信することになるため、受信後の処理の共通化を図ることが得切るというメリットがある。



図 1.2.3.①　中域処理方式（路側処理方式との接続）

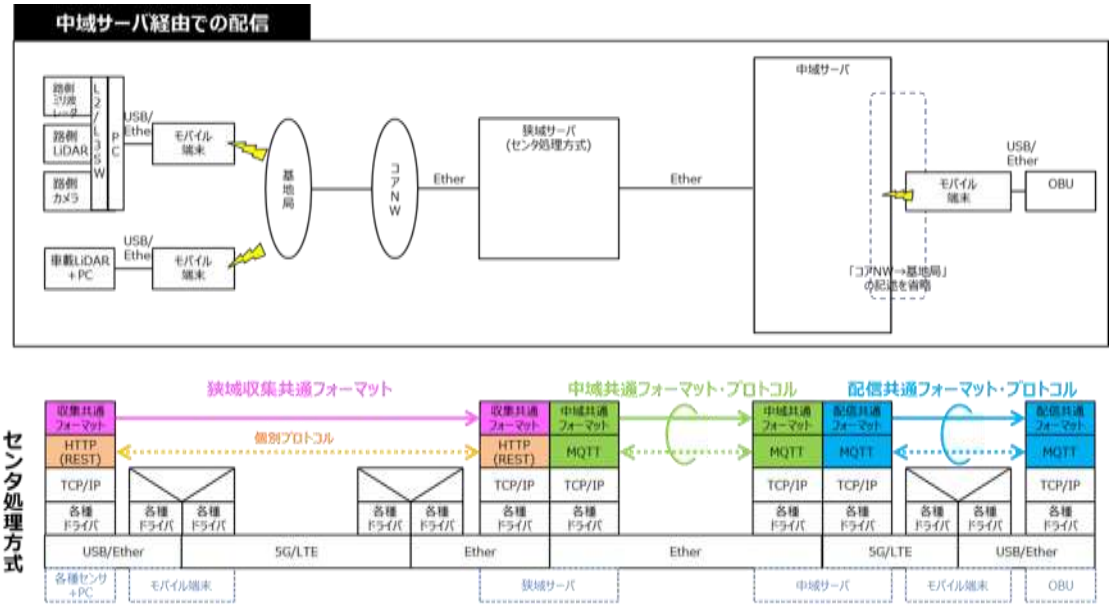


図 1.2.3.②　中域処理方式（センタ処理方式との接続）

2. 共通インタフェース仕様

共通インタフェースは、図 2-1 のように①情報源からの収集、②狭域/中域サーバでの統合・配信の 2 種類を規定している。共通インタフェースに含むデータ項目は、標準化機関で規定された定義をベースとして通信用の項目を追加し、ガイドラインとして公開し啓蒙活動を行い、将来的なデータ連携の土台作りを目指している。

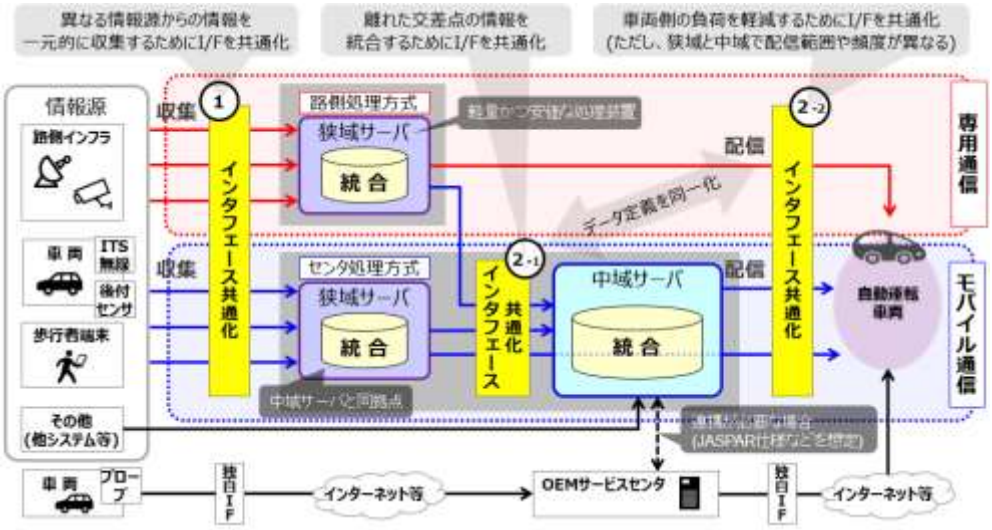


図 2-1　共通インタフェース

2.1. 情報源・狭域サーバ間のインタフェース（収集 IF）

情報源・狭域サーバ間のインタフェースは図 2-1 の①の部分の収集インタフェースである。路側機の情報源(各種センサ)で抽出された物標情報は「情報源・狭域サーバ間フォーマット」に変換し、CBOR 形式でエンコードして狭域サーバに REST 送信を行う。ここでは「情報源・狭域サーバ間フォーマット」について表 2.1-1 に記載する。

「情報源・狭域サーバ間フォーマット」は ETSI 等の標準化機関における規定を考慮しつつ、狭域サーバが対象とする想定 UC、各通信メディア、物標情報、生データの収集を加味したデータ項目の追加などを実施した。詳細については付属資料 A 参照。

表 2.1-1 情報源・狭域サーバ間フォーマット(概要)

項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格など
バージョン	数値	2	●	ITS-CONNECT DE_バージョン情報 ※参考
センサーID	数値	5	●	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサー分類	数値	5	●	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサー更新周期	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE TransmissionInterval
センサー状態	数値	1	–	※狭域での効率的な収集などのために追加
センサーサンプリング時刻	数値	9	–	Unix Epoch Time (milliseconds) ※参考
センサー送信時刻	数値	9	–	Unix Epoch Time (milliseconds) ※参考
時刻付与指定	数値	1	–	※狭域での効率的な収集などのために追加
シーケンス番号	数値	5	–	ITS-CONNECT DE_インクリメントカウンタ ※参考
物標情報 ※繰り返し項目	配列	可変	–	※次頁のI/F②と共通項目 物標情報、物標ID、物標種別、位置座標、移動方向、速度、物体の向き、物体のサイズ、信頼度、識別情報
				※I/F①の独自項目 物標拡張情報
センサー情報	ハッシュ	可変	–	※狭域での効率的な収集などのために追加 センサー設置位置、移動方向、速度、バイナリコンテンツ情報、バイナリリファレンスID、バイナリデータ
拡張情報	ハッシュ	可変	–	–

2.2. 狭域サーバ・中域サーバ間のインタフェース（統合 IF）

狭域サーバ・中域サーバ間のインタフェースは図 2-1 の②-1 の部分の統合インタフェースである。狭域サーバにて収集・統合された物標情報は「狭域サーバ・中域サーバ間フォーマット」に変換し、CBOR 形式でエンコードして中域サーバにMQTT送信を行う。ここでは「狭域サーバ・中域サーバ間フォーマット」について表 2.2-1 に記載する。

「狭域サーバ・中域サーバ間フォーマット」は ETSI 等の標準化機関における規定を考慮しつつ、中域サーバによる車両への配信時の制御（各車両において必要な情報のみに絞り込みを行う等）を実現するために必要となるデータ項目の追加などを実施した。また、位置座標の表現については、緯度経度による参照の他、SIP 他施策でも参照されている ISO 17572-4 で規定された高精度位置参照方式にも対応するようインタフェースを規定した。詳細については付属資料B参照。

表 2.2-1 狭域サーバ・中域サーバ間フォーマット（概要）

項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格など
物標ID	数値	9	●	※中域での効率的な配信制御などのために追加
情報取得時刻	数値	9	●	ETSI TS 102 894-2 DE_TimestampIts
物標種別 （車両、歩行者、自転車等の物標種別情報）	数値	1	●	ETSI TS 102 894-2 DE_StationType をベースに一部項目追加
位置座標	※次表で詳述		●	－
移動方向	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE_HeadingValue
速度	数値	3	●	ETSI TS 102 894-2 DE_SpeedValue
最も外側のレーン番号	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 DE_LanePosition
最も内側のレーン番号	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 DE_LanePosition
物体の向き	数値	3	－	ETSI TS 102 894-2 DE_HeadingValue
物体のサイズ 横幅、奥行、高さ	数値	3×3要素	－	ETSI TS 102 894-2 DE_VehicleLengthValue
信頼度	数値	1	－	ETSI TS 102 894-2 InformationQuality
識別情報	文字列	1	－	※中域での効率的な配信制御などのために追加 0～4(他予備) 0：不明、1:停車、2:滞留、3:事故、4:その他

表 2.2-2 狭域サーバ・中域サーバ間フォーマット(位置座標の表現)

位置参照方式1：緯度経度による参照

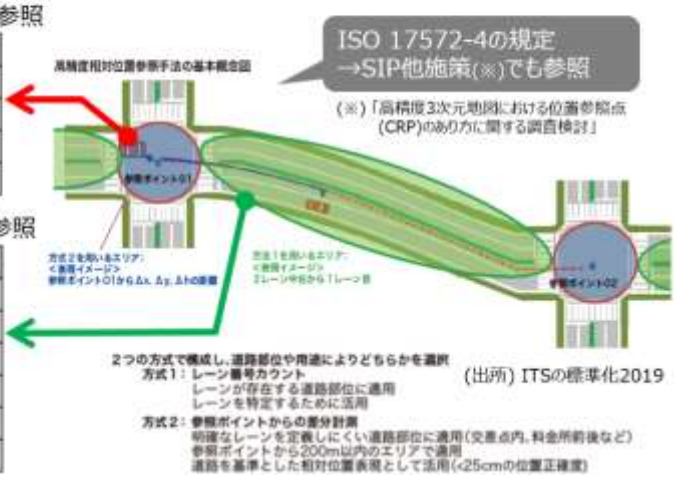
項目名	型	バイト数	必須	準拠する規格等
緯 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_Latitude
経 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_Longitude
高 度	数値	5	●	ETSI TS 102 894-2 DE_AltitudeValue

位置参照方式2：基準点からの差分距離による参照

項目名	型	バイト数	必須
基準点	文字列	12	●
縦差分距離	数値	5	●
横差分距離	数値	5	●
高さ差分距離	数値	3	－

位置参照方式3：道のり距離＋オフセットによる参照

項目名	型	バイト数	必須
基準点（始点）	文字列	12	●
基準点（終点）	文字列	12	●
基準点からの距離比率	数値	3	●
オフセット方向	数値	3	●
オフセット距離	数値	3	●
レーン番号	数値	1	－



＜実装上の参考事項＞

・狭域配信と比較して、中域配信は長い送信周期（狭域 250ms 周期、中域 1000ms 周期）のため、狭域側で配信するデータの生存期間を考慮する必要がでてくる（中域配信周期途中で検出外になった物標などを次の配信周期に配信するかどうか）。中域側のアプリケーションにも依存するため、データの生存期間を配信周期より若干長く設定して、中域側で物標内の情報取得時間と現在時刻を比較して取捨選択することの検討も必要である。

2.3. 狭域/中域サーバ・配信先車両間インタフェース（配信 IF）

狭域/中域サーバ･配信先車両間のインタフェースは図 2-1 の②-2 の部分の配信インタフェースである。本インタフェースは、前述の通り、中域サーバにおけるフォーマット変換処理などのボトルネックの削減や、配信先車両側における受信後の処理の共通化を企図して、「狭域サーバ･中域サーバ間フォーマット」と共通化を図っている。詳細については2．2．を参照。

＜実装上の参考事項＞

・狭域サーバの MQTT ブローカーから配信車の MQTT クライアントへのデータ配信に遅延が発生する課題があった場合には、回避方法として、受信したパケットの GPS 同期されたタイムスタンプと、配信車の GPS 同期されたシステム時刻を比較し、遅延が発生していた場合は破棄する方法がある。

3. 配信手法

3.1. 狭域サーバからの配信制御（エリア別、周期別）

配信情報について自動運転車両での処理量軽減、通信量削減のため、配信先車両の位置や経路等に応じて必要な情報に限定する制御をすることが必要となる。

3.1.1. エリア別

全ての交通情報を配信した場合、車両によっては不要な情報も含まれており、ネットワークや車両側の処理に不要な負荷がかかる。統合処理により、複数センサで重複する抽出情報を削減すること、支援車両の進行方向に必要な情報に限定した情報を配信することが必要である。

エリア別の配信制御のガイドラインを以下に説明する。

統合処理により、複数のセンサで検知した重複する同一物標について統合を行うことで、重複した不要な配信情報を削減できる。また、車両の走行位置情報と進行経路情報に従い配信エリアの限定を行うことで、対象エリア内の物標情報のみを抽出して走行に影響しないエリアの不要な配信物標数を削減することができる。これらの手法を組み合わせることで、通信トラフィックを効果的に削減することができる。

配信エリアの限定を行うためには、配信対象車両は狭域サーバに対して、車両の走行位置情報と進行経路情報を提供する必要がある。進行経路は CRP 方式で表し、狭域サーバは各進行経路に合わせて物標情報を配信する対象エリアを定義したテーブルを保持しておく必要がある。配信時にこのテーブルを参照して配信エリアを限定することができる。また、走行位置は車両の位置座標、及び方位を含む必要があり、これらを基準に狭域サーバは交差点地形により設定した配信角度から配信エリアを限定することができる。配信制御のアルゴリズムについて、付属資料 E に例を示す。

今回検証対象としたユースケースである、4×2 車線の交差点 1 箇所における配信制御においては、配信メッセージのヘッダ部分があまり大きくないため交通量の多寡に関わらず通信トラフィックの削減率に大きな影響は無かった。しかし物標が交差点を中心にある程度均等な配置となっておらず、例えば車両の進行経路上に物標の多くが偏って存在するケース等においては、削減効果が減少することが考えられるため注意が必要である。

＜実装上の参考事項＞

・実環境では配信車が右折か直進かどうかは路側機側では判別が難しいため、さらなる発展として車両側のナビゲーション情報との連携や、車両側からのサービス種別（右折情報など）の要求選択をすると、より適切で効率的な情報の提供を行うことが可能である。

3.1.2. 周期別

車両毎に交通情報を配信する場合、全ての車両に共通する情報も個別に配信するため、配信車の増加とともに、前項に示すような配信制御による周波数利用の効率化が必要となる。一方、配信時の通信形態としてブロードキャストを想定した場合、コネクションレスなリアルタイム通信を、配信車の増加に影響することなく行うことができる。

ただし、車両が自律センサ情報をもとに自身の物標情報を狭域エッジサーバに送信する路車間通信（アップリンク）が、路側センサ - 狭域エッジサーバ間の路路間通信及び車両への配信と同一チャネルで混在する場合、車両数の増加とともにパケット衝突が増加する。収集と配信の通信性能がともに安定する制御が必要となる。

上記問題を解決するものとして、路側機と車載機の送信タイミングを時分割し、かつ車載機の送信タイミングを走行車線や交差点までの距離により定めるエリア毎に時分割する収集・配信制御（図 X）等が考えられる。これら周期別の収集・配信制御を行うには、狭域エッジサーバ、路側センサ及び車両間の同期機能、交差点及び車両の位置情報、並びに走行車線情報に基づき送信タイミングを決定する機能が必要である。

＜実装上の参考事項＞

・上記の同期方法としては、GPS 受信機から 1 秒周期で得られるパルス信号を用いる方法、狭域エッジサーバからのパケットの受信タイミングや時刻情報をもとに行う方法、等がある。

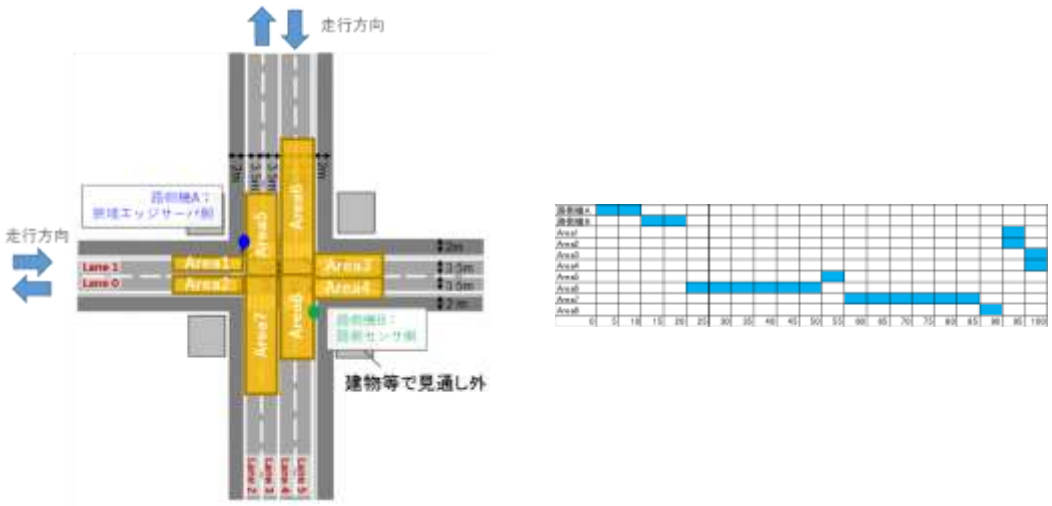


図 3.1.2-1 周期別の収集・配信制御による送信タイミングの時分割例
（青色部分が送信タイミング）

3.2. 中域サーバからの配信制御（エリア指定、車線指定）

市区町村単位をカバーする中域サーバにおいては、複数の狭域サーバからセンサ等が捉えた多量の情報が集まってくるが、何も制御せずに全ての情報を自動運転車両に配信をした場合には、ネットワークを流れる通信トラフィックやアプリケーションの処理などの負荷が大きくなり、システム全体が成立しなくなることが懸念される。そのため、各々の自動運車両の走行状況等に応じて、必要な情報のみに絞り込みをして配信するといった配信制御を行うことが必要となる。

本ガイドラインでは、中域サーバから車両への配信について、配信先車両の進行方向や走行速度に応じて、配信範囲（配信対象情報）を可変にする配信制御の実現方式を説明する。なお、実現方式については、図 3.2-1 に示すように、車両前方の「エリアを指定する方式」と「車線を指定する方式」の 2 つの方式を説明する。

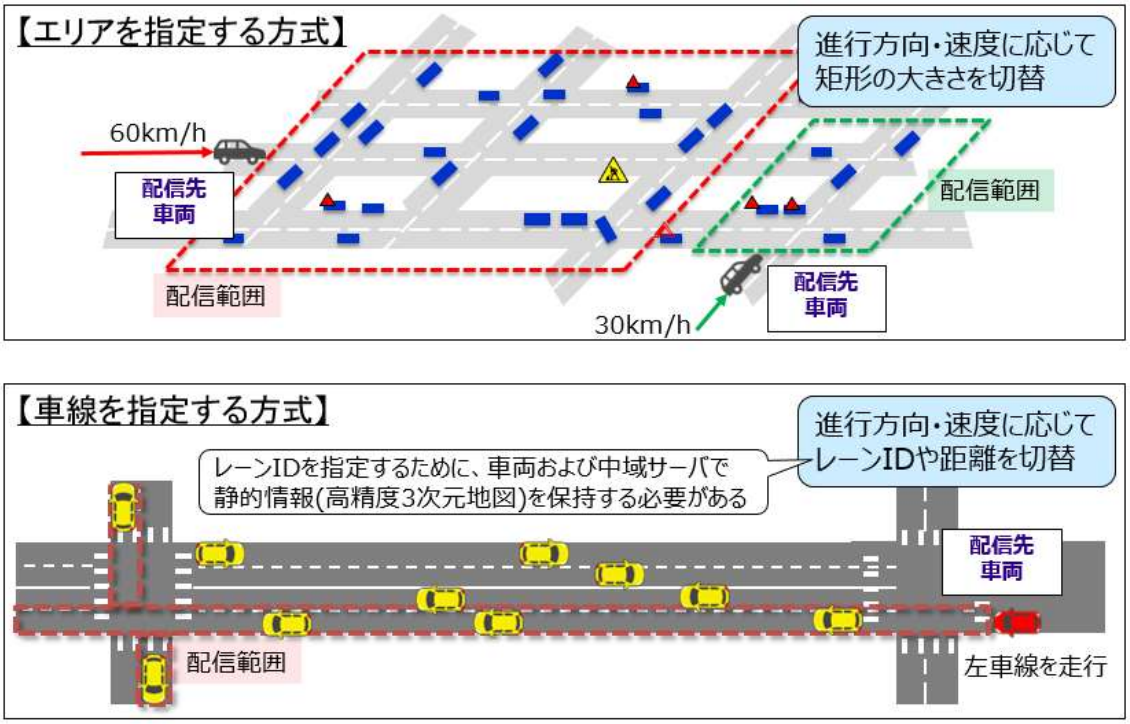


図 3.2-1　中域サーバにおける配信制御（イメージ）

3.2.1. エリア指定

中域サーバにおける配信制御の 1 つ目の実現方式である「エリア指定」について説明する。

本方式においては、配信先の車両から定期的に自車両の位置・進行方向・速度を含む情報が中域サーバに報告されることを前提とする。ここでの位置情報は緯度経度で表現されている必要がある。

中域サーバは、報告された配信先車両の位置・進行方向・速度から、車両前方の矩形エリアを算出する。矩形エリアの 1 辺は、配信先車両の速度に応じて長さを可変とするという仕様（例えば、時速 60km で走行している場合には 1kmとする等）が、配信先車両におけるサービス継続性と通信トラフィック削減を両立させる上で必要となる。

なお、実装時には、この車両の速度と矩形エリアの 1 辺の長さの関係に関する設定値をプログラムにハードコーディングするのではなく、外部ファイルに定義することで、メンテナンス性を向上するといった考慮も効果的である。本実現方式の詳細な仕様は、付属資料 F に示す。

3.2.2. 車線指定

中域サーバにおける配信制御の 2 つ目の実現方式である「車線指定」について説明する。

本方式においては、配信先の車両から定期的に自車両の位置・進行方向・速度を含む情報が中域サーバに報告されることを前提とする。ここでの位置情報は基準点（CRP）を用いた相対座標等で表現されている必要がある。つまり、配信先車両では高精度三次元地図を保持し、自己位置推定により基準点（CRP）とのオフセット等を把握の上、中域サーバへの報告を行うことが求められる。

中域サーバは、まず初めに、報告された配信先車両の位置・進行方向・速度から、前述の「エリア指定」と同様に、車両前方の矩形エリアを算出する。矩形エリアの 1 辺は、配信先車両の速度に応じて長さを可変とするという仕様であることなども「エリア指定」と同様である。次に、算出した矩形エリアにおいて、配信先車両の進行方向にある基準点（CRP）および車道リンクを順次検索し、これらに紐づく物標情報を検索する。ここで、配信先車両が交差点付近にいる場合は、基準点（CRP）を中心とした円（半径は外部ファイルで定義するよう実装することが望ましい）の内にある物標情報を検索する。このように検索した情報のみを配信することにより、「エリア指定」の方式よりもさらに配信情報を絞り込み、通信トラフィックを削減することが可能となる。本実現方式の詳細な仕様は、付属資料 G に示す。

4. 統合手法

4.1. ITS 通信端末、路側ミリ波レーダ間

ITS 通信端末、路側ミリ波レーダ間の統合手法のガイドラインを説明する。

統合処理とは、複数のセンサから得られた情報から、同じユーザとして判定（同定処理）して、センサから得られる情報を1つにする（マージ）処理である。統合処理を行うことで、通信量を減らしつつ、情報の品質を上げていくことができる。特に、センシングエリアが狭いが位置精度良いミリ波レーダの特徴と、センシングエリアが広いが位置精度は劣る ITS 通信端末の特徴の各々のいいとこ取りができるため、互いのセンサの特徴を補間し合いより良い情報を作成することができる。

統合処理において、ミリ波レーダと ITS 通信端末の時刻ズレ、位置ズレが発生するため、①検知エリアを跨ぐシームレスな検出、②異なるセンサで検出した物標を同一判定すること が課題となる。時刻ズレは、路側インフラ装置毎に GNSS 受信機のタイミングパルスを用いて、NTP サーバを構築して、高精度な時刻同期システムを構築することで対策できる。また、位置ズレは、コサイン類似度（方向類似性）を特徴量に変換し、位置と軌跡を考慮し重みづけ加算、尤度を求める同定手法等で対策できる。

同定手法の内容について説明する。同定手法は、ミリ波レーダから得られる情報（位置、速度、方向）の特徴と ITS 通信端末から得られる情報（位置、速度、方向）を使って、同定処理を行う。表 4.1-1 に示すように、情報の精度等を考慮しながら同定するアルゴリズムを決める必要がある。

表 4.1-1　端末、ミリ波レーダ情報源の特徴

	位置 精度	速度 精度	移動方向 精度	静止センシング	属性 情報
ITS 通信端末	△	○	○	○	○
路側レーダ センサ	○	○	△	×	△

同定処理のアルゴリズムとしては、位置の情報のユークリッド距離、コサイン類似度の特徴量に変換し、位置と奇跡を考慮し重みづけ加算、尤度を求める同定アルゴリズムが考えられる。※詳細は付属資料 H 参照。位置精度が良いセンサであれば位置情報のみの同定手法でもかなりの精度が得られるが、位置精度が悪いと同定に失敗するため、速度、移動方向等も使って同定することも検討することも考えられる。

マージ処理は、例えば、位置精度に関しては、ミリ波レーダの情報を活用する、移動方向/属性情報はミ ITS 端末の情報を活用する、静止している場合は ITS 端末の情報を活用するが有効である。なお、カルマンフィルタ等、複数の情報を何らかのフィルタをして求めることも有効と予想される。

また、センサで検出したIDとは別に、統合のID（人物ID）を付与することで、検出エリア境界もIDを継続することができ、シームレスな検出ができ、さらに、ミリ波レーダではオクルージョン等が発生し分離検出できない間も、ITS通信端末では2物体を検出できるため、1つのミリ波レーダの結果を複数のITS端末に同定することで、2つの統合IDで分離して出力できる。

4.2. 路側ミリ波レーダ、路側 LiDAR、路側カメラ間

路側ミリ波レーダ、路側 LiDAR、路側カメラ間での統合手法のガイドラインを説明する。

これらのセンサは検知エリア、分解能、対候性などに違いが存在し、各センサの特徴を補間し合いより良い検知情報を作成することが重要である。表 4.2-1 にセンサ特徴の一般例として各センサで取得可能な情報とその精度を示す。複数センサが存在するとき、以下の点に留意し検知・統合処理の実装を行うべきである。

・各センサで検知エリアが異なるため、検知エリアを跨ぐシームレスな検知を行う。
・各センサが非同期で動作し処理時間も異なるため、情報の時刻を揃える。
・各センサで同一対象を検知し、物体検知位置にズレが生じるため、同一物体を同定して統合する。
・各センサで検知可能な情報の精度に違いがあるため、統合後に適切な情報を選択する。

表 4.2-1　センサで取得可能な情報の一般的特徴

○:良好　△：普通　×：非対応

	検知位置精度	検知距離	形状(大きさ)	属性 (視覚的情報)	環境耐性 (天候・夜間)
ミリ波レーダ	○	○	△	×	○
LiDAR	○	△	○	×	△
カメラ(単眼)	△	△	△	○	△

4.2.1. シームレスな検知な実現

切れ目のない情報提供を継続するために、検知エリアの異なる複数のセンサ間では、検知エリアにオーバーラップを持たせて配置することが有効である。オーバーラップ部分では複数センサの統合を行うことで一連のシームレスな検知が可能となると共に、検知の冗長性を持たせることができる。

4.2.2. 複数センサ間の時刻同期の実現

路側インフラ装置毎にGNSS受信機のタイミングパルスを用いて、NTPサーバを構築して、高精度な時刻同期システムを構築することが有効である。センサ間の統合を行う場合、各センサのセンシング時刻の差に留意し、時刻の差が一定の閾値以下の物標同士を統合することが有効である。

4.2.3. 同一物体の同定・統合の実現

センサ間の検知エリアがオーバーラップする領域では、物標が 2 重、3 重に検知され得るため、実際に存在する物体数と一致するよう、それらの物標を同定し、情報を統合することが有効である。同定を行うため、以下のような情報を用いることができる。

・物標の位置
・物標の速度、移動方向、移動履歴

・物標の種別（歩行者、自転車、車両など）
・物標の占有領域、大きさ
・各センサが検知した物標の数
・各センサにおける物標の追跡 ID

4.2.4. 統合後の情報選択

複数センサが検知した物標を同定した後、それらの物標が持つ情報を取捨選択または合成する必要がある。その際、以下の点に留意し情報を選択すべきである。

・特定のセンサでしか取得できない情報があれば、積極的に採用する。（例：カメラで取得した詳細な物体種別・物体属性や、LiDAR で取得した物体の形状など）
・明らかに精度の高いセンサが事前に判明している場合、そのセンサの情報を優先して選択する。（例：カメラの位置情報より、LiDAR の位置情報を優先するなど）
・同等の精度を持つセンサで同じ情報が得られる場合、それらを合成し情報の精度を高めるか、時刻が最新の情報を優先して使用する。（例：複数の LiDAR で取得した物体形状を合成して正確な形状を推定する。カルマンフィルタ等を用いて複数の観測点から真の位置を推定するなど）

4.2.5. 統合アルゴリズム例

具体的な統合アルゴリズムの例として、下記 2 手法を付属資料に記載する。

・路側ミリ波レーダ、路側 LiDAR、路側カメラを物標間の距離に基づき統合する手法　※付属資料 I 参照
・路側ミリ波レーダと路側 LiDAR を物体の領域に基づき統合する手法　※付属資料 J 参照

5. エッジサーバの設置基準・諸元

検討結果等を踏まえ、狭域サーバ、中域サーバのそれぞれの設置基準/諸元/構成/具備すべき基本機能等を以下に示す。

5.1. 狭域サーバの設置基準・諸元

5.1.1. 路側処理方式

GPU 等のデバイス進化を踏まえると汎用性が高く低コストな処理デバイスによる狭域システムの構成も可能と考えられる。すなわち、対象とする交差点毎に狭域エッジサーバを設置することを基本とする路側処理方式では、交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理遅延等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討する必要がある。

今回、ターゲットとした交通事故が多い交差点規模（4×2）での交通量における狭域エッジサーバのスペックと用いた検知センサを付属資料 G に示す。これらはともに交差点に対角に路側機を設置するが、その片方のスペックを示している。また、狭域エッジサーバは片方に 1 台設置する。これらを基本にして、設置する交差点規模や必要な検知センサによりカスタマイズすることを推奨する。

狭域エッジサーバの処理は、「統合前処理」、「同定処理」、「統合後処理」、「配信処理」に分割することができる。狭域エッジサーバ単体で上記の一連処理に対応が困難な場合、各処理をそれぞれ別々の PC にて分散処理させる方法、「統合前処理」や「統合後処理」を狭域エッジサーバではなく、各路側センサや対角に設置した路側機上の装備で実施する方法等の対応策が考えられるが、収集から配信までのリアルタイム処理を確保するシステム設計が必要である。

その他、狭域エッジサーバに求められる諸元、基本機能としては収集データに対する CRP を用いた座標変換処理、タイムスタンプ管理、動的情報の DB 管理がある。必要に応じて、データの圧縮や暗号化や路側インフラ装置等のデバイス管理が考えられる。

5.1.2. センタ処理方式

センタ処理方式の狭域サーバ（物理的なサーバ機器）設置を検討する際、対応すべき交差点の数、交差点の規模、設置する検知センサの台数や種別、要求される処理遅延等に基づき、エッジサーバの性能要件を検討する必要がある。

今回、ターゲットとした交通事故が多い交差点規模（4×2）での交通量における狭域エッジサーバのスペックと用いた検知センサを付属資料 K に示す。センタ処理方式では、複数の検知センサを 1 台のサーバで処理が可能となるため、1 台のサーバで可能な限り多くの路側器のデータを処理したほうがサーバの総設置台数を低減できコストダウンになる。言い換えると、1 台のサーバで多くの交差点を処理することを検討すべきである。

センタ処理方式で路側器に必要なのはセンサと、セルラー無線の通信機、通信制御等を行うコンピュータのみであり扱いやすいコンパクトな路側器の仕様(重量・サイズ・消費電力・熱対策)を狙い易い。その結果、設置を含めたコストの低減にもつながる可能がある。さらに、セルラー通信機一体型のセンサの開発等で、設置の簡易化や低コスト化の工夫も盛り込める可能性がある。

センタ処理方式においては、一部の路側器あるいは一部の交差点の処理負荷が一時的に高まるような場面において、サーバ側の処理でリソース(コンピューティング・メモリ等)を必要な路側器の処理に割り振ることも可能であり、システム全体のリソースを最適化することが出来る。また、サーバにセンサ生データが収集されるためいかなる解析処理・アプリケーションもサーバ側で実行可能であり、時代や社会ニーズに応じたセンサデータの利用も可能になる。

センタ処理方式ではサーバにセンサの生データをアップロードするため、通信データが大きくなる。通信データの増大は、ネットワーク整備コストの増加、通信コストの増加等を招く恐れがある。また、サーバへのデータ転送に伴うオーバヘッドが必ず入るため、低遅延配信の観点では路側処理方式より不利となる。許容遅延時間の観点から交通円滑化等のユースケースへの使用は問題ないが、さらに遅延センシティブなユースケースを適用する場合は、伝送するセンサデータの適切な圧縮等を検討し可能な限り通信負荷を低減することや、通信の優先制御やネットワークスライシングの導入等を検討し可能な限り通信遅延を低減すること等が必要となる。

5.2. 中域サーバの設置基準・諸元

中域サーバの設置諸元および設置基準を検討する際、対応すべき対象エリアの範囲、車両台数に基づき、中域サーバの性能要件、サーバスペック（主にサーバリソース）を検討する必要がある。なお、設置諸元についてはサーバのスペックについて検討が必要であり、設置基準については運用を考慮した検討が必要となる。

今回、設置諸元を考える上で、サーバのリソース、特にCPU使用率・メモリ使用率・ディスクI/Oの使用状況について評価、考察を行った。ただしディスクI/Oについては、検証結果から設置基準の検討に効いてこない（主にログ出力時に使用するため、ほぼ横ばいの値になる）ことが確認出来たため、対象外とする。また、中域サーバは車両が移動する先の状況を広く（複数の狭域サーバの情報）連続的に認知し、配信対象車両に対してリアルタイムの配信を行う必要がある。そのため、セルラーネットワークを介した通信を想定し、また中域サーバはエリアが限定されないクラウドサービスを活用して構築することが望ましい。

今回、試験用に構築した中域サーバ（仮想サーバ）のスペックについては、付属資料Mに示す。

中域サーバの場合、1 車両につき 1 アプリケーションが起動する仕様としており、付属資料 H に記載のスペック（vCPU8core、メモリ 32GB）の場合、アプリケーションが使用するサーバリソースを考慮した場合、最大で 60 台の同時処理が可能である。

先に記載した通り、中域サーバにおいては、車両が移動する先の状況を広く（複数の狭域サーバの情報）連続的に認知し、配信対象車両に対してリアルタイムの配信を行う必要がある。対象の配信車両台数が増えることで、サーバへの負荷も配信車両台数に比例して線形的に増加する。

一例として、東京 23 区に中域サーバを設置することを検討する場合は、東京 23 区の 1 区辺りの平均面積は 27km^2 であり、最大車両台数は 11,394 台と想定される。その場合、最低で vCPU1520core、メモリ約 6080GB が必要となる。

※今回試験用に用意したサーバスペックの仮想マシンが 190 台必要となる換算

設置基準については、実装する上で地理的条件をどのように考慮するべきか検討する必要があるが、先に述べたように、セルラーネットワークを介したクラウドサービスを使うことを想定した場合は、アクセスする場所に制約は無いため、地理的条件について特段考慮の必要性は無いと考えられる。

なお、クラウドサービスにおけるインスタンスタイプは、目的に応じたリソースをスケールすることが可能であるが、複数の仮想サーバを構築する場合、想定している仮想メモリよりもメモリ消費率が激しくなることでメモリの不足や、仮想化ソフトのオーバーヘッドが大きくなることで想定された十分な性能が出なくなる可能性があり、仮想マシン間の接続構成を緻密に設計する必要があるなど、注意する点もある。また、物理サーバの障害によってすべの仮想マシンの動作が停止してしまうリスクがあるため、冗長構成を検討する必要がある。高性能なスペックの仮想マシンを用意する必要があるなど、冗長構成を検討した場合、その分コストの増加を招くことになるが、安定したリアルタイム配信を実現させるためには、余裕をみたスケールでスペックを設計する必要がある。

6. その他

6.1. 通信メディア

＜実装上の参考事項＞

・将来的な画像・センサの高解像度化やリアルタイム性の高い走行支援等の用途拡大を見据え、路側システムを構築する際には、それぞれの通信メディアの特徴に適した用途に合わせて使用すること。

6.2. 検知センサ

＜実装上の参考事項＞

・交差点周辺における遮蔽等の対策として、各センサの特徴を生かしつつ精度や信頼性を高める必要があるため、各センサのコストを加味した上で種別や設置数を最適化すると共に、実交差点の道路形状等を踏まえて設置場所や設置高を検討した上で実装することが望ましい。

・歩行者や自転車が携帯する端末については、GNSS 測位の高精度化が必要であるため、定点からの位置補正情報配信といった測位誤差を補償する仕組みの導入を検討した上で、路側システムを設計、実装することが望ましい。

付属資料 E. エリア別配信制御アルゴリズムの例

図 E-1 に配信制御の手法について例を示す。配信制御は、統合処理と、配信エリアの限定の組み合わせにより実現した。

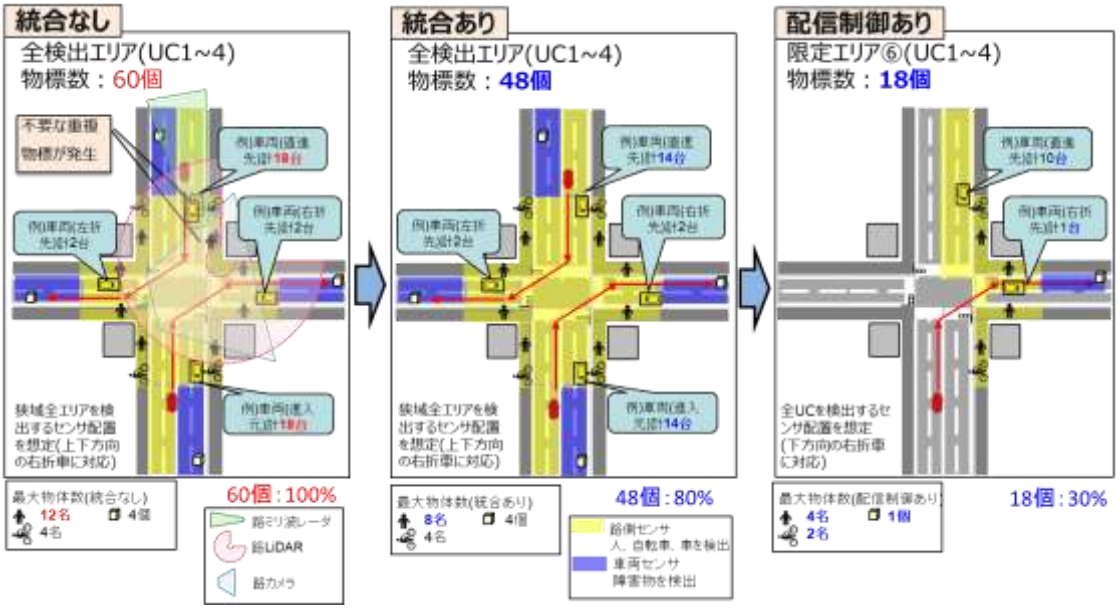


図 E-1　配信制御手法の例

図 E-2 に配信エリアの限定について、アルゴリズム例の概要を示す。配信車両の車両位置情報、及び進行経路情報を元に配信エリアを決定する。

最初に、交差点内を車道や歩道等のエリアによって分けそれぞれ ID を割り振り、各エリア ID は緯度経度座標と対応付けを行っておく。現在位置する交差点、次の交差点、次の次の交差点の 3 カ所の CPR を用いて表した進行経路毎に、エリア ID を定義したテーブルを用意しておき、配信時に車両の進行経路を元にテーブルを参照することで物標を配信するエリアを限定する。

次に、交差点地形を考慮して配信角度を設定しておく。配信車両の走行位置情報から車両の位置座標、及び方位を元に、設定した配信角度を適用して配信エリア内で対象となる物標情報の抽出を行った。

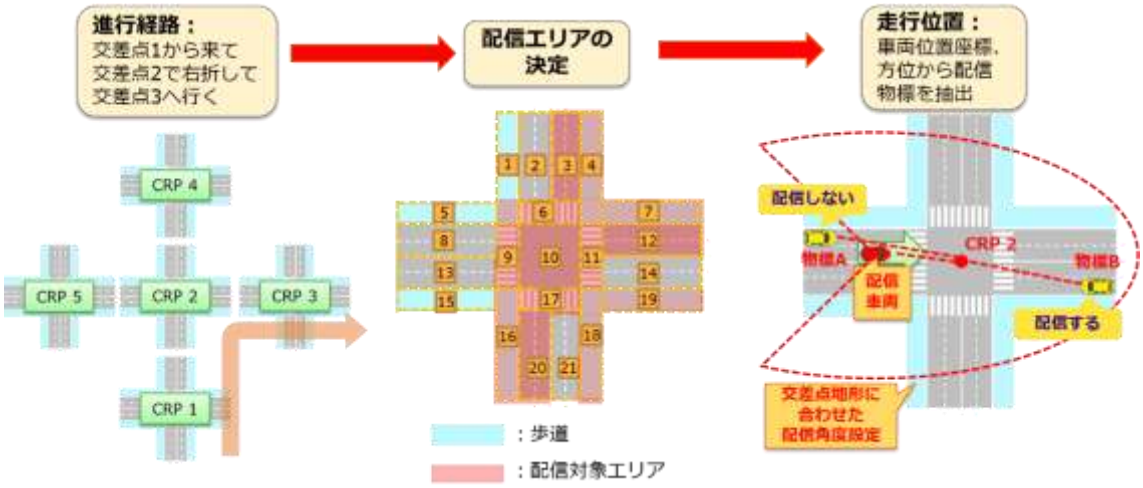


図 E-2　配信エリア限定のアルゴリズム例の概要

付属資料 F.　エリア指定配信方式の実現手法

配信する物標情報の範囲は車両前方の矩形の範囲とし、矩形の 1 辺の長さは車両が 1 分間で進む距離とする。

矩形の 1 辺の長さ(m)＝車両の速度(km/h)÷60

ただし、矩形の 1 辺の長さの下限は 200m(車両の速度が 12km/h)とする。

車両の位置を基準に、車両前方の矩形の座標を算出する。
計算方法は、サーバ負荷やスループットへの影響を鑑み、以下の簡易計算式で算出する。

【インプット情報】
出発点緯度(度:10 進法)
出発点経度(度:10 進法)
目標点距離(m)
目標点方位(度:0～360:度数法　北:0 度)

【計算式】
緯度方向の移動距離 = 目標点距離 ＊Cos(**目標点方位** ＊ 円周率 / 180)
1m 当たりの緯度の変化量(度数法) = 360 / (2＊ 円周率 ＊ 赤道半径(6378150))
到着点緯度 = 出発点緯度 +(緯度方向の移動距離 ＊1m 当たりの緯度の変化量)
経度方向の移動距離 = 目標点距離 ＊Sin(目標点方位 ＊ 円周率 / 180)
1m 当たりの経度の変化量(度数法) = 360 / (2＊ 円周率 ＊(赤道半径(6378150)＊Cos(到着点緯度 ＊ 円周率 / 180)))
到着点経度 = 出発点経度 +(経度方向の移動距離 ＊1m 当たりの経度の変化量)

四辺の座標算出が必要なため、以下の図 F-1 四辺の座標算出方法のように算出する。
図 F-1 は矩形の 1 辺が、1km の場合で、距離の計算(1km→500m)が 1 回、方位の計算が 2 回(進行方向は計算不要)のため、演算コスト低下が見込める。

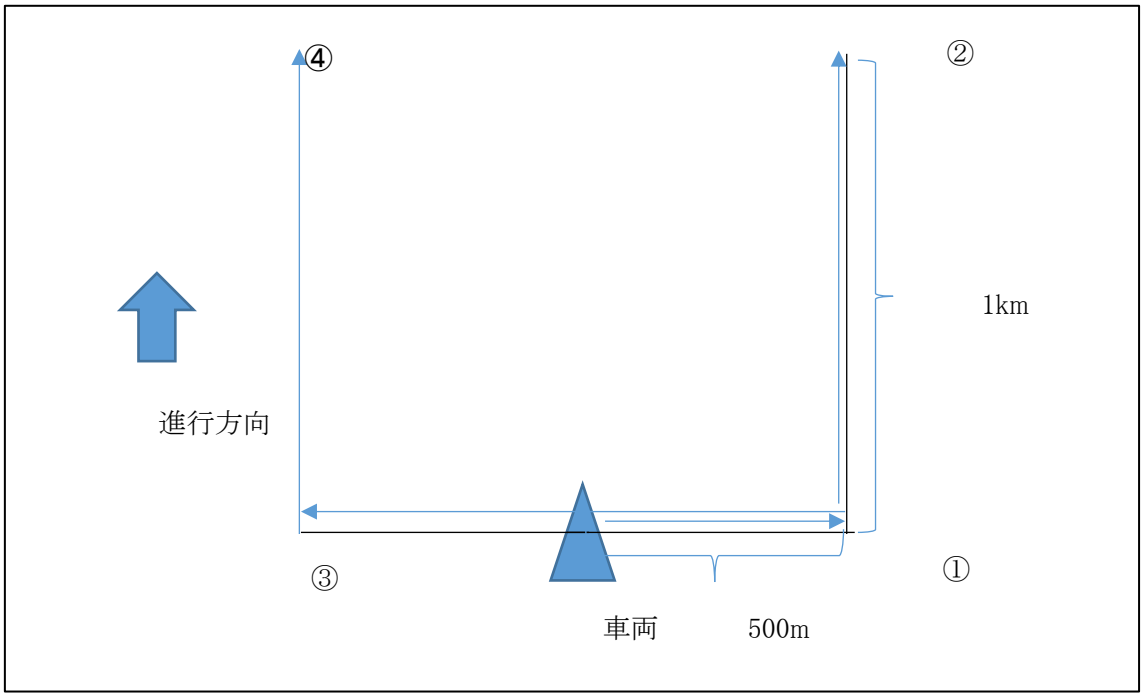


図 F-1 四辺の座標算出方法

四辺の座標は以下の順で算出する。

①の座標を以下の設定情報で算出する。

【インプット情報】

出発点緯度:対象車両の緯度

出発点経度:対象車両の経度

目標点距離:矩形の一辺の長さ÷2

目標点方位:対象車両の方位＋90 度 （目標点方位は 0～360 度の範囲を指定するので、加算した結果が 360 度を超えた場合は 360 度減算する）

②の座標を以下の設定情報で算出する。

【インプット情報】

出発点緯度:①の緯度

出発点経度:①の経度

目標点距離:矩形の一辺の長さ

目標点方位:対象車両の方位

③の座標を以下の設定情報で算出する。

【インプット情報】

出発点緯度:①の緯度

出発点経度:①の経度

目標点距離:矩形の一辺の長さ

目標点方位:対象車両の方位＋270 度(目標点方位は 0～360 度の範囲を指定するので、加算した結果が 360 度を超えた場合は 360 度減算する)

④の座標を以下の設定情報で算出する。

出発点緯度:③の緯度

出発点経度:③の経度

目標点距離:矩形の一辺の長さ

目標点方位:対象車両の方位

付属資料 G.　車線指定配信方式の実現手法

車両前方の矩形の範囲内の基準点と、基準点に紐づく車両進行方向の車道リンク上の物標情報を配信する。

矩形の 1 辺の長さは車両が 1min で進む距離とする。

矩形の算出方法は付属資料 F. エリア指定配信方式の実現手法と同じ。

基準点および車道リンクは、高精度 3 次元マップを利用する代わりに、静的地図情報として中域サーバ内の基準点情報テーブルおよび車道リンク情報テーブルに保持する。

各テーブルの詳細については、表 G-1 基準点情報のエンティティおよび表 G-2 車道リンク情報のエンティティを参照のこと。

表 G-1 基準点情報のエンティティ

項番	論理名	物理名	型	桁数	説明
1	基準点 ID	ID	文字		一意キー
2	位置情報	GNSS_INFO	数値		基準点位置 座標
3	高度	ALTITUDE	数値		
4	位置(地理空間)	LOCATION	地理空間ポイント		空間検索用カラム
5	可視化 UI 座標 X	LOCATE_X	数値		可視化 UI で基準点マップを生成する際に使用する座標
6	可視化 UI 座標 Y	LOCATE_Y	数値		可視化 UI で基準点マップを生成する際に使用する座標
7	車道リンク存在フラグ_北	NORTH_ROADWAY	フラグ		北方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
8	車道リンク存在フラグ_南	SOUTH_ROADWAY	フラグ		南方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
9	車道リンク存在フラグ_東	EAST_ROADWAY	フラグ		東方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
10	車道リンク存在フラグ_西	WEST_ROADWAY	フラグ		西方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
11	車道リンク存在フラグ_北東	NORTHEAST_ROADWAY	フラグ		北東方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ

項番	論理名	物理名	型	桁数	説明
12	車道リンク存在フラグ_北西	NORTHWEST_ROADWAY	フラグ		北西方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
13	車道リンク存在フラグ_南東	SOUTHEAST_ROADWAY	フラグ		南東方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
14	車道リンク存在フラグ_南西	SOUSEWEST_ROADWAY	フラグ		南西方向に車道リンクが存在するかどうかを示すフラグ
15	基準点セット ID	CRP_SET_ID	文字		可視化 UI で表示する基準点を識別するための ID

表 G-2 車道リンク情報のエンティティ

項番	論理名	物理名	型	桁数	説明
1	車道リンク ID	LINK_ID	文字		
2	基準点 ID(始点)	CRP_O	文字		始点となる基準点の ID
3	基準点 ID(終点)	CRP_D	文字		終点となる基準点の ID

車道リンクは始点と終点となる基準点を持ち、一方通行の道路を省き、車線数に関係なく上下線で一組とし、同一の車道リンク ID を持たせることで紐づける。

基準点と車道リンクのデータ構造のイメージを、以下の図 G-1 基準点と車道リンクのデータ構造に示す。

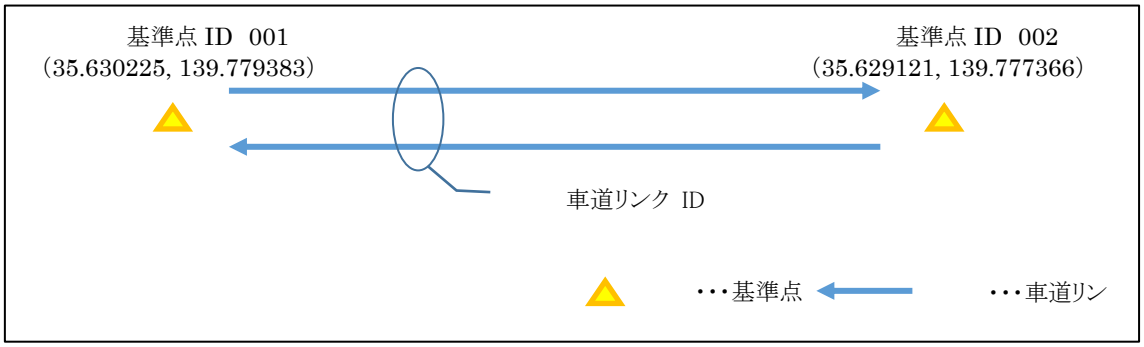


図 G-1 基準点と車道リンクのデータ構造

配信対象の車両情報から走行中の車道リンクの始点と終点または基準点を開始点として、基準点情報テーブルおよび車道リンク情報テーブルから想定される走行レーンと車両前方の基準点を探索する。

走行中の車道リンクが判明している場合、車道リンク終点の基準点を、車両前方の矩形の範囲内から検索する。

基準点上を走行中および車道リンク終点の基準点が取得できた場合、この基準点を始点とした車道リンクを検索する。このとき、取得済みの車道リンクがあれば、当該車道リンク ID は省く。

取得したすべての車道リンク終点の基準点を、車両前方の矩形の範囲内から検索する。このとき、

取得済みの基準点があれば、当該基準点 ID は省く。

取得したすべての基準点に対し、上記と同じくこの基準点を始点とした車道リンクを検索する（取得済みの車道リンク ID は省く）。

取得したすべての基準点および車道リンク上の物標を、配信物標情報から取得することで、車線を指定した物標情報配信制御を行う。

配信物標情報を取得するタイミングは、想定される走行レーンと車両前方の基準点探索中でも、探索後でもよい。

付属資料 H.　統合処理アルゴリズム

① 統合処理フロー

図 H①-1 に統合処理のフローを示す。次節以降に統合処理の詳細を説明する。

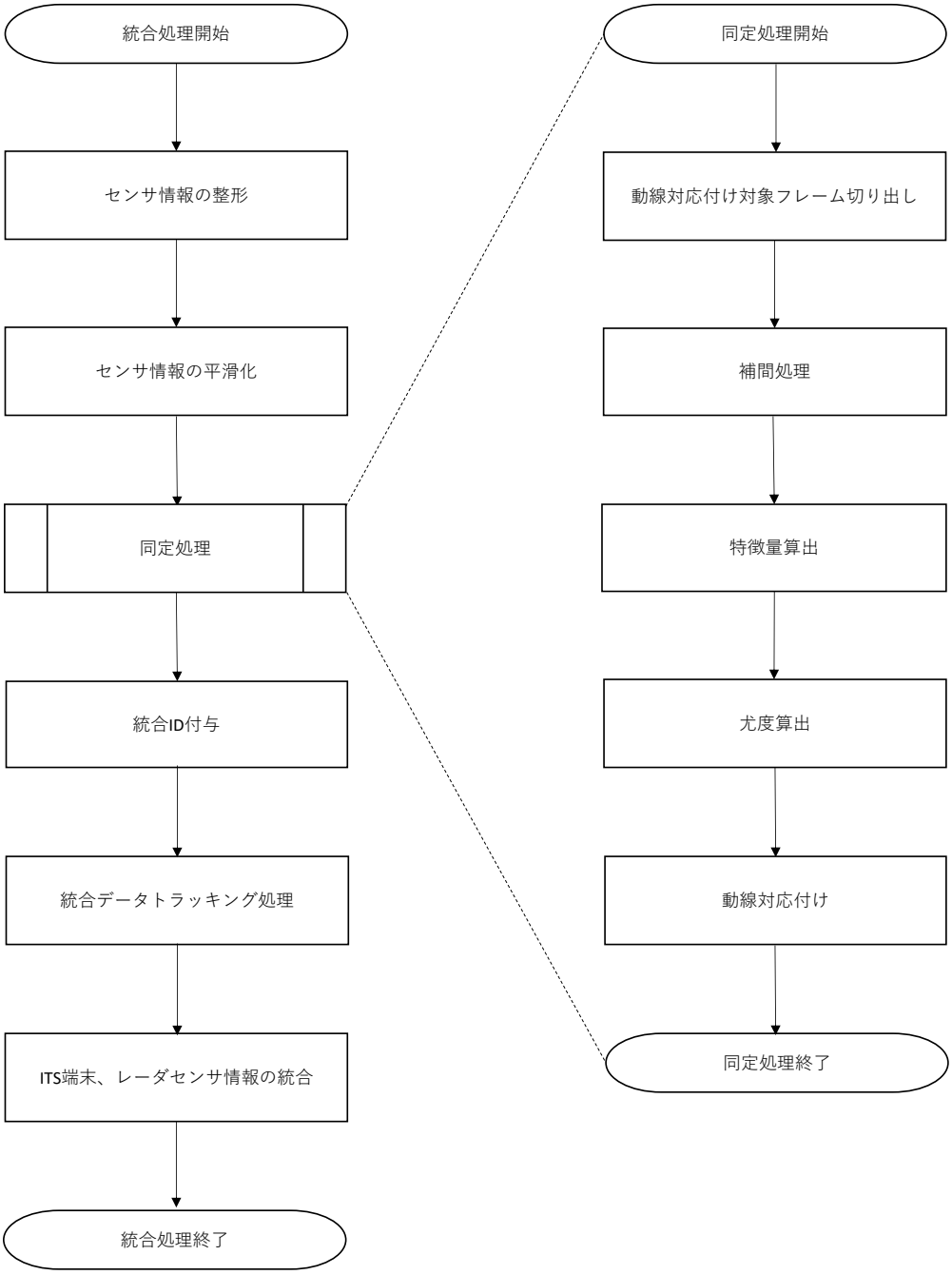


図 H①-1　統合処理フローチャート

② 処理の詳細説明

(1) センサ情報の整形

ITS 通信端末、ミリ波レーダからの情報に対して、過去のデータや不正なデータを破棄する。また、必ずしも時系列で入力されないので、物標 ID 毎にサンプリング時間ごとに時系列に並び替えの処理を行う。

本処理では、物標 ID/サンプリング時刻毎に並んだ、物標種別、位置情報、移動方向、速度が出力される。

(2) センサ情報の平滑化

雑音を含んだ、位置情報、速度、移動方向に平滑化処理を行う。ここでは、特異な値の影響を減らすのに有効な中央値による平滑化を用いた。図 H②(2)-1 に中央値による平滑化の概念を示す。

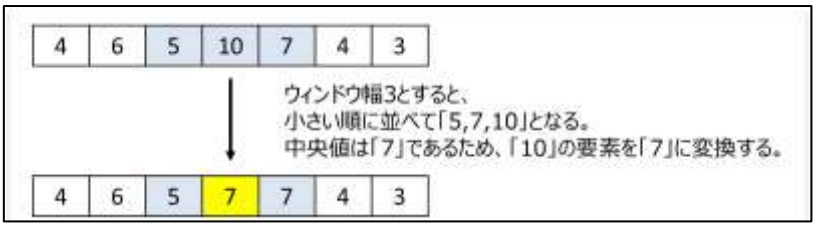


図 H②(2)-1　中央値による平滑化の概念

(3) 動線対応付けに使用する対象フレーム、参照フレームの情報切り出し

動線対応付けに使用するデータを、対象フレーム、参照フレームに切り出す処理を行う。図 H②(3)-1 に統合処理の実行タイミング、対象フレーム、参照フレームの関係を示す。統合処理は実行タイミングの時、最新の対象フレームだけでなく、過去の参照フレームも使うことで、軌跡も考慮して動線対応付けを行う。

以下の図では実行タイミング3の時に使用する対象フレーム、参照フレームの関係を示している。

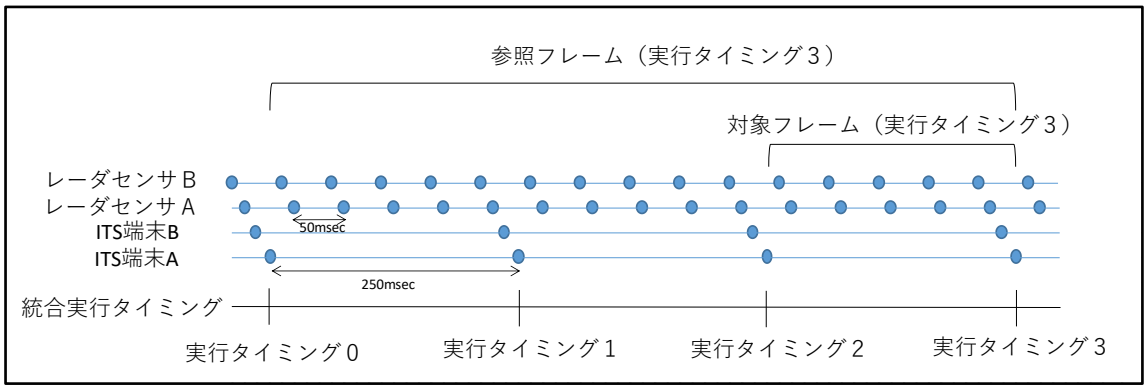


図 H②(3)-1　統合処理の実行タイミング、対象フレーム、参照フレームの関係

(4) 特徴量算出

本節では特徴量算出方法について説明する。

(i) 補間処理

基準となる動線(ITS 通信端末)のタイミングに、他の動線のタイミングを合わせる処理を行う。

基準となる動線とは、サンプリング周期が長いセンサの動線とする。なお、既に同定処理によって求められた動線は、そちらを基準動線となる。

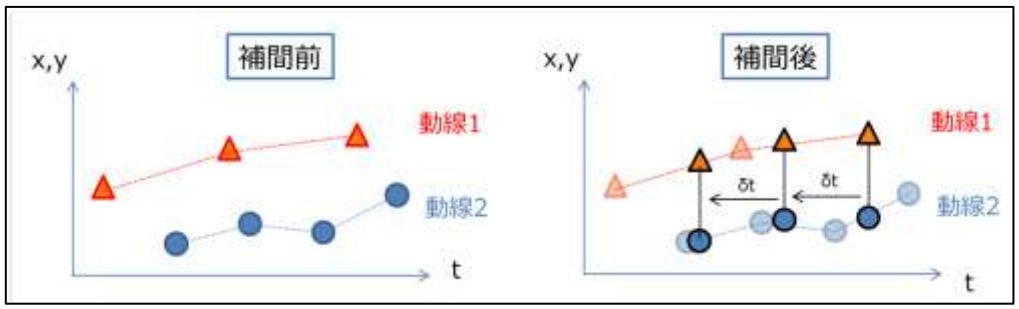


図 H②(4) (ⅰ) -1　　補間処理概念

(ii) 特徴量計算

物標種別毎、実行タイミング T の対象フレーム、参照フレーム動線データを入力とし、時刻 T における基準動線とその他の動線同士の特徴量を出力する。

本処理では、対象フレーム、参照フレームの「平均距離」、「平均 cos 類似度」を計算する。それぞれについて次に説明する。

(a) 平均距離

対応する動線同士は、長期的に座標値の近い状態が続くと考えられる。時刻 t における①ITS 通信端末の動線と②ミリ波レーダの動線の座標から 2 点間の距離を計算し、対応する区間の参照フレーム、対象フレームのそれぞれの平均距離を求める。図 H②(4)(ⅱ)(a)-1 に平均距離の算出方法の概念を示す。

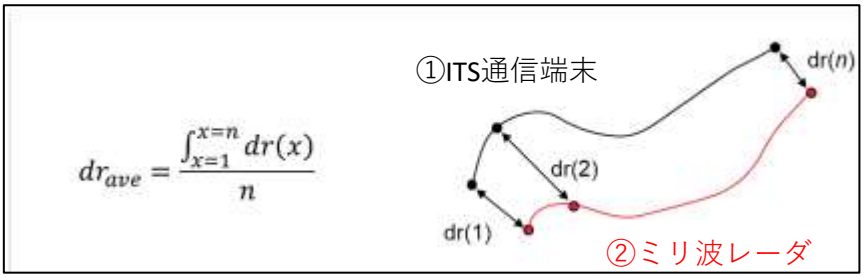


図 H②(4) (ⅱ) (a)-1 平均距離の算出方法の概念

(b) cos 類似度

対応する動線同士は、動線を構成している位置情報の時間的変化(動き)が類似したものになると考えられる。時刻 t におけるセンサ①の動線とセンサ②動線のベクトルから 2 ベクトル間の cos を

計算し、対応する全区間の平均値を求める。図 H②(4)(ⅱ)(b)-1 に COS 類似度の算出方法の概念を示す

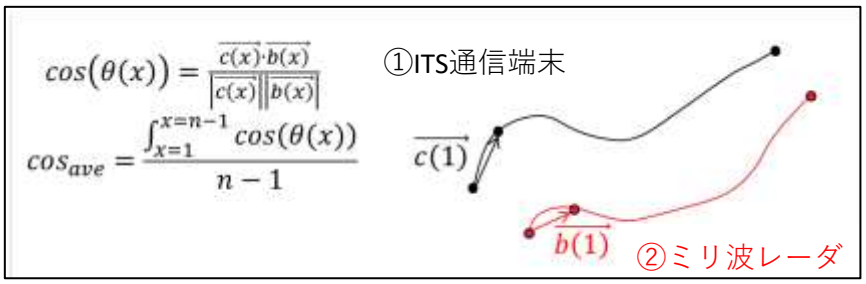


図 H②(4)（ⅱ）(a)-1　COS 類似度の算出方法の概念

(5) 尤度算出

特徴量「参照フレームの平均距離」「対象フレームの平均距離」「参照フレームの平均 cos 類似度」から全体尤度への変換を以下の手順で行う。

1. 特徴量「参照フレームの平均距離」「対象フレームの平均距離」「参照フレームの平均 cos 類似度」を、それぞれ尤度に変換する。

2. 1.で算出した各尤度の重み付き加算を全体尤度とする。

1.について、特徴量から各尤度への変換手法を図 H②(5)-1 に示す。参照フレームの平均距離に関する尤度 E_{sd} は、動線間距離が近いほど 1 に近い尤度をもつ。また、ある一定のしきい値以上の距離の動線に対しては $E_{sd} = 0$ とする。参照フレームの平均 cos 類似度に関する尤度 E_{sc} は、cos 類似度が高いほど 1 に近い尤度をもつ。ある一定のしきい値以下の cos 類似度の動線に対しては $E_{sc} = 0$ とする。対象フレームの平均距離に関する尤度 E_d は、動線間距離が近いほど 1 に近い尤度をもつ。

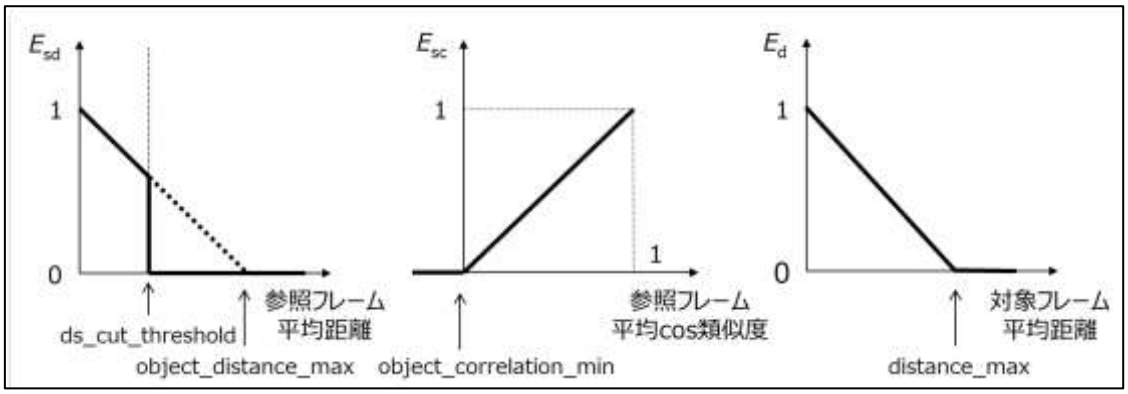


図 H②(5)-1 特徴量から尤度への変換イメージ

2 について、1 で算出した各尤度を下式によって重み付き加算をとり、全体尤度 E に変換する。ただし参照フレームの平均距離に関する尤度 $E_{sd} = 0$ の場合は $E = 0$ とする。

尤度は以下の式で求めることができる。

$E = \alpha E_{sd} + \beta E_{sc} + \gamma E_{d}$

本尤度を動線の対応付けを行う ITS 通信端末の物標とミリ波レーダの物標の全ての組み合わせについて求める。

(6) 動線対応付け（同定）

(5)で算出した ITS 通信端末の物標と各ミリ波レーダの物標 ID の尤度において、最大となる尤度を求め、その最大尤度が同定閾値を超えるたら、ITS 通信端末の物標とミリ波レーダの物標の組み合わせを同一物標（同定）判定とする。

1つの ITS 通信端末の物標 ID は1つのミリ波レーダの物標 ID のみ同定判定をするが、1つのミリ波レーダの物標 ID は複数の ITS 通信端末の物標 ID と同定を可能とし、ミリ波レーダで発生する複数の物標が重ねって 1 つの物標に見えるオクルージョンの場合でも、同定判定することが可能となる。

また、同定された物標 ID の尤度に対して、同定解除閾値を下回るときは同定解除を行う。

(7) 統合 ID 付与

ITS 通信端末、ミリ波レーダのエリア検知を跨いでも、シームレスな物標 ID を実現するために、統合処理部で新規に統合 ID を付与する。なお、同定できていない物標 ID についても、シームレスな物標 ID を実現するために統合 ID を付与する。

(8) 統合データトラッキング処理

統合 ID が付与された物標 ID に対してトラッキング処理を行う。

統合 ID に関連付けられている、ITS 通信端末、ミリ波レーダの物標 ID の情報があったら当該統合の信頼度を増やしサンプル時間、位置、速度、移動方向を更新し、なかったら信頼度を減らす。

信頼度が 0 になった場合は、統合 ID に関連付けされている物標 ID から削除し、関連付けされている物標 ID 全てなくなったら統合 ID を削除する。

(9) ITS 通信端末、ミリ波レーダ情報の統合

ITS 通信端末とミリ波レーダから入力される、物標種別、位置、速度、移動方向、時間を統合して、統合出力を求める。統合の方法をいかに記載する。

・物標種別：ITS 通信端末の種別を用いる。
・位置：ミリ波レーダの位置を用いる。
・速度：ITS 通信端末の速度を用いる。
・移動方向：ITS 通信端末の移動方向を用いる。
・時間：対象フレーム内の最新の時間を用いる。

付属資料 I.　統合処理アルゴリズムの例（ミリ波レーダ、LiDAR、カメラ）

図 I-1 にミリ波レーダ、LiDAR、カメラの統合処理アルゴリズム例の概要を示す。異なるセンサで検知した物体を同定・統合する処理の流れは以下の通りである。まず各センサでの検知処理で得た物標をデータベースに出力する。図 I-1 の例では車両 1 台と歩行者 2 名を各センサで検知したと仮定している。このとき各センサは非同期のため物標感知時刻には時刻ズレが含まれ、さらに各センサの物標位置にも通常は位置ズレがある。次の統合処理ではまずデータベース内の物標から最新の感知時刻を持つ物標を選択し、現在時刻を基準に一定以内の時刻ズレに収まる物標を有効な統合可能対象とする。続けて、各センサの物標が同一物体であるかを同定するために、物標間のユークリッド距離を算出し、距離が閾値以内でかつ最も近い物標同士を対応付ける。すなわち、検知位置が一定程度近い物標は同一物体であると推定している。最後に、対応付けた各センサの物標から、精度が高く優先すべき値を選択し統合物標の代表値として採用する。例えば、ミリ波レーダと LiDAR の物標が対応付けば LiDAR の検知位置の方が高い精度を期待できるので LiDAR を優先する。以上の統合処理を 100ms 周期で実行する。

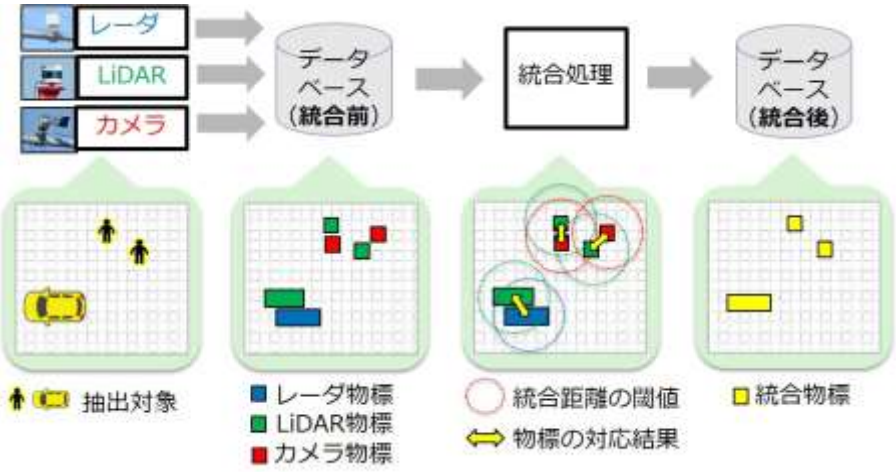


図 I-1 複数センサの統合処理の概要

図 I-2 に統合処理全体の処理フローを示す。統合処理の内部では、各センサの検知物標同士を同定し紐づいた結果を統合物標として管理しており、統合物標には紐づいた検知物標の ID が登録されている。また、他の物標と同定されていない単独の検知物標についても単独統合物標として管理される。一度統合物標が生成されるとその統合物標は次のフレームに引き継がれ、次のフレームで統合物標に紐づいた検知物標 ID と同じ ID を持つ検知物標が新たにセンサから得られれば、統合物標の値をそのセンサの値で更新する。

検知物標 ID がどの統合物標にも紐づいていない場合、検知物標に対して同定処理が実行され、他のセンサの物標との新規紐づけを行う。同定処理について図 I-3 に処理フローを示す。なお、図中に登場するユークリッド距離の閾値は、本実証では 5m を採用した。

統合物標の数値の更新に当たっては、統合物標と紐づいた検知物標のうち、優先度の高いセンサの検知物標の値を採用する。本アルゴリズムにおいては、表 I-1 中に示すように、物標の各数値に対して各センサの優先順位を設定し、最良の精度が期待できるセンサ情報を優先的に採用することとした。なお、同種センサ同士を統合する場合は、時刻が最新の方の情報を優先して採用することとした。

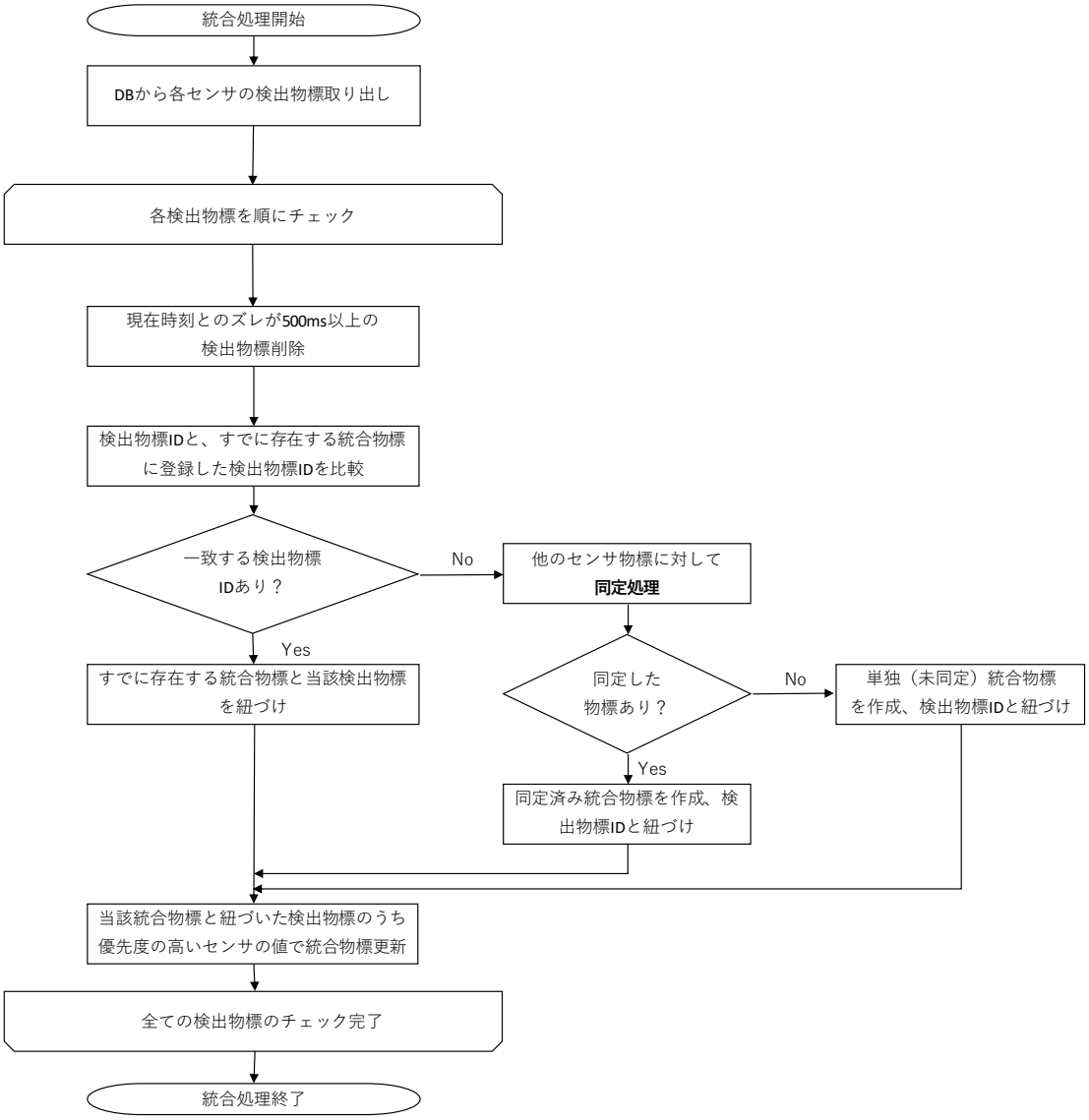


図 I-2　統合処理全体の処理フロー

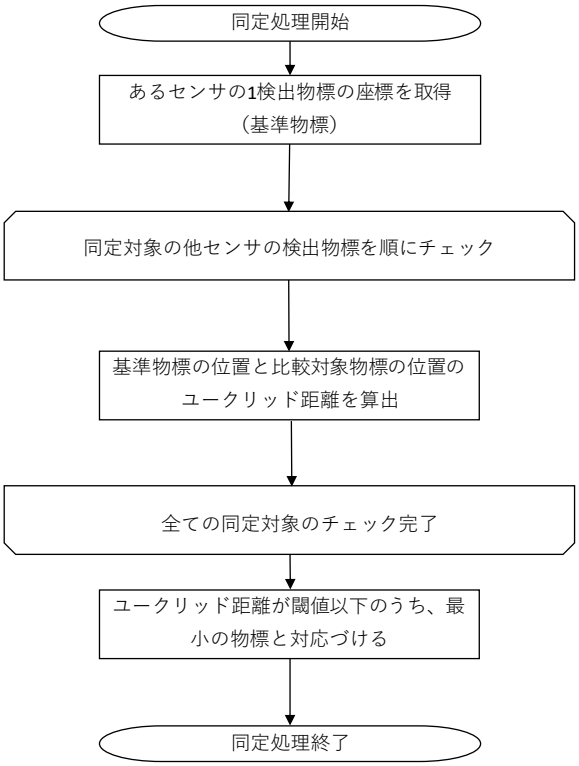


図 I-3　同定処理の処理フロー

表 I-1　物標数値を更新する際の各センサ情報の優先順位

物標に含まれる数値項目	統合後の各センサ優先順位
物体の位置	LiDAR ＞ ミリ波レーダ ＞ カメラ
物体の種別	カメラ ＞ LiDAR ＞ ミリ波レーダ
物体の速度	LiDAR ＞ ミリ波レーダ ＞ カメラ
物体の進行方向	LiDAR ＞ ミリ波レーダ ＞ カメラ
物体のサイズ	LiDAR ＞ ミリ波レーダ
歩行者の身体の向き	カメラのみ

付属資料 J.　統合処理アルゴリズムの例（ミリ波レーダ、LiDAR）

図 J-1 に示す狭域エッジサーバにおける一連の処理において、受信した複数の物標情報は、データ抽出、同一判定処理及び同一化処理により統合される。まず、受信バッファに格納された物標情報の各センサにおける取得時刻とデータ抽出時刻、すなわち受信バッファの確認時刻を比較し、時刻の差が一定時間以下である物標情報のみを選定する。続いて抽出した物標情報に対して同一の物標を示すデータが複数存在するかを判定する。さらに同一判定したデータに対して、同一化処理を実施する。これら統合処理は 100ms 周期で実行される。

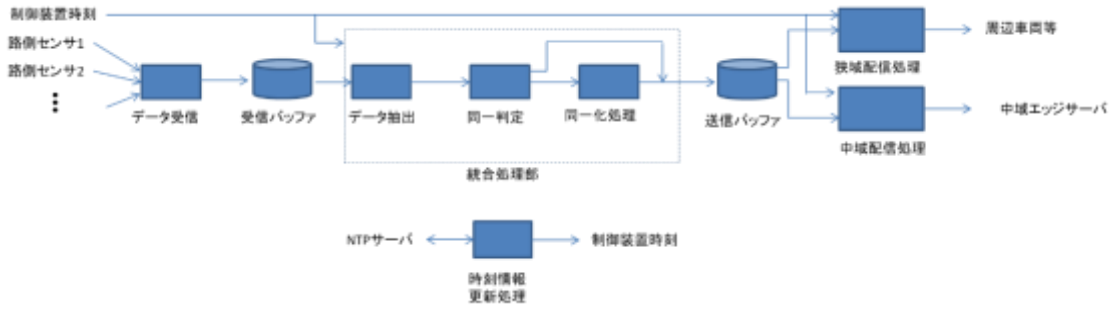


図 J-1　狭域エッジサーバにおける処理の流れ

① データ抽出処理

路側センサから送信される物標情報を受信すると、狭域エッジサーバはそれらを受信バッファに格納する。本処理ではこの受信バッファを一定周期毎に監視し、バッファ内の情報が更新されたことを検出すると、現在時刻から 200ms 以内に受信した最新の物標情報を抽出し、同一判定処理に送信する。路側センサと狭域エッジ装置のデータ送受、データ抽出のタイミングを図 J-2 に示す。このようにすることで、複数の路側センサの物標情報のタイミング同期を実施している。

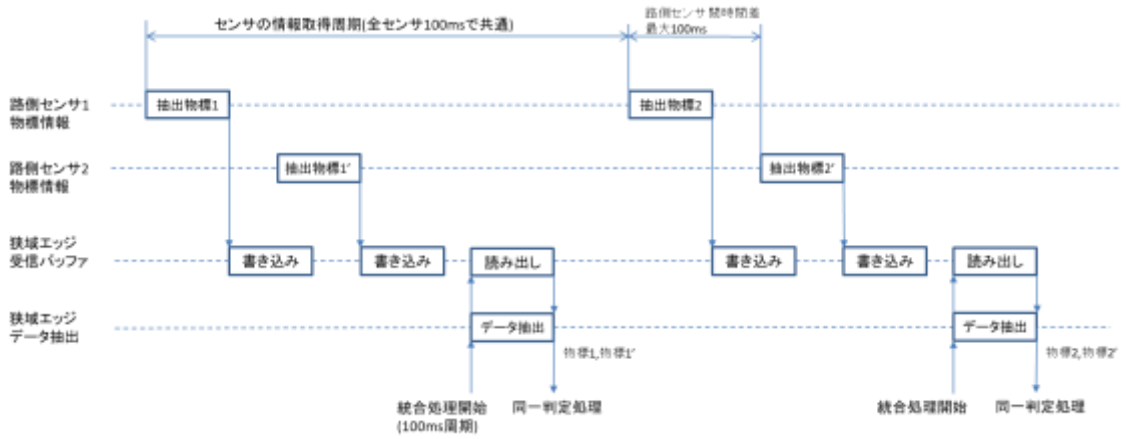


図 J-2　データ送受信および抽出処理のタイミングチャート

② 同一判定処理

本処理ではまず、路側センサから取得したすべての物標情報に対して、図 J-3 に示すように、位置情報とサイズ情報に基づき、物標の外形情報を生成し付加する。外形情報は、同図(b)のように直方体の頂点情報で構成される（同図では簡単のため 2 次元の矩形領域として表現)。

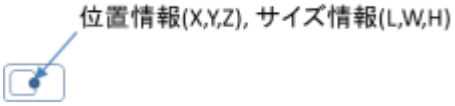
次に、外形情報を使用した重なり判定を実施し、重なっている場合は同一物体に対する物標情報であると判定し、同一 ID 値を割り当てる（例えば、図 J-4 の(b)の車両 2、車両 4 のようなケース)。これにより、図 J-4 の(b)の車両 3 のようにあるセンサが物体の一部のみを抽出している場合でも同一判定を行うことができる。

③ 同一化処理

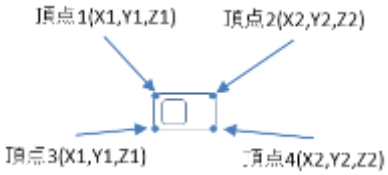
本処理は、重複のある物標情報を使用して、一つの物標情報を生成する。このために、同一判定処理により付加された外形情報を使用する。

まず、複数の物標情報から、外形情報を構成する頂点情報を抽出し、これらの頂点情報を包含する最小の直方体領域を計算する。次に、この直方体領域の頂点情報の中点を算出して位置情報とし、また、直方体領域の各辺の長さをサイズ情報とする。最後にその他の情報をもとの物標情報から取得して一つの物標情報を生成し、統合処理結果として出力する。

これらの処理により、図 J-4 の(a)に示す配置の車両が同図(c)のように表現され、車両 2、車両 4 についての物標情報の冗長性が削除される。また、車両 3 のように、一つのセンサによる抽出情報が遮蔽の影響を受けて実際とは異なる物標情報を出力していた場合でも、他のセンサの情報を統合することによって実物に近い物標情報を再現することが可能となる。

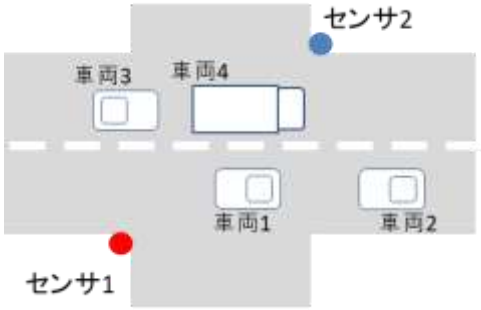


(a) 位置情報とサイズ情報による物標表現

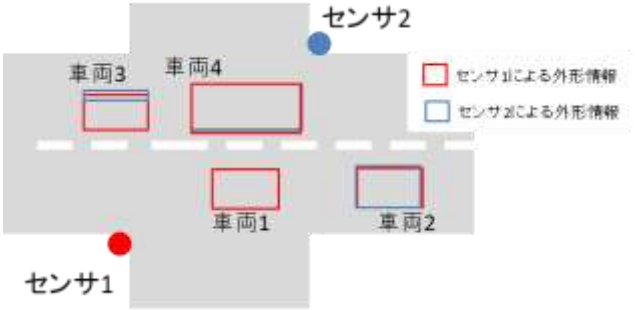


(b) 外形情報による物標表現

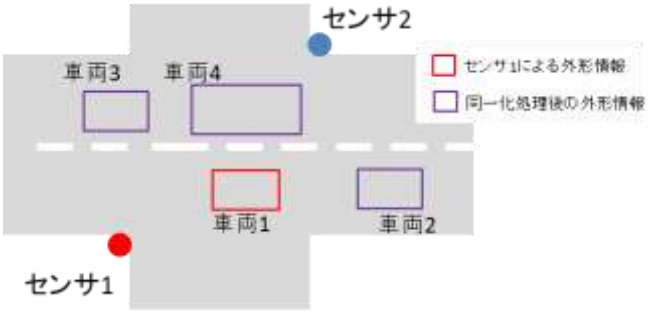
図 J-3　物標表現



(a) 車両配置例



(b) 同一判定処理



(c) 同一化処理

図 J-4　統合処理例（同一判定・同一化処理）

位置やサイズ、外形情報による物標表現とそれらの統合処理について説明したが、路側センサとして特長が異なる LiDAR 及びレーダを組合せにより、速度情報も含めた物標情報の精度向上が期待できる。すなわち、高い距離・角度分解能の LiDAR と、検知と同時に速度情報が直接得られるレーダの物標情報を統合することで、位置（又はサイズ、外形）および速度の精度がともに高い物標情報を生成し、カルマンフィルタによるトラッキング等のその後の処理の性能向上に寄与する。

なお、統合処理を含む狭域エッジサーバにおける一連の処理は、時刻情報に基づいて行われるため、高い時刻精度が要求される。これを達成するため路側センサおよび狭域エッジサーバはともに NTP サーバと接続し、各制御装置のシステム時刻を NTP サーバが提供する高精度時刻に合わせる時刻情報更新処理を統合等の一連処理と並列して実施する。

付属資料 K.　狭域エッジサーバのスペック例１

表 K-1 狭域エッジサーバスペック例：センタ処理方式（セルラ通信）

項目	仕様等
狭域エッジサーバ装置　機能	抽出処理（LiDAR、カメラ、ミリ波レーダ）、統合処理、DB 管理、車両情報収集、物標情報配信
ハードウェア構成	ワークステーション PC、ストレージ、GPU 各 1 台以上 PC スペック例： CPU 動作周波数：3.7GHz CPU コア数：8 コア／16 スレッド メモリ：32GB DB ストレージ例： SSD：1TB GPU 例： Tensor 演算性能：112TFLOPS メモリ：16GB

※本研究開発では、株式会社 NTT ドコモが提供するクラウド dOIC（ドコモオープンイノベーションクラウド）上に仮想的に狭域サーバを構築している。

付属資料 L. 狭域エッジサーバのスペック例 2

表 L-1 狭域エッジサーバスペック例：路側処理方式（ミリ波通信）

項目		仕様等
狭域エッジサーバ装置	機能	物標統合、DB 更新読出、配信制御
	ハードウェア構成	汎用的な PC とストレージ各 1 台以上 PC スペック例: CPU クロック/メモリ 1.9GHz/32GB DB ストレージ例: SSD 1TB
路側インフラ装置 A	機能	センサデータ収集、物標配信
	検知センサ	ミリ波レーダ（79GHz 帯, ARIB STD-T111）
	路路間通信	ミリ波通信機(60GHz 帯, IEEE 802.11ad)
	路車間通信	ミリ波通信機(60GHz 帯, IEEE 802.11ad)
路側インフラ装置 B	機能	センサデータ収集
	検知センサ	ミリ波レーダ（79GHz 帯, ARIB STD-T111）
	路路間通信	ミリ波通信機(60GHz 帯, IEEE 802.11ad)
移動端末装置	機能	端末測位、無線接続
	検知センサ	GNSS 受信機

表 L-2 狭域エッジサーバスペック例：路側処理方式（DSRC/セルラ）

項目		仕様等
狭域エッジサーバ装置	機能	統合処理、DB 管理、物標情報配信
	ハードウェア構成	AI エッジコンピュータ 1 台以上 スペック例: CPU：4 コア／1.6GHz メモリ：DDR3L 4GB ストレージ：32GB（eMMC）／ SDXC（UHS-I）×1
路側インフラ装置 A （狭域エッジサーバ側）	機能	センサデータ収集、物標配信
	検知センサ	360° LiDAR、長距離 LiDAR、79GHz レーダ
	無線通信	ITS FORUM RC-015 のうち、ITS FORUM RC-005 参照方式、又は LTE V2X 参照方式（路車間通信、路路間通信）

路側インフラ装置 B （交差点対角）	機能	センサデータ収集
	検知センサ	360° LiDAR、長距離 LiDAR、79GHz レーダ
	無線通信	ITS FORUM RC-015 のうち、ITS FORUM RC-005 参照方式、又は LTE V2X 参照方式（路路間通信）
（車載機）	機能	車両測位、無線接続
	検知センサ	GNSS 受信機
	無線通信	ITS FORUM RC-015 のうち、ITS FORUM RC-005 参照方式、又は LTE V2X 参照方式（路車間通信）

付属資料 M. 中域サーバのスペック例

表 M-1 中域サーバのスペック例

項目	仕様等	
OS	Ubuntu 18.04.4 LTS	
カーネル	5.3.0-40-generic	
CPU	Intel(R) Core(TM) i9-9900K CPU @ 3.60GHz/8core 16thread	
グラフィックカード	NVIDIA GeForce RTX 2080 (8GB)	
メモリ容量	32GB	
ディスク容量	SSD 1	512GB
	SSD 2	512GB(未使用)
インストール先	インストール先	SSD 1
	パーティション構成	自動構成
	ディスク管理機能	LVM
	ファイルシステム	ext4

以上

付属資料A

IF仕様書
＜情報源　狭域サーバ間＞

案件管理No	
版	更新日付
第1.0版	2020/7/8
第1.01版	2020/7/15
第1.1版	2020/8/25
第1.2版	2021/3/31

NTT docomo

日付	版	変更者	変更内容
2020/07/08	1.0	P村松	・「IF仕様書_情報源_狭域サーバ間_20200526_SEI1_Pana2_20200609.xlsx」をベースに 表紙、更新履歴を追加 ・「IF仕様書(狭域サーバ向け)1.5版.xlsx」のCRP座標系の仕様変更を反映(delta.x,y,h) 「センサー設置位置－基準姿勢」の説明に反映 「座標系」シートの説明に反映 ・項番を先頭からリアサイン
2020/07/15	1.01	P村松	・物標要素に項番を付与していなかったため、 「IF仕様書_情報源_狭域サーバ間_20200707_SEI3.xlsx」と同一になるように修正。
2020/08/25	1.1	P村松	・「情報源・狭域サーバ間」No.64 バイナリデータの備考を下記のように修正 「base64エンコードしたバイナリデータ」 →「バイナリデータもしくはバイナリデータをbase64エンコードした文字列」
2020/08/25	1.2	S黒田	・「情報源・狭域サーバ間」No40 信頼度を下記のように修正 中域の記載内容に合わせて内容を修正

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書　情報源・狭域サーバ間		P村松	2021/03/31

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する（必須：▲で表記）。
物標情報とセンサー情報はどちらか選択して送付する。(両方存在しないケースを許容)

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	必須	値域	デフォルト	説明	備考
1	バージョン	version	数値	●	0～255		メッセージフォーマットのバージョン	1:version1 ※実証実験では常に1
2	センサーID	sensor_id	数値	●	0～(2^31-1)		配信元のセンサーを示す狭域サーバ内ユニークID	実証実験では各社のセンサー毎に空間を分けたい 例） OKI　：10000 + センサー番号 SEI　：20000 + センサー番号 PANA：30000 + センサー番号 ※拡張情報の形式は上記で判別
3	センサー分類	sensor_class	数値	●	0～(2^32-1)		センサーの分類/情報ソース分類	bitmap[0:31]（複数選択可） bit00:GPS（DR,IMU含む） bit01:RGB Camera bit02:LiDAR ※車載LiDARは"From Mobile"も指定 bit03:mmWave Radar bit04:FIR Camera bit05:ITS-CONNECT(V2V) bit06:ITS-CONNECT(I2V) bit07:C-V2X（PC5） bit08:5G/LTE（Cellular） bit09:WiGig bit10:Internet bit11:OEM(Car OEM Data Center) bit12:RFID bit13:DriveRecorder bit14:From Mobile(Car/etc) bit15:Traffic Sign センサーの特性に応じて、 狭域の同定アルゴリズムを変えるための情報
4	センサー更新周期	sensor_interval	数値	●	0～10000		センサーの報告周期	ETSI TS 102 894-2 A.86 DE_TransmissionInterval 単位：1ms 10進法,無効値(追加仕様)：0 同定の物標維持時間/削除/補間等に使用
5	センサー状態	sensor_status	数値		0～1	0	センサーの状態通知	0:正常,1:異常
6	センサーサンプリング時刻	sampling_time	数値		0～(2^63-1)	0	センサーからサンプリングしたGPS時刻（LSB1ms） time_assignが1の場合、ローカル時刻	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
7	センサー送信時刻	send_time	数値		0～(2^63-1)	0	センサー情報を狭域サーバに送信したGPS時刻（LSB1ms） time_assignが1の場合、ローカル時刻	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
8	時刻付与指定	time_assign	数値		0～1	1	受信時に狭域サーバでGPS時刻を付与する指定	0:時刻付与無し、1:時刻付与有り 送信側にGPS時刻が無い場合に、受信側で付与する機能。 1の場合、sampling_time,send_timeを狭域サーバで 受信した時刻(received_time)で補正する。 計算式: new_sampling_time=received_time -(send_time-sampling_time) new_send_time=received_time
9	シーケンス番号	sequence	数値		0～(2^31-1)	0	シーケンス番号	送信毎にインクリメントするカウンタ
10	物標情報	object	配列		ー	物標無しと	物標情報	
11	物標要素						物標要素	
12	物標ID	id	数値	●	0～(2^63-1)		物標を一意に識別するID	
13	物標種別	object_type	数値	●	0～4		物標の種別	0～4（他 0:車両、1:自転車、2:歩行者、 3:障害物、4:その他
14	位置座標	coordinate	ハッシュ	▲	ー			
15	緯度	latitude	数値	▲	-900000000～900000001		緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法,無効値：900000001
16	経度	longitude	数値	▲	-1800000000～1800000001		経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法,無効値：1800000001
17	高度	altitude	数値	▲	-100000～800001		高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 10進法,無効値：80001
18	基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	▲	ー			ISO 17572-4 2020 Table E.1
19	基準点	crp	文字列	▲	ZZZZZZZZZZ		CRPのID ※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
20	変位x	x	数値	▲	-32768～32767		CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
21	変位y	y	数値	▲	-32768～32767		CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
22	変位h	h	数値		-32768～32767	null	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
23	基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	▲	ー			ISO 17572-4 2020 Table E.2
24	基準点（始点）	crp_o	文字列	▲	ZZZZZZZZZZ		CRPのID ※桁数は仮置き 実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
25	基準点（終点）	crp_d	文字列	▲	ZZZZZZZZZZ		CRPのID ※桁数は仮置き 実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
26	基準点（始点）からの 距離比率	offset_distance	数値	▲	0～10000		基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
27	オフセット方向	offset_direction	数値	▲	-90～90		リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90

28			オフセット距離	length	数値	▲	0～32767		リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
29			レーン番号	lane	数値		0～14	null	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
30		移動方向		direction	数値	●	0～3601		方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
31		速度		speed	数値	●	0～16383		速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec 無効値：16383
32		識別情報		object_status	数値		0～3	null	物標の状態	0～3(他予備) 0:停車、1:滞留、2:事故 3:その他
33		最も外側のレーン番号		outermost_lane	数値		-1～14	null	物体が存在する(またがる)レーンのうち、 最も外側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン （検討中）1つのレーンのみに存在する場合は、 外側と内側に同じ値をセット
34		最も内側のレーン番号		innermost_lane	数値		-1～14	null	物体が存在する(またがる)レーンのうち、 最も内側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
35		物体の向き		pose	数値		0～3601	null	方位 人間の体の向き、車両の前方方向などを示す。 物体のサイズの情報から、占有領域を算出可能	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
36		物体のサイズ		size	ハッシュ			null		
37			物体サイズ：横幅	size_width	数値		0～1023	1023	物体の前方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
38			物体サイズ：奥行	size_length	数値		0～1023	1023	物体の側方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
39			物体サイズ：高さ	size_height	数値		0～1023	1023	物体の高さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
40		信頼度		quality	数値		0～7	null		ETSI TS 102 894-2 A.45 InformationQuality unknown(0), lowest(1), highest(7)

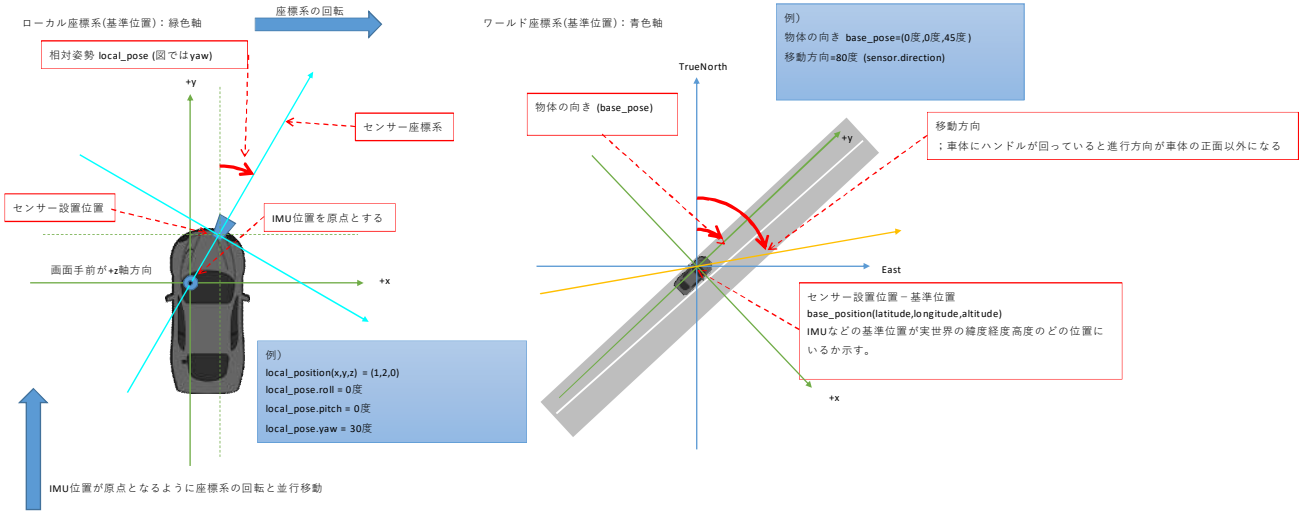
41			物標拡張情報	ext	ハッシュ			null	拡張情報(物標毎)	共通IF未定義の固有情報、任意のJSONObject/Array ※デバッグ情報や、詳細情報など
42	センサー情報			sensor	ハッシュ			null		
43		センサー設置位置－基準位置		base_position	ハッシュ			null	路側：センサーの設置位置 車両：GPSアンテナまたはIMUの位置 (上記のどちらかは、sensor_classで判断)	物標要素の位置座標と同じ
44				latitude	数値	●				
45				longitude	数値	●				
46				altitude	数値	●				
47		センサー設置位置－基準姿勢		base_pose	ハッシュ			null	基準位置を原点に、真北軸(y)、東軸(x)、鉛直上軸(z) を基準としたローカル座標系のy,x,z軸の回転角	右ネジの進む回転方向を(roll,pitch:正,yaw:負)とする。 「座標系」を参照
48				roll	数値	●	-18000～18001		x軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 18001
49				pitch	数値	●	-9000～9001		y軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 9001
50				yaw	数値	●	0～36001		z軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 36001
51		センサー設置位置－基準位置からの相対位置		local_position	ハッシュ			null	車両などローカル座標系でのIMUなど基準位置からの相対位置 地面を基準にした設定高	
52				x	数値	●	-18000～18001		x軸相対位置	単位0.001m,無効値 18001 (18メートル程度)
53				y	数値	●	-18000～18001		y軸相対位置	単位0.001m,無効値 18001
54				z	数値	●	-18000～18001		z軸相対位置	単位0.001m,無効値 18001
55				h	数値	●	-18000～18001		設置高	単位0.001m,無効値 18001
56		センサー設置位置－相対姿勢		local_pose	ハッシュ			null	ローカル座標系の軸回りの回転角	右ネジの進む回転方向を(roll,pitch:正,yaw:負)とする。 「座標系」を参照
57				roll	数値	●	-18000～18001		x軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 18001
58				pitch	数値	●	-9000～9001		y軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 9001
59				yaw	数値	●	0～36001		z軸回りの回転角	単位0.01deg,無効値 36001
60		移動方向		direction	数値	●	0～3601		方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
61		速度		speed	数値	●	0～16383		速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec 無効値：16383
62		バイナリコンテンツ情報		binary_content_type	文字列			null	バイナリのデータ型	binary_reference_idの参照先もしくは binary_dataに格納されているデータ型 HTTPのMIMEタイプ相当 "image/jpeg"
63		バイナリリファレンスID		binary_reference_id	文字列			null	リファレンスID	binary_dataにデータを格納せずにJSON外で データを別送するときの参照ID UUIDなどユニークID 例)REST multipartでJSON+[ID,バイナリ]xN送信
64		バイナリデータ		binary_data	バイナリ/文字列			null	バイナリデータ	バイナリデータ もしくはバイナリデータをbase64エンコードした文字列
65	拡張情報			sensor_ext	ハッシュ			null	拡張情報(全体)	共通IF未定義の固有情報、任意のJSONObject/Array ※デバッグ情報や、詳細情報など

センサー設置位置－基準位置

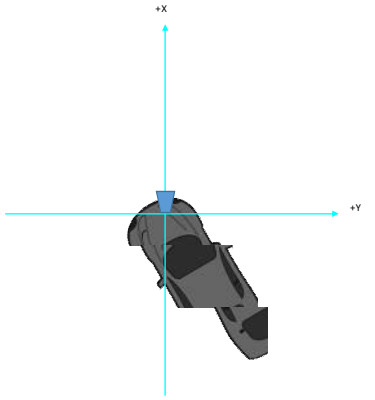
・路側の場合　：　ローカル座標系のy,z軸方向とワールド座標系の真北、鉛直上方向が一致　(base_pose=(0,0,0))

・車両の場合　：　ローカル座標系のy,z軸方向とワールド座標系の真北、鉛直上方向がbase_poseだけ回転している

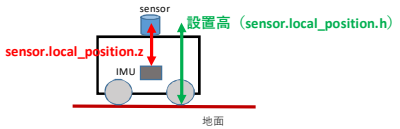
例;2次元で考えた場合



センサー座標系：水色軸



設置高



3次元で考えた場合

ローカル座標系の軸についてセンサーの姿勢は

local_pose.roll : y軸回りの回転角　　（右ネジの進む回転方向をプラスとする）

local_pose.pitch : x軸回りの回転角　　（右ネジの進む回転方向をプラスとする）

local_pose.yaw : z軸回りの回転角　　（右ネジの進む回転方向を**マイナス**とする）

を前提として、ローカル座標系のy軸の単位ベクトルu(0,1,0)と

ローカル座標系のz軸の単位ベクトルv(0,0,1)を

ロール・ピッチ・ヨーの順番に回転してできたベクトルと

センサーの設置姿勢が一致するものとする。

（uをセンサーの視線方向、vをセンサーの視線方向に垂直な面の上方向を示すベクトルとする）

付属資料B

IF仕様書
＜狭域サーバ向け＞

案件管理No	
版	更新日付
第1.0版	2020/3/16
第1.1版	2020/3/26
第1.2版	2020/5/8
第1.3版	2020/5/21
第1.4版	2020/6/3
第1.5版	2020/7/2
第1.6版	2020/8/20
第1.7版	2020/11/19
第1.8版	2021/3/31

NTT docomo

目次

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的
１．２　機能概要
１．２．１　物標情報収集
１．２．２　物標情報配信制御

２．転送方式

２．１　サーバ構成
２．２　伝送プロトコル

３．物標情報収集

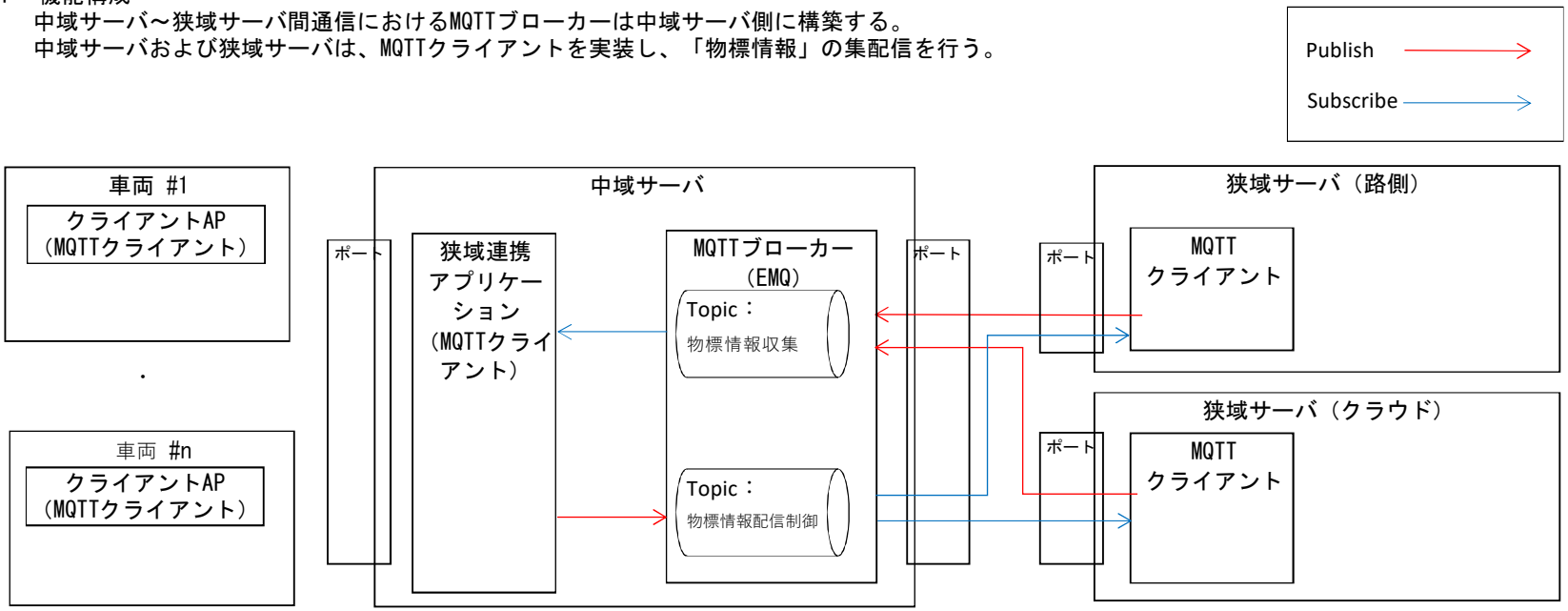
３．１　フォーマット

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	２．転送方式	丸山	2020/05/27

２．転送方式

２．１　機能構成

中域サーバ～狭域サーバ間通信におけるMQTTブローカーは中域サーバ側に構築する。
中域サーバおよび狭域サーバは、MQTTクライアントを実装し、「物標情報」の集配信を行う。



２．２　伝送プロトコル

中域サーバ～狭域サーバ間における接続方式は、「MQTT V3.1」および「MQTT V3.1.1」に準拠する。
本節では、システム固有の設定内容について記述する。

（１）MQTTブローカパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Retain	なし	トピックごとの最新メッセージ保存可否
2	Will	なし	Publisher切断時のSubscriberへの通知要否
3	最大メッセージサイズ	64kb	※最大256MB　転送データ量の検証結果により変更の可能性がある

（２）コネクトパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	接続先ホスト名	ssl://xxx.xxx.xx.x	狭域サーバホスト名（TCP）（IPアドレスは別途提示）
2	MQTTユーザー名	mqtt	
3	MQTTパスワード		※別途ご連絡いたします
4	MQTTポート番号	8883	MQTT接続ポート（SSL/TLS）
5	Websocketポート番号	9090	※Websocketを利用する場合
6	コネクションタイムアウト	90	単位：秒　※参考値
7	キープアライブ間隔	90	単位：秒　※参考値

（３）物標情報収集パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic（第一階層）	MIDDLEAREA	宛先（中域サーバ固定）
2	Topic（第二階層）	004	エリアID　中域（中域⇔狭域）固定
3	Topic（第三階層）	00000001	個体ID　狭域サーバ番号：00000001～（00000000は予約）
4	Topic（第四階層）	OBJECT	メッセージ種別　固定
5	QoS	0	※新しい物標情報を優先するため0を想定 Publishメッセージの送達保証レベル 0：メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1：メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2：メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	0	無効 ※最後にPublishされたメッセージを保存しない

（４）物標情報配信制御パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic(第一階層)	NARROWAREA	宛先(狭域サーバ固定)
2	Topic(第二階層)	004	エリアID　中域(中域⇔狭域)固定
3	Topic(第三階層)	00000001	個体ID　狭域サーバ番号:00000001～(00000000は予約)
4	Topic(第四階層)	CONTROL	メッセージ種別　固定
5	QoS	1	Publishメッセージの送達保証レベル 0:メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1:メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2:メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	1	有効 ※最後にPublishされたメッセージを保存する

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	１．目的と概要	丸山	2020/07/02

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的

中域サーバから狭域サーバへ物標情報配信を制御するためのインターフェース仕様および、狭域サーバから中域サーバが収集する物標情報のインタフェース仕様について規定する。

１．２　機能概要

中域サーバ～狭域サーバ間のインタフェースにおける機能概要を以下に示す。

１．２．１　物標情報収集

・中域サーバは、狭域サーバから物標情報を収集する。
・物標情報には一意となる「物標ID」を付与すること。
・静止体は存在する間送信を維持すること。
・移動体において、同一「物標ID」が維持できない場合は、新たな「物標ID」を付与すること。
・中域サーバ→狭域サーバ間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。
・物標情報の収集間隔は、物標情報配信制御に従うこと。
・1回の送信で同一「物標ID」の物標が複数存在する場合、最新の物標情報のみ送信すること。

１．２．２　物標情報配信制御

・中域サーバは、狭域サーバへ物標情報配信間隔を配信する。
・中域サーバ→狭域サーバ間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	３．物標情報収集	丸山	2021/03/31

３．物標情報収集

３．１　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する（必須：▲で表記）。

３．２　レイアウト

項番	項目名（和名）			項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	狭域サーバID			narrowarea_id	数値	9	23	●	1～ 99999999	配信元の狭域サーバを示すユニークID	
2	狭域送信時刻			narrowarea_sendtime	数値	9	29	●	0～ 9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を送信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
3	物標情報			object	配列	1	9		－	物標情報	
4		物標情報		info	ハッシュ	1	6		－	物標情報1件分の単位	
5			物標ID	id	数値	9	12	●	0～ 9223372036854775807	物標を一意に識別するID	
6			情報取得時間	object_gettime	数値	9	24	●	0～ 9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を取得した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
7			物標種別	object_type	数値	1	13	●	0～13	狭域サーバにて判定した物標の種別	ETSI TS 102 894-2 A.78 DE_StationType 0:不明、1:歩行者、2:自転車、3:原付、4:オートバイ、5：乗用車、6：バス、7：軽トラック、8：大型トラック、9：トレーラー、10：特殊車両、11：路面電車、12：路側機、13：障害物（追加）
8			位置座標	coordinate	ハッシュ	1	12	▲	－		
9				緯度 latitude	数値	5	14	▲	-900000000～ 900000000	緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
10				経度 longitude	数値	5	15	▲	-1800000000～ 1800000000	経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
11				高度 altitude	数値	5	14	▲	-100000～800001	WGS84座標系の高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 無効値：800001
12			基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	1	7	▲	－		ISO 17572-4 2020 Table E.1
13				基準点 crp	文字列	12	15	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
14				変位x x	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
15				変位y y	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
16				変位h h	数値	3	5		-32768～32767	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
17			基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	1	10	▲	－		ISO 17572-4 2020 Table E.2
18				基準点（始点） crp_o	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
19				基準点（終点） crp_d	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
20				基準点（始点）からの距離比率 offset_distance	数値	3	19	▲	0～10000	基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
21				オフセット方向 offset_direction	数値	2	19	▲	-90～90	リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90
22				オフセット距離 length	数値	3	10	▲	0～32767	リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
23				レーン番号 lane		1	6		0～14	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
24			移動方向	direction	数値	3	13	●	0～3601	方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
25			速度	speed	数値	3	9	●	0～32767	速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec
26			識別情報	object_status	数値	1	15		0～4	物標の状態	0～4　走行中の車両は4:その他 0：不明、1:停車、2:滞留、3:事故、4:その他
27			最も外側のレーン番号	outermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も外側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
28			最も内側のレーン番号	innermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も内側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
29			物体の向き	pose	数値	3	8		0～3601	方位 人間の体の向き、車両の前方方向などを示す。 物体のサイズの情報から、占有領域を算出可能	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
30			物体のサイズ	size	ハッシュ	1	6				
31				物体サイズ：横幅 width	数値	3	9		0～1023	物体の前方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
32				物体サイズ：奥行 length	数値	3	10		0～1023	物体の側方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
33				物体サイズ：高さ height	数値	3	10		0～1023	物体の高さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
34			信頼度	quality	数値	1	9		0～7		ETSI TS 102 894-2 A.45 InformationQuality unknown(0), lowest(1), highest(7)
						75 80 91	262 237 291				

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	４．物標情報配信制御	丸山	2020/05/21

４．物標情報配信制御

４．１　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする

４．２　レイアウト

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	中域送信時刻	middlearea_sendtime	数値	9	29	●	0～ 9223372036854775807	中域サーバにて物標情報を送信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
2	配信間隔	interval	数値	4	13	●	0～3600000	物標情報の配信間隔	最大1時間 単位：1ms 配信停止:0
				9	29				

付属資料C

IF仕様書
＜車載端末向け（対狭域サーバ間）＞

案件管理No	
版	更新日付
第1.0版	2020/3/16
第1.1版	2020/3/26
第1.2版	2020/5/22
第1.3版	2020/6/3
第1.4版	-
第1.5版	2021/3/31

NTT docomo

日付	版	変更者	変更内容
2021/03/31	1.5	S黒田	・「４．物標情報配信」No34 信頼度を下記のように修正 中域の記載内容に合わせて内容を修正

目次

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的
１．２　機能概要
１．２．１　車両情報収集
１．２．２　物標情報配信
１．２．３　狭域サーバ配信支援

２．転送方式

２．１　サーバ構成
２．２　伝送プロトコル

３．車両情報

３．１　フォーマット
３．２　レイアウト

４．物標情報

４．１　フォーマット
４．２　レイアウト

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	１．目的と概要	住友電工	2020/06/10

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的

狭域サーバが車両から送信される車両情報を収集するためのインタフェース仕様および、
狭域サーバより車両へ配信する物標情報のインタフェース仕様について規定する。
本インターフェース仕様について、車両情報収集、物標情報配信のインターフェースは狭域サーバと中域サーバ間、中域サーバと車両間を参考に作成し、今後も修正予定。

１．２　機能概要

狭域サーバ～車載機間のインタフェースにおける機能概要を以下に示す。

１．２．１　車両情報収集

・狭域サーバは、車両から受け取った車両情報を狭域サーバに蓄積する。
・車両→狭域サーバ間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。
・車両情報の送信間隔は1s(車両側の設定により変更可)とする。

１．２．２　物標情報配信

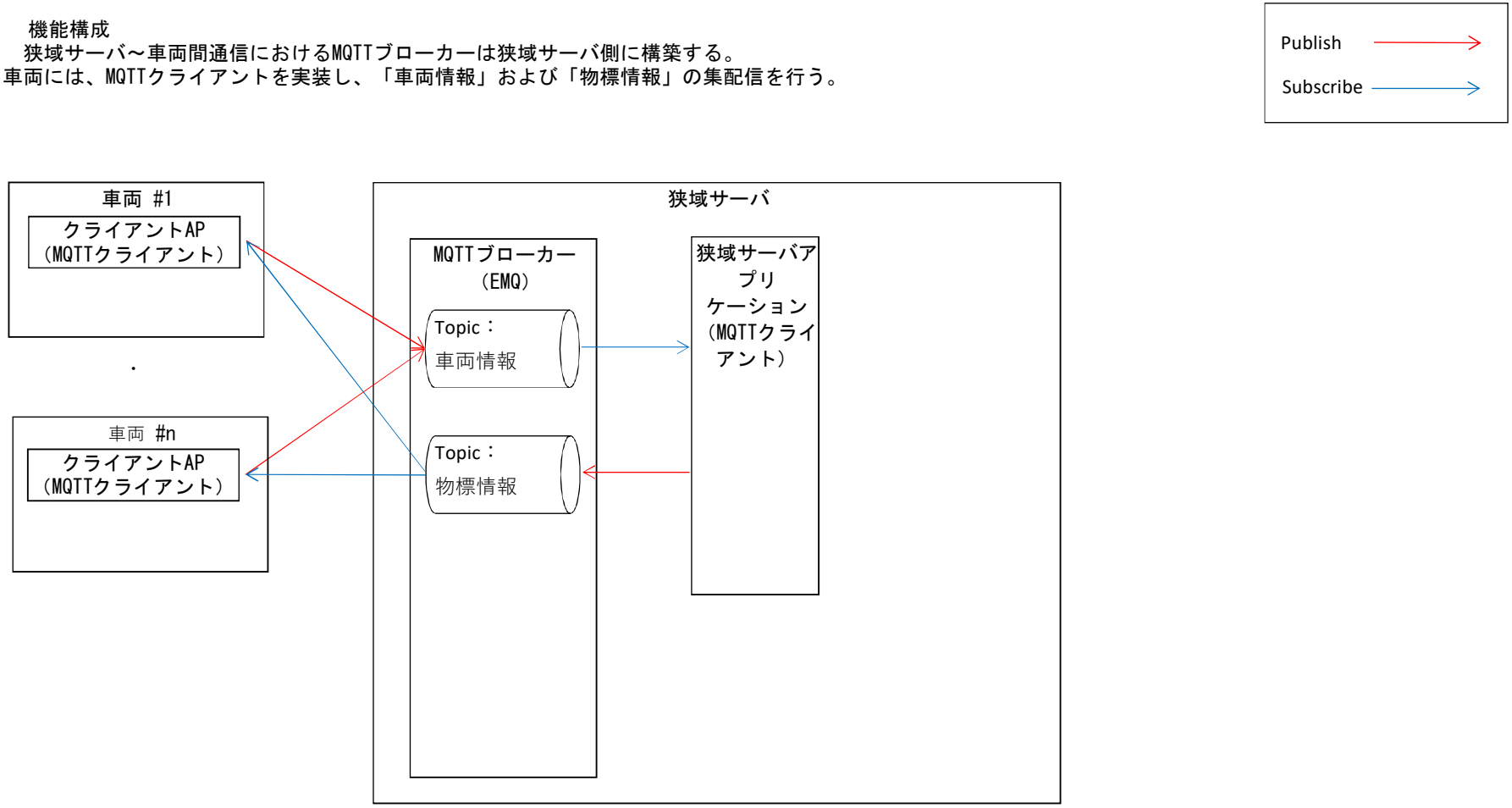
・狭域サーバは、狭域サーバに接続している全ての車両に対して、物標情報を配信する。
・狭域サーバ→車両間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。
・物標情報の送信間隔は1s(狭域サーバ側の設定により変更可)とする。
・車両の位置情報、方位等を基に配信される物標情報の範囲が決定される。（条件は設定により変更可能）
・配信範囲の物標情報が0件の場合、空の配列を送信する。

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	2.転送方式	住友電工	2020/06/10

２．転送方式

２．１　機能構成

狭域サーバ～車両間通信におけるMQTTブローカーは狭域サーバ側に構築する。
車両には、MQTTクライアントを実装し、「車両情報」および「物標情報」の集配信を行う。



２．２　伝送プロトコル

狭域サーバ～車両間における接続方式は、「MQTT V3.1」および「MQTT V3.1.1」に準拠する。
本節では、システム固有の設定内容について記述する。

（１）MQTTブローカパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Retain	なし	トピックごとの最新メッセージ保存可否
2	Will	なし	Publisher切断時のSubscriberへの通知要否
3	最大メッセージサイズ	64kb	※最大256MB　転送データ量の検証結果により変更の可能性がある

（２）コネクトパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	接続先ホスト名	ssl://xxx.xxx.xx.x	狭域サーバホスト名（TCP）（IPアドレスは別途提示）
2	MQTTユーザー名	mqtt	
3	MQTTパスワード		※別途ご連絡いたします
4	MQTTポート番号	8883	MQTT接続ポート（SSL/TLS）
5	Websocketポート番号	9090	※Websocketを利用する場合
6	コネクションタイムアウト	90	単位：秒　※参考値
7	キープアライブ間隔	90	単位：秒　※参考値

（３）車両情報収集パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic（第一階層）	NARROWAREA	宛先（狭域サーバ固定）
2	Topic（第二階層）	TBD	エリアID　狭域（車両⇔狭域）固定
3	Topic（第三階層）	TBD	個体ID　車両番号：00000001～（00000000は予約）
4	Topic（第四階層）	VEHICLEDATA	メッセージ種別　固定
5	QoS	0	※新しい物標情報を優先するため0を想定 Publishメッセージの送達保証レベル 0：メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1：メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2：メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	0	無効 ※最後にPublishされたメッセージを保存しない

（４）物標情報配信パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic（第一階層）	VEHICLE	宛先（車両固定）
2	Topic（第二階層）	TBD	エリアID　狭域（車両⇔狭域）固定
3	Topic（第三階層）	TBD	個体ID　車両番号：00000001～（00000000は予約）
4	Topic（第四階層）	OBJECT	メッセージ種別　固定
5	QoS	0	※配信の仕様に応じてご調整ください Publishメッセージの送達保証レベル 0：メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1：メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2：メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	0	無効 ※最後にPublishされたメッセージを保存しない

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	３．車両情報収集	丸山	2020/06/03

３．車両情報収集

３．１　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する。

３．２　レイアウト

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	車両情報	vehicle	ハッシュ	1	9		ー	車両情報	{"vehicle":{"key":[…]}}
2	キー情報	key	ハッシュ	1	5	●	ー	車両を特定するキー情報	
3	個体ID	private_id	数値	5	16	●	00000001～99999999	車両番号	
4	車両情報送信時間	vehicle_sendtime	数値	9	26		0～ 9223372036854775807	車載機が車両情報を送信した 時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
5	GNSS情報	gnss_info	ハッシュ	1	11		ー	位置情報	
6	位置座標	coordinate	ハッシュ	1	12	▲	ー		
7	緯度	latitude	数値	5	14	▲	-900000000～ 900000000	緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
8	経度	longitude	数値	5	15	▲	-1800000000～ 1800000000	経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
9	高度	altitude	数値	5	14	▲	-100000～800001	WGS84座標系の高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 無効値：800001
10	基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	1	7	▲	ー		ISO 17572-4 2020 Table E.1
11	基準点	crp	文字列	12	15	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
12	変位x	x	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
13	変位y	y	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
14	変位h	h	数値	3	5		-32768～32767	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
15	基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	1	10	▲	ー		ISO 17572-4 2020 Table E.2
16	基準点（始点）	crp_o	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
17	基準点（終点）	crp_d	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
18	基準点（始点）からの距離比率	offset_distance	数値	3	19	▲	0～10000	基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
19	オフセット方向	offset_direction	数値	2	19	▲	-90～90	リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90
20	オフセット距離	length	数値	3	10	▲	0～32767	リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
21	レーン番号	lane		1	6		0～14	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン 14:14番レーン
22	方位	direction	数値	3	13	●	0～3601	方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
23	速度	speed	数値	3	9	●	0～32767	速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec
24	観測時刻	measurement_time	long	9	26	●	0～ 9223372036854775807	GNSS観測時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
25	進行経路情報	route	配列				-		
26	基準点	crp	文字列	12	15		ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
27	拡張情報	ext	ハッシュ	1	5			拡張情報	共通IF未定義の固有情報

4．物標情報配信

4．1　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する。

4．2　レイアウト

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	狭域サーバID	narrowarea_id	数値	9	23	●	0～ 9223372036854775807	配信元の狭域サーバを示すユニークID	
2	狭域サーバ送信時刻	narrowarea_sendtime	数値	9	29	●	0～ 9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を送信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC）からの経過時間（単位：ms）
3	物標情報	object	配列	1	9		－	物標情報	
4	物標情報	info	ハッシュ	1	6		－	物標情報1件分の単位	
5	物標ID	id	数値	9	12	●	0～ 9223372036854775807	物標を一意に識別するID	
6	情報取得時間	object_gettime	数値	9	24	●	0～ 9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を取得した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
7	物標種別	object_type	数値	1	13	●	0～13	狭域サーバにて判定した物標の種別	ETSI TS 102 894-2 A.78 DE_StationType 0:不明、1:歩行者、2:自転車、3:原付、4:オートバイ、5：乗用車、6：バス、7：軽トラック、8：大型トラック、9：トレーラー、10：特殊車両、11：路面電車、12：路側機、13：障害物（追加）
8	位置座標	coordinate	ハッシュ	1	12	▲	－		
9	緯度	latitude	数値	5	14	▲	-900000000～ 900000000	緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
10	経度	longitude	数値	5	15	▲	-1800000000～ 1800000000	経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
11	高度	altitude	数値	5	14	▲	-100000～800001	WGS84座標系の高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 無効値：800001
12	基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	1	7	▲	－		ISO 17572-4 2020 Table E.1
13	基準点	crp	文字列	12	15	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
14	変位x	x	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
15	変位y	y	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
16	変位h	h	数値	3	5		-32768～32767	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
17	基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	1	10	▲	－		ISO 17572-4 2020 Table E.2
18	基準点（始点）	crp_o	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
19	基準点（終点）	crp_d	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
20	基準点（始点）からの距離比率	offset_distance	数値	3	19	▲	0～10000	基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
21	オフセット方向	offset_direction	数値	2	19	▲	-90～90	リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90
22	オフセット距離	length	数値	3	10	▲	0～32767	リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
23	レーン番号	lane		1	6		0～14	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
24	移動方向	direction	数値	3	13	●	0～3601	方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
25	速度	speed	数値	3	9	●	0～32767	速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec
26	識別情報	object_status	文字列	1	15		0～4	物標の状態	0～3(他予備) 0：不明、1:停車、2:滞留、3:事故、4:その他
27	最も外側のレーン番号	outermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も外側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
28	最も内側のレーン番号	innermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も内側のレーン番号 （日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
29	物体の向き	pose	数値	3	8		0～3601	方位 人間の体の向き、車両の前方方向などを示す。 物体のサイズの情報から、占有領域を算出可能	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
30	物体のサイズ	size	ハッシュ	1	6				
31	物体サイズ：横幅	width	数値	3	9		0～1023	物体の前方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
32	物体サイズ：奥行	length	数値	3	10		0～1023	物体の側方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
33	物体サイズ：高さ	height	数値	3	10		0～1023	物体の高さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
34	信頼度	quality	数値	1	9		0～7		ETSI TS 102 894-2 A.45 InformationQuality unknown(0)，lowest(1)，highest(7)
35	配信する物標情報の範囲	distribution_area	配列	1	20		－	車両に物標情報を配信する範囲	試験用の項目 設定により送信しないことも可能
36	座標情報	-	ハッシュ	1	1		－		3角形以上の閉領域を上空から地上を見て時計回りの頂点で定義

37			緯度経度配列			latslons	配列	1	6		ー	数値(緯度経度)配列の配列	
38				緯度経度		-	配列		1*N		ー	緯度経度を格納する数値配列 第一要素に緯度、第二要素に経度を格納	
39					角度	-	数値		5*2*N		緯度:-90000000～900000000 経度:-1800000000～1800000000	緯度または経度の値	単位：0.1マイクロ度
40	拡張情報					ext	ハッシュ	1	5		ー	拡張情報	共通IF未定義の固有情報

付属資料D

IF仕様書
＜車載端末向け＞

案件管理No	
版	更新日付
第1.0版	2020/3/16
第1.1版	2020/3/26
第1.2版	2020/5/22
第1.3版	2020/6/3
第1.4版	2020/7/16
第1.5版	2020/8/4
第1.6版	2020/11/19
第1.7版	2021/1/14
第1.8版	2021/3/31

NTT docomo

目次

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的
１．２　機能概要
１．２．１　車両情報収集
１．２．２　物標情報配信
１．２．３　狭域サーバ配信支援

２．転送方式

２．１　サーバ構成
２．２　伝送プロトコル

３．車両情報

３．１　フォーマット
３．２　レイアウト

４．物標情報

４．１　フォーマット
４．２　レイアウト

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	１．目的と概要	丸山	2020/07/03

１．目的と概要

１．１　本仕様書の目的

中域サーバが車両から送信される車両情報を収集するためのインタフェース仕様および、
中域サーバより車両へ配信する物標情報のインタフェース仕様について規定する。

１．２　機能概要

中域サーバ～車載機間のインタフェースにおける機能概要を以下に示す。

１．２．１　車両情報収集

・中域サーバは、車両から受け取った車両情報を中域サーバに蓄積する。
・車両→中域サーバ間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。
・車両情報の送信間隔は可変とする。

１．２．２　物標情報配信

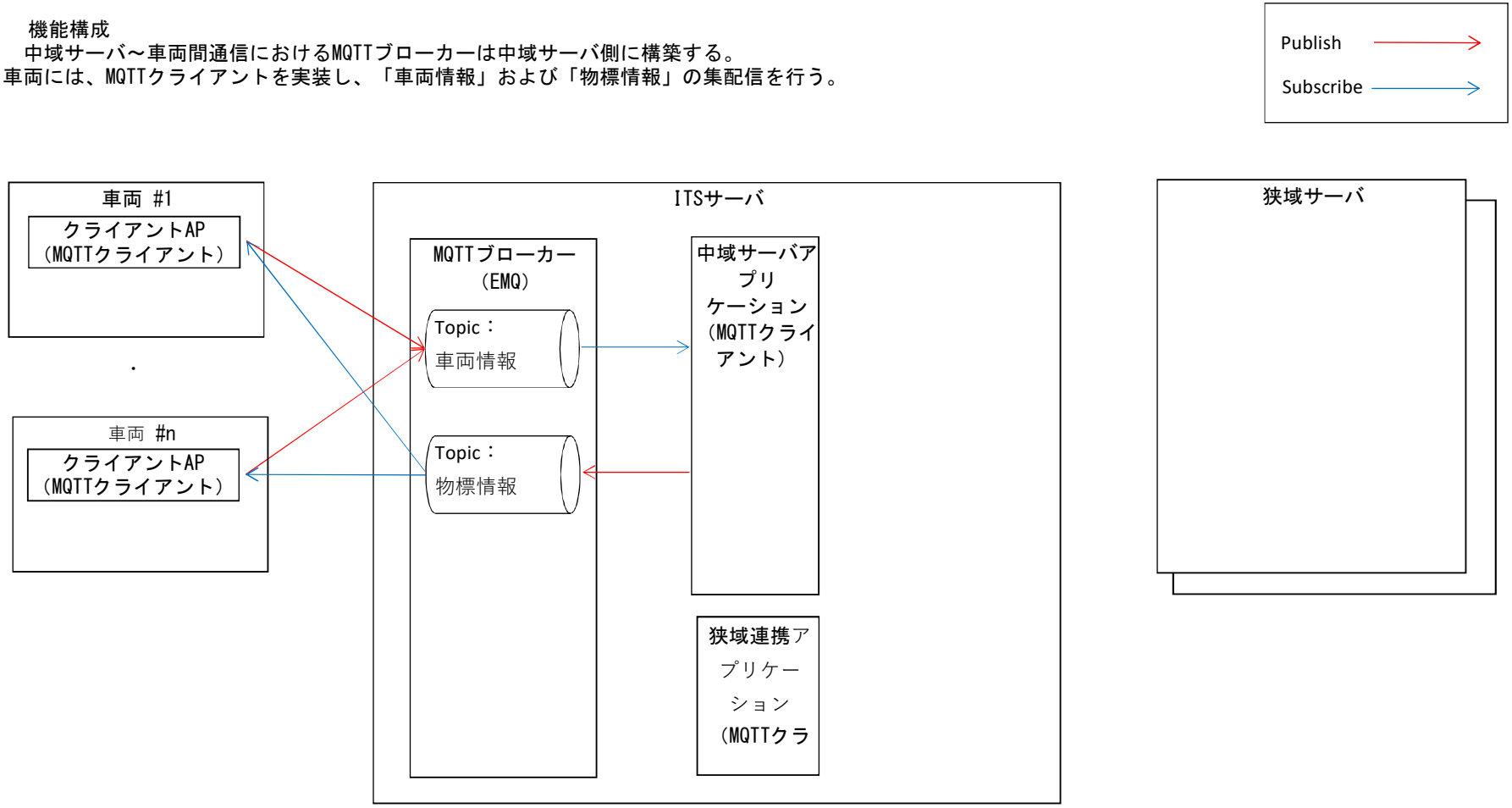
・中域サーバは、中域サーバに接続している全ての車両に対して、物標情報を配信する。
・中域サーバ→車両間のインタフェースはMQTTプロトコル（V3.1/V3.1.1に準拠）を使用する。
・物標情報の送信間隔は1s(中域サーバ側の設定により変更可)とする。
・車両の位置情報、方位等を基に配信される物標情報の範囲が決定される。（条件は設定により変更可能）
・配信範囲の物標情報が0件の場合、空の配列を送信する。
・1回の送信で同一「物標ID」の物標が複数存在する場合、最新の物標情報のみ送信すること。

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	2. 転送方式	米澤	2020/03/26

２．転送方式

２．１　機能構成

中域サーバ～車両間通信におけるMQTTブローカーは中域サーバ側に構築する。
車両には、MQTTクライアントを実装し、「車両情報」および「物標情報」の集配信を行う。



２．２　伝送プロトコル

中域サーバ～車両間における接続方式は、「MQTT V3.1」および「MQTT V3.1.1」に準拠する。
本節では、システム固有の設定内容について記述する。

（１）MQTTブローカパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Retain	なし	トピックごとの最新メッセージ保存可否
2	Will	なし	Publisher切断時のSubscriberへの通知要否
3	最大メッセージサイズ	64kb	※最大256MB　転送データ量の検証結果により変更の可能性がある

（２）コネクトパラメータ

項番	項目名	値	説明
1	接続先ホスト名	ssl://xxx.xxx.xx.x	中域サーバホスト名（TCP）（IPアドレスは別途提示）
2	MQTTユーザー名	mqtt	
3	MQTTパスワード		※別途ご連絡いたします
4	MQTTポート番号	8883	MQTT接続ポート（SSL/TLS）
5	Websocketポート番号	9090	※Websocketを利用する場合
6	コネクションタイムアウト	90	単位：秒　※参考値
7	キープアライブ間隔	90	単位：秒　※参考値

（３）車両情報収集パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic（第一階層）	MIDDLEAREA	宛先（中域サーバ固定）
2	Topic（第二階層）	0003	エリアID　中域（車両⇔中域）固定
3	Topic（第三階層）	0001	個体ID　車両番号：00000001～（00000000は予約）
4	Topic（第四階層）	VEHICLEDATA	メッセージ種別　固定
5	QoS	0	※新しい物標情報を優先するため0を想定 Publishメッセージの送達保証レベル 0：メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1：メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2：メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	0	無効 ※最後にPublishされたメッセージを保存しない

（４）物標情報配信パラメータ

項番	項目名	値	説明
1	Topic（第一階層）	VEHICLE	宛先（車両固定）
2	Topic（第二階層）	0003	エリアID　中域（車両⇔中域）固定
3	Topic（第三階層）	0001	個体ID　車両番号：00000001～（00000000は予約）
4	Topic（第四階層）	OBJECT	メッセージ種別　固定
5	QoS	0	※配信の仕様に応じてご調整ください Publishメッセージの送達保証レベル 0：メッセージは最高1回配信され、再配信されない 1：メッセージは最低1回配信されるが、再配信が重複する場合がある 2：メッセージは1回の送達が保証される
6	Retain	0	無効 ※最後にPublishされたメッセージを保存しない

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	３．車両情報収集	丸山	2020/07/16

３．車両情報収集

３．１　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する。

３．２　レイアウト

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	車両情報	vehicle	ハッシュ	1	9		―	車両情報	{"vehicle":{"key":[…]}}
2	キー情報	key	ハッシュ	1	5	●	―	車両を特定するキー情報	
3	個体ID	private_id	数値	5	16	●	1～99999999	車両番号	
4	車両情報送信時間	vehicle_sendtime	数値	9	26		0～ 9223372036854775807	車載機が車両情報を送信した 時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
5	GNSS情報	gnss_info	ハッシュ	1	11		―	位置情報	
6	位置座標	coordinate	ハッシュ	1	12	▲	―		
7	緯度	latitude	数値	5	14	▲	-900000000～ 900000000	緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
8	経度	longitude	数値	5	15	▲	-1800000000～ 1800000000	経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
9	高度	altitude	数値	5	14	▲	-100000～800001	WGS84座標系の高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 無効値：800001
10	基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	1	7	▲	―		ISO 17572-4 2020 Table E.1
11	基準点	crp	文字列	12	15	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
12	変位x	x	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
13	変位y	y	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
14	変位h	h	数値	3	5		-32768～32767	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
15	基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	1	10	▲	―		ISO 17572-4 2020 Table E.2
16	基準点（始点）	crp_o	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
17	基準点（終点）	crp_d	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
18	基準点（始点）からの距離比率	offset_distance	数値	3	19	▲	0～10000	基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
19	オフセット方向	offset_direction	数値	2	19	▲	-90～90	リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90
20	オフセット距離	length	数値	3	10	▲	0～32767	リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
21	レーン番号	lane		1	6		0～14	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
22	方位	direction	数値	3	13	●	0～3601	方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
23	速度	speed	数値	3	9	●	0～32767	速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec
24	観測時刻	measurement_time	long	9	26	●	0～ 9223372036854775807	GNSS観測時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
				36 42 54	170 157 217				

プロジェクト名	文書名	章	作成者	作成日
第二期SIP	IF仕様書	4．物標情報配信	丸山	2021/03/31

4．物標情報配信

4．1　フォーマット

メッセージのフォーマットはCBOR形式とする
位置座標、基準点からの相対距離、基準点までの道のり距離の3つの形式のうち1つを選択する。

4．2　レイアウト

項番	項目名（和名）	項目名（英名）	型	バイト数（エンコード後）	データサイズ（Key+Value）	必須	値域	説明	備考
1	中域サーバ送信時刻	middlearea_sendtime	数値	9	29	●	0～9223372036854775807	中域サーバにて物標情報を送信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC）からの経過時間（単位：ms）
2	物標情報	object	配列	1	9		ー	物標情報	
3	物標情報	info	ハッシュ	1	6		ー	物標情報1件分の単位	
4	物標ID	id	数値	9	12	●	0～9223372036854775807	物標を一意に識別するID	
5	情報取得時間	object_gettime	数値	9	24	●	0～9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を取得した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC） からの経過時間（単位：1ms）
6	物標種別	object_type	数値	1	13	●	0～13	狭域サーバにて判定した物標の種別	ETSI TS 102 894-2 A.78 DE_StationType 0:不明、1:歩行者、2:自転車、3:原付、4:オートバイ、5：乗用車、6：バス、7：軽トラック、8：大型トラック、9：トレーラー、10：特殊車両、11：路面電車、12：路側機、13：障害物（追加）
6	位置座標	coordinate	ハッシュ	1	12	▲	ー		
7	緯度	latitude	数値	5	14	▲	-900000000～900000000	緯度	ETSI TS 102 894-2 A.41 DE_Latitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
8	経度	longitude	数値	5	15	▲	-1800000000～1800000000	経度	ETSI TS 102 894-2 A.44 DE_Longitude 単位：0.1マイクロ度 10進法
9	高度	altitude	数値	5	14	▲	-100000～800001	WGS84座標系の高度	ETSI TS 102 894-2 A.9 DE_AltitudeValue 単位：0.01m 無効値：800001
10	基準点からの相対距離	delta	ハッシュ	1	7	▲	ー		ISO 17572-4 2020 Table E.1
11	基準点	crp	文字列	12	15	▲	ZZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.1
12	変位x	x	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてx座標の距離を表す 正の方向を真東とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
13	変位y	y	数値	3	5	▲	-32768～32767	CRPを通過する子午線（真北）を軸としてy座標の距離を表す 正の方向を真北とする	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
14	変位h	h	数値	3	5		-32768～32767	CRPからのz座標の距離を表す 正の方向はx軸とy軸によって定義される平面に垂直な上方向	ISO 17572-4 2020 Table E.1 単位：0.01m
15	基準点までの道のり距離	distance	ハッシュ	1	10	▲	ー		ISO 17572-4 2020 Table E.2
16	基準点（始点）	crp_o	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
17	基準点（終点）	crp_d	文字列	12	18	▲	ZZZZZZZZZZ	CRPのID　※桁数は仮置き　実際に使用するID体系に従うこと	ISO 17572-4 2020 Table E.2
18	基準点（始点）からの距離比率	offset_distance	数値	3	19	▲	0～10000	基準点からの道路中心線上の道のり距離（%）	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01%
19	オフセット方向	offset_direction	数値	2	19	▲	-90～90	リンクからの角度を表す数値	ISO 17572-4 2020 Table E.2 リンク右側方向：90　リンク左側方向：-90
20	オフセット距離	length	数値	3	10	▲	0～32767	リンクからのオフセット距離	ISO 17572-4 2020 Table E.2 単位：0.01m
21	レーン番号	lane		1	6		0～14	道路中央から付番する	ISO 17572-4 2020 Table E.2 0:すべてのレーン 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
23	移動方向	direction	数値	3	13	●	0～3601	方位	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
24	速度	speed	数値	3	9	●	0～32767	速度	ETSI TS 102 894-2 A74.DE_SpeedValue 単位：0.01m/sec
25	識別情報	object_status	数値	1	15		0～4	物標の状態	0～4　走行中の車両は4:その他 0：不明、1:停車、2:滞留、3:事故、4:その他
26	最も外側のレーン番号	outermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も外側のレーン番号（日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
27	最も内側のレーン番号	innermost_lane	数値	1	16		-1～14	物体が存在する(またがる)レーンのうち、最も内側のレーン番号（日本では左から何レーン目かを示す）	ETSI TS 102 894-2 A.40 DE_LanePosition -1:道路外 0:路肩 1:1番レーン 2:2番レーン ... 14:14番レーン
28	物体の向き	pose	数値	3	8		0～3601	方位 人間の体の向き、車両の前方方向などを示す。 物体のサイズの情報から、占有領域を算出可能	ETSI TS 102 894-2 A.35 DE_HeadingValue 単位：0.1deg　真北：0度（真東：90度） 無効値：3601
29	物体のサイズ	size	ハッシュ	1	6				
30	物体サイズ：横幅	width	数値	3	9		0～1023	物体の前方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
31	物体サイズ：奥行	length	数値	3	10		0～1023	物体の側方側の長さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
32	物体サイズ：高さ	height	数値	3	10		0～1023	物体の高さ	ETSI TS 102 894-2 A.92 DE_VehicleLengthValue 単位：0.1m　102.2m以上は1022に丸める 無効値：1023
33	信頼度	quality	数値	1	9		0～7		ETSI TS 102 894-2 A.45 InformationQuality unknown(0), lowest(1), highest(7)
34	狭域サーバ送信時刻	narrowarea_sendtime	数値	9	29	●	0～9223372036854775807	狭域サーバにて物標情報を送信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC）からの経過時間（単位：ms）
35	中域サーバ受信時間	middlearea_rcvtime	数値	9	28	●	0～9223372036854775807	中域サーバにて物標情報を受信した時刻（LSB1ms）	1970/1/1 00:00:00.000（UTC）からの経過時間（単位：ms）
36	配信する物標情報の範囲	distribution_area	配列	1	20		ー	車両に物標情報を配信する範囲	試験用の項目 設定により送信しないことも可能
37	座標情報	coordinate	ハッシュ	1	12		ー		

38			緯度	latitude	数値	5			14				-900000000～900000000	緯度	単位：0.1マイクロ度
39			経度	longitude	数値	5			15				-1800000000～1800000000	経度	単位：0.1マイクロ度
						94	100	112	296	283	343				