

戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／

自動運転（システムとサービスの拡張）／

クラウド等を活用した信号情報提供の社会実装に向けた研究開発

成果報告書（2022 年度）

2023 年 3 月

一般社団法人U T M S 協会

日本信号株式会社

パナソニックコネクト株式会社（2022 年 4 月 1 日社名変更、
旧名パナソニックシステムソリューションズジャパン株式
会社）

オムロンソーシアルソリューションズ株式会社

本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が管理法人を務め、内閣府が実施した「戦略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）」（NEDO 管理番号：JPNP 18012）の成果をまとめたものです。

目次

まえがき	1
第1章 総括	2
1. 実施体制	2
2. 本研究の位置づけ	3
3. 本研究の概要	5
4. 実施スケジュール	9
第2章 信号情報センターの社会的な機能要件(必要性)に関する検討等(テーマ1)	11
1. はじめに	11
2. 本研究開発の概要	11
3. 用語の定義	11
4. 方法	11
5. アンケート及びヒアリングの内容及び結果	12
5.1. アンケート及びヒアリングの内容	12
5.2. アンケート及びヒアリングの結果	12
6. 検討結果	15
6.1. 信号情報センター事業の全体像	15
6.2. 事業環境	16
6.3. 事業の関係先	17
6.4. 必要性和任務	17
6.5. 信号情報センターの事業の内容	19
6.6. 信号情報センターが備える必要のある社会的機能要件	20
6.7. 実施主体の条件	21
7. 考察	22
第3章 信号情報センターの技術要件に関する検討等(テーマ2)	23
1. はじめに	23
2. 用語の定義	23
3. 信号情報センターの技術的要件	24
3.1. 機能再配置に伴う信号情報提供サービス全体構成の検討	24
4. 信号情報センターの技術要件に関する検討	35
4.1. システム機能要件	35
4.2. 画面の機能要件	42
4.3. デジタル地図上の信号予定情報(稼働情報表示)	42
4.4. デジタル地図上の信号予定情報(リアルタイム表示)	43
4.5. システム状況照会(情報提供の稼働情報表示)	43
4.6. システム状態照会(接続装置状態表示)	43
4.7. システム状態照会(装置故障状況表示)	44
4.8. システム状態照会(ネットワーク障害表示)	44
4.9. 信号情報照会(リアルタイム表示)	44
4.10. 信号情報照会(詳細履歴データ抽出)	45
4.11. 信号情報照会(受信履歴表示)	45
4.12. 信号情報照会(配信履歴表示)	45
4.13. 運用実績照会(信号予定情報実績照会)	45
4.14. 運用実績照会(交差点管理情報実績照会)	45
4.15. 信号情報停止介入	46
4.16. システム接続制御	46
4.17. 帳票等に関する要件	46
4.17.1. 信号予定情報・詳細履歴帳票	47

4.17.2. 信号予定情報・受信履歴帳票	47
4.17.3. 信号予定情報・配信履歴帳票	47
4.17.4. 信号予定情報運用実績帳票	47
4.17.5. 交差点管理情報運用実績帳票	48
4.18. 外部インターフェイスに関する要件	48
4.19. 情報・データ・規模に関する要件	48
4.20. 性能指標に関する要件	49
4.21. 情報セキュリティに関する要件	50
4.21.1. 保護すべき情報・データ	50
4.21.2. 想定される脅威	51
4.21.3. セキュリティ対策	51
4.22. その他非機能要件	55
4.22.1. 可用性	55
4.22.2. 継続性	58
4.22.3. 拡張性	59
4.22.4. 中立性	59
4.22.5. 運用・保守性	59
4.23. システム全体構成	59
4.23.1. ハードウェア構成	61
4.23.2. ハードウェア機能	62
4.23.3. ソフトウェア構成	71
4.23.4. ネットワーク構成	82
5. 通信遅延軽減対策	82
5.1. 一気通貫の通信負荷検証環境	82
5.2. 測定結果と条件	85
5.3. 東京と福岡の同一時刻検証結果	88
5.4. 結果を踏まえた考察	91
5.5. Δd の関係	93
5.6. 回線帯域の考察	94
6. 結言	96
第4章 信号情報の精度向上に関する検証（管制方式・集中方式）と信号情報以外の情報の統合的な配信に関する検討（テーマ3）	97
1. はじめに	97
2. 信号情報の精度向上及び通信遅延の軽減に関する検討（管制方式・集中方式）	97
2.1. 新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置による精度向上の検証	97
2.1.1. 実験概要	97
2.1.2. 実験方式	100
2.1.3. 検証結果（管制方式）	104
2.1.4. 検証結果（集中方式）	106
2.1.5. 考察	107
2.2. 通信回線の遅延の検証	108
2.2.1. 実験概要	108
2.2.2. 検証結果	110
2.2.3. 考察	113
2.3. オフセット追従動作の算出方式の差異調査及び発生する差異の解決策の検討	114
2.3.1. アンケートの実施	114
2.3.2. アンケートの結果	114
2.3.3. 差異への対応策の検討	115
3. 信号情報以外の情報（交通規制情報等）の統合的な配信に関する検討	119
3.1. 現状調査	119
3.2. 統合的な配信についての提案	119

3.3. 課題	119
4. 信号情報と高精度三次元地図の連携に関する検討	121
4.1. 現状調査	121
4.1.1. 東京臨海部実証システム構成	121
4.1.2. 高精度3次元地図と信号情報の対応付け	121
4.2. 連携方式の提案	123
4.2.1. 信号情報と高精度三次元地図の紐づけに必要なとなる情報	123
4.2.2. 連携方式	123
4.2.3. 機能配置	123
4.2.4. 交差点管理情報	124
4.3. 課題	125
5. まとめ	127
5.1. 検証結果まとめ	127
5.1.1. 管制方式について	127
5.1.2. 集中方式について	127
5.1.3. 制御機方式（路側機生成）	127
5.1.4. 制御機方式（制御機生成）	127
5.2. 課題	128
5.2.1. 管制方式	128
5.2.2. 共通	129
5.3. 警 a 及び各方式の比較	129
6. 今後の課題	130
第5章 管制方式及び制御機方式(路側機生成)に対する検討（テーマ4）	131
1. 概要	131
2. 管制方式の検証	132
2.1. 概要	132
2.2. 検証内容	133
2.3. 検証結果	135
2.3.1. 刻精度検証結果	135
2.3.2. 信号制御実行情報2精度検証	136
2.3.3. リコール要求受付情報精度検証	136
2.3.4. ステップ予測情報検証	138
2.3.5. 信号情報検証(リコール動作)	139
2.3.6. 異常時動作の検証	140
2.3.7. 運用状態の通信インターフェイス調査	141
3. 制御機方式(路側機生成)の検証	145
3.1. 概要	145
3.2. 検証項目	146
3.3. 検証結果	146
3.3.1. オフセット追従時の信号予定情報精度低下再現	146
3.3.2. オフセット追従時の信号予定情報精度向上検証	146
3.3.3. 交通信号制御機の時刻同期が行われていない場合の信号予定情報検証	147
4. 交通管制システム内の通信遅延調査	148
4.1. 概要	148
4.2. 調査項目	148
4.3. 調査結果	149
4.3.1. 広域イーサネット回線概要	149
4.3.2. アナログ回線概要	149
4.3.3. 広域イーサネット回線調査結果	149
4.3.4. アナログ回線調査結果	151
5. センター間通信の通信遅延	152

5.1. 概要	152
5.2. 調査項目	153
5.3. 評価環境	153
5.4. 検証結果	154
6. まとめ	157
6.1. 検証結果まとめ	157
6.2. ΔT 検証のためのタイムチャート	162
第6章 警察庁信号情報集約システムと接続した信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等 (テーマ6)	163
1. 概要	163
2. 検証の目的	163
3. 信号情報提供の検証環境構築	164
3.1. 構築システムの概要	164
3.2. 信号情報提供検証環境の構築	165
3.2.1. 信号情報提供検証環境の構成	165
3.2.2. ハードウェア仕様	166
3.2.3. ソフトウェア仕様	167
3.2.4. その他	171
3.3. 信号情報提供検証環境の構築	172
4. センター機器の接続試験	174
4.1. 接続試験の概要	174
4.2. 接続試験項目及び試験結果	176
4.2.1. 接続切断試験	176
4.2.2. シーケンス／電文確認試験	176
4.2.3. 異常系試験	178
4.2.4. シナリオ試験	179
4.3. 接続試験まとめ	181
5. 信号情報提供に係るシステム検証	182
5.1. システム検証の概要	182
5.2. 検証時の機器構成	183
5.2.1. 基本動作検証・異常時動作検証のシステム構成	183
5.2.2. 負荷時動作検証のシステム構成	183
5.3. 検証内容	184
5.3.1. 時刻同期動作検証	184
5.3.2. セキュリティ動作検証	186
5.3.3. 基本動作検証	192
5.3.4. 異常時動作検証	192
5.3.5. 負荷時動作検証	192
5.3.6. (効率性) 遅延時間の検証	193
5.3.7. (効率性) 遅延時間の検証時のリソース測定	208
5.3.8. (正確性) 規格適合度の検証	215
5.3.9. (可用性) 信号予定情報の稼働率	218
5.3.10. 負荷動作検証時の遅延時間・リソース測定	228
5.3.11. 帯域制限による各種検証	235
5.3.12. センター間障害発生時の転送遅延検証	238
5.3.13. 信号予定情報の通信遅延が与える影響の検証	240
6. 実験仕様案の見直し	248
6.1. 実証実験時の課題点	248
6.2. 課題点を踏まえた仕様見直し案	250
7. 総括	255
8. データ編	257

8.1. 交差点毎の信号予定情報の第一現示残秒数	257
第7章 警察庁～都道府県間ネットワークの構築及び都道府県警察システムにおける信号情報提供検証環境の構築、検証実施等（テーマ7）	261
1. 概要	261
1.1. 研究開発の目的	261
2. 信号情報提供検証環境の構築	261
2.1. 信号情報配信装置と信号情報集約システムの接続回線設計	261
2.1.1. 帯域の検討	262
2.1.2. 回線敷設作業	262
2.2. 集中方式の検証システムの構築	265
2.2.1. 集中方式の検証システムの概要	265
2.2.2. 集中方式の交通信号制御機	266
2.2.3. 模擬車載機	267
2.3. 接続試験項目及び試験結果	268
3. 信号予定情報提供の検証	269
3.1. 信号予定情報の精度検証	269
3.1.1. 信号予定情報の精度検証方法	269
3.1.2. 信号予定情報の精度検証結果	270
3.1.3. 2021年度検証（構内試験）との比較	271
3.2. 信号情報の通信遅延検証	272
3.2.1. 信号予定情報の通信遅延測定方法	272
3.2.2. 信号予定情報の通信遅延測定結果	273
3.2.3. 2021年度検証（構内試験）との比較	273
3.3. リコール制御実行交差点の信号情報検証	274
3.3.1. リコール制御の評価対象交差点	274
3.3.2. リコール制御の検証結果	275
3.4. ギャップ感応制御実行交差点の信号情報検証	276
3.4.1. ギャップ制御の評価対象交差点	276
3.4.2. ギャップ感応制御の検証結果	277
3.5. 考察	277
4. V2N・信号情報共通メッセージ規格見直し	277
4.1. 実証実験に向けた規格の見直し	277
4.2. 実証実験・センター委員会を通じた見直し	278
4.2.1. 都道府県コード	278
4.2.2. リコール制御の信号予定情報送信	278
4.2.3. 交差点管理情報の項目	280
4.2.4. V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格の運用	280
4.2.5. 実証実験・センター委員会を通じた見直しのまとめ	282
5. 制御機方式（制御機生成）の検証	284
5.1. 制御機方式（制御機生成）の検証の目的	284
5.2. 制御機方式（制御機生成）信号情報提供検証環境の構築	284
5.2.1. 制御機方式（制御機生成）の検証システムの概要	284
5.2.2. 制御機方式（制御機生成）の交通信号制御機	286
5.2.3. 模擬車載機	287
5.2.4. 接続試験項目及び試験結果	287
5.3. 信号予定情報提供の検証	288
5.3.1. 信号予定情報の検証方法	289
5.3.2. 信号予定情報の精度検証結果	290
5.3.3. 集中方式との比較	291
6. まとめ	292
第8章 都道府県警察システムにおける信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等	293

(テーマ 8)	293
1. 概要	293
1.1. 検証の目的	293
2. 県警モデルシステム構成	294
2.1. 都道府県における整備概要	294
2.2. 信号情報提供検証環境の構築	296
2.3. 検証対象交差点	298
2.4. 検証対象交差点以外を含めた信号情報提供を行う交差点	299
3. 総合接続試験	300
3.1. 総合接続試験ステップ 1	300
3.2. 総合接続試験ステップ 2	300
3.3. 総合接続試験結果に基づく今後留意すべき事項	301
4. 信号情報提供の検証	302
4.1. 信号情報提供の検証項目	302
4.2. 信号制御機基本性能	304
4.2.1. 信号制御機基本性能検証の検証方法概要	304
4.2.2. 信号制御機基本性能の検証方法	304
4.2.3. 信号制御機基本性能の検証結果概要	306
4.2.4. 信号機時刻精度検証の結果詳細	306
4.2.5. 時刻修正幅確認の結果詳細	307
4.3. 信号情報提供検証（通常制御）	309
4.3.1. 信号情報提供検証（通常制御）の検証方法概要	309
4.3.2. 信号情報提供検証（通常制御）の検証方法	309
4.3.3. 信号情報提供検証（通常制御）の検証結果概要	311
4.3.4. 映像による精度検証結果詳細	311
4.3.5. 蓄積データによる検証結果詳細	312
4.3.6. 管制方式におけるサイクル開始からの遅延時間詳細	314
4.4. 信号情報提供（感応制御）	314
4.4.1. 信号情報提供（感応制御）の検証方法概要	314
4.4.2. 信号情報提供（感応制御）検証方法	315
4.4.3. 信号情報提供（感応制御）の検証結果概要	315
4.4.4. 信号情報提供（感応制御）の精度検証結果	316
4.4.5. 感応ステップ終了からの遅延時間	317
4.5. 信号情報提供（リコール動作時）	317
4.5.1. 信号情報提供（リコール動作時）の検証方法概要	317
4.5.2. 信号情報提供（リコール動作時）の検証方法	318
4.5.3. 信号情報提供（リコール動作時）の検証結果概要	319
4.5.4. 管制方式の検証結果	320
4.5.5. 集中方式の検証結果	321
4.5.6. 信号情報がほぼ同時に作成されるケースについて	321
4.6. 異常時動作	322
4.6.1. 異常時動作の検証方法概要	322
4.6.2. 異常時動作の検証方法	322
4.6.3. 異常時動作の検証結果概要	323
4.6.4. 通信異常時動作（管制方式）	324
4.6.5. 信号制御機の単独動作時の動作（管制方式）	324
4.7. 通信インターフェイス	325
4.7.1. 通信インターフェイスの検証方法概要	325
4.7.2. 通信インターフェイスの検証方法	325
4.7.3. 通信インターフェイスの検証結果	326
4.7.4. 再送、及び未受信の状況	327

4.8. 車載機までの通信	327
4.8.1. 車載機までの通信に関する検証方法概要	327
4.8.2. 車載機までの通信に関する検証方法	328
4.8.3. 車載機までの通信に関する検証結果概要	328
4.8.4. 集中方式に関する通信遅延時間	329
4.8.5. 制御機方式に関する通信遅延時間	331
4.8.6. 管制方式に関する通信遅延時間	333
4.9. 信頼性	334
4.9.1. 信頼性に関する検証方法概要	334
4.9.2. 信頼性に関する検証方法	335
4.9.3. 信頼性に関する検証結果概要	336
4.9.4. 信号情報の提供率推移	337
4.9.5. 信号情報の1日毎の提供率集計結果	338
4.9.6. 信号制御パラメータ分析	340
4.10. 運用性	341
4.10.1. 運用性に関する検証方法概要	341
4.10.2. 運用性に関する検証方法	341
4.10.3. 運用性に関する検証結果概要	342
4.10.4. 信号情報提供の運用／テストモードの検証結果	343
5. 信号情報提供に関する課題検討結果	345
5.1. 交通規制情報調査	345
5.1.1. 交通規制情報の調査方法	345
5.1.2. 交通規制情報の調査結果	345
5.2. オフセット追従に関する課題の実証実験での追加検証結果	346
5.2.1. オフセット追従時の課題	346
5.2.2. オフセット追従の課題に関する実証実験での検証方法	347
5.2.3. オフセット追従の課題に関する検証結果	347
5.2.4. オフセット追従課題の検証結果に対する考察	348
5.3. 夜間閃光に関する検証	348
5.3.1. 夜間閃光に関する検証概要	348
5.3.2. 夜間閃光に関する検証方法	348
5.3.3. 夜間閃光に関する検証結果	348
6. 結果まとめ	350
6.1. 信号情報提供の検証結果まとめ	350
6.2. 信号情報提供に関する課題検討結果まとめ	352
第9章 全体のまとめ	353
1. 成果	353
2. 今後の課題	353
3. 展望	353

まえがき

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) においては、自動運転に係る激しい国際競争の中で世界に伍していくため、自動車メーカーの協調領域となる世界最先端のコア技術 (信号・プローブ情報をはじめとする道路交通情報の収集・配信などに関する技術等) を確立し、一般道で自動運転 (SAE レベル3 相当) を実現するための基盤を構築し、社会実装することを目標としており、その一環として、本事業では、携帯電話回線を活用した V2N 方式による信号予定情報の提供の実現に資することを目的とする研究開発を行った。

2019 年度に実施した調査研究「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」及び 2020 年度に実施した「クラウド等を活用した信号情報提供に係る研究開発」の成果を基礎に、本研究開発では、2021 年度には、警察庁信号情報集約システムから全国の信号情報を受信して事業者等のサーバーに送信する信号情報センターの在り方等について社会実装に向けた検討、2020 年度までに抽出された課題に関する改善方策の検討、信号制御機の信号情報の精度を 1 秒単位から 0.1 秒単位とすることによって実現できる信号情報の精度向上等についての検証 (工場レベル) を実施した。

最終年度である 2022 年度には、奈良県警察の協力を得て、全研究期間公道における実証実験を行った。その結果、次のような成果を得ることができた。

信号情報の生成技術については、検討対象としてきた 3 つの方式 (管制方式、集中方式及び制御機方式) について、それぞれ課題は残っているが、日本自動車工業会の信号情報提供に対する要望事項 (信号予定情報の精度誤差 $\pm 300\text{msec}$ 以内、安全に停車できる時間までに信号予定情報を提供できること、信号灯色と配信情報の一致性を確認する機能) を満足するという当初の目標について、一定の成果を収めることができた。

信号情報の配信技術については、信号制御機から車載機までの一気通貫での実証実験を実施し、将来は全国の信号情報を警察庁の信号情報集約システムに集約する構想のもと、実証実験では奈良県の信号情報を集約し、配信センターから車載機に配信できることを確認するとともに、信号情報集約システムと配信センターの機能を整理し、情報検証機能を含む機能の整理を行った。

この場を借りて、4 年間にわたり、絶大な支援をいただき、成果に導いていただいた、内閣府、警察庁、NEDO、奈良県警察本部に、感謝の意を表する。

第1章 総括

1. 実施体制

8つのテーマに分類し、研究開発を実施した。(テーマ1～4は2021年度に実施し、テーマ5～8は2022年度に実施した。)

表 1.1 テーマと担当について

	テーマ	担当
テーマ1	信号情報センターの社会的な機能要件(必要性)に関する検討等	一般社団法人UTMS協会
テーマ2	信号情報センターの技術要件に関する検討等	パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社*
テーマ3	信号情報以外の情報(交通規制情報等)の統合的な配信に関する検討等	日本信号株式会社
テーマ4	信号情報の精度向上に関する検証及び信号情報の通信遅延の軽減に関する検討等	オムロンソーシアルソリューションズ株式会社
テーマ5	2022年度実証実験に伴い対象県で整備される機器、ソフトに関する検討*	オムロンソーシアルソリューションズ株式会社
テーマ6	警察庁信号情報集約システムと接続した信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等	パナソニック コネクト株式会社*
テーマ7	警察庁～都道府県間ネットワークの構築及び都道府県警察システムにおける信号情報提供検証環境の構築、検証実施等	日本信号株式会社
テーマ8	都道府県警察システムにおける信号情報提供検証環境の構築、及び検証実施等	オムロンソーシアルソリューションズ株式会社

* 2022年4月1日付で、「パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社」から「パナソニック コネクト株式会社」へ社名変更

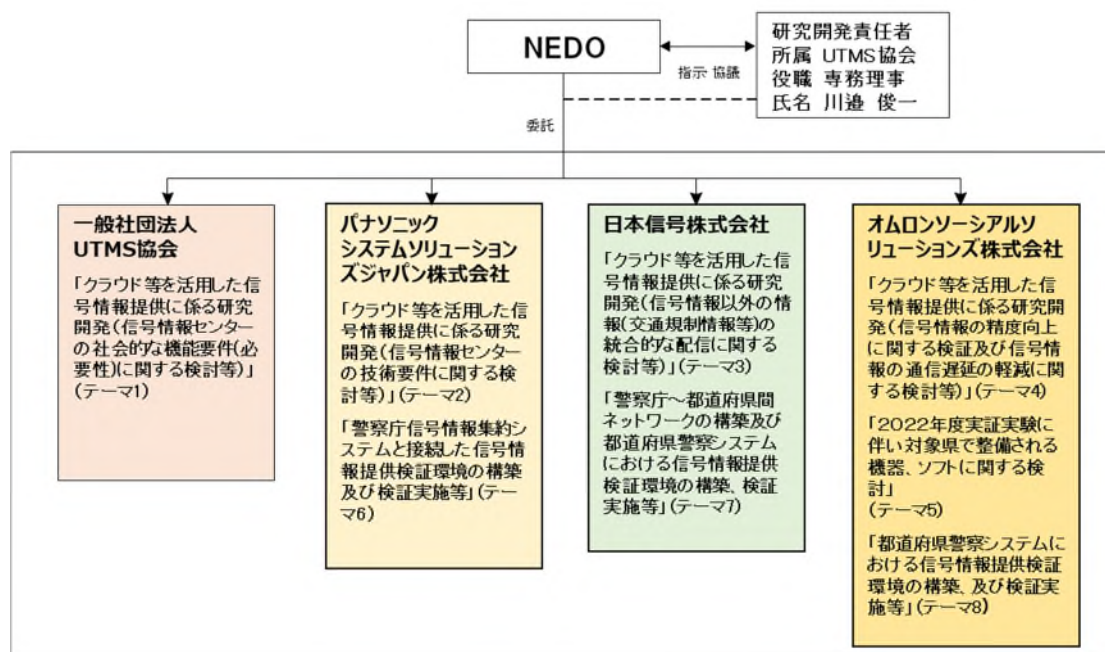


図 1.1 研究開発体制図（全体）

2. 本研究の位置づけ

S I P 第2期研究開発計画のテーマの一つである自動運転（システムとサービスの拡張）の実用化に向けて、信号情報の提供手法についてモデルシステムによる検証を通じて検討するものであり、本研究開発は、その4か年目にあたる。

表 1.2 研究開発の全体計画

2018 年度	事例調査及び実現可能性が高い手法の課題検討 ↓ - 信号情報の提供を可能とする路車間通信以外の手法の事例調査 - 路車間通信以外の信号情報提供手法の整理 - 実現可能性等が高い手法の実現に向けた課題への対応策の検討
2019 年度	模擬システムによる検証及びモデルシステムの仕様書案作成 ↓ - 信号情報提供手法に対する機能・技術要件の詳細化 4つの信号提供手法案の模擬システムによる検証 2020年度事業において構築するモデルシステムの仕様書案の作成
2020 年度	単一都道府県でのモデルシステム実証及び信号情報集約システムの仕様検討 ↓ - 単一都道府県警察での信号情報提供モデルシステムの整備・検証 - 警察庁信号情報集約モデルシステム※仕様の検討 ※交通管制センターや交通信号制御機から送信される信号情報を集約するシステムのこと。警察庁の広域交通管制システムの活用を検討している。

2021 年度	社会実装に向けた信号情報センターの在り方の検討  ・信号情報センターの要件の検討 ・他の情報との連携・統合に関する検討
2022 年度	都道府県警察システムの構築及び検証、警察庁信号情報集約システムの検証 ・都道府県警察での信号情報提供システムの構築・効果検証 ・警察庁信号情報集約システムの効果検証

3. 本研究の概要

2021 年度は、2018 年度～2020 年度に実施した調査研究及び研究開発の結果を基礎に、警察庁信号情報集約システムから全国の信号情報を受信して事業者等のサーバーに送信する信号情報センターの在り方等について社会実装に向けた検討を行った。

また、2020 年度までに抽出されたクラウド等を活用した信号提供技術に関する課題について、改善方策を検討するとともに、信号制御機の信号情報の精度を 1 秒単位から 0.1 秒単位とすることによって実現できる信号情報の精度向上等について実験により検証した。2021 年度の実施項目は次の通りである。

- ① 信号情報センターの社会的な機能要件(必要性)に関する検討
- ② 信号情報センターの技術要件に関する検討
- ③ 信号情報センターの実施主体に関する検討
- ④ 信号情報以外の情報(交通規制情報等)の統合的な配信に関する検討
- ⑤ 信号情報と高精度三次元地図の連携に関する検討
- ⑥ 信号情報の精度向上に関する検証
- ⑦ 信号情報の通信遅延の軽減に関する検討
- ⑧ 警察庁信号情報集約システムの機能の軽減に関する検討

図 1-2 に研究開発の対象となるクラウド等を活用した信号情報提供の概念図を掲載する。

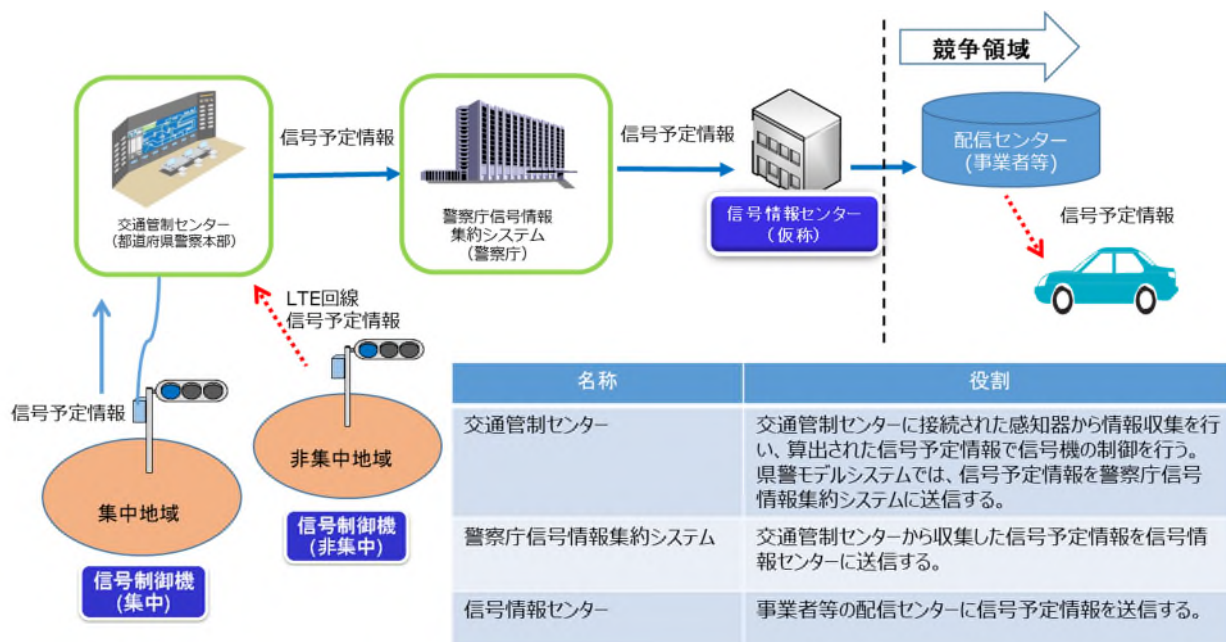


図 1.2 システム概念図

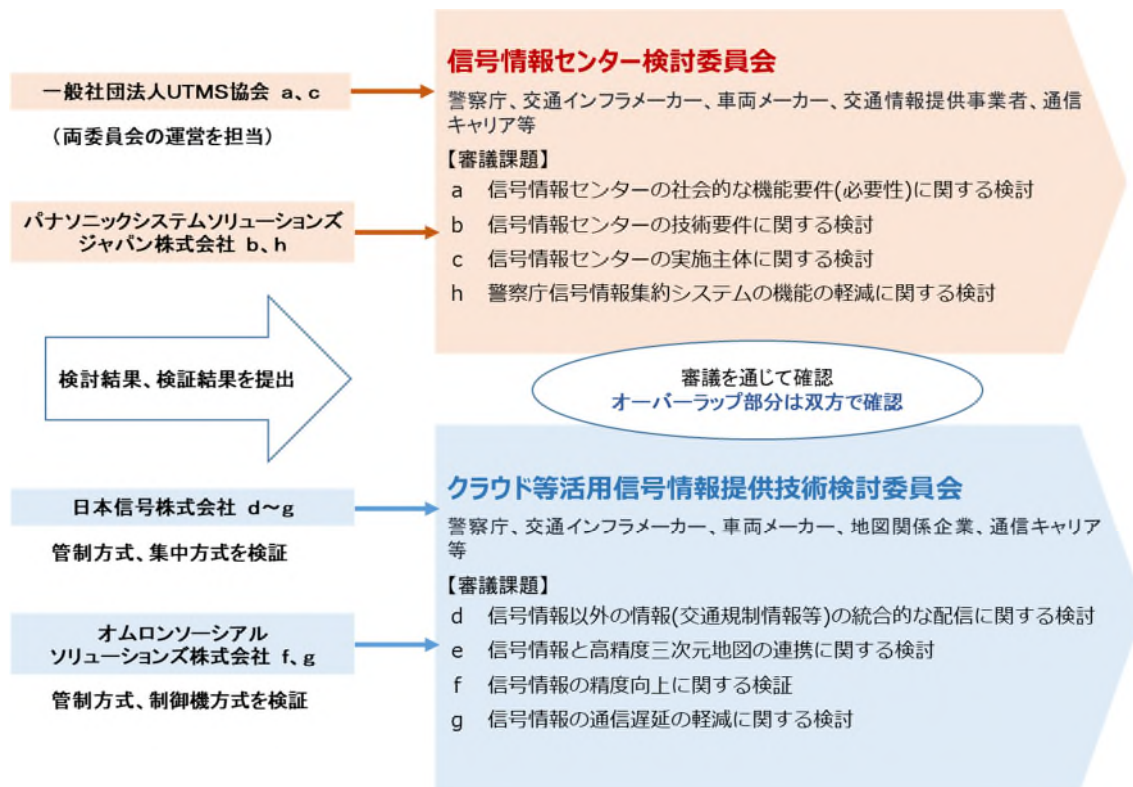
2022 年度は、奈良県に都道府県警察システムを構築した。これを警察庁に整備された警察庁信号情報集約システムと結んだ上、信号情報センター、配信センター及び車載機から構成される検証環境を整え、機能、性能、可用性等の検証を行った。

4. 委員会の設置

有識者を構成員とする信号情報センター検討委員（センター委員会）会及び信号情報提供技術検討委員会（提供技術委員会）を設置し、すべての研究項目について、内容を確認し、結論を導いた。

2021 年度は、2 つの委員会を設置した。2022 年度は、そのうち、提供技術検討委員会を休止し、1 委員会で審議を進めた。

【2021 年度の体制】



【2022 年度の体制】

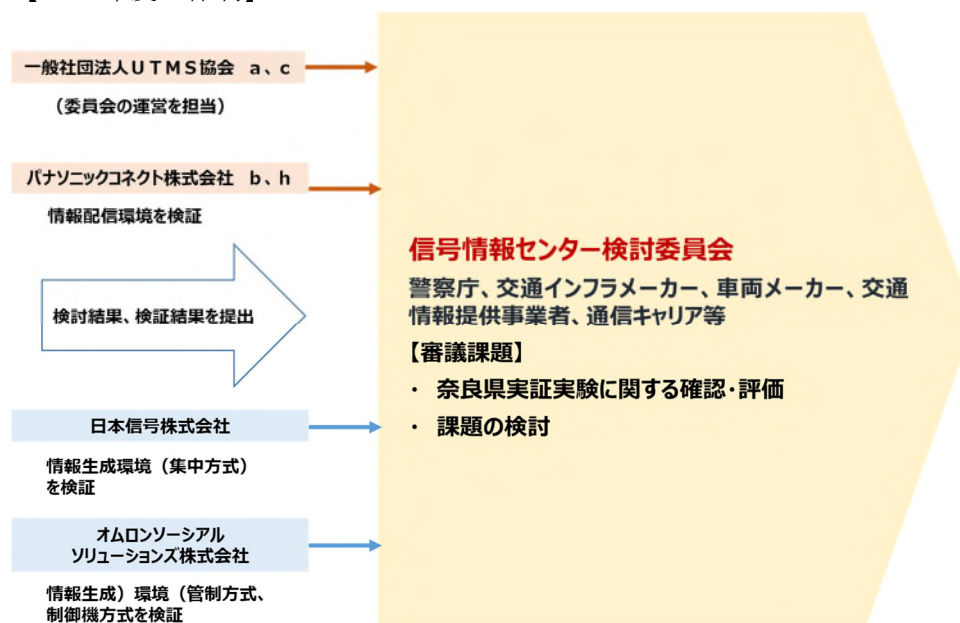


図 1.3 本事業で設置した委員会の体制

具体的な構成員は表 1.3 及び 1.4 の通りである。

表 1.3 センター委員会委員（企業等名）

区分		企業・団体・府省庁
交通管制機器の製造事業者等		住友電気工業株式会社 オムロンソーシアルソリューションズ株式会社 株式会社京三製作所 コイト電気株式会社 日本信号株式会社 パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社
自動車製造事業者等		トヨタ自動車株式会社 日産自動車株式会社 本田技研工業株式会社 株式会社デンソー 一般社団法人日本自動車工業会
交通情報配信事業者等		株式会社ゼンリンデータコム 株式会社ヤフー 株式会社ナビタイムジャパン
電気通信事業者等		KDDI株式会社 ソフトバンク株式会社 株式会社NTTドコモ 楽天モバイル株式会社 日本電気株式会社 沖電気工業株式会社
関係団体		公益財団法人日本道路交通情報センター 一般財団法人 道路交通情報通信システムセンター
行政機関		警察庁交通局

表 1.4 提供技術委員会委員（企業等名）

区分	企業・団体・府省庁
交通管制機器の製造事業者等	住友電気工業株式会社 オムロンソーシアルソリューションズ株式会社 株式会社京三製作所

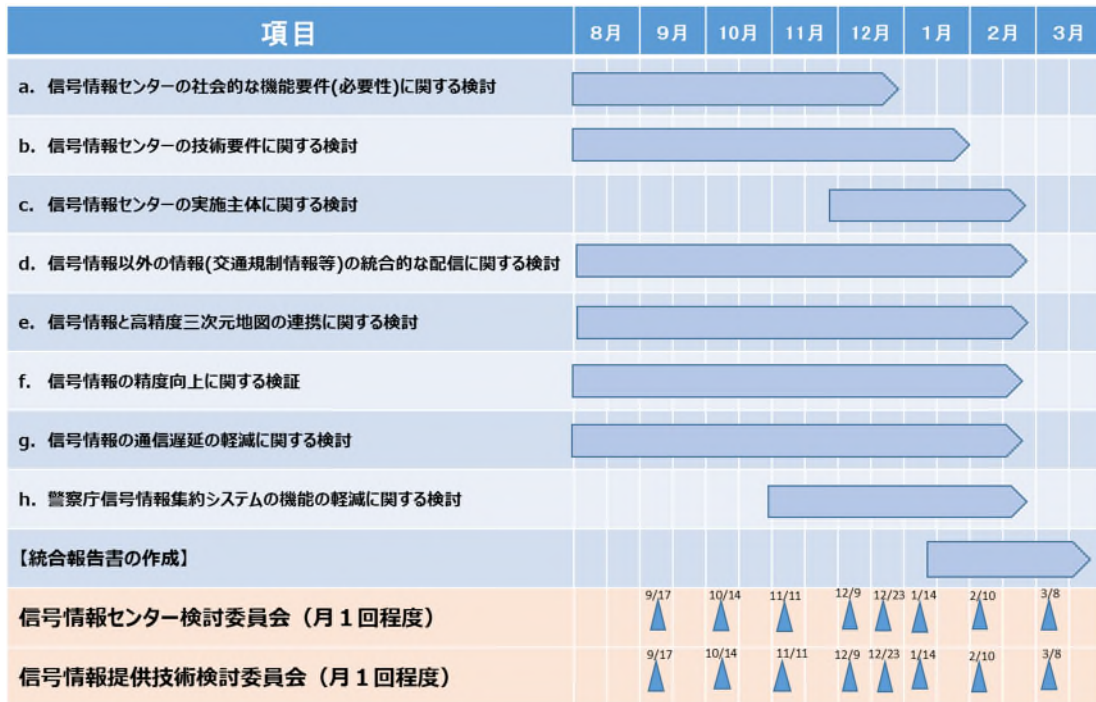
区分	企業・団体・府省庁
	コイト電工株式会社 日本信号株式会社 パナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社
自動車製造事業者等	トヨタ自動車株式会社 日産自動車株式会社 本田技研工業株式会社 株式会社デンソー 一般社団法人日本自動車工業会
ダイナミックマップ	ダイナミックマップ基盤株式会社
電気通信事業者等	KDDI株式会社 BOLDLY株式会社 株式会社NTTドコモ 楽天モバイル株式会社 京セラ株式会社 日本電気株式会社 株式会社 Mobility Technologies
関係団体	公益財団法人日本道路交通情報センター 一般財団法人道路交通情報通信システムセンター
行政機関	警察庁交通局

4. 実施スケジュール

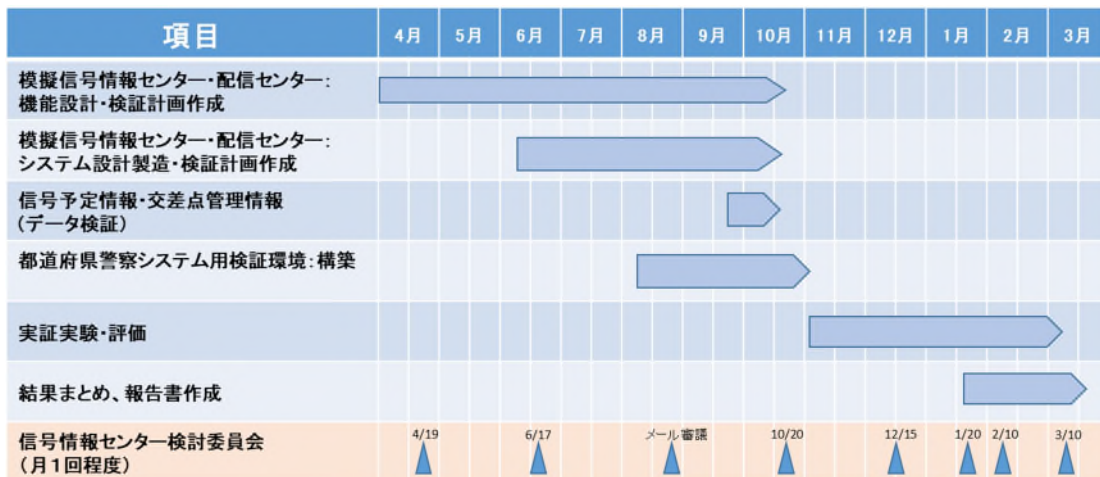
表 1.5 の通りのスケジュールで実施した。

表 1.5 実施スケジュール

【2021 年度】



【2022 年度】



第2章 信号情報センターの社会的な機能要件(必要性)に関する検討等（テーマ1）

1. はじめに

本報告は、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）における「クラウド等を活用した信号情報提供の社会実装に向けた研究開発」のうち、テーマ1：信号情報センターの社会的な機能要件(必要性)に関する検討等について記載したものである。

2. 本研究開発の概要

非競争領域と競争領域の間で信号情報を中継する役割を担う信号情報センターについて、次の事項を実施した。

- ・社会的な機能要件（必要性）の作成
- ・実施主体の条件（以下「実施主体の条件」という。）の作成

社会的機能要件及び実施主体の条件については、センター委員会委員に対するアンケート及び有識者へのヒアリングを行い、それによって得られた知見を用いて、とりまとめた。

なお、いずれの事項についても、本研究開発を推進するために設置したセンター委員会に提出し、審議を受けた。

3. 用語の定義

(1) 交通管制システム

道路交通に関する情報の収集・分析及び伝達により、信号機、道路標識又は道路標示の操作並びに警察官又は交通巡視員に対し行う交通の規制に関する指令を一体的かつ有機的に行うためのシステムをいう。

(2) 信号情報集約システム

警察庁に設置され、都道府県警察に設置される信号情報配信装置から信号予定情報等を受信し、信号情報センターへ送信する機能を主として担い、都道府県警察で生成された信号予定情報等の配信ルート一本化の役目を果たすシステムをいう。

(3) 信号情報センター

信号情報集約システムから信号情報等を受信し、配信センターに送信するセンターのことをいう。

(4) 配信センター

信号情報センターから信号情報を受信し、車両等の利用者に配信するセンターをいう。

4. 方法

センター委員会委員に対するアンケート及び次の表4に示す有識者へのヒアリングを行い、それによって得られた知見を用いてとりまとめた。

表 2.1 ヒアリングを行った有識者（敬称略）

所属	役職	氏名
東京大学 生産技術研究所	教授	大口 敬
一般財団法人道路交通情報通信システムセンター	事業企画部長	安島 巧
公益財団法人日本交通管理技術協会	専務理事	彦坂 正人
公益社団法人日本道路交通情報センター	業務部長	太田 滋徳
一般社団法人日本自動車工業会	I T S 企画部 企画部長	本田 昌裕

5. アンケート及びヒアリングの内容及び結果

5.1. アンケート及びヒアリングの内容

社会的機能要件及び実施主体の条件に関する素案を添付したアンケート票（別冊 1-1「信号情報センターの社会的要件・実施主体に関するヒアリングシート」及び別冊 1-2「信号情報センターの社会的要件及び実施主体の条件について」）を実施先に配布して、アンケート及びヒアリングを実施した。

5.2. アンケート及びヒアリングの結果

結果の概要は次の通りであった。

表 2.2 アンケート及びヒアリングの結果（まとめ）

問1 スライド1「信号情報センター事業全体像（想定）」について	・全体の構造を否定する意見はなく、異論はないという意見もあった。 ・地域への配慮を求める意見があった。 ・競争領域と非競争領域の境界については今後議論した上で合意したいという意見があった。
問2 スライド1「信号情報センター事業全体像（想定）」経済的な負担の配分について	・全体の構造を否定する意見はなかった。 ・初期費用、維持費用の負担者について、検討が必要という意見があった。 ・受益者負担の考えは理解すると意見がある一方、受益者のみに負担を求めては事業展開できないという意見があった。 ・地方自治体の位置付けの明確化を求める意見があった。 ・国等の公的負担が必要という意見があった。
問3 スライド2「クラウド等を活用した信号情報提供に関する事業環境」について	・自動運転だけでなく安全運転支援を視野に入れるべきという意見があった。
問4 スライド3「信号情報センターの事業に関する関係先」について	・福祉事業者を追加するべきという意見があった。 ・通信キャリア等を盛り込むべきという意見があった。 ・地方等の自動運転の実証実験を competitor とするの

	には違和感があるという意見があった。
問5 スライド4、5「信号情報センターの必要性和その任務」について	・基本的な流れについて否定する意見はなく、論旨について肯定する意見があった。 ・集約機能を警察庁が担わない方が良いのではないかという意見があった。一方で、統括、監視、セキュリティ維持、切り分け等の機能は担うべきという意見があった。 ・信号情報センターを担う機関が有するべきものとして、中立公正等の観点を記載するべきという意見があった。
問6 スライド6「信号情報センターの事業の内容」について	・基本的な事業内容について否定する意見はなかった。 ・監査をすることによって信頼性が高い情報を持続的に提供できる仕組みが事業の機能として必要という意見があった。 ・将来を考慮し、信号情報提供以外の事業もできるようにするべきという意見があった。
問7 スライド7「信号情報センターが備える必要のある社会的要件」について	・記載した社会的要件について否定する意見はなく、基本的な内容、人的な課題等について、同意する意見があった。 ・24時間体制の整備が必要という意見があった。 ・全国を統一的に管理する体制が必要という意見があった。 ・リスクヘッジ機能が必要という意見があった。 ・動的データベースに強い人材が必要という意見があった。また、公共的観点が分かる人材が必要という意見があった。
問8 スライド8「信号情報センターの実施主体の条件」追加等について	・基本的な内容について否定する意見はなかった。 ・信号情報だけではなく、それを取り巻く他のものについても事業的に展開できる可能性を残していくべきという意見があった。
問9 スライド8「信号情報センターの実施主体の条件」「考慮すべき事項」として、「数の限定」等について	・数の限定について否定する意見はなく、1組織が事業化の観点から妥当という意見があった。 ・数については制度的担保が必要ではないかという意見があった。
問10 自由な観点からコメント	【今後の事業展開を図る上で貴重な意見が多数あったが、ビジネスの各段階で取り入れるか否かについて評価が必要。】 ・既存組織（JARTIC、VICS センター）の活用を図るべきであるという意見が多数あった。

全体として、原案を否定する意見はなく、積極的に肯定する意見もあったところから、原案に注釈を付す形で取りまとめることとした。

なお、表 2.2 の青字部分の通り、採算性の確保等の今後の事業展開を図る上で貴重な意見が多数あったが、実際にビジネス化を図る際に検討することが妥当と思われるものについては、今後の検討資料とすることとした。

6. 検討結果

6.1. 信号情報センター事業の全体像

次の内容の注釈をすることとし、図 2.1 の通りとりまとめた。

- ・ 信号情報集約システム：その機能については、技術的な観点を含め、事業化の過程で議論が必要
- ・ 費用負担：初期費用と維持費用の負担の配分については議論が必要、なお、ここでの負担は信号情報センターの運営に必要なもののみ
- ・ 自動運転推進企業等：OEM をはじめとする自動運転を推進する企業等
- ・ 受益者：車両運行車のみでなく、Maas 事業者等のデータ利用者等も含む
- ・ 地方自治体：都道府県警察は含まない。例としては、バス等を運行する都道府県、市、町、村
- ・ 信号情報センター：理念的な位置付けの記載であり、機能の地域分散等については、今後議論が必要

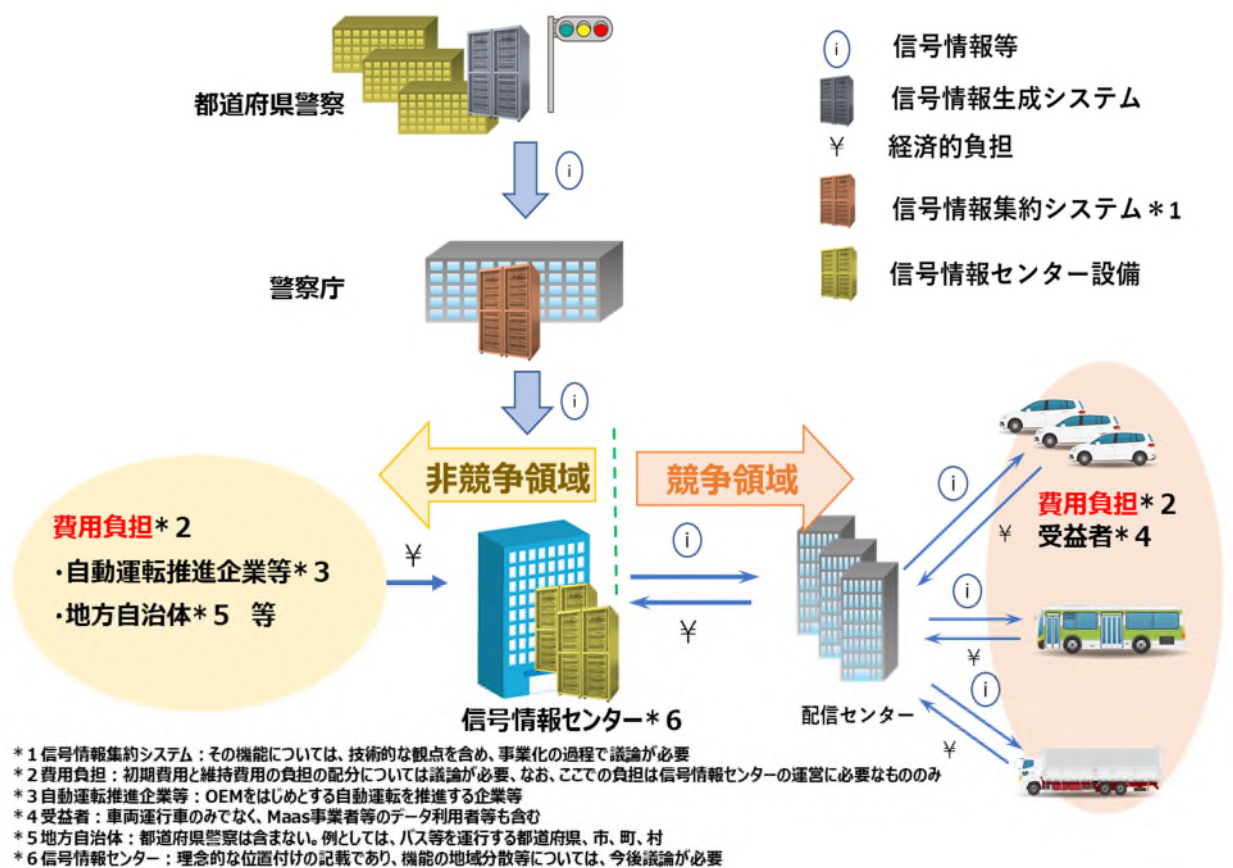


図 2.1 信号情報センター事業の全体像（想定）

6.2. 事業環境

目標設定について 2025 年を取り入れること、安全運転支援を取り入れること、及び 5 G 等の周辺技術の進歩・普及の効果が交通信号情報提供の精度等の向上をもたらすことを取り入れることを行って、図 2.2 の通りまとめた。

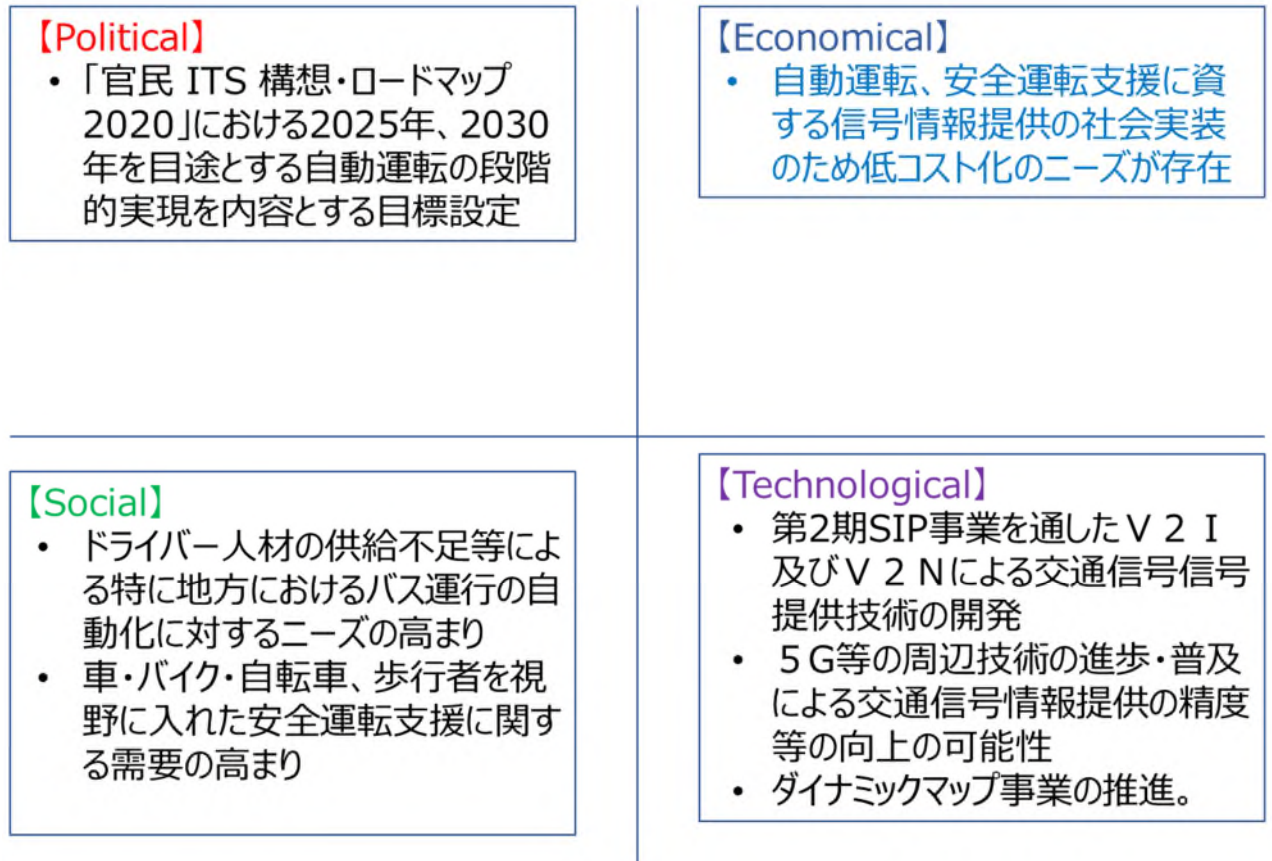


図 2.2 クラウド等を活用した信号情報提供に関する事業環境について

6.3. 事業の関係先

Customer については、旅客運送自動車事業者、ダイナミックマップを念頭に置いた地図関係企業、福祉事業者を原案に加えた。

Supplier を項目として加え、通信キャリア、クラウド事業者を記載した。

Competitor については、スマートフォンにより収集したプローブ等を利用して信号情報を推定するインターネット事業者を記載した。

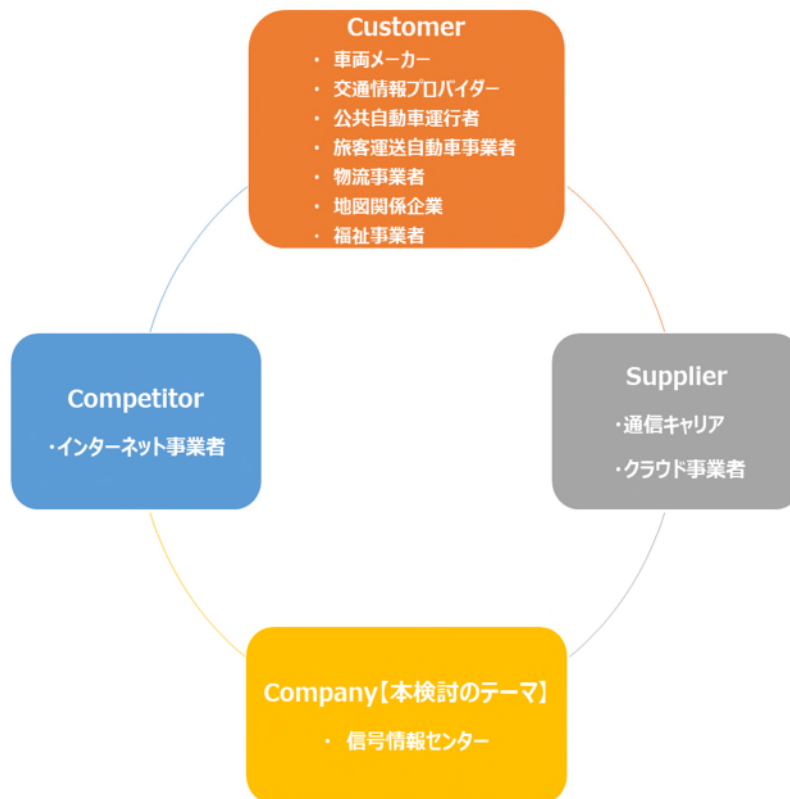


図 2.3 信号情報センターの事業に関する関係先

6.4. 必要性と任務

信号情報センターの必要性について、信号情報センター事業の全体像に基づく、信号情報の生成者である都道府県警察から利用者である車両までの経路を分析し、非競争領域と競争領域をつなぐ存在が必要であること、また、その存在は、中立性と効率性の観点から、競争領域ではなく、非競争領域のエッジに位置づけるべきであることから、根拠付けた。

ただし、ヒアリング・アンケート中で、場合によっては、信号情報センターが直接信号情報提供を行うといった非競争領域と競争領域の線引きに関する検討が必要であるという意見があった。

また、警察庁に設置する想定を集約システムについては、遅延の抑制等の技術的観点から、そ

の役割をさらに検討する必要があるという意見があった。

クラウド等を活用して車両向けに交通信号情報の提供を行う場合、交通信号情報の生成を担う都道府県警察と最終的利用者である自動車等の車両との間の経路には、次のような機能を有する組織が必要である。

- ・ 交通信号情報生成【都道府県警察】
- ・ 交通信号情報集約・中継【？】
- ・ 交通信号情報配信【交通情報提供事業】
- ・ 交通信号情報利用【自動車等車両】

信号情報の配信については、現在の交通情報提供事業の状況から、複数の民間企業の参入が予想される。それら企業は相互に競争相手であり、いわゆる競争領域に属するところから、都道府県警察等が担う非競争領域と競争領域の間で交通信号情報を受け渡すことになる。

非競争領域から競争領域に交通信号情報を受け渡す方法としては、個々の都道府県警察が直接受け渡す方法も理念的には考え得るが、都道府県警察の現状の体制を勘案すると交通信号情報の送信の維持、セキュリティの担保、手続き的等への対応を考慮した場合、実施は極めて困難である。そのため、集約・中継を担う存在が必要となる。

集約・中継の存在の在り方としては、概ね次の3つが考え得るが、警察庁の事務、現状の体制から、日常的な交通情報配信の維持は困難であり、警察庁の業務を固定的な交通信号情報の集約に限定し、民間の交通信号情報中継に委ねることが適切である。

- ① 警察庁が交通信号情報集約・中継の両方を担う
- ② 警察庁が交通信号情報集約を担い、民間組織が同中継を担う
- ③ 民間の組織が交通信号情報集約・中継の両方を担う

- ・ ①については、警察庁の業務形態、体制等から、負担が大きく実現は極めて困難である。
- ・ ③については、集約機能の内容には、技術的な観点から議論の余地があるが、責任分界、セキュリティの観点から、警察庁が少なくとも統括的な機能を担うことは必須であり、警察庁が担う必要のある機能が相当の大きさで存在する。

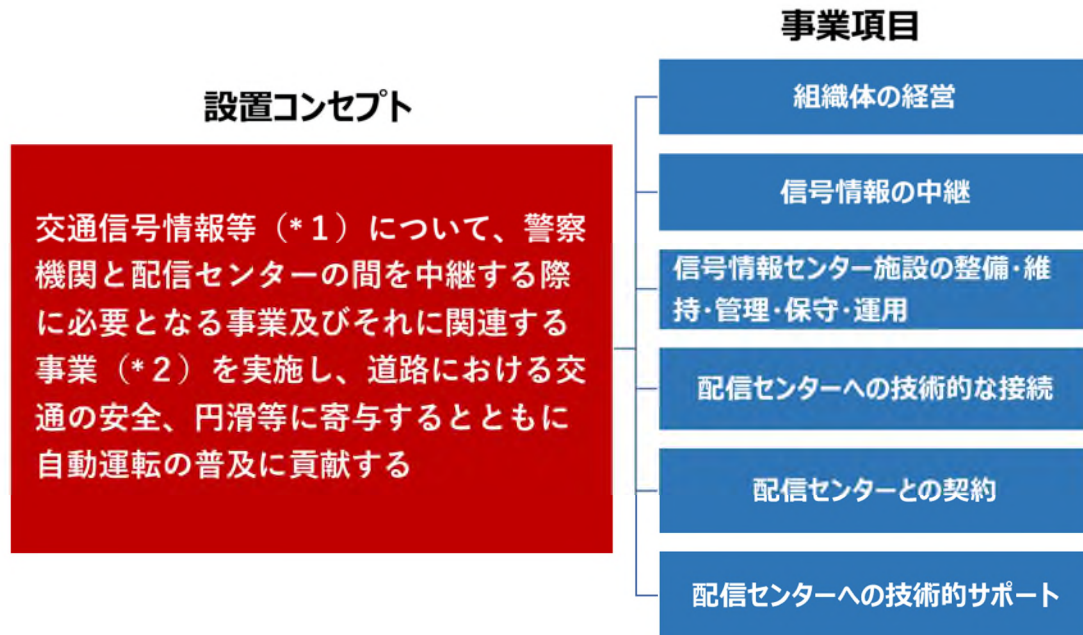
こうしたことから、②の形態が最も実現性が高いものとする。加えて、信号情報センターの性格上、中立性・公正性がもたえられることから、「非競争領域のエッジ」に位置させて、「警察で生成された交通信号情報を競争領域に送り出していくこと」を主な機能とすることが適切と思われる。

図 2.4 信号情報センターの必要性と任務

6.5. 信号情報センターの事業の内容

信号情報センターが担う必要のある事業をまとめた。

交通信号情報だけではなく、規制情報等の自動運転、安全支援運転に必要な情報の中継に含めるべき、採算性の観点から交通管制に使用するプローブデータの配信等の将来的に拡大が見込まれる事業を視野に入れるべき等の意見があった。



*1 交通信号情報等：規制情報、ダイナミックマップ等との紐付けその他の協調型自動運転、安全運転支援に必要な情報を含む。

*2 関連する事業：交通管制に使用するプローブデータの配信をはじめ、将来的に拡大が見込まれる事業も視野に入れる。

図 2.5 信号情報センターの事業の内容

6.6. 信号情報センターが備える必要のある社会的機能要件

事業体としての信号情報センターが備えるべき社会的機能要件と課題をまとめた。

各種人材の必要性についての意見が複数あった。また、全国的に統一されたインターフェイス条件により同レベルのサービスを提供する必要がある、24 時間稼働できる全国的な体制の確保が必要であるという意見があった。

表 2.3 信号情報センターが備える必要のある社会的機能要件

項目	必要な社会的機能要件	課題
組織体の運営	・経営企画機能 ・ファイナンスの確保機能	・人材確保（受益者負担の確保を含むファイナンス経験、公共的な観点で考え得る能力） ・関係機関との意思疎通の円滑性
信号情報の中継	・中継に関するオペレーション機能 ・イベント発生時のリカバリー対応機能	・人材確保（オペレーション経験） ・類似業務の経験
信号情報センター施設の整備・維持・管理・保守・運用	・信号情報センター施設の企画・設計及び関係する発注機能 ・セキュリティ管理機能 ・日常的な障害処理 ・配信センターへのサポート	・人材の確保（フィールドエンジニアリング、動的データベースの専門家） ・類似業務の経験 ・全国的な体制の確保
配信センターへの技術的な接続	・接続用装置等の設置（信号情報センター施設の工事施行含）等実施機能	・人材確保（技術管理能力） ・類似業務の経験
配信センターへの手続的な接続	・受付（条件の確認）機能 ・費用（受益者負担分）の徴収機能	・人材確保（カスタマーサービス経験） ・類似業務の経験
配信センターへの技術的なサポート	・仕様、規格等の確認等の技術サポート	・人材確保（新規開発した信号情報提供技術に関する知見）

※ 赤字の人材は信号情報センターで確保することが必要。オペレーション、施設関係は外部依存も可能。

6.7. 実施主体の条件

社会的機能要件の検討を踏まえ、実施主体の条件をまとめた。

交通情報について、実務を担ってきた既存の事業体（JARTIC、VICS センター）を活用した事業化が適切であるという具体的な意見が多くあった。

数については、採算上も少数にならざるを得ない等の観点から、数の限定については、否定的な意見はなかったが、先行する地域における自動運転事業等を踏まえ、機能の地域分散について留意するべきという意見があった。

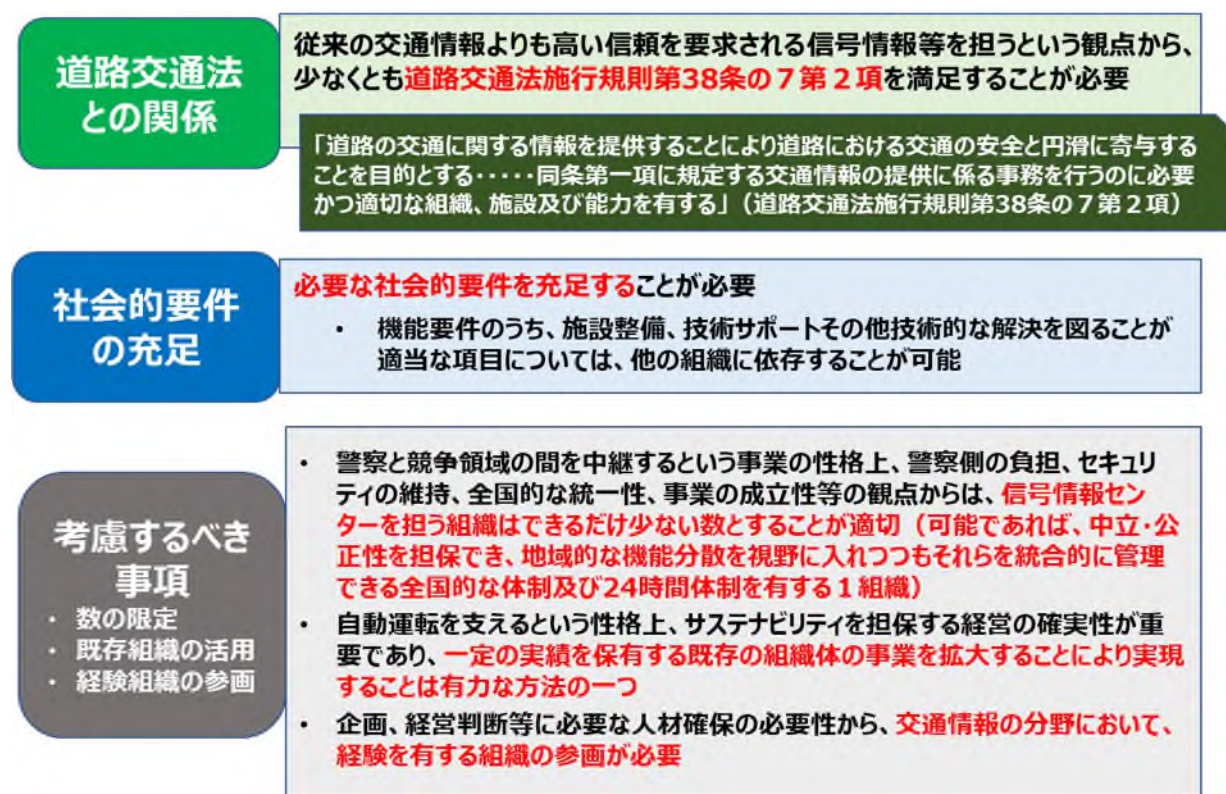


図 2.6 実施主体の条件

7. 考察

交通信号情報の道路交通法及び関係法令における位置づけについては今後の課題であるが、従来、交通情報として扱われてきた情報との類似性がある情報であり、信号情報センターの事業化に当たっては、交通情報を取り扱ってきた既存の事業体が有する知見・ノウハウの活用が必須である。このことは、ヒアリング・アンケートの結果から見ても多くの有識者が意見を同じくするところと考える。

一方で、信号情報センターの設置、運営に当たっては、経費、人材の両方で相当のリソースを確保する必要があることから、事業体を組織する際に、そうした既存の事業体の役割をどのようにデザインするかについて、具体的な採算性を踏まえた詳細な検討が必要となるところである。そうした観点からすれば、まずは、交通信号情報を生成する側の官（警察）とこの種の事業体の経営に知見・ノウハウを有する既存の民間事業体の連携により、具体的な事業化検討を行う枠組みを議論していくことが必要と考える。

(別冊 1-1) 「信号情報センターの社会的要件・実施主体に関するヒアリングシート」

(別冊 1-2) 「信号情報センターの社会的要件及び実施主体の条件について」

第3章 信号情報センターの技術要件に関する検討等（テーマ2）

1. はじめに

本書は、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）における、「クラウド等を活用した信号情報提供の社会実装に向けた研究開発」のうち、テーマ2：信号情報センターの技術要件に関する検討等について記載したものである。

2. 用語の定義

(1) 交通管制システム

道路交通に関する情報の収集・分析及び伝達により、信号機、道路標識又は道路標示の操作並びに警察官又は交通巡視員に対し行う交通の規制に関する指令を一体的かつ有機的に行うためのシステムのことをいう。

(2) 信号予定情報

交差点に設置されている車両用信号灯器ならびに歩行者用灯器の灯色情報ならびに各灯色の残り秒数の情報のことをいう。自動運転車両に搭載される画像センサー等において、状況によって信号灯器および灯色の認識精度が低下する懸念があるため、自動運転車両が信号灯色を正しく認識し、安全に走行することを目的として、必要不可欠なインフラが生成する信号情報のことをいう。

(3) 交差点管理情報

信号予定情報を配信している交差点位置等に関する情報のことをいう。

(4) 信号情報配信装置

都道府県警察の交通管制センターに設置され、信号予定情報を配信する装置をいう。

(5) 信号情報集約システム

警察庁に設置され、都道府県警察に設置される信号情報配信装置から信号予定情報等を受信し、信号情報センターへ送信する機能を主として担い、都道府県警察で生成された信号予定情報等の配信ルート一本化の役目を果たすシステムのことをいう。

(6) 信号情報センター

信号情報集約システムから信号予定情報等を受信し、民間の事業者サーバー等へ信号予定情報を配信するセンターのことをいう。

(7) デジタル地図

道路情報をコンピュータで扱えるように数値情報として表現した地図をいう。

(8) 各サーバー

サーバー装置によって構成される装置を指す。信号情報集約システムと信号情報センターでは指すものが異なる。

(9) 各ネットワーク機器

レイヤー2スイッチ、レイヤー3スイッチ及びファイアウォールをいう。

3. 信号情報センターの技術的要件

3.1. 機能再配置に伴う信号情報提供サービス全体構成の検討

3.1.1. サービス概要

クラウド等を活用した信号情報の提供を目指す本システムは、都道府県警察の交通管制システム、警察庁の信号情報集約システム、信号情報センターに設置される信号情報センターシステムが連携して機能を実現する。信号情報提供サービスの概要図を図 3.1 に示す。都道府県警察の交通管制システムでは、管制方式、集中方式、制御機方式のいずれかの方式により信号予定情報を生成し、信号情報配信装置を介して配信する。次に、警察庁に整備される信号情報集約システムは、全国の信号情報配信装置から配信される信号予定情報を集約し、信号情報センターへ配信する。最後に、信号情報センターは、民間事業者により運営される配信センターへ信号予定情報を配信する。最終的には配信センターを介して、自動運転車両に信号予定情報が配信される。

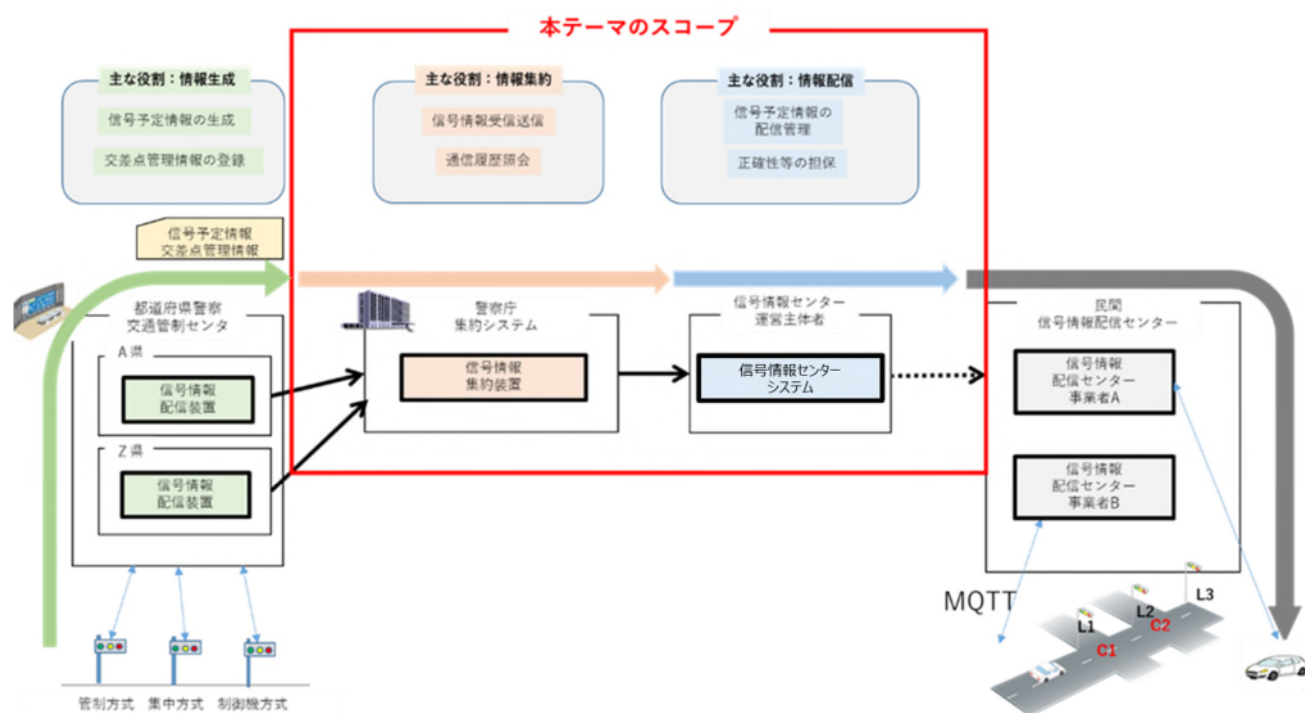


図 3.1 サービスの全体概念図

3.1.2. サブシステムの機能分担

本研究開発では、信号情報センターの社会的要件を考慮し、信号情報集約システム、及び信号情報センターの立場から各システム機能を検討し、表 3.1 の通り整理した。サービス全体の費用対効果の観点から信号情報センターと信号情報集約システムにおいて、機能重複を極力避けることとした。

表 3.1 システム機能上の役割

システム	協調領域			競争領域（民間）
	都道府県警察 ／交通管制システム	警察庁 ／信号情報集約システム	信号情報センター ／信号情報センターシステム	配信センター ／配信センターシステム（仮）
システム上 の 機能分担	○信号予定情報の生成	○全国情報集約・ルート1本化	●信号情報等の 規約整合性の確保	○信号予定情報の配信管理
	○交差点管理情報の登録			
	○通信等の管理 ○履歴照会	○通信監視（通信異常対応） ●履歴照会	●配信の管理・照会	—
	○信号予定情報の提供管理 （信号予定情報の 整合性の確保）	●実証実験の各種検証 （サービス立上げ時含む）	●提供情報の管理	—

【凡例】 ●：機能分担が変化するもの、○機能分担が変化しないもの

2021年度までの検討によると、信号情報センターとしては信号予定情報の配信管理を想定していた。当該センターの社会的要件を考慮すると、最終的な情報配信元として配信情報の規約整合性の確保等を行うことや、その提供情報の監視・管理を行う役割の追加が必要と考えられる。それに伴い、全体最適の観点から、信号情報集約システムの機能が軽減できる。これらを踏まえ、機能再配置後の各システムの機能について簡単に説明する。

- ・都道府県警察の交通管制システムでは、信号予定情報の生成、交差点管理情報の登録、通信等の管理、履歴照会、信号予定情報の提供管理を担い、信号予定情報に関するデータ生成とその履歴管理及び交差点管理情報との整合の確保を行う。
- ・警察庁に整備される信号情報集約システムは、全国情報集約・ルート1本化、通信監視、履歴照会、実証実験の各種検証の機能があり、セキュリティ・維持管理の面から全国情報集約・ルート1本化の機能を担い、交通管制システム内の信号情報配信装置と信号情報センター間の情報中継を担う。また、サービス立上げ時や実証実験時に対応する機能も具備する必要があると考えられる。
- ・信号情報センターの信号情報センターシステムでは、信号情報等の規約整合性の確保、配信の管理・照会、提供情報の管理を担い、主として信号情報集約システムから受信した信号予定情報等を、民間事業者による配信センターへ配信する役割を担う。配信事業者は必要な情報についてのみ情報配信を要求することが考えられることから、配信内容の管理が必要であり、また配信情報についても一定程度の品質を確保する観点から規約整合性の確認を行う必要があると考えられる。

3.1.3. サブシステム間の概略機能構成

前節の検討に基づき、信号情報集約システムと信号情報センターシステムの機能概要を検討した。その内容を以下に示す。

3.1.3.1. 信号情報センターの概略機能構成

前節の検討に基づき、当該センターの社会的要件等を考慮し、アプリケーションとして必要となる機能構成の概略を検討した。結果は表 3.2 の通りとなった。

表 3.2 信号情報センターシステムの概略機能構成

No.	大項目	小項目
1	データ中継機能	信号情報等の収集
2		信号情報等の配信
3		配信情報の管理
4	運用監視・管理機能	配信内容の監視
5		システム異常監視
6		信号情報配信の停止
7	運用支援機能	配信履歴の管理・照会
8		運用実績の集計
9		接続管理
10	システム維持管理機能	システム故障管理
11		システム管理

3.1.3.2. 信号情報集約システムの概略機能構成

前節の検討に基づき、信号情報センターと信号情報集約システムにおいて機能重複を極力避けることとし、機能の最適化を図った結果を表 3.3 に示す。

表 3.3 信号情報集約システムの機能最適化の検討結果

大項目	小項目	検討結果
情報受信	信号予定情報受信	○
	交差点管理情報受信	○
情報蓄積	信号予定情報蓄積	△
	交差点管理情報蓄積	△
	配信用信号予定情報蓄積	△
	配信用交差点管理情報蓄積	△
稼働監視	接続装置状態監視	○
	システム状態監視	○
情報管理	信号予定情報判定	×
	装置稼働判定	○
	信号予定情報管理	○
	交差点情報管理	○
情報検証	信号予定情報監視	×
情報送信	信号予定情報送信	○
	交差点管理情報送信	○
システム管理機能	警報出力	○
	蓄積データ管理	○
	時刻同期機能	○
デジタル地図	デジタル地図表示	×
	デジタル地図操作	×
	検索地図表示	×
デジタル地図上の信号予定情報の表示	共通	×
	信号予定情報稼働情報表示	×
	信号予定情報リアルタイム表示	×
管理情報照会	接続装置状態情報抽出	○
信号予定情報照会	信号予定情報稼働情報抽出	○
	信号予定情報詳細履歴データ抽出	○
	信号予定情報の受信・稼働履歴抽出	○
	信号予定情報の配信・稼働履歴抽出	○
信号予定情報表示	リアルタイム表示	○
信号予定情報介入	停止介入	△
	停止介入一覧	△

凡例： ○：同等の機能を具備する

△：機能・規模を簡素化するもの

×：機能を削除するもの

機能軽減の観点については次の通りである。

- (1) 規約整合性等の配信監視は、信号情報センターにおいて実施するため、「信号予定情報判定」は削除が妥当と判断できる。
- (2) 信号予定情報を含めたデータ有効期間等の検証に関する運用実績の集計等は信号情報センターが行うため、「信号予定情報監視」は削除が妥当と判断できる。
- (3) デジタル地図等を用いた高度な運用支援、状況把握は、信号情報センターにおいて具備されるため、「デジタル地図」「デジタル地図上の信号予定情報の表示」については集約システムから削除することが可能と判断できる。
- (4) 履歴に関してはデータベースによる照会を必須とせずに、当該装置の障害対応・技術検証用途に必要な期間の蓄積とする方針とすることで、蓄積期間の軽減が可能と判断できる。障害対応用途ということであれば、期間は最長で14日間程度が妥当であると判断できる。
- (5) 「信号予定情報介入」については、実験・サービス立上げ時の検証用途では必要な機能であるが、精緻な機能実装は不要で、その粒度が粗くても良いと判断できる。

上記の機能再構成の検討結果を反映させた機能概略構成は表3.4のとおりとなる。

表3.4 信号情報集約システムの概略機能構成

No.	大項目	小項目
1	全国情報集約機能	情報受信
2		情報送信
3		情報管理 *1
4	運用監視・管理機能	稼動監視 *2
5		信号予定情報介入
7	運用支援機能	情報蓄積
8		信号予定情報照会
9		信号予定情報表示
10	システム維持管理機能	システム管理機能
11		管理情報照会

*1：信号予定情報判定は除く

*2：信号予定情報監視除く

3.1.4. サブシステム間連携

信号情報集約システム及び信号情報センターシステムは、複数の都道府県の交通管制システムで生成された信号情報を集約し、複数の民間事業者に配信する。その際に、各システム間で連携・協調し、正確かつ迅速に情報を伝達する必要がある。次にあげる事項に関して、サブシステム間での考え方の統一や連携が必要なものについて記す。

3.1.4.1. 異常発生時の情報伝達の考え方

提供される信号予定情報は自動運転車両の車両制御の一部に使用されると想定されている。したがって、各種機器の異常発生時には直ちに情報を車両に通知する必要があると考えられる。信号予定情報については方式により情報生成元が異なるが、図 3.2 に示すような機器を経由して車載機に通知される。

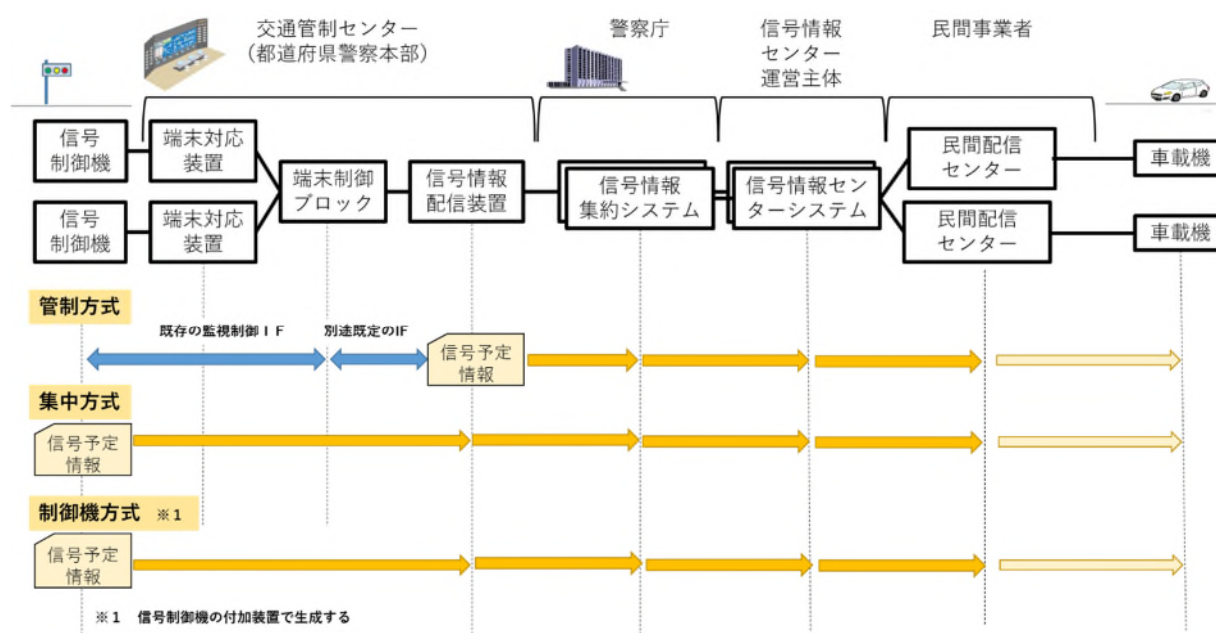


図 3.2 信号予定情報の情報伝達ルート

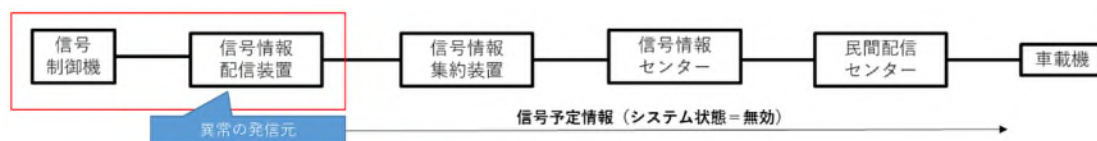
代表的な障害発生ケースを以下のとおり2つのシナリオに分けて検討するものとする。

シナリオ1 信号機を含む交通管制システム内で障害が発生する場合

シナリオ2 システム間の通信障害が発生する場合

【シナリオ 1】 障害発生時は情報生成元で異常を判定し、信号予定情報のシステム状態を無効とする

- ・信号機・信号情報配信装置での障害検出による配信（集中方式・制御機方式／管制方式）
- ・個別交差点の信号予定情報の遅延・途絶（集中方式・制御機方式）



【シナリオ 2】 障害発生時は速達性を考慮し、センター側障害情報を通知し、民間配信センターへ通知する（想定シナリオ）民間配信センター側で、当該信号予定情報のシステム状態を無効とする

- ケース 1： 都道府県・信号情報配信装置からの配信（全て）が途絶
 ケース 2： 信号情報集約装置からの通信が途絶

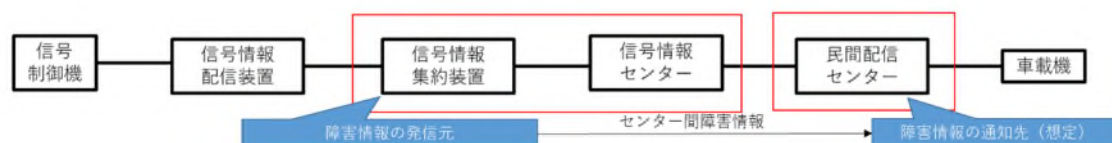


図 3.3 異常時の情報伝達方式の考え方

まず、シナリオ 1 は信号機を含む交通管制システム内で障害が発生する場合であり、この場合は情報生成元（信号情報配信装置、信号制御機、信号制御機の付加装置）で異常を判定し、信号予定情報のシステム状態を無効として配信し、車載機に通知するものである。また、障害発生の詳細については、別テーマで検討されている。

次に、シナリオ 2 はセンター間での通信途絶や接続装置の故障等が想定される場合であり、この場合は異常を検出したセンター装置側でセンター間障害情報を生成し、民間配信センターへ通知するものである。これは表 3.5 に示す通り、センター間の通信障害が発生した際に、信号予定情報のシステム状態を無効にする処理の実施について、センター（信号情報集約システム、信号情報センターシステム）側で行うよりも、センター間障害情報を通知する方が遅延を少なく速達性をもって伝達できると考えられるため、提案されたものである。その後、通知を受けた民間配信センターで、信号予定情報のシステム状態を無効にする等の措置を行い、当該信号情報について無効化を図ることを想定している。

表 3.5 システム機能上の役割

センター間障害発生時の対応策	処理遅延	通信遅延
センター間障害情報の通知	○	○
信号予定情報の無効化処理*1	△	△
*1 システム状態を無効化する処理を指す 凡例：○：適している、 △：適していない		

3.1.4.2. センター間の障害監視

実際にセンター間の障害が発生し、回復するケースを (1) 信号情報集約装置における信号情報配信装置との接続監視、(2) 信号情報センターにおける信号情報集約システムとの接続監視の 2 ケースに分けてシーケンスを示す。

(1) ケース 1：信号情報集約装置における信号情報配信装置との接続監視

信号情報配信装置からのヘルスチェック異常検出までを図 3.4 に、その後、車載機までの通知を図 3.5 に示す。さらに、その後、信号情報配信装置の復旧検出を図 3.6 に、最終的な情報配信までを図 3.7 に示す。

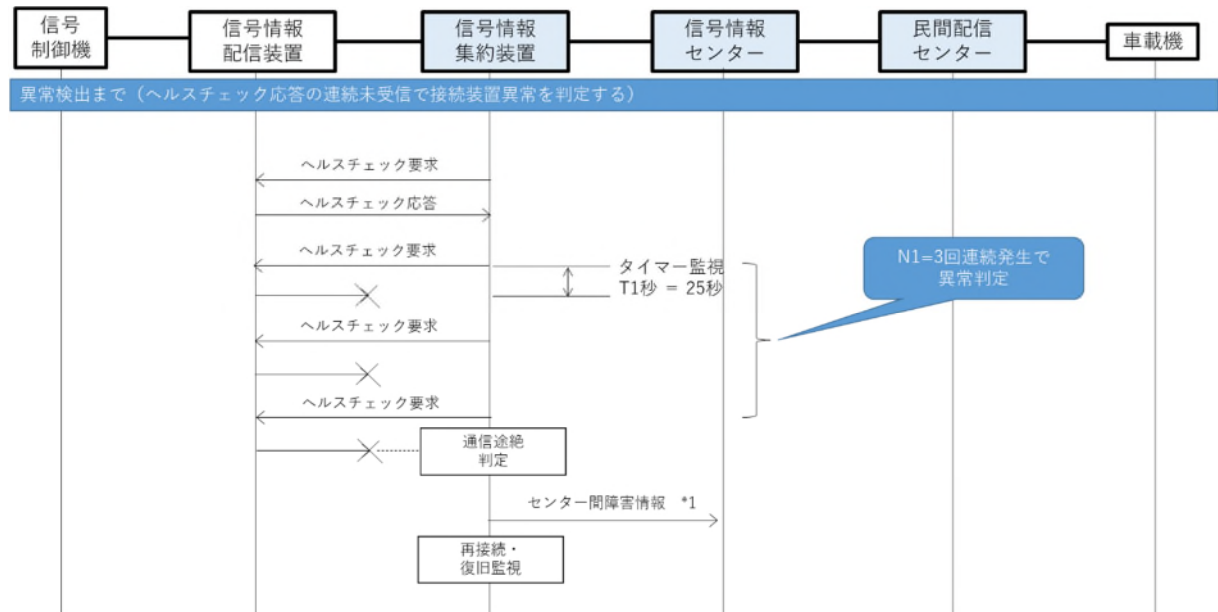


図 3.4 異常検出までのシーケンス (ケース 1)

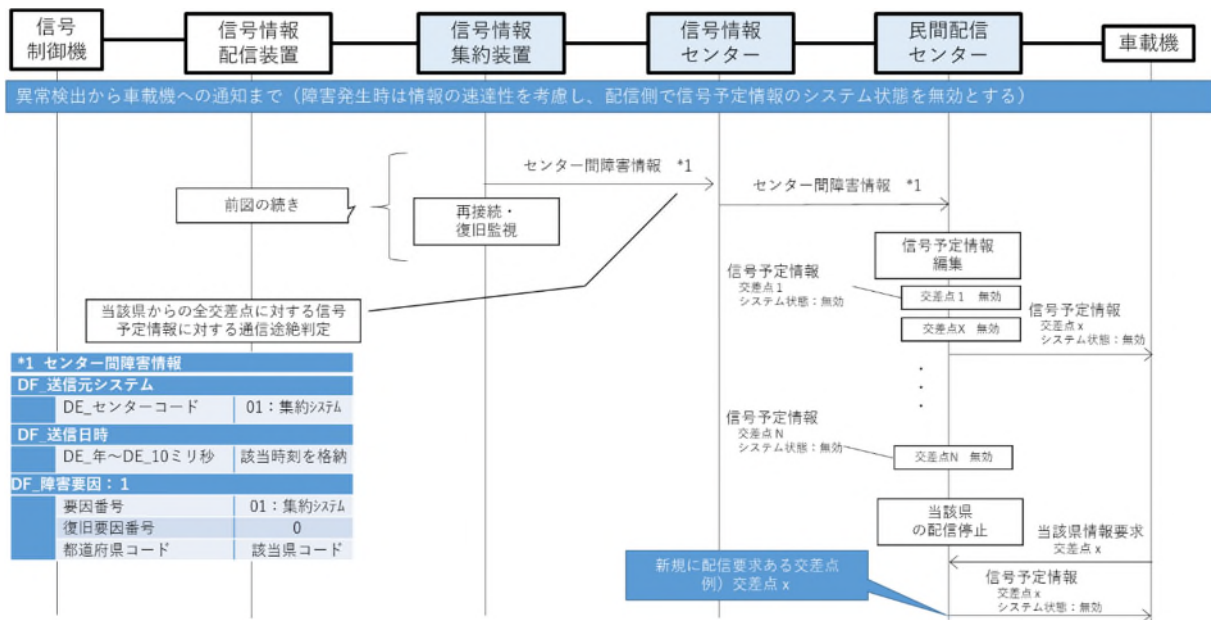
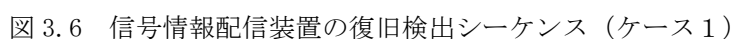
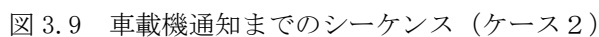
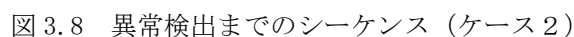


図 3.5 車載機通知までのシーケンス (ケース 1)



信号情報集約装置からのヘルスチェック異常検出までを図 3.8 に、その後、車載機までの通知を図 3.9 に示す。さらに、その後、信号情報集約装置の復旧検出を図 3.10 に、最終的な情報配信までを図 3.11 に示す。



4. 信号情報センターの技術要件に関する検討

4.1. システム機能要件

前節の機能概略構成をもとに検討した機能を次項以降で示す。

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
データ中継機能		
データ受信 (信号情報等の収集)	信号予定情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から信号予定情報を受信すること。なお、信号情報集約装置との間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
	交差点管理情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から交差点管理情報を受信すること。なお、信号情報集約装置との間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
データ送信 (信号情報等の配信)	信号予定情報送信	送信準備された信号予定情報を信号情報配信センターに送信すること。 当該装置で停止介入（停止／開始）があった場合、当該信号予定情報の送信を停止／開始すること。なお、信号情報配信センターとの間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
	交差点管理情報送信	送信準備された交差点管理情報を信号情報配信センターに送信すること。 当該装置で停止介入（停止／開始）があった場合、当該交差点管理情報の送信を停止／開始すること。なお、信号情報配信センターとの間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
配信情報の管理	信号予定情報管理	送信する信号予定情報は、信号情報配信センター毎にエリア(県単位)を指定して送信できること。 信号予定情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新都度最新状態に更新管理すること。
	交差点情報管理	送信する交差点管理情報は、信号情報配信センター毎にエリア(県単位)を指定して送信できること

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		。 交差点管理情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新都度最新状態に更新管理すること。
運用監視・管理機能		
配信情報の監視 (配信内容の監視)	信号予定情報監視	信号情報集約装置から収集した信号予定情報（信号灯色表示、表示秒数、信号状態情報等）の状況監視を行う。
	交差点管理情報監視	信号情報集約装置から収集した交差点管理情報（交差点ID、位置情報等）の状況監視を行う。
	配信用 信号予定情報監視	信号情報配信センターに送信する信号予定情報を県単位に監視する。
	配信用 交差点管理情報蓄積	信号情報配信センターに送信する交差点管理情報を県単位に監視する。
配信情報の障害監視 (配信内容の監視／システム異常監視)	信号予定情報 障害監視	(1) 信号情報集約装置から受信した信号予定情報を検証する。信号予定情報が無効であることを受信した場合には、そのまま信号予定情報を信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に通知すること。 (2) 信号情報集約装置から受信した信号予定情報フォーマットを検証する。規約違反の電文を受信した場合には、当該信号予定情報を無効とし、システム管理者に異常通知すること。 (3) 停止介入があった場合、当該交差点の信号予定情報のシステム状態を無効とし信号情報配信センターへ送信すること。
	センター装置 障害監視	(1) センター間障害情報を受信した場合、速やかに信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に異常通知すること。 (2) 信号情報集約装置からのヘルスチェック応答を監視し、一定時間経過してもヘルスチェック応答の受信がなかった場合は、通信路上に異常が発生したとして、センター間障害情報を信号情報配信センターへ送信し、再接続処理を行うこと。また、再接続後、ヘルスチェック応答を受信した場合、速やかにセンター間障害情報（復旧

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		通知)を信号情報配信センターへ送信し、通信障害が復旧したとして、信号予定情報を送信できる状態とするとともに、ヘルスチェック応答の監視を再開すること。 (3) 信号情報センターシステムの装置状態の監視結果に基づき、システム状態が異常となる場合はシステム管理者に異常通知すること。 (4) 当該装置で停止介入(一括)があった場合は、センター間障害情報を信号情報配信センターへ送信すること。
	交差点管理情報障害監視	(1) 信号情報集約装置から受信した交差点管理を検証する。交差点管理情報が無効であることを受信した場合には、そのまま交差点管理情報を信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に異常通知すること。 (2) 信号情報集約装置から受信した交差点管理情報フォーマットを検証する。規約違反の電文を受信した場合には、システム管理者に異常通知すること。
信号情報配信の停止	停止介入制御	停止制御により、信号情報配信センターへの信号予定情報及び、交差点管理情報の送信停止を、信号予定情報障害監視機能(無効送信)、データ送信機能(送信停止)に要求する。 また開始制御により、信号情報配信センターへ信号予定情報及び、交差点管理情報の送信開始を、信号予定情報障害監視機能(無効解除)、データ送信機能(送信停止解除)に要求する。
運用支援機能		
データ蓄積 (配信履歴の 管理・照会)	信号予定情報蓄積	信号予定情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報蓄積	交差点管理情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	配信用信号予定情報蓄積	信号情報配信センターに送信する信号予定情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	配信用交差点管理情報	信号情報配信センターに送信する交差点管理情報

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	報蓄積	を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号予定情報障害情報蓄積	信号予定情報障害情報（無効／フォーマット異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報障害情報蓄積	交差点管理情報障害情報（無効／フォーマット異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	センター装置障害情報蓄積	センター装置障害監視情報（センター間障害情報／接続装置異常／システム状態異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号情報集約装置送受信情報蓄積	信号情報集約装置と送受信した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号情報配信センター送受信情報蓄積	信号情報配信センターと送受信した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	停止介入情報蓄積	停止介入した制御情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号予定情報運用実績履歴蓄積	信号情報配信センターに信号予定情報を提供した時間をサービス提供時間としてデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報運用実績履歴蓄積	信号情報配信センターに交差点管理情報を提供した時間をサービス提供時間としてデータベースに登録し、蓄積すること。
画面表示 (配信履歴の管理・照会)	デジタル地図表示	(1) 次の道路等を表示できること。 ア 幅員が 3 m 以上の一般道路、高速自動車国道及び自動車専用道路 イ 国土地理院地形図（2 万 5 千分の 1）に示す鉄道、駅、湾岸線、湖沼及び河川 なお、国土地理院地形図は、契約時における最新のものであること。 (2) 地図は 1／5,000,000～1／1,000 を含む範囲の縮尺が表示可能であり、10 段階以上で拡大及び縮小表示ができること。 (3) 地図は、契約時における最新版とし、発注者の承認を得ること。 (4) 地図は、更新できるものであること。 (5) 地図を同時に 2 枚以上起動できること。
	デジタル地図操作	(1) スクロール

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		次の3種類のスクロールモードで地図のスクロールができること。 ア マウスの左ボタンのダブルクリックによるワ ンタッチスクロール（ダブルクリックした地 点が画面の中心にスクロールする。） イ マウスの左ボタンのドラッグによるつかみス クロール ウ マウスの右ボタンのクリック&ドラッグによ るフリースクロール (2) 縮尺変更 地図上の縮尺変更により、無段階又は10段階以上 での縮尺変更できること。また、マウスホイール の操作による縮尺変更に対応できること。
	検索地図表示	(1) 地図検索 ア 検索種別（住所／地名、郵便番号、交差点名、 駅、路線名）に応じて、文字検索を行い、検索 結果をリスト表示すること。 イ リスト表示された検索結果を選択することによ り、選択位置を地図表示すること。
	共通	(1) 複数の信号情報配信センターからのデータに対 する問い合わせ時に内容を解析し、課題がある 場合は関係部署との連携含め問題の切り分け時 に上流に情報伝達して対処依頼を行い、解析を 迅速に正確に行なうために、地図上に各種情報 を表示するビューア機能を有すること。 (2) デジタル地図上に表示する各種情報は重畳表示 できること。
	信号予定情報 リアルタイム表示	最新の信号予定情報に基づき、当該装置の時計時 刻と比較し、現在灯色及びその残秒数を算出し、 その後、計時とともに、残秒数をカウントダウン できること。さらに、残秒数が0になった場合は、 次の灯色に切り替わり及びその残秒数を算出でき ること。なお、新たに信号予定情報を受信し、最 新の信号予定情報が更新された際にはその情報に 切替えて表示できること。

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	信号予定情報 稼働情報表示	デジタル地図上に信号機マークを表示し、その表示色等により信号予定情報の稼働状態（データあり、データなし（欠測）、収集期間内にデータなし）を示すこと。なお、信号機マークの表示位置は交差点管理情報（交差点ID、交差点位置情報）に従うこと。
	信号予定情報 詳細履歴データ抽出	データベースに蓄積された信号予定情報の履歴データの照会・表示ができること。
	信号予定情報 稼働情報抽出	(1) 受信情報である信号予定情報に関する稼働状態（正常/異常/介入停止等）を交差点単位で抽出し、一覧化できること。 (2) 稼働状態毎に件数を抽出し、表示できること。
	接続装置状態 情報抽出	(1) 接続先である警察庁の信号情報集約装置、信号情報配信センターの監視状況（正常/異常等）を抽出し、一覧化できること。 (2) 異常件数を抽出し、表示できること。
	信号予定情報の 受信・稼働履歴抽出	接続先である警察庁の信号情報集約装置からの受信した情報に関して、受信・稼働状況の履歴一覧を表示することができること。
	信号予定情報の 配信・稼働履歴抽出	接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、送信・稼働状況の履歴一覧を表示することができること。
	停止介入情報抽出	信号予定情報の停止介入の実施時状況を一覧表示できること。
	信号予定情報運用実 績履歴抽出	接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。
	交差点管理情報運用 実績履歴抽出	接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。
	停止介入入力	交差点を指定し、信号予定情報/交差点管理情報の配信を停止/開始することができること。
	信号情報集約装置接	信号情報集約装置を指定し、信号情報集約装置と

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	続入力	の回線を接続／切断できること。
	信号情報配信センター接続入力	信号情報配信センターを指定し、信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。
運用実績の集計	信号予定情報運用実績集計	信号情報配信センターに信号予定情報を提供した時間をサービス提供時間として集計すること。
	交差点管理情報運用実績集計	信号情報配信センターに交差点管理情報を提供した時間をサービス提供時間として集計すること。
接続管理	信号情報集約装置接続制御	信号情報集約装置との回線を接続／切断できること。
	信号情報配信センター接続制御	信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。
システム維持管理機能		
システム故障管理	装置監視	信号情報配信センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア障害を検知し障害内容を確認できること。
	ネットワーク監視	信号情報配信センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のネットワーク障害を検知し障害内容を確認できること。
データ蓄積 (システム故障管理)	装置故障情報蓄積	信号情報配信センターのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア障害を検知した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	ネットワーク障害情報蓄積	信号情報配信センターのサーバー、ネットワーク機器等のネットワーク障害を検知した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
画面表示 (システム故障管理)	装置故障表示	信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア故障を抽出し、一覧表示できること。
	ネットワーク障害表示	信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等からネットワーク障害を抽出し、一覧表示できること。
システム管理	起動・停止	信号情報配信センターシステムの起動・停止ができること。
	警報出力	接続装置状態及びシステム状態に応じて異常と判定される場合は、警報出力する。

表 3.6 信号情報センターシステムの機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	蓄積データ管理	データベース化したデータの保存期間は 1 年間とし、それ以前のデータは自動で消去すること。
	時刻同期機能	GPS 時刻同期機能を備えること。また、GPS 時刻同期機能による時刻ソースと、NTP プロトコルにより信号情報センターシステムの装置時刻を同期できること。

4.2. 画面の機能要件

ソフトウェア機能構成で示した中で、画面機能として実現するものについて以下に概要を記載する。信号情報センターシステムにおいて、画面表示を伴う要件は以下のものである。

- ・デジタル地図上の信号予定情報（稼働情報表示）
- ・デジタル地図上の信号予定情報（リアルタイム表示）
- ・システム状況照会（情報提供の稼働情報表示）
- ・システム状況照会（接続装置状態表示）
- ・システム状況照会（装置故障状況表示）
- ・システム状況照会（ネットワーク障害表示）
- ・信号情報照会（リアルタイム表示）
- ・信号情報照会（詳細履歴データ抽出）
- ・信号情報照会（受信履歴表示）
- ・信号情報照会（配信履歴表示）
- ・運用実績照会（信号予定情報実績照会）
- ・運用実績照会（交差点管理情報実績照会）
- ・信号情報停止介入
- ・システム接続制御

4.3. デジタル地図上の信号予定情報（稼働情報表示）

信号情報センターでは、信号情報配信センターから提供された信号情報に関する苦情の受付、分析、切り分けを行う必要がある。その際、状況把握・影響範囲等の分析においては地理的連続性の把握が必要となることから、デジタル地図上での状況把握が可能な画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

デジタル地図上に信号機マークを表示し、その表示色等により信号予定情報の稼働状態（データあり、データなし（欠測）、収集期間内にデータなし）を示すこと。なお、信号機マークの表示位置は交差点管理情報（交差点 ID、交差点位置情報）に従うこと。

4. 4. デジタル地図上の信号予定情報（リアルタイム表示）

信号情報センターでは、信号情報配信センターから提供された信号情報に関する苦情の受付、分析、切り分けを行う必要がある。信号機は地理的に隣接する交差点との連携し、信号制御パラメータ（サイクル長変動、オフセット追従等）を決定し動作している。したがって、信号情報の地理的関係性を踏まえた状況把握を容易にするために、本画面を実装する。仕様は次の通りとする。

- (1) 最新の信号予定情報に基づき、当該装置の時計時刻と比較し、現在灯色及びその残秒数を算出し、その後、計時とともに、残秒数をカウントダウンできること。さらに、残秒数が 0 になった場合は、次の灯色に切り替わり及びその残秒数を算出できること。なお、新たに信号予定情報を受信し、最新の信号予定情報が更新された際にはその情報に切替えて表示できること。
- (2) 表示条件は、交差点及び灯器 ID を指定できることであるが、地図上からも選択できること。

4. 5. システム状況照会（情報提供の稼働情報表示）

システムの運用監視上、信号情報の提供状況を照会できる必要であるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 受信・配信情報である信号情報に関する稼働状態（正常/異常/介入停止等）を交差点単位で抽出し、一覧化できること。
- (2) 過去状況を照会するため、時刻を設定することができること。なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。
- (3) 照会一覧表示する際には、常に最新情報を確認できるように、自動更新のオン・オフを指定できること。
- (4) 表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の前情報及び後情報がボタンにより容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。
- (5) 稼働状態毎に件数を抽出し、表示できること。

4. 6. システム状態照会（接続装置状態表示）

システムの運用監視上、接続装置の稼働状況を照会できる必要であるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続装置（信号情報集約装置、信号情報配信センター）の監視状況（正常/異常等）を、一覧化できること。
- (2) 過去状況を照会するため、時刻を設定することができること。なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。
- (3) 照会一覧表示する際には、常に最新情報を確認できるように、自動更新のオン・オフを指定できること。
- (4) 表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の前情報及び後情報がボタンにより容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。
- (5) 異常件数を抽出し、表示できること。

4.7. システム状態照会（装置故障状況表示）

システムの運用監視上、自システムの装置故障状況を照会できる必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア故障を抽出し、自システムの装置故障状況を一覧表示できること。
- (2) 過去状況を照会するため、時刻を設定することができること。なお、設定する時刻は蓄積データある範囲とし、年月日時分で設定することができること。
- (3) 照会一覧表示する際には、常に最新情報を確認できるように、自動更新のオン・オフを指定できること。
- (4) なお、表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の前情報及び後情報がボタンにより容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。
- (5) 故障発生件数を抽出し、表示できること。

4.8. システム状態照会（ネットワーク障害表示）

システムの運用監視上、システムのネットワーク状況を照会できる必要であるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等からネットワーク障害を抽出し、自システムのネットワーク状況を一覧表示できること。
- (2) 過去状況を照会するため、時刻を設定することができること。なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。
- (3) 照会一覧表示する際には、常に最新情報を確認できるように、自動更新のオン・オフを指定できること。
- (4) 表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の前情報及び後情報がボタンにより容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。
- (5) 障害発生件数を抽出し、表示できること。

4.9. 信号情報照会（リアルタイム表示）

信号予定情報のリアルタイムな把握を容易にするために、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 最新の信号予定情報に基づき、当該装置の時計時刻と比較し、現在灯色及びその残秒数を算出し、その後、計時とともに、残秒数をカウントダウンできること。さらに、残秒数が0になった場合は、次の灯色に切り替わり及びその残秒数を算出できること。なお、新たに信号予定情報を受信し、最新の信号予定情報が更新された際にはその情報に切替えて表示できること。
- (2) 表示条件は、交差点及び灯器 ID を指定できること。

4. 10. 信号情報照会（詳細履歴データ抽出）

信号予定情報について現在を含め過去分の情報項目の詳細を照会するために、本画面を設ける。

- (1) データベースに蓄積された信号予定情報の履歴データの照会・表示ができること。
- (2) 信号予定情報の履歴データの照会条件は、照会日時（年月日時分）、提供県、交差点を指定できること。
- (3) 表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の前情報及び後情報がボタンにより容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。
- (4) 交差点の指定は、リスト、文字列等による指定だけでなくデジタル地図上から対象地点を選択して、履歴データ照会の対象交差点を設定できること

4. 11. 信号情報照会（受信履歴表示）

信号予定情報の受信状況に関して、現在を含め過去分の情報項目の詳細を照会できる必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である警察庁の信号情報集約装置からの受信した情報に関して、受信・稼動状況の履歴一覧を表示することができること。
- (2) 一覧表示の照会条件は、照会時刻、交差点及び稼動情報を設定することができること。
なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。

4. 12. 信号情報照会（配信履歴表示）

信号予定情報の配信状況に関して、現在を含め過去分の情報項目の詳細を照会できる必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、送信・稼動状況の履歴一覧を表示することができること。
- (2) 一覧表示の照会条件は、照会時刻、交差点及び稼動情報を設定することができること。
なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。

4. 13. 運用実績照会（信号予定情報実績照会）

信号情報のサービス実績を集計する必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。
- (2) 表示の照会条件は、照会年月日、交差点を設定することができること。なお、設定する期間は蓄積データがある範囲とし、年月日で設定することができること。

4. 14. 運用実績照会（交差点管理情報実績照会）

信号情報のサービス実績を集計する必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を

表示することができること。

- (2) 表示の照会条件は、照会年月日、交差点を設定することができること。なお、設定する期間は蓄積データがある範囲とし、年月日で設定することができること。

4. 15. 信号情報停止介入

データ異常時の配信停止及び試験・工事等に伴う配信停止を行うことも考えられるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

＜停止介入＞

- (1) 交差点を指定し、信号予定情報／交差点管理情報の配信を停止／開始することができること。
- (2) なお、交差点の指定は複数交差点を一括で指定できること。
- (3) 停止／開始する条件として、即時・終了時点未定、期間指定等が指定でき、停止／開始理由等のコメントを入力することが可能であること。

＜介入一覧照会＞

- (1) 信号予定情報の停止介入の実施時状況を一覧表示できること。
- (2) 実施状況とは、介入の状態、交差点 ID、介入期間、コメント表示等を表示するものである。
- (3) 過去の状況を照会することも想定されるため、照会日時（年月日時分）の指定も可能とすること。なお、設定する時刻は蓄積データがある範囲とし、年月日時分で設定することができること。
- (4) 一覧上から、停止介入の削除、及び変更を行うことが可能であること。

4. 16. システム接続制御

信号情報センターシステムと接続する他装置との接続制御を行う必要があるため、本画面を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 信号情報集約装置を指定し、信号情報集約装置との回線を接続／切断できること。
- (2) 信号情報配信センターを指定し、信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。
- (3) 各回線について、接続／切断の状況も併せて表示すること。

4. 17. 帳票等に関する要件

ソフトウェア機能構成で示した中で、帳票機能として実現するものについて以下に概要を記載する。信号情報センターシステムにおいて、帳票を伴う要件は以下のものである。

- ・信号予定情報・詳細履歴帳票
- ・信号予定情報・受信履歴帳票
- ・信号予定情報・配信履歴帳票
- ・信号予定情報運用実績帳票
- ・交差点管理情報運用実績帳票

4. 17. 1. 信号予定情報・詳細履歴帳票

各種問合せ、分析において、信号予定情報について現在を含め過去分の情報項目の詳細を確認するために、本帳票を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) データベースに蓄積された信号予定情報の履歴データの照会・表示ができること。
- (2) 信号予定情報の履歴データの照会条件は、照会開始日時・終了日時（年月日時分）、提供県、交差点を指定するものとする。
- (3) 照会期間における情報を表形式で一覧表示することとし、情報項目はインターフェイス仕様に基づき網羅するものとする。
- (4) 表示内容は CSV もしくは Excel 形式で保存ができること。

4. 17. 2. 信号予定情報・受信履歴帳票

各種問合せ、分析において、受信した信号予定情報について現在を含め過去分の情報項目の詳細を確認するために、本帳票を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 警察庁の信号情報集約装置からの受信した情報に関して、受信・稼働状況（受信時刻、情報ヘッダー等）の履歴一覧を表示することができること。
- (2) 信号予定情報の照会条件は、照会開始日時・終了日時（年月日時分）、提供県、交差点及び稼働情報を指定できること。
- (3) 照会期間における情報を表形式で一覧表示することとし、インターフェイス仕様に基づき網羅するものとする。
- (4) 表示内容は CSV もしくは Excel 形式で保存ができること。

4. 17. 3. 信号予定情報・配信履歴帳票

各種問合せ、分析において、配信した信号予定情報について現在を含め過去分の情報項目の詳細を確認するために、本帳票を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 信号情報配信センターへ送信した情報に関して、送信・稼働状況（送信時刻、情報ヘッダー等）の履歴一覧を表示することができること。
- (2) 信号予定情報の照会条件は、照会開始日時・終了日時（年月日時分）、提供県、交差点及び稼働情報を指定できること。
- (3) 照会期間における情報を表形式で一覧表示することとし、インターフェイス仕様に基づき網羅するものとする。
- (4) 表示内容は CSV もしくは Excel 形式で保存ができること。

4. 17. 4. 信号予定情報運用実績帳票

信号情報のサービス実績を集計する必要があるため、本帳票を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。
- (2) 照会条件は、照会年月日、提供先、提供県、交差点を指定できること。

(3) 表示内容は CSV もしくは Excel 形式で保存ができること。

4. 17. 5. 交差点管理情報運用実績帳票

交差点管理情報のサービス実績を集計する必要があるため、本帳票を設ける。仕様としては次の通りとする。

- (1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。
- (2) 照会条件は、照会年月日、提供先、提供県、交差点を指定できること。
- (3) 表示内容は CSV もしくは Excel 形式で保存ができること。

4. 18. 外部インターフェイスに関する要件

本サービスは、信号制御機又は信号情報配信装置で生成された信号情報を車載機に伝えるものである。本テーマでの検討範囲を図 3. 12 に示す。具体的には、信号情報センターシステムと接続されるシステム間について検討し、最終のデータ使用者である車載機へのデータについては参考提示という形とする。

なお、信号制御機から都道府県警察に設置される信号情報配信装置までのインターフェイスに関して別テーマで検討し、サービス全体で整合が取れるように検討した。授受するデータフォーマットについては、対外部インターフェイスとして検討結果をまとめるものとする。

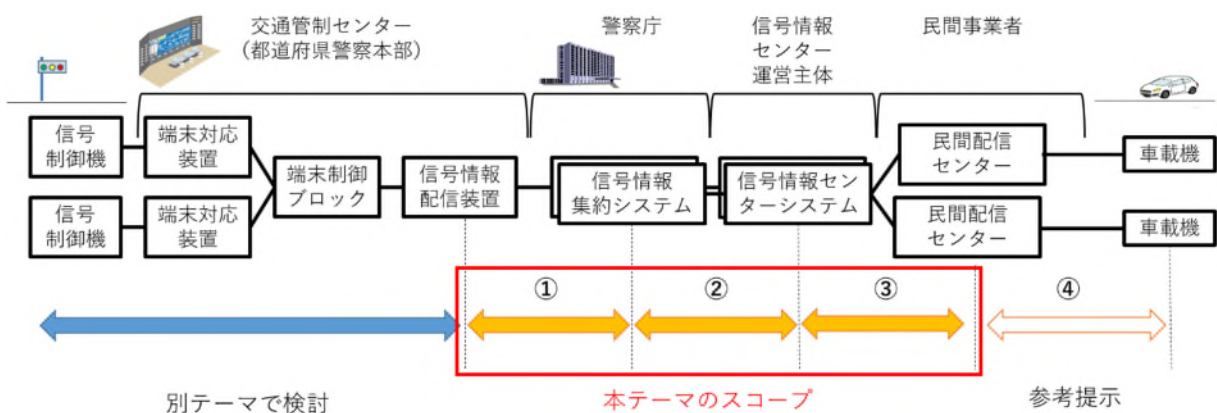


図 3. 12 インターフェイス検討の対象範囲

4. 19. 情報・データ・規模に関する要件

これまでの S I P 警 b の研究経過から当面の整備規模を 4000 交差点等に定めて仕様検討する。そこで、最もデータ容量が大きくなると考えられる信号予定情報について検討する。信号予定情報についてはサイクル時間が最小の 60 秒を対象とした場合に 1 交差点あたりの 1 日の平均データ量は 25,200kbyte になる。4000 交差点の信号予定情報について取り扱うとした場合のデータ容量の試算結果について示す。1 ヶ月間のデータ蓄積とする場合は、過去データ蓄積期間の 31 日に加え、当日分の領域として 1 日分必要となるため、32 日間のデータ蓄積が必要となる。また、1 年間のデータ蓄積が必要である場合は、過去データ蓄積期間の 365 日に加え当日分の領域として 1 日分必要であるため、

366 日分である。

1 ヶ月蓄積容量 約 3.0TB = 25,200 Kb × 32 日 × 4000 交差点

1 年間蓄積容量 約 34.4TB = 25,200 Kb × 366 日 × 4000 交差点

なお、本試算は 1 サイクル 60 秒として、サイクルに 1 回データ送信される条件で試算されている。
サイクル当たりの送信件数が異なる場合は本試算値も実態に合わせて見直す必要がある。

表 3.7 主要データ規模

名称	規模	備考
交差点数	4,000 (基)	
(蓄積容量) 信号予定情報	35.0TB	1 年分

4.20. 性能指標に関する要件

信号予定情報を受信し配信するのが本装置の中核機能である。よって、重要性能目標としては信号予定情報の処理時間が挙げられる。2022 年度の検証結果をもとに考えられる信号予定情報の処理時間の性能目標を示す。信号情報センターシステムに求められる要件として、次の通りとする。

【前提】

信号情報集約装置から 100 交差点分のデータを 2 秒に 1 回程度受信する前提で、4000 交差点を受信する。

【処理内容】

信号予定情報の受信から送信までの処理として、100ms/100 交差点とする。

4. 21. 情報セキュリティに関する要件

信号情報センターシステムにおいて、表 3.8 に示す 3 要素を維持することを目的とし、想定される脅威に対するセキュリティ対策を実施するものとする。

表 3.8 情報セキュリティの 3 要素

要素	内容	対策
機密性	情報データを正当な権利を持った人だけが使用できる状態にしておくこと	情報漏えい防止、アクセス権の設定、暗号の利用などの対策
完全性	情報データが正当な権利を持たない人により変更されていないことを確実にしておくこと	改ざん防止、検出などの対策
可用性	情報データを必要なときに使用できること	電源対策、システムの二重化、バックアップ、災害復旧計画などの対策

※本項では機密性・完全性の観点についてまとめ可用性は別途まとめる。

4. 21. 1. 保護すべき情報・データ

機密性、完全性、可用性の観点から信号情報センターシステムで保護すべき情報・データを表 3.9 に示す。

表 3.9 信号情報センターシステムで保護すべき情報・データ

項番	保護すべき情報・データ
1	信号予定情報
2	交差点管理情報
3	センター間障害情報
4	蓄積データ(履歴データ、集計データ等)
5	システム管理情報(設定情報等)
6	地図データ

4. 21. 2. 想定される脅威

信号情報センターシステムで想定される脅威について検討した結果を表 3. 10 に示す。

表 3. 10 信号情報センターシステムで想定される脅威

項番	情報データ	想定脅威
1	信号予定情報	・通信回線を介して、外部からの不正アクセスにより情報の窃取、盗聴、改ざん等の被害を受ける。 ・不正プログラム（ウイルス、ワーム、ボット等）に感染し、情報漏えい、情報破壊等の被害を受ける。
2	交差点管理情報	
3	センター間障害情報	
4	蓄積データ（履歴データ、集計データ等）	
5	システム管理情報（設定情報等）	
6	地図データ	

4. 21. 3. セキュリティ対策

信号情報センターシステムに必要な情報セキュリティ対策要件については網羅的な検討が必要である。その検討に当たっては、「情報システムに係る政府調達におけるセキュリティ要件策定マニュアル【付録A. 対策要件集】（内閣サイバーセキュリティセンター（NISC）発行）」を参考に各項目を検討した。その結果を表 3. 11 に示す。

表 3. 11 情報セキュリティ対策要件

番号	対策区分	対策	対策要件
1	侵害対策	通信回線対策	① 信号情報集約装置、信号情報配信センターとの通信回線について、ファイアウォールを用いたセキュリティ対策を実施し、不必要なアクセスを遮断すること。 ② 信号情報集約装置、信号情報配信センターとの通信を行うネットワークと、内部のサーバー装置、HMI 装置等のネットワークを通信回線上で分離すること。 ③ また、内部のサーバー装置、HMI 装置等の通信を業務目的に応じてネットワークを通信回線上で分離すること。
		不正プログラム対策	① サーバー装置、HMI 装置において、次の不正プログラム対策が行えること。 (ア) メモリに常駐し不正プログラムをリアルタイムに監視する機能を有すること。

表 3.11 情報セキュリティ対策要件

番号	対策区分	対策	対策要件
			(イ) ファイルの入出力を監視し、不正プログラムを検知できること。また、不正プログラムを検知した場合は、駆除等の処理ができること。 (ウ) OS のプロセス、レジストリ、メモリへのアクセスを監視し、不正プログラムの可能性があるアクセスを検知できること。また、不正プログラムによるアクセスの可能性があることを検知した場合には、当該アクセスの実行を防止できること。 (エ) 保存された全てのファイル又は、設定したファイルに対して、システム管理者が設定した時刻に自動、及び任意の時刻に手動で不正プログラムを検索できること。また、不正プログラムを検知した場合は、駆除、隔離及び削除の処理ができること。 ② ①の不正プログラム対策を行うソフトウェアについては、不正プログラム定義ファイルを更新できる仕組みを構築すること。 ③ 外部記憶媒体においては、次の不正プログラム対策が行えること。 (ア) あらかじめ許可された外部記録媒体以外の利用を制限できること。また、個別の外部記録媒体について、ベンダ ID、プロダクト ID、シリアルナンバ等の情報を用いることにより、利用可否を変更できること。 (イ) 外部記録媒体へ情報を書き込む際は、自動的に情報を暗号化できること。また、外部記録媒体から暗号化された情報を読み込む際に自動的に情報を復号できること。なお、暗号化に用いる暗号鍵の更新はシステム管理者のみが行えること。 (ウ) 暗号化に用いる暗号化方式は、CRYPTREC 暗号リストから選択するものとする。 (エ) ユーザ ID、HMI 装置、許可の種別の条件を指定の上、外部記録媒体の利用の可否を変更できること。なお、外部記録媒体の利用の可否の変更は、外部記録媒体の利用の許可を与える権限を有する者のみが行えること。

表 3.11 情報セキュリティ対策要件

番号	対策区分	対策	対策要件
		脆弱性対策	① OS 及びソフトウェアは契約時における最新版であること。 ② OS 及びソフトウェアにおいて、パッチの適用が必要となった場合は、速やかに適用できること。
2	不正監視・追跡	ログ管理	不正行為の検知、発生原因の追究を行うため、システムログ(認証ログ、動作ログ、通信ログ等)を蓄積すること。
		不正監視	「不正プログラム対策」に記載の不正プログラム監視及び、不正プログラム検知ができること。
3	アクセス・利用制限	主体認証	「アカウント管理」に記載のユーザ ID 認証及び、パスワード設定ができること。
		アカウント管理	① サーバー装置 (ア) システム管理者と一般利用者の権限を分離し設定できること。 (イ) OS へのログインは、ユーザ ID 及びパスワードの認証により行えること。 (ウ) 設定するパスワードは、8 文字以上の半角英数字(記号を含む。)を組み合わせたものが設定できること。 (エ) (イ)及び(ウ)の設定は、システム管理者のみが行えること。 ② HMI 装置 (ア) システム管理者と一般利用者の権限を分離し設定できること。 (イ) OS へのログインは、ユーザ ID 及びパスワードの認証により行えること。 (ウ) 設定するパスワードは、8 文字以上の半角英数字(記号を含む。)を組み合わせたものが設定できること。 (エ) (イ)及び(ウ)の設定は、システム管理者のみが行えること。 (オ) (イ)のパスワードについて、HMI 装置の OS 又はソフトウェアの機能により、定期的に変更を求め、有効期限が切れたパスワードによるログインを停止できる機能を有すること。なお、パスワードの変更を促す時期及び有効期限については、システム管

表 3.11 情報セキュリティ対策要件

番号	対策区分	対策	対策要件
			理者が任意に設定できること。 (カ) スクリーンロック機能を有すること。あらかじめ設定した期間を超えてキーボード又はマウスの操作が行われない場合は、HMI 装置の操作が行えないようロックすること。
4	データ保護	機密性・完全性の確保	① 信号情報センターシステムに蓄積された保護すべき情報の窃取や漏えいを防止するため、情報へのアクセスを制限できる機能を備えること。 ② 保護すべき情報を保存する機器は、信号情報集約装置や信号情報配信センターが直接アクセス可能な機器と分離すること。
5	物理対策	情報窃取・侵入対策	物理的な手段による情報窃取を防止するため、以下の機能を備えること。 ・施錠可能なサーバーラックの採用 ・通信ケーブル及び通信回線装置の物理的保護（ラックの施錠、床下への埋設等） ・ネットワーク機器の未使用ポートをロックし、不正な接続を防止すること。 ・HMI 装置のワイヤーロック
6	障害対策	構成管理	信号情報センターシステムの構成（ハードウェア、ソフトウェア及び機能構成に関する詳細情報）が記載された文書を提出するとともに、文書どおりの構成とすること。
		可用性確保	非機能要件の検討の際に、検討する。したがって、対策内容は、04.22.1. 可用性を参照すること。
7	サプライチェーン・リスク対策	情報システムの構築等の外部委託における対策	役務内容を一部再委託する場合は、再委託先においても委託事業者と同様のセキュリティ管理を行うこと。
		機器等の調達における対策	① 調達するソフトウェア及びハードウェアの候補となる機器等については、機器等リストを提出すること。また、サプライチェーン・リスクに係る懸念が払拭されないと判断した場合には、代用品選定等を行うこと。 ② 調達するソフトウェア及びハードウェアについて、不正な変更（機器等の製造工程、流通過程で不正プログラムを含む予期しない又は好ましくない特性を組

表 3.11 情報セキュリティ対策要件

番号	対策区分	対策	対策要件
			み込むことをいう。)が疑われる場合は、調査及び必要な措置を講じること。
8	利用者保護	情報セキュリティ水準低下の防止	サポート期限が切れた、又は信号情報センターシステムの提供期間中にサポート期限が切れる予定にあるバージョンの OS やソフトウェア等を利用しないこと。
		プライバシー保護	信号情報センターシステムにアクセスする利用者のアクセス履歴、入力情報等を当該利用者が意図しない形で第三者に送信されないようにすること。

4.22. その他非機能要件

非機能要件について、可用性、継続性、拡張性、中立性、運用・保守性の観点で要件の検討を行った。内容を以下に示す。

4.22.1. 可用性

大規模災害発災時にはハードウェア装置及びネットワーク等にも大きな損傷を受け、その復旧には時間がかかるものと想定される。本システムが停止することにより信号予定情報の受配信が停止する。自動運転車にとって必要な情報が欠測することになり、影響が大きい。したがって、別拠点での運用を含めた可用性（一部継続性も含む）を高める3つの案を次の通り検討した。

- ・常時二重化方式
- ・装置二重化方式
- ・高可用性サーバー方式

(1) 常時二重化方式

これは大規模災害等に罹災を想定し、別拠点に同様のシステムを整備し、常時並列運転し稼働させることで可用性の確保を図る方式である。本案の構成を図 3.13 に示す。警察庁に整備される信号情報集約装置から常時2拠点に信号情報等が送信され、信号情報センターでは各拠点で各システムが稼働し、民間事業者による信号情報配信センターへ配信する。この際、民間事業者による信号情報配信センターへは常時2重に情報が配信されることになる。次に本方式を採用した際の主なメリット、デメリットを記載する。

(メリット)

- ・2拠点のどちらかのシステムダウンした場合に、データ欠損が極小化される。
(データ欠損はほぼ発生しない)
- ・常時稼働が確認されている通信路が2系統確保される。

(デメリット)

- ・送受信の関係の追跡がやや難しいため、データの整合が取りにくい。
- ・民間事業者による信号情報配信センターにおいては、2拠点から同じデータを受信するこ

とになるため、データの取捨選択等の考慮が必要となる。

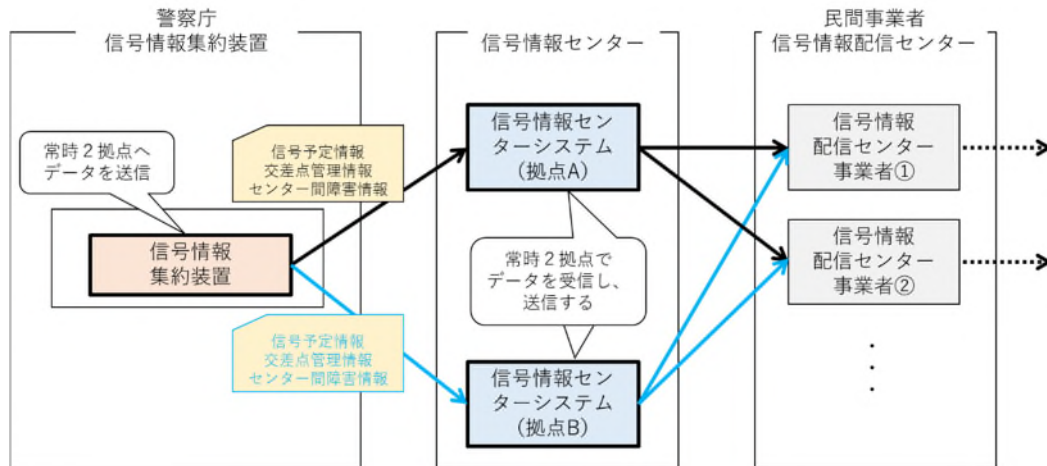


図 3.13 常時二重化方式

(2) 装置二重化方式

こちらでも大規模災害等に罹災を想定し、別拠点に同様のシステムを整備する。本案の構成を図 3.14 に示す。どちらかの拠点が主として動作する稼働系（図では拠点 A）となり、もう一方は待機系（図では拠点 B）となる。警察庁に整備される信号情報集約装置から常時 2 拠点に信号情報等が送信され、信号情報センターでは各拠点で各システムが稼働し民間事業者による信号情報配信センターへ配信する。この際、民間事業者による信号情報配信センターへは稼働系から情報が配信される。なお、各拠点間は相互監視を実施する。その際、待機系は稼働系の故障・異常を検出すると、稼働系が故障したとみなし、自らが稼働系として動作を行う。次に本方式を採用した際の主なメリット、デメリットを記載する。

（メリット）

- ・データの整合が取りやすく、信号情報配信センター向けの情報送信等の追跡がしやすい。
- ・常時稼働が確認されている通信路が 2 系統確保される。

（デメリット）

- ・稼働系のシステムダウン時に、サイト切り替えの間にデータ欠損が発生するが、限定的となる。

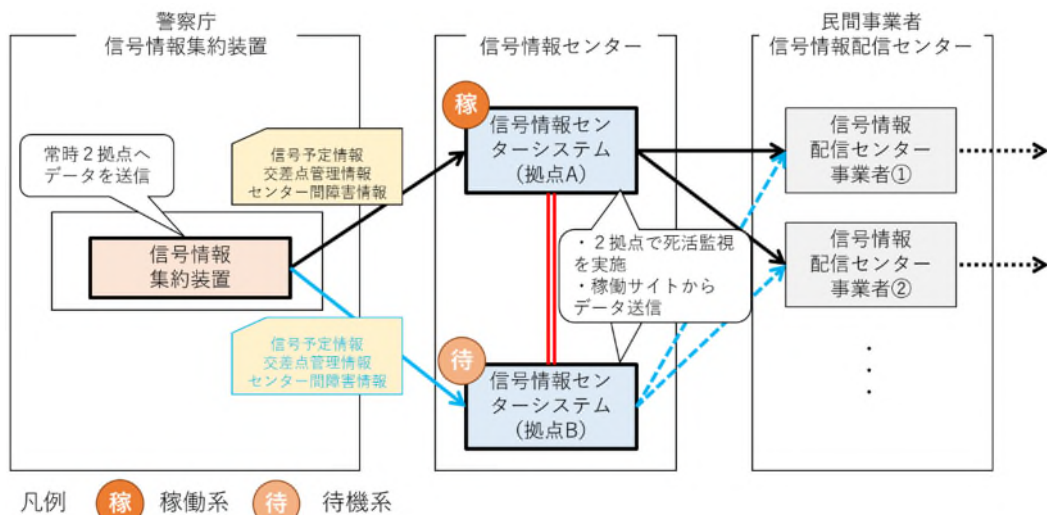


図 3.14 装置二重化方式

(3) 高可用性サーバー方式

こちらは別拠点を設けない代わりに、主要コンポーネントであるCPU、メモリ、外部記憶装置等を二重化した高可用性サーバーで本システムを構成する。本案の構成を図 3.15 に示す。この場合は、高可用性サーバー内で二重化構成となっているため、システムを流れるデータフローとしてはシングル構成での運用と同等になる。また、大規模災害時においては、当該装置以外の環境要因（電力供給やネットワークの寸断等）については状況次第となる。本方式を採用した際の主なメリット、デメリットを記載する。

(メリット)

- ・他の案と比べて、別拠点がなく装置構成がシンプルとなる。
- ・論理的にはシングル構成と同じであるため、データの整合が取りやすい。

(デメリット)

- ・通信路が1本であり、ネットワークの冗長性が低い。
- ・1拠点での運用のため、事業継続性という観点では、高可用性サーバーの想定を超える大規模災害発生時に日本全国の配信が停止してしまう。

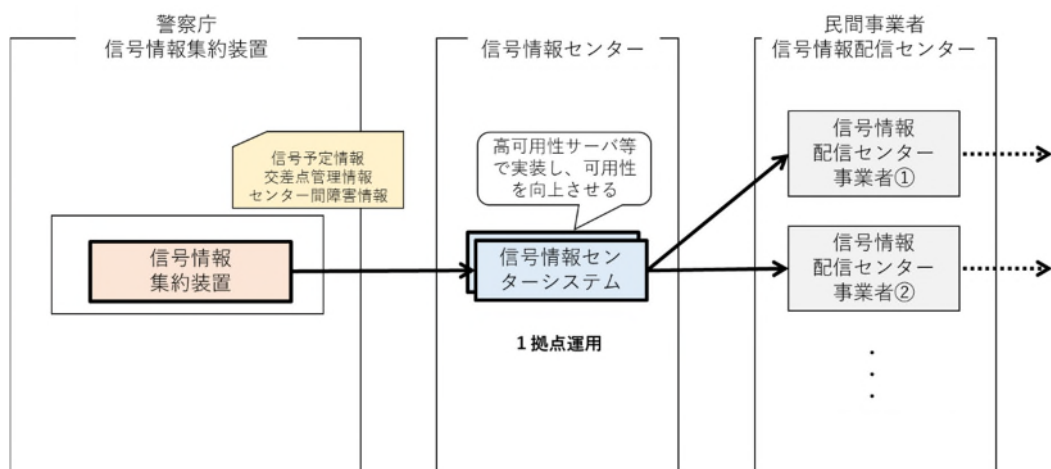


図 3.15 高可用性サーバー方式

(4) 可用性に対する方式の比較

可用性（事業継続性も一部含む）について、各方式を6つの観点で比較評価する。評価の観点としては、次の優先順で行うものとする。

- ・民間事業者から見た「配信情報のデータ継続性」
- ・首都直下型地震等の大規模災害等も考慮に入れた「災害発生時の事業継続性」
- ・ネットワーク障害等も考慮に入れた「ネットワークの冗長性」
- ・システム構成の冗長化に伴う「信号情報の受信処理の複雑度」
- ・配信情報の管理に関する「データ追跡の複雑度」
- ・信号情報センターの整備費用に関する「信号情報センター装置構成（コスト）」

比較した結果を表3.12に示す。

表3.12 各方式の比較表

検討項目	案1 常時二重化方式	案2 装置二重化方式	案3 高可用性サーバ 方式
配信情報のデータ継続性	○	△	△
災害発生時の事業継続性	○	○	△
ネットワークの冗長性	○	○	×
信号情報の受信処理 の複雑度*1	×	○	○
データ追跡の複雑度	△	○	○
信号情報センター 装置構成(コスト)	×	×	○

*1: 民間事業者の信号情報配信センター側での受信データの扱いに関する複雑さを指す

凡例 ○：問題なし、 △：やや課題あり、 ×：大きな課題あり

案2についてはデータ継続性については拠点間の切り替え時に一時的にデータが欠損する可能性があるが影響が限定的でありかつ、機器障害及び災害発生時と限定的であること、及び民間事業者の受信処理の複雑度及びデータの追跡の複雑度も含め勘案した結果として、案2を推奨する。

4.22.2. 継続性

大規模災害等により本システムが被災した場合にシステムを動作可能な状態にするまでの時間の目標値及びその対策については、次の通りである。

(1) 継続性に係る目標値

ア 大規模災害時

目標復旧時間は、大規模災害発生時から1週間以内とする、目標値は被災した機器の交換、復旧に対してであり、被災した機器の手配、搬送、リカバリ等の時間は含まないこととする。

イ 予期せぬシステム停止時

目標復旧時間は、情報システムの予期せぬ停止発生時から1日以内とする。

(2) 継続性に係る対策

- ア 手動により、各サーバー等のシステム及び設定のバックアップを取得できること。
- イ 手動により、各サーバー等のバックアップ取得時の状態に戻せること。
- ウ バックアップ取得先媒体は外付け DVD-R、外付け HDD その他の外部記録媒体とする。

4.22.3. 拡張性

一定規模の接続装置、提供信号予定情報の規模は規定するものの、規模の拡張が見込まれる。したがって、次の要件を満足することが望ましい。

メモリ、HDD 等の内蔵記録デバイス等の構成を増設もしくは装置増設等を行い、規模拡張に柔軟に対応できるハードウェア構成、システム構成であること。

4.22.4. 中立性

特定事業者の製品に依存すると、システム調達上に制限が生じる可能性があるため、次の要件を満足することが望ましい。

特定の事業者にしか取り扱うことができない製品や技術に依存せず、他の事業者に引き継ぐことができること。

4.22.5. 運用・保守性

運用保守上必要となる要件として、データの完全性が挙げられる。次の要件を満足することが望ましい。

- (1) データベース破損時には、データの更新、追加、削除のデータベースのアクセスログ又はその他必要な情報により、直前の状態に復元ができること。
- (2) 各装置は、内蔵記録デバイス及びディスクアレイの障害が発生しても、データが欠損しない構成とすること。また、装置を停止せずに障害の内蔵記録デバイスを交換することができること。

4.23. システム全体構成

前節までにおいて各種要件が検討されているが、当該システムを実現するにあたり具現化の妥当性を示すため、本節以降にシステムの実現構成を示す。本システム機能に関しては、次の観点で装置分割を検討した。

(1) 信号情報提供装置

データ中継（情報送信、情報受信）については性能要件にも挙げられている最重要機能となるため単一装置で実施するべきと考えられる。よって、信号情報提供装置を設ける。

(2) 提供用データ管理装置

送受信データの履歴を管理し、逐次参照できることは当該システムとしては重要であるため、専用のデータベース装置が必要と考えられる。よって、提供用データ管理装置を設ける。

(3) 情報集計装置

各種履歴等データを処理、編集し、運用実績等を算出することや、各種照会のための情報編集を行うことは、必要に応じて都度実施する必要がある。よって、データ中継を担う装置や専用データベース装置以外の装置で実施する必要があると考えられるため、別途装置が必要と考えられる。よって、情報集計装置を設ける。

(4) ネットワーク監視装置

各種ネットワーク上の監視、故障管理を行う当該装置はその役割上、他装置の共用を可能な限り避けることが望ましいため、独立した装置が必要であると考えられる。よって、ネットワーク監視装置を設ける。

(5) HMI 装置

各装置の内容照会等を行うため、システム運用者との接点となる装置であり、独立して必要であると考えられる。

これらをもとに検討したシステム構成図を図 3. 16 に示す。

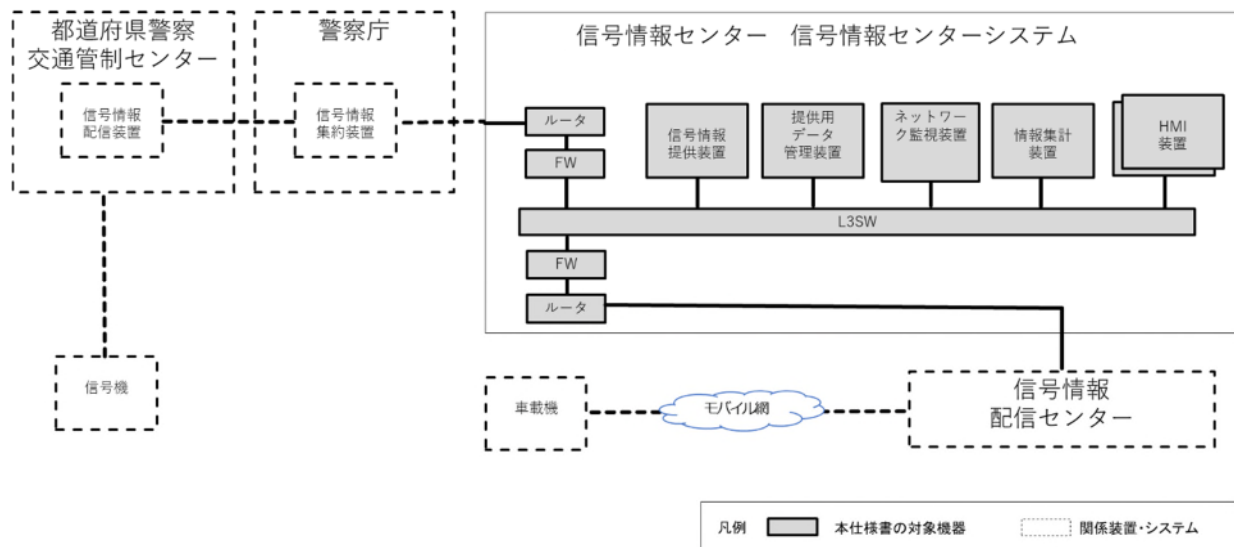


図 3. 16 信号情報センターシステムの構成図

なお、本構成は各種要件を示すものであり、要件を満たすことができる場合は各種機器の機能を1つに集約することに関しては否定するものではないが、本報告書ではこの構成をもとに検討を深める。これをもとにシステム機能を装置に分割した例を表 3. 13 に示す。

表 3.13 信号情報センターシステムの装置別機能分担

装置	機能
信号情報提供装置	・ データ受信 ・ データ送信 ・ 配信情報の管理 ・ 配信情報の監視、 ・ 配信情報の障害監視 ・ 信号情報配信の停止 ・ 接続管理 ・ システム管理
提供用データ管理装置	・ データ蓄積 ・ システム管理
情報集計装置	・ 運用実績の集計 ・ システム管理
HMI装置	・ 画面表示 ・ システム管理
ネットワーク監視装置	・ システム故障管理 ・ システム管理

4.23.1. ハードウェア構成

本システムを構成するハードウェアに機能に関する構成を表 3.14 に示す。

表 3.14 信号情報センターシステムの装置別機能分担

品 名	略 称
信号情報センターシステム	
信号情報提供装置	
提供用データ管理装置	
情報集計装置	
ネットワーク監視装置	
レイヤー 3 スイッチ	
ファイアウォール	
ルーター	
無停電電源装置	
HMI 装置	
19 インチラック	

4. 23. 2. ハードウェア機能

上記の機能を担う装置のハードウェア機能について機能一覧を以下に示す。

ア 信号情報提供装置

本装置の構成は、表 3. 15 のとおりとする。

表 3. 15 信号情報提供装置の機能

品 目	項 目	機 能
本体部	CPU	4CPU・3. 6GHz相当以上の処理能力を有し、本装置に搭載するソフトウェアを安定稼働する処理能力を有すること。 (CPU×コア数で換算する)
	メモリ	実装アプリケーションが処理規模において処理性能を満足できること。
	内蔵記録デバイス	(1) 実装アプリケーション及び蓄積データ等処理規模を考慮しても記録容量を確保できること。 (2) RAID1またはRAID5とする。なお、ディスクは活性交換可能とすること。
	光学ディスクドライブ	(1) DVD規格及びCD規格の媒体の読み込みができること。 (2) 内蔵型であること。
	ネットワークインターフェイス	本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-T対応の自動認識ポートを有すること。
外部記憶装置	外部記憶装置	システムのバックアップを取得可能であること。
ソフトウェア	OS	供給元でのサポート（修正プログラム及び技術情報の提供）が行われているLinux日本語版若しくはMicrosoft Windows Server日本語版相当以上又はこれと同等のものを搭載すること。

イ 提供用データ管理装置

本装置の構成は、表 3.16 のとおりとする。

表 3.16 提供用管理データ管理の機能

品 目	項 目	機 能
本体部	CPU	4CPU・3.6GHz相当以上の処理能力を有し、本装置に搭載するソフトウェアを安定稼働する処理能力を有すること。 (CPU×コア数で換算する)
	メモリ	実装アプリケーションが処理規模において処理性能を満足できること。
	内蔵記録デバイス	(1) 実装アプリケーション及び蓄積データ等処理規模を考慮しても記録容量を確保できること。 (2) RAID1またはRAID5とする。なお、ディスクは活性交換可能とすること。
	光学ディスクドライブ	(1) DVD規格及びCD規格の媒体の読み込みができること。 (2) 内蔵型であること。
	ネットワークインターフェイス	(1) 本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-T対応の自動認識ポートを有すること。 (2) 本システムを構築するために必要なファイバチャネルポートを有すること。
外部記憶装置	外部記憶装置	システムのバックアップを取得可能であること。
ディスクアレイ部	ディスクアレイ	(1) RAID5又はRAID6の冗長構成とし、RAID構成後の実効容量は、20Tバイト以上であること。1年間蓄積できること。 (2) システムを停止せずにディスクの交換ができること。 (3) キャッシュメモリをディスクアレイコントローラごとに8Gバイト以上有すること。 (4) 100BASE-TX／1000BASE-Tに対応する自動認識ポートを有すること。 (5) 本体部へ接続するためのファイバチャネルポートを有すること。
ソフトウェア	OS	供給元でのサポート（修正プログラム及び技術情報の提供）が行われているLinux日本語版若しくはMicrosoft Windows Server日本語版相当以上又はこれ

		と同等のものを搭載すること。
	データベース管理	Linux若しくはMicrosoft Windows Server上で動作するDBMSであり、連続稼働に耐えること。

ウ 情報集計装置

本装置の構成は、表 3. 17 のとおりとする。

表 3. 17 情報集計装置の機能

品 目	項 目	機 能
本体部	CPU	4CPU・3. 6GHz相当以上の処理能力を有し、本装置に搭載するソフトウェアを安定稼働する処理能力を有すること。 (CPU×コア数で換算する)
	メモリ	実装アプリケーションが、処理規模において処理性能を満足できること。
	内蔵記録デバイス	(1) 実装アプリケーション及び蓄積データ等処理規模を考慮しても記録容量を確保できること。 (2) RAID1またはRAID5とする。なお、ディスクは活性交換可能とすること。
	光学ディスクドライブ	(1) DVD規格及びCD規格の媒体の読み込みができること。 (2) 内蔵型であること。
	ネットワークインターフェイス	本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-T対応の自動認識ポートを有すること。
外部記憶装置	外部記憶装置	システムのバックアップを取得可能であること。
ソフトウェア	OS	供給元でのサポート（修正プログラム及び技術情報の提供）が行われているLinux日本語版若しくはMicrosoft Windows Server日本語版相当以上又はこれと同等のものを搭載すること。
	地図データベース	(1) 次の道路等を表示すること。 ・幅員が3 m以上の一般道路、高速自動車道、国道及び自動車専用道路 ・国土地理院地形図（2万5千分の1）に示す鉄道、駅、湾岸線、湖沼及び河川 (2) 1/1, 280, 000～1/2, 500の範囲を超えて、地図データの表示できる範囲内で、縮尺を無段階又は十

		数段階以上に拡大及び縮小表示ができること。 (3) 市町村リスト、交差点、駅等の目標物リストを有すること。 (4) 地図は、更新可能であること。
--	--	--

エ ネットワーク監視装置

本装置の構成は、表 3. 18 のとおりとする。

表 3. 18 ネットワーク監視装置の機能

品 目	項 目	機 能
本体部	CPU	4CPU・3.6GHz相当以上の処理能力を有し、本装置に搭載するソフトウェアを安定稼働する処理能力を有すること。 (CPU×コア数で換算する)
	メモリ	実装アプリケーションが処理規模において処理性能を満足できること。
	内蔵記録デバイス	(1) 実装アプリケーション及び蓄積データ等処理規模を考慮しても記録容量を確保できること。 (2) RAID1またはRAID5とする。なお、ディスクは活性交換可能とすること。
	光学ディスクドライブ	(1) DVD規格及びCD規格の媒体の読み込みができること。 (2) 内蔵型であること。
	ネットワークインターフェイス	(1) 本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-T対応の自動認識ポートを有すること。 (2) 本システムを構築するために必要なファイバチャネルポートを有すること。
外部記憶装置	外部記憶装置	システムのバックアップを取得可能であること。
時計部	精度	最大±0.2秒／日以内であること。
	補正	(1) GPS信号を受信し、時刻補正を1日1回以上行うこと。 (2) うるう秒に対応すること。
警報部	表示灯	(1) 赤、黄及び緑の3色の表示を有し、それらを個別に消灯、点滅又は点灯できること。 (2) 警告音を発することができること。 (3) 警告音の音量を調整できること。

		(4) リセットスイッチを有すること。
	ネットワークインターフェイス	100BASE-TX対応のポートを有すること。
ディスクアレイ部	ディスクアレイ	(1) RAID5又はRAID6の冗長構成とし、RAID構成後の実効容量は、20 T バイト以上であること。 (2) システムを停止せずにディスクの交換ができること。 (3) キャッシュメモリをディスクアレイコントローラごとに 8 G バイト以上有すること。 (4) 100BASE-TX/1000BASE-Tに対応する自動認識ポートを有すること。 (5) 本体部へ接続するためのファイバチャネルポートを有すること。
ソフトウェア	OS	供給元でのサポート（修正プログラム及び技術情報の提供）が行われているLinux日本語版若しくはMicrosoft Windows Server日本語版相当以上又はこれと同等のものを搭載すること。

オ レイヤー 3 スイッチ

本装置の構成は、表 3. 19 のとおりとする。

表 3. 19 レイヤー 3 スイッチの機能及び性能

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
本体部	基本機能	(1) ローカル管理コンソールポートを有すること。 (2) ルーティングは手動及び自動で設定できること。 (3) MACアドレス、IPアドレス及びTCP/UDPポート番号による通過の可否機能を有すること。 (4) VLAN及びポートベースVLAN機能を有すること。 (5) SNMP(Simple Network Management Protocol)はMIB(Management Information Base) II 情報を回答できること。 (6) 電源の供給及びデータの送受信の有無を表すLEDを有すること。
	ネットワークインターフェイス	本システムを構築するために必要な100BASE-TX/1000BASE-Tに対応する自動認識ポートを有すること。
ソフトウェア	設定ファイル	不揮発性かつ読み書きが繰り返しできるメモリに搭載し、ネットワーク監視装置から遠隔操作にて設定ファイルを更新できること。

カ ファイアウォール

本装置の構成は、表 3. 20 のとおりとする。

表 3. 20 ファイアウォールの機能

品 目	項 目	機 能
本体部	基本機能	(1) 本体部を通過するパケットについて、あらかじめ設定したルールに基づいて、パケットフィルタリング及びNAPT(Network Address Port Translation)を行うことで、LAN間の通信を制御できること。 なお、本機能は、IPv4及びIPv6に対応していること。 (2) 帯域制限が可能なQoS機能を有していること。 (3) (1)の機能により遮断した通信の情報を、ネットワーク監視装置で確認できること。
	ネットワークインターフェイス	本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-T対応の自動認識ポートを有すること。

キ ルーター

本装置の構成は、表 3. 21 のとおりとする。

表 3. 21 ルーターの機能及び性能

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
本体部	基本機能	(1) ルーティングは手動及び自動で設定できること。 (2) 帯域制限が可能なQoS機能を有していること。 (3) 電源の供給及びデータの送受信の有無を表すLEDを有すること。
	ネットワークインターフェイス	本システムを構築するために必要な100BASE-TX／1000BASE-Tに対応する自動認識ポートを有すること。
ソフトウェア	設定ファイル	不揮発性かつ読み書きが繰り返しできるメモリに搭載し、ネットワーク監視装置から遠隔操作にて設定ファイルを更新できること。

ク 無停電電源装置

本装置の構成は、表 3.22 のとおりとする。

表 3.22 無停電電源装置の機能及び性能

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
本体部	基本機能	瞬断や停電等が発生した場合に、信号情報提供装置、提供用データ管理装置、情報集計装置、ネットワーク監視装置、レイヤー3スイッチ、ファイアウォール、ルーターに対して、5分以上バックアップ電力の供給できること。

コ H M I 装置

本装置の構成は、表 3.23 のとおりとする。

表 3.23 H M I 装置の機能及び性能

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
本体部	CPU	6CPU・2.3GHz相当以上の処理能力を有し、本装置に搭載するソフトウェアを安定稼働する処理能力を有すること。
	メモリ	実装アプリケーションが、処理規模において処理性能を満足できること。
	内蔵記録デバイス	ブラウザ動作及び取り出した各種データを蓄積するために十分な容量であること。
	光学ディスクドライブ	(1) DVD-ROMは最大8倍速以上、CD-ROMは最大24倍速以上で読み込みができること。 (2) 外付けも可とするが、外付けとした場合には、USBインターフェイスを利用した電源供給により、動作すること。
	マウス	(1) 2ボタン式以上の光学式又はレーザー式マウスであること。 (2) ホイール等により、マウスを移動せずに画面のスクロールができること。
	キーボード	(1) JIS規格キー配列又はOADG規格に準拠していること。 (2) 日本語に対応すること。
	ネットワークインターフェイス	(1) 10BASE-T、100BASE-TX/1000BASE-Tに対応するポートを有すること。 (2) 無線LAN機能を搭載している場合は、BIOSレベルで当該機能が無効化できること。

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
	USBインターフェイス	(1) USB3.0に対応したインターフェイスのポートを有すること。 (2) 本体部に接続する必要がある機器を全て接続可能な数に加え、1個以上の空きポートを有すること。 (3) USBハブを用いる場合は、本体のUSBインターフェイスのポートからの電源供給で動作すること。
	外部ディスプレイインターフェイス	(1) ミニD-sub15ピンのコネクタを有すること。 (2) HDMIのコネクタを有すること。
	バッテリー	(1) パック方式で、交換可能な内蔵バッテリーであること。 (2) バッテリー稼働時間は、社団法人電子情報技術産業協会「JEITAバッテリー動作時間測定法(Ver. 2.0)」準拠において、1時間以上であること。
	電源	電源プラグの形状は、2極プラグ又は2極接地極付プラグであること。 なお、2極接地極付プラグの場合は、2極に変換できるプラグを付属すること。
	ディスプレイ	(1) 1,600×900ドット以上の解像度で表示できること。 (2) 1,600万色以上を表示できること。 (3) 15型以上のTFTカラー液晶ディスプレイであること。
ソフトウェア	OS	Microsoft Windows 10 Pro (64bit版) を搭載し、日本語に対応すること。
	Webブラウザ	情報参照用の情報が表示できるWebブラウザを搭載すること。
	OAソフト	(1) 次のソフトウェア又はこれと同等のものを搭載すること。 ア Microsoft Word イ Microsoft Excel (2) Adobe Acrobat Readerを搭載すること。 (3) 64bitに対応したファイル圧縮・回答ソフトウェアを搭載すること。圧縮形式は、LZH及びZIP

品 目	項 目	機 能 及 び 性 能
		に対応すること。
	テキストエディター	(1) EmEditor Professional（エムソフト製）又はこれと同等のものを搭載すること。 (2) 日本語に対応すること。
	内蔵記録装置暗号化	内蔵記録装置内のOSを含むユーザ領域全体（ブート領域を除く。）を自動的に暗号化すること（OSの標準機能等により実現してもよい。）。

4. 23. 3. ソフトウェア構成

各装置のソフトウェア機能について機能一覧を以下に示す。

ア 信号情報提供装置

本装置のソフトウェア構成は、表 3. 24 のとおりとする。

表 3. 24 信号情報提供装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
データ中継機能		
データ受信	信号予定情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から信号予定情報を受信すること。なお、信号情報集約装置との間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
	交差点管理情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から交差点管理情報を受信すること。なお、信号情報集約装置との間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
データ送信	信号予定情報送信	送信準備された信号予定情報を信号情報配信センターに送信すること。 当該装置で停止介入（停止／開始）があった場合、当該信号予定情報の送信を停止／開始すること。なお、信号情報配信センターとの間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
	交差点管理情報送信	送信準備された交差点管理情報を信号情報配信センターに送信すること。 当該装置で停止介入（停止／開始）があった場合、当該交差点管理情報の送信を停止／開始すること。 なお、信号情報配信センターとの間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。
配信情報の管理	信号予定情報管理	送信する信号予定情報は、信号情報配信センター毎にエリア（県単位）を指定して送信できること。 信号予定情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新都度最新状態に更新管理すること。
	交差点情報管理	送信する交差点管理情報は信号情報配信センター毎にエリア（県単位）を指定して送信できること。 交差点管理情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新都度最新状態に更新管理すること。

表 3.24 信号情報提供装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
運用監視・管理機能		
配信情報の監視	信号予定情報監視	信号情報集約装置から収集した信号予定情報（信号灯色表示、表示秒数、信号状態情報等）の状況監視を行う。
	交差点管理情報監視	信号情報集約装置から収集した交差点管理情報（交差点ID、位置情報等）の状況監視を行う。
	配信用 信号予定情報監視	信号情報配信センターに送信する信号予定情報を県単位に監視する。
	配信用 交差点管理情報蓄積	信号情報配信センターに送信する交差点管理情報を県単位に監視する。
配信情報の障害監視	信号予定情報 障害監視	(1) 信号情報集約装置から受信した信号予定情報を検証する。信号予定情報が無効であることを受信した場合には、そのまま信号予定情報を信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に通知すること。 (2) 信号情報集約装置から受信した信号予定情報フォーマットを検証する。規約違反の電文を受信した場合には、当該信号予定情報を無効とし、システム管理者に異常通知すること。 (3) 停止介入があった場合、当該交差点の信号予定情報のシステム状態を無効とし信号情報配信センターへ送信すること。
	センター装置 障害監視	(1) センター間障害情報を受信した場合、速やかに信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に異常通知すること。 (2) 信号情報集約装置からのヘルスチェック応答を監視し、一定時間経過してもヘルスチェック応答の受信がなかった場合は、通信路上に異常が発生したとして、センター間障害情報を信号情報配信センターへ送信し、再接続処理を行うこと。また、再接続後、ヘルスチェック応答を受信した場合、速やかにセンター間障害情報（復旧通知）を信号情報配信センターへ送信し、通信障害が復旧したとして、信号予定情報を送信できる状態とするとともに、ヘルスチェック応答の監視を再開すること。 (3) 信号情報センターシステムの装置状態の監視結果

表 3. 24 信号情報提供装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		に基づき、システム状態が異常となる場合はシステム管理者に異常通知すること。 (4) 当該装置で停止介入（一括）があった場合は、センター間障害情報を信号情報配信センターへ送信すること。
	交差点管理情報障害監視	(1) 信号情報集約装置から受信した交差点管理を検証する。交差点管理情報が無効であることを受信した場合には、そのまま交差点管理情報を信号情報配信センターへ送信し、システム管理者に異常通知すること。 (2) 信号情報集約装置から受信した交差点管理情報フォーマットを検証する。規約違反の電文を受信した場合には、システム管理者に異常通知すること。
信号情報配信の停止	停止介入制御	停止制御により、信号情報配信センターへの信号予定情報及び、交差点管理情報の送信停止を、信号予定情報障害監視機能（無効送信）、データ送信機能（送信停止）に要求する。 また開始制御により、信号情報配信センターへ信号予定情報及び、交差点管理情報の送信開始を、信号予定情報障害監視機能（無効解除）、データ送信機能（送信停止解除）に要求する。
運用支援機能		
接続管理	信号情報集約装置接続制御	信号情報集約装置との回線を接続／切断できること。
	信号情報配信センター接続制御	信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。
システム維持管理機能		
システム管理	起動・停止	信号情報配信センターシステムの起動・停止ができること。
	警報出力	接続装置状態及びシステム状態に応じて異常と判定される場合は、警報出力する。
	蓄積データ管理	データベース化したデータの保存期間は 1 年間とし、それ以前のデータは自動で消去すること。
	時刻同期機能	GPS 時刻同期機能を備えること。また、GPS 時刻同期機能による時刻ソースと、NTP プロトコルにより信号情報

表 3.24 信号情報提供装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		センターシステムの装置時刻を同期できること。

イ 提供用データ管理装置

本装置のソフトウェア構成は、表 3.25 の通りとする。

表 3.25 提供用データ管理装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
運用支援機能		
データ蓄積	信号予定情報蓄積	信号予定情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報蓄積	交差点管理情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	配信用信号予定情報蓄積	信号情報配信センターに送信する信号予定情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	配信用交差点管理情報蓄積	信号情報配信センターに送信する交差点管理情報を県単位でデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号予定情報障害情報蓄積	信号予定情報障害情報（無効／フォーマット異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報障害情報蓄積	交差点管理情報障害情報（無効／フォーマット異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	センター装置障害情報蓄積	センター装置障害監視情報（センター間障害情報／接続装置異常／システム状態異常）をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号情報集約装置送受信情報蓄積	信号情報集約装置と送受信した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号情報配信センター送受信情報蓄積	信号情報配信センターと送受信した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	停止介入情報蓄積	停止介入した制御情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	信号予定情報運用実績履歴蓄積	信号情報配信センターに信号予定情報を提供した時間をサービス提供時間としてデータベースに登録し、蓄積すること。
	交差点管理情報運用実績履歴蓄積	信号情報配信センターに交差点管理情報を提供した時間をサービス提供時間としてデータベースに登録し、蓄積すること。

表 3.25 提供用データ管理装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
システム維持管理機能		
システム管理	起動・停止	信号情報配信センターシステムの起動・停止ができること。
	警報出力	接続装置状態及びシステム状態に応じて異常と判定される場合は、警報出力する。
	蓄積データ管理	データベース化したデータの保存期間は 1 年間とし、それ以前のデータは自動で消去すること。
	時刻同期機能	GPS 時刻同期機能を備えること。また、GPS 時刻同期機能による時刻ソースと、NTP プロトコルにより信号情報センターシステムの装置時刻を同期できること。

ウ 情報集計装置

本装置のソフトウェア構成は、表 3.26 のとおりとする。

表 3.26 情報集計装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
運用支援機能		
運用実績 の集計	信号予定情報運用実績集計	信号情報配信センターに信号予定情報を提供した時間をサービス提供時間として集計すること。
	交差点管理情報運用実績集計	信号情報配信センターに交差点管理情報を提供した時間をサービス提供時間として集計すること。
システム維持管理機能		
システム管理	起動・停止	信号情報配信センターシステムの起動・停止ができること。
	警報出力	接続装置状態及びシステム状態に応じて異常と判定される場合は、警報出力する。
	蓄積データ管理	データベース化したデータの保存期間は 1 年間とし、それ以前のデータは自動で消去すること。
	時刻同期機能	GPS 時刻同期機能を備えること。また、GPS 時刻同期機能による時刻ソースと、NTP プロトコルにより信号情報センターシステムの装置時刻を同期できること。

エ ネットワーク監視装置

本装置のソフトウェア構成は、表 3.27 の通りとする。

表 3.27 ネットワーク監視装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
運用支援機能		
接続管理	信号情報集約装置接続制御	信号情報集約装置との回線を接続／切断できること。
	信号情報配信センター接続制御	信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。
システム維持管理機能		
システム故障管理	装置監視	信号情報配信センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア障害を検知し障害内容を確認できること。
	ネットワーク監視	信号情報配信センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のネットワーク障害を検知し障害内容を確認できること。
データ蓄積	装置故障情報蓄積	信号情報配信センターのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア障害を検知した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
	ネットワーク障害情報蓄積	信号情報配信センターのサーバー、ネットワーク機器等のネットワーク障害を検知した情報をデータベースに登録し、蓄積すること。
画面表示	装置故障表示	(1) 信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等のハードウェア故障を抽出し、一覧表示できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	ネットワーク障害表示	(1) 信号情報センターシステムのサーバー、ネットワーク機器等からネットワーク障害を抽出し、一覧表示できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
システム管理	起動・停止	信号情報配信センターシステムの起動・停止ができること。
	警報出力	接続装置状態及びシステム状態に応じて異常と判定される場合は、警報出力する。

表 3.27 ネットワーク監視装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	蓄積データ管理	データベース化したデータの保存期間は 1 年間とし、それ以前のデータは自動で消去すること。
	時刻同期機能	GPS 時刻同期機能を備えること。また、GPS 時刻同期機能による時刻ソースと、NTP プロトコルにより信号情報センターシステムの装置時刻を同期できること。

オ HMI 装置

本装置のソフトウェア構成は、表 3.28 のとおりとする。

表 3.28 HMI 装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
運用支援機能		
画面表示(配信履歴の管理・照会)	デジタル地図表示	(1) 次の道路等を表示できること。 ア 幅員が 3 m 以上の一般道路、高速自動車国道及び自動車専用道路 イ 国土地理院地形図（2 万 5 千分の 1）に示す鉄道、駅、湾岸線、湖沼及び河川 なお、国土地理院地形図は、契約時における最新のものであること。 (2) 地図は 1 / 5, 000, 000 ~ 1 / 1, 000 を含む範囲の縮尺が表示可能であり、10 段階以上で拡大及び縮小表示ができること。 (3) 地図は、契約時における最新版とし、発注者の承認を得ること。 (4) 地図は、更新できるものであること。 (5) 地図を同時に 2 枚以上起動できること。
	デジタル地図操作	(1) スクロール 次の 3 種類のスクロールモードで地図のスクロールができること。 ア マウスの左ボタンのダブルクリックによるワントッチスクロール（ダブルクリックした地点が画面の中心にスクロールする。） イ マウスの左ボタンのドラッグによるつかみスクロール ウ マウスの右ボタンのクリック&ドラッグによるフリースクロール (2) 縮尺変更 地図上の縮尺変更により、無段階又は 10 段階以上での縮尺変更できること。また、マウスホイールの操作による縮尺変更に対応できること。
	検索地図表示	(1) 地図検索 ア 検索種別（住所／地名、郵便番号、交差点名、駅、路線名）に応じて、文字検索を行い、検索

表 3.28 HMI 装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		結果をリスト表示すること。 イ リスト表示された検索結果を選択することにより、選択位置を地図表示すること。
	共通	(1) 複数の信号情報配信センターからのデータに対する問い合わせ時に内容を解析し、課題がある場合は関係部署との連携含め問題の切り分け時に上流に情報伝達して対処依頼を行い、解析を迅速に正確に行なうために、地図上に各種情報を表示するビューア機能を有すること。 (2) デジタル地図上に表示する各種情報は重畳表示できること。
	信号予定情報 リアルタイム表示	(1) 最新の信号予定情報に基づき、当該装置の時計時刻と比較し、現在灯色及びその残秒数を算出し、その後、計時とともに、残秒数をカウントダウンできること。さらに、残秒数が0になった場合は、次の灯色に切り替わり及びその残秒数を算出できること。なお、新たに信号予定情報を受信し、最新の信号予定情報が更新された際にはその情報に切替えて表示できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号予定情報 稼働情報表示	(1) デジタル地図上に信号機マークを表示し、その表示色等により信号予定情報の稼働状態（データあり、データなし（欠測）、収集期間内にデータなし）を示すこと。なお、信号機マークの表示位置は交差点管理情報（交差点ID、交差点位置情報）に従うこと。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号予定情報 詳細履歴データ抽出	(1) データベースに蓄積された信号予定情報の履歴データの照会・表示ができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。 (3) 帳票に関しては帳票要件について満足すること。

表 3.28 HMI 装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
	信号予定情報 稼働情報抽出	(1) 受信情報である信号予定情報に関する稼働状態（正常/異常/介入停止等）を交差点単位で抽出し、一覧化できること。 (2) 稼働状態毎に件数を抽出し、表示できること。 (3) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	接続装置状態 情報抽出	(1) 接続先である警察庁の信号情報集約装置、信号情報配信センターの監視状況（正常／異常等）を抽出し、一覧化できること。 (2) 異常件数を抽出し、表示できること。 (3) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号予定情報の 受信・稼働履歴抽出	(1) 接続先である警察庁の信号情報集約装置からの受信した情報に関して、受信・稼働状況の履歴一覧を表示することができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。 (3) 帳票に関しては帳票要件について満足すること。
	信号予定情報の 配信・稼働履歴抽出	(1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、送信・稼働状況の履歴一覧を表示することができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。 (3) 帳票に関しては帳票要件について満足すること。
	停止介入情報抽出	(1) 信号予定情報の停止介入の実施時状況を一覧表示できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号予定情報運用実 績履歴抽出	(1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。

表 3.28 HMI 装置の機能一覧

機能区分	機能項目	説 明
		(3) 帳票に関しては帳票要件について満足すること。
	交差点管理情報運用 実績履歴抽出	(1) 接続先である信号情報配信センターへ送信した情報に関して、サービス提供時間及び稼働率を表示することができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。 (3) 帳票に関しては帳票要件について満足すること。
	停止介入入力	(1) 交差点を指定し、信号予定情報／交差点管理情報の配信を停止／開始することができること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号情報集約装置接 続入力	(1) 信号情報集約装置を指定し、信号情報集約装置との回線を接続／切断できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。
	信号情報配信センタ ー接続入力	(1) 信号情報配信センターを指定し、信号情報配信センターとの回線を接続／切断できること。 (2) 画面表示に関しては画面機能要件について満足すること。

4. 23. 4. ネットワーク構成

本システムとしてはデータ転送の速達性の観点から他の情報の授受とネットワークの共用を避けることが望ましい。したがって、警察庁集約システム及び民間事業者の信号情報配信センターとは専用ネットワークを構築する。なお、他の情報の授受としては、データ照会用途としてHMI装置ネットワークを、データ連携用途として装置間ネットワークを構築する。

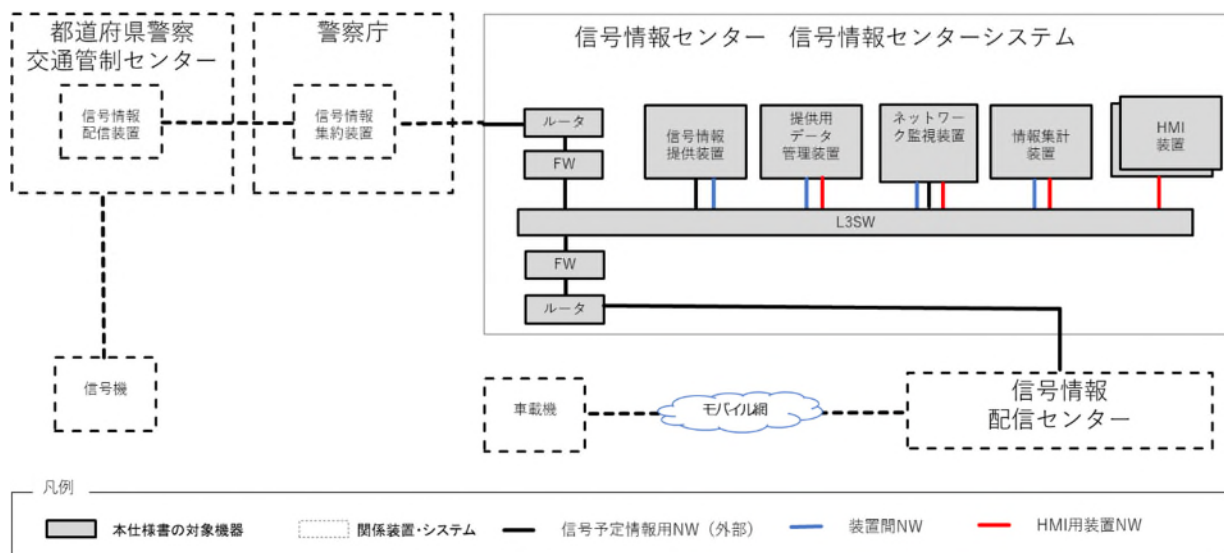


図 3.17 信号情報センターシステムのネットワーク構成図

5. 通信遅延軽減対策

5. 1. 一気通貫の通信負荷検証環境

図 3.18 に示すシステム構成により、模擬信号制御機から模擬車載機までを一気通貫する通信負荷検証環境を構築して信号情報センターシステムの性能を測定し、より高速に信号情報を伝達するための考察を行うことを目的とする。

ただし、信号情報センターから車載機までは競争領域であり、あくまでも実装の参考例である。

各装置の時刻合せに関しては NTP サーバーを利用して行ったが、精度が $\pm 30\text{ms}$ なので、時刻精度を完璧にするために信号情報生成装置と模擬車載装置を同じノートパソコンで動作させる事も検討して推進した。

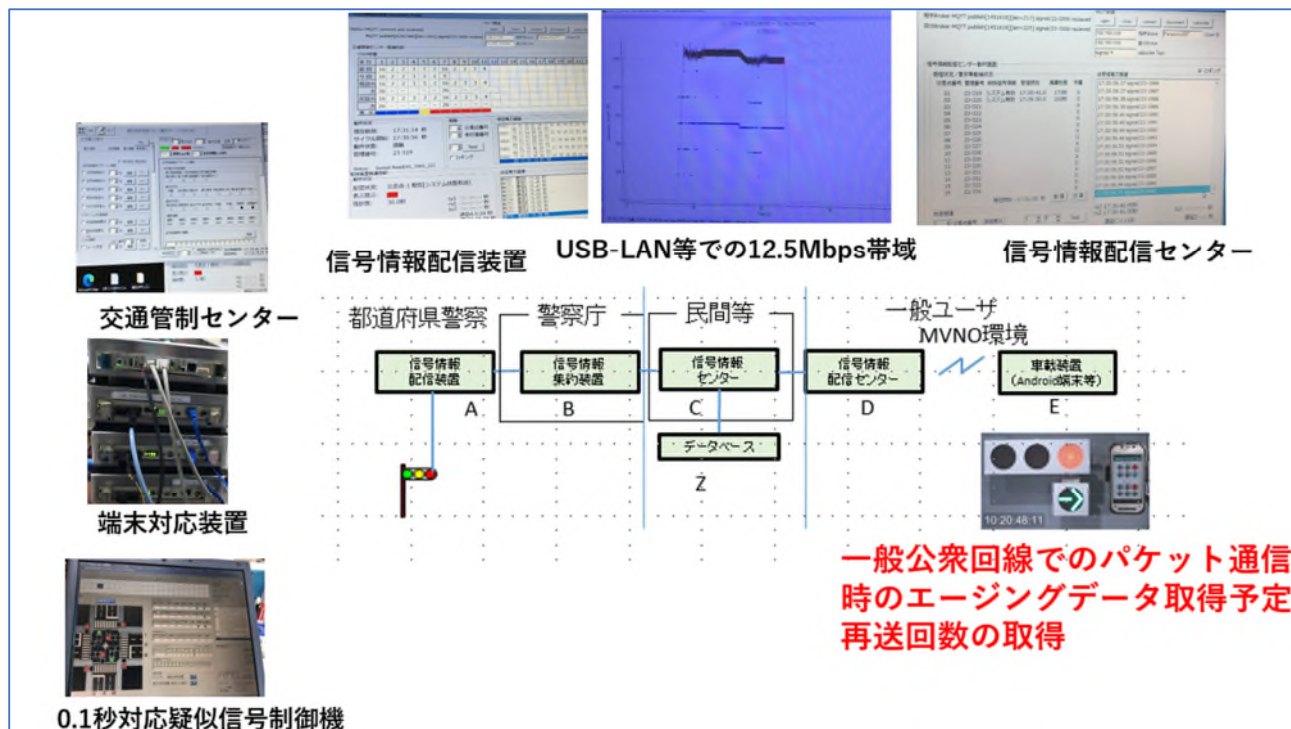


図 3.18 一気通貫環境

また、図 3.19 に示すように LTE 網については通常のインターネット網を活用してパケット通信の負荷がかかる状態での検証を行った。図 3.20 は不明の IP アドレスからのアクセスが多数ありサーバー側の負荷がかかっている状態であることを示すネットワークログである。

この課題に対して M2M ルーター側はグローバル固定 IP を NAT 変換して、内部 LAN 側のサーバー IP へポートフォワード (MQTT:1883) することでアクセスを遮断している。

また、今後のトータル到達時間の短縮化を図るため MQTT 及び通常の PING プロトコルをモバイル PC に対して導通できるような設定を行っている (今後の通信の高速化のための一手段)。

5.2. 測定結果と条件

今回利用したのは NTT ドコモ回線の MVNO の LTE 契約回線で、これを使用した測定結果を図 3.22 から図 3.28 に示す。

※信号情報配信センター側に接続するモバイルルーターはセンチュリー製の NXR-G110L を、模擬車載装置側の USB モバイルドングルは FUJISOFT 製の FS040U を使用した。

1 サイクル 60 秒のサイクル長の 2019 年度評価した信号現示パターンで検証を行った。

データサイズ等は図 3.21 に示す。

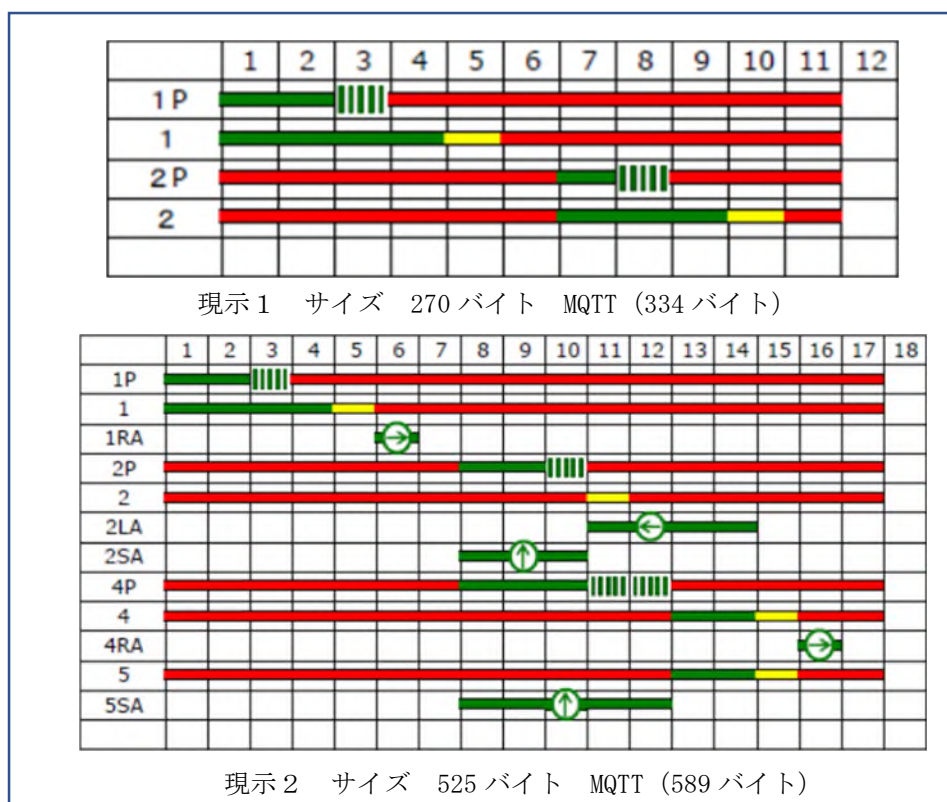


図 3.21 評価用の現示

※20Topic とは 20 交差点分のデータの一斉送信であること。

※3m 秒とは交差点毎の電文送信間隔が 3m 秒であること。

※時計共通とは信号情報生成装置と模擬車載装置が同一 PC であること。

※1 秒 Ping とは MQTT 通信の ping コマンドでキープアライブが 1 秒周期であること。

※遅延時間の計算は 2 分間に受信した Topic の平均値(2 周期分をまとめたもの)

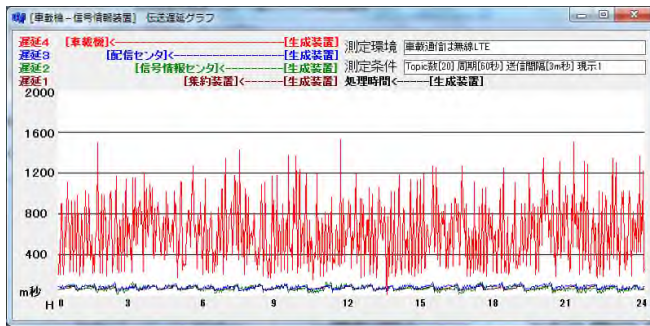


図 3.22 現示 1 20Topic_3m 秒(左：平均値 右：最大値)

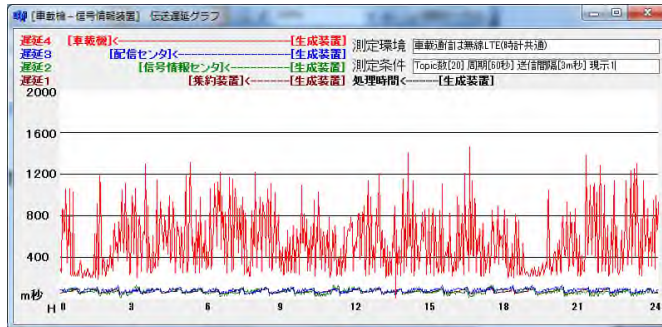


図 3.23 現示 1 20Topic_3m 秒 時計共通(左：平均値 右：最大値)

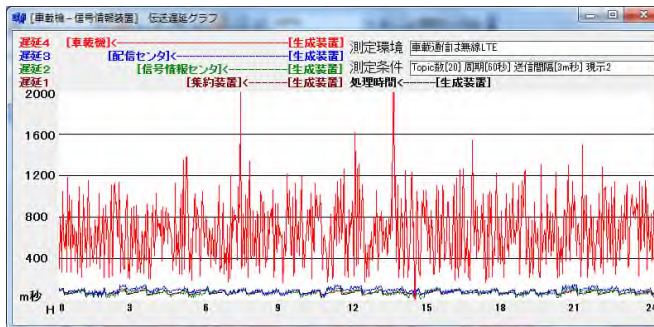


図 3.24 現示 2 20Topic_3m 秒(左：平均値 右：最大値)

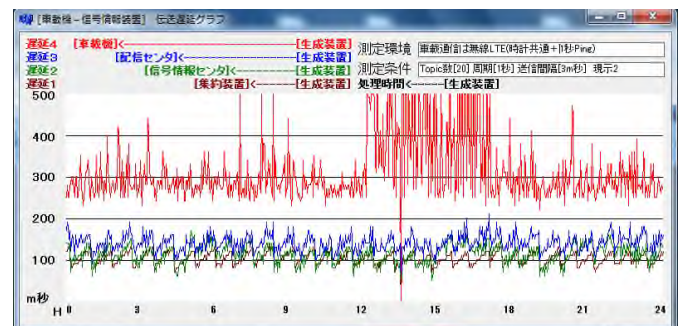
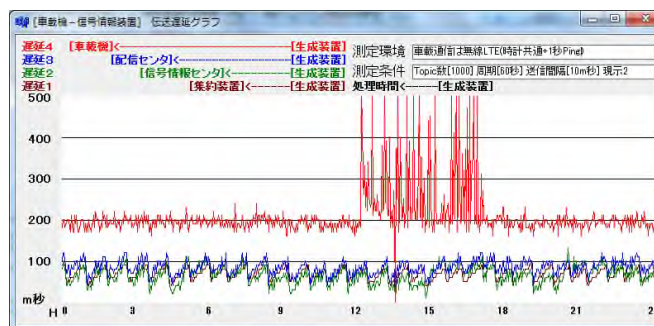


図 3.25 現示 2 20Topic_3m 秒 時計共通

MQTT-Ping1 秒(左：：平均値右：最大値)

★12 時から 16 時まで 2 秒 Ping で 16 時から 17 時まで 3 秒 Ping

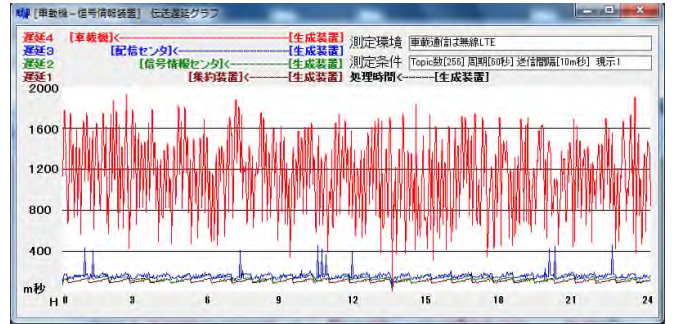
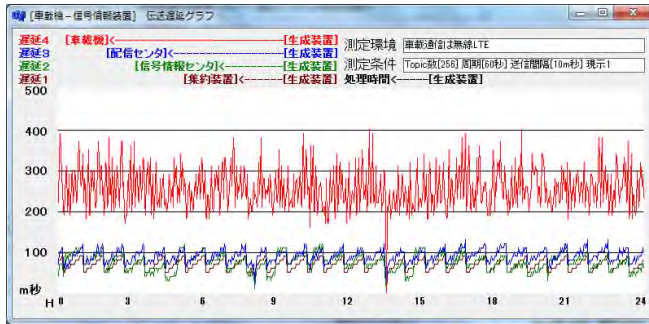


図 3.26 現示 1 256Topic_10m 秒(左：平均値 右：最大値)

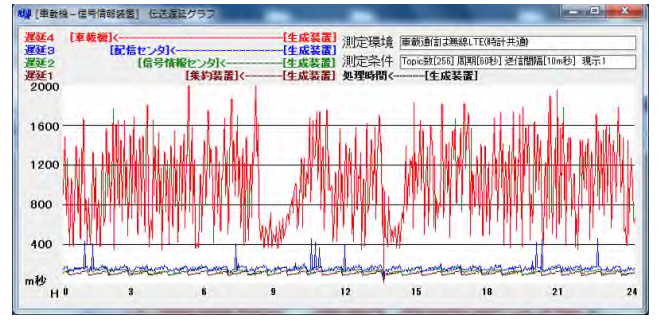
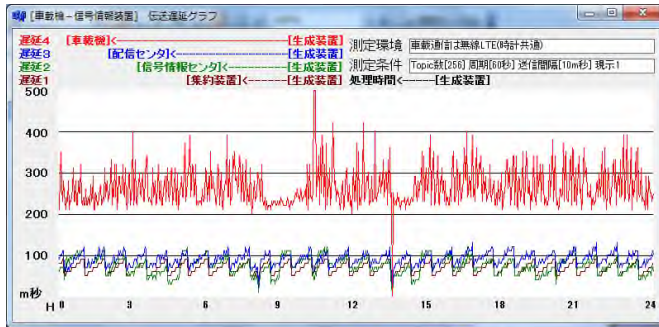


図 3.27 現示 1 256Topic_10m 秒 時計共通(左：平均値 右：最大値)

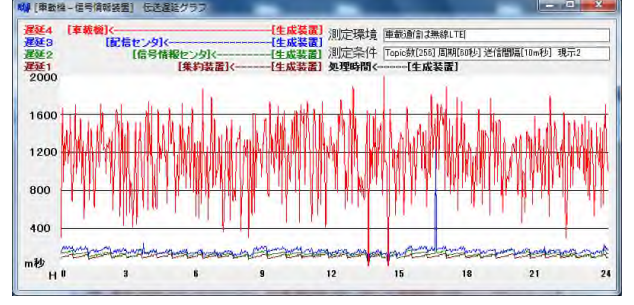
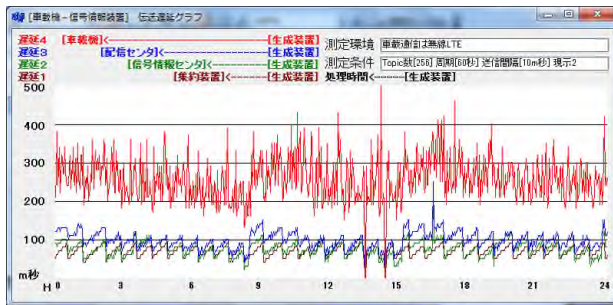


図 3.28 現示 2 256Topic_10m 秒(左：平均値 右：最大値)

5. 3. 東京と福岡の同一時刻検証結果

表 3. 29 に処理時間と遅延の関係を示す

表 3. 29 処理時間と遅延の関係

絶対時刻	処理時間	処理時間説明	イベント	
Tc			信号予定情報生成 (Tc + dt)	
	t1	信号情報生成処理時間 (信号情報配信装置)		0 起点
	t2	信号情報配信装置－信号情報集約装置通信時間		遅延 1
	t3	信号情報集約装置処理時間		
	t4	信号情報集約装置－信号情報センター間通信時間		遅延 2
	t5	信号情報センター処理時間		
	t6	信号情報センター～信号情報配信センター間通信時間		
	t7	信号情報配信センター処理時間		
	t8	信号情報配信センター⇒LTEルータ出力時間		遅延 3
	t9	LTE通信時間(車載器受信時間)		遅延 4
	t10	車載機処理時間		
Ts			灯器変化	

遅延 1 は $t1+t2$ 遅延 2 は $t1+t2+t3+t4$ 遅延 3 は $t1+t2+t3+t4+t5+t6+t7+t8$

遅延 4 は $t1+t2+t3+t4+t5+t6+t7+t8+t9$ をあらわす。

LTE回線を福岡で使⽤した測定結果の平均値を図 3. 29、図 3. 30 に示す。また最大値について図 3. 31、図 3. 32 に示す。

現示 1 は 11STEP で 90 秒周期動作の交差点 100 交差点を対象に 100ms 間隔で送信し、MQTT-ping 通信は行わない状態で実施した。データ送信完了後 次のサイクルでまた送信を行う評価を行った。

	福岡		(平均値)	(単位ms)			
	遅延 1	遅延 2	遅延 3	遅延 4			
13:15	80	20	100	30	130	1050	1180
13:30	50	20	70	20	90	840	930
13:45	50	30	80	20	100	1250	1350
14:00	60	20	80	20	100	1060	1160
14:15	60	30	90	30	120	1080	1200
14:30	80	10	90	40	130	1710	1840
14:45	90	20	110	30	140	1590	1730
15:00	60	10	70	40	110	1780	1890
15:15	50	10	60	30	90	1720	1810
15:30	60	10	70	20	90	1640	1730
15:45	60	10	70	30	100	1800	1900
平均値	63.6363636	17.27273	80.90909	28.18182	109.0909	1410.909	1520
標準偏差	12.9844153	7.496556	14.43137	7.158189	17.29663	340.0389	341.2011

図 3. 29 福岡 (平均値) での評価結果

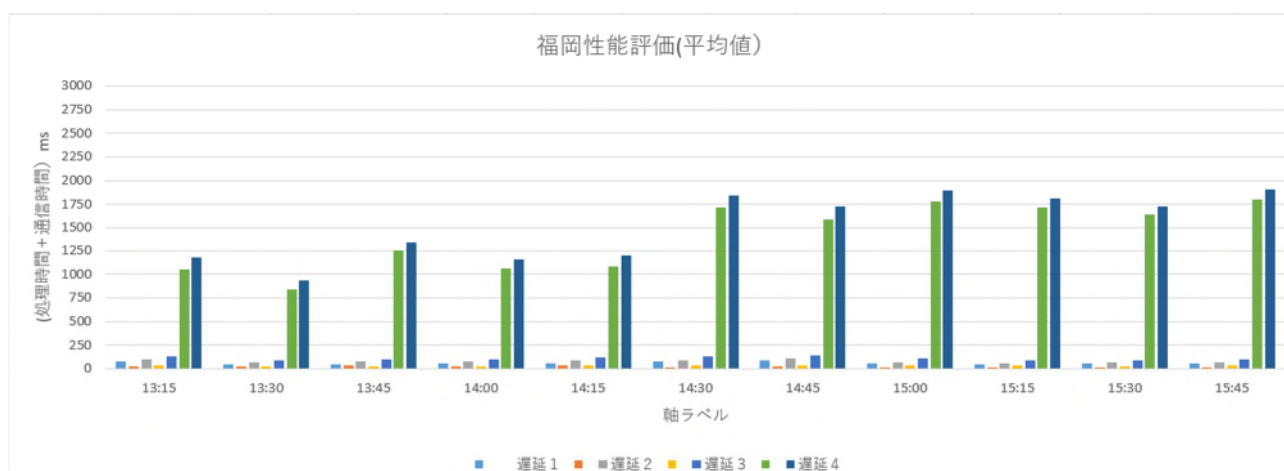


図 3.30 福岡平均値測定結果

福岡		(最大値)					
集約		情報センター		配信センター		車載器	
遅延 1		遅延 2		遅延 3		遅延 4	
13:15	120	50	170	20	190	1930	2120
13:30	120	20	140	40	180	1770	1950
13:45	90	50	140	30	170	2010	2180
14:00	90	40	130	30	160	2280	2440
14:15	110	30	140	60	200	1790	1990
14:30	120	30	150	40	190	2070	2260
14:45	120	40	160	50	210	2570	2780
15:00	130	30	160	60	220	2270	2490
15:15	90	30	120	20	140	2370	2510
15:30	90	20	110	50	160	2160	2320
15:45	100	20	120	40	160	2380	2540
平均値	107.272727	32.72727	140	40	180	2145.455	2325.455
標準偏差	14.826824	10.52349	18.09068	13.484	23.35497	244.4424	242.7256

図 3.31 福岡（最大値）での評価結果

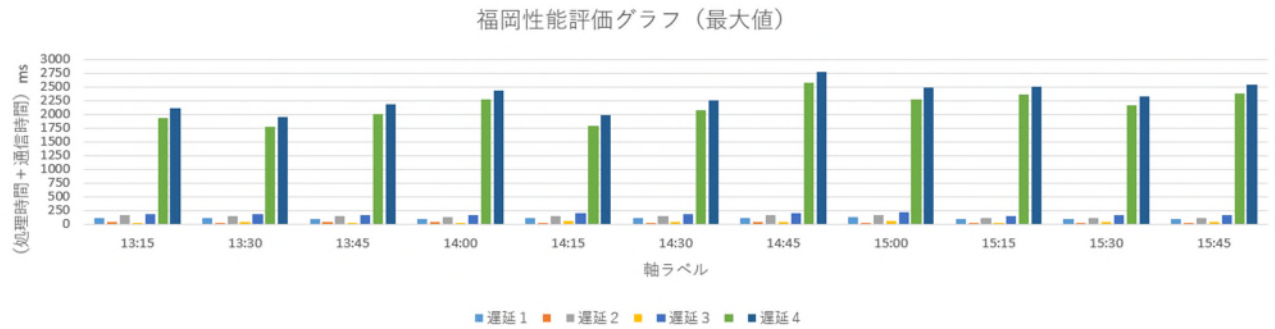


図 3.32 福岡（最大値）での評価結果

図 3.33 に福岡と東京との 2 拠点での同時評価環境の平均結果を示すととも図 3.34 にグラフを示す。
高速に信号情報を伝送するために MQTT-ping1 秒処理での試験を実施した。

福岡 (平均値)								東京 (平均値)							
遅延 1	遅延 2	遅延 3	遅延 4	遅延 1	遅延 2	遅延 3	遅延 4	遅延 1	遅延 2	遅延 3	遅延 4	遅延 1	遅延 2	遅延 3	遅延 4
17:00	80	20	100	40	140	600	740	17:00	80	20	100	40	140	80	220
17:15	80	10	90	40	130	600	730	17:15	80	10	90	40	130	80	210
17:30	80	10	90	40	130	600	730	17:30	80	10	90	40	130	80	210
17:45	80	10	90	10	100	590	690	17:45	80	10	90	10	100	240	340
18:00	70	10	80	20	100	820	920	18:00	70	10	80	20	100	490	590
18:15	50	10	60	20	80	810	890	18:15	50	10	60	20	80	450	530
18:30	60	10	70	10	80	860	940	18:30	60	10	70	10	80	380	460
18:45	60	10	70	10	80	680	760	18:45	60	10	70	10	80	610	690
19:00	60	10	70	20	90	810	900	19:00	60	10	70	20	90	600	690
19:15	70	10	80	10	90	950	1040	19:15	70	10	80	10	90	450	540
19:30	70	10	80	20	100	1215	1315	19:30	70	10	80	20	100	660	760
平均値	69.09091	10.90909	80	21.81818	101.8182	775.9091	877.7273	平均値	69.09091	10.90909	80	21.81818	101.8182	374.5455	476.3636
標準偏差	9.958592	2.874798	11.2815215	11.92262	20.81004	183.66	174.6602	標準偏差	9.958592	2.874798	11.28152	11.92262	20.81004	211.2458	194.9486

図 3.33 一気通貫性能試験(MQTT-ping1 秒) 左：福岡 右：東京

(※) 平均 到達時間で 500ms から 600ms の差異が生じた。

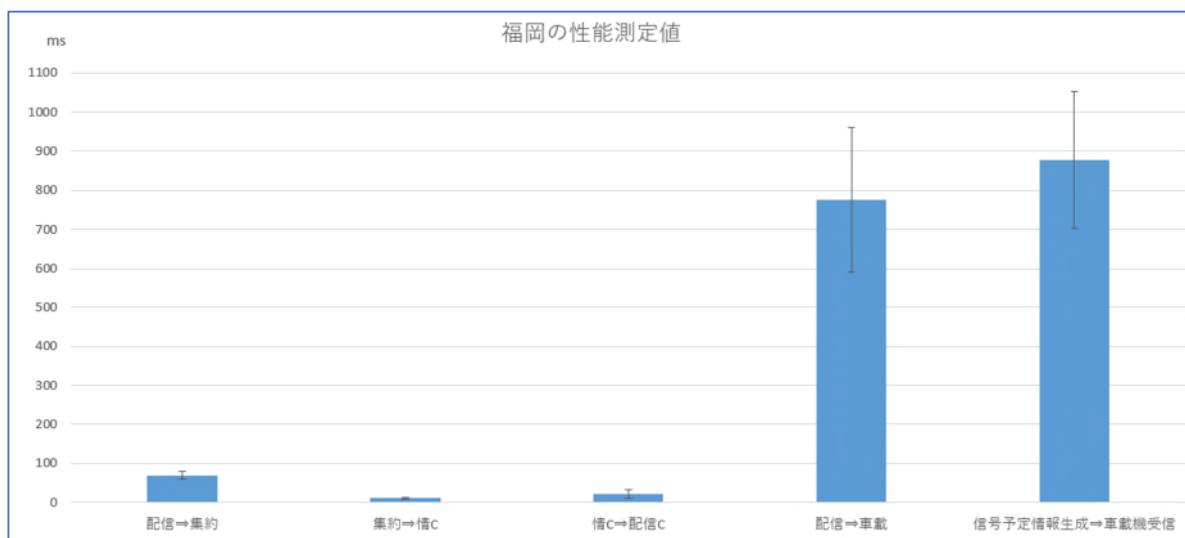


図 3.34 福岡平均値のばらつき具合

福岡 (最大値)							
集約	情報センター		配信センター		車載機		
遅延 1	t2-t1	遅延 2	t3-t2	遅延 3	t4-t3	遅延 4	
17:00	110	20	130	40	170	670	840
17:15	110	20	130	40	170	650	820
17:30	120	20	140	40	180	680	860
17:45	120	10	130	40	170	630	800
18:00	120	30	150	30	180	1730	1910
18:15	80	30	110	60	170	1680	1850
18:30	90	30	120	60	180	1640	1820
18:45	90	90	180	10	190	1170	1360
19:00	90	30	120	40	160	1640	1800
19:15	100	20	120	30	150	2100	2250
19:30	100	20	120	50	170	2460	2630
平均値	102.7273	29.09091	131.8181818	40	171.8182	1368.182	1540
標準偏差	13.54515	20.20556	18.49726359	13.484	10.28519	615.3021	612.1497

東京 (最大値)							
遅延 1	t2-t1	遅延 2	t3-t2	遅延 3	t4-t3	遅延 4	
17:00	110	20	130	40	170	120	290
17:15	110	20	130	40	170	130	300
17:30	120	20	140	40	180	170	350
17:45	120	10	130	40	170	580	750
18:00	120	30	150	30	180	1050	1230
18:15	80	30	110	60	170	1100	1270
18:30	90	30	120	60	180	1210	1390
18:45	90	90	180	10	190	750	940
19:00	90	30	120	40	160	1230	1390
19:15	100	20	120	30	150	1100	1250
19:30	100	20	120	50	170	1400	1570
平均値	102.7273	29.09091	131.8182	40	171.8182	803.6364	975.4545
標準偏差	13.54515	20.20556	18.49726	13.484	10.28519	458.6992	456.6153

図 3.35 一気通貫性能試験 左：福岡 右：東京

5.4. 結果を踏まえた考察

表 3.30 に今回の性能評価の結果を示す。

表 3.30 各事象での結果まとめ

事象	処理計測時間	備考
立ち上げ時(PPP 認証 接続)	システム立ち上げ後、PPP 認証まで 15 秒かかる。	参考情報
センターLTE ルーター 立ち上がり時間	起動時やリセット再起動時に 30 秒かかる。	参考情報
ヒートラン中に 1 日に 数回ソケットエラーが 発生する	グラフで 0 になるのはソケットが切れて測定不能であった事象をさす。	参考情報 次のサイクルまでには復旧している。
端末対応装置の LAN ケーブル抜き時	信号情報配信装置が 5 秒リトライ 2 回で通信確認。10 秒後に切断を認識。	次のサイクルまでに復旧すればデータ整合で問題はないと考察。
Subscribe 側のリセ ット再起動	データがキューイングされていないことを確認。常に新しいデータを送信していることを確認。	参考情報
信号情報生成装置⇒ 模擬車載機 (MQTT-ping 無時)	模擬車載機⇒模擬信号情報センター間の接続時間は 模擬車載機が東京設置時 Δd 最大値 1.6 秒、 模擬車載機が福岡設置時 Δd 最大値 2.6 秒	車載機 (LTE 移動機) の存在を基地局が把握しておらず、基地局にタイミングも同期していない。呼接続後のデータ通信の前に、タイミング同期手順(Random access procedure)を行い、コア網に対して端末の認証を行い、基地局が移動機の使用を把握し基地局とコア網との接続を成立させてか

		ら呼接続後にデータ通信していると考察。
信号情報生成装置⇒ 模擬車載機 (MQTT-ping 1 秒)	模擬車載機⇒模擬信号情報センター 接続 模擬車載機が東京設置値 Δd 最大値 0.5 秒	車載機 (LTE 移動機) の存在を 基地局が把握していて、基地 局と移動機が同期していると 考察。
信号情報生成装置⇒ 模擬車載機 (MQTT-ping2 秒)	ping を 2 秒にした場合には ping 無時 間とほぼ同じ現象になった。	車載機 (LTE 移動機) の存在を 基地局が把握しているが、基 地局に移動機が同期していな いので、呼接続後のデータ通 信の前に、タイミング同期手 順(Random access procedure) が必要と考察。
信号情報生成装置⇒ 模擬車載機 (MQTT-ping3 秒)	ping を 3 秒にした場合には ping 無時 間とほぼ同じ現象になった	車載機 (LTE 移動機) の存在を 基地局が把握しているが、基 地局に移動機が同期していな いので、呼接続後のデータ通 信の前に、タイミング同期手 順(Random access procedure) が必要と考察。

5. 5. Δd の関係

図 3.36 に Δd について説明する。

管制方式での検証結果であるが端末対応装置の処理により 1.0 秒の差異が端末対応装置のメーカーによっては発生する。

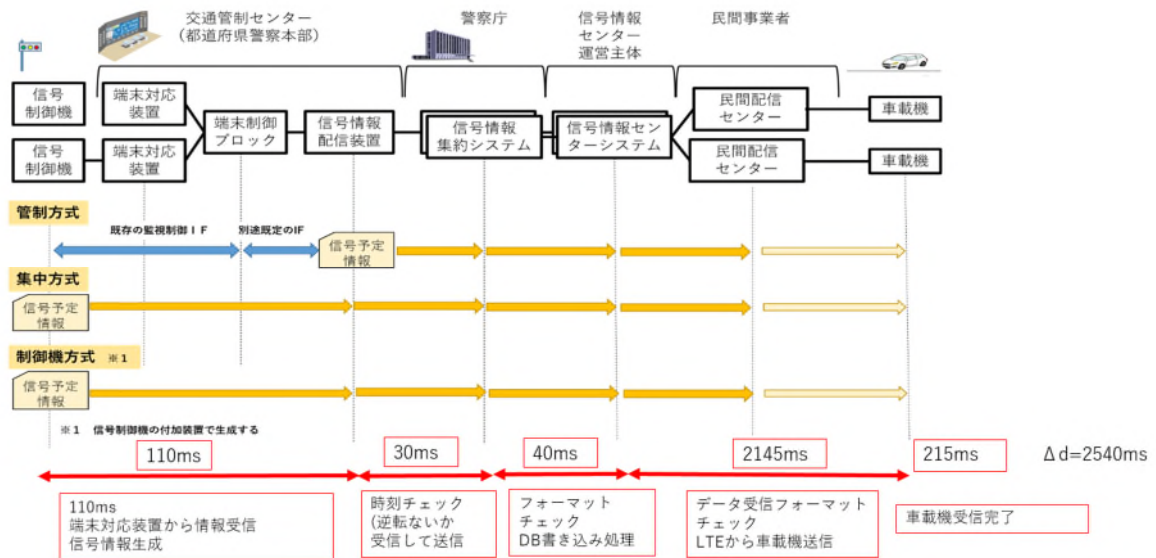


図 3.36 Δd について

模擬車載機が福岡設置時は検証結果から最大値は $\Delta d = 2.6$ 秒、平均値で $\Delta d = 0.8$ 秒となった。

表 3.31 に Δd の関係と各処理時間の関係を示す。

表 3.31 Δd の関係と各処理時間

信号情報伝達時間内訳				評価方式(信号情報配信装置で信号予定情報も生成)	条件	広域イーサでの接続	模範最大値(ping遅延1秒時)
Δd は19割減の時							
絶対時刻	処理時間	処理時間説明	イベント	単位	秒		
Tc			信号予定情報生成 (Tc+dt)	質制方式			
t1		信号情報生成処理時間 (信号情報配信装置)	0.100		0.100		
t2		信号情報配信装置一信号情報集約装置通信時間					
t3		信号情報集約装置処理時間					
t4		信号情報集約装置一信号情報センター間通信時間	0.120		0.020		
t5		信号情報センター処理時間					
t6		信号情報センター一信号情報配信センター間通信時間					
t7		信号情報配信センター処理時間					
t8		配信センター一LTEルータ出力時間	0.170		0.050		
t9		LTE通信時間(車載機受信時間)	2.630		2.460		0.17 Δd
t10		車載機処理時間(Δt の計算に含まれる)	0.5		2.630		Δd
Ts			灯器変化				
信号情報伝達時間内訳				評価方式(信号情報配信装置で信号予定情報も生成)	条件	広域イーサでの接続	模範平均値 (ping1秒遅延時)
Δd は19割減の時							
絶対時刻	処理時間	処理時間説明	イベント	単位	秒		
Tc			信号予定情報生成 (Tc+dt)	質制方式	差分時間		
t1		信号情報生成処理時間 (信号情報配信装置)	0.070		0.070		
t2		信号情報配信装置一信号情報集約装置通信時間					
t3		信号情報集約装置処理時間					
t4		信号情報集約装置一信号情報センター間通信時間	0.080		0.010		
t5		信号情報センター処理時間					
t6		信号情報センター一信号情報配信センター間通信時間					
t7		信号情報配信センター処理時間					
t8		配信センター一LTEルータ出力時間	0.100		0.020		
t9		LTE通信時間(車載機受信時間)	0.877		0.777		
t10		車載機処理時間(Δt の計算に含まれる)	0.5		0.877		Δd
Ts			灯器変化				

5. 6. 回線帯域の考察

2021 年度の検証環境において USB-LAN を活用することで帯域を 12.5Mbps にする環境を構築した。

その帯域にした前提条件は以下である。

表 3.32 に信号予定情報サイズと送信頻度から必要帯域が求められるようにした。

前提条件 LAN 帯域効率 60%

実効値が 60Mbps 時に 7.2kbyte/ms

パラメータ 1 10ms 単位で 73728byte/10ms

パラメータ 2 100ms 単位で 737280byte/100ms

のそれぞれネットワーク帯域能力がある。

今回の検証環境は 100ms 単位での受信モデルでの評価環境を構築した関係なのでパラメータ 2 を採用した。

必要帯域=【交差点数×信号予定情報サイズ×1 サイクルあたりの送信回数】÷737280* (60Mbps)

現示 1 は $256 \times 334 \times 1 / 737280 \times 60 = 7\text{Mbps}$ の帯域が必要で

現示 2 は $256 \times 585 \times 1 \div 737280 \times 60 = 12.2\text{Mbps}$ の帯域が必要である。

いずれの場合も交差点 256 交差点時に 12.5Mbps の帯域があれば通信が枯渇することがないという机上の考察を導きだした。

そのうえで 2021 年度の環境において、模擬信号情報配信装置(各県警)ー模擬信号情報集約装置間を

12. 5Mbps 環境を構築して検証を行った結果パケットロス等の通信障害は発生しなかった。

表 3.32 ネットワーク帯域について

帯域計算のモデルケース											
	信号予定情報	信号予定情報	一般文基点	重要文基点	一般文基点 送信回数 /サイクル	重要文基点 送信回数 /サイクル	文基点数	サイクル長	必要帯域 (単位 Mbps)	必要帯域 (単位 Mbps)	1日あたりサイズ(単位 Kbyte)リトライ無
			比率	0.75	0.25		256	120	効率1.0の場合	効率0.6	
信号提示	サイズ(byte)	サイズ(bit)	送信間隔	送信間隔							
標準提示(車両灯器2 歩行者灯器2) サイクル開始時	585	4680	サイクル開始時 (時刻制面) 1サイクルで1回	サイクル開始時 1サイクル	1	1			5.85	9.75	822.65625
標準提示(車両灯器2 歩行者灯器2) 追従確定時	585	1920		追従サイクル確定時 1サイクルに1回	0	1			1.4625	2.4375	411.328125
矢印付(車両灯器2 歩行者灯器2) サイクル開始時	585	4680	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	1	1			0.73125	1.21875	822.65625
矢印付(車両灯器2 歩行者灯器2) 右折優先での確定時	585	4680	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	1	1			0.73125	1.21875	822.65625
最大値(車両灯器12 歩行者灯器12) 矢印つき	585	4680	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	1	1			0	0	822.65625
最大値(車両灯器12 歩行者灯器12) 矢印つき	585	4680	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	サイクル開始 (右折優先あり時) 右矢印終了時 1サイクルで2回	1	1			0	0	822.65625
サイクル開始時									5.85	9.75	
追従確定時									1.46	2.44	
右折優先確定時									0.73	1.22	

← フェーズでの
必要帯域(負荷)

6. 結言

本調査研究は、クラウド等を活用した信号情報の提供を実現するために、信号情報センターの技術要件に関する検討を行うものである。実施概要としては、(1)信号情報センターに整備されるシステムの技術要件の検討、(2)警察庁信号情報集約システムの機能軽減に関する検討、(3)通信遅延軽減に関する検討である。

まず、クラウド等を活用した信号情報の提供を実現するためには、信号情報センターだけでなく、警察庁・信号情報集約システム等とも連携する必要がある。そこで、連携上の主要なシステムである都道府県警察の交通管制システム、警察庁の信号情報集約システム、信号情報センターシステム、民間事業者による信号情報配信センターのシステムについて、信号情報センターが設置されることを前提に、各々のシステムについて機能上の役割を明確にした。それに伴い、警察庁に整備される予定である信号情報集約システムについて機能軽減案を検討し、その内容に基づき「警察庁信号情報集約システム仕様化報告書」を見直し、提示した。併せて、外部インターフェイスについては、併設される提供技術委員会とも連携し、異常時の情報の速達性を考慮し、センター間での異常を通知する情報を提案した。

次に、システム機能構成、機能配置、管理上必要な画面構成等について検討を行い、システム機能については、4つの大項目機能と、58の詳細機能を明確にし、ユーザが操作する画面や帳票については、14画面、5帳票についてその概要を示した。一方、システム運用に向けては中核をなす機能だけでなく、非機能的な要件も安定稼働の検討には欠くことのできない要素である。そこで、情報セキュリティに関しては、「情報システムに係る政府調達におけるセキュリティ要件策定マニュアル（内閣サイバーセキュリティセンター発行）」を基礎資料として検討を進め、可用性については大規模災害時を考慮に入れシステム構成案を提案した。その他の要件である継続性、拡張性、中立性、運用・保守性等にも対象を広げ、検討を行った。上述の検討結果を踏まえシステム仕様書案の基礎資料とするべく、システム構成図、ハードウェア構成、ハードウェア機能、ソフトウェア機能についてまとめた。

最後に、通信遅延の軽減対策については、2021年度は模擬環境で検証を行ったが、2022年度は実環境に近い装置経由数を模擬環境に構築し、各種検証を行った。2022年度は、データ配信とデータベースへの書込みを並列して実施する形として評価を行った。100交差点分のデータを一度に生成して送信する評価を行い、処理時間としては通信時間を含んでも30～60msとなることが分かった。また、路側装置から模擬車載機までの時間として2～3秒程度でデータ伝搬が可能であることを示すことができた。模擬環境で限定的な条件であるが、実環境と同程度の装置を介してサービスとして成立することを示せたのは非常に意義が大きい。

第4章 信号情報の精度向上に関する検証（管制方式・集中方式）と信号情報以外の情報の統合的な配信に関する検討（テーマ3）

1. はじめに

本報告は、戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）における「クラウド等を活用した信号情報提供の社会実装に向けた研究開発」のうち、テーマ3：信号情報の精度向上に関する検証（管制方式・集中方式）と信号情報以外の情報の統合的な配信に関する検討について記載したものである。

2. 信号情報の精度向上及び通信遅延の軽減に関する検討（管制方式・集中方式）

2020年度施策においては、埼玉県警察モデルシステムで実施した信号情報精度検証により、現行の交通信号制御機の信号情報の精度を1秒単位から0.1秒単位とすることで、信号情報の精度向上が見込まれるとの検討結果が示された。これを踏まえ、新しい仕様書（版5）に改正された交通信号制御機を利用して、精度に関する検証を行うこととした。版5では、信号制御、実行情報、履歴の管理などが、0.1秒単位に対応している。

また、2020年度施策における信号情報精度の向上に係る課題のうち、管制方式において、交通信号制御機のメーカーによるオフセット追従動作の差異により、信号情報配信装置で算出される信号予定情報と交通信号制御機の動作にずれが生じる懸念について、メーカー間の差異が存在するのかを明らかにするとともに、差異が生じている場合には対応策を検討することとした。

2.1. 新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置による精度向上の検証

改正された新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置を用いて模擬試験環境を構築し、信号情報提供を行う。提供される信号予定情報の精度を検証する。検証を行う方式は、管制方式および集中方式とする。

2.1.1. 実験概要

(1) 管制方式

実験実施にあたり構築した管制方式用実験システムの構成を図4.1に示す。管制方式では、信号情報配信装置で信号予定情報が作成される。新仕様により交通信号制御機から送られてくる履歴情報が0.1秒単位になることから、生成される信号予定情報の精度が向上すると考えられる。

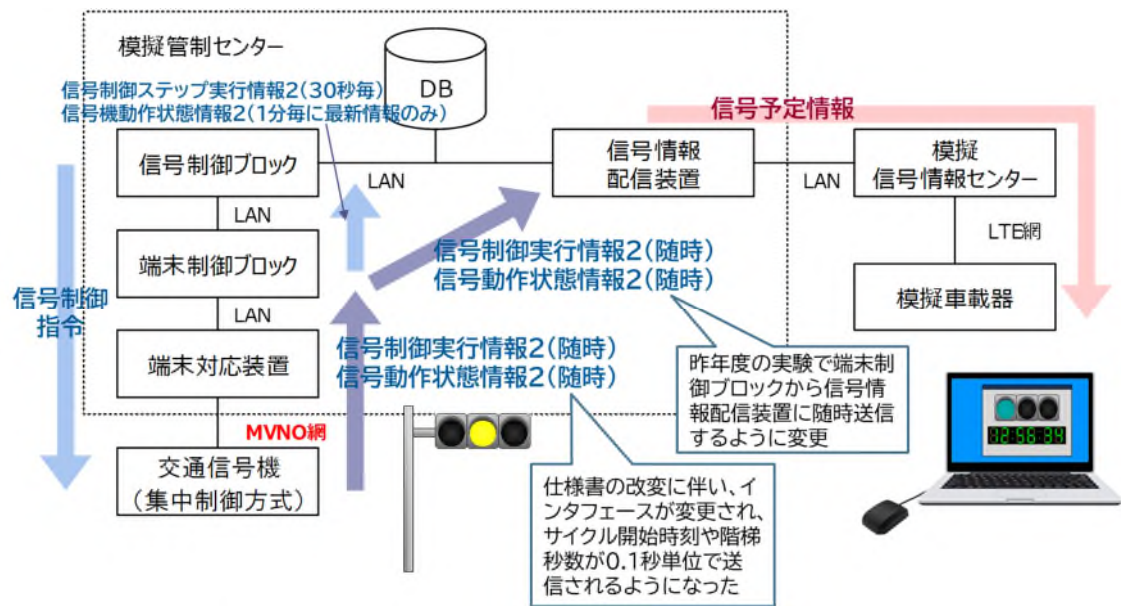


図 4.1 実験システム構成 (管制方式)

(2) 集中方式

実験実施にあたり構築した集中方式用の実験システムの構成を図 4.2 に示す。集中方式では、信号予定情報が交通信号制御機で作成されるため、新仕様のインターフェイス変更による時刻精度向上（1 秒単位→0.1 秒単位）の影響は少ないと考えられ、新仕様による信号予定情報の精度向上は限定的となる想定である。

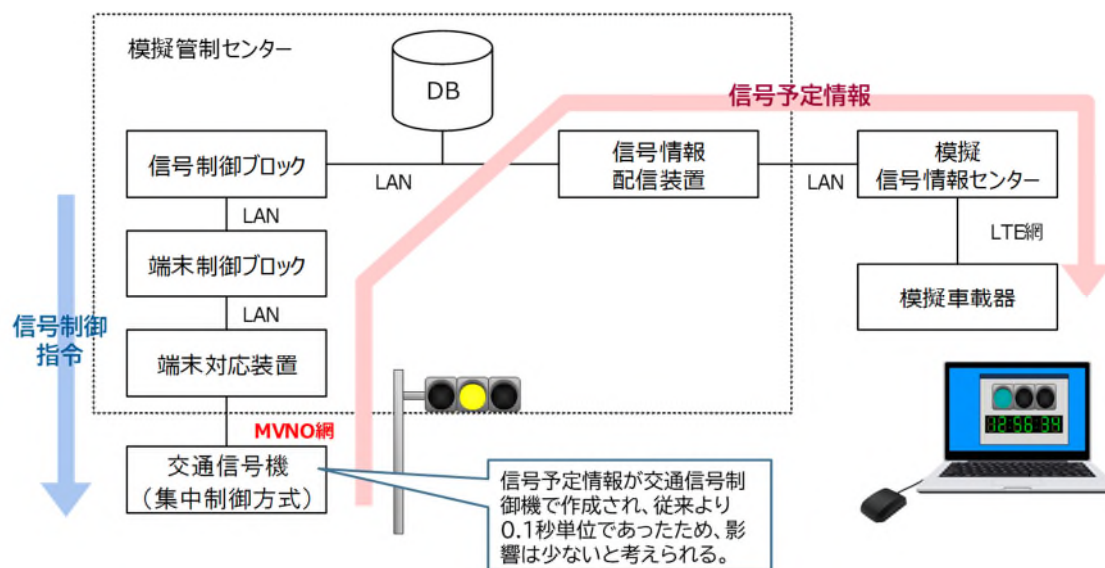


図 4.2 実験システム構成（集中方式）

2.1.2. 実験方式

(1) 実験機器

本調査研究では、信号予定情報の精度を検証するために、模擬車載器に表示される各灯色の切り替わりタイミングと、交通信号制御機に接続された信号灯器に表示される灯色の切り替わりタイミングのずれを測定する。また、2022年度の実験環境でのズレの秒数を計測するとともに、2021年度の検証結果（旧仕様）との比較を行う。そのため、2021年度のモデルシステム的环境となるべく同じになるように配慮を行った。

実験では、新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置を準備し、2021年度のモデルシステムと同等の模擬信号情報センターや車載機と接続した。実験のために準備した機器を図 4.3 から図 4.6 に示す。

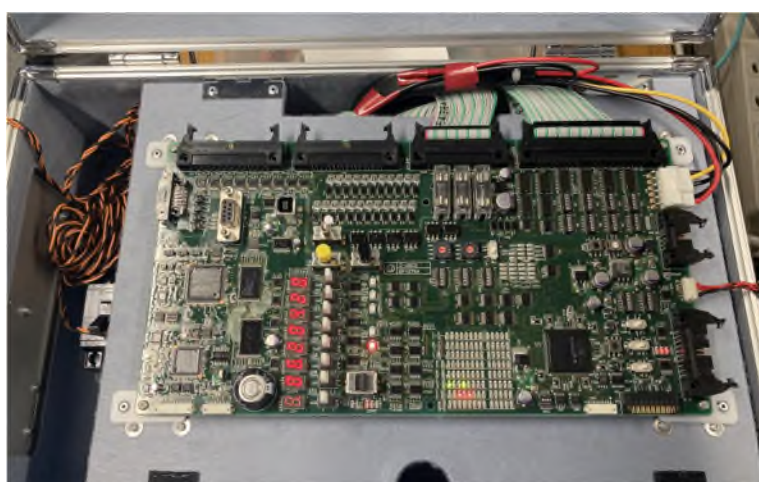


図 4.3 交通信号制御機（版 5）

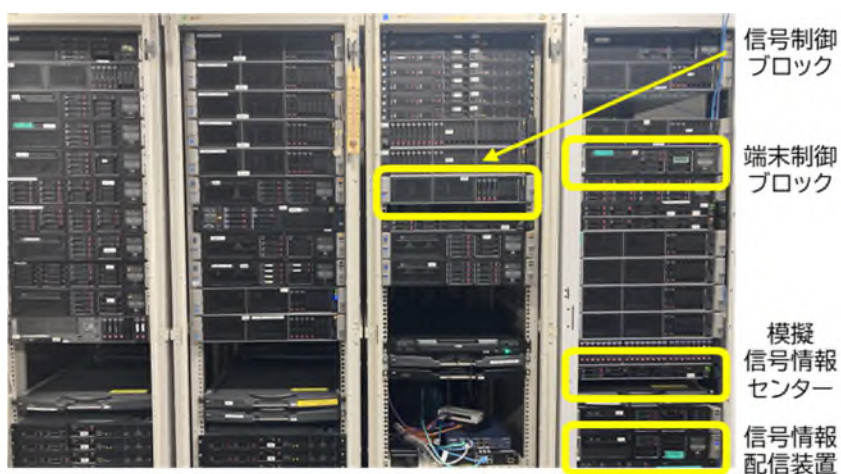


図 4.4 交通管制センター機器と模擬信号情報センター



図 4.5 交通管制センターのMVNO 設備



図 4.6 模擬車載機の画面

(2) 通信環境

本調査研究では、実験環境構築の都合により、一部、2021 年度と通信環境が異なる（信号情報配信装置－模擬信号情報センター間を光回線から LAN に変更）ところがある。2021 年度のモデルシステムとの違いを図 4.7 に示す。

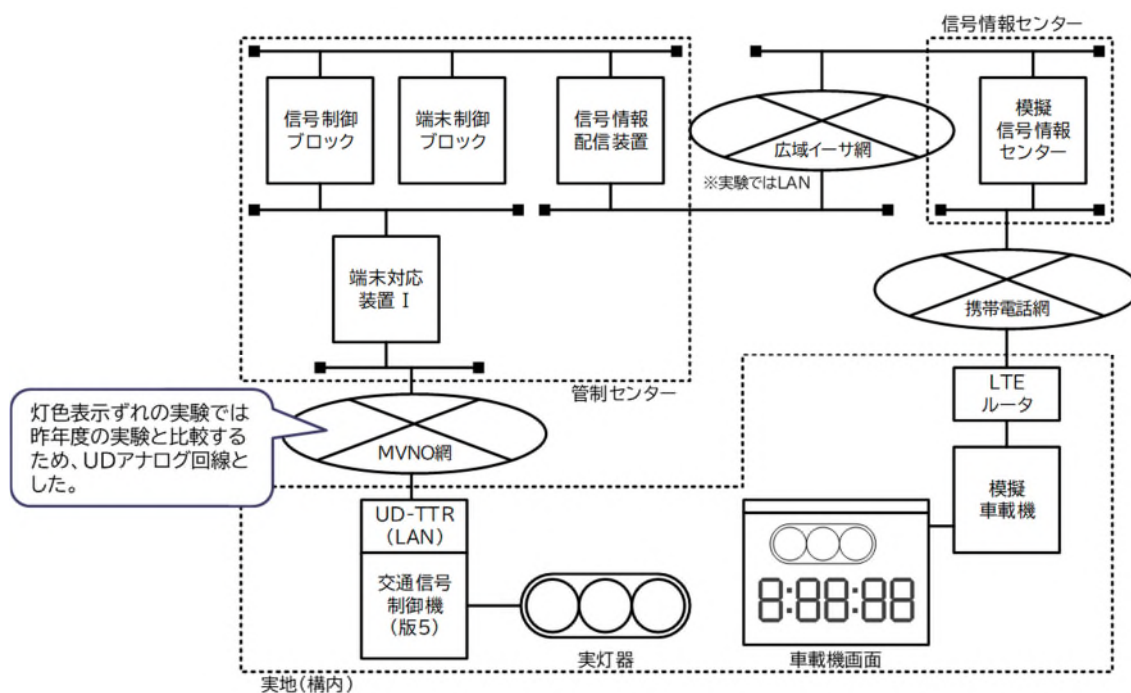


図 4.7 機器構成と 2021 年度との通信回線の違い

(3) 対象交差点

実験対象交差点として、2021 年度の実験で評価対象とした交差点のうち、管制方式では「⑤真々田瓦入口交差点（管理番号 27-211）」を、集中方式では「⑥新堀池交差点（管理番号 27-210）」を構内に再現した。2 つの交差点は全く同じ現示となっている。表 4.1 に対象交差点の交差点情報を、図 4.8 に実際の交差点の位置を、図 4.9 に当該交差点の現示階梯図と灯色切り替わりタイミングを示す。

表 4.1 対象交差点

方式	No.	交差点名	住所	県警管理番号	ギャップ	リコール
管制	⑤	真々田瓦入口交差点	さいたま市岩槻区釣上	27-211	—	—
集中	⑥	新堀池交差点	さいたま市岩槻区釣上	27-210	—	—

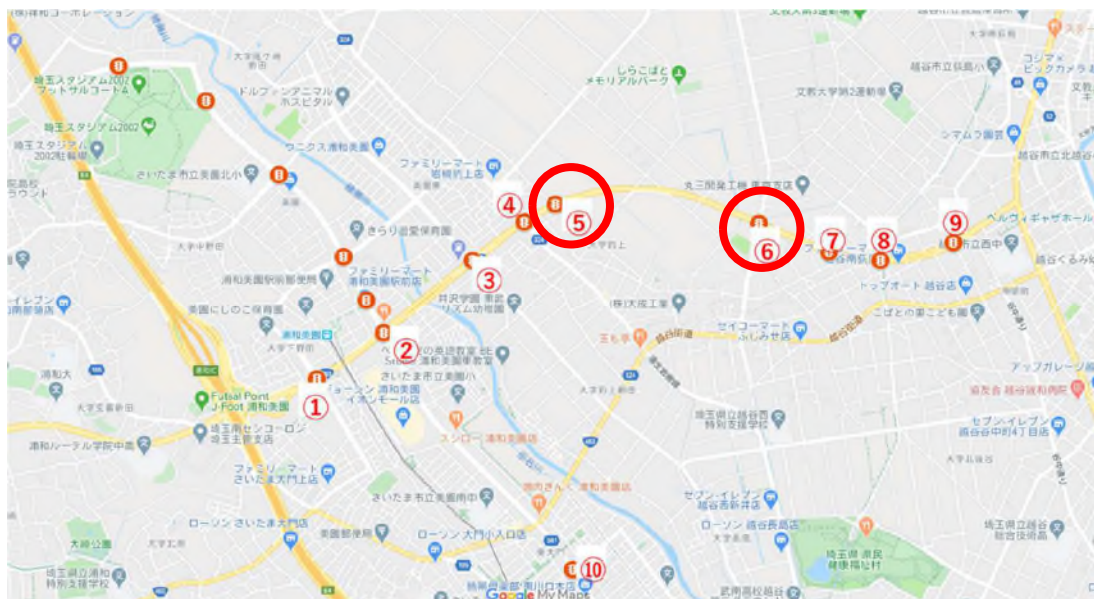


図 4.8 実験対象交差点の実際の位置

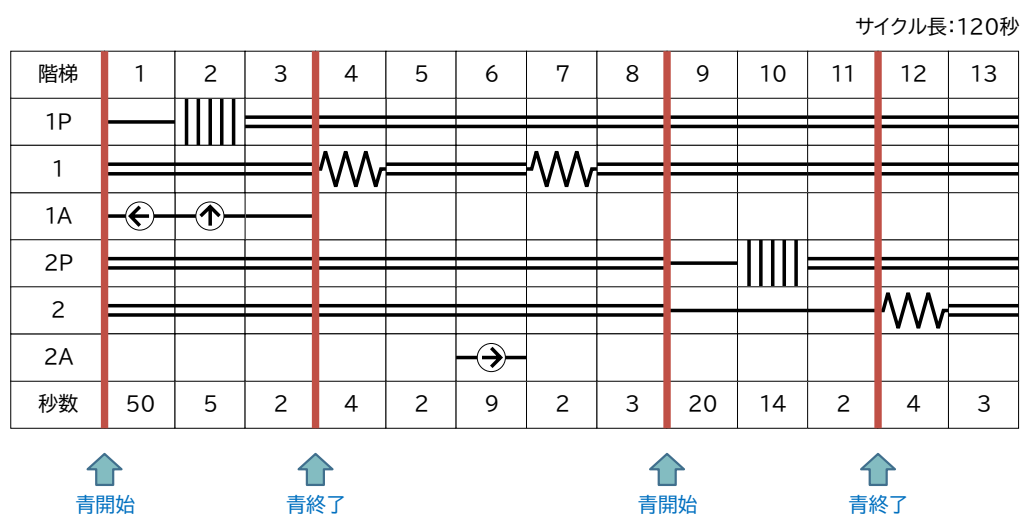


図 4.9 現示階梯図と灯色切り替わりタイミング

2.1.3. 検証結果（管制方式）

(1) 灯色表示ずれの計測結果（管制方式）

管制方式において、新仕様の交通信号制御機と中央装置を用いて信号予定情報の提供を行った場合の模擬車載器に表示される各灯色の切り替わりタイミングと、実際に交通信号制御機に接続された信号灯器に表示される灯色の切り替わりタイミングのずれを測定した。表 4.2 に模擬車載機の灯色と灯器の灯色の切り替わりタイミングのずれの集計結果を、図 4.10 に灯色のずれの分布を示す。

表 4.2 模擬車載機の灯色と灯器の灯色の切り替わりタイミングのずれ（管制方式）

	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
青開始	57	267	100	176	35
青終了	57	233	0	163	54
合計	114	267	0	170	46

単位：ミリ秒

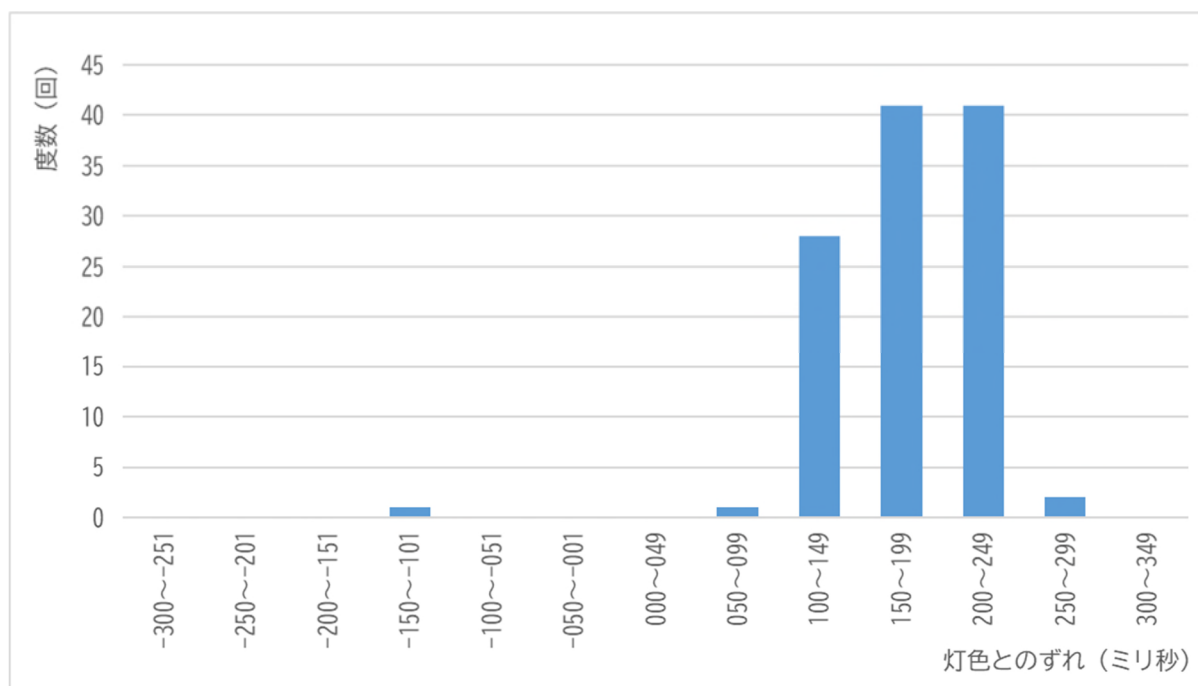


図 4.10 灯色のずれの分布（管制方式）

管制方式では最大値と最小値の幅が、後述する集中方式に比べて若干大きくなった。ただし、灯器とのずれは±300 ミリ秒以内に収まった。

後述する集中方式に比べてずれの幅が大きくなった原因は、測定中に 1 回記録された－117 ミリ秒のずれが原因であるが、このずれが発生した原因は不明であった（オフセット追従や時刻修正の影響はなかった）。

(2) 2021 年度の検証との比較（管制方式）

(a)の検証結果と、2021 年度の埼玉県警察モデルシステムでの管制方式の検証結果について比較を行った。表 4.3 に 2021 年度実験結果との比較結果を示す。

表 4.3 2021 年度実験結果との比較（管制方式）

年度	交通信号制御機の版	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
2021 年度	版 4	84	-3,073	-43	-2,066	645
	版 4（G P S 補正あり）	84	-2,191	-244	-1,366	631
2022 年度	版 5	114	267	0	170	46

単位：ミリ秒

2021 年度（版 4）に比べ、2022 年度（版 5）のずれは大幅に減少し、精度の向上が見られた。また、ずれの幅も縮小している。これは、サイクル開始時刻や各階段の秒数の精度が秒単位からミリ秒単位となり、四捨五入などの丸め処理の影響が少なくなったことが原因の 1 つとして考えられる。

2.1.4. 検証結果（集中方式）

(1) 灯色表示ずれの計測結果（集中方式）

集中方式において、新仕様の交通信号制御機と中央装置を用いて信号予定情報の提供を行った場合の、模擬車載器に表示される各灯色の切り替わりタイミングと、実際に交通信号制御機に接続された信号機に表示される灯色の切り替わりタイミングのずれを測定した。表 4.4 に模擬車載機の灯色と灯器の灯色の切り替わりタイミングのずれの集計結果を、図 4.11 に灯色のずれの分布を示す。

表 4.4 交通信号制御機と模擬車載機の灯色の表示ずれ（集中方式）

	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
青開始	118	-133	0	-62	34
青終了	118	-167	0	-79	32
合計	236	-167	0	-71	34

単位：ミリ秒

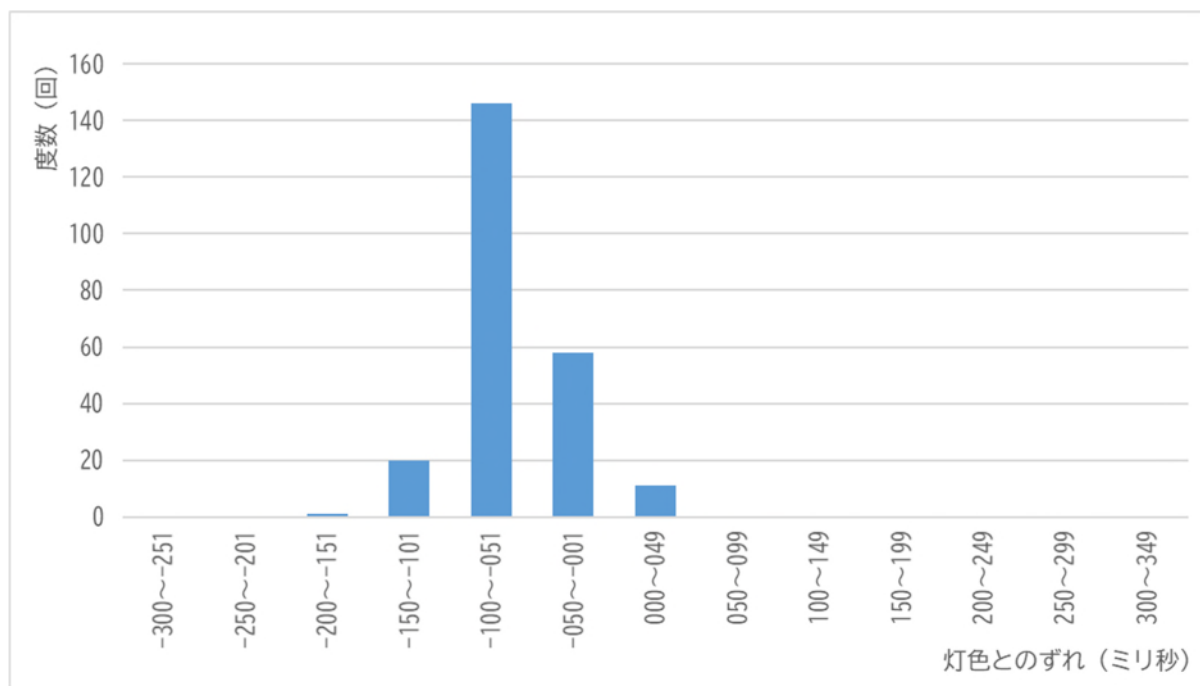


図 4.11 灯色とのずれの分布（集中方式）

集中方式でも、管制方式同様、灯色とのずれは±300 ミリ秒以内に収まった。また、若干ではあるが、管制方式よりもずれの幅が少なくなり、青開始、青終了での違いも見られなかった。集中方式で生じた灯色とのずれは、交通信号制御機（GPS同期）と模擬車載機（NTP同期）の時刻差が原因ではないかと考えられる。

(2) 2021 年度の検証との比較（集中方式）

(a) の検証結果と、2021 年度の埼玉県警察モデルシステムでの集中方式の検証結果について比較を

行った。表 4.5 に 2021 年度実験結果との比較結果を示す。

表 4.5 2021 年度実験結果との比較（集中方式）

年度	交通信号制御機の版	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
2021 年度	版 4	170	1,312	7	476	481
	版 4（G P S 補正あり）	181	274	0	-12	75
2022 年度	版 5	236	-167	0	-71	34

単位：ミリ秒

2021 年度（版 4・G P S 補正あり）に比べ、2022 年度（版 5）のずれは若干減少し（標準偏差が減少し）、精度の向上が少しだけ見られた。集中方式では、インターフェイスなどに 2021 年度との違いはないが、交通信号制御機が版 5 に対応した新制御機になっており、G P S モジュールも製品版となっているため、2021 年度に比べ時刻精度が向上していることが、2021 年度（版 4・G P S 補正あり）との違いを生じているのではないかと考えられる。また、交通信号制御機のプログラムも、改版にあたり、信号灯色の切り替わりタイミングが内部時計の 100 ミリ秒のカウントと合うように改良していることも影響していると思われる。

2.1.5. 考察

埼玉県警察モデルシステムで実施した信号情報精度検証により、現行の交通信号制御機の信号情報の精度を 1 秒単位から 0.1 秒単位とすることで、信号情報の精度向上が見込まれるとの検討結果が示されていた。実験では、管制方式において、実際に新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置を用いることにより、信号情報の精度が向上し、大幅にずれが解消される結果となった。また、信号情報の精度が 0.1 秒単位になることによる影響を受けないと考えていた集中制御においても、時刻精度の向上に起因すると考えられるずれの減少が見られた。

従来の交通信号制御機では、従来のメッセージ規格に準拠するため、中央装置に送信するデータを生成する際に秒未満の丸め処理を実施していた。サイクル開始時刻を秒単位に丸めるだけでなく、感応制御を実施している場合には各階段の秒数も丸め処理が実施される。次サイクルの開始時刻を求めるためには、前サイクル開始時刻に各階段の秒数を加えていくので、更に大きな誤差が発生する可能性がある。新仕様ではこの誤差が生じなくなるため、大幅な改善に繋がったと考えられる。

また、新仕様では、メッセージ規格の変更以外にも、G P S の利用などの改良が加えられており、管制方式の採用にあたっては、版 5 が必須であると考えられる。

なお、感応制御にあたっては、新仕様に対応した交通信号制御機と中央装置の組み合わせであっても、通信遅延に起因する誤差が発生する。感応制御では可変階段の秒数が変動するが、秒数が確定した後に中央装置に送られるのは「次の階段に進出した」という内容だけであり、歩進した時刻などは送信されない。そのため、中央装置では正確な歩進した時刻が把握できず、その後の信号予定情報にずれが生じることとなる。（詳細については、2021 年度報告書の「図 2-8 管制方式における情報生成のタイミングと流れ」および「表 2-6 各通信に係る処理の概要」を参照）

2.2. 通信回線の遅延の検証

2021 年度までの調査研究により、クラウド等を活用した信号情報提供では、交通信号制御機と車両が無線等で直接通信する方式と比べ、信号予定情報生成から車両の受信までに時間がかかることが明らかとなっているが、この時刻差の要因として、通信経路で発生する通信遅延が挙げられる。通信遅延を削減するためには、光回線や携帯電話網など、従来のアナログ回線に比べて高速な回線を採用することが考えられる。信号情報の通信遅延の軽減に関する検討では、集中方式において、交通信号制御機と端末対応装置の接続に用いる回線をアナログ専用線（3.4K）から MVNO 回線（LTE）に変更して通信遅延の計測を行い、2021 年度の実証実験結果との比較を行う。

2.2.1. 実験概要

信号予定情報の交通信号制御機でのデータ作成時刻と各装置での受信時刻との差を測定する。本年度の実験では、集中方式において交通信号制御機と端末対応装置の通信に MVNO 網を利用し、2021 年度のアナログ回線（3.4k）を用いた方式との比較を行う。図 4.11 に本年度の実験と 2021 年度の実験の違いを、図 4.12 に遅延時間の測定方法を示す。

なお、実験環境および対象交差点は「2.1. 新仕様に対応した交通信号制御機および中央装置による精度向上の検証」と同じとした。

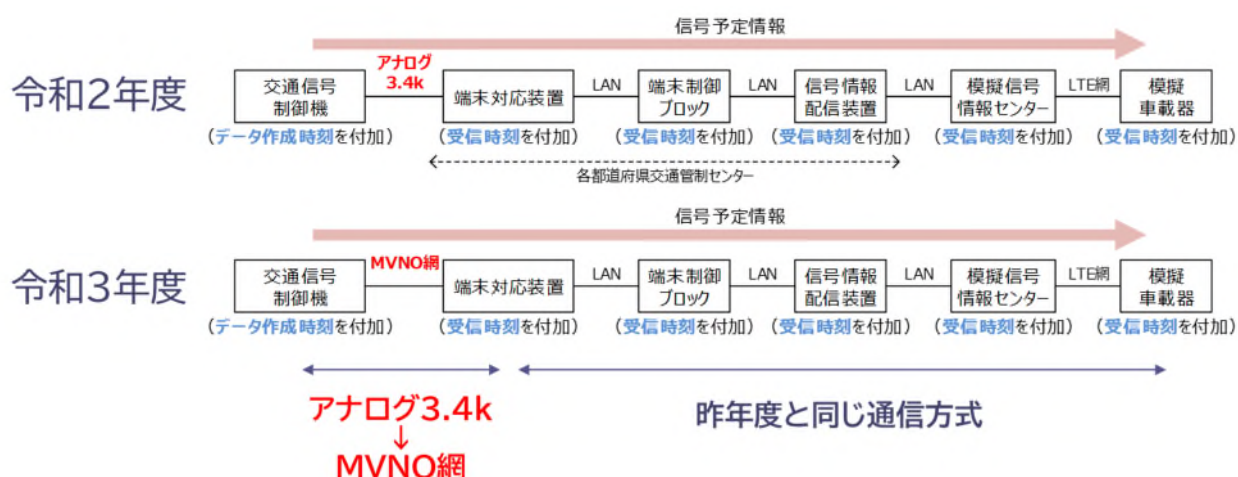


図 4.11 本年度の実験と 2021 年度の実験の違い

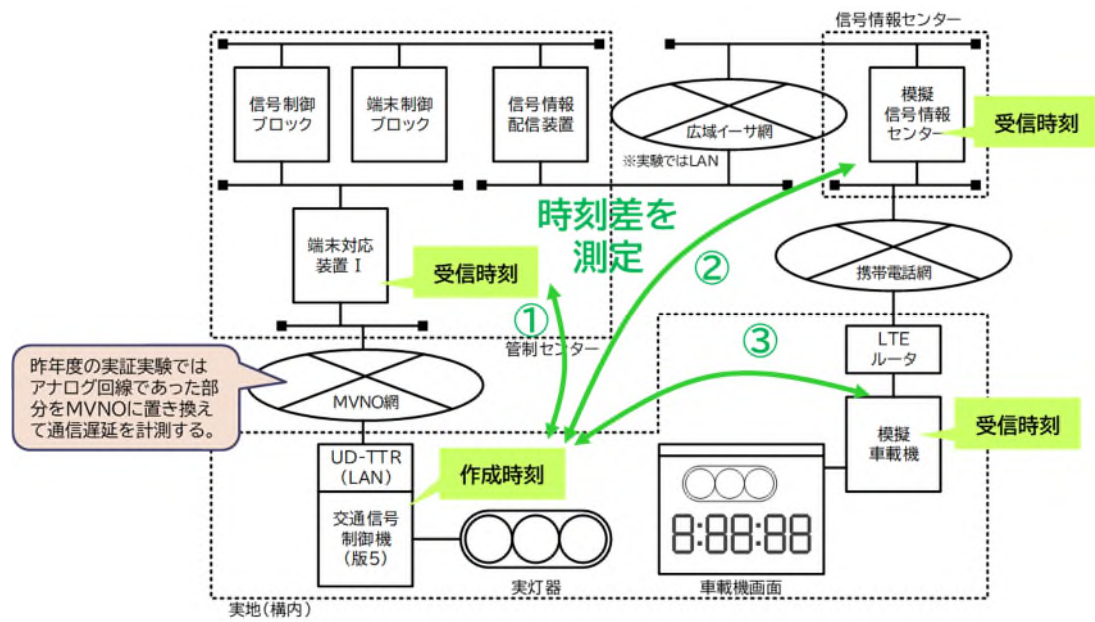


図 4.12 遅延時間の測定方法

2.2.2. 検証結果

交通信号制御機でのデータ作成時刻、端末対応装置、模擬信号情報センターおよび模擬車載機でのデータ受信時刻の時刻差を通信遅延として測定した結果を示す。また、2021 年度（埼玉県警察モデルシステム）でのアナログ回線を使った実験結果との比較結果についても示す。

(1) 通信遅延の計測結果（交通信号制御機－端末対応装置間）

交通信号制御機－端末対応装置間の通信遅延の測定結果を表 4.6 に示す。また、遅延時間の分布を図 4.14 に示す。

表 4.6 交通信号制御機－端末対応装置間の通信遅延

	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
交通信号制御機－端末対応装置間	1035	390	90	198	50

単位：ミリ秒

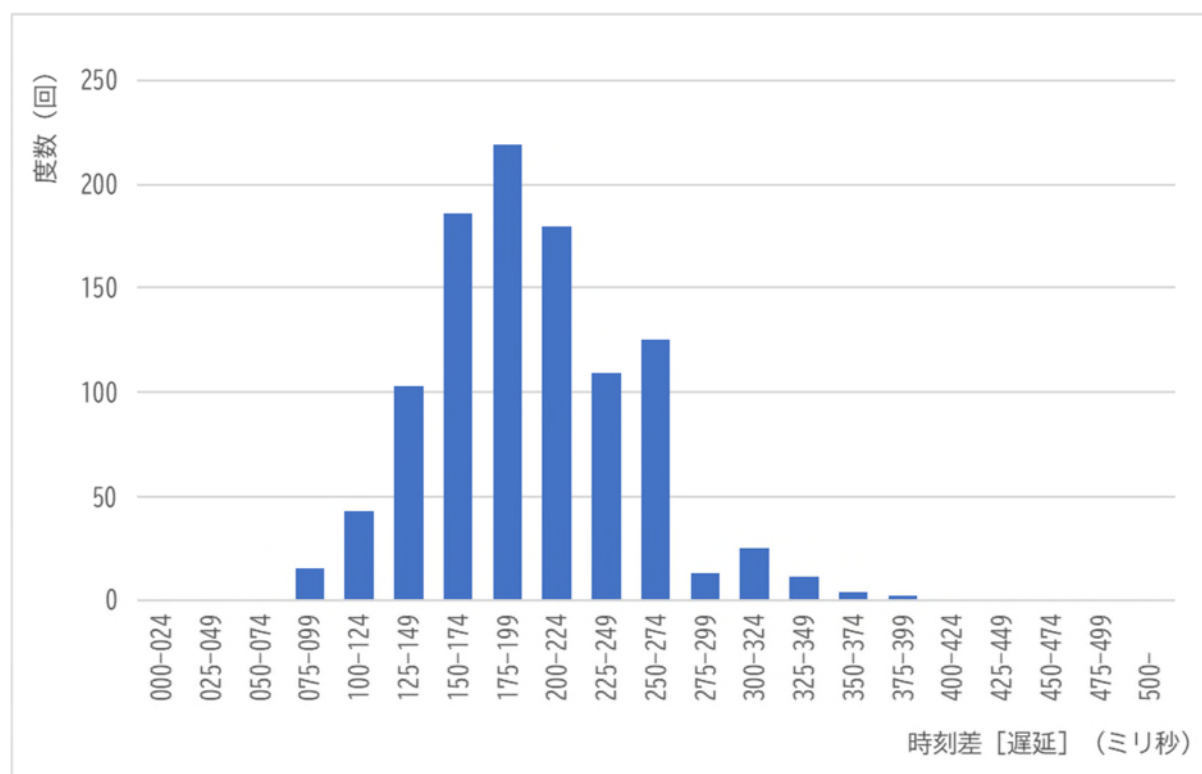


図 4.14 遅延時間の分布（交通信号制御機－端末対応装置間）

交通信号制御機でのデータ生成～端末対応装置でのデータ受信までの時刻の差異（≒MVNO 回線区間で発生した遅延）は 90～390 ミリ秒となった。これまでに経験のある他の実証実験でも、MVNO 回線区間の実績値は平均 100～200 ミリ秒程度であり、それらと同等の結果となった。

(2) 通信遅延の計測結果（交通信号制御機－模擬信号情報センター間）

交通信号制御機－模擬信号情報センター間の通信遅延の測定結果を表 4.7 に示す。また、遅延時間の分布を図 4.15 に示す。

表 4.7 交通信号制御機－模擬信号情報センター間の通信遅延

	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
交通信号制御機－信号情報センター間	1035	1430	550	960	148

単位：ミリ秒

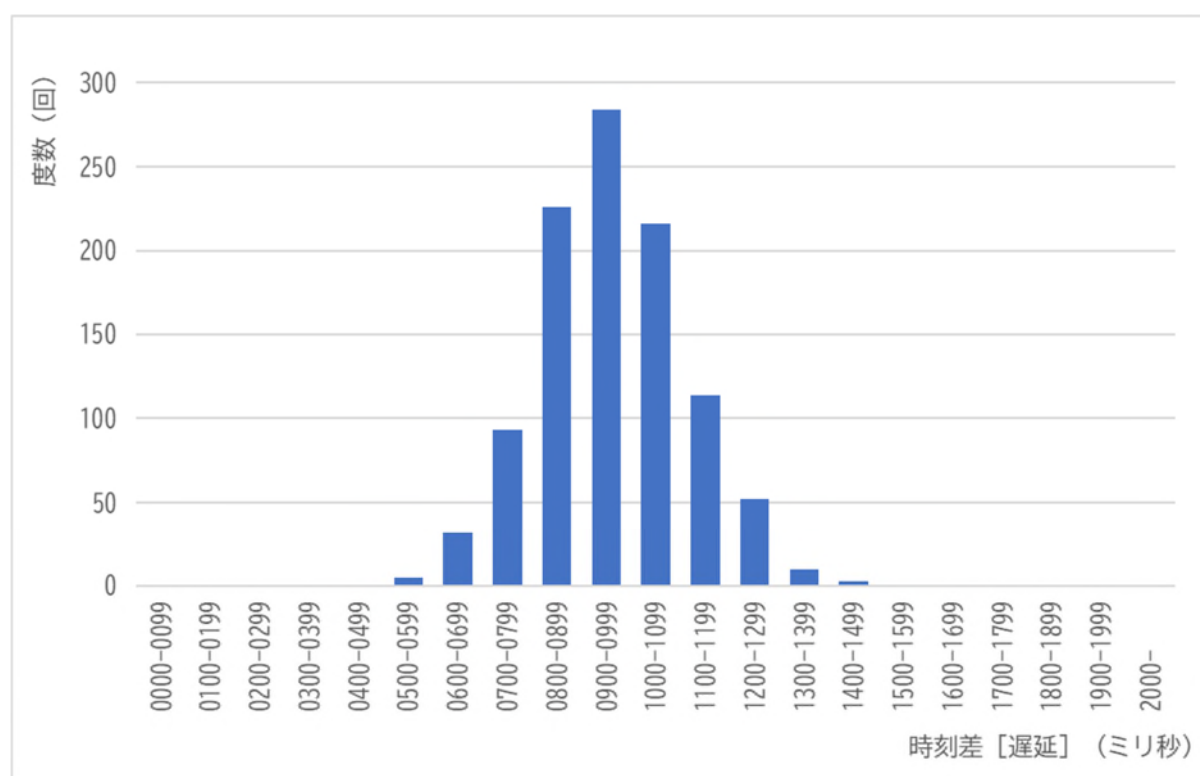


図 4.15 遅延時間の分布（交通信号制御機－模擬信号情報センター間）

交通信号制御機でのデータ生成～信号情報センターでのデータ受信までの時刻の差異は 550～1430 ミリ秒となった。端末対応装置・端末制御ブロック・信号情報配信装置・信号情報センターと複数の装置とその間の通信経路を通過しているため、遅延の増大に加え、標準偏差おおきくなっている（ばらつきが大きくなっている）。

(3) 通信遅延の計測結果（交通信号制御機－模擬車載機間）

交通信号制御機－模擬車載機間の通信遅延の測定結果を表 4.8 に示す。また、遅延時間の分布を図 4.16 に示す。

表 4.8 交通信号制御機－模擬車載機間の通信遅延

	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
交通信号制御機－模擬車載機間	1035	3020	780	1765	522

単位：ミリ秒

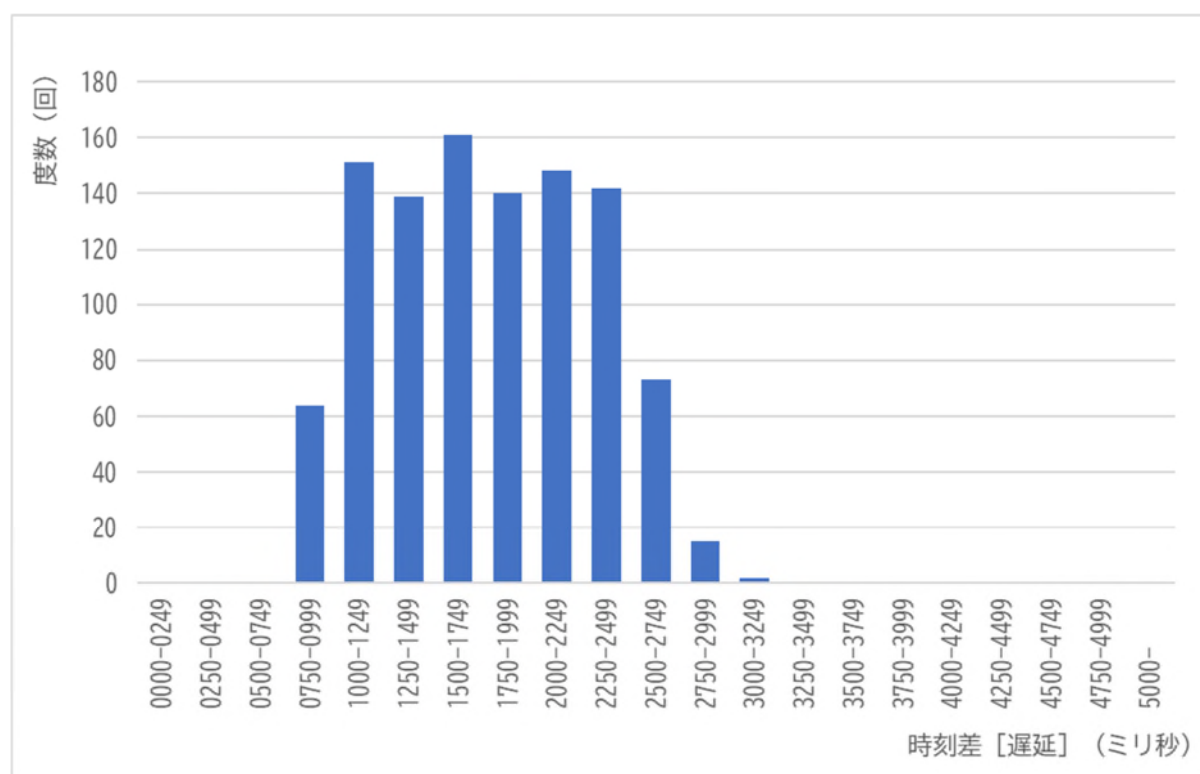


図 4.16 遅延時間の分布（交通信号制御機－模擬車載機間）

交通信号制御機でのデータ生成～模擬車載機でのデータ受信までの時刻の差異（システム全体の遅延）は 780～3020 ミリ秒となった。MVNO 区間と異なり、分布は正規分布的な形にはならず、1000～2500 ミリ秒区間で均一的なばらつきが見られた。分布の幅は MVNO 区間（300 ミリ秒）・制御機－センタ－間（880 ミリ秒）に比べ、2240 ミリと大きくなった。

なお、模擬信号情報センタ－と模擬車載機との通信には MQTT を用いているが、MQTT には Keep alive timer 値という設定があり、通信をしない時間がこの設定値を超えて続くと、コネクシオンを切断する機能があるが、本調査研究では、Keep alive timer 対策として、定期的なコマンドを送信するなどの対策はとっていない。また、IP 通信では、しばらく通信の無かった通信を再開する場合に、初回の通信時に時間がかかること（初回の PING コマンドが失敗する等）もある。模擬信号情報センタ－と模擬車載機間の通信では、これらの制限の影響を受けている可能性もあるので、社会実

装時には対策を検討する必要がある。

(4) 2021 年度との比較

2021 年度の埼玉県警察モデルシステムの検証において遅延時間の計測を実施している交通信号制御機－模擬信号情報センター間の測定結果と、本年度の同区間の遅延時間の測定結果の比較を表 4.9 に示す。

表 4.9 2021 年度実験結果との比較（交通信号制御機－信号情報センター間）

年度	交通信号制御機の版	通信回線	計測回数	最大値	最小値	平均値	標準偏差
2021 年度	版 4 (GPS 補正あり)	アナログ	105	4720	1350	2307	855
2022 年度	版 5	MVNO	1035	1430	550	960	148

単位：ミリ秒

2021 年度（アナログ回線）に比べ、2022 年度（MVNO 回線）の遅延は大幅に減少した。2021 年度に比べ、信号情報配信装置～信号情報センター間の回線についても広域イーサネット回線（光）から LAN に変更になっているが、この部分の改善は 100～200 ミリ秒程度と考えられる。端末対応装置がⅡ→Ⅰになっており、LCU を通過していない影響もあると考えられる。

2.2.3. 考察

クラウド等を活用した信号情報提供方式として検討が行われている管制方式、集中方式、および制御機方式にあっては、信号情報を提供する際に、信号予定情報生成時刻と各灯色の継続時間を提供することで、例えば通信遅延があっても、正確な灯色切り替わり時間が把握できる仕組みをとっている。しかし、通信遅延の影響を受けないのは予め表示時間が決められている灯色（階梯）だけであり、感應制御などの可変する階梯にあっては、階梯が歩進したことをなるべく早く中央装置や車載機に通知することが、信号灯色と信号予定情報の誤差を少なくするためには肝要である。

調査研究では、アナログ回線（3.4K）を利用していた端末回線に、MVNO 回線（LTE）を利用して遅延時間の短縮を試みたが、MVNO 回線は高速回線の一種であり、高速回線には他の種類の回線も存在する。（例えば広域イーサネット光回線などは、MVNO 回線よりも高速であると思われる）高速回線の採用には、当然コストがかかるため、その時々にあった回線の選択が必要と考える。

また、通信遅延時間だけに限らず、各機器の処理時間や処理待ち時間など、通知に係る時間は短ければ短いだけよく、使用する機器のスペックや処理間隔、負荷分散についても検討が必要である。

2.3. オフセット追従動作の算出方式の差異調査及び発生する差異の解決策の検討

2020 年度施策における信号情報精度の向上に係る課題に挙げられた、交通信号制御機に存在するメーカーの間オフセット追従方式の差異について、差異が存在するかを調査し、存在する場合には、明らかになった相違点について、解決方法を検討する。

2.3.1. アンケートの実施

交通信号制御機のオフセット追従の方式については、仕様書に細かな記述がなく、各インフラメーカーの方式に差異があると考えられている。この差異により、管制方式（管制センターの信号情報配信装置で信号予定情報を生成する方式）では、信号情報配信装置で想定した動作と、実際の交通信号制御機の動作が異なる可能性がある。その場合、信号予定情報に大きな誤差が生じ恐れがある。

そこで、各インフラメーカーに、オフセット追従等の動作についてヒアリング（アンケート）を行い、算出方式に差異がないか調査した。

2.3.2. アンケートの結果

アンケート調査の結果から、オフセット追従方向および追従量の決定・算出方法において、インフラメーカー間で差異が存在することが明らかとなった。

オフセット追従のロジックに関する設問では、追従方向の判定、サイクル単位の追従量の算出、追従量のスプリットへの配分の全ての工程でメーカー間の差異が発生しており、算出結果が一致するメーカーは存在しないという結果となった。

そのため実例によるオフセット追従結果に関する設問においても、設問を作成したメーカー以外に算出結果が「同じ値となる」と回答したメーカーはなく、知財保護の観点から各メーカーの算出秒数まではヒアリングしなかったものの、その算出秒数は全て異なると考えたほうがよい。

上記の結果から、管制方式においては、信号情報配信装置で算出した信号予定情報と、交通信号制御機での制御秒数には差異が発生しており、その差異は信号灯色と模擬車載機の灯色表示の誤差として顕現していると考えられる。

2.3.3. 差異への対応策の検討

(1) 対応策の検討

アンケート調査の結果より、①追従方向の判定方法、②サイクル単位の追従量の算出方法、③追従量のスプリットへの配分方法に差異があることが判明したが、このうち①に関しては、交通信号制御機で決定した追従方向は、「信号制御実行情報2」の「予定サイクル長」を参照することで、中央装置側でも交通信号制御機の判定結果を判断することが可能であると考ええる。そのため、対応策は主に追従秒数の差異に対して実施されればよい。

そこで、②および③の差異により発生が予想される秒数の誤差を発生させないための対応策として、委員会より表 4.10 に示す 2 つの策を提案した。

表 4.10 委員会で提示した 2 つの対策案

No.	名称	対策概要
対策 1	各メーカー算出ロジック実装方式	信号情報配信装置で交差点毎の交通信号制御機メーカーを管理する。また、信号予定情報生成プログラムに各社のオフセット追従算出ロジックを実装する。信号予定情報を生成する際には、オフセット追従動作を想定する際に、対応するメーカーのオフセット追従算出ロジックを使用して、信号秒数を計算する。
対策 2	オフセット追従秒数中央指令方式	これまでの信号制御ブロックでの信号制御指令生成後に、サイクル長・基準時刻・オフセット値を元に、信号制御ブロックでオフセットを加味した指令に変更し、変更した指令を端末に送信する。その際、端末に対してはオフセット追従禁止を指定する。

委員会の審議において、各インフラメーカーに対し、上記の対応策に対策 3 として『対策を取らない』という選択肢を加え、コメントと他の対応策の提案を依頼したところ、数社より以下の回答を得た。表 4.11 に各対応策へのインフラメーカーからのコメントを、表 4.12 に新たに提案された対策案を示す。

表 4.11 各対策案へのインフラメーカーからのコメント

No.	名称	対策へのコメント
対策 1	各メーカー算出ロジック実装方式	・ 信号情報配信装置を納めるメーカーと信号機端末のメーカーが異なる場合、誤差が発生した場合の責任分解点が不明確になるのではないか。中央／端末メーカーともに責任がとれないため、精度の保証や不具合時の対応等に懸念がある。 ・ 各社の知財、ノウハウの扱いについて明確にする必要がある。 ・ 信号情報配信装置の実現にかかるシステム開発費や、運用費、保守費が高コスト化する懸念がある。 ・ 信号予定情報の生成のために、各端末に設定されている監視階梯秒数や最低保証秒数等のパラメータを信号情報配信装置にも入力する必要がある、システム管理上の作業が煩雑化することが懸念される。 ・ 追従方法の改善などの技術開発、各社の自由な信号機の開発を阻害することになるのではないか。 ・ 端末のロジックが改良された場合や、ロジック未実装のメーカーの端末が増える場合には、都度新しいロジックを実装する改修が必要になるなど、中央装置でも構成管理が必要となり、却ってコストが増大する。 ・ 信号機仕様（追従動作方法）変更時は、中央更新タイミング（5年毎）と信号機更新タイミング（随時）のずれが発生する。 ・ 信号予定情報生成における処理遅延の増加等について再評価が必要となる。 ・ 信号情報配信装置の想定通りに動作するのかの検証が中央／端末メーカーの組み合わせ別に必要となる。検証費用負担の整理などが必要ではないか。 ・ 小規模な交差点数や、単一メーカーの信号機のみ整備される場合等であれば、コストを抑えられる可能性はあるかもしれない。

No.	名称	対策へのコメント
対策 2	オフセット追従秒数 中央指令方式	・ 対応策 1 よりも実現性の高い対策であると思われる。 ・ 信号制御ブロックは従来の信号制御下位装置等の制御も維持する必要があり、改修のハードルが高い。 ・ 信号制御ブロックではなく、端末制御ブロックにおいてこの機能を実装したほうがよい。 ・ 信号制御ブロック（端末制御ブロック）の改修や、要求される処理能力が高くなることによる上位装置更新のコスト増が想定される。 ・ 版 5 以外の信号機の扱いについて整理が必要となる。時刻補正による追従動作など端末側で必要な追従がある。 ・ 信号情報配信装置の想定通りに動作するのかの検証が中央／端末メーカーの組み合わせ別に必要となる。検証費用負担の整理などが必要ではないか。 ・ 新方式に移行する際、各メーカーの端末での動作検証をすべて終わらせてからでないと、すべての端末を同時に新方式に移行することは難しい。そのため、両方式併用の期間が生じることも想定され、運用開始に際しての難易度が高い。
対策 3	対策実施なし	・ 管制方式の狙いは、ある程度の制約は許容した上で、コスト優先でシステムの普及を目指すものと捉えている。追従中は 100 ミリ秒程度の誤差は発生しうるものとして、既存システムに手を加えないという選択も妥当と考える。 ・ システムに手を加えないまま、誤差の発生をなるべく少なくするには、運用面で追従が発生しない制約を課せばよい。例えば、終日時刻制御でオフセット追従が発生しないようなパターンをあらかじめ組んで指令するようなことが考えられるのではないか。（※本意見は新しい案として提案いただきましたが、対応策 3 への意見として捉えさせていただきました） ・ 交通量に応じた制御を実施するなど、上記のような制約を解消したい場合に、対応策 1 や対応策 2 のような機能を付加機能扱いとして整備すればよい。

表 4.12 インフラメーカーからの追加の対策案

No.	名称	対策概要
対策 4	信号動作状態情報メッセージ規格変更方式	① 信号機から中央装置に送信する信号動作状態情報（階梯変化時に階梯が変化した時刻の情報を追加する。 ② 追従動作中は最大推定誤差を見込んだ幅付き（最小／最大）の青残秒数を提供する。（感応動作と同様に扱う） ③ 信号情報配信装置において、追従動作をする可変階梯の終了を信号動作状態情報で監視し、秒数が確定後、新たな信号予定情報を生成する。
対策 5	共通オフセット追従定義方式	① オフセット追従量の算出やスプリットへの配分について、共通のロジックを定義し、各社の差異による信号誤差が許容誤差の範囲に入るか評価する。 ② 許容誤差は 100 ミリ秒程度、最大でも 200 ミリ程度にする。 ③ 誤差が 300 ミリ秒に入らない場合は、自動車工業会とも協議して、ユースケース等を再検討する。

管制方式の利点は他の方式に比べ低コストで導入できることにあったが、対応策 3 を除いた全ての案で、中央装置のプログラム改修や交通信号制御機へのメッセージ追加など、大きなコスト増が見込まれる。また、2021 年度までの検討により、管制方式であっても精度向上のためにはGPSなどの時刻補正が必要であり、版 5 の交通信号制御機での実現が前提となっていることから、結果的に、管制方式の利点である低コストという優位性は薄れてきているのではないかと考えられる。また、自動運転（LV4）の対応において管制方式は異常監視など制限もあることから、改めて管制方式のユースケースを検討すべきとの意見があった。

(2) 考察

ユースケースの見直しが可能であれば、オフセット追従により発生する誤差は許容できると考えられる。また、これまで対応不可としていた感応動作等についても、誤差が許容できる前提であれば情報提供は可能であると考えられる。そのため、管制方式の利点を活かした運用とすることを優先させ、機能要件の緩和を行うかどうかを結論づけた上で、オフセット追従方法の差異への対策について検討を行っていく必要がある。

3. 信号情報以外の情報(交通規制情報等)の統合的な配信に関する検討

3.1. 現状調査

標準フォーマットとして103種別の交通規制情報が定義されており、103種別の一つとして、「信号機」も定義され、JARTICのWebサイトにてオープンデータとして提供が行われている。「信号機」のフォーマットを以下に示す。

98.信号機

大分類	フォーマット項目	属性	バイト数	注意点
県情報				
	都道府県コード	コード	2	【共通コード】都道府県コード参照
	警察署コード	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード1	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード2	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード3	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード4	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード5	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード6	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード7	コード	4	各都道府県警察で定義
	関連警察署コード8	コード	4	各都道府県警察で定義
規制種別情報				
	共通規制種別コード	コード	6	【共通コード】共通規制種別コード参照
	点・線・面コード	コード	2	【共通コード】点・線・面コード参照
	県別規制種別名称	文字	100	
年月日管理				
	規制決定年月日	日付	10	YYYY/MM/DD
規制番号管理				
	都道府県別ユニークキー	数値	12	都道府県別ユニークキー
	規制番号	数値	8	
	番号	数値	8	
規制情報 場所				
	規制場所の経度緯度	座標	無制限	世界測地系(WGS84) 可変長で度の小数値 経度、緯度、各々小数点を含んで最大で16バイト(16文字) "経度(X1) 緯度(Y1)" "経度(X2) 緯度(Y2)" "経度(Xn) 緯度(Yn)" 例: "135.22490 35.31567" "135.22411 35.31572" "135.24131 35.72572"
	規制場所始点	文字	200	
規制情報 路線名				
	1-路線1	文字	60	
	1-路線2	文字	60	
	1-路線3	文字	60	
	1-路線4	文字	60	
規制情報 方向				
規制情報 対象・除外 時間				
規制情報 規制種別項目				
	更新理由	文字	200	
	備考	文字	600	

図 4.17 交通規制情報（信号機）フォーマット

3.2. 統合的な配信についての提案

交通規制情報については、本研究開発と同じくSIP自動運転において、生成する情報の精度向上を目的とした調査研究が進められている。既にオープン化されている交通規制情報については、都道府県警察が管理する全ての交通規制情報の種別を網羅したデータフォーマットを基に、自動運転システムで交通規制情報を活用するために必要な水準を満たすものとして策定したものであり、自動運転への活用という本研究開発と同じ目的を持った情報であることから、信号情報提供に必要な情報と同じ項目（場所を識別するための番号と場所を特定するための位置情報）については、交通規制情報の都道府県別ユニークキーと規制情報に内容を合わせることにする。

3.3. 課題

オープンデータとして提供されている交通規制情報は、各都道府県警察に一任されている。したがって、規制場所のデータについてもDRMのノードと紐づけを行っている県が多いとのことであ

るが、必ずしもルールとして統一されたものではない。交通規制情報の取組みと連携し、今後全国で統一していくかどうか、また運用方法をどのようにするか等、継続検討が必要であるとする。

4.1. 現状調査

4.1.1. 東京臨海部実証システム構成

東京臨海部実証実験においては、実験の運営主体が実験用の模擬車載機を貸与し、その車載機を実験参加者の車両に搭載（接続）することで実現している。システム構成を下図に示す。

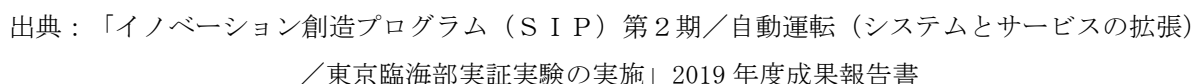
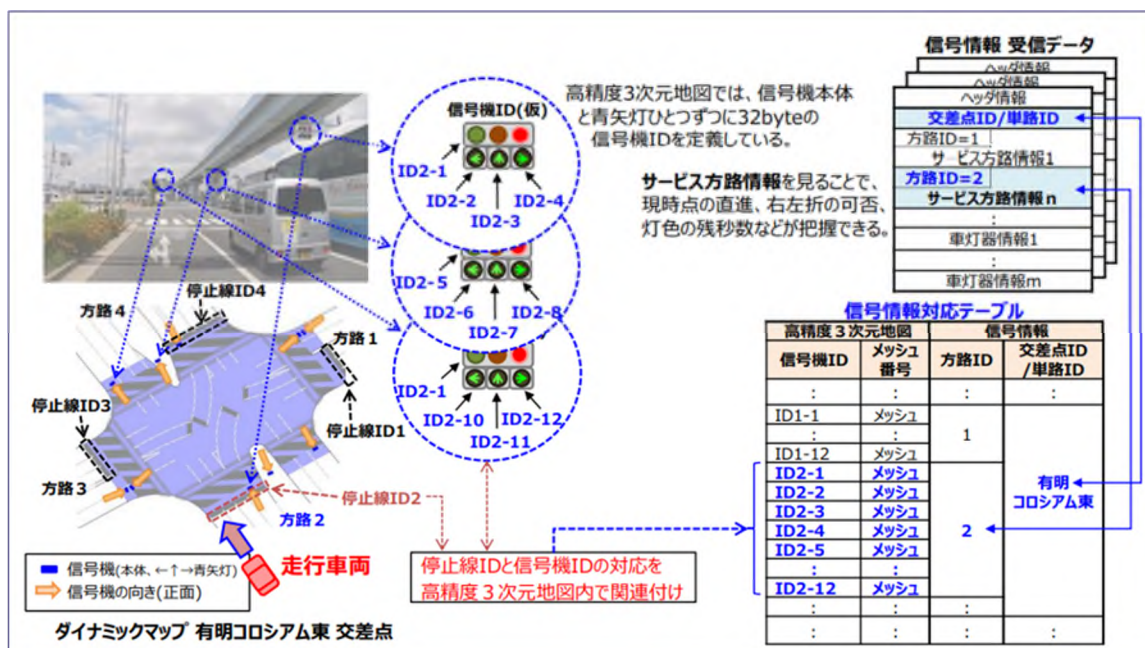


図 4.18 東京臨海部実証システム構成

4.1.2. 高精度3次元地図と信号情報の対応付け

高精度 3 次元地図上では、信号機が地物としてデータ化されており、信号機本体と灯器ごとに管理（ID 付与）されている。そのため、信号情報の交差点 ID とサービス方路情報を紐づけたルーターの信号情報対応テーブルを用意することで、配信する信号情報と高精度 3 次元地図上の信号灯器との紐づけを実現している。東京臨海部実証実験では、信号情報対応テーブルを実験の運営主体が貸与する模擬車載機に実装することで、高精度 3 次元地図を活用した信号情報の提供を実現している。



出典：「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）
／東京臨海部実証実験の実施」2019年度成果報告書
図 4.19 高精度3次元地図と信号情報の対応付け方法

4.2. 連携方式の提案

4.2.1. 信号情報と高精度三次元地図の紐づけに必要な情報

東京臨海部実証実験における実現方式の調査結果から、信号情報と高精度三次元地図の紐づけに必要な情報は以下と考える。

- ・ 交差点情報 `` 交差点 ID と交差点の位置情報
地図上でどの交差点を指すのか特定するための情報であり、位置情報を想定
- ・ 信号灯器情報 `` 灯器 ID と位置情報
- ・ 走行ルート `` 流入と流出の組合せ
地図上の情報としては方路情報を想定する
- ・ 参照灯器情報 `` 走行ルート毎の参照灯器
- ・ 停止線情報 `` 位置情報
地図上の灯器と信号情報の方路を紐づけるために必要な情報

4.2.2. 連携方式

東京臨海部実証実験では、高精度三次元地図と信号情報を紐づけるための対応テーブルを設けることで、高精度三次元地図上の灯器と信号情報の紐づけを実現している。同様にV2Nを活用した信号情報提供の実現においても、信号情報と高精度三次元地図とを対応付ける情報を持つことで、高精度三次元地図を活用した信号情報提供の実現が可能であると考ええる。

4.2.3. 機能配置

高精度三次元地図と信号情報を紐づけるために必要となる情報について、V2Nを活用した信号情報提供における機能配置案を提案する。東京臨海部実証実験では、模擬車載機で信号情報対応テーブルを管理していたが、社会実装を見据えた場合、各事業者が管理する情報ではなく、ダイナミックマップと同様に協調領域で管理すべき情報と考える。

表 4.13 機能配置案

都道府県警（含警察庁）	信号情報提供における協調領域 （信号情報センター・地図ベンダー等を想定）	競争領域 （自動車メーカー、自動運転事業者等）
以下の情報を提供 ・ 情報を特定するための交差点 ID と地図上の場所を特定するための位置情報 ・ 方路 ID と地図上の場所を特定するための情報	・ 信号情報（交差点 ID、方路）とダイナミックマップ（停止線（方路）、灯器）とを紐づけるための信号情報対応テーブルの管理 ・ ダイナミックマップと信号情報の紐づけ	車両へ信号情報を配信

4.2.4. 交差点管理情報

高精度三次元地図と信号情報との紐づけに必要な情報のうち、各都道府県警察で定義する情報は以下であると考ええる。

交差点情報： 交差点 I D と当該交差点を地図上で特定するための情報

方路情報： 方路 I D と当該方路を地図上で特定するための情報

従って、V 2 N を活用した信号情報提供においては、交差点情報と方路情報を交差点管理情報として定義し、各都道府県警察でデータを作成し管理を行うこととする。交差点 ID と当該交差点を地図上で特定するための情報(位置情報)については、交通規制情報と合わせることにし、交差点 I D については交通規制情報の都道府県別ユニークキーに、中心経度緯度については規制場所に合わせることにする。

表 4.14 交差点管理情報

構成 D F / D E	表現形式	備考
DF_提供点管理番号		
DE_都道府県コード	bin(8)	
DE_提供点種別コード	bin(1)	
DE_交差点 ID / 単路 ID	bin(47)	
予備 DE_複数差路フラグ	bin(8)	最上位ビット 1 の場合、複数差路であることを示す
予備 DE_交差点名称	bin(16*32)	2 バイト表現文字で 3 2 文字とする
DF_交差点情報		
バージョン情報	bin(8)	交差点管理情報の世代 (1 ~) を表す。道路改良工事等で交差点の位置又は方路数に変更となった場合に、車両側で認識している静的情報と信号情報との不整合を防ぐための情報。
DF_中心経度緯度		
DE_経度	bin(32)	位置の経度情報。測地系は WGS84 (もしくはそれと同等のもの)。プラスは東経、マイナスは西経を示す。不定の場合は -2147483648 (0x80000000) をセットする。単位は 0.0000001 度。範囲は -180 ~ 180。
DE_緯度	bin(32)	位置の緯度情報。測地系は WGS84 (もしくはそれと同等のもの)。プラスは北緯、マイナスは南緯を示す。不定の場合は -2147483648 (0x80000000) をセットする。単位は 0.0000001 度。範囲は -90 ~ 90。
運用モード	bin(1)	0: テスト 1: 運用
DE_方路数 (I)	bin(7)	方路数 (最大 8)
DF_方路角度情報 : 1		
方路別角度情報	bin(8)	真北を 0 度とした絶対方位 (1.5 度単位 : 0 ~ 239) を表す
(DF_方路角度情報が連続)		
DF_方路角度情報 : I		

4.3. 課題

- (1) 例えば、道路構造上交差部が分離されている複数差路や、灯器連動制御を行っている交差点等、信号の制御単位と車両から見た場合の交差点が必ずしも一致しない可能性があり、そのようなケースを洗い出し、運用ルールを定義する必要がある。交差点定義情報の複数差路フラグの定義と

活用用法についても併せて検討を行っていく必要がある。

- (2) 方路別角度だけでは、方路番号が特定しづらい交差点については、例えば交差点図にて明示的に示す等、信号情報との整合性を担保するための情報が必要となる。

5. まとめ

5.1. 検証結果まとめ

2021 年度、2020 年度実施した検証結果のまとめを以下に示す。

5.1.1. 管制方式について

2021 年度、埼玉県警察本部交通管制センターで評価環境を構築し、現行仕様にて検証を行ったが、認識誤差を±300 以内とすることはできなかった。2022 年度、対策案として、日本信号株式会社は、新仕様 (0.1 秒化) に対応した交通信号制御機及び中央装置により検証環境を構築し確認を行ったところ、認識誤差を±300msec 以内となることを確認した。

また管制方式の実現性を検証するための別アプローチとして、オムロンソーシアルソリューションズ株式会社は、新仕様 (0.1 秒化) に対応した交通信号制御機の時刻精度、信号制御実行情報 2、リコール要求受付情報に関する仕様書の確認、通信インターフェイスデータによる性能確認、及びプロトタイプを用いた性能確認により、自社製の信号制御機を対象に認識誤差±300msec 以内を実現できることを確認した。

5.1.2. 集中方式について

集中方式においては、2021 年度の実験で、交通信号制御機に G P S を実装し時刻精度を向上させることで、認識誤差±300msec 以内となることを確認していたが、今年、度交通信号制御機を新仕様とすることで、更に認識誤差を少なくすることができることを確認した。

5.1.3. 制御機方式 (路側機生成)

2022 年度の検証によりオフセット追従中を含めて、認識誤差±300msec 以内を満足できることを確認した。定周期信号機の時限表切り替わり時に確定した信号予定情報が作成できない課題は、系統動作の設定を行うことでサイクルの開始からサイクル開始時刻を正確に推定できるようになり、時限表の切り替わりを正しく認識できるようになることから、信号制御機の運用を 1 交差点であっても系統動作と同様の設定に変更することで解決することを提案する。

5.1.4. 制御機方式 (制御機生成)

2021 年度の実験で、交通信号制御機に G P S を実装し時刻精度を向上させることで、認識誤差±300msec 以内となることを確認した。

5.2. 課題

5.2.1. 管制方式

5.1 項の結果の通り、交通信号制御機を版 5 とすることで信号情報の精度が向上することを確認したが、それだけでは解決できない課題も残る。交通信号制御機の改版では解決できない管制方式における課題と、V 2 N を活用した信号情報提供における対応策を以下に示す。

表 4.15 管制方式の課題

項番	項目	対策	結論
1	感応制御において、信号情報が生成できない		管制方式においては対象外であるため、運用をどうするかが課題となる。 →感応制御の交差点については、集中方式とすることを提案する。
2	リコール制御において、信号情報が生成できない	交通信号制御機の版 5 対応	リコール制御は対象外としていたが、交通信号制御機を新仕様とすることで適用範囲が広がり、回転形については、解決することを確認した。停止形については、感応制御と同様に伝送遅延による認識誤差が発生するため、運用をどうするかが課題となる。 →停止形については、自工会からの要望は満足できないため、集中方式とすることを提案する。
3	オフセット追従時に精度の高い信号情報が生成できない	交通信号制御機の版 5 対応	対象交差点のオフセット追従方式がわかる場合は、認識誤差±300msec 以内とすることが可能だが、オフセット追従方式が中央装置で考えている方式と異なる場合は、理論値で 500msec 程度の認識誤差が発生する可能性がある。 →自工会からの要望は満足できない。更なる対策を行うか否かについては、総合的に判断した上で結論づけることとする。
4	フェールセーフ（リアルタイムな全灯器の整合性監視）が実現できない。		リアルタイムな全灯器の整合性監視は実現不可。 →自工会からの要望は満足できない。フェールセーフを必須とした場合、現行の警 a の方式は満足できず、管制方式は実現不可となってしまうため、整合性監視の実現方式の提案含め引き続き検討を行うこととする。

5.2.2. 共通

各方式共通の課題を以下に示す。

表 4.16 各方式共通の課題

項番	項目	結論（案）
1	通信遅延（端末感応制御）	ΔT に加え、通信遅延を考慮する必要がある。対応策として、固定ステップを入れる方法があるが、現場の交通情報に合わせて即時に秒数を変更するという感応制御の利点と相反する運用となることもあり、導入については課題がある。
2	通信遅延（異常検知）	異常発生から車両へ通知するまでに通信遅延分の遅れが発生するため、異常の内容や発生頻度等の実態調査も行い、対応策について検討する必要がある。

5.3. 警 a 及び各方式の比較

警 a と V 2 N を活用した信号情報提供における各方式についての比較を以下に示す。

表 4.17 警 a 及び各方式の比較

項目	内容	管制方式	集中方式	制御機方式 (路側機生成)	制御機方式 (制御機生成)	警 A
信号情報 生成精度	通常動作 ^{注1}	○	○	○	○	○
	オフセット追従時	× ^{注2}	○	○	○	○
	端末感応制御	—	○	○	○	○
フェール セーフ	異常検出 (灯色との整合性)	×	○	○	○	○
運用	集中制御	○	○	—	—	○
	非集中制御	—	—	○	○	—

—： 対象外

注1) 交通管制センターで決定した信号秒数で交通信号制御機が動作する状態。

注2) 最大 500msec 程度の認識誤差が発生する可能性がある。

6. 今後の課題

- (1) オフセット追従に各社差異があり、更なる精度向上に向けた対応には、コストがかかることが明らかとなった。管制方式の利点は他の方式に比べ低コストで導入できることにあったが、管制方式は自動運転（LV4）の対応においても異常監視など面で制限があることから、改めて管制方式のユースケースを検討すべきとの意見も得た。そのため、管制方式の利点を活かした運用とすることを優先させ、機能要件の緩和を行うかどうかを結論づけた上で、オフセット追従方法の際に対する策の検討を行っていく必要がある。
- (2) 通信アプリケーション仕様の検討に際して、メッセージの変更案を提示したが今回の研究開発体制には自動車メーカーを含めた形での検証・評価は含まれておらず、全体の合意は取れていない。今後も引き続き研究開発で取り組むなどして、検討を行っていく必要がある。
- (3) 各装置の仕様書案を示したが、研究開発の中で交通管制機器の製造事業者各社の指摘に対して十分な内容とはなっていない。今後も引き続き研究開発で取り組むなどして、検討を行っていく必要がある。
- (4) V2N、V2Iに関わらず、閃光の開始時や終了時、FAST感応時や、右折感応等の即時感応制御時に、実際の灯色と車両側が認識する灯色の不一致や、 ΔT を確保できないタイミングが発生する。提供に際してどこまで解決可能かと、どこまでが車両として許容可能であるかを合わせて整理を行う必要がある。
- (5) V2Nは、多くの通信媒体を用いるが、100%の通信成功はあり得ないため、発生確率は低い、かならず存在する通信異常について、発生頻度がどの程度かの調査と、通信異常をどのように扱うか検討を行う必要がある。
- (6) V2Nを活用した信号情報提供においては、 ΔT に加えて通信遅延も考慮する必要がある。 $\Delta T + \alpha$ の通信遅延に対応するためには何秒前に信号情報を送信すべきか検討を行う必要がある。また、伝送遅延により送信される情報が車両として許容可能であるかも、同様に検討を行う必要がある。
- (7) 交差点管理情報の作成と管理方法について、整理を行う必要がある。
- (8) 警 a と解釈が異なる点や異常時を含む信号情報の取り扱いについて、ガイドライン等の検討が必要であると考ええる。
- (9) Lv4相当の自動運転を実施する場合、信号制御方式毎にV2N各方式及びV2Iの適切な棲み分けの整理が必要であると考ええる。

第5章 管制方式及び制御機方式(路側機生成)に対する検討(テーマ4)

1. 概要

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)では、一般道で自動運転(SAE レベル3相当)を実現するための基盤を構築し、社会実装を行うこととなっており、クラウド等を活用した信号情報提供の実現を目的とした研究開発を行っている。

2021年度実施した研究開発において、埼玉県交通管制センターに実装された県警モデルシステムを用い、管制方式、集中方式、及び制御機方式のフィールド評価が実施され、性能、機能、及び実用化に向けた課題が確認された。

本検証では、2021年度に確認された課題の内、管制方式、及び制御機方式を実現する上で重要な課題が解決可能か検証を行う。表5.1に検証の対象とする課題を示す。

表5.1 検証の対象とする課題

方式	項目	課 題
管制方式	認識誤差	±300msec以下の目標に対して、1秒を超える認識誤差が生じた。
制御機方式	認識誤差	時限表切り替えにより生じるオフセット追従時に、1秒を超える認識誤差が生じた。

また、2021年度の検証において、通信遅延時間に関する検証結果では、交通管制センター内通信の遅延時間が大きいことが明らかとなっている。また、車載機に信号予定情報が届くまでの遅延時間について、アプリケーション層での転送回数に応じて遅延時間が増大することが懸念される。表5.2に本検証の対象とする通信遅延の課題を整理する。

表5.2 検証の対象とする通信遅延の課題

方式	項目	課 題
交通管制センター内通信	通信遅延	2021年度実施された集中方式の遅延時間は、交通信号制御機から信号情報センターまで遅延時間が平均2.3秒、最大4.7秒であった一方、制御機方式の信号情報路側機から信号情報センターを経由し、模擬車載機までの遅延時間が最大でも500msec程度であり、両者に乖離が見られる。 両者の違いは交通管制センター内で信号予定情報が通過する機器の違いであり、各機器の通信遅延時間の特性を理解することが必要である。
センター間通信	通信遅延	車載機に信号予定情報が配信されるまで、信号情報集約システム、信号情報センター、信号情報配信センタ(仮称)で3回アプリケーション層での転送が行われ、通信遅延の増大が懸念される。そのため、アプリケーション層での転送にかかる遅延時間を計測することが必要である。

2. 管制方式の検証

2.1. 概要

管制方式の課題は、通信インターフェイスデータの時刻、及び階梯秒数等の時間に関する単位が1秒であるため、最大1秒の誤差が生じることに起因する。本研究テーマと並行して、信号制御機にGPSを付加することで時刻精度を向上し、通信インターフェイスデータについても0.1秒単位とする交通信号制御機（以下信号制御機と略す）のデータ高度化開発が信号制御機メーカー各社で行われている。このデータ高度化された信号制御機を用いることで管制方式の課題解決が可能かを検証する。

図5.1に管制方式の検証システム概要図を示す。データ高度化された信号制御機を中央装置から制御する環境を構築する。この環境では、中央装置と信号制御機間の通信インターフェイスデータは、実際に運用されるものと同等のデータとなる。この通信インターフェイスデータをLANアナライザにより収集し、ビデオカメラによりデータ化した真値相当の信号情報と比較検証を行う。この比較検証により、信号制御機から送られる通信インターフェイスデータが信号情報配信装置へのインプットデータとして十分な精度があり、信号情報提供のための編集が可能かどうかを検証する。

さらに、信号情報配信装置をプロトタイプとして作成し、オフラインで通信インターフェイスデータから編集した信号予定情報と真値相当の信号情報の比較検証を行う。信号情報配信装置仕様案は表5.3の通り仕様の変更を行う。信号予定情報編集における課題は、信号制御機から受信する信号情報は、予定サイクル長に限られ、各方路の青時間は、中央装置から送信される信号制御指令に基づき編集した推定値となるため、現段階ではどの程度の信号予定情報の精度を実現できるか分からないことである。そのため、プロトタイプを作成し、編集された信号予定情報の精度を検証する。

表 5.3 2021 年度信号情報配信装置仕様案における主な変更点

接続先	2020 年度仕様案	2021 年度仕様案	変更理由
信号制御ブロック接続	サイクル長上位指令収集		方式変更
	信号制御上位指令収集		方式変更
端末制御ブロック接続		信号制御指令 2 収集	方式変更
	信号制御実行情報収集	信号制御実行情報 2 収集	0.1 秒化対応
	信号制御動作状態情報収集	信号制御動作状態情報 2 収集	0.1 秒化対応
		リコール要求受付情報収集	0.1 秒化対応

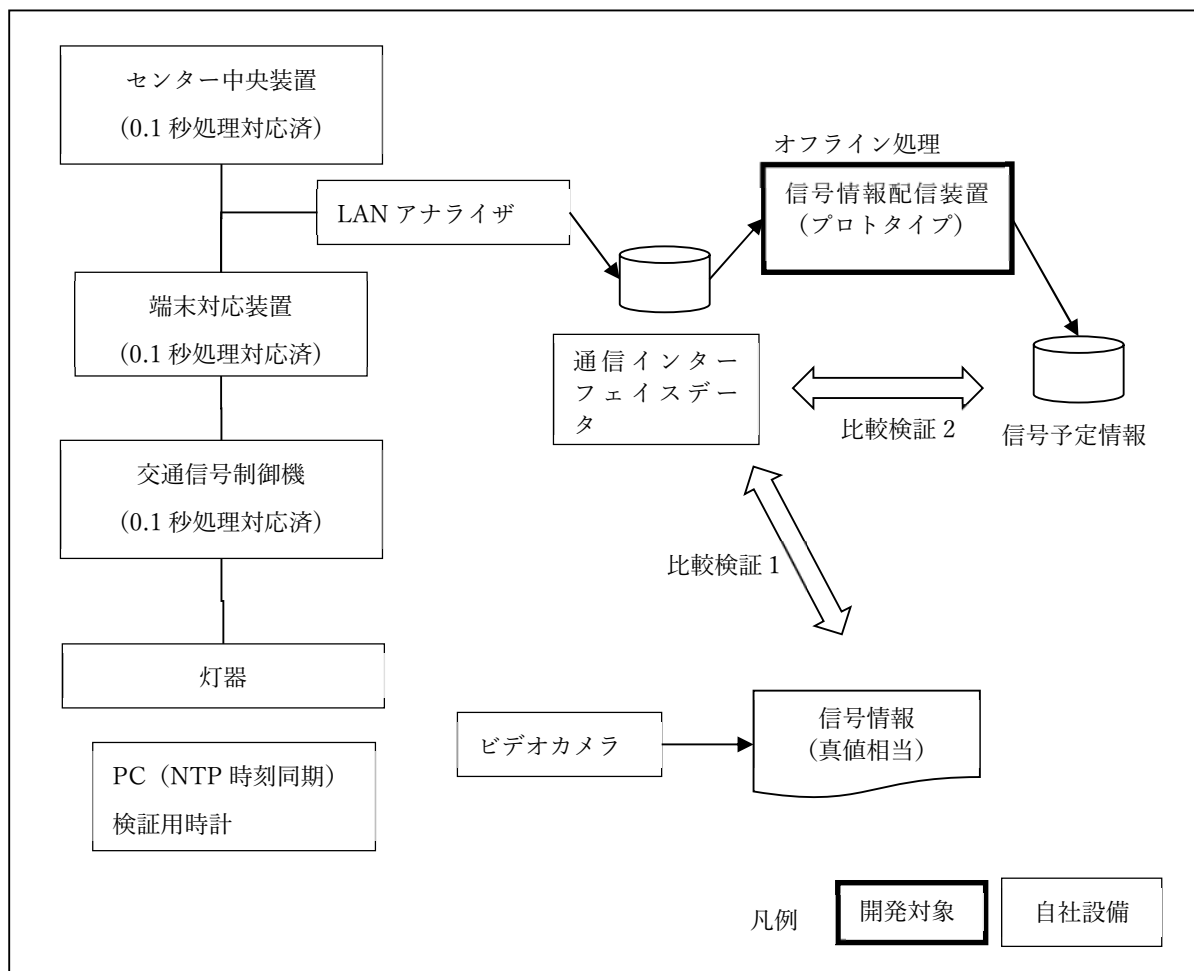


図 5.1 管制方式の検証システム概要図

2.2. 検証内容

検証システムを用いた管制方式の検証項目を表 5.4 に示す。データ高度化された信号制御機を用いた検証の他、多種多様な信号制御機を対象とした検証を行うため、現在運用されている交通管制システムから収集したデータを用いた検証を行う。

表 5.4 管制方式の検証内容

検証項目	検証内容
信号制御機時刻精度検証	データ高度化された信号制御機の時計精度が信号制御機の仕様に合致することを検証する。時刻誤差は、信号予定情報の誤差に直接影響するため本検証を実施する。 G P S による時刻同期の時刻精度、G P S による時刻同期ができない場合の時刻精度検証を行う。
信号制御実行情報 2 精度検証	データ高度化された信号制御機の信号制御実行情報 2 のサイクル開始時刻、ステップ秒数等の精度が信号制御機の仕様に合致することを検証する。信号制御実行情報 2 の誤差は、信号予定情報の誤差に直接影響するため本検証を実施する。
リコール要求受付情報精度検証	データ高度化された信号制御機のリコール要求受付情報の精度を検証する。リコール要求受付情報の精度は、リコール動作交差点の信号情報提供の実現性に影響するため、本検証を実施する。 リコール要求受付情報の歩進予定時刻を元に、受付ステップを正しく判定できることの検証、及びリコール要求受付情報の遅延時間を調査する。
ステップ予測情報検証	データ高度化された信号制御機を対象に、信号予定情報作成の元情報となるステップ予測実行情報を信号制御実行情報 2、信号制御指令から信号情報配信装置（プロトタイプ）により生成し、サイクル開始時刻、及びステップ秒数の誤差を検証する。
信号情報検証 (リコール動作時)	リコール動作を行う信号制御機の信号予定情報が提供できることを机上で検証する。ΔT^{注1}を確保できるタイミングで信号予定情報が作成できること、リコール要求受付情報の受信タイミングに応じて作成する信号予定情報を具体化し、実現性を検証する。
異常時動作の検証	信号情報配信装置で、異常を検知し、信号予定情報を無効とすることが可能かどうかを確認するため、異常を発生させ、異常時の通信インターフェイスデータを確認する。
運用状態の通信インターフェイス検証	現在運用されているシステムの多種多様な信号制御機を対象として信号制御機・中央装置間の通信インターフェイスデータ、及び管制システムに蓄積されている信号制御実行情報を収集し、検証を行う。

注⁽¹⁾： ΔT は、信号が青から黄に切り替わる際、車両が急ブレーキを回避し安全に停止する為に必要な予備減速を行う時間

2.3. 検証結果

2.3.1. 刻精度検証結果

時刻誤差計測時の構成を図 5.2 に示す。NTP時刻同期したノートPCを準備し、画面には現在時刻を 10msec 単位で表示する。信号制御機の表示部には現在時刻を表示し、ビデオカメラにより撮影を行う。現在時刻の秒の変化タイミングでノートPCの現在時刻と比較を行い、時刻精度を検証する。

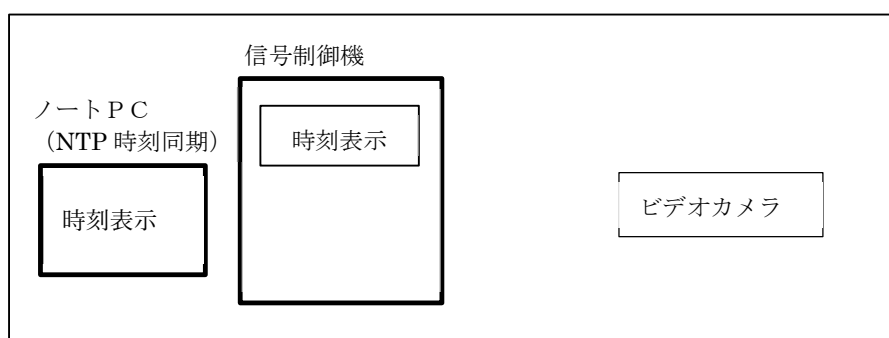


図 5.2 時刻誤差計測時の構成

計測した時刻誤差を表 5.3 のGPSによる時刻修正時の信号制御機時刻差に示す。また時刻誤差分布を図 5.3 に示す。仕様の誤差範囲に入っていることを確認した。時刻修正2メッセージによる時刻修正では高精度の時刻修正は行えないため、GPS時刻同期異常となった場合は、信号情報提供を行わないようにするのが妥当と考える。

表 5.3 時刻精度検証結果

時刻修正条件	信号制御機時刻 誤差	通信インターフェイス確認	
		時刻修正 2	信号動作状態情報 2
GPSによる時刻修正 (誤差 100msec 未満であること)	0~50msec (平均 16msec) (注 1)	○ 時刻修正実施 (注 2)	○ GPS時刻同期異常なし 時刻修正実施
GPS衛星捕捉不可後から時刻修正2による修正前まで	70ms (参考：計測数は1)		○ GPS時刻同期異常なし
時刻修正2メッセージによる時刻修正	200~400ms (平均 約 250ms) (注 3)	○ 時刻修正実施	○ GPS時刻同期異常あり 時刻修正実施

注⁽¹⁾ 13 分間、30 回の比較結果

注⁽²⁾ 時刻修正は行っていないが、中央装置が異常を検出しないようにするため時刻修正実施とする。

注⁽³⁾ 検証期間は5日。うちGPS接続は3日間。時刻修正のソース変更時の時刻誤差を示す。

2.3.2. 信号制御実行情報2精度検証

ビデオカメラにより、灯色、及び信号制御機の表示部（ステップ番号表示）を撮影し、真値相当の計測を行う。灯器が準備できる場合は、灯色変化時刻を真値として計測する。中央装置から時刻制御で定期的に周期、及びオフセットが変更となるよう信号制御を行ない、LANアナライザで収集した通信インターフェイスデータを元に、信号制御実行情報2のデコードを行い、各項目の誤差を計測する。

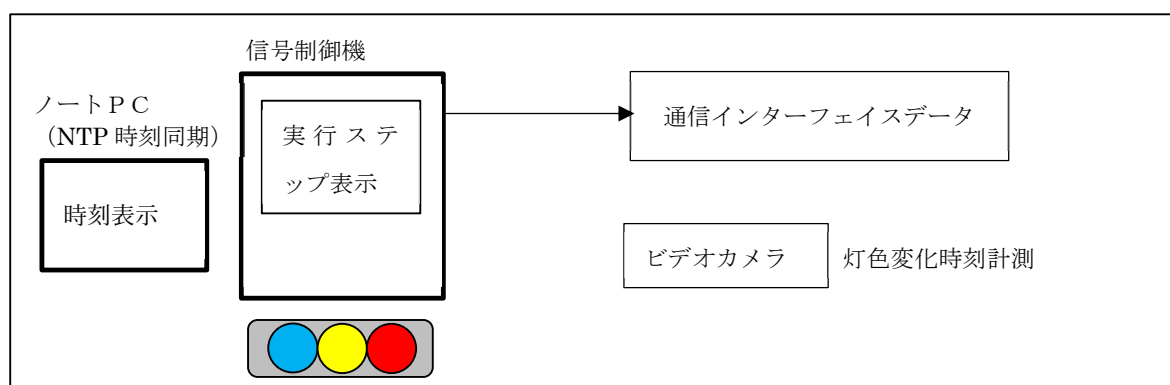


図 5.3 信号制御実行情報2 誤差計測時の構成

表 5.6 に信号制御実行情報2精度検証結果を示す。サイクル開始時刻の誤差は、信号制御機の時計誤差とステップ変化誤差の影響を受け、信号制御機の仕様として 150msec 以内であることが求められる。今回の結果はこの仕様を満たしており問題ない。ステップ秒数の最大誤差も信号制御機の仕様である 50msec 以内を満たしている。

表 5.6 信号制御実行情報2 精度検証結果

検証サイクル数	サイクル開始時刻 誤差(msec)		ステップ秒数 誤差(msec)	
	平均	誤差範囲	平均	誤差範囲
25	63.4	0～110	0.5	-50～33

注⁽¹⁾ 試験条件：ステップ数=13、サイクル長=129～146.3 秒

2.3.3. リコール要求受付情報精度検証

「2.3.2 信号制御実行情報2精度検証」と同様にビデオカメラにより、信号制御機の表示部（ステップ番号表示、押ボタン入力モニタランプ）を撮影し、真値相当の計測を行う。LANアナライザで通信インターフェイスデータを収集し、リコール要求受付情報、信号制御実行情報2のデコードを行い、各項目の差異を確認する。

リコール要求受付情報は、信号情報提供においては、歩進予定時刻を用いて受付ステップを推定できることが重要である。受付ステップの判定機能をプロトタイプに組み込み、正しく判定できるか検証を実施した。リコール受付ステップ検証までのデータの流れを図 5.4 に示す。

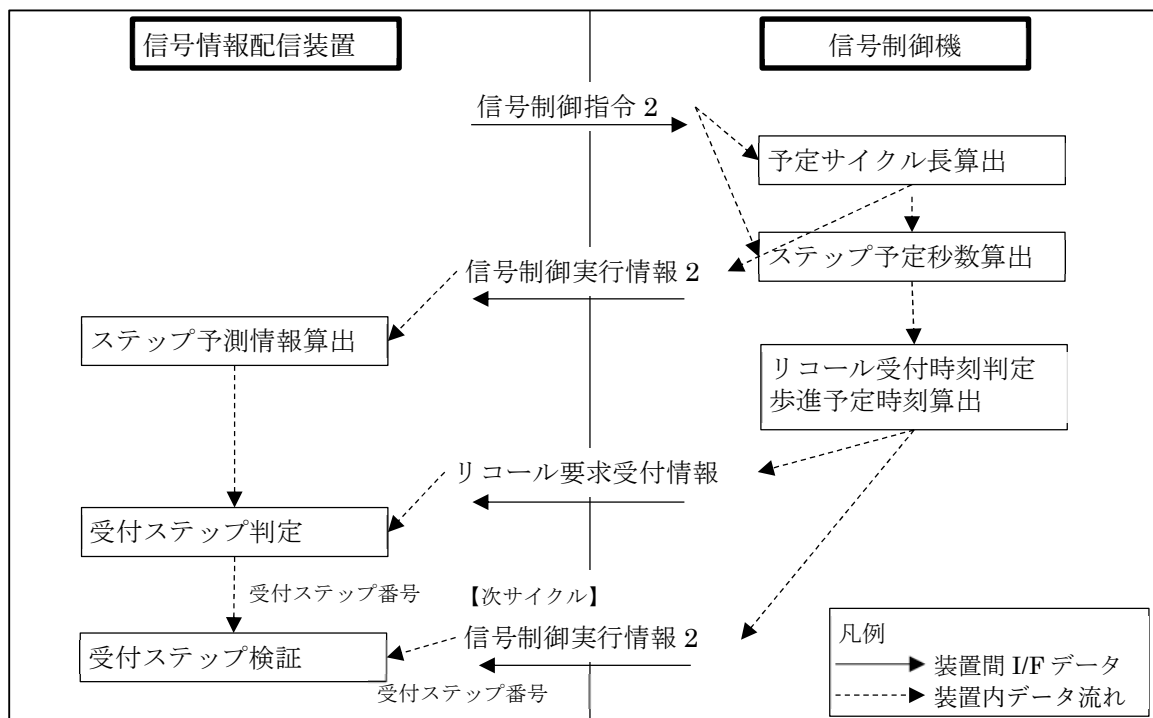


図 5.4 信号情報配信装置におけるリコール受付ステップ検証までのデータの流れ

表 5.7 にリコール要求受付情報精度検証結果を示す。検証にあたっては、押ボタン入力から歩進までのタイミングを変えながら、特に歩進までの時間が少ない場合を重視して実施した。

表 5.7 リコール要求受付情報精度検証結果

条件	検証結果
リコール要求なし	リコール要求受付情報受信なし：OK
当該サイクルでのリコール現示表示	リコール要求受付情報受信：OK 受付時刻確認：OK 歩進予定時刻確認：OK 受付ステップ判定結果：100%（18回全て成功）
次サイクルでのリコール現示表示	リコール要求受付情報受信：OK 受付時刻確認：OK 歩進予定時刻確認：OK 受付ステップ判定結果：100%（13回全て成功）

リコール要求受付情報が端末対応装置に送信されるまでの時間は、信号制御機のリコール受付時刻と端末対応装置（正確にはLANアナライザの受信タイムスタンプ）のリコール要求受付情報の受信時刻から遅延時間を算出する。

表 5.8 にリコール要求受付情報の遅延時間算出結果を示す。リコール受付後、信号制御機は直ちにリコール要求受付情報を送信している。そのため、リコール要求により確定した信号予定情報は、大きな遅延を生じることなく、車載機に配信できると考える。

表 5.8 リコール要求受付情報の遅延時間算出結果

項目	値
計測数	10
平均遅延(msec)	155
最小遅延(msec)	123
最大遅延(msec)	218
標準偏差(msec)	36

2.3.4. ステップ予測情報検証

「図 5.1 管制方式の検証システム概要図」で中央装置から時刻制御で定期的に周期、及びオフセットが変更となるよう信号制御を行ない、収集した通信インターフェイスデータを元に、信号情報配信装置（プロトタイプ）によりステップ予測情報を生成する。

本検証では、ビデオ撮影は行わず、通信インターフェイスデータとステップ予測情報の比較で検証を行う。検証交差点概要を表 5.9 に示す。

表 5.9 検証交差点概要

交差点	ステップ数	スプリット数	サイクル長(秒)	評価時間帯	備考
交差点 A	13	5	120、130、140	24 時間	G P S 接続は 9:18~18:43
交差点 B	14	6	85、115、140	24 時間	23:00~05:00 は閃光制御 G P S 接続なし
交差点 C	12	5	100、140	24 時間	G P S 接続なし

表 5.10 にオフセット追従なし時のステップ予測情報精度検証結果を示す。オフセット追従がない場合、誤差は生じないことを確認した。これは信号制御指令 2 で指令されるサイクル長、及びステップ秒数で動作するためであり、仕様通りの動作となっている。

表 5.10 オフセット追従なし時のステップ予測情報精度検証結果

交差点	検証サイクル数	サイクル開始時刻誤差(msec)		ステップ秒数誤差(msec)	
		平均	最大	平均	最大
交差点 A	469	0	0	0	0
交差点 B	352	0	0	0	0
交差点 C	471	0	0	0	0

表 5.11 にオフセット追従時のステップ予測情報精度検証結果を示す。いずれの交差点も、ステップ秒数は 100%正しく予測できている。サイクル開始時刻については、時刻修正の影響を受けるため ±100msec の誤差は生じる。交差点 C は、サイクル開始時刻誤差が大きくなっているが、試験環境では G P S を接続していないためであり問題はない。どの交差点でもステップ秒数は誤差無く予測で

きている。

表 5.11 オフセット追従時のステップ予測情報精度検証結果

交差点	検証サイクル数	サイクル開始時刻 誤差(msec)		ステップ秒数 誤差(msec)	
		平均	最大	平均	最大
交差点 A	83	8	100	0	0
交差点 B	206	-9	-100	0	0
交差点 C	471	-9	-600	0	0

2.3.5. 信号情報検証(リコール動作)

リコール動作を行う信号制御機の信号予定情報が提供できることを机上で検証する。リコール制御を実施している交差点では、リコール要求受付情報の受信有無、受信タイミングに応じて、5つの状態がある。表 5.12 にリコール動作交差点の信号予定情報作成に関する5つ状態と動作を示す。このうち、②の状態を受付ステップ終了直前にリコールが受け付けられるケースが、 ΔT 確保にむけて最も厳しい条件となる。図 5.5 にリコール制御時の ΔT 確保に向けたタイミング設計案を示す。

現時点では実装前のため、主に端末対応装置の仕様を考慮した通信時間、及び各インフラメーカーが実現可能と思われる想定値で設計した。車載機までの通信時間は、2021 年度報告書と後述する「センター間通信の通信遅延」で得られた結果を元にした設計案として示す。

表 5.12 リコール制御実施交差点の信号予定情報作成に関する5つ状態と動作

N o	状態	動作
①	リコール未受付状態でのサイクル開始時	最小残秒数はリコール現示が出力される場合の値、最大残秒数は不明とした信号予定情報を提供する。
②	受付ステップでリコール受付時	ステップ予定秒数に基づき、リコール現示が出力される場合の信号予定情報を提供する。
③	受付ステップ終了時にリコール受付なし	最小残秒数はこの時点でのリコール現示が出力されない場合の値を算出し、最大残秒数は不明信号予定情報を提供する。
④	受付ステップ後のステップでリコール受付時	この時点では、何もしない。
⑤	リコール受付状態でのサイクル開始時	新しいステップ予定秒数に基づき、リコール現示が出力される場合の信号予定情報を提供する。

現示階段表

灯色 \ ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1				△	△	△	△	△	△	△
1 P										
2									△	△
2 P										

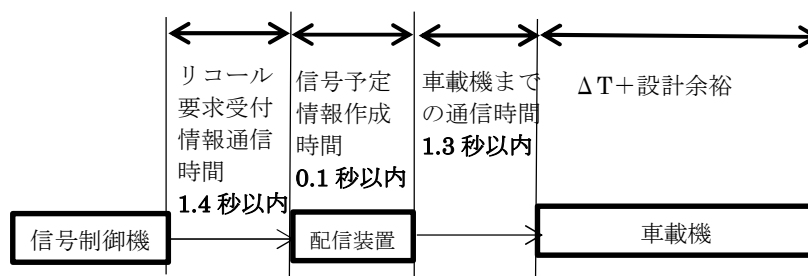


図 5.5 リコール制御時の ΔT 確保に向けたタイミング設計案

2.3.6. 異常時動作の検証

信号情報配信装置で、異常を検知し、信号予定情報を異常とすることが可能かどうかを確認するため、異常を発生させ、異常時の通信インターフェイスデータを確認した。表 5.13 に異常の検知方法、及び異常の発生方法を示す。

表 5.13 異常の検知方法、及び発生方法

検証項目	信号動作状態情報 2 による検知方法	異常による信号情報 への影響	異常時の処理
通信異常時	未受信により通信異常を検知	次サイクルから影響	次のサイクル開始時、信号予定情報を無効とする。
G P S 時刻同期異常	動作状況 3 情報の G P S 時刻同期異常で検知	一定時間経過後から信号情報が精度低下	次のサイクル開始時、信号予定情報を無効とする。
単独動作	動作状況 2 情報の遠隔動作中オフで検知	次サイクルから影響	次のサイクル開始時、信号予定情報を無効とする。
保安動作	動作状況 1 情報の時計異常、MPU 異常で検知	直ちに信号情報の精度に影響	直ちに、信号予定情報を無効とする。
手動動作	実行階段情報の端末操作中で検知	直ちに信号情報の精度に影響	直ちに、信号予定情報を無効とする。
手動閃光	実行階段情報の端末操作中でかつ現示状態から検知	直ちに信号情報の精度に影響	直ちに、信号予定情報を無効とする。

2.3.7. 運用状態の通信インターフェイス調査

2箇所の都道府県交通管制センターの協力の下、交通管制システムにおける運用状態の通信インターフェイスについて調査を実施した。表 5.14 に調査用データの概要を示す。

表 5.14 運用状態の通信インターフェイス調査用データの概要

No	交通管制センター名	交差点数	期間	回線	収集データ
1	A 県 交通 管制 センター	全交差点	1 日分		中央装置に蓄積された信号制御実行情報
2		98	約 3 時間 30 分 9:55～13:22	広域イーサネット	端末対応装置・信号制御機間の通信データ（UDデータ）
3		20	約 1 時間 15 分 14:54～16:01	アナログ	端末制御ブロック・端末対応装置間の通信データ
4	B 県 交通 管制 センター	全交差点	1 日分		中央装置に蓄積された信号制御実行情報
5		16	約 2 時間 10:57～13:00	アナログ	端末対応装置・信号制御機間の通信データ（UDデータ）

(1) 信号制御機時刻精度調査

サイクル開始時刻による信号制御機の時刻誤差の調査結果を表 5.15 に示す。A 県交通管制センターではデジタル回線、アナログ回線とも 2 秒近い時刻ずれが生じている（信号制御機の時刻が遅れている）。この誤差は回線速度に依存するものではなく、時刻同期の方式、及びシステム構成に起因するものと推測する。

表 5.15 サイクル開始時刻による信号制御機の時刻誤差

交通管制センター名	調査対象	平均誤差（秒）	最大誤差（秒）
A 県 交通 管制 センター	広域イーサネット回線 (100Mbps) 5 交差点	1.94	2.33
	アナログ回線 (9600bps) 5 交差点	1.76	2.17
B 県 交通 管制 センター	アナログ回線 (9600bps) 5 交差点	-0.44	-1.07

交通管制センターに蓄積されている信号制御実行情報の青時間、黄時間、赤時間等の精度確認結果を表 5.16 に示す。信号制御機の制御単位が 0.1 秒であることに對し、信号制御実行情報の記録単

位は1秒であるため誤差が想定されたが、調査した交差点、及びデータ数が少ないものの、信号制御実行情報の誤差は小さいものであった。このことから、現行の信号制御機では、感應制御が行われない場合はオフセット追従中でも1秒を単位として制御が行われていると推測される。

表 5.16 青時間、黄時間、赤時間等の精度確認結果

交通管制センター名	調査対象	確認回数	誤差
A 県交通管制センター	広域イーサネット回線(100Mbps) 5 交差点	18	−160msec〜+100msec
	アナログ回線(9600bps) 5 交差点	22	−70msec〜+50msec
B 県交通管制センター	アナログ回線(9600bps) 5 交差点	49	−40msec〜+40msec

(2) 信号制御実行情報のデータ整合性確認

信号予定情報の生成には、信号制御実行情報を用いるため、信号制御実行情報の正確性が重要である。ここではデータ整合性確認として2つの比較を行う。第1の比較は、ステップ秒数の合計により算出されるサイクル長1と次サイクルのサイクル開始時刻との差により算出されるサイクル長2の比較であり、第2の比較はと予定サイクル長と次サイクルのサイクル長1との比較である。

サイクル開始時刻	St1	St2	St3	St4	St5	St6	St7	St8	サイクル長 1	予定サイクル長
13:00:00	32	6	3	3	20	10	3	3	80	81
13:01:19	33	6	3	3	20	10	3	3	81	80
13:02:40	32	6	3	3	20	10	3	3	80	80

サイクル開始時刻の差から、
サイクル長 2 を算出

比較 1

比較 2

図 5.6 信号制御実行情報におけるデータ整合性確認

サイクル長1、サイクル長2の比較結果を表5.17に示す。一部の信号制御機では、差異が全くなかったが、全体的には1時間に1回程度の頻度で不整合が生じている。これは、信号制御機の時刻修正に起因するものと推測する。信号情報配信装置は、信号制御実行情報のサイクル開始時刻とサイクル長1を用いて、次サイクルのサイクル開始時刻を予測するが、この不整合は信号予定情報の誤差に影響を与えると考える。データ高度化信号制御機の信号制御実行情報では、時刻及びステップ秒を0.1秒単位で格納されるため、整合性は向上することが期待される。ただし、0.1秒の誤差は生じる可能性はある。

B県交通管制センターでは、サイクル長1とサイクル長2の差異が60秒を越えるケースが2.6%と大きい。これは、1サイクル分の信号制御実行情報が収集できていないことを示すもので、この場合、信号情報提供ができない。アナログ回線での発生率が高い可能性があり、信号情報提供を行う場

合、デジタル回線、もしくは広域イーサネット回線に限定することが必要と考える。

予定サイクル長とサイクル長 1 の比較結果を表 5.18 に示す。両者は完全に一致することは、予定サイクル長を用いて信号情報を作成することでサイクル長に関する誤差は生じないことを示す。

表 5.17 サイクル長 1、サイクル長 2 の比較結果

調査交通管制センター名	調査対象データ No	サイクル長 1 とサイクル長 2 の差異 (秒)	比率 (%)
A 県交通管制センター	1	0	96.6%
		1	3.3%
		2	0.1%
B 県交通管制センター	4	0	95.8%
		1	1.5%
		60 秒を越える差異	2.6%

表 5.18 予定サイクル長、サイクル長 1 の比較結果

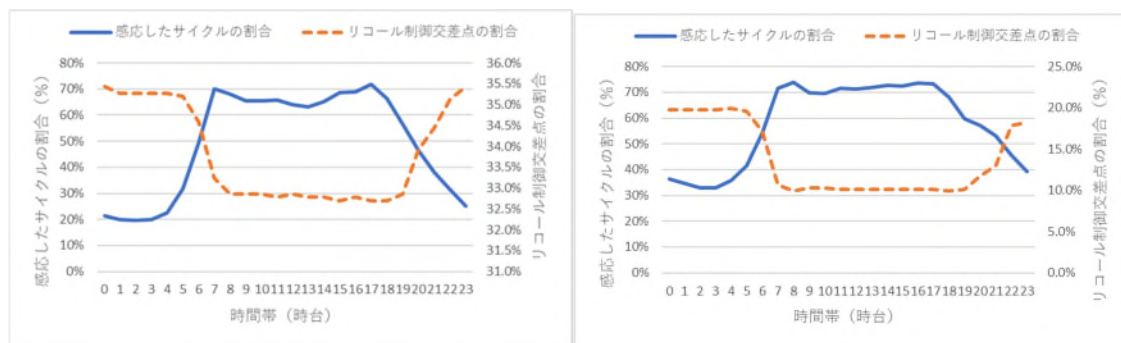
調査交通管制センター名	調査対象データ No	データ数	予定サイクル長と次サイクルのサイクル長 1 との差異 (秒)	比率 (%)
A 県交通管制センター	2 及び 3	9,571	0	100%
B 県交通管制センター	5	899	0	100%

(3) リコール動作交差点の割合、及び感応状況確認

データ 1 及びデータ 4 の 1 日分の信号制御実行情報を用いて、リコール動作交差点の割合、及び感応状況の調査を行った。図 5.7 に全交差点に対するリコール動作交差点の割合と、リコール動作交差点において感応したサイクルの割合を示す。

検証結果は特定県の結果ではあるが、リコール動作交差点は多いことが分かる。押しボタン交差点の場合、通常の信号制御機に比べて安価な押ボタン信号制御機が整備されているが、データ高度化対応の GPS が付加された信号制御機に更新する必要があるが、整備コストの増加が懸念される。

リコール動作交差点において、昼間は平均で 7 割近くが歩行者又は車両を感応し、リコール現示が表示されている。



A 県 の 状 況

B 県 の 状 況

図 5.7 リコール動作交差点の割合及び感応状況

(4) 運用中信号制御機でのステップ予測情報作成検証

運用中の管制システムから収集した通信インターフェイスデータを用いて、プロトタイプによりステップ予測情報を作成する。「2.3.4. ステップ予測情報検証」ではデータ高度化(0.1秒化)された通信インターフェイスをインプットとし、プロトタイプでステップ予測情報を作成するが、ここでは従来の1秒単位通信インターフェイスを用いる点が相違点ある。ステップ予測情報の作成方法は、ステップ秒数を小数点第1位で四捨五入等の処理を行う以外、プロトタイプと同様である。より多くの信号制御機で検証を行うことでステップ予測情報作成方法の確からしさが向上する。

表 5.19 にステップ予測情報精度評価結果を示す。一部の交差点を除いてオフセット追従なし、オフセット追従ありともステップ秒数の誤差は生じていない。誤差が生じた交差点は、分周期制御で動作している1交差点、及びオフセット追従量のスプリットへの配分方法が異なる他社製の2交差点であった。信号制御機メーカーのオフセット追従量のスプリット配分方法の公開が行われれば、ステップ予測情報は誤差なく作成できると考える。

サイクル開始時刻の誤差は、信号制御機の時刻修正が±1秒、もしくは±2秒で実施されることから、回避できないものである。この誤差は、データ高度化(0.1秒化)が行われれば、0.1秒まで改善されるものとする。

表 5.19 ステップ予測情報精度検証結果

調査用データ No	交差点数	オフセット追従	検証サイクル数	サイクル開始時刻誤差(msec)		ステップ秒数誤差(msec)	
				平均	範囲	平均	最大
2	97	なし	6895	13	-1000~1000	0	0
		あり	2335	233	-2000~2000	0	0
3	9	なし	221	0	0	0	0
		あり	82	4.9	0~1000	0	0
5	13	なし	569	25	-1000~2000	12	-2000~0
		あり	243	30	-1000~2000	33	-1000~1000

注⁽¹⁾ 対象交差点は感応制御、リコール制御等の特殊交差点を除いている。

3. 制御機方式(路側機生成)の検証

3.1. 概要

制御機方式の課題は、非集中方式の信号制御機において、0.1秒単位でオフセット追従が行われていることが要因と推測する。対策として信号情報路側機において、0.1秒単位でオフセット追従時の信号情報を学習し、次回以降、学習した信号情報を信号予定情報として提供する方法とし、この方策を検証する。

図 5.8 に制御機方式の検証システム概要図を示す。2021 年度の県警モデルシステムと同様の環境を構築する。相違点は、信号予定情報を動作ログとして蓄積し、模擬信号情報センターへの送信を行わないことである。本年度の検証は、信号情報の精度向上が主目的であるため、この構成の違いによる検証への影響はない。

交通信号制御機は、2021 年度の検証した交差点と同等の信号定数の設定を行い、2021 年度の課題となったオフセット追従時の信号情報の精度低下を再現させる。その後、対策を行った信号情報路側機を接続し、信号情報の精度を検証する。

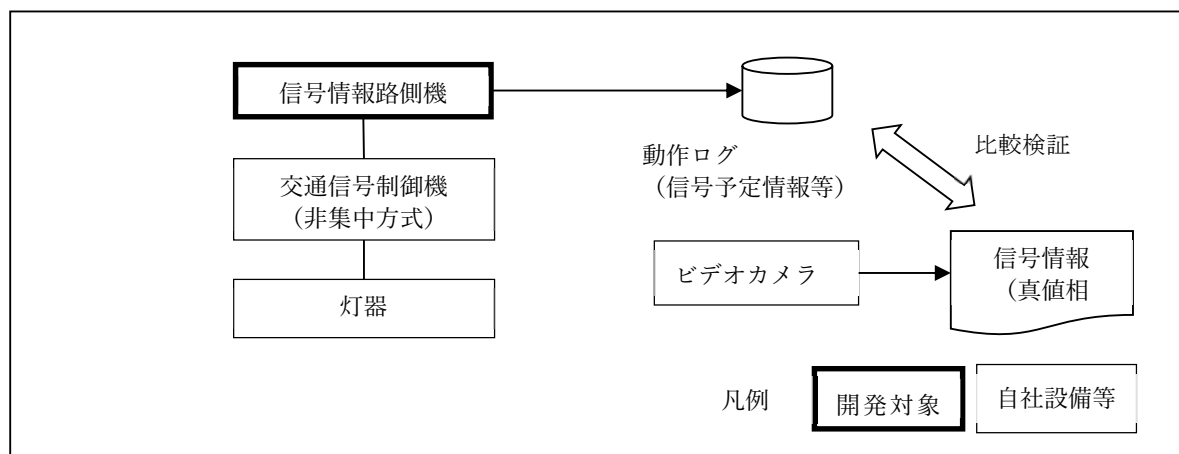


図 5.8 制御機方式の検証システム概要図

3.2. 検証項目

制御機方式の検証項目を表 5.20 に示す。

表 5.20 制御機方式の性能改善に関する検証項目

検証項目	検証内容
オフセット追従時の信号情報精度低下再現	信号情報の精度が向上したことを確認するため、2021 年度発生したオフセット追従時の信号情報精度低下が再現することを、ビデオカメラにより計測した信号誤差、及び動作ログで算出した信号誤差により確認する。
オフセット追従時の信号情報精度向上検証	精度向上を行った信号情報路側機を用いて、信号情報精度が向上し、自動車工業会の要望する±300msec を満足することを検証する。 満足できないケースがあった場合、発生条件、発生頻度等を調査し、自動運転への影響の検討材料とする。 ・時限表パターン変更に伴うオフセット追従 ・サイクル開始時刻の 0.1 秒単位のずれに伴うオフセット追従
交通信号制御機の時刻精度が低い場合の信号情報検証	2021 年度の実証試験では、現地の信号制御機は電波による時刻同期が行なわれ秒単位の時刻精度は高いものであったが、運用されている信号制御機では、時刻精度の低いものも想定される。時刻精度の低い信号制御機の場合でも、信号情報路側機は十分な精度の信号情報を編集できることを検証する。 ・信号情報路側機と信号制御機の時刻が 30 秒程度ずれている場合

3.3. 検証結果

3.3.1. オフセット追従時の信号予定情報精度低下再現

現地と同等の信号定数の設定を行い、オフセット追従時の信号予定情報の精度低下再現を試みたが、再現はされなかった。原因は、表 5.21 に示す通り、制御機メーカーによるオフセット追従方法に違いがあるためであった。

表 5.21 制御機メーカーによるオフセット追従方式の違い

制御機メーカー	時限表のパターン変更時	ステップ秒数の誤差によるオフセットずれへの対応
A 社	オフセット追従量をスプリットに応じて 0.1 秒単位で配分	第 1 現示において、0.1 秒単位で調整
自社	オフセット追従量をスプリットに応じて 1 秒単位で配分	第 1 現示において、0.1 秒単位で調整

3.3.2. オフセット追従時の信号予定情報精度向上検証

オフセット追従時の信号予定情報を 0.1 秒単位で学習することで、自社以外の制御機に対しても

オフセット追従時の信号予定情報の精度を確保できることを確認した。0.1秒単位での学習は、C T センサーの調整により、0.1秒のずれが生じる状態において検証を行い、機能的に学習が行われていることを検証した。表 5.22 にオフセット追従時の信号予定情報の精度検証結果を示す。

表 5.22 オフセット追従時の信号予定情報の精度検証結果

検証時間帯	オフセッ ト追従	検証サイ クル数	主道路、及び従道路の 青、黄、赤の残秒数誤差 (msec)	
			平均	範囲
11:00～19:10 注 ¹	あり	19	72.1	-20～309

注⁽¹⁾ 1時間毎に時限表のパターンを9回変更

3.3.3. 交通信号制御機の時刻同期が行われていない場合の信号予定情報検証

2021年度の実証において信号制御機は電波による時刻同期が行われていた。本検証では、時刻同期が行われていない信号制御機を用いて検証を行った（オフセット追従時の検証を含む）。信号制御機の時刻は、1秒程度のずれ、及び30秒程度のずれで検証を行った。

ここでは、オフセット追従が行われていない時間帯を対象に、信号予定情報の検証を行った。1秒程度の時刻ずれでの検証を表 5.23 にオフセット追従がない場合の信号予定情報の精度検証結果を示す。また精度検証結果表は割愛するが、信号制御機の30秒程度の時刻ずれに対して、10時44分から22時36分まで検証を行い、オフセット追従の有無に関わらず、最大誤差は280msec とほぼ同様の結果であった。

表 5.23 オフセット追従時の信号予定情報の精度検証結果

検証時間帯	オフセッ ト追従	検証サイ クル数	主道路、及び従道路の 青、黄、赤の残秒数誤差 (msec)	
			平均	範囲
09:40～19:12 注 ¹	なし	339	-73.7	-212～299

注⁽¹⁾ 1時間毎に時限表のパターンを9回変更

4. 交通管制システム内の通信遅延調査

4.1. 概要

交通管制システムにおいて端末制御ブロックと信号制御機の上に位置する端末対応装置が通信インターフェイスデータを変換・中継しており、この装置において通信遅延が生じる可能性があり、この通信遅延の状況を調査する。

図 5.9 に通信遅延時間の計測方法を示す。HUB、ルーター等にLANアナライザを接続し、通信インターフェイスデータを収集する。通信インターフェイスデータ収集時にLANアナライザが各パケットに付加するタイムスタンプにより、遅延時間を計測する。計測精度は、LANアナライザの時刻に依存するため、可能な限り、NTP等による時刻同期を行う。

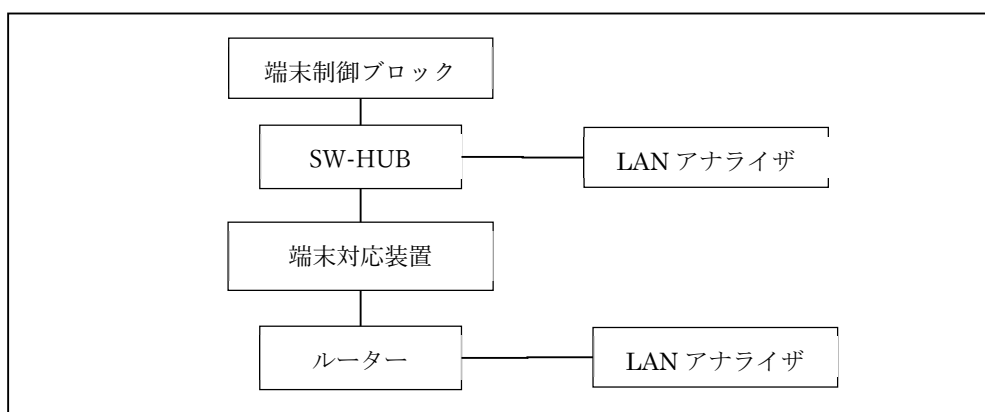


図 5.9 遅延時間の計測方法

4.2. 調査項目

交通管制システム内間通信遅延に関する調査項目を表 5.24 に示す。

表 5.24 交通管制システム内間通信遅延に関する調査項目

調査項目	調査内容
時刻修正メッセージの返送応答時間	端末対応装置から時刻修正メッセージが送られてから信号制御機により時刻修正応答メッセージが返送されるまでの時間を調査する。
時刻修正メッセージのばらつき状況	時刻修正メッセージは2回送られるが1回目と2回目の返送時間の差のばらつき状況を調査する。このばらつきは信号制御機の時刻精度に影響するため調査を行う。
信号制御実行情報の受信タイミング	サイクル開始時刻から信号制御実行情報を受信するまでの時間を調査する。信号制御実行情報を受信後、信号予定情報を生成するため、この受信タイミングは ΔT に影響する。

4.3. 調査結果

2箇所の都道府県交通管制センターの協力の下、交通管制システムにおける通信遅延について調査を実施した。

4.3.1. 広域イーサネット回線概要

A県交通管制センターの広域イーサネット回線に接続された交差点を対象に、LANアナライザで収集した通信データ（UDメッセージ）により調査を実施した。表 5.25 に通信遅延調査に用いたデータの概要を示す。

表 5.25 広域イーサネット回線の通信遅延調査用データの概要

No	交通管制センター名	交差点数	期間	収集データ
1	A県交通管制センター	98	約 3 時間 30 分	端末対応装置・信号制御機間の通信データ

4.3.2. アナログ回線概要

表 5.26 にアナログ回線の通信遅延調査に用いたデータの概要を示す。

表 5.26 アナログ回線の通信遅延調査用データの概要

No	交通管制センター名	交差点数	期間	収集データ
1	A県交通管制センター	20	約 1 時間 10 分	端末制御ブロック・端末対応装置間の通信データ
2	B県交通管制センター	16	約 2 時間	端末対応装置・信号制御機間の通信データ

4.3.3. 広域イーサネット回線調査結果

(1) 時刻修正メッセージの返送応答時間

時刻修正メッセージの通信経路は信号制御機の接続形態により異なり、直接通信する場合と S 9 形インターフェイス経由で通信する場合の 2 通りある。端末対応装置から送信された時刻修正メッセージに対して信号制御機から返送される時刻修正応答メッセージの応答時間の集計結果を表 5.27 に示す。信号制御機が S 9 インターフェイスで接続された形態では、返送応答時間が約 200msec 大きくなっている。回線速度による理論的な伝送遅延は 25msec 未満であり、遅延時間は各装置での処理時間が支配的と考えられる。S 9 インターフェイスで接続された信号制御機の信号情報提供を行う場合は、この遅延時間を考慮した設計が必要であると考ええる。

表 5.27 時刻修正メッセージの返送応答時間

信号制御機接続形態	返送応答時間 (msec)	
	平均	範囲
直結	247	197～436
S 9 接続	454	299～703

(2) 時刻修正メッセージのばらつき状況

信号制御機から返送される時刻修正メッセージの返送時刻の 1 回目と 2 回目の差を集計し、表 5.28 の通りまとめた。返送時刻の差は、通信時間に相当するものでばらつきが少ない程、時刻修正が正確に行われることが期待されるが、一定のばらつきが生じている。

データ高度化された信号制御機では、時刻が 0.1 秒単位となり精度の向上が期待されるが、このばらつきが時刻精度に与える影響は大きいと推測する。

表 5.28 時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差

信号制御機接続形態	返送時刻差(秒)	比率 (%)
直結	0	0.8%
	1	46.0%
	2	53.2%

(3) 信号制御実行情報受信タイミング

信号制御実行情報は、サイクル開始後 5 秒以内に信号制御機から端末対応装置へ送信が行われる仕様である。信号制御実行情報は、端末対応装置、端末制御ブロックを経由して信号情報配信装置に送られる。信号情報配信装置は、信号制御実行情報の受信後、当該サイクルの信号予定情報を編集し送信する。信号予定情報を作成するタイミングを設計するため、端末対応装置において、サイクル開始から信号制御実行情報を受信するまでの経過時間を計測した。

計測結果を表 5.29 に示す。サイクル開始時刻から信号制御実行情報の受信までの経過時間は、インターフェイス規格通りに実装され、概ね 5 秒以下である。ただし、UD 伝送における再送は 5 秒後に行われるため、再送時には 9 秒程度の時間がかかるケースを確認した。また、わずか 1 回ではあるが、信号制御実行情報が中央装置に送られないケースを確認した。これは、UD 伝送はメッセージの再送回数を 1 回としており、到達保証を行っていない仕様に起因するものと考ええる。

表 5.29 サイクル開始時刻から信号制御実行情報の受信までの経過時間算出結果

信号制御機接続形態	経過時間（秒）	比率（％）
直結	5 秒以下	99.99%
	6	0.01%
S 9 接続	5 秒以下	98.96%
	8	0.94%
	9	0.10%

注⁽¹⁾ 信号制御機の時刻ずれは考慮されていない。msec 単位は考慮されていない。

注⁽²⁾ 総受信回数 15,750 回、1 回の信号実行情報の未受信が発生している。

4.3.4. アナログ回線調査結果

(1) 時刻修正メッセージの返送応答時間

端末対応装置から送信された時刻修正メッセージに対して信号制御機から返送される時刻修正応答メッセージの応答時間の集計結果を表 5.30 に示す。広域イーサネット回線と比較すると約 740msec 返送応答時間が大きくなっている。アナログ回線の通信速度が 9600bps と遅いことに起因するものとする。

表 5.30 時刻修正メッセージの返送時間

信号制御機接続形態	返送応答時間（msec）	
	平均	範囲
直結	986	601～1186

(2) 時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差

データ 1 及びデータ 2 を用いて算出した時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差を表 5.31 及び表 5.32 に示す。交通管制センターにより若干の差異があるが、広域イーサネット回線と比較すると返送時間差が長くなっており、通信遅延時間の影響が考えられる。

表 5.31 時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差(データ 1)

信号制御機接続形態	返送時刻差(秒)	比率（％）
直結	0	2.4%
	1	2.4%
	2	95.2%

表 5.32 時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差(データ 2)

信号制御機接続形態	返送時刻差(秒)	比率 (%)
直結	2	41.2%
	3	58.8%

5. センター間通信の通信遅延

5.1. 概要

図 5.11 に、信号情報配信装置から車載機までの通信経路を示す。車載機まで 3 回、アプリケーション層での転送が行われる。アプリケーション層での転送時の処理遅延が大きい場合、転送回数が全体での通信遅延に大きな影響を与える。ここでは、通信方式に MQTT が採用されることを前提に、アプリケーション層での転送時間を計測する。MQTT は、IoT 機器のメッセージ通信として普及していること、多数の機器を扱えること、及び MQTT Broker における配信の遅延時間が小さいことを 2021 年度までに検証済みであることからセンター間通信においても有効なプロトコルであると考えらる。

図 5.12 に、各センターにおけるアプリケーション層での転送処理イメージを示す。MQTT Broker は、各センターに必要な機能である最新メッセージの保持、及び更新されたメッセージを Push 型で client に対してリアルタイム通知が可能であるため、各センターに実装し評価する。転送処理の最小限度の処理は、センター B において、信号予定情報の Subscribe による Push 通知を受信し、Broker2 に Publish し、Broker2 で Push 通知されるまでとし、この間の処理時間を転送時間として計測する。同時に発生する信号予定情報により、転送時間は増大するものと仮定し、信号予定情報を同時に近い形で発生させて、同時発生数と遅延時間の関係を確認する。

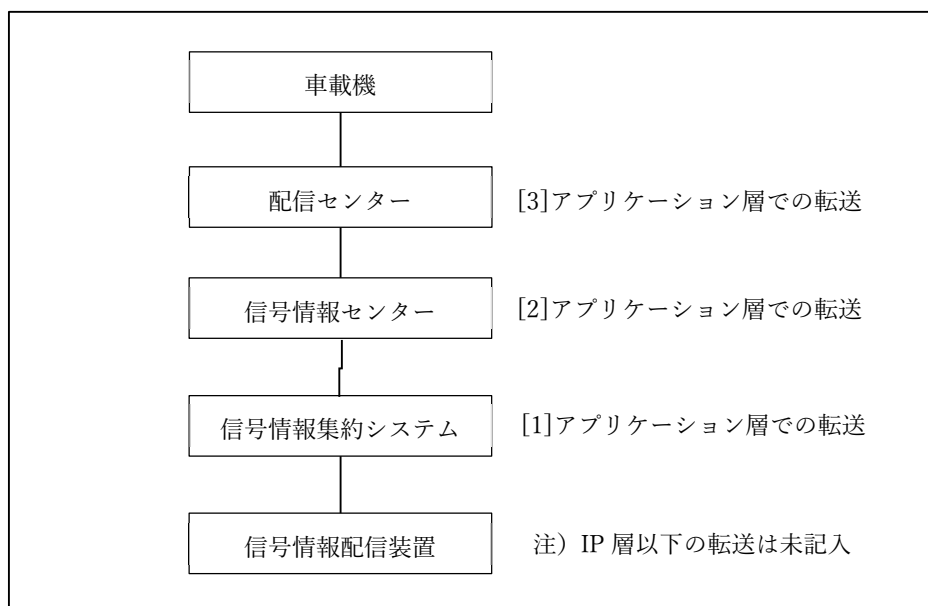


図 5.11 信号情報配信装置から車載機までの通信経路

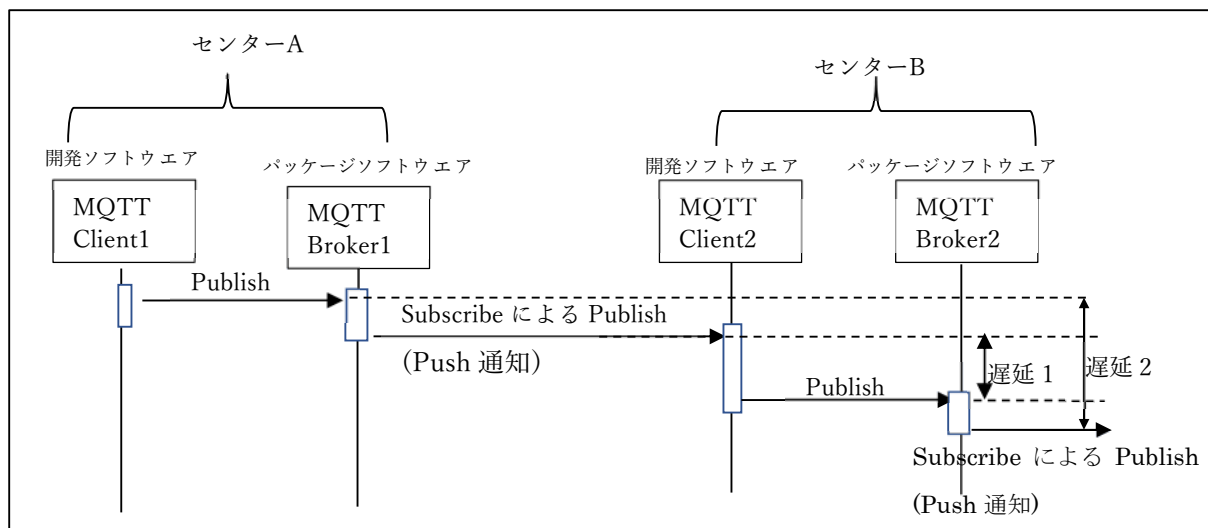


図 5.12 各センターにおけるアプリケーション層での転送処理イメージ

5.2. 調査項目

センター間通信の通信遅延に関する調査項目を表 5.33 に示す。

表 5.33 センター間通信の通信遅延に関する調査項目

調査項目	調査内容
センターにおける転送処理による遅延時間	各センターにおいて信号予定情報を受信してから送信するまでの転送処理にかかる遅延時間を計測する。 信号予定情報として、512 バイト、1024 バイト、2048 バイトの 3 種類、信号予定同時生成数として 1, 2, 4, 8, 16 を条件とする。
センター間の伝送、及びセンター内の転送処理を含めた遅延時間	センターA で信号予定情報を生成、送信してから、センターC で信号予定情報を受信するまでの遅延時間を計測する。 通信回線の速度として、10Mbps、100Mbps、1Gbps を条件とする。

5.3. 評価環境

図 5.13 に遅延時間評価環境を示す。Client1 において作成された信号予定情報の作成時刻と Client3 で受信した際に付加される受信時刻の差により通信遅延時間を計測する。

表 5.34 に信号予定情報のサイズと理論的な伝送時間を示す。信号予定サイズが大きく、伝送速度が 10Mbps でも物理的な装置間では理論的には数 msec で伝送が完了する。

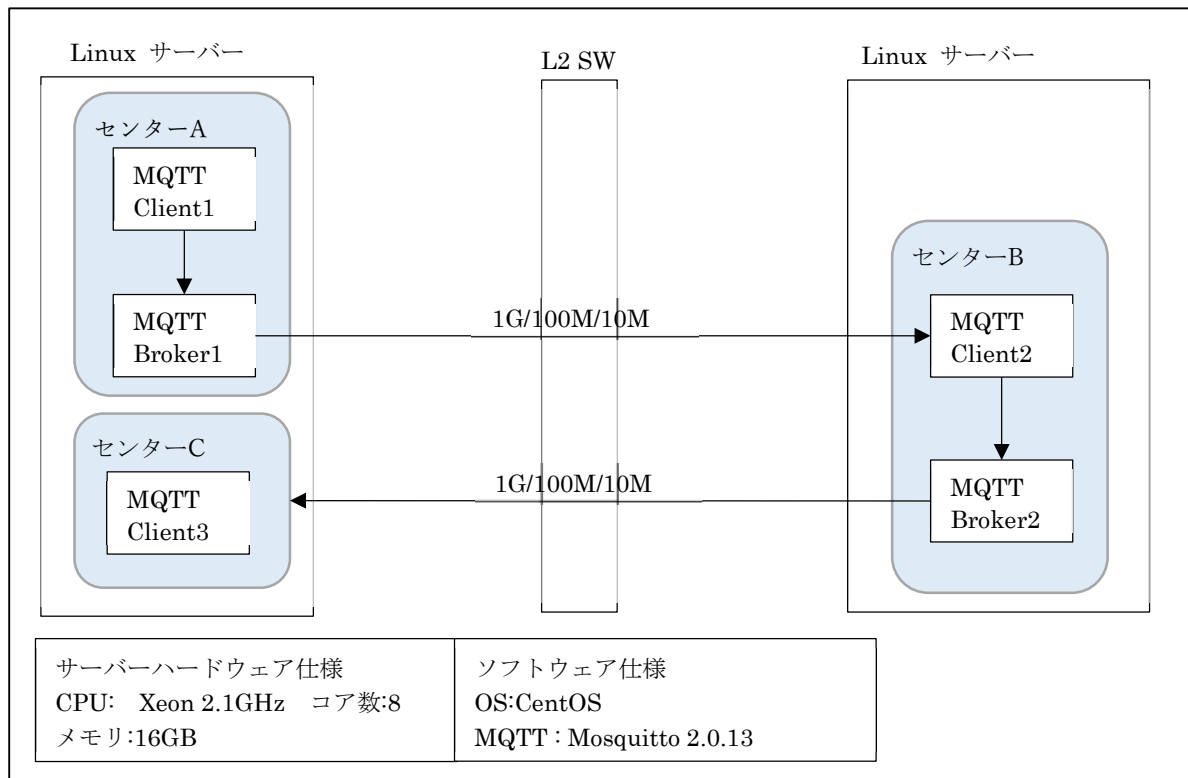


図 5.13 遅延時間評価環境

表 5.34 信号予定情報のサイズと理論的な伝送時間

信号予定情報 サイズ	パケットサイズ(TLS あり)	理論上の伝送時間(msec)		
		10Mbps	100Mbps	1Gbps
512	644	0.515	0.051	0.005
1024	1156	0.925	0.093	0.009
2048	2266 (注1)	1.813	0.181	0.018

注⁽¹⁾ ネットワークの MTU 値により、1514byte と 752byte のパケットに分割される。

5.4. 検証結果

遅延 1 (センタ B での転送処理時間) の計測結果は、同時生成数、信号機数のいずれの検証においても、1msec 未満がほとんどであり、最大で 1msec 程度であったことから計測結果を省略する。アプリケーション層での転送処理時間は、信号機数が増える毎に、また信号予定情報サイズが大きくなるにつれて増大すると仮定したが処理時間は小さく、必要な機能を実装したとしても大きな値にならないことが期待される。

信号予定情報の同時生成数に着目し、3 種類の伝送速度に対する遅延 2 (センター A での信号予定情報の生成からセンター C での信号予定情報受信までの時間) の平均遅延時間、及び最大遅延時間を計測した結果を図 5.14 に示す。信号予定情報の同時生成の状況は、同時生成数 16 の場合、MQTT Client1 は約 2msec 内に 16 交差点分の信号予定情報を生成しており、概ね同時と言える。また、対象とする信号予定情報サイズに着目し、3 種類の伝送速度で遅延 2 の平均遅延時間、及び最大遅延時

間を計測した結果を図 5.15 に示す。これらグラフの示す通り一定の条件で遅延時間が大きく増大することが確認できる。図 5.16 に遅延時間度数分布、表 5.35 に遅延時間分布割合を示す。多くのデータの遅延時間は小さいが、一部のデータで遅延時間が増大していることが分かる。

また、信号機数に着目し、3 種類の伝送速度に対して信号機数に対する遅延 2 の計測した結果を図 5.17 に示す。また、信号数を 1000 とし、信号予定情報サイズに着目し、3 種類の伝送速度で遅延 2 の平均遅延時間、及び最大遅延時間を計測した結果を図 5.18 に示す。図 5.19 に交差点数を 4000 とし、回線速度を 10Mbps とした場合の遅延時間度数分布、表 5.36 に遅延時間分布割合を示す。遅延時間 150msec 以下が 99.4%であるが、一部のデータで遅延時間が増大していることが分かる。これらのことから、今後の課題を以下に示す。

- ・満たすべき仕様を明確にし、通信回線を選定することが重要である。
- ・通信遅延は、100%の遅延時間を保証することは難しい。どの程度の割合で、仕様を満たすべきかの議論が必要と考える。
- ・通信回線には、帯域保証型、ベストエフォート型があるが費用が大きく異なる。通信回線一部は競争領域に含まれ、コストが重視されることも想定されるため、両者について考察しておくことが望ましい（本検証は帯域保証型での検証）。



図 5.14 同時生成数と通信回線速度の関係（信号予定情報サイズ 512byte 時）

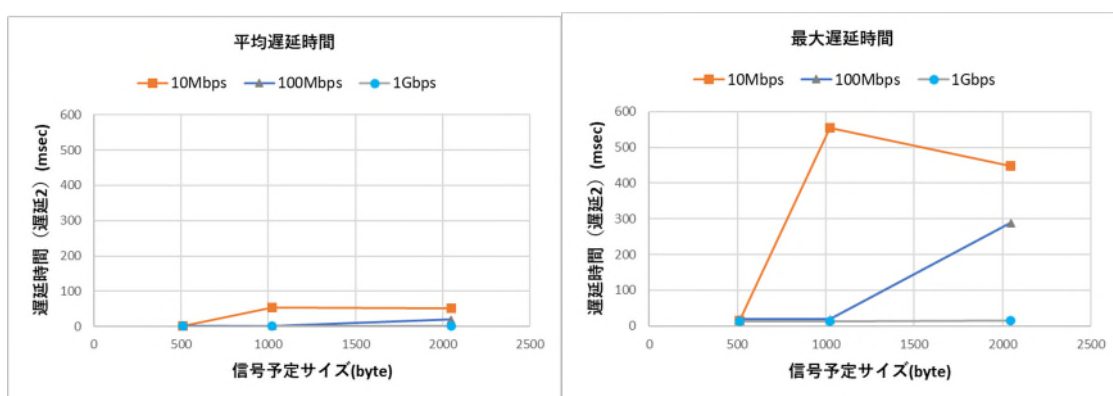


図 5.15 信号予定情報サイズと通信回線速度の関係（同時生成数 8 交差点）

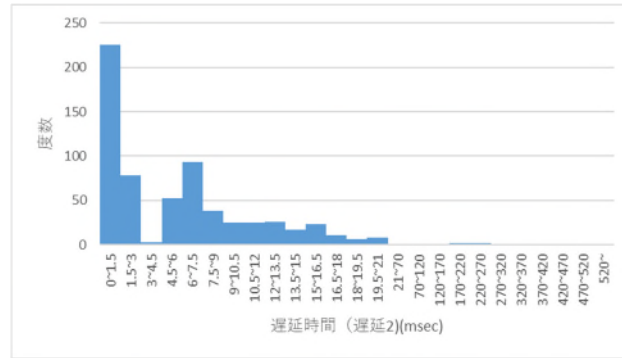


図 5.16 同時生成数 16、回線速度 10Mbps 時の遅延時間度数分布
(21msec 未満は、1.5msec ピッチ、21msec 以上は、50msec ピッチ)

表 5.35 同時生成数 16、回線速度 10Mbps 時の遅延時間分布割合

遅延時間	割合
21msec 以下	78.80%
220ms 以下	89.38%
270msec 以下	97.13%

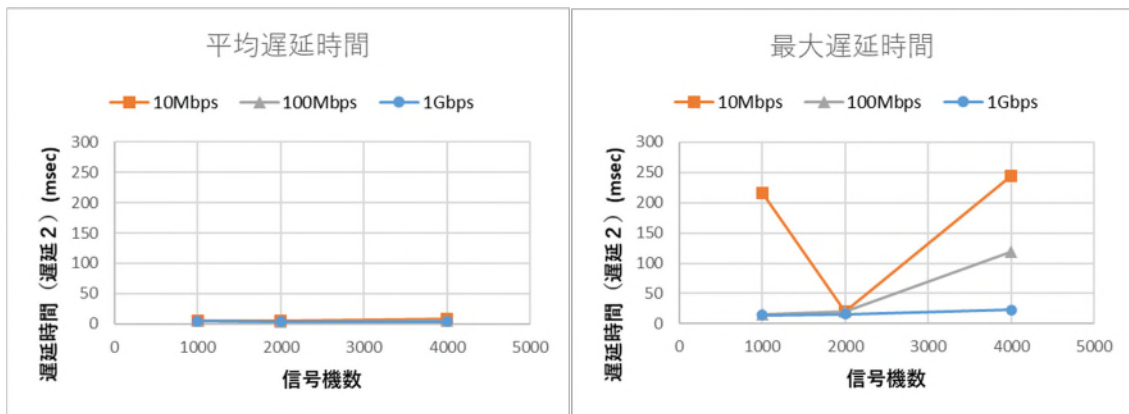


図 5.17 信号機数と通信回線速度の関係 (信号予定情報サイズ 512byte 時)

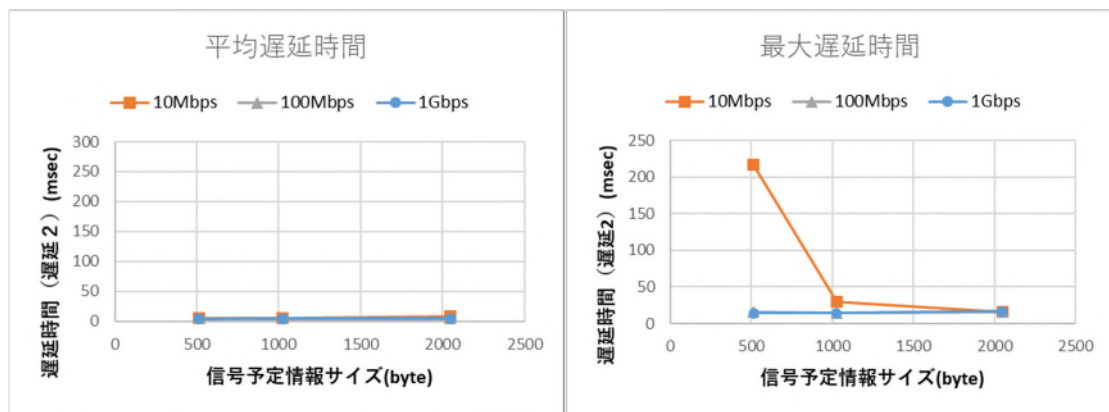


図 5.18 信号予定情報サイズと通信回線速度の関係 (信号機数 1000 交差点)

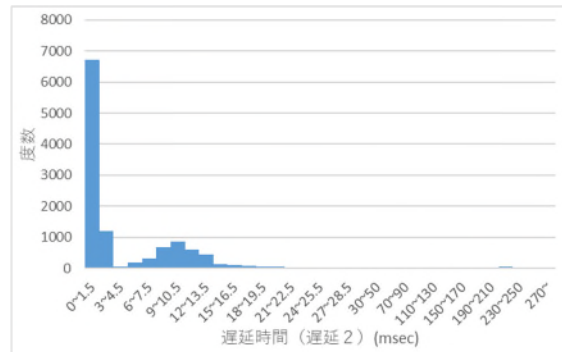


図 5.19 交差点数 4000、回線速度 10Mbps 時の遅延時間分布
(30msec 未満は、1.5msec ピッチ、21msec 以上は、30msec ピッチ)

表 5.36 交差点数 4000、回線速度 10Mbps 時の遅延時間分布割合

遅延時間	割合
30msec 以下	96.80%
50msec 以下	97.10%
150msec 以下	99.40%

6. まとめ

6.1. 検証結果まとめ

表 5.37 から表 5.41 に検証結果のまとめを示す。

表 5.37 管制方式に関する検証結果まとめ（1／2）

検証項目	検証結果	課題
信号制御機時刻精度	実機において信号制御機の時刻誤差が仕様通り、100msec 以内であることを確認した。 また、GPS 時刻同期異常時には、時刻ずれが大きくなり、信号予定情報の精度が低くなることから、信号予定情報を無効とすべきであることが分かった。	都市部では、相対的に GPS 時刻同期異常が発生する可能性が高い。 信号予定情報提供に与える影響を把握することが今後の課題と考える。
信号制御実行情報 2 精度	実機においてサイクル開始時刻の精度、及び各ステップ秒数の精度が、仕様通り 150msec 以内であることを確認した。	特になし。
リコール要求受付情報精度	実機においてリコール要求受付情報の歩進予定時刻からリコール要求を受け付けた信号ステップを判断できることを確認した。 リコール要求後、中央装置で受付情報を受信するまでの遅延時間が短いことを確認した。	リコール要求後、中央装置で受付情報を受信するまでの遅延時間については仕様化されていないため、各メーカーの信号制御機についても確認することが望ましい。
信号情報検証	オフセット追従がない場合、信号制御指令ど	特になし。

(オフセット追従なし)	おりに動作するため、信号情報配信装置での誤差混入はないことを確認した。	
信号情報検証 (オフセット追従あり)	オフセット追従がある場合、信号制御実行情報に含まれる予定サイクル長通りに動作することを確認した。そのため、感応制御がない限り、オフセット追従量を正しく算出できる。 自社信号制御機を対象に、オフセット追従量のスプリットへの配分時に信号誤差は混入しないことを確認した。	各社の信号制御機のオフセット追従量のスプリットへの配分ロジックが公開されることは決まっていない。 オフセット追従量のスプリットへの配分時の信号誤差が許容できるか確認することが望ましい。
信号情報検証 (リコール動作時)	リコール動作に関して信号予定情報を送信する4つの状態を明確にした。また、車載機における ΔT を確保するための、タイミング設計を行った。	管制方式を実装し、実際のネットワークで信号情報精度と ΔT が確保されることを検証することが必要である。

表 5.38 管制方式に関する検証結果まとめ (2 / 2)

検証項目	検証結果	課題
異常時動作の検証	異常時の動作を設計するため、実機において発生可能な異常を発生させデータを収集し、信号予定情報の作成について設計した。	管制方式を実装し、実際のネットワークで異常の検知遅れ等の状況を確認し、自動運転への影響を検討することが必要である。
運用状態の通信インターフェイス検証	現在運用されている2つの交通管制センタの通信インターフェイスデータを収集し、現状の信号機の時刻同期状況を確認した。また、前サイクルの信号制御実行履歴の予定サイクル長と現サイクルの信号制御実行履歴が一致することを確認した。 アナログ回線では、受信データに遅延や抜けが生じる可能性があり、信号予定情報の提供には性能が不足することが分かった。	課題は特になし。 データ高度化された信号制御機の検証結果を総合し、信号情報配信装置にインプットする通信インターフェイスデータを特定できた。

表 5.39 制御機方式に関する検証結果まとめ

検証項目	検証結果	課題
オフセット追従時の動作	系統動作時、オフセット追従は、信号制御機メーカーにより、0.1秒で行われる場合と1秒で行われる場合があることを確認した。	0.1秒でオフセット追従が行われるメーカーの信号制御機を用いた動作検証を行うことが望ましい。

	追従時に 0.1 秒単位でオフセットを学習することで前者の場合でも、方式としては信号予定情報を仕様の誤差内で提供できることを確認した。	
交通信号制御機の時刻同期が行われていない場合の信号予定情報検証	交通信号制御機の時刻同期が行われていない場合でも信号予定情報を正しく生成できることを検証した。	工場では検証済みであるが、実フィールドで時限表切り替わり時にも正しく信号情報提供できることを確認することが必要である。

表 5.40 交通管制システム内通信遅延調査結果まとめ

検証項目	検証結果	課題
時刻修正メッセージの返送応答時間	信号制御機の接続形態により返送応答時間が異なる。S 9 接続の場合、200msec 程度大きくなることに注意が必要である。	G P S を用いた時刻修正を行うため、信号情報提供への影響はない。
時刻修正メッセージのばらつき状況	時刻修正メッセージの第 1 回目の返送時刻と 2 回目の返送時刻の差のばらつきは大きい。G P S による時刻同期が行えない場合は、時刻精度は低下するため、信号情報提供できない。	G P S による時刻修正ができない場合の対策検討が必要。
信号制御実行情報受信タイミング	通常では仕様通り、5 秒以内に受信可能である。ただし、まれではあるが、S 9 接続で UD 通信の再送が発生し、さらに 5 秒程度の時間を要するケースがあった。	信号情報提供を行う交差点では S 9 接続は推奨しないことの検討。

表 5.41 センター間通信に関する検証結果まとめ

検証項目	検証結果	課題
アプリケーション層での転送処理	必要最低限の転送機能では、1msec 未満の処理時間であり、転送処理の回数が通信遅延につながる可能性は低いことを確認した。	特になし。
信号機数等による通信遅延	信号機数、または信号予定情報の同時生成数が増えると、数%、遅延時間が大きくなる場合が確認された。遅延時間が大きくなる割合は若干異なるが、通信速度が 10Mbps でも 100Mbps でも遅延時間が大きくなる場合があることを確認した。	通信速度や帯域保証の有無は、通信費に大きく影響するため、信号予定情報が ΔT を遵守する割合をどの程度とするか、通信費用の負担を含めて審議する必要がある。

(1) 信号予定情報の誤差分析モデル

管制方式の信号情報誤差に関するまとめとして、以下に提供される信号予定情報の誤差分析モデルを示す。

図 5.20 は、オフセット追従なしの誤差分析モデルを示す。誤差理論値は、 $\pm 180\text{msec}$ 以内であり、管制方式プロトタイプによる検証では車載機を用いた誤差は行っていないため、理論値通り $\pm 150\text{msec}$ 以内の誤差であることを検証した。

図 5.21 は、オフセット追従ありの誤差分析モデルを示す。信号制御機のオフセット追従量のスプリットへの配分ロジックが公開されない場合、オフセット追従時誤差が最大 200msec 程度発生すると推測する。この場合、誤差理論値は、 $\pm 380\text{msec}$ 以内であり、自動車工業会の要望事項を満足できない。

管制方式プロトタイプによる検証では自社製信号制御機を用いているため、信号制御機のオフセット追従量のスプリットへの配分量を正確に算出できるため、オフセット追従時誤差は発生せず、オフセット追従なしと同様±150msec 以内の誤差であることを検証した。他社製信号制御機に対するオフセット追従時誤差は、あくまで推定であり、100msec 程度の場合は、自動車工業会の要望事項を満たすことができる。

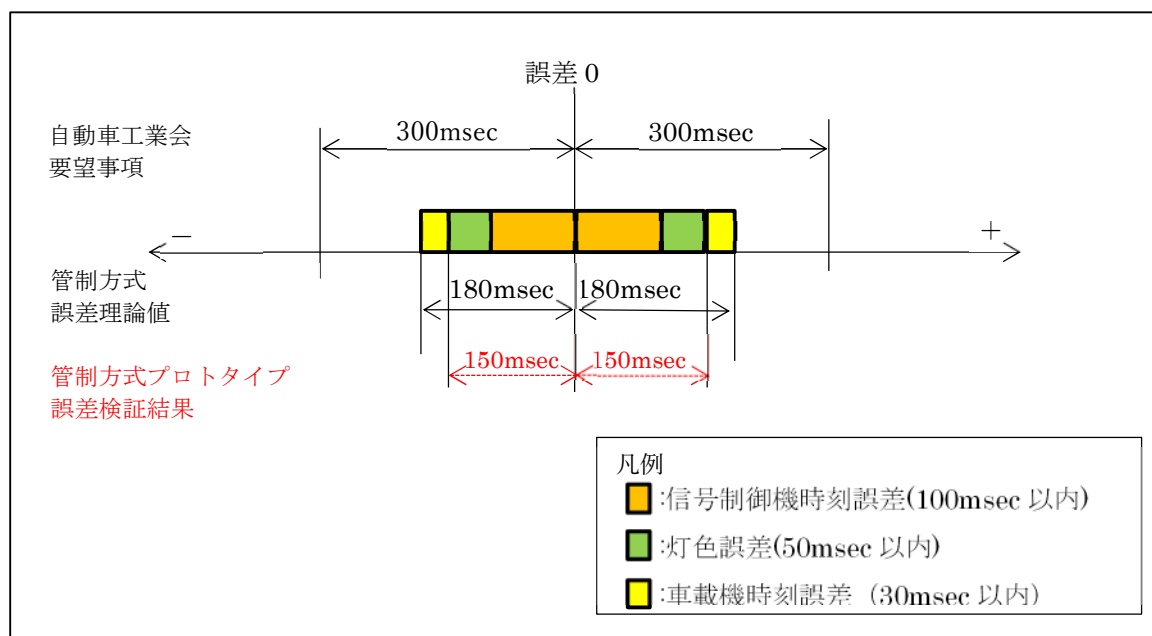


図 5.20 オフセット追従なしの誤差分析モデル（管制方式）

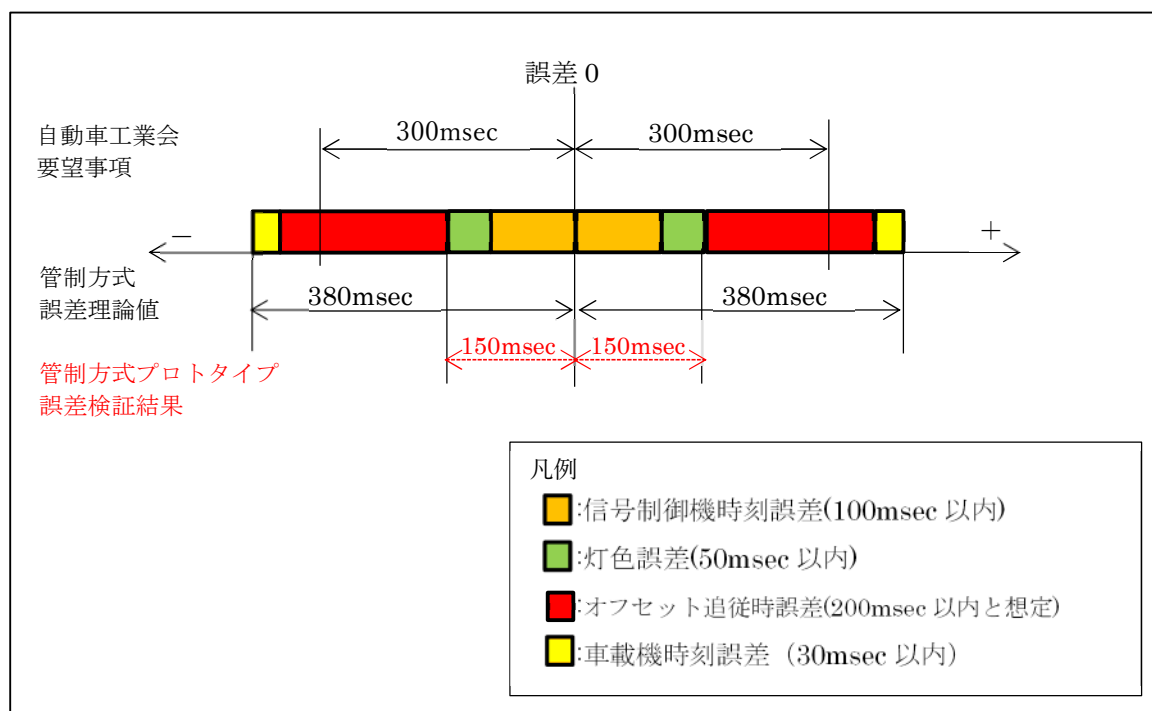


図 5.21 オフセット追従ありの誤差分析モデル

6.2. ΔT 検証のためのタイムチャート

管制方式の信号予定情報が自動車工業会の要望事項である ΔT を満足できるかを検証するためのタイムチャートを図 5.22 及び図 5.23 に示す。

通常交差点は、サイクル開始後に提供される信号予定情報を対象にタイミングを確認する。1G 車両用灯器の青時間を確認し ΔT を満足するかどうか確認する必要があるが、多くの交差点で十分な設計余裕を確保できるものと推測する。

リコール動作交差点は、「図 5.5 リコール制御時の ΔT 確保に向けたタイミング設計案」の通り、第 1 ステップ完了直前にリコール要求受付が行われるケースがクリティカルとなる。実際の時限表を確認する必要があるが、多くの交差点で十分な設計余裕を確保できるものと推測する。

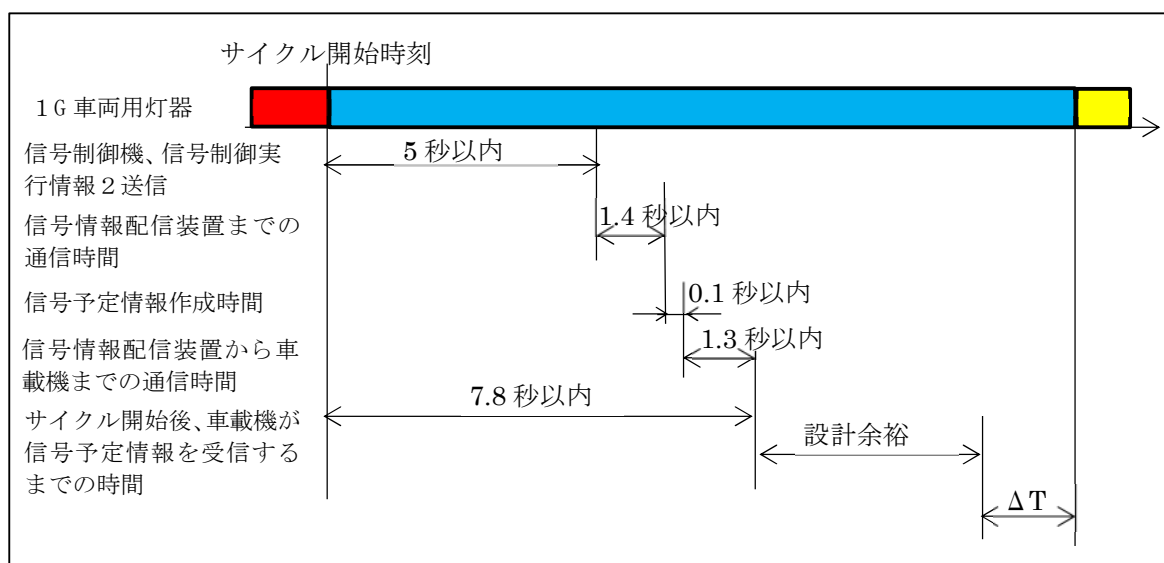


図 5.22 通常交差点の信号予定情報提供に関するタイムチャート

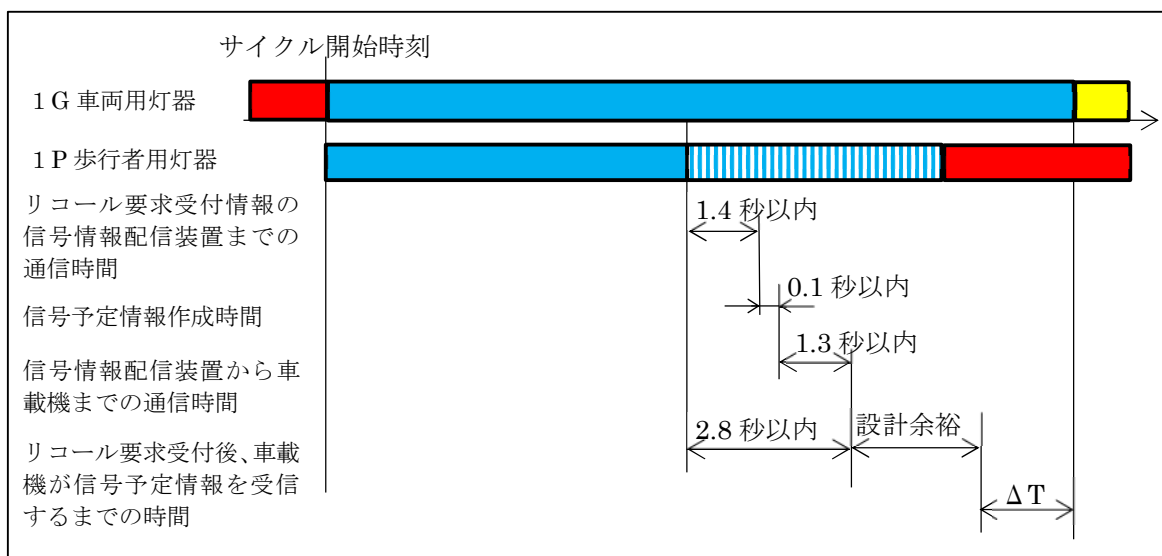


図 5.23 リコール動作交差点の信号予定情報提供に関するタイムチャート

第6章 警察庁信号情報集約システムと接続した信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等（テーマ6）

1. 概要

戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）における、「クラウド等を活用した信号情報提供の社会実装に向けた研究開発」のうち、テーマ6「警察庁信号情報集約システムと接続した信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等に関する検討等」について記載したものである。

2. 検証の目的

信号情報提供に関して信号情報集約システム、模擬信号情報センター、模擬信号情報配信センターのハードウェア・ソフトウェアの妥当性ならびに、インターフェイス仕様書、信号情報センター仕様書案の妥当性の検証を検証環境の構築を通して行う。検証環境は警察庁に整備された信号情報集約システムと接続し、通信プロトコルには国際標準のMQTT Sを使用し、各装置間はクライアント認証、サーバー認証をおこない相互通信の暗号化を行った。

信号情報集約システム及び模擬信号情報センター間の集約・配信機能の基本設計が妥当であることを確認し、重要性能である信号予定情報生成から模擬車載機までの遅延時間の検証を行う。次に、動的な信号予定情報に対して規格違反回数を測定することで規格適合度の検証を行う。加えて、信号予定情報が利用可能であった時間の割合である稼働率を計測し、提供レベルを検証する。緩やかな減速のための余裕時間確保の観点から第一現示の青時間残秒数の実態について調査する。センター側での障害発生時に信号予定情報の一括無効化の機能・性能検証も行う。

最後に、最大負荷時における性能評価をおこないシステム設計に問題ないことを検証する。加えて、通常及び最大負荷試験を通して、性能要件、コストを低減できる回線を選定することとする。

3. 信号情報提供の検証環境構築

3.1. 構築システムの概要

信号情報提供のシステム検証環境の全体図を図 6.1 に示す。まず、都道府県警察には管制方式、集中方式、制御機方式の各方式に対応した信号情報配信装置が整備される。本実証実験の対象は奈良県警である。次に、警察庁には信号情報を集約するシステムである信号情報集約システムが整備される。最後に、実験期間中は模擬信号情報センター、模擬信号情報配信センター及び模擬車載機からなる検証用のシステムが構築される。これらのシステムを結合し、交通信号制御機から模擬車載機までの信号予定情報が提供される環境を構築する。以降、警察庁に設置される信号情報集約システム及び本テーマを推進するにあたり、図 6.1 に示すように模擬信号情報センターから模擬車載機までを検証システム、信号情報集約システムから模擬車載機までを信号情報提供検証環境と総称する。

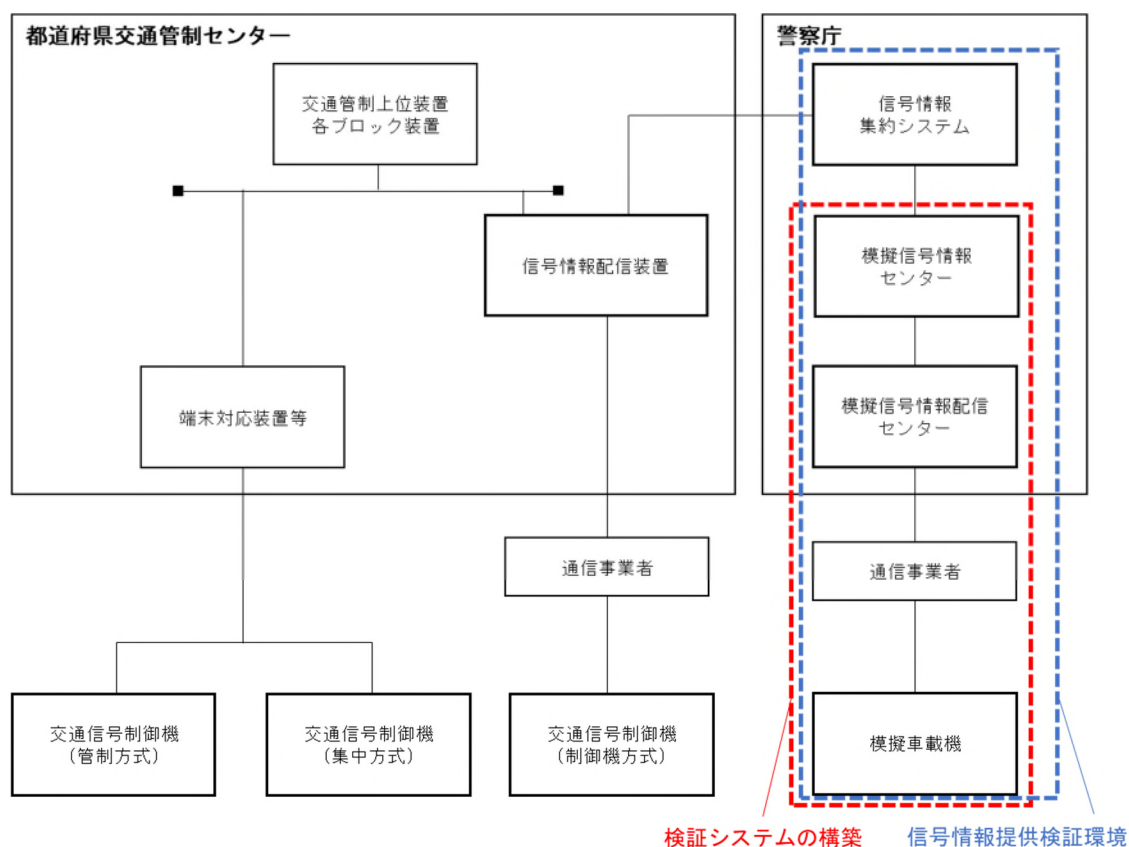


図 6.1 システム概念図

3.2. 信号情報提供検証環境の構築

3.2.1. 信号情報提供検証環境の構成

信号情報提供検証環境を構成する主要な機器のネットワークを図 6.2 に示す。信号予定情報は各種機器に中継され、模擬車載機に通知される。まず、県側の信号情報配信装置から送信され、ルーター、FWを経由し信号情報集約装置に至る。次に、信号情報集約装置から送信された信号予定情報は信号情報集約装置内のFW、ルーターを介し、検証システム側のルーター、FWを経由して模擬信号情報センター装置に至る。さらに、模擬信号情報センター装置から送信された信号予定情報は、模擬信号情報配信センター装置へ通知される。最終的に模擬信号情報配信センター装置は模擬車載機からの要求に応じて信号予定情報を配信する。

また、検証上は各機器間で時刻を同期する必要がある。本検証環境では、GPS 信号を時刻ソースとし、タイムサーバーと模擬車載機が直接 GPS 信号を受け時刻を合わせる。また、信号情報集約装置、模擬信号情報センター装置、模擬信号情報配信センター装置については、信号情報集約システム内に設置されるタイムサーバーとNTP（Network Time Protocol）を用いて時刻同期する。

警察庁には信号情報を集約するシステムである信号情報集約システムが整備され、検証システムを構築することで信号情報提供検証環境を構築することができる。検証システムの各種仕様について次節以降示す。

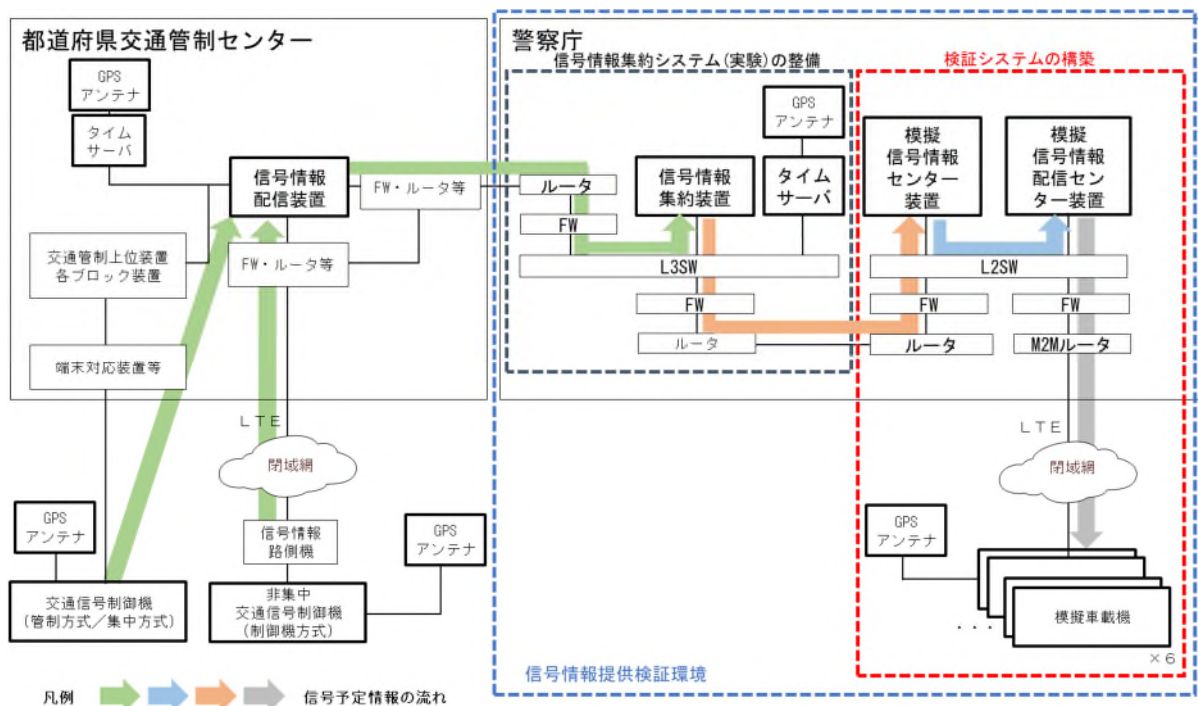


図 6.2 ネットワーク構成図

3.2.2. ハードウェア仕様

当該検証環境を構成する各機器の主要スペックを表 6.1 に示す。

表 6.1 構成機器主要諸元

機器名称	主要諸元
検証システム	
模擬信号情報センター装置（サーバー）	CPU：Xeon® Silver4208(2.1GHz/8 コア) メモリ：16GB OS：Redhat Linux 8.6 インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス
模擬信号情報配信センター装置（サーバー）	CPU：Xeon® Silver4208(2.1GHz/8 コア) メモリ：16GB OS：Redhat Linux 8.6 インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス
検証用装置（サーバー）	CPU：Xeon® Silver4208(2.1GHz/8 コア) メモリ：16GB OS：Windows Server 2019 インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス
ルーター	基本機能 ・スタティックルーティング ・帯域制限（QoS） インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス
M2Mルーター	基本機能 ・スタティックルーティング ・帯域制限（QoS） インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス LTE マルチキャリア対応（FDD-LTE：Band 1, 8, 18, 19） VPN機能
ファイアウォール	基本機能 ・パケットフィルタリング ・帯域制限（QoS） インターフェイス：1000Base-T の LAN インターフェイス
模擬車載機	機種名：Google Pixel 3XL CPU：Qualcomm Snapdragon 845(2.5GHz+1.6GHz/8 コア) メモリ：4GB OS：Android 12 インターフェイス：USB Type-C

機器名称	主要諸元
	FDD-LTE : Band 1, 3, 8, 28 TDD-LTE : Band 41, 42
警察庁・信号情報集約システム	
信号情報集約装置 (サーバー)	C P U : Xeon®プロセッサE-2388G (3.2Ghz/8 コア) メモリ : 128GB O S : Redhat Linux 8.4 インターフェイス : 1000Base-T の LAN インターフェイス
検証装置 (DB装置)	C P U : Xeon®プロセッサE-2388G (3.2Ghz/8 コア) メモリ : 128GB O S : Redhat Linux 8.4 インターフェイス : 1000Base-T の LAN インターフェイス
タイムサーバー	内蔵水晶精度 : 日差最大±100ms (+25℃) 時刻修正方式 : G P S 、 Q Z S S 、 G L O N A S S 修正精度 : ± 1 μ s (G N S S 測位時)

3.2.3. ソフトウェア仕様

検証システムの業務アプリケーションが搭載される機器の主要機能を表 6.2 に示す。

表 6.2 模擬信号情報センター機器の主要機能

機能 区分	機能 名称	機能 概要
模擬信号情報センター		
データ 受信	信号予定情報 受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から信号予定情報を受信する。※1
	交差点管理情 報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から交差点管理情報を受信する。※1
	センター間障 害情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置からセンター間障害情報を受信する。※1
	監視情報受信	警察庁に整備される信号情報集約装置から監視情報を受信する。※1
配信 内容の 監視	信号予定情報 フォーマット チェック	受信した信号予定情報のフォーマットをチェックし、フォーマット異常の場合、当該信号予定情報のシステム状態を無効にする。
	交差点管理情 報フォーマッ トチェック	受信した交差点管理情報のフォーマットをチェックし、フォーマット異常の場合、当該交差点管理情報を破棄する。

機能 区分	機能 名称	機能 概要
配信 内容の 管理	信号予定情報 管理	信号予定情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新都 度最新状態に更新管理する。
	交差点情報管 理	交差点管理情報を県単位／交差点単位で管理し、データ更新 都度最新状態に更新管理する。
データ 送信	信号予定情報 送信	信号予定情報フォーマットチェック済みで、送信準備された 信号予定情報を模擬信号情報配信センターに送信する。
	交差点管理情 報送信	交差点管理情報フォーマットチェック済みで、送信準備され た交差点管理情報を模擬信号情報配信センターに送信する。
	センター間障 害情報送信	受信したセンター間障害情報もしくは当該装置起点のセン ター間障害情報に対して、信号情報センター判定状態をセッ トし、模擬信号情報配信センターに送信する。
	監視情報送信	監視情報を定期的に生成し、模擬信号情報配信センターに送 信する。
シス テム 異常 監視	信号情報集約 装置状態監視	監視情報を定期的に受信するか監視する。一定時間監視情 報を受信しない場合、接続先システムの異常と判定する。信 号情報センター判定状態に異常をセットしたセンター間障 害情報を生成し、模擬信号情報配信センターへの送信要求を 行う。 接続先システムの異常後に、監視情報を受信した場合、接 続先システムの正常と判定する。信号情報センター判定状態 に正常をセットしたセンター間障害情報を生成し、模擬信号 情報配信センターへの送信要求を行う。
	信号情報集約 装置接続状態 監視	信号情報集約装置との接続状態を監視する。切断を検出し た場合、接続断と判定する。信号情報センター判定状態に異 常をセットし、センター間障害情報を生成し、模擬信号情報 配信センターへの送信要求を行う。 接続断後に、接続を検出した場合は、信号情報集約装置と 接続完了したと判断する。信号情報センター判定状態に正常 をセットしたセンター間障害情報を生成し、模擬信号配信情 報センターへの送信要求を行う。
データ 蓄積	信号予定情報 蓄積	受信及び送信した信号予定情報をデータベースに登録し、蓄 積する。
	交差点管理情 報蓄積	受信及び送信した交差点管理情報をデータベースに登録し、 蓄積する。

機能 区分	機能 名称	機能 概要
	センター間障害情報蓄積	受信及び送信したセンター間障害情報をデータベースに登録し、蓄積する。
	信号予定情報障害情報蓄積	信号予定情報障害情報(システム状態無効/フォーマット異常)をデータベースに登録し、蓄積する。
	交差点管理情報障害情報蓄積	交差点管理情報障害情報(運用モード/テストモード)をデータベースに登録し、蓄積する。
システム 管理	信号情報集約装置接続制御	信号情報集約装置と接続する。※1 信号情報集約装置との回線の切断/接続を指示する。
	時刻同期	信号情報集約装置のタイムサーバーと時刻同期する。
模擬信号情報配信センター		
データ 受信	信号予定情報受信	模擬信号情報センターから信号予定情報を受信する。※1
	交差点管理情報受信	模擬信号情報センターから交差点管理情報を受信する。※1
	センター間障害情報受信	模擬信号情報センターからセンター間障害情報を受信する。 ※1
	監視情報受信	模擬信号情報センターから監視情報を受信する。※1
データ 配信	信号予定情報送信	受信した信号予定情報の最新状態を管理し、模擬車載機からの要求に応じて、信号予定情報を配信する。 なお、模擬車載機から停止要求が来るまでは、常に最新の信号予定情報を配信する。
システム 異常 監視	模擬信号情報センター状態監視	監視情報を定期的に受信するか監視する。一定時間監視情報を受信しない場合、接続先システムの異常と判定する。 接続先システムの異常後に、監視情報を受信した場合、接続先システムの正常と判定する。
	模擬信号情報センター接続状態監視	模擬信号情報センターとの接続状態を監視する。切断を検出した場合、接続断と判定する。 接続断後に、接続を検出した場合は、模擬信号情報センターと接続完了したと判断する。
	信号予定情報無効化	センター間障害情報の信号情報集約装置判定状態、信号情報センター判定状態、もしくは信号情報配信センターで判定した接続先装置の状態のいずれかが異常の場合、システム状態を無効にした信号予定情報を模擬車載機に配信する。 その後、センター間障害情報の信号情報集約装置判定状態、

機能 区分	機能 名称	機能 概要
		信号情報センター判定状態、もしくは信号情報配信センターで判定した接続先装置の状態の全てが正常になった場合は、受信した信号予定情報のシステム状態を無効にせずに模擬車載機に配信する。
データ 蓄積	信号予定情報蓄積	受信及び送信した信号予定情報をデータベースに登録し、蓄積する。
	交差点管理情報蓄積	受信した交差点管理情報をデータベースに登録し、蓄積する。
	センター間障害情報蓄積	受信したセンター間障害情報をデータベースに登録し、蓄積する。
シス テム 管理	模擬信号情報センター接続制御	模擬信号情報センターと接続する。※1 模擬信号情報センターとの回線の切断／接続を指示する。
	時刻同期	信号情報集約装置のタイムサーバーと時刻同期する。
検証用装置		
現況・ 履歴の 照会	信号予定情報受信履歴抽出	模擬信号情報センターまたは模擬信号情報配信センターで受信した信号予定情報の受信履歴の一覧、及び受信した信号予定情報の詳細情報を抽出する。
	信号予定情報配信履歴抽出	模擬信号情報センターまたは模擬信号情報配信センターから配信した信号予定情報の配信履歴の一覧、及び配信した信号予定情報の詳細情報を抽出する。
	交差点管理情報受信履歴抽出	模擬信号情報センターまたは模擬信号情報配信センターで受信した交差点管理情報の受信履歴の一覧、及び受信した交差点管理情報の詳細情報を抽出する。
	交差点管理情報配信履歴抽出	模擬信号情報センターから配信した交差点管理情報の配信履歴の一覧、及び配信した交差点管理情報の詳細情報を抽出する。
	センター間障害情報受信履歴抽出	模擬信号情報センターまたは模擬信号情報配信センターで受信したセンター間障害情報の受信履歴の一覧、及び受信したセンター間障害情報の詳細情報を抽出する。
	センター間障害情報配信履歴抽出	模擬信号情報センターから配信したセンター間障害情報の配信履歴の一覧、及び配信したセンター間障害情報の詳細情報を抽出する。
	接続装置状態履歴抽出	模擬信号情報センターにおいて、信号情報集約装置との接続状態の履歴の一覧を抽出する。

機能区分	機能名称	機能概要
		模擬信号情報配信センターにおいて、模擬信号情報センターとの接続状態の履歴の一覧を抽出する。
	信号予定情報稼働状態表示	信号予定情報の稼働状態（システム状態有効/無効）を表示する。
	最新接続装置状態表示	模擬信号情報センターにおいて、信号情報集約装置との最新の接続状態を表示する。 模擬信号情報配信センターにおいて、模擬信号情報センターとの最新の接続状態を表示する。
システム管理	時刻同期	信号情報集約装置のタイムサーバーと時刻同期する。
模擬車載機		
	模擬信号情報配信センター接続	模擬信号情報配信センターに接続し、指定された信号予定情報を要求する。
	信号予定情報受信	モバイル網を介して、模擬信号情報配信センターから、要求した交差点の信号予定情報を受信する。
	信号予定情報表示	受信した信号予定情報と現在時刻を元に現在灯色及び灯色の残秒数を算定する。また、その残秒数を 100ms 単位でカウントダウンし、現在灯色及び残秒数を管理する。現在時刻とこれらの情報（現在灯色及び灯色の残秒数）を画面表示する。
	時刻同期	G P S 信号を受信し、時刻同期する。

※１：各装置との間の通信プロトコル、データ構造及び配信周期に関しては別途指定するインターフェイス仕様に従うこと。

3.2.4. その他

センター装置間の通信は”MQTT over TLS”を使用し通信を行う。その際、サーバー側はクライアント装置からのデジタル証明書認証を、クライアント装置はサーバー装置からのデジタル証明書の確認を行い、双方認証を行う。その際、必要となるサーバー証明書等については、実験主体者が自営CA（Certification Authority）として、各種証明書を発行し、それを使用する。

TLS及びMQTTプロトコルでの、認証条件は次の通りである。

- ・サーバー側の認証

TLS：クライアント証明書（デジタル署名及び証明書有効期限等）

- ・クライアント側の認証

TLS：サーバー証明書（デジタル署名、証明書有効期限、CN等）

3.3. 信号情報提供検証環境の構築

警察庁・広域交通管制機械室に検証システムを構築し、別途整備された信号情報集約システムと接続することで、信号情報提供検証環境を構築した。

検証システムは11月に警察庁・広域交通管制機械室に設置された。信号情報集約システムとの接続は12月内に完了した。検証システムのシステム概観図を図6.3に、接続する模擬車載機を図6.4に示す。信号情報集約システムのラック概観図と情報参照画面の一例を図6.5、図6.6に示す。



図 6.3 検証システム（警察庁設置）の概観



図 6.4 検証システム（模擬車載機）の概観



図 6.5 信号情報集約システムの概観図

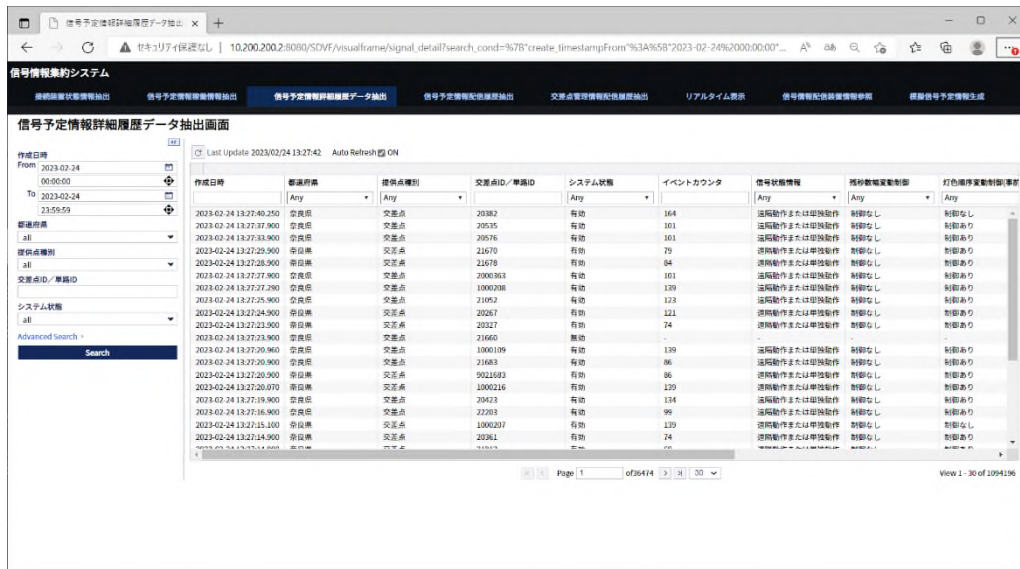


図 6.6 信号情報集約システムの情報参照画面（一例）

4. センター機器の接続試験

信号情報提供の検証を行う基本機能や相互接続を具備していることを確認するため、センター機器の接続確認試験を行う。各種試験概要とその実施内容と結果について次節以降に記載する。

4.1. 接続試験の概要

接続試験は表 6.3 に示すインターフェイス仕様・アプリケーション規格に基づき接続試験を実施する。

表 6.3 検証用センター機器の主要諸元

No.	仕様・規格案の名称	備考
1	信号情報提供・共通メッセージ規格案	
2	V 2 N・センター間情報共通メッセージ規格案	
3	信号情報配信装置－信号情報集約システム間通信アプリケーション規格案	
4	信号情報集約システム－信号情報センター間通信アプリケーション規格案	
5	信号情報センター－信号情報配信センター間通信アプリケーション規格案	

接続試験については大別して次のとおり実施するものとする。

(1) 接続切断

接続装置間の接続・切断に関する試験

(2) シーケンス／電文確認

接続装置間の各種通信電文（信号予定情報、交差点管理情報、監視情報、センター間障害

情報)の送受信を確認する試験

(3) 異常系試験

接続装置間の通信断発生、復旧に対する挙動、規約違反の電文受信時や時刻ずれ時の挙動を確認する試験

(4) シナリオ試験

全装置を接続し、最上流装置からデータ送信が開始される場合や、各装置間での通信異常が発生した場合等の全体挙動を確認する試験

4.2. 接続試験項目及び試験結果

4.2.1. 接続切断試験

接続試験の内容及び結果を表 6.4 に示す。6 件全ての試験項目に対して OK 判定となり接続切断に関してはインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、その動作に問題ないことが確認できた。

表 6.4 接続切断試験

No.	検査項目	判定	詳 細
1	模擬信号情報センターによる信号情報集約システムとの接続切断試験		
1-1	MQTT 接続	OK/NG	信号情報集約システムの MQTT ブローカーに対して、MQTT プロトコルの CONNECT により接続ができること。
2-2	MQTT 切断	OK/NG	信号情報集約システムの MQTT ブローカーに対して、MQTT プロトコルの DISCONNECT により切断ができること。
2	模擬信号情報配信センターによる模擬信号情報センターとの接続切断試験		
2-1	MQTT 接続	OK/NG	模擬信号情報センターの MQTT ブローカーに対して、MQTT プロトコルの CONNECT により接続ができること。
2-2	MQTT 切断	OK/NG	模擬信号情報センターの MQTT ブローカーに対して、MQTT プロトコルの DISCONNECT により切断ができること。
3	時刻同期試験		
3-1	模擬信号情報センター	OK/NG	信号情報集約システムのタイムサーバーと時刻同期できること。
3-2	模擬信号情報配信センター	OK/NG	信号情報集約システムのタイムサーバーと時刻同期できること。

4.2.2. シーケンス／電文確認試験

シーケンス／電文確認試験の内容及び結果を表 6.5 に示す。16 件全ての試験項目に対して OK 判定となり、シーケンス／電文確認に関してはインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、その動作に問題ないことが確認できた。

表 6.5 シーケンス／電文確認試験

No.	検査項目	判定	詳 細
1	模擬信号情報センター起動試験		
1-1	信号情報集約システム起動中	OK/NG	模擬信号情報センター起動後に、最新の交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を受信すること。 受信した交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を

			模擬信号情報配信センターに送信すること。 ※信号情報配信装置は起動していることとする。
1-2	信号情報集約システム未起動	OK/NG	信号情報集約システム起動後に、最新の交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を受信すること。 受信した交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。 ※信号情報配信装置は起動していることとする。
2	模擬信号情報配信センター起動試験		
2-1	模擬信号情報センター起動中	OK/NG	模擬信号情報配信センター起動後に、最新の交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を受信すること。 受信した信号予定情報を模擬車載機に送信すること。 ※信号情報配信装置、信号情報集約システムは起動していることとする。
2-2	模擬信号情報センター未起動	OK/NG	模擬信号情報センター起動後に、最新の交差点管理情報、信号予定情報、センター間障害情報を受信すること。 受信した信号予定情報を模擬車載機に送信すること。 ※信号情報配信装置、信号情報集約システムは起動していることとする。
3	模擬信号情報センター停止試験		
3-1	模擬信号情報センター停止、及び再起動	OK/NG	模擬信号情報センターが正常に停止すること。 模擬信号情報センターの再起動後、信号情報集約システムと接続し、最新の信号予定情報を受信すること。
4	模擬信号情報配信センター停止試験		
4-1	模擬信号情報配信センター停止、及び再起動	OK/NG	模擬信号情報配信センターが正常に停止すること。 模擬信号情報配信センターの再起動後、模擬信号情報センターと接続し、最新の信号予定情報を受信すること。
5	模擬信号情報センター送受信試験		
5-1	信号予定情報	OK/NG	信号情報集約システムから信号予定情報を受信し、模擬信号情報配信センターに送信すること。
5-2	交差点管理情報	OK/NG	信号情報集約システムから交差点管理情報を受信し、模擬信号情報配信センターに送信すること。
5-3	センター間障害情報	OK/NG	信号情報集約システムからセンター間障害情報を受信し、信号情報センター判定状態をセット後、模擬信号情報配信センターに送信すること。
5-4	監視情報	OK/NG	信号情報集約システムから定周期で監視情報を受信すること。
5-5	計測用監視情報	OK/NG	模擬信号情報センターが送信した計測用監視情報を折り返し受信すること。

6	模擬信号情報配信センター送受信試験		
6-1	信号予定情報	OK/NG	模擬信号情報センターから信号予定情報を受信し、模擬車載機に送信すること。
6-2	交差点管理情報	OK/NG	模擬信号情報センターから交差点管理情報を受信すること。
6-3	センター間障害情報	OK/NG	模擬信号情報センターからセンター間障害情報を受信すること。 異常のセンター間障害情報を受信後、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機に送信すること。
6-4	監視情報	OK/NG	模擬信号情報センターから定周期で監視情報を受信すること。
6-5	計測用監視情報	OK/NG	模擬信号情報配信センターが送信した計測用監視情報を折り返し受信すること。

4.2.3. 異常系試験

異常系試験の内容及び結果を表 6.6 に示す。12 件全ての試験項目に対して OK 判定となり、異常系に関してはインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、その動作に問題ないことが確認できた。

表 6.6 異常系試験

No.	検査項目	判定	詳 細
1	信号情報集約システム・模擬信号情報センター間 切断試験		
1-1	切断検出	OK/NG	信号情報集約システムと模擬信号情報センター間の LAN ケーブルを抜去したときに、模擬信号情報センターが切断を検出し、異常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。
1-2	接続検出	OK/NG	1-1 の後、信号情報集約システムと模擬信号情報センター間の LAN ケーブルを挿入したときに、模擬信号情報センターが信号情報集約システムと接続すること。 接続後に正常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。
2	模擬信号情報センター・模擬信号情報配信センター間 切断試験		
2-1	切断検出	OK/NG	模擬信号情報センターと模擬信号情報配信センター間の LAN ケーブルを抜去したときに、模擬信号情報配信センターが切断を検出し、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機に送信すること。
2-2	接続検出	OK/NG	2-1 の後、模擬信号情報センターと模擬信号情報配信センター間の LAN ケーブルを挿入したときに、模擬信号情報配信センターが模擬信号情報センターと接続すること。

			接続後に受信した信号予定情報のシステム状態を無効にせずに模擬車載機に送信すること。
3	模擬信号情報センター監視情報未受信試験		
3-1	監視情報未受信	OK/NG	信号情報集約システムから一定時間監視情報を受信しなかったときに、異常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。
3-2	監視情報未受信後受信	OK/NG	3-1 の後、信号情報集約システムから監視情報を受信したときに、正常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。
4	模擬信号情報配信センター監視情報未受信試験		
4-1	監視情報未受信	OK/NG	模擬信号情報センターから一定時間監視情報を受信しなかったときに、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機に送信すること。
4-2	監視情報未受信後受信	OK/NG	4-1 の後、模擬信号情報センターから監視情報を受信したときに、その後受信した信号予定情報のシステム状態を無効にせずに模擬車載機に送信すること。
5	模擬信号情報センターフォーマットチェック試験		
5-1	信号予定情報フォーマットチェック	OK/NG	信号情報集約システムから受信した信号予定情報のフォーマットが規約違反のとき、システム状態無効の信号予定情報を模擬信号情報配信センターに送信すること。
5-2	交差点管理情報フォーマットチェック	OK/NG	信号情報集約システムから受信した交差点管理情報のフォーマットが規約違反のとき、交差点管理情報を模擬信号情報配信センターに送信しないこと。
6	模擬信号情報センター時刻ずれ試験		
6-1	未来時刻ずれ	OK/NG	模擬信号情報センターの時刻が未来にずれているとき、受信した信号予定情報、交差点管理情報、センター間障害情報を正常に模擬信号情報配信センターに送信すること。
6-2	過去時刻ずれ	OK/NG	模擬信号情報センターの時刻が過去にずれているとき、受信した信号予定情報、交差点管理情報、センター間障害情報を正常に模擬信号情報配信センターに送信すること。

4.2.4. シナリオ試験

シナリオ試験の内容及び結果を表 6.7 に示す。17 件全ての試験項目に対して OK 判定となり、シナリオに関してはインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、その動作に問題ないことが確認できた。

表 6.7 シナリオ試験

No.	検査項目	判定	詳 細
1	信号予定情報送受信試験		
1-1	信号予定情報（管制方式）	OK/NG	管制方式の交差点において、信号情報配信装置が生成した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-2	信号予定情報（管制方式・リコール制御）	OK/NG	管制方式のリコール制御の交差点において、信号情報配信装置が生成した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-3	信号予定情報（集中方式）	OK/NG	集中方式の交差点において、信号情報配信装置が受信、伝送変換した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-4	信号予定情報（集中方式・リコール制御）	OK/NG	集中方式のリコール制御の交差点において、信号情報配信装置が受信、伝送変換した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-5	信号予定情報（集中方式・感応制御）	OK/NG	集中方式の感応制御の交差点において、信号情報配信装置が受信、伝送変換した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-6	信号予定情報（集中方式・リコール&感応制御）	OK/NG	集中方式のリコール制御・感応制御の交差点において、信号情報配信装置が受信、伝送変換した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-7	信号予定情報（制御機方式）	OK/NG	制御機方式の交差点において、信号情報路側機等が生成した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
1-8	信号予定情報（制御機方式・リコール制御）	OK/NG	制御機方式のリコール制御の交差点において、信号情報路側機等が生成した信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
2	交差点管理情報送受信試験		
2-1	交差点管理情報	OK/NG	信号情報配信装置が生成した交差点管理情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。
2-2	交差点管理情報追加	OK/NG	交差点管理情報が追加になったとき、信号情報配信装置が追加した交差点管理情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 追加になった交差点の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
2-3	交差点管理情報変更	OK/NG	交差点管理情報の中身が変更になったとき、信号情報配信装置が変更した交差点管理情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 変更になった交差点の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3	センター間障害情報送受信試験		
3-1	信号情報配信装置	OK/NG	信号情報集約システムが信号情報配信装置間でセンター間障害

	置・信号情報集約システム間障害発生		の発生を検出したときに、信号情報集約システムが生成した異常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 その後、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3-2	信号情報配信装置・信号情報集約システム間障害復旧	OK/NG	3-1 の後、信号情報集約システムが信号情報配信装置間でセンター間障害の復旧を検出したときに、信号情報集約システムが生成した正常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 その後、システム状態有効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3-3	信号情報集約システム・模擬信号情報センター間障害発生	OK/NG	模擬信号情報センターが信号情報集約システム間でセンター間障害の発生を検出したときに、模擬信号情報センターが生成した異常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 その後、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3-4	信号情報集約システム・模擬信号情報センター間障害復旧	OK/NG	3-3 の後、模擬信号情報センターが信号情報集約システム間でセンター間障害の復旧を検出したときに、模擬信号情報センターが生成した正常のセンター間障害情報を模擬信号情報配信センターが受信すること。 その後、システム状態有効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3-5	模擬信号情報センター・模擬信号情報配信センター間障害発生	OK/NG	模擬信号情報配信センターが模擬信号情報センター間でセンター間障害の発生を検出したときに、システム状態無効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。
3-6	模擬信号情報センター・模擬信号情報配信センター間障害復旧	OK/NG	3-5 の後、模擬信号情報配信センターが模擬信号情報センター間でセンター間障害の復旧を検出したときに、システム状態有効の信号予定情報を模擬車載機が受信すること。

4.3. 接続試験まとめ

接続切断試験、シーケンス／電文確認試験、異常系試験、シナリオ試験を実施した。この結果からインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、システム挙動として問題ないことが確認できた。

5. 信号情報提供に係るシステム検証

5.1. システム検証の概要

システム検証の内容に関して、システム動作区分、検証項目について、検証実施対象装置を整理した。その結果を表 6.8 にまとめた。また、検証内容の概要を表 6.9 に示す。

表 6.8 検証内容と対象装置

区分	検証項目	検証装置				備考
		集約装置	信号 C	配信 C	模擬車載	
基本動作検証	時刻同期	●	●	●	●	
	セキュリティ動作	○	○	○	○	
	基本機能検証	○	○	○	○	
	性能) 遅延時間	▲	●	●	●	ネットワーク帯域、リソース値を合わせて計測
	正確) 規約適合度	－	●	－	－	
	可用) 情報提供稼働率	－	●	●	●	青時間余裕度を合わせて計測
異常時動作検証	異常時動作検証	●	○	○	○	
	性能) 遅延時間	●	●	●	●	ネットワーク帯域、リソース値を合わせて計測
	正確) 規約適合度	－	●	－	－	
負荷動作検証	負荷時動作検証	○	○	○	－	基本機能が遅滞なく動作するかを検証
	性能) 遅延時間	▲	●	●	●	ネットワーク帯域、リソース値を合わせて計測

凡例) ●検証対象、○実施対象(接続試験等での実施)、▲検証が一部となり、参考値の提示

表 6.9 検証内容の概要

検証項目	検証内容
時刻同期動作検証	信号情報集約装置、模擬信号情報センター、模擬信号情報配信センターについてはGPS信号を時刻ソースとした NTP サーバーに同期し、一定の誤差の範囲内であることを確認する。 模擬車載機についてもGPS信号を受信し、直接時刻を合わせ、それが一定の誤差の範囲内であることを確認する。
セキュリティ動作検証	クライアント認証を用いた MQTTS プロトコルで信号予定情報等を転送・配信できることを確認する。
基本動作検証	システム検証のために準備した機能が動作することを確認する。
遅延時間の検証	信号予定情報は信号情報集約装置、模擬信号情報センター、模擬信号情報配信センターを経由し、模擬車載機に配信されるため、各装置を経由時に転送遅延が発生する。その転送遅延について測定し、検証する。全体 7.8 秒、各装置 0.2 秒、模擬車載機までの無線区間は 0.9 秒を目標とする。
規格適合度の検証	動的に変化する信号予定情報に対してインターフェイス規格適合度を検証する。信号情報提供種別及び信号制御種別が異なるため、各々の組合せにおいて規格適合検査を行い、その適合違反回数を測定し、規格適合度を検証する。規格適合度は 99.0%を目標とする。

信号予定情報の稼働率	信号予定情報が自動運転車両等に利用可能であった時間を信号予定情報が有効であった時間（以下、「予定情報利用可能時間」という）とし、その時間を測定する。計測期間に対する予定情報利用可能時間の割合である信号予定情報の稼働率を検証する。信号予定情報の稼働率は 99.0%を目標とする。
異常時動作検証	システムとして想定される障害発生時においてシステム全体の挙動を確認する。特に、センター間障害情報による異常情報通知及び信号予定情報の早急な無効化が行われる動作を確認する。センター間異常の通知が 1 秒以内に通知されることを確認する。

5.2. 検証時の機器構成

5.2.1. 基本動作検証・異常時動作検証のシステム構成

本動作検証時の機器構成は前掲の図 6.2 に示すシステム構成で実施する。

5.2.2. 負荷時動作検証のシステム構成

負荷時の動作検証は、信号情報集約システムが最大規模である 1536 交差点分の信号予定情報を周期的に受信する環境であり、県側に設置される信号情報配信装置も最大規模である 512 交差点分のデータを周期的に送信する試験条件とする。本動作検証を行うシステム構成を図 6.7 に示す。

まず、県側で生成される信号予定情報については最大規模分の実装がないため、予定情報シミュレータにより不足分を補填する。予定情報シミュレータは、制御機方式に見立てた信号制御機相当のものとして動作する。これは検証システムの一部として信号情報集約システム内に設置され、信号情報配信装置が最大規模の 512 の信号予定情報を扱えるように補填分の信号予定情報を信号情報配信装置に向けて送信する。これにより信号情報配信装置から最大規模のデータが送信される状況となる。次に、残りの 1024 交差点分のデータについては、信号情報集約システム内に疑似配信装置を 2 つ設置し、各々最大規模である 512 交差点分のデータを周期的に送信する。これらの対応により、信号情報集約装置から配信される信号予定情報の規模は 1536 交差点分となる。

なお、疑似配信装置及び予定情報シミュレータから送信される信号予定情報は、アプリケーションフォーマット上で規定される最大サイズのデータを周期的に送信するものとする。

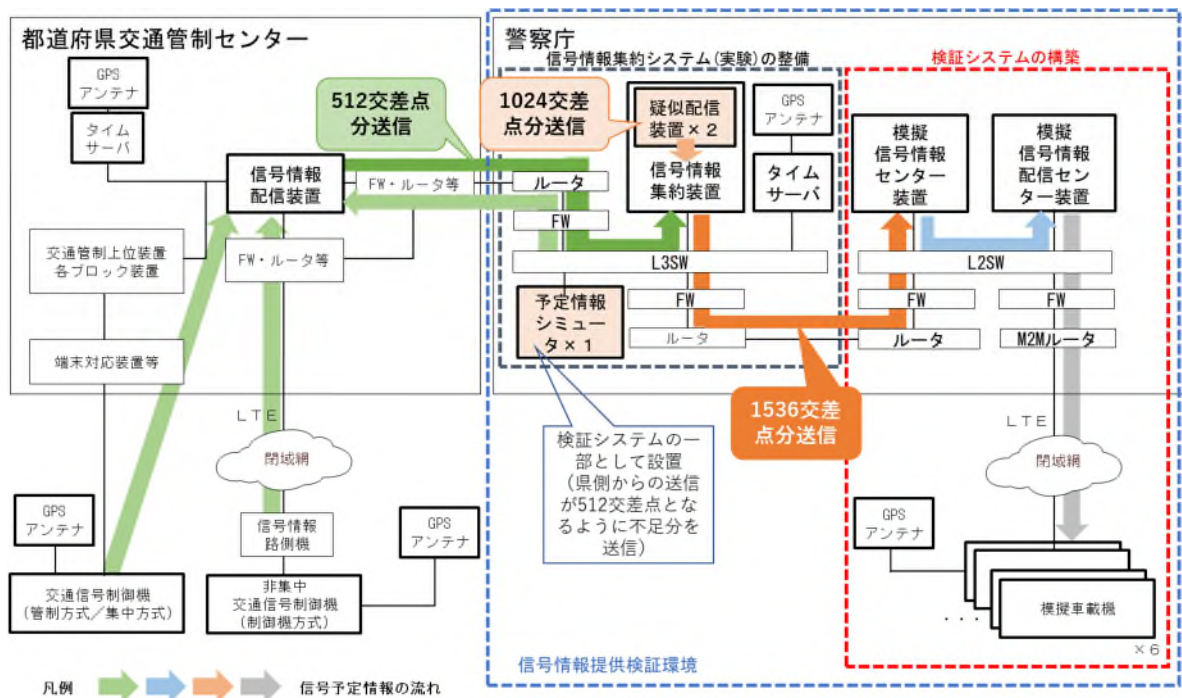


図 6.7 負荷時動作検証のシステム構成図

5.3. 検証内容

5.3.1. 時刻同期動作検証

【概要】

信号情報を中継、受信する次の装置の時刻精度を検証する。

- ・ 信号情報集約装置
- ・ 信号情報センター装置
- ・ 信号情報配信センター装置
- ・ 模擬車載機

各装置の時刻同期方式を表 6.10 に示す。

表 6.10 各装置の時刻同期方式

時刻同期方式	同期元	装置名称
NTPによる時刻同期 (NTP/Chrony)	タイムサーバー	信号情報集約装置
		信号情報センター装置
		信号情報配信センター装置
GPS信号による同期	GPS信号	模擬車載機

【測定対象・方法】

信号情報集約装置、信号情報センター装置、信号情報配信センター装置については信号情報

集約システム内に設置されるタイムサーバー（GPSによる時刻ソース）で同期し、模擬車載機はGPSによる時刻同期を行っている。

各装置の時刻同期方式と時刻精度確認方法を、表 6.11 に示す。NTPにより時刻同期する装置に関しては同期確認コマンドを用いて時刻同期の状況を出力し、その時刻の差分を確認する。次に、模擬車載機はNTPサーバーの時計表示部の計時と模擬車載機の計時を同時にビデオカメラで撮影して時刻の切替りタイミングをフレーム数の際から計測する。

表 6.11 各装置の時刻精度確認方法

時刻同期方式	装置名称	確認方法
NTPによる時刻同期 (NTP/Chrony)	信号情報集約装置	時刻同期確認 コマンド
	信号情報センター装置	
	信号情報配信センター装置	
GPS信号による同期	模擬車載機	ビデオカメラによる フレーム差分計測

【測定条件・集計】

確立された技術要素を適用しているため、時刻精度の確認は次の通りとする。

測定項目：時刻ソース（GPS信号と同期した時計）と当該装置の時刻差分

期間・方法：1日間（10時間） サンプル調査（1時間に1回以上）

集計方法：平均値、最大値、最小値

【検証内容】

時刻差分について平均値が次の通りであることを検証する。

- ・信号情報集約装置：10ms 以内
- ・信号情報センター装置：10ms 以内
- ・信号情報配信センター装置：10ms 以内
- ・模擬車載機：100ms 以内

【検証結果】

検証結果を表 6.12 に示す。これにより、NTPによる時刻同期方式を行っている装置については、時刻差分が精度範囲にあることが分かった。また、GPS信号による時刻同期方式を行っている装置についても、時刻差分が精度範囲にあることが分かった。以降の各種測定を行うにあたり、時刻誤差に関しては問題ないレベルであると判断できる。

表 6.12 各装置の時刻同期方式

装置名称	平均値 (ms)	最大値 (ms)	最小値 (ms)
信号情報集約装置	0.08	0.20	0.00 ※1
信号情報センター	0.02	0.13	0.00 ※1
信号情報配信センター	0.02	0.10	0.00 ※1
模擬車載機	53.3	66.7	33.3

※1 誤差が 0 ではなく、0.01 ms 未満であることを示す。

5.3.2. セキュリティ動作検証

【概要】

本テーマでは信号情報を中継、受信する次の装置間のセキュリティ動作を検証する。

- ・ 信号情報集約装置—信号情報センター装置間
- ・ 信号情報センター装置—信号情報配信センター装置間
- ・ 信号情報配信センター装置—模擬車載機間

【確認対象・方法】

MQTT over TLS は、確立された手法であるため、検証方法としてはパケットキャプチャ可能なソフトウェアを使用する。ネットワーク上のパケットをパケットキャプチャソフトウェアにより、キャプチャし、TLS1.3 で通信できているかを確認する。使用したソフトウェアは、Wireshark (Ver3.6.5) である。パケットキャプチャを行う装置を表 6.13 及び図 6.8 に示す。

表 6.13 MQTT over TLSの接続時の確認項目

確認対象	パケット キャプチャ先
信号情報集約装置—信号情報センター装置間	集約側 FW（図中①）
信号情報センター装置—信号情報配信センター装置間	L2SW（図中②）
信号情報配信センター装置—模擬車載機間	車載側 FW（図中③）

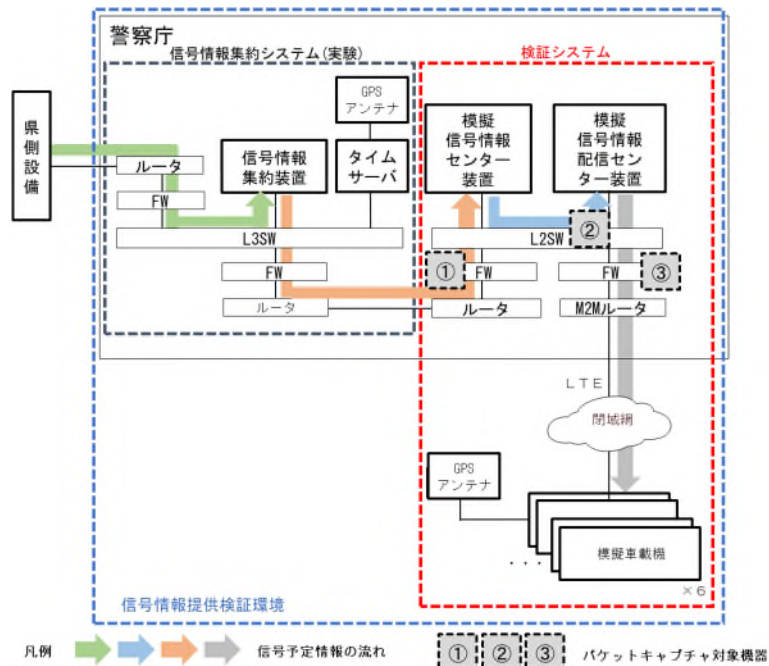


図 6.8 パケットキャプチャ対象機器

当該通信を行っていることを確認するため、パケットキャプチャソフトウェアにおいて、次の事項を確認する

- ・送信元 IP アドレス (Source)
- ・送信先 IP アドレス (Destination)
- ・使用プロトコル (Protocol) : TLS v1.3
- ・送信先ポート番号 : 8883

なお、確認対象と送信元 IP アドレスと送信先 IP アドレスの関係は表 6.14 のとおりである。

表 6.14 確認対象と送信元・送信先 IP アドレスの一覧

確認対象	Source	Destination
信号情報集約装置—信号情報センター装置間	信号情報集約装置の IP アドレス	信号情報センター装置の IP アドレス
	信号情報センター装置	信号情報集約装置

	の IP アドレス	の IP アドレス
信号情報センター装置 －信号情報配信センター装置間	信号情報センター装置 の IP アドレス	信号情報配信センター 装置の IP アドレス
	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	信号情報センター装置 の IP アドレス
信号情報配信センター 装置－模擬車載機間	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	模擬車載機の IP アドレ ス
	模擬車載機の IP アドレ ス	信号情報配信センター 装置の IP アドレス

【検証内容】

MQTT 接続時のパケットキャプチャにおいて、表 6.14 の確認項目が全て確認でき、信号予定情報等が授受できていることをもって、本検証項目を完了するものとする。

【検証結果】

検証結果を表 6.15 に示す。

表 6.15 MQTT over TLS 通信の検証結果

確認装置	Source	Destination	結果
信号情報集約装置－信号情報センター装置間	信号情報集約装置 の IP アドレス	信号情報センター装置 の IP アドレス	OK
	信号情報センター装置 の IP アドレス	信号情報集約装置 の IP アドレス	OK
信号情報センター装置 －信号情報配信センター装置間	信号情報センター装置 の IP アドレス	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	OK
	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	信号情報センター装置 の IP アドレス	OK
信号情報配信センター 装置－模擬車載機間	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	模擬車載機の IP アドレ ス	OK
	模擬車載機の IP アドレ ス	信号情報配信センター 装置の IP アドレス	OK

また、確認内容を図 6.9～図 6.11 に添付する。

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 移動(M) キーボード(K) 分析(A) 統計(S) 電話(D) 無線(W) ツール(T) ヘルプ(H)

ipaddr == 192.168.4.79

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
61	39.354992	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	377	Client Hello
62	39.355231	192.168.200.1	192.168.4.79	TCP	66	8883 → 45985 [ACK] Seq=1 Ack=312 Win=30080 Len=0 TSval=87062361 TSe...
63	39.357059	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	1514	Server Hello, Change Cipher Spec, Application Data, Application Data
64	39.357148	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=312 Ack=1449 Win=32128 Len=0 TSval=337037173...
65	39.357312	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	991	Application Data, Application Data, Application Data
66	39.357418	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=312 Ack=2374 Win=35072 Len=0 TSval=337037173...
67	39.359533	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	1514	Change Cipher Spec
68	39.359533	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	684	Application Data, Application Data, Application Data
69	39.360012	192.168.200.1	192.168.4.79	TCP	66	8883 → 45985 [ACK] Seq=2374 Ack=2378 Win=34176 Len=0 TSval=87062366...
70	39.360111	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	111	Application Data
71	39.360839	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	92	Application Data
72	39.401915	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=2423 Ack=2400 Win=35072 Len=0 TSval=33703721...
73	39.455348	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	106	Application Data
74	39.456527	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	93	Application Data
75	39.456527	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	131	Application Data
76	39.456538	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=2463 Ack=2427 Win=35072 Len=0 TSval=33703722...

▼ TLSv1.3 Record Layer: Handshake Protocol: Client Hello
Content Type: Handshake (22)
Version: TLS 1.0 (0x0301)
Length: 306

▼ Handshake Protocol: Client Hello
Handshake Type: Client Hello (1)
Length: 302
Version: TLS 1.2 (0x0303)
Random: 7c4d28e78fb275df9047e01587b8e641e95df4b9f6abfb29d383972ffe9e8a23
Session ID Length: 32
Session ID: 70769565746bc7c0e0bc7f2156b9ff71c6a8ec35a28ed429977c6631d7d242ae
Cipher Suites Length: 72
Cipher Suites (36 suites)
Compression Methods Length: 1
Compression Methods (1 method)
Extensions Length: 157
Extension: server_name (len=18)
Extension: ec_point_formats (len=4)
Extension: supported_groups (len=12)
Extension: session_ticket (len=0)
Extension: encrypt_then_mac (len=0)
Extension: extended_master_secret (len=0)
Extension: signature_algorithms (len=38)
Extension: supported_versions (len=5)
Type: supported_versions (43)
Length: 5
Supported Versions length: 4
Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)
Supported Version: TLS 1.2 (0x0303)
Extension: psk_key_exchange_modes (len=2)
Extension: key_share (len=38)
[JA3 Fullstring [truncated]: 771,4866-4865-4868-49196-49200-52392-49325-49195-49199-49324-49187-49191-49162-49172-49161-49171-15...

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 移動(M) キーボード(K) 分析(A) 統計(S) 電話(D) 無線(W) ツール(T) ヘルプ(H)

ipaddr == 192.168.4.79

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
61	39.354992	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	377	Client Hello
62	39.355231	192.168.200.1	192.168.4.79	TCP	66	8883 → 45985 [ACK] Seq=1 Ack=312 Win=30080 Len=0 TSval=87062361 TSe...
63	39.357059	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	1514	Server Hello, Change Cipher Spec, Application Data, Application Data
64	39.357148	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=312 Ack=1449 Win=32128 Len=0 TSval=337037173...
65	39.357312	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	991	Application Data, Application Data, Application Data
66	39.357418	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=312 Ack=2374 Win=35072 Len=0 TSval=337037173...
67	39.359533	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	1514	Change Cipher Spec
68	39.359533	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	684	Application Data, Application Data, Application Data
69	39.360012	192.168.200.1	192.168.4.79	TCP	66	8883 → 45985 [ACK] Seq=2374 Ack=2378 Win=34176 Len=0 TSval=87062366...
70	39.360111	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	111	Application Data
71	39.360839	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	92	Application Data
72	39.401915	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=2423 Ack=2400 Win=35072 Len=0 TSval=33703721...
73	39.455348	192.168.4.79	192.168.200.1	TLSv1.3	106	Application Data
74	39.456527	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	93	Application Data
75	39.456527	192.168.200.1	192.168.4.79	TLSv1.3	131	Application Data
76	39.456538	192.168.4.79	192.168.200.1	TCP	66	45985 → 8883 [ACK] Seq=2463 Ack=2427 Win=35072 Len=0 TSval=33703722...

▼ TLSv1.3 Record Layer: Handshake Protocol: Server Hello
Content Type: Handshake (22)
Version: TLS 1.2 (0x0303)
Length: 122

▼ Handshake Protocol: Server Hello
Handshake Type: Server Hello (2)
Length: 118
Version: TLS 1.2 (0x0303)
Random: 63902fab58491b95304c5a1a115b6218fe520b542e1180af38bdde8cc57d877d
Session ID Length: 32
Session ID: 70769565746bc7c0e0bc7f2156b9ff71c6a8ec35a28ed429977c6631d7d242ae
Cipher Suite: TLS_AES_256_GCM_SHA384 (0x1302)
Compression Method: null (0)
Extensions Length: 46
Extension: supported_versions (len=2)
Type: supported_versions (43)
Length: 2
Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)
Extension: key_share (len=36)
Type: key_share (51)
Length: 36
Key Share extension
[JA3 Fullstring: 771,4866,43-51]
[JA3S: 15af977ce25de452b96affa2addb1036]

▼ TLSv1.3 Record Layer: Change Cipher Spec Protocol: Change Cipher Spec
Content Type: Change Cipher Spec (20)
Version: TLS 1.2 (0x0303)
Length: 1
Change Cipher Spec Message

▼ TLSv1.3 Record Layer: Application Data Protocol: mqtt
Opaque Type: Application Data (23)
Version: TLS 1.2 (0x0303)
Length: 23

図 6.9 パケットキャプチャソフトによるプロトコル確認内容 1
(信号情報集約装置～模擬信号情報センター)

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
89	30.238683	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	376	Client Hello
90	30.238683	192.168.4.79	192.168.4.89	TCP	66	8883 → 54419 [ACK] Seq=1 Ack=311 Win=30080 Len=0 TSval=342596184 TS...
91	30.240227	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1514	Server Hello, Change Cipher Spec, Application Data, Application Data
92	30.240484	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1238	Application Data, Application Data, Application Data
93	30.240484	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=311 Ack=1449 Win=32128 Len=0 TSval=378966444...
94	30.240484	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=311 Ack=2621 Win=35072 Len=0 TSval=378966444...
95	30.242666	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	1514	Change Cipher Spec
96	30.242922	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	1017	Application Data, Application Data, Application Data
97	30.242922	192.168.4.79	192.168.4.89	TCP	66	8883 → 54419 [ACK] Seq=2621 Ack=2710 Win=35840 Len=0 TSval=34259618...
98	30.243244	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	111	Application Data
99	30.243569	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1281	Application Data
100	30.284359	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=2755 Ack=3836 Win=37888 Len=0 TSval=37896644...
101	30.284605	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1307	Application Data, Application Data
102	30.284934	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=2755 Ack=5077 Win=40832 Len=0 TSval=37896644...
104	30.339139	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	107	Application Data
105	30.339393	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	93	Application Data

▼

TLSv1.3 Record Layer: Handshake Protocol: Client Hello

Content Type: Handshake (22)

Version: TLS 1.0 (0x0301)

Length: 305

▼

Handshake Protocol: Client Hello

Handshake Type: Client Hello (1)

Length: 301

Version: TLS 1.2 (0x0303)

Random: 17a4075a582bad3d7b94cf853484dd595d179352039a4d29b9c8d8bfe92c0e08

Session ID Length: 32

Session ID: 57b84b69c529230fc98303bee227d015f6e2d01dfaebdb2b96e36173468f5295

Cipher Suites Length: 72

Cipher Suites (36 suites)

Compression Methods Length: 1

Compression Methods (1 method)

Extensions Length: 156

Extension: server_name (len=17)

Extension: ec_point_formats (len=4)

Extension: supported_groups (len=12)

Extension: session_ticket (len=0)

Extension: encrypt_then_mac (len=0)

Extension: extended_master_secret (len=0)

Extension: signature_algorithms (len=38)

Extension: supported_versions (len=5)

Type: supported_versions (43)

Length: 5

Supported Versions length: 4

Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)

Supported Version: TLS 1.2 (0x0303)

Extension: psk_key_exchange_modes (len=2)

Extension: key_share (len=38)

[JA3 Fullstring [truncated]]: 771,4866-4865-4868-49196-49200-52393-52392-49325-49195-49199-49324-49187-49191-49162-49172-49161-49171-15...

[JA3: 56319824097a5d8e72fbc4146d7b14dd]

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
89	30.238683	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	376	Client Hello
90	30.238683	192.168.4.79	192.168.4.89	TCP	66	8883 → 54419 [ACK] Seq=1 Ack=311 Win=30080 Len=0 TSval=342596184 TS...
91	30.240227	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1514	Server Hello, Change Cipher Spec, Application Data, Application Data
92	30.240484	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1238	Application Data, Application Data, Application Data
93	30.240484	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=311 Ack=1449 Win=32128 Len=0 TSval=378966444...
94	30.240484	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=311 Ack=2621 Win=35072 Len=0 TSval=378966444...
95	30.242666	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	1514	Change Cipher Spec
96	30.242922	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	1017	Application Data, Application Data, Application Data
97	30.242922	192.168.4.79	192.168.4.89	TCP	66	8883 → 54419 [ACK] Seq=2621 Ack=2710 Win=35840 Len=0 TSval=34259618...
98	30.243244	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	111	Application Data
99	30.243569	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1281	Application Data
100	30.284359	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=2755 Ack=3836 Win=37888 Len=0 TSval=37896644...
101	30.284605	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	1307	Application Data, Application Data
102	30.284934	192.168.4.89	192.168.4.79	TCP	66	54419 → 8883 [ACK] Seq=2755 Ack=5077 Win=40832 Len=0 TSval=37896644...
104	30.339139	192.168.4.89	192.168.4.79	TLSv1.3	107	Application Data
105	30.339393	192.168.4.79	192.168.4.89	TLSv1.3	93	Application Data

▼

TLSv1.3 Record Layer: Handshake Protocol: Server Hello

Content Type: Handshake (22)

Version: TLS 1.2 (0x0303)

Length: 122

▼

Handshake Protocol: Server Hello

Handshake Type: Server Hello (2)

Length: 118

Version: TLS 1.2 (0x0303)

Random: 3a598deff0e9a670c7bad869f89cad720fc3239964c2bd0cb6248799b60299c89

Session ID Length: 32

Session ID: 57b84b69c529230fc98303bee227d015f6e2d01dfaebdb2b96e36173468f5295

Cipher Suite: TLS_AES_256_GCM_SHA384 (0x1302)

Compression Method: null (0)

Extensions Length: 46

Extension: supported_versions (len=2)

Type: supported_versions (43)

Length: 2

Supported Version: TLS 1.3 (0x0304)

Extension: key_share (len=36)

Type: key_share (51)

Length: 36

Key Share extension

[JA3 Fullstring: 771,4866,43-51]

[JA3: 15af977ce25de452b96affa2add01036]

▼

TLSv1.3 Record Layer: Change Cipher Spec Protocol: Change Cipher Spec

Content Type: Change Cipher Spec (20)

Version: TLS 1.2 (0x0303)

Length: 1

Change Cipher Spec Message

▼

TLSv1.3 Record Layer: Application Data Protocol: mqtt

Opaque Type: Application Data (23)

Version: TLS 1.2 (0x0303)

Length: 23

図 6.10 パケットキャプチャソフトによるプロトコル確認内容 2
(模擬信号情報センター～模擬信号情報配信センター)

190

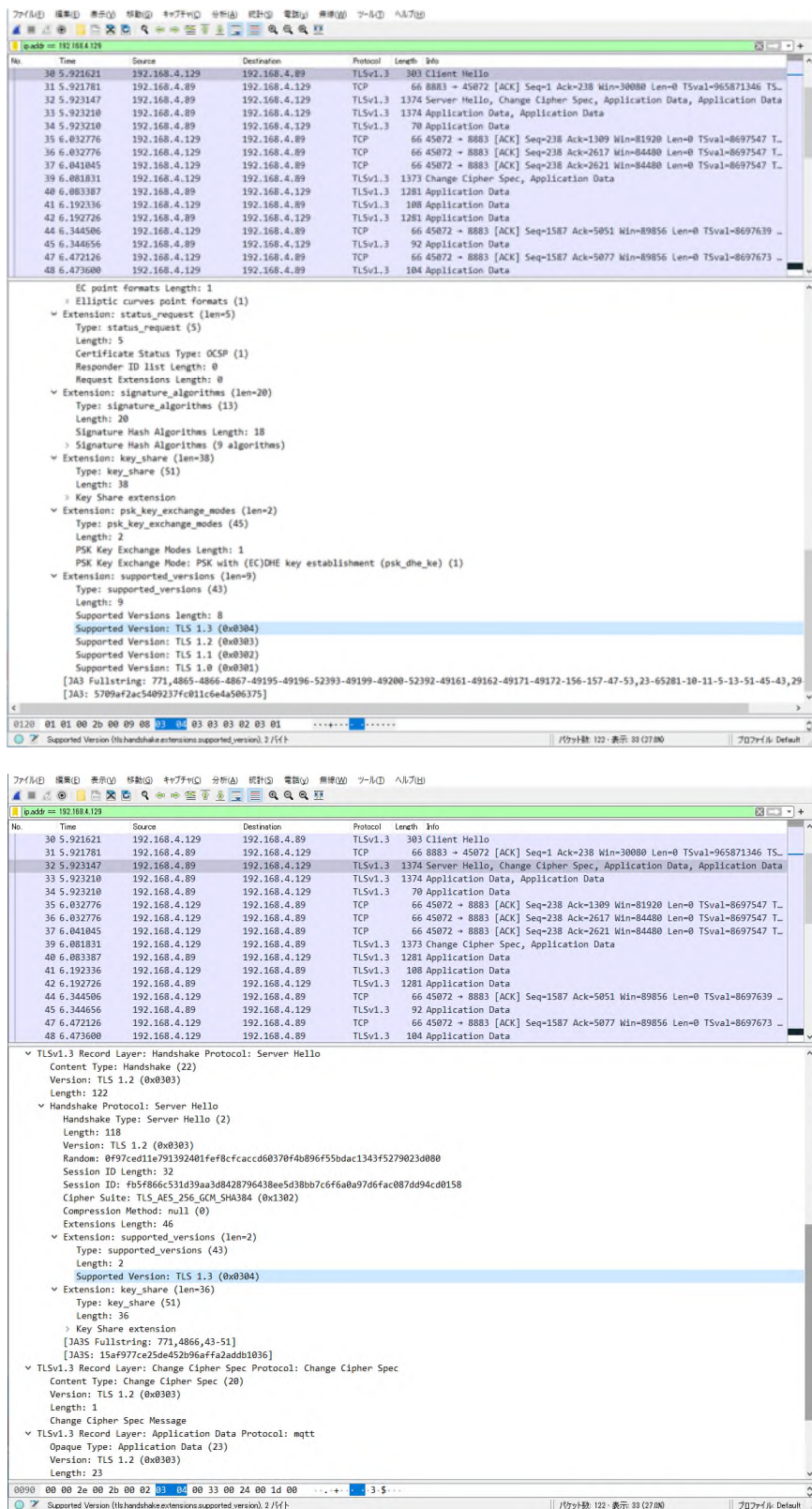


図 6.11 パケットキャプチャソフトによるプロトコル確認内容 3
(模擬信号情報配信センター～模擬車載機)

5.3.3. 基本動作検証

本動作検証については、システム検証のために準備した機能が動作することを確認するため実施するものである。これは、「4. センター機器の接続試験」の内、「4.2.1 接続切断試験」「4.2.2 シーケンス／電文確認試験」「4.2.4 シナリオ試験」において確認した内容が相当する。これらについては接続試験において全て確認できており、システム検証に必要な基本機能が具備されていることが確認できた。

5.3.4. 異常時動作検証

本動作検証はシステムとして想定される障害発生（接続・切断等含む）においてシステム全体の挙動を確認するものである。これは、「4. センター機器の接続試験」の内、「4.2.3 異常試験」の内容が相当する。これらについては接続試験において全て確認できており、システム検証に必要な基本機能が具備されていることが確認できた。

さらに、センター間障害情報による異常情報通知及び信号予定情報の無効化が行われるまでの動作については動作以外に、所要時間について計測するものとする。これについては、後述の別項にて記載するものとする。

5.3.5. 負荷時動作検証

本動作検証は信号情報集約システムが想定される最大規模の信号予定情報を扱う場合の動作検証を行う。「5.2.2 負荷時動作検証のシステム構成」にて説明したシステム環境を用意し、負荷状態でのシステム挙動を確認する。その後、遅延時間、リソース測定及びネットワーク装置において帯域制限等の評価を行う。これについては、後述の別項にて記載するものとする。

5.3.6. (効率性) 遅延時間の検証

【概要】

転送遅延の検証について記載する。転送遅延は、定常的に情報が送信される信号予定情報を対象に測定を行い、装置間転送遅延と累積転送遅延に分けて測定することで検証を行う。なお、遅延測定を行う場合は同一情報についてトラッキングし、遅延測定を行う必要がある。その際、同一情報であることは、交差点 ID、作成日時（場合によってはイベントカウンタも含めて一致性を確認）等により確認する。

【測定対象・方法】

累積転送遅延は、「測定対象装置での信号予定情報の受信時刻と信号予定情報の作成日時の差分」から算出するものである。図 6.12 には模擬信号情報配信センターでの例を示している。装置間転送遅延は、「測定対象装置の送信元装置の信号予定情報の受信時刻から測定対象装置の信号予定情報の受信時刻の差分」から算出するものである。これらの遅延時間の測定にあたっては各装置での送受信ログ等を用いて、信号予定情報の作成日時、送信時刻、受信時刻を抽出することで算出する。なお、信号情報集約装置については各種電文の送信・受信時刻をデータベース書き込み時刻で代替して、送信・受信時刻がデータを送信・受信後のデータベース書き込みまでの時間も内包していることになる。特に、送信時刻に関しては、模擬信号情報センター間が LAN ケーブルによる有線接続であり、データ転送速度よりデータベース書き込み時間の方が大きくなるため、時刻が逆転する可能性が極めて高くなる。よって、信号情報集約装置の受信時刻及び送信時刻については、本検証について、参考的な値としてとらえる必要がある。

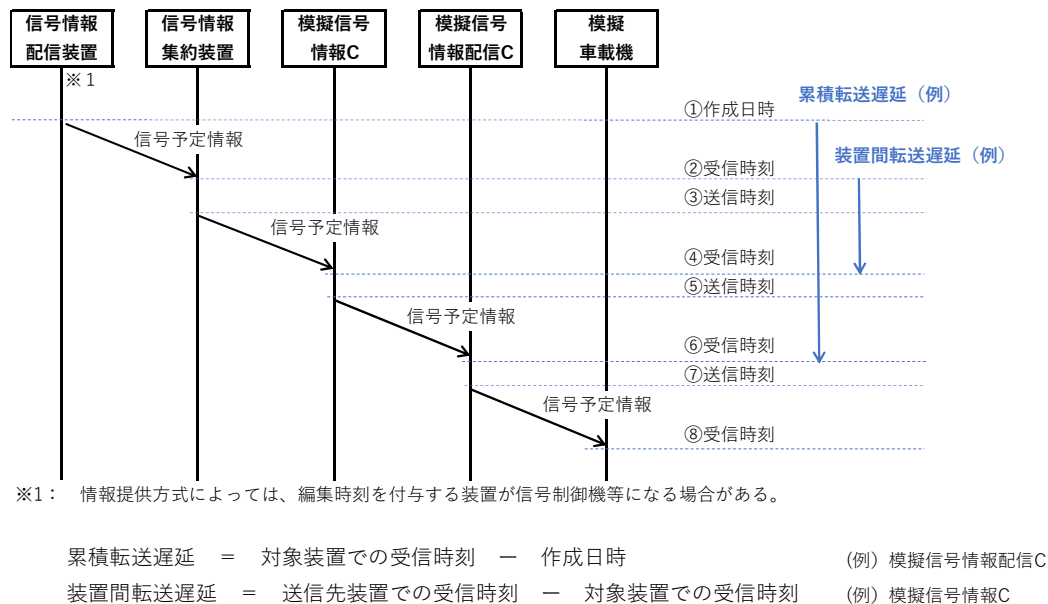


図 6.12 遅延時間の測定概念

次に、測定対象について説明する。信号情報配信サービスにおいては、競争・協調領域が定め

られており境界があるため、そこを境に協調領域は検証用測定値、競争領域は参考測定値として測定する必要がある。よって、累積転送遅延と装置間転送遅延と装置内処理遅延については表 6.16 に示す対象を測定するものとする。

表 6.16 測定する遅延時間

測定 区分	対象機器	備考
累積 転送 遅延	信号情報集約装置 (参考値)	本装置受信までの累積遅延
	模擬信号情報センター	同上
	模擬信号情報配信センター	同上
	模擬車載機	同上
装置間 転送 遅延	信号情報集約装置 (参考値)	情報生成から本装置の受信までの時刻差分
	模擬信号情報センター (参考値)	上流装置受信から本装置の受信までの時刻差分
	模擬信号情報配信センター	同上
装置内 処理 遅延	信号情報集約装置 (参考値)	当該装置の受信から送信までの時刻差分
	模擬信号情報センター	同上
	模擬信号情報配信センター	同上

【測定条件・集計】

本測定は交差点単位で実施するものとする。測定条件及び集計方法については以下の通りとする。

測定項目 : 累積転送遅延、装置間転送遅延、装置内処置遅延

期間・方法 : 3 日間以上 ((開始～終了までの期間)、対象交差点の全通信調査

集計方法 : 平均値、最大値、最小値 標準偏差等

対象箇所 : 表 6.17 の交差点を対象に実施する。

表 6.17 測定対象 (遅延時間)

No.	交差点 ID/ 対象交差点名	情報提 供手法	信号制御の種類
1	400379 / 平城 2 号線	管制	感応等なし
2	20302 / 奈良阪町北	管制	感応等なし
3	400375 / 神功 4 丁目	管制	感応等なし
4	20299 / 平城 2 号線	集中	感応等なし
5	20298 / 平城 1 号線	集中	感応制御＋リコール
6	20382 / 神功 5 丁目	集中	感応制御
7	300375 / 神功 4 丁目	集中	感応等なし
8	1000109/平城西中学校北東角	制御機	夜間閃光
9	1000207 / 右京 4 丁目	制御機	感応等なし
10	1000208 / 神功 4 丁目東	制御機	夜間閃光

【車載機設置場所】

- ・管制方式 (No. 1, 2 : 横浜市、No. 3 : 奈良市)
- ・集中方式 (全て : No. 4~7 : 横浜市)
- ・制御機方式 (No. 9, 10 : 横浜市、No. 8 : 奈良市)

【検証内容】

累積転送遅延と装置間転送遅延の目標値は中央値とし、表 6.18 に示すものとする。

表 6.18 検証する遅延時間

測定 区分	対象機器	目標値
累積 転送 遅延	模擬信号情報センター	6.7 秒以下
	模擬信号情報配信センター	6.9 秒以下
	模擬車載機	7.8 秒以下
装置間 転送 遅延	信号情報集約装置	0.2 秒以下
	模擬信号情報センター	0.2 秒以下
	模擬信号情報配信センター	0.9 秒以下

【検証結果】

＜管制方式＞

3 交差点分の信号予定情報の累積転送遅延、装置間転送遅延、装置内処理遅延の結果について、表 6. 19～表 6. 21 に示す。模擬車載機までの累積転送遅延の中央値で 300ms となり、目標を達成できた。また、センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延についても、各々の装置間での中央値は 5. 7ms、1. 1ms となり、200ms 以下という目標を達成できた。なお、信号情報集約装置から模擬信号情報配信センターまでの遅延の中央値は 6. 8ms であり、センター間以外で要する遅延時間に比べると極めて小さい遅延となることが分かった。最後に、信号情報配信センターと模擬車載機間の無線区間について、中央値は 207ms であり、目標としていた 0. 9 秒を大幅に下回った。

次に、模擬車載機までの累積転送遅延については最大でも 1. 1 秒程度であり、7. 8 秒以内の目標は達成できている。センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延については、各々の装置間での最大値が 50ms、123ms であり、目標である 200ms を下回る数値となり、目標を達成できた。最後に、無線区間の最大値は 952ms となったため、遅延時間の分布について調査を行った。

表 6. 19 管制方式の累積転送遅延

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	83 ms	87 ms	89 ms	300 ms
最大値	179 ms	210 ms	273 ms	1,058 ms
最小値	13 ms	21 ms	21 ms	119 ms
平均値	82 ms	86 ms	88 ms	320 ms
標準偏差	32 ms	31 ms	32 ms	111 ms
サンプル数	7489	7489	7489	7489

※C：センターの略称

表 6.20 管制方式の装置間転送遅延

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	83 ms	5.7 ms	1.1 ms	207 ms
最大値	179 ms	50 ms	123 ms	952 ms
最小値	13 ms	-50 ms	0 ms	77 ms
平均値	82 ms	6.0 ms	1.9 ms	232 ms
標準偏差	32 ms	5 ms	5 ms	107 ms
サンプル数	7489	7489	7489	7489

※C：センターの略称

表 6.21 管制方式の装置内処理遅延

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C
中央値	1.4 ms	0.2 ms	0.1 ms
最大値	31.8 ms	122.6 ms	100.6 ms
最小値	0.4 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	2.7 ms	0.6 ms	0.4 ms
標準偏差	2.5 ms	3.5 ms	3.0 ms
サンプル数	7489	7489	7489

※C：センターの略称

次に、3 交差点分の信号予定情報の模擬車載機までの累計遅延の分布、信号情報集約装置までの累積遅延の分布を図 6.13～図 6.15 に示す。さらに、競争領域部分となるが、信号情報を携帯網で配信するに相当する模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分も参考までに掲載する。

ここで、無線区間の通信遅延の分布を確認する。無線区間においては、最大遅延時間では目標値を超過していた。データ分布をみても分かるように 1 サンプルだけであることが分かった。よって、無線区間においてもほとんどの通信において目標を達成できたと考えられる。

管制方式においては、信号情報集約装置までの区間の遅延にばらつきが少なく概ね 50～150ms 区間の出現頻度が多い。これに加え、携帯網の遅延の分布が重なるが、模擬車載機までの累計遅延の分布は概ね 200～500ms 区間の頻度が多い。模擬車載機までの累計遅延は概ね 800ms 以内で構成されることが分かった。

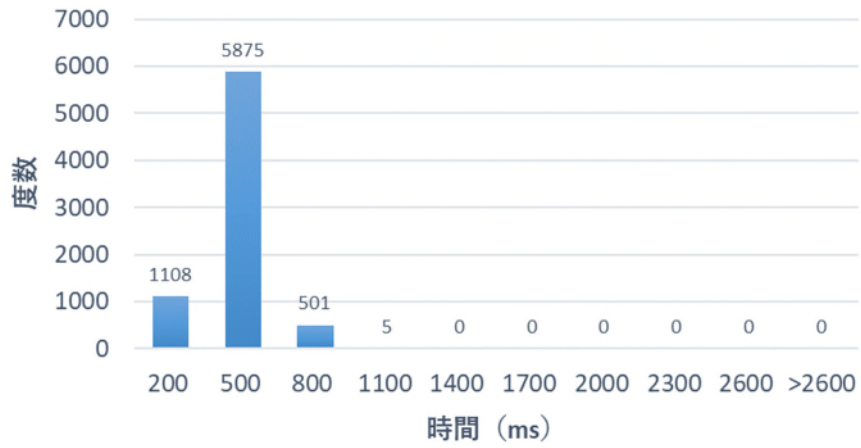


図 6.13 模擬車載機までの累積遅延の分布（管制方式）

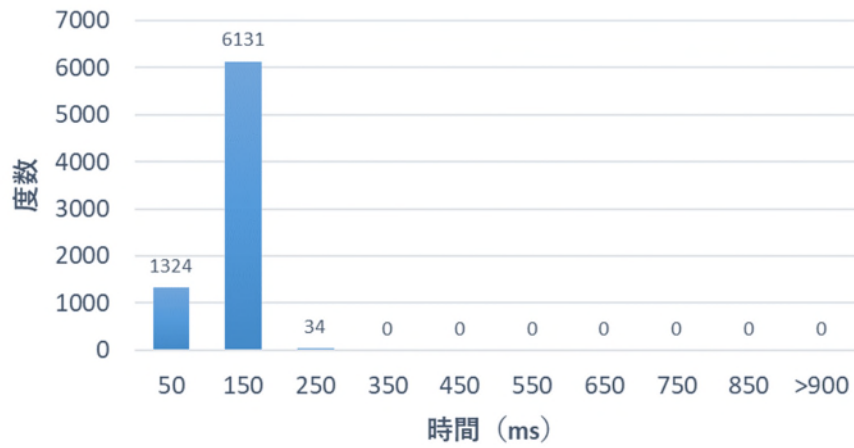


図 6.14 信号情報集約装置までの累積遅延の分布（管制方式）

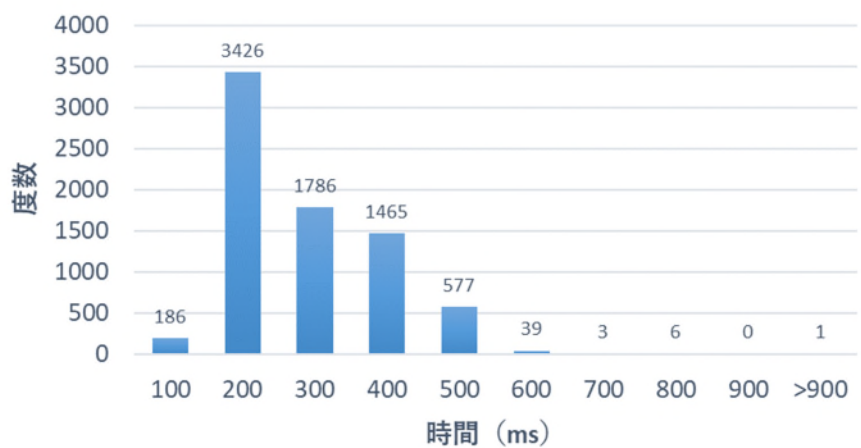


図 6.15 模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分布（管制方式）

<集中方式>

4 交差点分の信号予定情報の累積転送遅延、装置間転送遅延、装置内処理遅延の結果について、表 6.22～表 6.24 に示す。模擬車載機までの累積転送遅延の中央値・平均値共に概ね 1200ms となり、目標を達成できた。また、センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延についても、各々の装置間での中央値は 5.8ms、1.2ms となり、200ms 以下という目標を達成できた。なお、信号情報集約装置から模擬信号情報配信センターまでの遅延の中央値は 7ms であり、センター間以外で要する遅延時間に比べると極めて小さい遅延となることが分かった。最後に、信号情報配信センターと模擬車載機間の無線区間について、中央値は 163ms であり、目標としていた 0.9 秒を大幅に下回った。

次に、模擬車載機までの累積転送遅延については最大でも 6.6 秒程度であり、7.8 秒以内となっていることから目標は達成できている。センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延については、各々の装置間での最大値が 49ms、128ms であり、目標である 200ms を下回る数値となり、目標を達成できた。最後に、無線区間の最大値は 3578ms となったため、遅延時間の分布について調査を行った。

表 6.22 集中方式の累積転送遅延

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信 C	模擬 車載機
中央値	1,007 ms	1,013 ms	1,015 ms	1,201 ms
最大値	6,281 ms	6,288 ms	6,296 ms	6,572 ms
最小値	180 ms	179 ms	180 ms	304 ms
平均値	978 ms	983 ms	985 ms	1,200 ms
標準偏差	334 ms	335 ms	335 ms	359 ms
サンプル数	12736	12736	12736	12736

※C：センターの略称

表 6.23 集中方式の装置間転送遅延

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	1,007 ms	5.8 ms	1.2 ms	163 ms
最大値	6,281 ms	49 ms	128 ms	3,578 ms
最小値	180 ms	-25 ms	0 ms	83 ms
平均値	978 ms	5.8 ms	2.1 ms	215 ms
標準偏差	334 ms	3 ms	5 ms	123 ms
サンプル数	12736	12736	12736	12736

表 6.24 集中方式の装置内処理遅延

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信 C
中央値	1.4 ms	0.2 ms	0.2 ms
最大値	41.5 ms	126.5 ms	101.2 ms
最小値	0.4 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	3.1 ms	0.6 ms	0.4 ms
標準偏差	3.4 ms	3.7 ms	3.2 ms
サンプル数	12736	12736	12736

※C：センターの略称

次に、4 交差点分の信号予定情報の模擬車載機までの累計遅延の分布、信号情報集約装置までの累積遅延の分布を図 6.16～図 6.18 に示す。さらに、競争領域部分となるが、信号情報を携帯網で配信するに相当する模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分も参考までに掲載する。

ここで、無線区間の通信遅延の分布を確認する。無線区間においては、最大遅延時間では目標値を超過していた。データ分布をみても分かるように 0.9 秒以上となる遅延は全体の 0.1% 以下であることも分かった。よって、無線区間においてもほとんどの通信において目標を達成できたと考えられる。

集中方式においては、信号情報集約装置までの区間の遅延にばらつきが大きい。これに加え、携帯網の遅延の分布が重なり、模擬車載機までの累計遅延の分布がやや広がりを持つ形になっている。ただし、模擬車載機までの累計遅延時間が 1400ms 以下となるのは全体の 84.5% となり、概ね 1.4 秒以下の遅延時間をもって車両側に通知されることが考えられる。

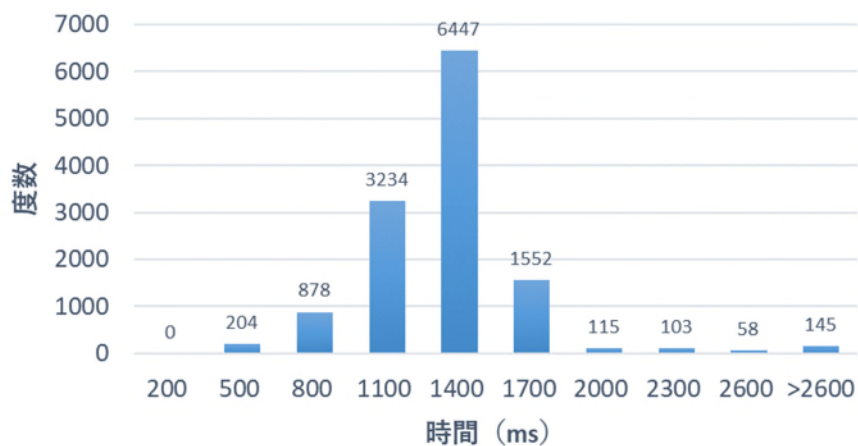


図 6.16 模擬車載機までの累積遅延の分布 (集中方式)

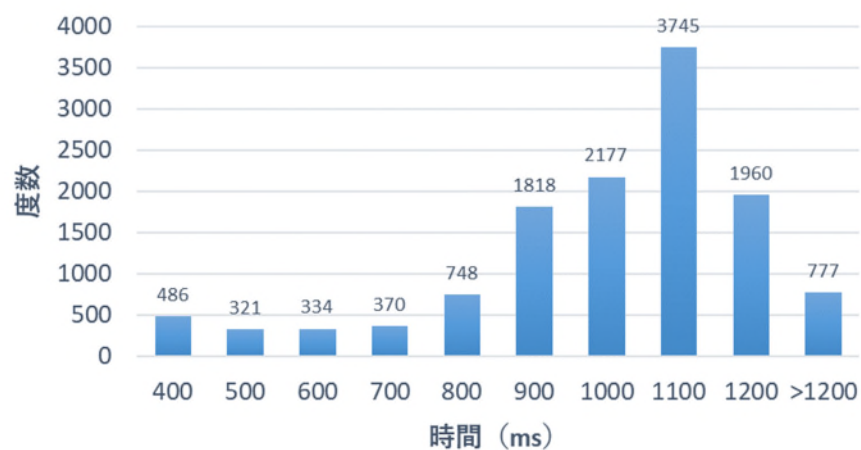


図 6.17 信号情報集約装置までの累積遅延の分布（集中方式）

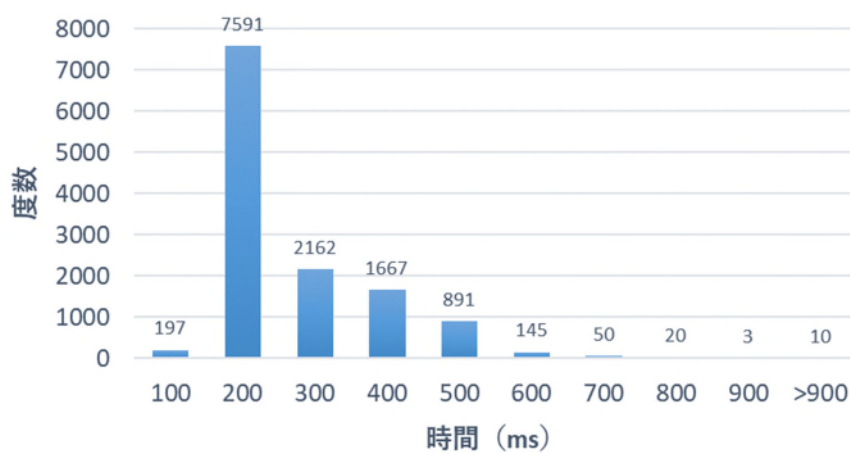


図 6.18 模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分布（集中方式）

<制御機方式>

3 交差点分の信号予定情報の累積転送遅延、装置間転送遅延、装置内処理遅延の結果について、表 6.25～表 6.27 に示す。模擬車載機までの累積転送遅延の中央値で 804ms となり、目標を達成できた。また、センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延についても、各々の装置間での中央値は 5.8ms、1.2ms となり、200ms 以下という目標を達成できた。なお、信号情報集約装置から模擬信号情報配信センターまでの遅延の中央値は 7ms であり、センター間以外で要する遅延時間に比べると極めて小さい遅延となることが分かった。最後に、信号情報配信センターと模擬車載機間の無線区間について、中央値は 240ms であり、目標としていた 0.9 秒を大幅に下回った。

次に、模擬車載機までの累積転送遅延については最大でも 2.0 秒程度であり、7.8 秒以内となっていることから目標は達成できた。センター装置間の処理・通信遅延で要する時間である装置間転送遅延については、各々の装置間での最大値が 50ms、107ms であり、目標である 200ms を下回る数値となり、目標を達成できた。最後に、無線区間の最大値は 705ms となり、目標を達成できた。但し、模擬車載機までの累積転送遅延について、最大値が目標値を上回っており、調査を行った。

表 6.25 制御機方式の累積転送遅延

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	498 ms	504 ms	505 ms	804 ms
最大値	1,694 ms	1,697 ms	1,698 ms	2,013 ms
最小値	108 ms	115 ms	116 ms	206 ms
平均値	598 ms	603 ms	605 ms	863 ms
標準偏差	324 ms	324 ms	324 ms	345 ms
サンプル数	10244	10244	10244	10244

表 6.26 制御機方式の装置間転送遅延

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	498 ms	5.8 ms	1.2 ms	240 ms
最大値	1,694 ms	50 ms	107 ms	705 ms
最小値	108 ms	-13 ms	0 ms	82 ms
平均値	598 ms	5.8 ms	2.0 ms	258 ms
標準偏差	324 ms	2 ms	5 ms	112 ms
サンプル数	10244	10244	10244	10244

表 6.27 制御機方式の装置内処理遅延

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C
中央値	1.5 ms	0.2 ms	0.2 ms
最大値	26.5 ms	105.4 ms	125.4 ms
最小値	0.5 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	3.1 ms	0.5 ms	0.4 ms
標準偏差	3.2 ms	3.1 ms	2.9 ms
サンプル数	10244	10244	10244

次に、3 交差点分の信号予定情報の模擬車載機までの累計遅延の分布、信号情報集約装置までの累積遅延の分布を図 6.19～図 6.21 に示す。さらに、これまでと同様に信号情報を携帯網で配信するに相当する模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分も参考までに掲載する。

まず、無線区間においては、最大遅延時間では目標値を超過した。データ分布から 0.9 秒以上となる遅延は発生していない。制御機方式においては、信号情報集約装置までの区間の遅延にばらつきが大きい。これに加え、携帯網の遅延の分布が重なり、模擬車載機までの累計遅延の分布がやや広がりを持つ形になっているためであり、模擬車載機までの累計遅延時間が 1400ms 以下となるのは全体の 91.8% となり、概ね 1.4 秒以下の遅延時間をもって車両側に通知されると考えられる。

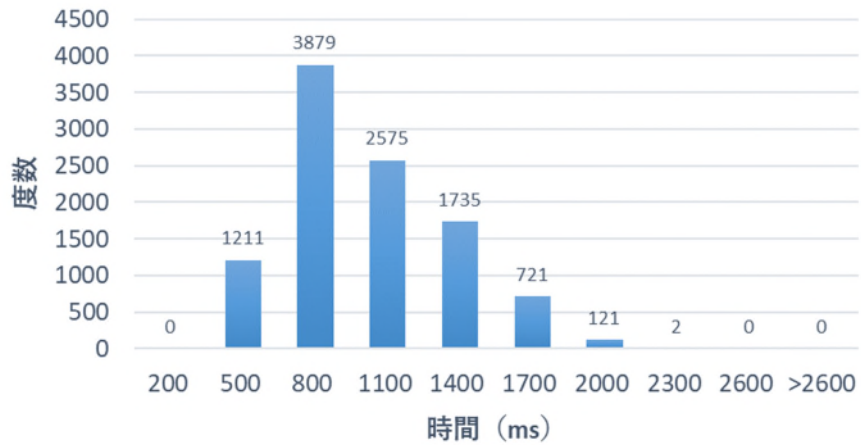


図 6.19 模擬車載機までの累積遅延の分布（制御機方式）

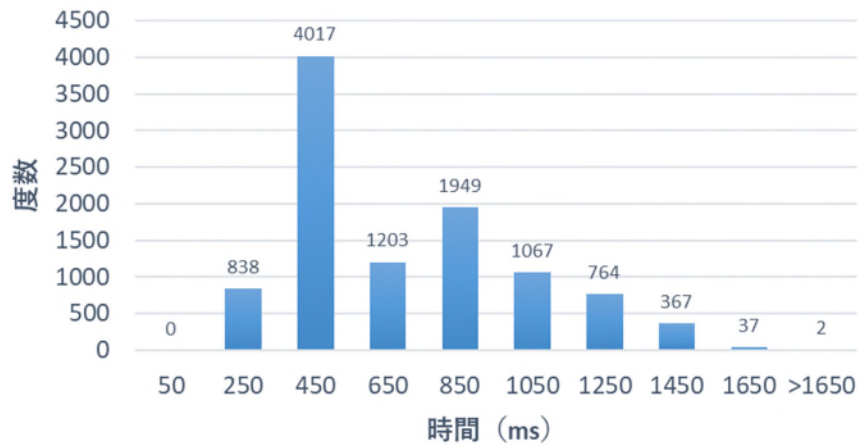


図 6.20 信号情報集約装置までの累積遅延の分布（制御機方式）

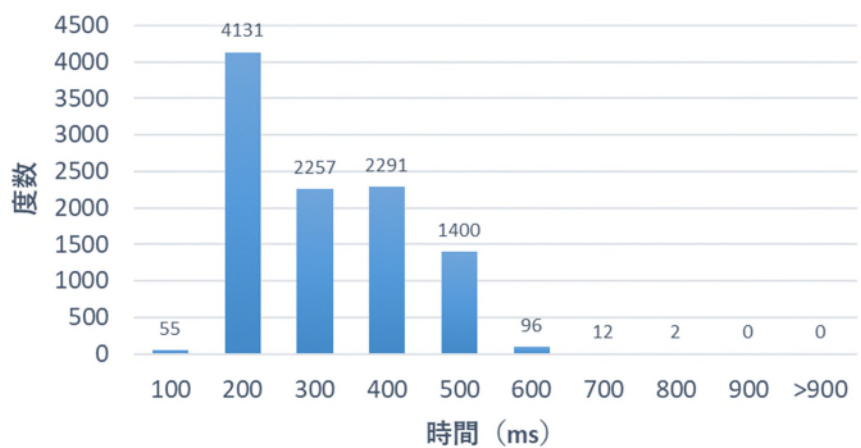


図 6.21 模擬信号情報配信センターから模擬車載機までの通信遅延の分布（制御機方式）

【遅延時間の総括】

信号情報の提供方式毎の伝送区間と信号情報作成の起点を図 6.22 に示す。管制方式のみ信号予定情報の起点が信号情報配信装置となる。集中方式と制御機方式は信号制御機側で信号予定情報が生成される。なお、集中方式は信号情報配信装置において伝送変換が実施される。

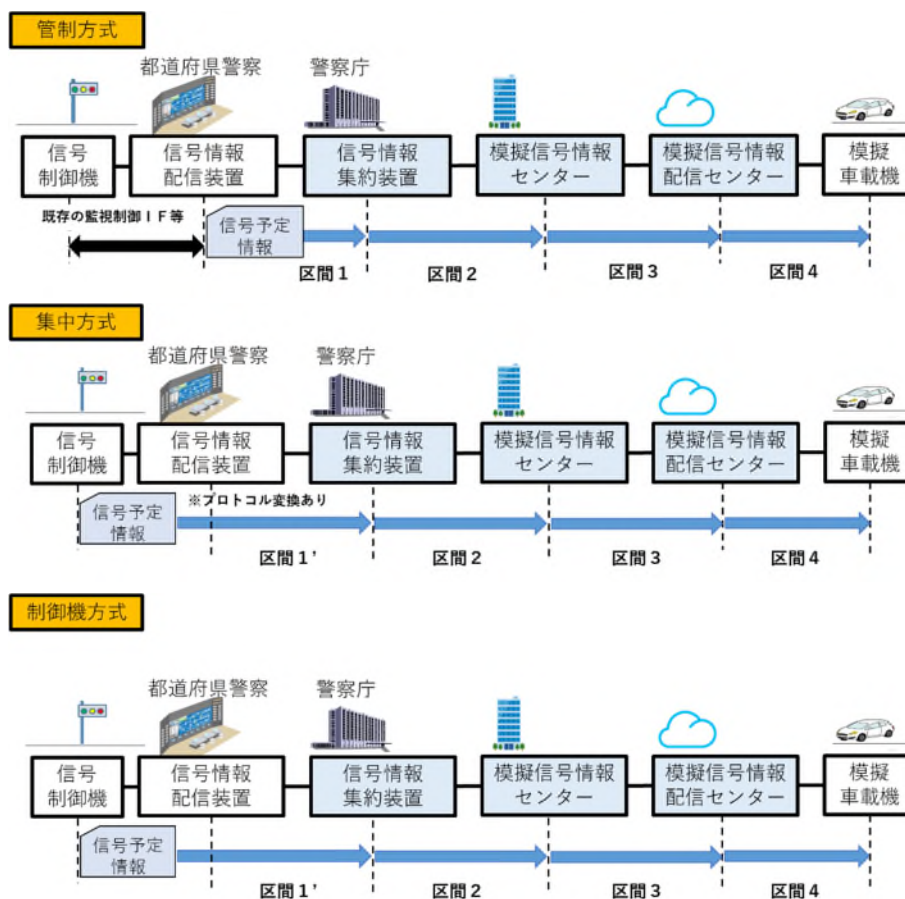


図 6.22 信号情報提供方式毎の伝送区間の構成

次に、提供方式毎に遅延時間の中央値を表 6.28 と図 6.23～図 6.25 にまとめた。提供方式毎に信号情報集約装置までの転送遅延が異なっていることが分かる。また、信号情報集約装置から模擬信号情報配信センター間の転送遅延は合計で 7ms 程度であり、提供方式によらないことが分かる。なお、各種ビジネスイーサ網等を経由する県と警察庁間の転送遅延の参考となる指標としては、管制方式の信号情報集約装置までの遅延（中央値）83ms が挙げられる。これは、信号情報配信装置での作成遅延も含めた数値であることに留意が必要であるが、ビジネスイーサ網等を経由した場合の設計参考値の一つになると考えられる。なおテーマ 8 の担当社より、信号予定情報を生成する際に 10ms 単位に生成する処理を行っており、平均的に 25ms 程度の差が発生することが分かっているため、ビジネスイーサ網を利用した通信においては概ね 60ms 程度の通信遅延が発生すると推測可能である。最後に、模擬車載機までの携帯網を経由する無線区間については概ね 160～240ms 程度の転送遅延であったことが分かった。

特に、管制方式に関しては信号情報集約装置までの転送遅延が小さいことから模擬車載機との通信の無線区間の遅延が比較して大きく見える。信号制御機から交通管制システムの構成機器との授受の部分、信号予定情報生成に要する部分についてはこの検証では計測の対象外となっていることには注意が必要である。一方、集中方式、制御機方式の場合は信号制御機（信号情報路側機含む）側での生成から模擬車載機までの起終点の全区間が計測対象の区間である。但し、集中方式は携帯網を介し、各種管制システムを構成する機器を経由し、信号情報配信装置での伝送変換等の処理も加わるため、制御機方式に比べて信号情報集約装置までの区間の遅延が大きくなったことが分かった。

表 6.28 方式毎の装置間転送遅延の比較

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)					サンプル 数
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信C	模擬 車載機	
管制方式	83 ms	6 ms	1 ms	207 ms	7489
集中方式	1,007 ms	6 ms	1 ms	163 ms	12736
制御機方式	498 ms	6 ms	1 ms	240 ms	10244

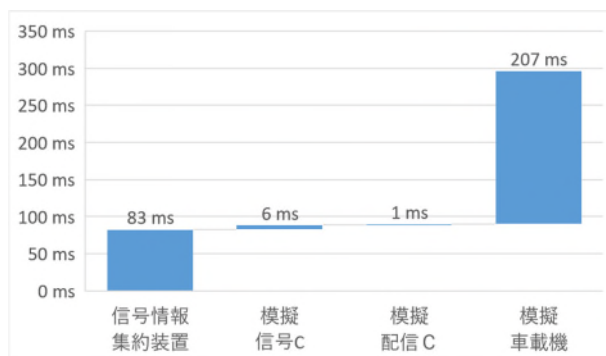


図 6.23 装置間転送遅延の構成（管制方式）

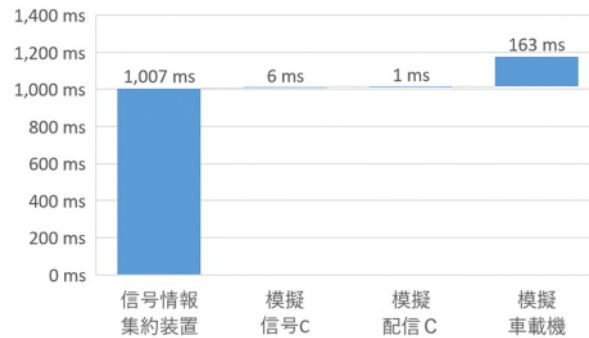


図 6.24 装置間転送遅延の構成（集中方式）

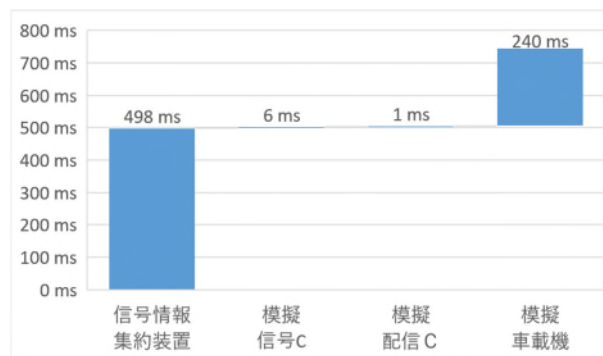


図 6.25 装置間転送遅延の構成（制御機方式）

5.3.7. （効率性）遅延時間の検証時のリソース測定

【概要】

遅延時間の検証時、負荷試験検証に併せて、次のリソース測定を行う。

- ・CPU使用率
- ・メモリ使用率
- ・DB使用量
- ・パケット通信量

【測定対象・方法】

信号情報集約装置、模擬信号情報センター装置、模擬信号情報配信センター装置については、各々サーバー機器で構成される機器である。サーバー装置については測定項目の内、CPU使用率、メモリ使用率、DB使用量を測定する。

次に、パケット通信量については各装置間を測定するものとし、各々ネットワーク機器のミラーポートからキャプチャするものとし、キャプチャ先のネットワーク機器を表 6.29 に示す。

表 6.29 リソース測定対象

測定対象	キャプチャ先
信号情報集約装置・模擬信号情報センター間	集約側 F W (図 6.8 の①)
模擬信号情報配信センター・模擬車載機間	車載側 F W (図 6.8 の③)

各測定項目の計測方法について以下に記載する。

- ・CPU 使用率、メモリ使用率等については、Linux の OS コマンド等を用いて計測する。
- ・DB の使用量については、DB 領域のディレクトリのファイルサイズを確認することにより計測する。
- ・パケット通信量はパケットキャプチャソフトウェア（WireShark）により計測する。

【測定条件・集計】

各測定項目について、測定方法及び集計方法等については以下の通りとする。

測定間隔：期間平均で集計するものについては 10 分以下の間隔で測定する

前後比較で集計するものについては 3 時間に 1 回以上の間隔で測定

期 間 ：2023. 01. 20 ～ 2023. 01. 24 （5 日間）

集計方法：統計値（平均値、及び必要な統計量）、期間前後比較

集計方法と測定項目をまとめたものを表 6.30 に示す。

表 6.30 リソース測定項目

測定項目	集計方法	備考
C P U使用率	期間平均	
メモリ使用率	期間平均	
D B使用量	期間前後比較	3 時間計測
パケット通信量	期間平均等	

【検証結果 ①C P U使用率】

基本動作検証時（52 交差点配信状態）においてC P U使用率の調査を行った。Linux のコマンドを用いて調査を行った。結果を表 6.31 に示す。なお、信号情報集約装置には取得した信号予定情報を蓄積する処理は実装されておらず、データベース装置において蓄積するためその装置の処理負荷も併せて計測することとした。

C P U使用率の中央値は概ね 1 %以下の使用率という結果であり問題ない状況であったと思われる。

表 6.31 基本動作検証時のCPU使用率（平均値）

平均値	信号情報集約システム		検証システム	
	信号情報集約装置	DB装置	模擬信号情報C	模擬信号情報配信C
1月20日	0.56 %	1.06 %	0.61 %	0.60 %
1月21日	0.56 %	1.07 %	0.62 %	0.65 %
1月22日	0.56 %	1.07 %	0.61 %	0.61 %
1月23日	0.56 %	1.07 %	0.61 %	0.61 %
1月24日	0.56 %	1.06 %	0.61 %	0.61 %
平均値	0.56 %	1.07 %	0.61 %	0.62 %

※DB：データベースの略称、C：センターの略称

次に、期間内での一時的な処理の高まり等についての影響を確認する。模擬信号情報センター及び模擬信号情報配信センターについては期間最大値が0.7%未満であり、負荷が増大したとしても問題ないと考えられる。

一方、信号情報集約装置及びそのデータベース装置については処理負荷が45%を超える時点が存在した。CPU使用率の推移を確認したところ、5日間累計で、32回発生し、1日当たり6～7回であったが、出現が連続することはなかった。負荷としてはI/O waitの項目が高く、一時的な入出力装置への負荷高まりがあったものと考えられるが、70%以下という目標値は達成している。結果を表6.32に示す。

次に、データベース装置であるが、処理負荷が一時的に90%を超えるタイミングが5日間で2回観測されたが、こちらもI/O waitの項目が高く、一時的な入出力装置への負荷高まりがあったものと考えられる。但し、本装置はデータの転送性能には寄与しない装置であり、最大値の平均としては42%であるため、システム全体への影響はないと判断できる。

表 6.32 基本動作検証時のCPU使用率（最大値）

最大値	信号情報集約システム		検証システム	
	信号情報集約装置	DB装置	模擬信号情報C	模擬信号情報配信C
1月20日	46.79 %	7.38 %	0.66 %	0.65 %
1月21日	46.59 %	7.29 %	0.71 %	0.71 %
1月22日	45.03 %	7.35 %	0.67 %	0.67 %
1月23日	46.90 %	94.73 %	0.69 %	0.68 %
1月24日	47.12 %	94.70 %	0.67 %	0.65 %
平均値	46.49 %	42.29 %	0.68 %	0.67 %

【検証結果 ②メモリ使用量】

基本動作検証時（52 交差点配信状態）においてメモリ使用量の調査を行った。Linux のコマンドを用いて調査を行った。結果を表 6.33 に示す。なお、信号情報集約装置には取得した信号予定情報を蓄積する処理は実装されておらず、データベース装置において蓄積するためその装置のメモリ使用量についても併せて計測することとした。

表 6.33 基本動作検証時のメモリ使用量

平均値	信号情報集約システム		検証システム	
	信号情報集約装置	D B 装置	模擬信号情報 C	模擬信号情報配信 C
1月20日	4,921,774 (KB)	77,308,085 (KB)	1,059,951 (KB)	1,142,246 (KB)
1月21日	4,941,640 (KB)	77,363,636 (KB)	1,086,944 (KB)	1,185,792 (KB)
1月22日	4,962,369 (KB)	77,399,638 (KB)	1,084,276 (KB)	1,200,545 (KB)
1月23日	4,980,251 (KB)	77,434,884 (KB)	1,102,719 (KB)	1,223,665 (KB)
1月24日	5,001,096 (KB)	77,469,935 (KB)	1,125,239 (KB)	1,244,130 (KB)
平均値	4,961,426 (KB)	77,395,236 (KB)	1,091,826 (KB)	1,199,276 (KB)
最大値	5,170,656 (KB)	77,637,920 (KB)	1,160,708 (KB)	1,273,512 (KB)
最小値	4,909,716 (KB)	77,274,040 (KB)	1,029,376 (KB)	1,109,892 (KB)

※DB：データベースの略称、C：センターの略称

整備システムである信号情報集約装置のメモリ使用量の平均は 5 G B 程度、D B 装置は 77 G B 程度を使用していることが分かる。また、検証用システムである模擬信号情報センター及び模擬信号情報配信センターは約 1.2 G B 程度であった。検証システムと整備装置でメモリ使用量に大きな違いがあるが、整備用装置は各種運用管理・Web による各種参照機能等があることが原因であると考えられる。したがって、信号情報を中継・配信する部分に特化したアプリケーション部分は概ね 2 G B を見ておけば十分であると考えられる。最後に、各装置ともメモリ使用量は異なるものの、最大、最小も概ね 200MB 程度の差分内に収まっており安定稼働していることが確認できる。

【検証結果 ③DB使用量】

基本動作検証時（52 交差点配信状態）においてDB使用量の調査を行った。結果を表 6.34 及び図 6.26 に示す。土日を跨ぐ期間で調査を行ったが、容量に大きな差は見られなかった。信号情報集約装置においては1日 50MB 程度、模擬信号情報センター及び模擬信号情報配信センターについては1日 26MB 程度のデータ使用量となった。なお、信号情報集約装置においては蓄積期間が設定されているため、10 日間経過後にデータは削除される。よって、データベースの総量は大きく変わらない仕様となっており、本件についてもその様子が確認できた。あくまで今回の基本動作検証時（52 交差点配信状態）での計測値となるため、数値の取り扱いには注意が必要である。

表 6.34 基本動作検証時のDB使用量

日付	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信C
1月20日	49,394 (KB)	25,584 (KB)	25,176 (KB)
1月21日	49,042 (KB)	25,576 (KB)	25,240 (KB)
1月22日	50,277 (KB)	26,168 (KB)	25,640 (KB)
1月23日	50,624 (KB)	26,120 (KB)	25,720 (KB)
1月24日	50,926 (KB)	26,152 (KB)	25,712 (KB)
平均	50,053 (KB)	25,920 (KB)	25,498 (KB)

※C：センターの略称

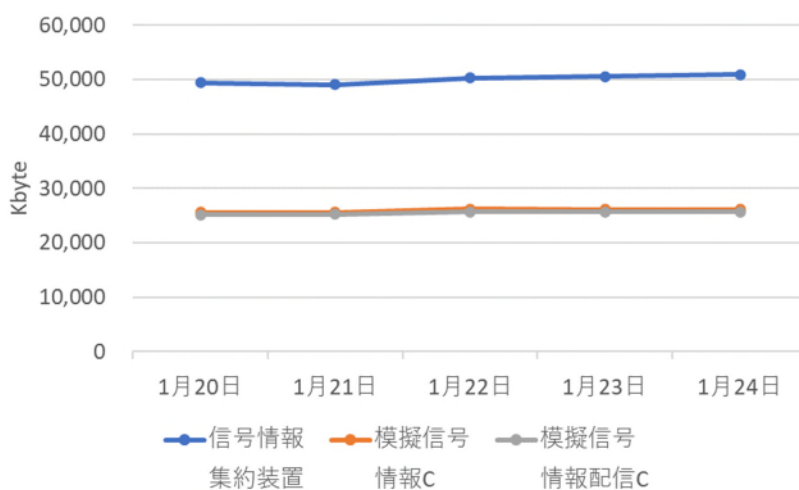


図 6.26 基本動作検証時のDB使用量の推移

【検証結果 ④パケット通信量】

基本動作検証時（52 交差点配信状態）においてパケット通信量の調査を行った。Wireshark のメニュー上にある「統計」の機能を用いて、1 秒当たりの通信量（ビット）を調査した。

＜信号情報集約装置－模擬信号情報センター間＞

まず、5 日間平均値は 4,751(bits/sec)であるが、1 秒当たり見ると、0 ビットの場合もあるため、単純な平均値では比較できない。1 秒当たりの通信量のヒストグラムを図 6.27 に示す。

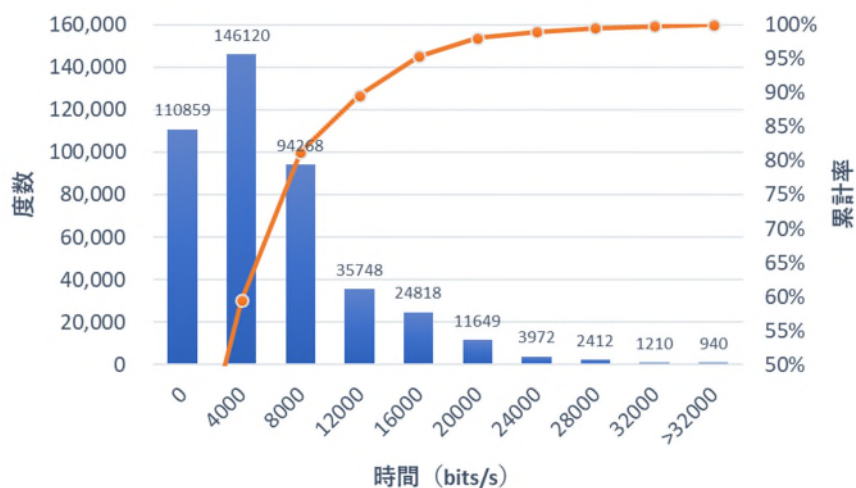


図 6.27 基本動作検証時のパケット通信量の推移(集約側 F W)

約 1/4 は 0 ビットであることが分かった。8,000(bits/sec) 以下で概ね全体の 80%の通信量を占めることが分かり、同様に 16,000(bits/sec)で全体の 95%、24,000(bits/sec)で全体の約 99%を占めることが分かった。よって、定常運用において 30kbps 程度の帯域があれば運用できることが分かる。あくまで今回の基本動作検証時（52 交差点配信状態）での計測値となるため、数値の取り扱いには注意が必要である。

＜模擬信号配信センターと模擬車載機間（参考値）＞

5日間平均値は2,791(bits/sec)である。1秒当たりの通信量のヒストグラムを図6.28に示す。4,000(bits/sec)以下で概ね全体の94%の通信量を占めることが分かり、同様に10,000(bits/sec)で全体の99%を占めることが分かった。なお、この場合の車載機数は3～5端末であるため、同時に要求した信号予定情報最大数は10であった。この場合は最大でも定常運用において10kbps程度の帯域を用意しておけば問題ないことが分かる。但し、あくまで今回の基本動作検証時(52交差点配信状態)での計測値となるため、数値の取り扱いには注意が必要である。

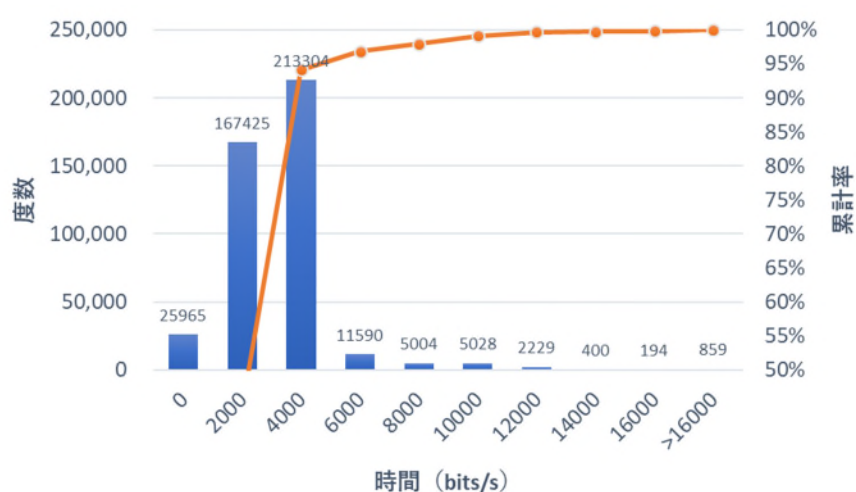


図 6.28 基本動作検証時のパケット通信量の推移(車載側FW)

5.3.8. （正確性）規格適合度の検証

【概要】

動的に変化する信号予定情報に対してインターフェイス規格の適合度を検証する。信号制御種別及び信号情報提供種別が異なるため、各々の組合せにおいて規格適合度を測定する。

【測定対象・方法】

信号情報センターにおいてはフォーマットチェック機能で規格違反を検出できる。その回数を計測することで、規格違反回数を計測できる。同時に、信号情報配信センターで受信した信号予定情報の件数も受信ログ等から計測可能であるため、次の手順により規格適合度を検証できる。

- (1) 対象とする交差点 ID を決定する。
- (2) 対象とする交差点の信号予定情報の受信回数を受信ログより確認する。
- (3) 対象とする交差点の規格違反回数（1 受信電文に対しては最大 1）を計測する
- (4) 規格適合度は次の式で算出する。

$$\text{規格適合度} = (\text{受信回数} - \text{規格違反回数}) / \text{受信回数}$$

なお、フォーマットチェック機能で信号予定情報の異常を検出できるものは次の通りとする。

表 6.35 信号予定情報のフォーマットチェック項目

情報項目	規格範囲
システム状態	0か1であること
作成日時：年	BCD形式で0000～9999、または0xFFFFであること
作成日時：月	BCD形式で01～12、または0xFFであること
作成日時：日	BCD形式で01～31、または0xFFであること
作成日時：時刻（時）	BCD形式で00～23、または0xFFであること
作成日時：時刻（分）	BCD形式で00～59、または0xFFであること
作成日時：時刻（秒）	BCD形式で00～59、または0xFFであること
作成日時：時刻（10ミリ秒）	BCD形式で00～99、または0xFFであること
車灯器数	0～12であること
歩灯器数	0～4であること
接続方路数（I）	1～8であること
サービス方路数（J）	0～8であること
方路ID	1～8であること
車灯器情報ポインタ	0～4000、または0xFFFFであること
歩灯器情報ポインタ	0～4000、または0xFFFFであること
車灯器ID	1～12であること
灯色出力変化数（K） / （L）	1～12であること
丸信号灯色表示	0～6であること
最小残秒数（0.1秒）	0～2400、または0x7FFFであること
最大残秒数（0.1秒）	0～2400、または0x7FFFであること
歩灯器ID	1～4であること
歩行者信号表示	0～4であること

対象とする交差点は、SIP 整備全交差点の 20 交差点とする。

【測定条件・集計】

本測定は交差点単位で実施するものとする。測定条件及び集計方法については以下の通りとする。

測定項目：信号予定情報受信回数、規格違反数

期 間：3 日以上

集計方法：期間内の規格適合度

【検証内容】

規格適合率を算出し、99.0%以上となることを検証する。

【検証結果】

1 日当たり約 24,000 件の信号予定情報に対して、適合検証を実施した。

1/20～1/24 の規格適合度を図 6.29 に示す。規格違反が頻発する特定交差点（400384：神功4丁目南）があるため、全交差点の場合と、特定交差点を除いた場合の両方の規格適合度を算出した。

特定交差点を除いた場合、規格適合度が 99.9%以上となった。

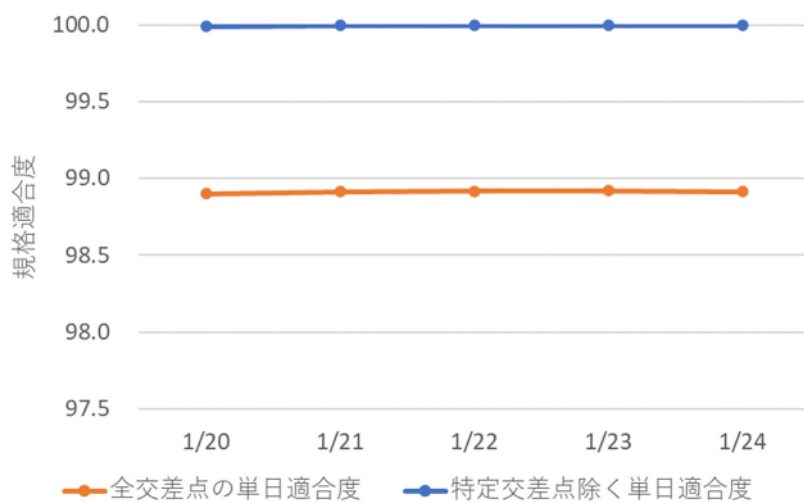


図 6.29 1/20～1/24 の規格適合度

規格違反が頻発する特定交差点について、その後の調整により、規格違反が解消された。特定交差点の規格違反解消後である、2/4～2/8 の規格適合度を図 6.30 に示す。単日適合度、累計適合度共に、99.9%以上となった。

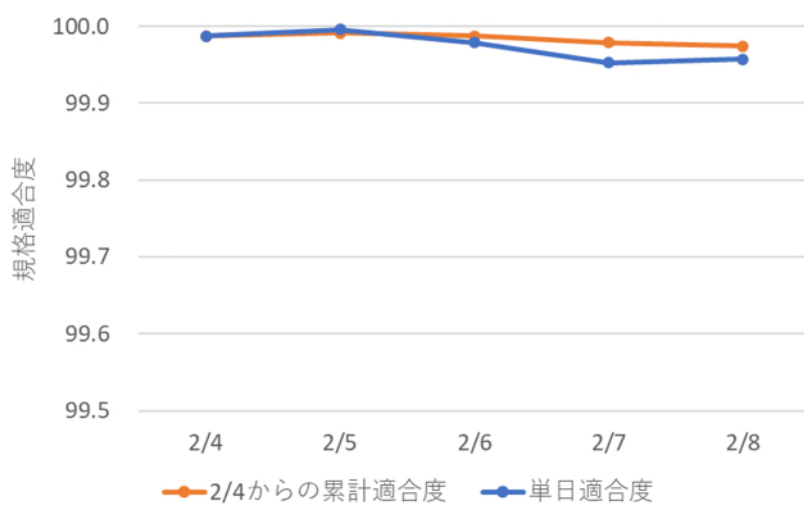


図 6.30 2/4～2/8 の規格適合度

以上より、信号予定情報の規格適合度は問題ないことが分かった。また、模擬信号情報センターで規格違反を検出し、その情報をフィードバックして規格適合度を向上させたことから、フォーマットチェック機能の有効性が確認できた。

5.3.9. (可用性) 信号予定情報の稼働率

【概要】

信号予定情報が稼働している状態とは信号予定情報が自動運転車両等に利用可能であった期間とする。そこで、信号予定情報が欠測している時間を計測することで、一定の計測期間における信号予定情報の稼働率を算出する。

【測定対象・方法】

信号予定情報の稼働率を算出する方法について以下に示す。

- (1) 交差点 ID、車灯器 ID を決め、該当する信号予定情報を時系列に抽出する。
- (2) 受信した各信号予定情報から信号予定情報の有効期限（以下、「有効期限」という）を算出する。信号予定情報から信号予定情報の作成日時、対象とする車灯器 ID の最小残秒数を抽出し、以下の式で有効期限を算出する。

$$\text{信号予定情報の有効期限} = \text{信号予定情報の作成日時} + \text{対象車灯器 ID の最小残秒数の総和}$$

- (3) 前情報の有効期限から当該情報の作成日時の差を計算し、有効期限までの猶予時間を算出する。これが負値となった場合に、「予定情報欠測期間」として計上する。予定情報の欠測期間のイメージを以下に示す。

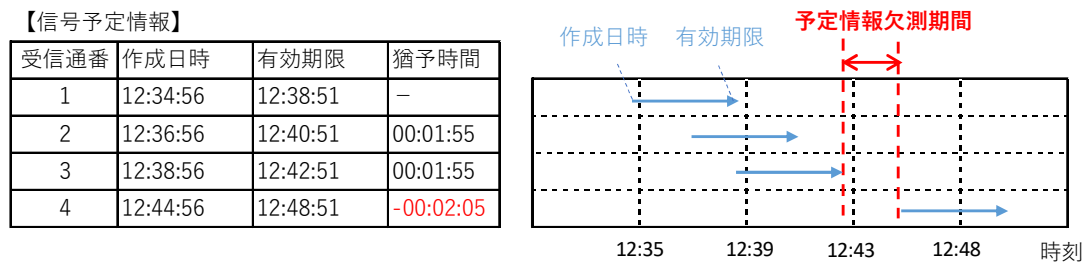


図 6.31 予定情報欠測期間の考え方

なお、システム状態無効の情報が途中で送信された場合は、当該信号情報が無効となってしまうため、受信以降の期間を予定情報欠測と同義とする。つまり、有効期限と作成日時が同一として扱うことで対応できると考えられる。この場合の信号予定情報の欠測期間のイメージを図 6.32 に示す。

【信号予定情報】

受信通番	作成日時	有効期限	猶予時間
1	12:34:56	12:38:51	—
2	12:36:56	12:40:51	00:01:55
3	12:38:56	(無効*1)	0:00:00
4	12:44:56	12:48:51	-00:06:00

*1：システム状態無効の信号予定情報を受信

※システム状態無効を受信した場合、インタフェース上の作成日時で信号予定情報が無効になるため

作成日時＝有効期限として扱う。

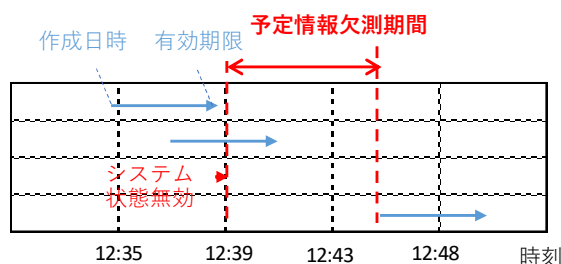


図 6.32 システム状態無効時の信号予定情報欠測期間の考え方

(4) 計測期間にわたって予定情報欠測期間を合算する。

(5) 信号予定情報の稼働率を以下の式で算出する。

信号予定情報の稼働率 ＝

(計測期間 － 予定情報欠測期間の合計) / 計測期間

なお、この予定情報欠測期間の算出にあたっては各装置の送受信ログ等を用いて、信号予定情報の作成日時、最小残秒数を抽出することで算出する。対象とする交差点は情報提供手法、信号制御の種類により表 6.36 の通り選定した。

表 6.36 測定対象（稼働率）

No.	交差点 ID/ 対象交差点名	情報提 供手法	信号制御の種類
1	400379 / 平城 2 号線	管制	感応等なし
2	20302 / 奈良阪町北	管制	感応等なし
3	400375 / 神功 4 丁目	管制	感応等なし
4	20299 / 平城 2 号線	集中	感応等なし
5	20298 / 平城 1 号線	集中	感応制御＋リコール
6	20382 / 神功 5 丁目	集中	感応制御
7	300375 / 神功 4 丁目	集中	感応等なし
8	1000109/平城西中学校北東角	制御機	夜間閃光
9	1000207 / 右京 4 丁目	制御機	感応等なし
10	1000208 / 神功 4 丁目東	制御機	夜間閃光

【測定条件・集計】

本測定は交差点単位で実施するものとする。測定条件及び集計方法については以下の通りとする。

測定項目：計測期間、信号予定情報欠測期間の合計

期 間：3 日以上（開始～終了までの期間）

集計方法：期間内の信号予定情報稼働率

【検証内容】

この測定対象をもとに、信号予定情報の稼働率が 99%以上となるかを検証する。

【検証結果】

< 管制方式 >

3 交差点分の信号予定情報についてそれぞれの交差点毎に、計測期間に相当する提供予定期間、未提供期間、稼働率の目標値に直結する事項について調査し、加えて、未提供が発生した場合に平均値についても調査した。それらの結果を表 6.37 に示す。

表 6.37 交差点毎の稼働率（管制方式）

主要指標	提供方式	管制方式	管制方式	管制方式
	制御種別	リコールなし・感応なし	リコールなし・感応なし	リコールなし・感応なし
	交差点名	平城 2 号線	奈良阪町北	神功 4 丁目
	ID	400379	20302	400375
	実施期間	01/20 10:16 ~ 01/23 10:36 ※21日除く	01/23 11:30 ~ 01/26 11:47	01/31 12:01 ~ 02/03 12:07 ※各種メンテナンス期間除く
	提供予定期間	174,002 秒	260,259 秒	237,679 秒
	未提供期間	4,641 秒	494 秒	3,328 秒
	信号予定情報送信数	2,434 回	2,361 回	2,541 回
	稼働率	97.333 %	99.810 %	98.600 %
	参考指標			
参考指標	提供回数	7 回	2 回	14 回
	未提供回数	5 回	1 回	13 回
	平均提供期間 (≒ MTBF)	24,194 秒	129,883 秒	18,301 秒
	平均未提供期間 (≒ MTTR)	928 秒	494 秒	256 秒

全ての交差点において未提供期間が発生していた。特に、平城 2 号線交差点において、1 月 21 日はシステム状態無効が頻発しており調整中と思われたため、計測対象から除外した。未提供継続時間が 5～15 分程度継続しており提供回数に対して情報が提供されない時間が長くなる傾向があった。これは、システム状態無効による未提供が平城 2 号線交差点で 5 回、奈良阪町北交差点で 1 回、神功 4 丁目交差点で 4 回発生したことに起因しており、システム状態無効による未提供は未提供期間全体の 99.8%以上を占めていた。単純に、データ生成不備及びデータ抜けによる未提供発生ケースは、神功 4 丁目において 9 回発生し、合計 23 秒となり、全体の 0.2%程度となった。

次に、管制方式を全体でまとめると表 6.38 の通りとなる。3 交差点分を合算すると稼働率は 98.74%程度になることが分かった。稼働率としては高いレベルにあると考えられる。

未提供期間はシステム状態無効によるところが大きいですが、信号制御機と中央装置間の通信異常で信号情報が生成されない場合もあることを考慮する必要がある。

表 6.38 稼働率（管制方式）

主要指標	提供方式	管制方式（3交差点）
	実施期間	01/20 10:16 ～ 02/03 12:07 ※メンテ期間等除く
	提供予定期間（累計）	671,941 秒
	未提供期間（累計）	8,463 秒
	信号予定情報送信数	7,336 回
	稼働率	98.740 %
参考指標	提供回数	23 回
	未提供回数	19 回
	平均均提供期間 （≒MTBF）	29,798 秒
	平均未提供期間 （≒MTTR）	446 秒

＜集中方式＞

4 交差点分の信号予定情報についてそれぞれの交差点毎に、計測期間に相当する提供予定期間、未提供期間、稼働率の目標値に直結する事項について調査した。加えて、未提供が発生した場合に平均値についても調査した。それらの結果を表 6.39 に示す。

表 6.39 交差点毎の稼働率（集中方式）

主要指標	提供方式	集中方式	集中方式	集中方式	集中方式
	制御種別	リコールなし・感応なし	リコールあり・感応あり	リコールなし・感応あり	リコールなし・感応なし
	交差点名	平城 2 号線	平城 1 号線	神功 5 丁目	神功 4 丁目
	ID	20299	20298	20382	300375
	実施期間	01/20 10:16 ～ 01/23 10:36	01/23 11:30 ～ 01/26 11:46 ※リコール時間帯を除く	01/27 11:10 ～ 01/30 12:01	01/26 12:01 ～ 01/30 12:01
	提供予定期間	260,368 秒	173,984 秒	264,066 秒	345,651 秒
	未提供期間	0 秒	0 秒	0 秒	739 秒
	信号予定情報送信数	2,434 回	3,028 回	4,392 回	2,879 回
	稼働率	100.000 %	100.000 %	100.000 %	99.786 %
参考指標	提供回数	1 回	4 回	1 回	3 回
	未提供回数	0 回	0 回	0 回	2 回
	平均均提供期間 （≒MTBF）	260,368 秒	43,496 秒	262,274 秒	114,952 秒
	平均未提供期間 （≒MTTR）	0 秒	0 秒	0 秒	370 秒

但し、計測実施時点において、夜間リコール制御時の信号制御機と信号情報配信装置間の課題が確認できていたため、平城 1 号線においては、リコール制御実施時は測定対象外としている。

本結果から集中方式については全ての交差点において 99%以上の稼働率となり目標である

99%を達成できたことが分かった。限られた期間（延べ8日間）ではあるが、3交差点においては100%の稼働率を確保した。一方、1つの交差点では未提供期間が2回発生しており、未提供期間は平均6分間程度となった。この原因は信号情報集約装置においてもデータ受信が確認できなかったため、信号制御機～信号情報集約装置間の中で発生した問題と考えられる。

次に、集中方式を全体でまとめると表 6.40 の通りとなる。4交差点分を合算すると稼働率は99.93%程度になることが分かった。稼働率としては高いレベルにあると考えられる。

表 6.40 稼働率（集中方式）

主要指標	提供方式	集中方式（4交差点）
	実施期間	01/20 10:16 ～ 01/30 12:01 ※リコール時間帯を除く
	提供予定期間（累計）	1,044,069 秒
	未提供期間（累計）	740 秒
	信号予定情報送信数	12,733 回
	稼働率	99.929 %
参考指標	提供回数	9 回
	未提供回数	2 回
	平均均提供期間 （≡MTBF）	115,925 秒
	平均未提供期間 （≡MTTR）	370 秒

<制御機方式>

3交差点分の信号予定情報についてそれぞれの交差点毎に、計測期間に相当する提供予定期間、未提供期間、稼働率の目標値に直結する事項について調査した。加えて、未提供が発生した場合に平均値についても調査した。それらの結果を表 6.41 に示す。

表 6.41 交差点毎の稼働率（制御機方式）

主要指標	提供方式	制御機方式	制御機方式	制御機方式
	制御種別	感應等なし	夜間閃光	夜間閃光
	交差点名	右京4丁目	神功4丁目東	平城西中学校北東角
	ID	1000207	1000208	1000109
	実施期間	02/03 16:05 ~ 02/07 14:47	02/03 16:00 ~ 02/07 14:47 ※夜間閃光時を除く	02/02 12:00 ~ 02/09 22:02 ※夜間閃光時を除く ※1
	提供予定期間（累計）	211,596 秒	268,877 秒	152,501 秒
	未提供期間（累計）	4,332 秒	23,629 秒	25,480 秒
	信号予定期間送信数	4,508 回	2,987 回	1,546 回
	稼働率	97.953 %	91.212 %	83.292 %
	提供回数	14 回	14 回	11 回
参考指標	未提供回数	18 回	13 回	8 回
	平均均提供期間 （≒MTBF）	9,011 秒	10,663 秒	11,547 秒
	平均未提供期間 （≒MTTR）	228 秒	1,074 秒	3,185 秒

※1： 2/2～3, 2/8～9の期間

計測実施時点において、夜間閃光時においては予定情報通知上の課題が確認できていたため、測定対象外としている。

本結果から制御機方式については全ての交差点において目標未達成となった。次に、未提供期間であるが、他の方式に比べると発生回数は多く合計 39 回発生した。但し、未提供期間の平均は、18.6 分であり全ての方式の中で最も長かった。これらの未提供期間はシステム状態が無効になるケースで構成されており、動的にデータ生成が不備となる場合やデータの不達による未提供発生の場合はなかった。

次に、制御機方式を全体でまとめると表 6.42 の通りとなる。3 交差点分を合算すると稼働率は 91.56%程度になる。稼働率の目標値は未達成となった。計測期間は 2 月に入ってから実施されたものの、ファームウェア等をアップデートするなど開発途上の状況であったことも影響しており、当該期間の連続稼働による平均稼働率は目標値を達成できなかった。なお、未提供期間はシステム状態無効によるところが大きいため、制御機方式自体のロジックもしくは信号情報配信装置でシステム無効判定ロジックの変更等で未提供時間の低減を行うことで、99.0%以上の稼働率を安定的に確保することが可能であると考えられる。

なおテーマ 8 の表 8.66 においてこの検証期間より後の期間を対象に集計されているので、本要因や今後の推進についてはテーマ 8 を参照されたい。

表 6. 42 稼働率（制御機方式）

主要指標	提供方式	制御機方式（3 交差点）
	実施期間	02/03 16:05 ～ 02/09 22:02 ※夜間閃光時を除く
	提供予定期間（累計）	632,975 秒
	未提供期間（累計）	53,442 秒
	信号予定情報送信数	9,041 回
	稼働率	91.557 %
参考指標	提供回数	39 回
	未提供回数	39 回
	平均提供期間 （≡ MTBF）	10,320 秒
	平均未提供期間 （≡ MTTR）	1,117 秒

＜受信装置による稼働率＞

信号予定情報は、情報を生成した装置から各種装置を経由して車載機へ通知されるが、その経路上において、フォーマットエラー等により信号予定情報が不達になる場合、通信網上で不達になる場合も考えられるため、受信装置毎に稼働率が変動する可能性がある。よって、その稼働率を確認する。

信号情報配信センター及び模擬車載機での稼働率を方式毎に表 6. 43～表 6. 45 に示す。全ての方式において、未提供期間及び稼働率は受信装置による違いは見受けられなかった。フォーマットエラー及び信号予定情報が信号情報集約装置以降で不達になる現象は見受けられなかった。フォーマットエラーに関しては規格適合度検証の結果が極めて高かったためと考えられ、不達に関しては QoS の指定（2）による効果と考えられる。

表 6.43 受信装置毎の稼働率（管制方式）

平城 2 号線	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	174,002 秒	174,002 秒	174,002 秒
	未提供期間	4,641.0 秒	4,641.5 秒	4,642.4 秒
	稼働率	97.333 %	97.332 %	97.332 %
奈良阪町北	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	260,259 秒	260,259 秒	260,259 秒
	未提供期間	493.9 秒	494.0 秒	494.4 秒
	稼働率	99.810 %	99.810 %	99.810 %
神功 4 丁目	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	259,547 秒	259,547 秒	259,547 秒
	未提供期間	3,328.1 秒	3,329.3 秒	3,332.8 秒
	稼働率	98.718 %	98.717 %	98.716 %

表 6.44 受信装置毎の稼働率（集中方式）

平城 2 号線	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	260,368 秒	260,368 秒	260,368 秒
	未提供期間	0 秒	0 秒	0 秒
	稼働率	100.000 %	100.000 %	100.000 %
平城 1 号線	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	173,984 秒	173,984 秒	173,984 秒
	未提供期間	0 秒	0 秒	0 秒
	稼働率	100.000 %	100.000 %	100.000 %
神功 5 丁目	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	264,066 秒	264,066 秒	264,066 秒
	未提供期間	0 秒	0 秒	0 秒
	稼働率	100.000 %	100.000 %	100.000 %
神功 4 丁目	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	345,651 秒	345,651 秒	345,651 秒
	未提供期間	739.4 秒	741.5 秒	741.8 秒
	稼働率	99.786 %	99.785 %	99.785 %

表 6.45 受信装置毎の稼働率（制御機方式）

	ID/交差点名	右京4丁目	制御種別	感応等なし
右京4丁目	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	211,596 秒	211,596 秒	211,596 秒
	未提供期間	4,331.7 秒	4,344.4 秒	4,349.8 秒
	稼働率	97.953 %	97.947 %	97.944 %
神功4丁目東	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	268,880 秒	268,876 秒	268,875 秒
	未提供期間	23,630.6 秒	23,643.2 秒	23,648.0 秒
	稼働率	91.211 %	91.207 %	91.205 %
平城西中学校北東角	稼働率算出装置	作成情報	模擬配信C	模擬車載機
	提供予定期間	152,502 秒	152,500 秒	152,500 秒
	未提供期間	25,480.8 秒	25,485.8 秒	25,487.2 秒
	稼働率	83.292 %	83.288 %	83.287 %

【稼働率の総括】

3方式の稼働率、算定根拠、最長連続提供期間を表 6.46 及び図 6.33 に示す。全ての方式で 99% を達成することはできなかったが、集中方式は 4 交差点の平均で 99.3%の稼働率となり目標値を達成できた。

一方管制方式においては平均値では 99%に届かなかったものの交差点単位でみれば、99%を超えていた箇所もあった。稼働率と最長連続提供期間の関係で考察すると、集中方式は稼働率と最長連続提供期間の双方優れていることが分かる。一方、管制方式においては、最長連続提供期間が集中方式に次ぐ長さであったが、未提供になるとその継続時間が長いことが課題となった。

制御機方式においては、計測期間は 2 月に入ってから実施されたものの、ファームウェア等をアップデートするなど開発途上の状況であったことも影響しており、当該期間の結果ではあるが、他の 2 方式と比べ稼働率及び最長連続提供期間については差が出てしまう結果となった。要因や今後の対応についてはテーマ 8 を参照のこと。

目標値を達成できなかった方式においても、管制方式は 98.7%、制御機方式は 91.5%と高い稼働率を有しているため、課題解決により 99%以上の稼働率の達成は可能であると考えられる。

一方で、本検証を通して交差点及び交差点群単位でサービスレベルを定量評価できることを示すことができた。信号情報センター及び信号情報配信センターとしては、本検証で実施したような方法で、サービスレベルを定量化する機能を実装することが望ましいと考えられる。

表 6.46 稼働率と最長連続提供期間（方式比較）

提供方式	管制方式（3 交差点）	集中方式（4 交差点）	制御機方式（3 交差点）
提供予定期間（累計）	671,941 秒	1,044,069 秒	632,975 秒
未提供期間（累計）	8,463 秒	740 秒	53,442 秒
信号予定情報送信数	7,336 回	12,733 回	9,041 回
稼働率	98.740 %	99.929 %	91.557 %
最長連続提供期間	02日 05:30:48.000	03日 15:19:13.800	00日 13:52:41.660

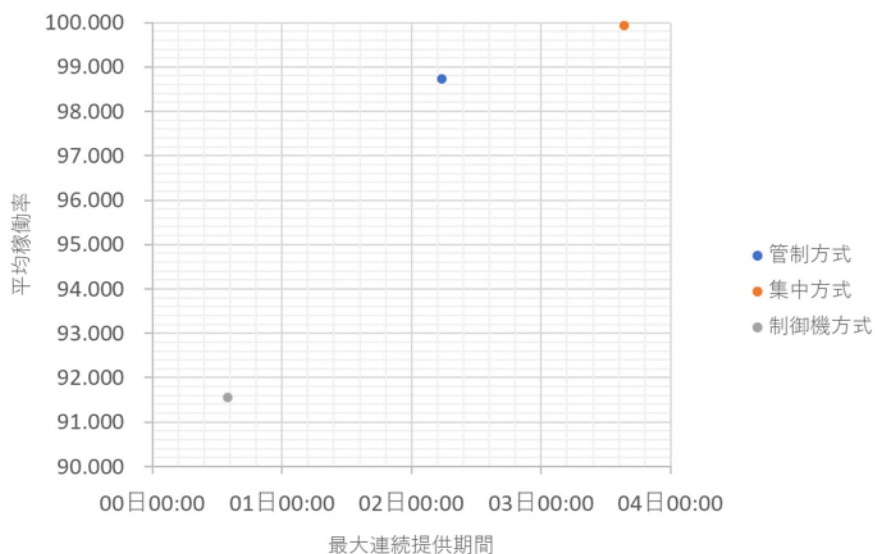


図 6.33 各方式の平均稼働率と最大提供時間

5.3.10. 負荷動作検証時の遅延時間・リソース測定

【概要】

負荷動作検証時に計測する項目等について以下に示す。

- ・遅延時間
- ・各種リソース測定項目
 - ・CPU使用率
 - ・メモリ使用率
 - ・DB使用量
 - ・パケット通信量

【測定対象・方法】

基本動作検証と同一方法とする。

【測定条件・集計】

基本動作検証と同一とするが、期間は以下の通りとする。

期 間 ： 1 日以上

【負荷検証結果 ①遅延時間】

管制方式の 3 交差点分 (2586 予定情報)、集中方式の 4 交差点分 (4639 予定情報)、制御機方式の 3 交差点分 (6483 予定情報) の累積転送遅延、装置間転送遅延、装置内処理遅延について表 6.51～表 6.59 に示す。

表 6. 51 負荷試験時の累積転送遅延（管制方式）

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	96 ms	105 ms	109 ms	271 ms
最大値	224 ms	234 ms	289 ms	921 ms
最小値	20 ms	25 ms	26 ms	132 ms
平均値	100 ms	109 ms	113 ms	296 ms
標準偏差	35 ms	37 ms	38 ms	95 ms
サンプル数	2586	2586	2586	2586

表 6. 52 負荷試験時の装置間転送遅延（管制方式）

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	96 ms	5.7 ms	1.0 ms	147 ms
最大値	224 ms	50 ms	96 ms	844 ms
最小値	20 ms	-14 ms	0 ms	77 ms
平均値	100 ms	9.3 ms	3.0 ms	184 ms
標準偏差	35 ms	11 ms	9 ms	89 ms
サンプル数	2586	2586	2586	2586

表 6. 53 負荷試験時の装置内処理遅延（管制方式）

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C
中央値	1.2 ms	0.1 ms	0.1 ms
最大値	17.9 ms	34.2 ms	66.6 ms
最小値	0.4 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	2.3 ms	0.2 ms	0.2 ms
標準偏差	2.2 ms	0.9 ms	1.6 ms
サンプル数	2586	2586	2586

表 6. 54 負荷試験時の累積転送遅延（集中方式）

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信 C	模擬 車載機
中央値	782 ms	788 ms	790 ms	979 ms
最大値	11,740 ms	11,748 ms	11,749 ms	11,832 ms
最小値	185 ms	191 ms	192 ms	337 ms
平均値	790 ms	797 ms	799 ms	1,012 ms
標準偏差	391 ms	391 ms	391 ms	402 ms
サンプル数	4639	4639	4639	4639

表 6. 55 負荷試験時の装置間転送遅延（集中方式）

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	782 ms	5.6 ms	1.1 ms	169 ms
最大値	11,740 ms	50 ms	82 ms	1,302 ms
最小値	185 ms	-58 ms	0 ms	80 ms
平均値	790 ms	6.8 ms	2.3 ms	213 ms
標準偏差	391 ms	8 ms	7 ms	102 ms
サンプル数	4639	4639	4639	4639

表 6. 56 負荷試験時の装置内処理遅延（集中方式）

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信 C
中央値	1.3 ms	0.1 ms	0.1 ms
最大値	36.5 ms	79.4 ms	171.8 ms
最小値	0.4 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	2.3 ms	0.2 ms	0.3 ms
標準偏差	2.4 ms	1.6 ms	3.5 ms
サンプル数	4639	4639	4639

表 6.57 負荷試験時の累積転送遅延（制御機方式）

	累積転送遅延時間			
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	377 ms	386 ms	389 ms	632 ms
最大値	1,895 ms	1,899 ms	1,900 ms	2,023 ms
最小値	47 ms	53 ms	54 ms	121 ms
平均値	481 ms	489 ms	492 ms	717 ms
標準偏差	371 ms	371 ms	371 ms	355 ms
サンプル数	6483	6483	6483	6483

表 6.58 負荷試験時の装置間転送遅延（制御機方式）

装置間転送遅延時間 (上流側装置受信～当該装置受信の遅延)				
受信装置	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C	模擬 車載機
中央値	377 ms	5.6 ms	1.1 ms	170 ms
最大値	1,895 ms	74 ms	106 ms	1,323 ms
最小値	47 ms	-46 ms	0 ms	64 ms
平均値	481 ms	8.1 ms	3.2 ms	225 ms
標準偏差	371 ms	10 ms	9 ms	133 ms
サンプル数	6483	6483	6483	6483

表 6.59 負荷試験時の装置内処理遅延（制御機方式）

	装置内処理遅延		
	信号情報 集約装置	模擬 信号C	模擬 配信 C
中央値	1.3 ms	0.2 ms	0.2 ms
最大値	54.3 ms	77.0 ms	59.6 ms
最小値	0.4 ms	0.0 ms	0.0 ms
平均値	2.5 ms	0.3 ms	0.3 ms
標準偏差	2.6 ms	2.2 ms	1.7 ms
サンプル数	6483	6483	6483

累積転送遅延について、基本動作時と負荷動作時を比較しても全体の遅延時間に悪化は確認できなかった。装置間転送遅延を確認したところ、信号情報集約装置の受信から模擬信号情報セン

ターの受信の間（信号情報集約システムの処理と伝送遅延）が、基本動作時が6ミリ秒のところが、概ね数ミリ秒（管制：3.3、集中：1.0、制御機2.3ミリ秒）悪化した。加えて、模擬信号情報センターの受信と模擬信号情報配信センターの受信の間（模擬信号センターの処理と伝送遅延）が、基本動作時が2ミリ秒程度のところが、概ね1ミリ秒（管制：1.1、集中：0.2、制御機1.0ミリ秒）悪化した。これらについては全体の遅延時間からすると大きな影響はないと考えられる。

最後に、信号情報集約装置での受信を確認したところ、信号情報配信装置までの遅延時間は管制方式を除いて、サンプル次第とは考えられるが良化しているところもあったため、今回の負荷状態、奈良県としての最大生成規模512に関しては、遅延時間に影響はないと考えられる。

【負荷検証結果 ②CPU使用率】

最大負荷検証時（1536 交差点配信状態）において、CPU使用率の調査を行った。調査方法、調査対象は基本動作検証時の計測方法と同様である。CPU使用率の平均値と最大値の結果を表6.60に示す。

表 6.60 負荷動作検証時のCPU使用率（平均値と最大値）

2月14日	信号情報集約システム		検証システム	
	信号情報集約装置	DB装置	模擬信号情報C	模擬信号情報配信C
平均値	6.97 %	1.43 %	1.52 %	1.40 %
最大値	55.46 %	7.78 %	1.94 %	1.82 %

※DB：データベースの略称、C：センターの略称

最大負荷状況であるが、模擬信号情報センター及び模擬信号情報配信センターのCPU使用率（平均値）は1.5%程度であった。基本動作検証時と比べると、2.3～2.5倍程度の使用率増加ではあったが、絶対量は小さい。また、最大値は1.9%程度であり、基本動作検証時との比較は同様傾向であった。こちらも最大値の絶対量が小さく、最大負荷時の動作としても問題ないと言える。

次に、信号情報集約システムであるが、信号情報集約装置は平均値が6.97%とやや高かったが、問題ないレベルであると考えられる。但し、通常時に比べた場合のCPU使用率の増分が大きいといえる。CPU使用率の最大値は約55%であり、CPU使用率の推移を確認した。CPU使用率が50%を超過したのは、4回発生していたが、時間的に連続することはなかった。負荷としてはI/O waitの項目が高く、一時的な入出力装置への負荷高まりがあったものと考えられるが、70%以下という目標値は達成している。

一方、DB装置については、CPU使用率は約1.4%であり、通常時の1.4倍程度であり、蓄積のための負荷が高まったと考えられるが想定範囲内であると言える。また、最大値についても8%程度であり問題ないレベルであると言える。

【負荷検証結果 ③メモリ使用量】

最大負荷検証時（1536 交差点配信状態）においてメモリ使用量の調査を行った。調査方法、調査対象は基本動作検証時の計測方法と同様である。CPU 使用率の平均値と最大値の結果を表 6.61 に示す。

表 6.61 負荷動作検証時のメモリ使用量

平均値	信号情報集約システム		検証システム	
	信号情報集約装置	D B 装置	模擬信号情報 C	模擬信号情報配信 C
2月14日	3,785,636 (KB)	77,194,500 (KB)	1,536,879 (KB)	1,811,626 (KB)
最大値	3,919,412 (KB)	77,195,416 (KB)	1,595,188 (KB)	1,966,484 (KB)
最小値	3,610,652 (KB)	76,785,996 (KB)	1,466,228 (KB)	1,642,640 (KB)

負荷動作検証時においては、整備システムである信号情報集約装置のメモリ使用量の平均は 4 GB 程度、D B 装置は 77 GB 程度を使用していることが分かる。信号情報集約装置については基本動作検証時と比べてメモリ量が少ない結果となった。これは負荷動作時向けの設定を行った際に、装置再起動等の措置の影響と推測される。この結果からは、負荷動作検証時においてメモリを大量に確保するような挙動に至っていないことが分かった。

次に、検証システムである模擬信号情報センター及び模擬信号情報配信センターは約 1.6~2.0 GB 程度であった。これは、通常時の 1.45~1.64 倍程度であり、MQTT 等のミドルウェアにおいて使用するメモリ確保量が増えたものと推測される。

検証システムと整備装置でメモリ使用量に大きな違いは基本動作検証時に考察した通り、整備用装置は各種運用管理・Web による各種参照機能等があることが原因であると考えられる。負荷動作検証を行った結果から、信号予定情報を中継・配信する部分に特化したアプリケーション部分は概ね 2 GB であると考えられる。最後に、各装置ともメモリ使用量は異なるものの、最大、最小も概ね 200MB 程度の差分内に収まっており安定稼働していることが確認できる。

【負荷検証結果 ④D B使用量】

最大負荷検証時（1536 交差点配信状態）において D B 使用量の調査を行った。結果を表 6.62 に示す。最大負荷検証時では、アプリケーションフォーマット上規定される最大サイズのデータを 1536 交差点分、1 分周期で送信を継続している。そのため、負荷状態のデータベースの使用量の増分は非常に多く、信号情報集約装置では 3 時間で約 1.1GB 程度、1 日で 8.7GB 程度となった。他方、模擬信号情報センターでも同様の傾向であり、1 日に 4.3GB 程度となった。この検証によって本システムの最大規模に近いデータベース使用量を、実システムを通して確認できた。

模擬信号情報センターを例にとると、基本動作検証時（52 交差点）では 1 日 26MB で済むところが、最大負荷検証時では、1 日 4.3GB であった。基本動作時と負荷動作検証時では、交差点規模が約 30 倍であるが、データ規模は約 165 倍となった。この結果から、必要規模と実装規模の乖離が大きいことが分かった。実整備の際には、交差点の情報提供計画に合わせてスペックを調整す

ることが望ましいと考えられる。

表 6.62 負荷動作検証時のDB使用量

日付	信号情報 集約装置	模擬信号 情報C	模擬信号 情報配信C
2月14日	8,738,057 (KB)	4,282,676 (KB)	4,280,600 (KB)

※C：センターの略称

【負荷検証結果 ⑤パケット通信量】

負荷動作検証時（1536 交差点配信状態）においてパケット通信量の調査を行った。Wireshark のメニュー上にある[統計] の機能を用いて、1 秒当たりの通信量（ビット）を調査した。

<信号情報集約装置－模擬信号情報センター間>

負荷動作検証状態の2月21日の1日間平均値は441,806(bits/sec)である1秒当たりの通信量のヒストグラムを図6.43に示す。

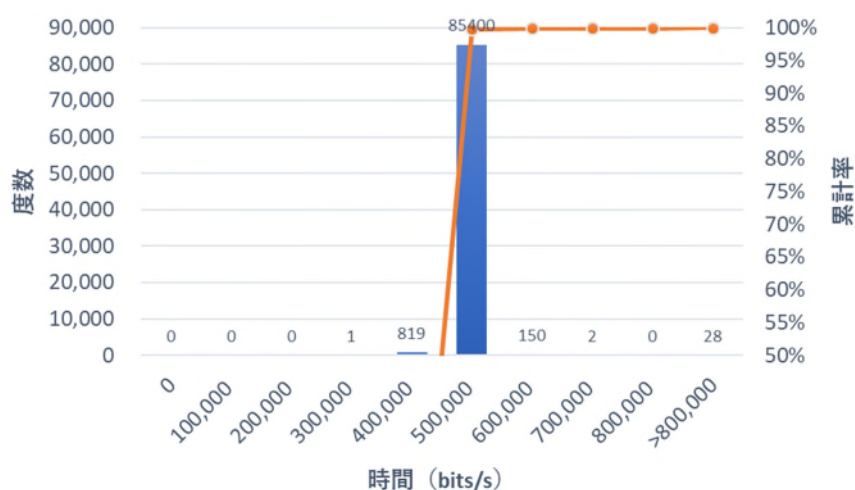


図 6.43 負荷動作検証時のパケット通信量の推移(集約側FW)

500,000 (bits/sec) 以下で概ね全体の99.8%の通信量を占めることが分かった。よって、負荷運用時において定常状態としては、500kbps 程度の帯域があれば運用できることが分かる。あくまで今回の負荷動作検証時（1,536 交差点）での計測値となるため、数値の取り扱いには注意が必要である。

<模擬信号配信センターと模擬車載機間（参考値）>

負荷状態において、信号予定情報の要求数が同程度であれば、車載機側の通信量は負荷動作においても変わらない。そこで、10 時間程度と限られた期間であるが、最大 514 交差点の信号

予定情報を要求する負荷状態として、通信量を測定した。条件としては 1 台の模擬車載機相当の端末から 512 交差点の情報を要求した。その内、112 交差点分は実際のデータであり、残りの 400 交差点分は負荷データとした。残りは 1 端末 1 交差点ずつ要求した。信号予定情報の要求規模としては約 257 端末分に相当する規模である。

期間平均値としては 110,452 (bits/sec) である。1 秒当たりの通信量のヒストグラムを図 6.44 に示す。140,000 (bits/sec) 以下で概ね全体の 99.8% の通信量を占め、集約側 F W の通信帯域の 1/3 以下となっていることが分かる。この条件においては、120kbps 程度の帯域を用意しておけば問題ないことが分かる。但し、あくまで今回の負荷動作検証時 (1,536 交差点) での計測値となるため、数値の取り扱いには注意が必要である。

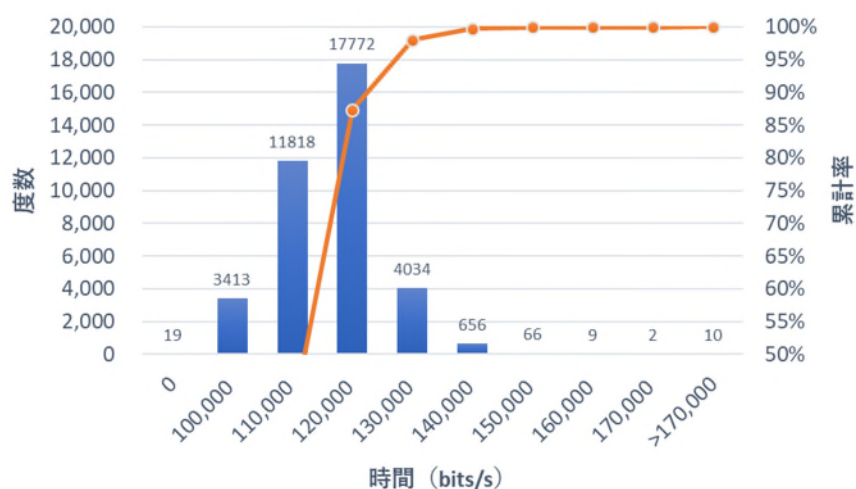


図 6.44 負荷動作検証時のパケット通信量の推移 (車載側 F W)

5.3.11. 帯域制限による各種検証

【概要】

都道府県警察及び警察庁の間の回線は 20Mbps、信号情報集約システム及び検証システムはネットワーク装置を介して LAN ケーブル直結によるネットワークを形成している。ここでは、信号情報集約システム及び模擬信号情報センター間のネットワーク帯域について検討するうえで、実測値に基づく検討を行う上で必要な調査を実施する。

負荷検証時の試験環境において、検証システム内のネットワーク機器において帯域制限を実施し、そのスループット等を計測することを目的とする。なお、現状、検証システム側のルーターにおいて、10Mbps の帯域制限 (シェーピング) を適用している。

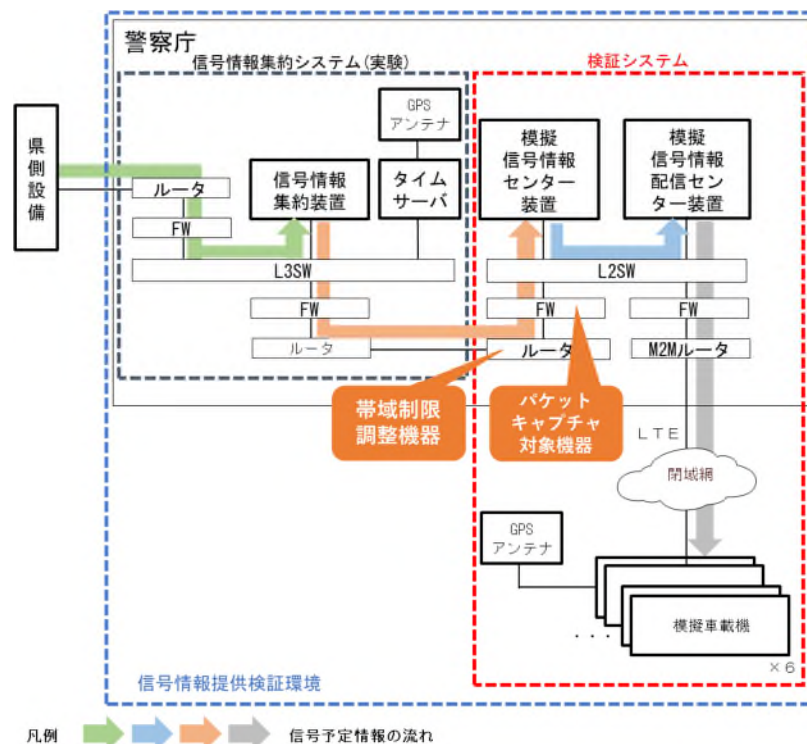


図 6.45 帯域制限検証時の主要機器配置図

【測定対象・方法】

帯域制限時の測定は次の通り実施する。

- ・通信帯域を調整できるルーターにおいて、帯域制限値を設定する。
- ・パケットキャプチャ対象機器において、パケットキャプチャを行い、パケット通信量を計測する。
- ・通信時の遅延も測定する。

現状、負荷動作時のパケット通信量は概ね 450~500kbps であった。また、本システムの特性として模擬信号情報センターが信号情報集約システムに接続する場合に、信号情報集約システムが保有している信号予定情報を一斉に配信する。よって、接続および再接続時が最もデータ通信量が多い。現状のパケット通信量を確認したところ 1 秒程度帯域制限値に達していることが判明した。よって、表 6.63 に示す帯域制限値を設けて調査を実施するものとする。

表 6.63 帯域制限の設定一覧

ルーターの帯域	備考
30Mbps	
10Mbps	検証時の設定
2Mbps	負荷動作時の 4 倍程度の通信容量
1Mbps	負荷動作時の 2 倍程度の通信容量

【測定条件・集計】

パケット通信量については全データを対象に計測する。

測定期間： 接続～通信安定まで

集計方法： 1秒単位のパケット通信量 (bits/sec) を計測

【測定結果 ①パケット通信量】

模擬信号情報センターの初期起動時からのパケット通信量について図 6.46 に計測結果を示す。システムを稼働させ安定状態に至るまでのパケット通信量を計測した。制限値が 30Mbps の場合は、最大 11.7Mbps となり、帯域制限と無関係に通信できた。制限値が 1, 2, 10Mbps の場合は、制限値での通信が確認でき、定常通信に至るまで時間を要した。制限値が 10Mbps の場合は、定常通信に至るまで約 3 秒を要し、同じく制限値が 2Mbps の場合は 12 秒要し、制限値が 1Mbps の場合は 28 秒要した。これらの結果から、模擬信号情報センターと信号情報集約システム間では、初期起動時のデータ同期を目的として、保持している信号予定情報を一斉に取得するが、帯域制限の影響を大きく受けることが分かった。加えて、初期起動の通信量と定常的な負荷状態の通信量が大幅に異なり帯域制限の影響を受けることが分かった。この同期通信が行われてから、通常的信号予定情報の通信が行われることを考えれば、帯域が 1, 2, 10Mbps の場合はそれぞれ通常の遅延時間に加えて最大 28 秒、12 秒、3 秒の遅延が加わるものと推察される。

運用を考えると、センター間での接続・再接続は頻繁に発生するものでないが、発生した際に許容できる範疇が望ましいと考えられる。今回の検証においては、接続時に大きな遅延を引き起こさないことを考えれば、2Mbps 程度以上は必要であると考えられる。しかし、再接続時と定常時の帯域が大きく異なるため、接続時の信号予定情報の同期機能については、削除した際の影響も考慮しながら、要・不要の検討を行う必要がある。

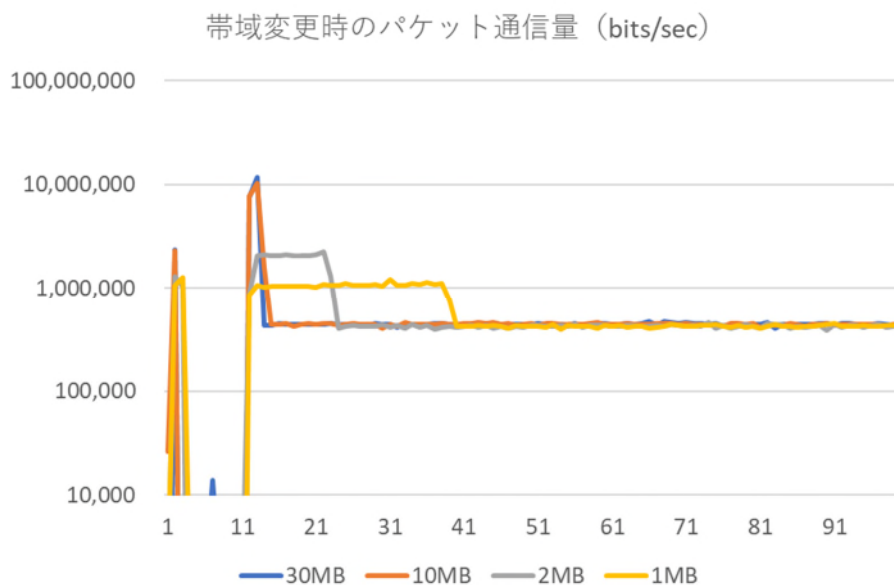


図 6.46 帯域変更時のパケット通信量

5.3.12. センター間障害発生時の転送遅延検証

【概要】

センター機器の異常発生時の情報の速達性を確認するため、センター機器異常時に送出されるセンター間障害情報及びセンター間障害情報受信後に送出される信号予定情報（システム状態無効）の通知までの時間について測定し、検証を実施する。

【測定対象・方法】

センター間障害情報の転送時間は、「測定対象装置での信号予定情報の受信時刻と信号情報集約装置での当該情報送信時刻との差分」から算出する。図 6.47 には信号情報配信センターでの例を示している。併せて、模擬車載機での信号情報無効の受信までの遅延時間についても計測する。

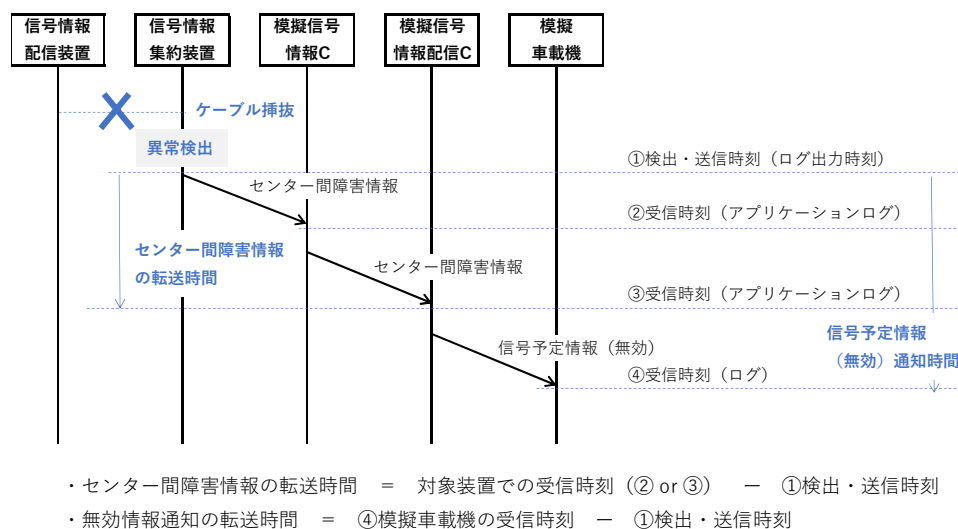


図 6.47 センター間障害情報の転送時間の測定概念

【測定条件・集計】

本測定において模擬車載機までの配信遅延については、処理上最早となる交差点と処理上最遅となる交差点を抽出して実施している。測定条件及び集計方法については以下の通りとする。

測定項目：模擬信号情報センターまでの転送時間

模擬信号情報配信センターまでの転送時間

模擬車載機へ信号予定情報（無効）通知までの時間

期間・方法：10 回以上

集計方法：中央値、平均値、最大値、最小値 標準偏差等

備考：車載機設置場所は東京都千代田区であった。

【検証内容】

検証する転送時間と信号予定情報通知時間装置間転送遅延については中央値として表 6.64 に示す測定するものとする。

表 6.64 検証する転送時間

測定対象	目標値
転送時間（模擬信号情報センター迄）	0.2 秒（200ms）以下
転送時間（模擬信号情報配信センター迄）	0.4 秒（400ms）以下（累積値）
信号予定情報通知時間※1（模擬車載機まで）	1.3 秒以下（1300ms） （累積値）

※1：システム状態無効に置き換えたもの

【検証結果】

<異常検出>

信号情報集約装置において、ケーブルを抜き切断異常検出した場合とケーブルを挿し異常復帰するまでの時間を計測した。結果を表 6.65 に示す。概ね検出までに 46 秒程度要し、最大値と最小値の関係からばらつきが少ないことが分かった。異常復帰については概ね 38 秒程度であることが分かった。通信切断の異常検出及び異常復帰を実施できた。検出までの秒数であるが、監視周期等を短く設定すればさらに早い検出が可能となると考えられる。

表 6.65 異常検出・復帰時間

	異常検出時間	異常復帰時間
平均値	45.6 秒	37.9 秒
最大値	45.8 秒	48.5 秒
最小値	45.4 秒	21.8 秒
サンプル	13	13

異常検出は、ケーブル切断から経過時間

異常復帰は、ケーブル接続からの経過時間

<センター間障害情報の通知>

信号情報集約装置において検出された異常をセンター間障害情報で通知する。それを各装置で受信した際の転送遅延秒を計測した。その結果を表 6.66 に示す。模擬信号情報センターまで 3ms、模擬信号情報配信センターまで 4.5ms で通知されていることが分かり、信号予定情報の 1 交差点分を伝達する遅延とほぼ同等であることが分かった。この結果からは累積転送時間を模擬信号情報センターで 200ms 以内、模擬信号情報配信センターで 400ms 以内とした目標を大幅に達成できたことが分かった。

表 6.66 センター間障害情報の転送時間

	模擬信号情報 C	模擬信号配信 C
平均値	3.0 ms	4.5 ms
最大値	4.2 ms	5.5 ms
最小値	2.2 ms	3.6 ms
サンプル	13	13

なお、Cはセンターの略称

< 信号予定情報の通知までの経過時間 >

信号情報集約装置において異常検出されてから、車載機で信号予定情報（システム状態無効）を受信するまでの経過時間を計測した。処理上、最早となる交差点と最遅となる交差点を抽出し、計測した。この結果からは信号予定情報の通知までの経過時間の平均値では最早交差点で 260ms、最遅交差点で 200ms となり、順序が逆転したが、最大値及び最小値については最早交差点の方が小さく、最遅交差点の方が大きい値となった。携帯網での遅延が経過時間の大半を占め、サンプル数が少ないことが原因で平均値のみ順序が逆転したものと考えられる。センター間障害情報を用いての無効情報の通知は、最大 500ms 以内で完了しており、1.3 秒以内にするという目標を大幅に達成できたことが分かった。

表 6.67 信号予定情報（無効）の受信までの経過時間

	交差点ID 1000109	交差点ID 400384
平均値	260.0 ms	197.6 ms
最大値	449.0 ms	455.0 ms
最小値	113.0 ms	125.0 ms
サンプル	13	13

なお、Cはセンターの略称

処理は（最初）1000109 →（最後）400384となる

5.3.13. 信号予定情報の通信遅延が与える影響の検証

【概要】

通常は、サイクル開始時に一度信号予定情報が送信される。2022 年度実施してきた遅延時間、青時間余裕度の検証結果からすると影響は少ないと思われる。但し、サイクル内で信号予定情報が変わる場合については遅延時間の影響を受ける。よって、ギャップ感応等に代表される感応時の動作及びリコール制御時の実施時の遅延の影響及び動作精度の状況についてビデオ検証を行い、影響度合いを調査する。

【測定対象・方法・検証内容】

基本的には感應制御等では打ち切り後、処理遅延及び通信遅延分は影響があると思われるため、次の点を評価する。

- ①感應制御後の表示誤差 : 感應動作による灯色切替後、
3 秒以内（次灯色である黄色の秒数）を仮の目標と設定し、
現状の実力値を確認する。
- ②生成後の情報誤差 : 感應動作により生成された信号予定情報の精度が、
300ms 以内であること。

サイクル開始時には幅付き情報で提供される（図 6.48 参照）。時点 1 では青の終了以降が幅付き情報となる。次に、感應制御により青時間が確定後に信号予定情報が生成され、幅が確定された情報が通知される（時点 2）。この時点 2 で受信した信号予定情報を対象に検証を実施する。検証する項目は、①感應制御後の表示誤差と②幅確定後に生成された信号予定情報の誤差の 2 つであり、図 6.49 にイメージを示す。これらはビデオ撮影により検証する。その撮影映像のサンプルを図 6.50～図 6.53 に示す。信号灯器とともに模擬車載機の灯器表示を同時に撮影し評価を実施した。

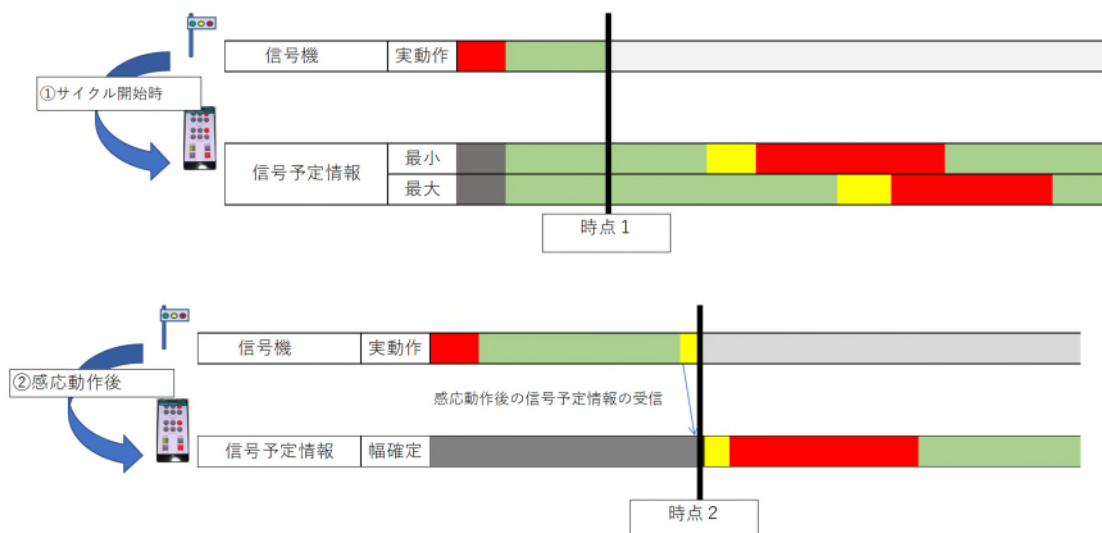


図 6.48 感應制御実施交差点の信号予定情報と通知タイミング

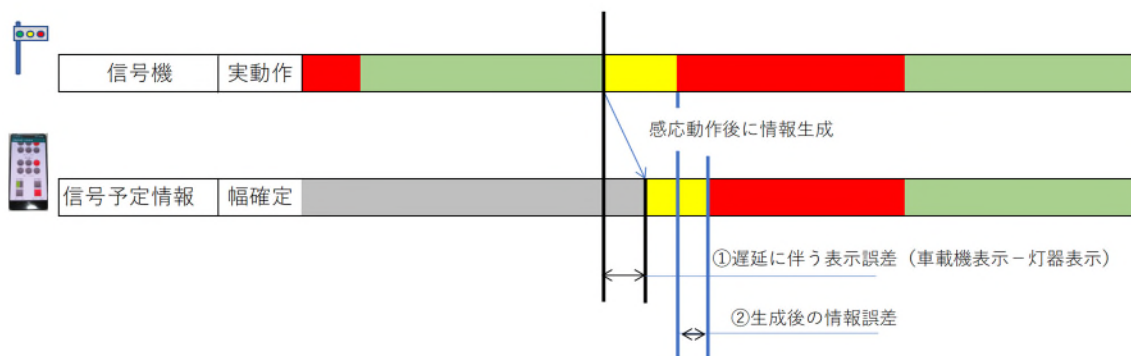


図 6.49 計測する誤差（遅延影響に起因するもの）



図 6.50 車両灯器の撮影映像の例（神功5丁目）



図 6.51 車両灯器の撮影映像の例（平城ニュータウン東）



図 6.52 歩行者灯器の撮影映像の例（神功5丁目）

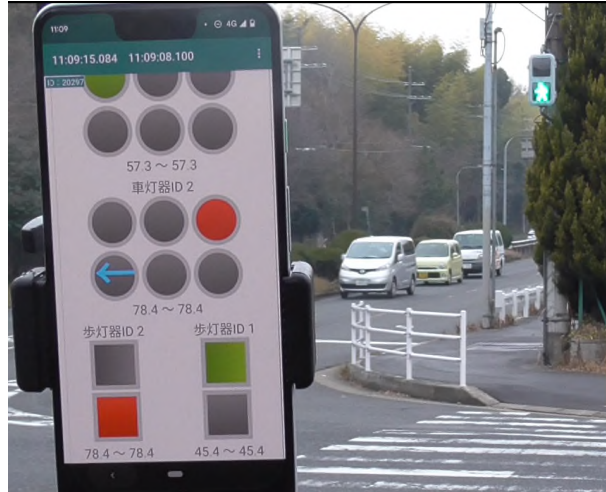


図 6.53 歩行者灯器の撮影映像の例（平城ニュータウン東）

【測定条件・集計】

測定項目 : ①感応制御後の表示誤差、②生成後の情報誤差

測定対象 : 神功5丁目（20382）、平城ニュータウン東（20297）

期間・方法 : 30 回以上

集計方法 : 中央値、平均値、最大値、最小値 標準偏差

【検証結果】

< 神功5丁目・車灯器（ギャップ感応） >

神功5丁目は青矢がギャップ感応で制御されている。そこを対象に感応制御後の表示誤差を計測した。感応制御時の表示誤差の計測結果を表 6.68 に示す。感応制御後の確定情報の到達までの遅延時間があるため、感応制御時の表示誤差（青矢→黄）が 1.071 秒となったが、灯色を跨った形での情報提供になっていないことは評価できる。そしてその最大値も約 1.9 秒であり、黄色信号内で情報切替が可能となっている。

次に、感応制御実施時に生成された信号予定情報についても赤色への切替りで評価を実施した。その際の誤差は他の報告である通り平均値として 0.082 秒であり、最大値・最小値も 300ms 以内の誤差であることが確認された。

感応制御時の表示誤差を図 6.54 に示す。本図から分かるように、感応制御時の表示誤差が少なくなるタイミングもあることが判明した。感応制御実施による秒数確定後の信号予定情報は概ね 1 秒強の通信遅延をもって模擬車載機で受信できることを確認できた。

表 6.68 感応側車灯器の表示誤差（神功 5 丁目）

	車灯器			
	青→黄	黄→青矢	青矢→黄	黄→赤
中央値	-0.033 秒	0.000 秒	1.067 秒	-0.067 秒
最大値	0.000 秒	0.000 秒	1.867 秒	-0.033 秒
最小値	-0.067 秒	-0.033 秒	-0.033 秒	-0.167 秒
平均値	-0.026 秒	-0.013 秒	1.071 秒	-0.082 秒
標準偏差	0.019	0.016	0.469	0.023
サンプル数	34	34	34	34

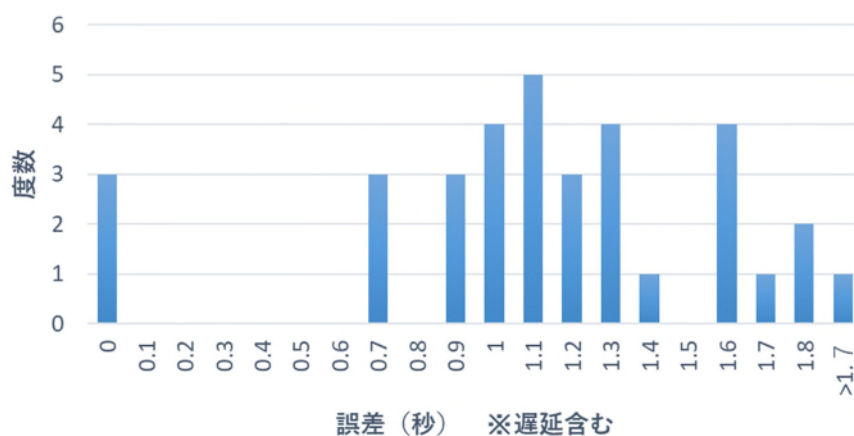


図 6.54 神功 5 丁目の感応制御後の表示誤差（遅延影響含む）

<平城ニュータウン東・車灯器（ギャップ感応）>

平城ニュータウン東では交差側の青信号がギャップ感応で制御されている。感応制御後の表示誤差を計測した。感応制御時の表示誤差を表 6.69 に示す。表 6.69 に示す通り感応制御後の確定情報の到達までの遅延時間があるため、感応制御時の表示誤差（青→黄）が 0.779 秒となったが、こちらも灯色を跨った形での情報提供になっていないこと確認できる。その最大値も約 1.57 秒であり、黄色信号内で情報切替が可能となっている。

感応制御実施時に生成された信号予定情報についても赤色への切替りで評価を実施した。その際の誤差は他の報告である通り平均値として-0.084 秒であり、最大値・最小値も 300ms 以内の誤差であることが確認された。

感応制御時の表示誤差を図 6.55 に示す。本図から分かるように、感応制御時の表示誤差が少なくなるタイミングもあることが判明した。このタイミングとは打ち切りが最大延長まで継続した場合である。その場合には打ち切りよりも少し前に予定情報が更新されるため、表示誤差が生じなかったものと考えられる。最後に、感応制御実施による秒数確定後の信号予定情報は概ね 1 秒弱の通信遅延をもって模擬車載機で受信できることを確認できた。

表 6.69 感応側車灯器の表示誤差（平城ニュータウン東）

	車灯器		
	赤→青	青→黄	黄→赤
中央値	0.000 秒	0.800 秒	-0.100 秒
最大値	0.033 秒	1.567 秒	-0.033 秒
最小値	-0.067 秒	-0.033 秒	-0.133 秒
平均値	-0.015 秒	0.799 秒	-0.084 秒
標準偏差	0.020	0.401	0.020
サンプル数	34	34	34

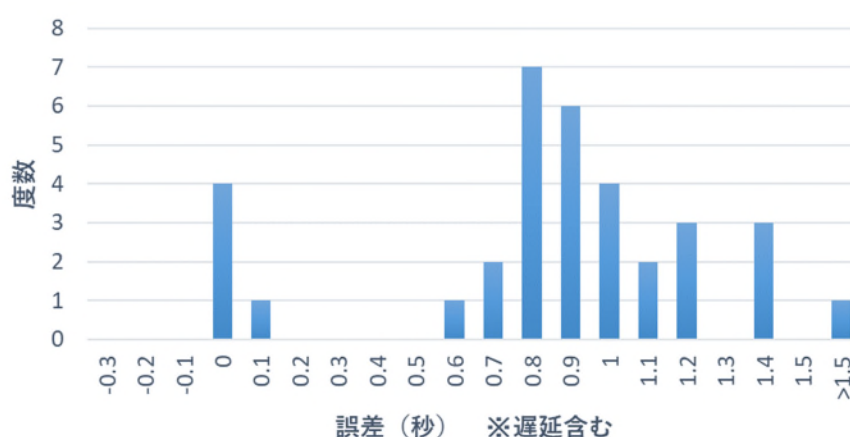


図 6.55 平城ニュータウン東の感応制御後の表示誤差（遅延影響含む）

<神功5丁目・歩灯器>

神功5丁目交差点の歩灯器 ID2 で表示誤差の検証を行った。これは感應制御後の生成情報の精度評価であり、結果を表 6.70 と図 6.56 に示す。そして誤差は別テーマで実施されている通り、最大値も含め±0.3 秒以内となっていることが確認できた。

表 6.70 幹線横断の歩灯器の表示誤差（神功5丁目）

	歩灯器	
	青点滅→赤	赤→青
中央値	-0.200 秒	-0.200 秒
最大値	-0.133 秒	-0.133 秒
最小値	-0.267 秒	-0.267 秒
平均値	-0.185 秒	-0.185 秒
標準偏差	0.025 秒	0.025 秒
サンプル数	32	32

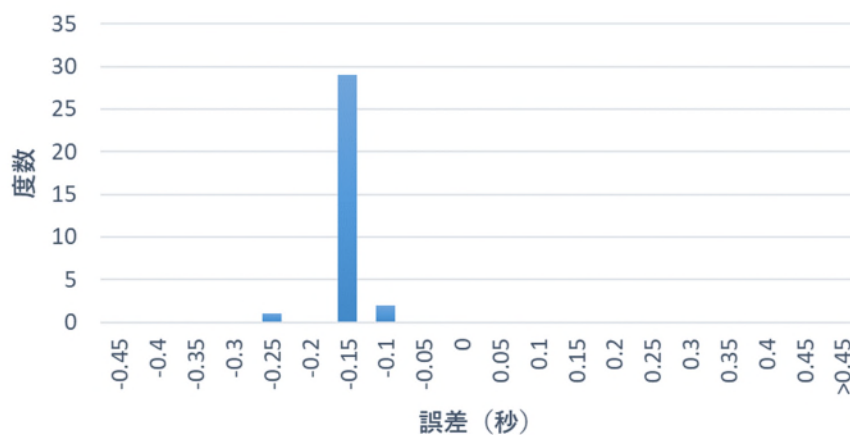


図 6.56 神功5丁目の歩灯器の表示誤差（青点滅→赤）

<平城ニュータウン東・歩灯器>

平城ニュータウン東交差点の歩灯器 ID1 で表示誤差の検証を行った。これは感應制御後の生成情報の精度評価であり、結果を表 6.71 と図 6.57 に示す。そして誤差は別テーマで実施されている通り、最大値も含め±0.3 秒以内となっていることが確認できた。

表 6.71 交差横断の歩灯器の表示誤差（平城ニュータウン東）

	歩灯器	
	赤→青	青点滅→赤
中央値	-0.067 秒	0.000 秒
最大値	-0.033 秒	0.000 秒
最小値	-0.100 秒	-0.067 秒
平均値	-0.069 秒	-0.014 秒
標準偏差	0.018 秒	0.018 秒
サンプル数	33	33

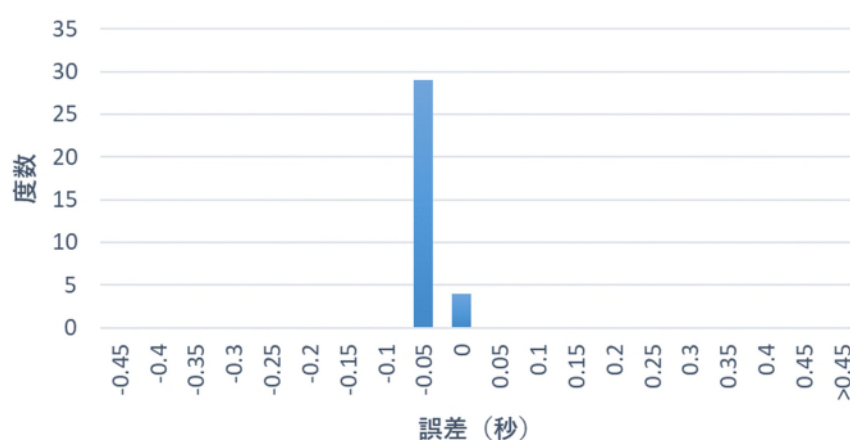


図 6.57 平城ニュータウン東の歩灯器の表示誤差（赤→青）

<総括>

感応制御時には遅延時間の影響を大きく受けるが、切替り後の灯色の範囲内での情報提供が可能であることが確認できた。遅延時間の影響を受けるが、その表示誤差も 0.7~1 秒程度であることが確認できた。しかし、感応制御の最大延長確定時など、誤差が発生しないタイミングもあることが分かった。最後に、生成された信号予定情報の誤差も通常時のものと遜色のないレベルのものが提供されたことが確認できた。

加えて、歩行者灯器側の生成精度の確認も行ったが、感応制御後においても精度に影響がないことを確認した。

6. 実験仕様案の見直し

6.1. 実証実験時の課題点

実証実験時に発生した課題を以下にまとめる。

○信号情報集約システムの仕様に関する課題

①信号情報集約装置では、信号情報配信装置から受信した信号予定情報の履歴を表示する画面や、模擬信号情報センターへ送信した信号予定情報の履歴を表示する画面は存在するが、

- ・信号予定情報の受信履歴の画面：作成日時の表示あり、受信時刻の表示なし
- ・信号予定情報の送信履歴の画面：作成日時の表示なし、送信時刻の表示なし

であり、作成日時による同一情報のトラッキングができなかった。また画面に表示した信号予定情報を CSV 等に外部出力する手段がなかった。以上より、信号情報集約装置での遅延時間の検証が困難であった。

なお、実際の検証では、信号情報集約装置のデータベースに蓄積されている信号予定情報の作成日時、受信時刻、送信時刻を抽出するツールを新たに作成することで、信号情報集約装置での抽出が可能になった。

②信号情報集約装置では、信号予定情報の受信時刻と送信時刻がデータベースへの書き込み時刻になっているため、信号情報集約装置における信号予定情報の受信時刻と送信時刻には、実際に信号予定情報を受信・送信した時刻に対して、データベースに書き込むまでの時間が加算されている。そのため、信号情報集約装置での正確な遅延時間の測定ができず、参考値となった。

③リコール制御時、同じ作成日時で異なった信号予定情報が作成される場合がある。信号情報集約装置では、同じ作成日時で異なった信号予定情報を受信すると、それらの信号予定情報を模擬信号情報センターに送信しているが、受信履歴や送信履歴のデータベースには、信号予定情報を 1 データしか蓄積していない。そのため、信号情報集約装置で受信・送信した全ての信号予定情報を参照することができなかった。

④信号情報集約装置では、模擬信号情報センターの監視のために、模擬信号情報センターが送信する計測用監視情報を使用したが、計測用監視情報は通信速度の計測のためのものである。信号情報集約装置は模擬信号情報センターの監視は不要である。

⑤信号情報集約装置では、受信・送信した交差点管理情報を 10 日以上蓄積している。信号情報配信装置は、更新がある場合に交差点管理情報を送信するので、蓄積期間中に交差点管理情報の更新がないと、交差点管理情報の蓄積がなくなる場合がある。

○通信アプリケーション規格案に関する課題

⑥MQTT over TLS では、サーバー側でクライアント証明書による認証を実施することを想定して

いたが、信号情報集約装置では、当初クライアント証明書による認証を実装していなかった。
信号情報集約装置でクライアント証明書による認証を実装することで、検証システムの全装置でクライアント証明書による認証が可能となった。

○信号情報提供・共通メッセージ規格案に関する課題

⑦交差点管理情報には作成日時の項目がないので、いつ作成・更新された情報かが分からない。

⑧2023/2/14 時点で、歩灯器情報の設定に誤りがある交差点が複数あった。具体的な内容としては、次の通りである。

- ・横断歩道がない方路に歩灯器情報が設定
- ・方路に対する歩灯器 ID の設定誤り
- ・歩行者信号表示が全て赤設定の歩灯器 ID あり
- ・2 サイクル目に誤った歩行者信号表示が設定

(※)なお 本設定誤りは検証期間の後半で確認されたものではあるが、今後設定方法ならびに検証方法を具体化するガイドライン等で改善できると考える。

⑨2023/2/16 の現地にて、管制方式の 400375：神功4丁目の交差点では、22 時以降、車灯器と歩灯器共に、信号予定情報と実際の灯色が合っていなかった。なお、この交差点は、22 時以降もリコール制御ではなく、定周期で灯色が変化していた。

6.2. 課題点を踏まえた仕様見直し案

課題点を踏まえた仕様見直し案を以下に示す。

①：信号情報集約装置の画面表示について

信号情報集約システムの仕様書案の「2.2.2 ソフトウェア機能に関する事項」に対して、赤字部分を追加する。

区 分	項 目	機 能
信号予定情報 照会	信号予定情報の 受信・稼動履歴抽出	(1) 接続先である都道府県警察の信号情報配信装置からの受信した情報に関して、受信・稼動状況の履歴一覧を表示することができること。 (2) 一覧表示の照会条件は、照会時刻、交差点及び稼動情報を設定することができること。 なお、設定する時刻は蓄積データある範囲とし、年月日時分で設定することができること。 (3) 表示方法については、信号予定情報を受信した時刻、信号予定情報内の作成日時・システム状態・イベントカウンタの表示を必須とし、それ以外の項目については、警察庁と協議の上、決定すること。 (4) 照会情報を帳票表示する、もしくは、画面表示項目をCSV等の形式で保存できること。※1
	信号予定情報の 配信・稼動履歴抽出	(1) 接続先である信号情報センターへ送信した情報に関して、送信・稼動状況の履歴一覧を表示することができること。 (2) 一覧表示の照会条件は、照会時刻、交差点及び稼動情報を設定することができること。 なお、設定する時刻は蓄積データある範囲とし、年月日時分で設定することができること。 (3) 表示方法については、信号予定情報を送信した時刻、信号予定情報内の作成日時・システム状態・イベントカウンタの表示を必須とし、それ以外の項目については、警察庁と協議の上、決定すること。 (4) 照会情報を帳票表示する、もしくは、画面表示項目をCSV等の形式で保存できること。※1

※1：信号情報集約システムの調達経緯で帳票表示の記載が削除されたため、課題点を考慮し、仕様見直し案を追加した。

②及び③：信号情報集約システムの蓄積について

信号情報集約システムの仕様書案の「2.2.2 ソフトウェア機能に関する事項」に対して、赤字取り消し線部分を削除、赤字部分を追加する。

区 分	項 目	機 能
情報蓄積	信号予定情報蓄積	信号情報配信装置から信号予定情報を受信した時刻と共に、信号予定情報を信号情報配信装置単位または県単位で蓄積すること。なお、蓄積期間は15日10日以上とすること。※2 同じ作成日時で異なった信号予定情報の場合も漏れなく蓄積すること。
	交差点管理情報蓄積	信号情報配信装置から交差点管理情報を受信した時刻と共に、交差点管理情報を信号情報配信装置単位または県単位で蓄積すること。なお、蓄積期間は15日10日以上とすること。※2
	配信用信号予定情報蓄積	信号情報センターに信号予定情報を送信した時刻と共に、信号情報センターに送信する信号予定情報を県単位で蓄積すること。なお、蓄積期間は15日10日以上とすること。※2 同じ作成日時で異なった信号予定情報の場合も漏れなく蓄積すること。
	配信用交差点管理情報蓄積	信号情報センターに交差点管理情報を送信した時刻と共に、信号情報センターに送信する交差点管理情報を県単位で蓄積すること。なお、蓄積期間は15日10日以上とすること。※2

※2：2021年度の信号情報集約システムの仕様書案では蓄積期間は15日以上と記載していたが、信号情報集約システム調達時の検討経緯を踏まえ、蓄積期間は10日以上とした。

④：信号情報集約システムの稼働監視について

信号情報集約システムの仕様書案の「2.2.2 ソフトウェア機能に関する事項」に対して、赤字取り消し線部分を削除する。

区 分	項 目	機 能
稼働監視	接続装置状態監視	都道府県警察の交通管制センターに整備される信号情報配信装置 および信号情報センター の状態を監視すること。
管理情報照会	接続装置状態 情報抽出	(3) 接続先である都道府県警察の信号情報配信装置、信号情報センターの監視状況（正常／異常等）を抽出し、一覧化できること。 (4) 監視情報を照会する時刻を設定できること。 なお、設定する時刻は蓄積データある範囲とし、年月日時分で設定することができること。 (5) 一覧表示する際に、自動更新のオン・オフを指定できること。 なお、表示する情報の時刻は、最新、既に登録されている情報の時刻の1分前及び1分後が容易に変更及び表示ができること。また、設定表示される時刻情報（年月日時分）を表示すること。 (6) 表示方法については、警察庁と協議の上、決定すること。

⑤：交差点管理情報の蓄積について

信号情報集約システムの仕様書案の「2.2.2 ソフトウェア機能に関する事項」に対して、赤字取り消し線部分を削除、赤字部分を追加する。

区 分	項 目	機 能
情報蓄積	交差点管理情報蓄積	交差点管理情報を信号情報配信装置単位または県単位で蓄積すること。 なお、蓄積期間は15日以上とすること。
	配信用交差点管理情報蓄積	信号情報センターに送信する交差点管理情報を県単位で蓄積すること。 なお、蓄積期間は15日以上とすること。
システム管理機能	蓄積データ管理	信号予定情報の蓄積データの保存期間は、 15日 10日以上とし、それ以前のデータは自動で消去すること。※3

※3：2021年度の信号情報集約システムの仕様書案では蓄積期間は15日以上と記載していたが、信号情報集約システム調達時の検討経緯を踏まえ、蓄積期間は10日以上とした。

⑥：MQTT over TLS の認証について

各装置間の通信アプリケーション規格案（「制御機方式通信アプリケーション規格案」「信号情報配信装置－信号情報集約システム間通信アプリケーション規格案」「信号情報集約システム－信号情報センター間通信アプリケーション規格案」「信号情報センター－信号情報配信センター間通信アプリケーション規格案」）の「3.3 接続プロトコル」に対して、赤字部分を追加する。

3.3. 接続プロトコル

アプリケーション層の接続プロトコルは、MQTT (Message Queueing Telemetry Transport) バージョン 3.1.1 とする。

TLS (Transport Layer Security) は、バージョン 1.3 とする。

MQTT の主要なパラメータの設定値を表 3.2 に示す。

表 3.2 MQTT の主要なパラメータの設定値

パラメータ	設定値	備考
Q o S (Quality of Service)	2	Exactly once
R E T A I N f l a g	1	retain機能を使用する
W i l l f l a g	0	Will機能を使用しない
K e e p A l i v e	60	60秒

なお、User Name と Password フラグについては接続装置間で認識合せが必要である。

TLS 及び MQTT プロトコルでの、認証条件は次の通りである。

- ・サーバー側の認証

TLS : クライアント証明書（デジタル署名及び証明書有効期限等）

- ・クライアント側の認証

TLS : サーバー証明書（デジタル署名、証明書有効期限、CN等）

⑦：交差点管理情報の作成日時について

信号情報提供・共通メッセージ規格案の「4.3 交差点管理情報」に対して、検討中の部分を追加することを提案するが、将来的には関連委員会やワーキングで交差点管理情報を整備するタイミングなどを議論する必要がある。

構成DF／DE	表現形式	コード	備考
DF_提供点管理番号			
DE_都道府県コード	bin(8)	D-1	
DE_提供点種別コード	bin(1)	D-2	
DE_交差点ID／単路ID	bin(47)	B-1	
DE_予備 8	bin(8)	C-8	

DE_予備 8	bin(8)	C-8	
DE_バージョン番号 (規格)	bin(8)	B-3	
DE_バージョン番号 (定義情報)	bin(8)	B-4	
DF_作成日時			
DE_年	bin(16)	A-1	
DE_月	bin(8)	A-2	
DE_日	bin(8)	A-3	
DE_時刻 (時)	bin(8)	A-4	
DE_時刻 (分)	bin(8)	A-5	
DE_時刻 (秒)	bin(8)	A-6	
DE_時刻 (10ミリ秒)	bin(8)	A-7	
DF_交差点情報			
DF_中心経度緯度			
DE_経度	bin(32)	G-1	
DE_緯度	bin(32)	G-2	
DE_運用モード	bin(1)	G-3	
DE_接続方路数 (I)	bin(7)	C-11	
DE_予備	bin(7)	C-7	
DF_方路角度情報			
DE_方路角度情報	bin(8)	G-6	
:			
DF_方路角度情報 : I			

⑧及び⑨：信号予定情報や交差点管理情報の設定内容について

信号予定情報や交差点管理情報の設定内容を確認する第三者機関を設ける必要があると考える。

7. 総括

通信のメッセージ規格、信号情報センターの仕様書案をもとに、模擬信号情報センター、模擬信号情報配信センター及び模擬車載機からなる検証システムの概略仕様を策定し、それらのアプリケーションを製作し、検証システムを具現化した。構築した検証システムは警察庁に整備された信号情報集約システムと接続し、信号情報提供の検証環境を構築した。なお、通信プロトコルには国際標準規格の MQTTS を使用し、各装置間はクライアント認証、サーバー認証をおこない相互通信のデータ暗号化によりセキュリティ面での強化をはかっている。検証環境を用いて、接続切断試験、シーケンス／電文確認試験、異常系試験、シナリオ試験について累計 51 項目の試験を実施した。この結果からインターフェイス仕様・アプリケーション規格に則り実装され、システム挙動として問題ないことが確認でき、信号情報集約システム及び模擬信号情報センターの信号情報の集約・配信機能の基本設計が妥当であることを確認した。

重要性能である遅延時間について、信号予定情報生成から模擬車載機までの総遅延時間は、管制方式の中央値が 0.3 秒、最大値が 1.1 秒、集中方式の中央値が 1.2 秒、最大値が 6.6 秒、制御機方式の中央値が 0.8 秒、最大値が 2 秒の結果であった。管制方式は信号情報配信センターから車載機への LTE 通信によるもの、集中方式は DATEX-ASN の再送 5 秒。制御機方式は、信号制御機から信号情報配信装置への LTE 通信と、信号情報配信センターから車載機への LTE 通信によるものである。今回の検証環境においては提供方式毎に信号情報集約装置までの転送遅延が異なっていることが判明したが、信号情報集約装置から模擬信号情報配信センター間の転送遅延は合計で 7ms 程度であり、提供方式によらないことが確認でき、全体の遅延に占める割合は低いことが分かった。

次に、動的な信号予定情報に対して規格違反をチェックする機能を具現化し、違反した信号予定情報についてはシステム状態を無効にして転送する機能を具現化した。この機能を使用し規約違反回数を測定することでデータ精度向上に貢献した。改めて、正確度が高い情報を配信するために、信号情報を配信するシステムにはこのような信号予定情報等の規約監視機能が必要でことが分かった。この結果、信号予定情報の稼働率は集中方式で 99%を達成し、それ以外も 98.7%以上となった。本検証を通して交差点及び交差点群単位でサービスレベルを定量評価できることを示すことができた。信号情報を配信するシステムには、本検証で実施したような方法により、機能実装することが望ましいと考えられる。また、緩やかな減速のための余裕時間の確保の観点から、信号予定情報の第一現示の残秒数の実態を調査したが、第一現示は 30～60 秒の間に全体の約 70%以上が存在し、それ以上が約 30%あることが分かった。この結果から、リコール制御及び第一現示で感応制御等を行っている場合を除いて、第一現示の青時間が 15 秒以下となるところはないことが分かり、現状の遅延時間であれば余裕を持った停止、発進を判断することが可能であると考えられる。

異常時の性能検証として、センター間障害情報を用いた信号予定情報の無効化等の機能及び性能検証も完了した。センター間障害情報は信号情報集約装置から模擬信号情報配信センターまで 5ms 以内で伝達され、システム状態が無効な信号予定情報も 500ms 以内に通知でき、信号予定情報が多い場合において、情報の速達性に寄与すると考えられる。帯域制限時の試験からは、接続時の情報同期の際に大きな遅延を発生させないことを考えれば、2Mbps 程度以上は必要であると考えられる。しかし、再接続時と定常時の帯域が大きく異なるため、接続時の信号予定情報の同期機能については費用対効果、

安全性の面から要・不要の検討を行う必要がある。

最大負荷試験（1536 交差点、最大データサイズ）においても性能低下は発生せず、システム設計に問題ないことが検証できた。通信遅延については、センター間の装置間転送遅延時間が1～3ミリ秒程度悪化したが、全体の遅延時間からすると大きな影響はなかった。特に、通信帯域及びデータベース容量に関しては基本動作検証時と最大負荷試験時で100倍以上異なる結果が出たことから、システム利用期間における整備規模等に応じて妥当な規模を選定することが望ましいと考えられる。

検証の最後として、遅延時間等がフィールドに与える影響を確認した。感応制御時には遅延時間の影響を大きく受けるが、切替り後の灯色の範囲内での情報提供が可能であることが確認できた。遅延時間の影響を受けるが、その表示誤差も0.7～1秒程度であることが確認できた。生成された信号予定情報の誤差も通常時のものと遜色のないレベルのものが提供されたことが確認できた。加えて、歩行者灯器側の生成精度の確認も行ったが、感応制御後においても精度に影響がないことを確認した。

最後に、実証実験時の課題を8点挙げ、信号情報集約システムのシステム仕様書案の見直し案を策定した。

8. データ編

8.1. 交差点毎の信号予定情報の第一現示残秒数

管制方式の個別交差点の第一現示残秒数を図 6.58～図 6.60 に示す。

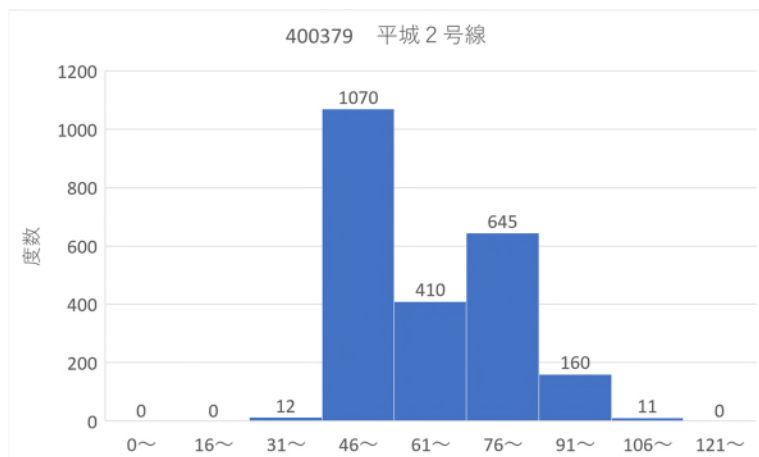


図 6.58 400379 の第一現示分布

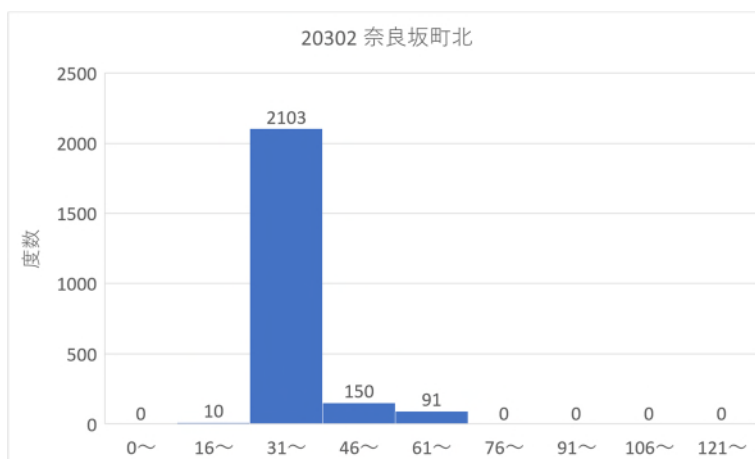


図 6.59 20302 の第一現示分布

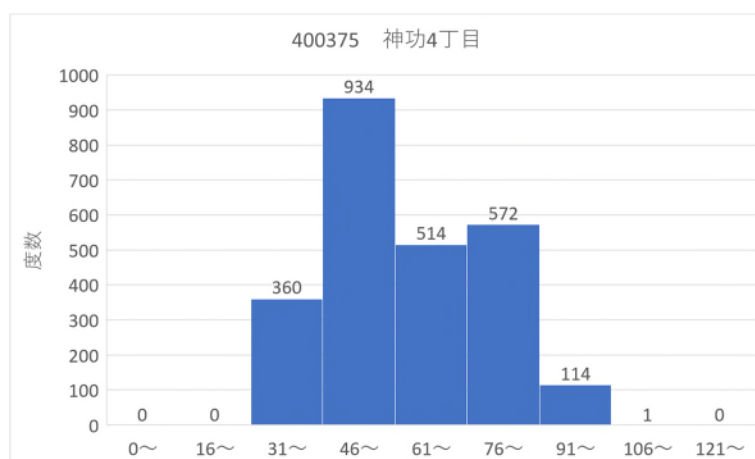


図 6.60 400375 の第一現示分布

集中方式の個別交差点の第一現示残秒数を図 6.61～図 6.64 に示す。

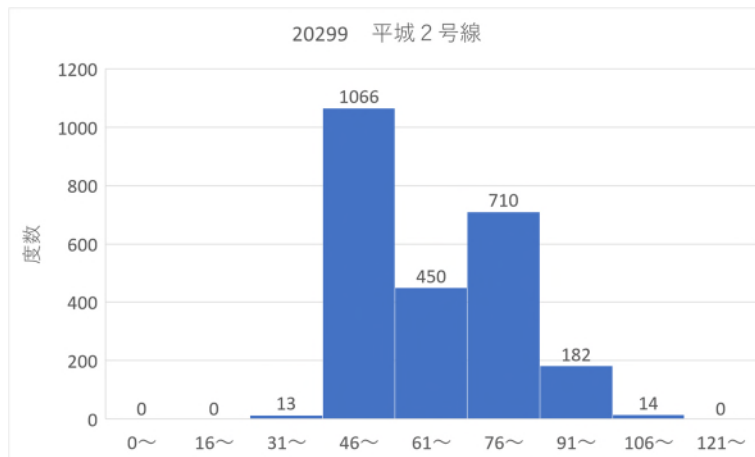


図 6. 61 20299 の第一現示分布

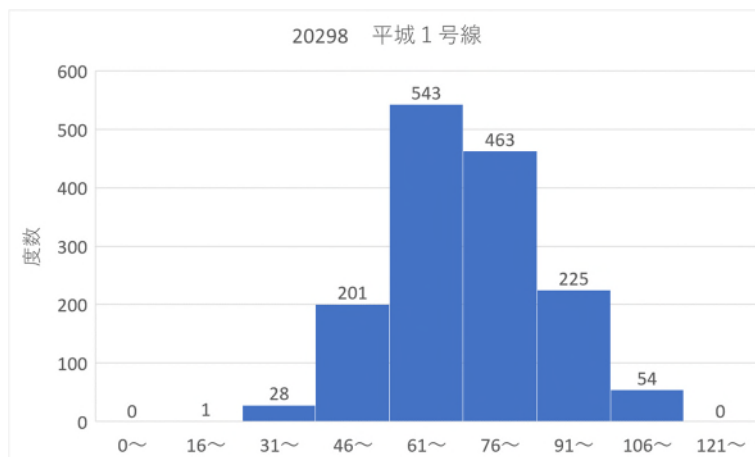


図 6. 62 20298 の第一現示分布

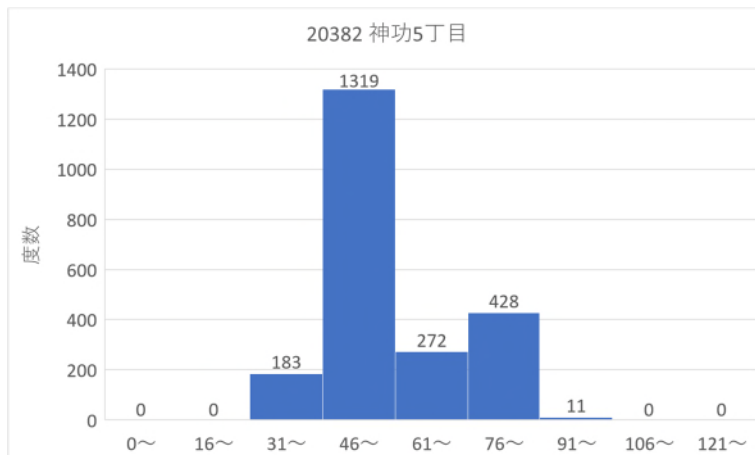


図 6. 63 20382 の第一現示分布

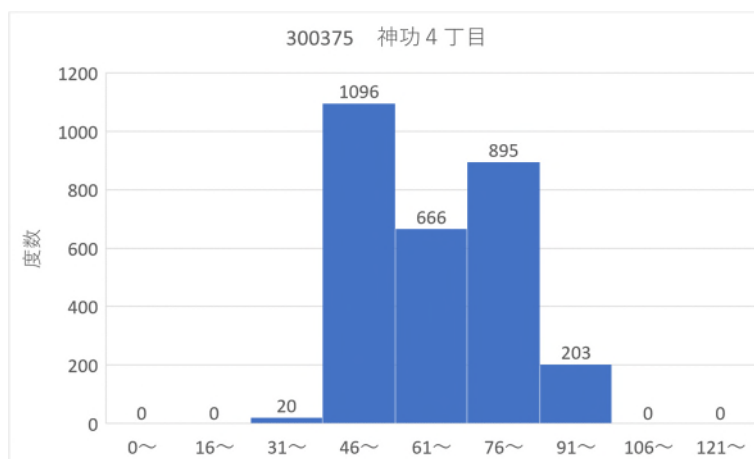


図 6. 64 300375 の第一現示分布

制御機方式の個別交差点の第一現示残秒数を図 6. 65～図 6. 67 に示す。

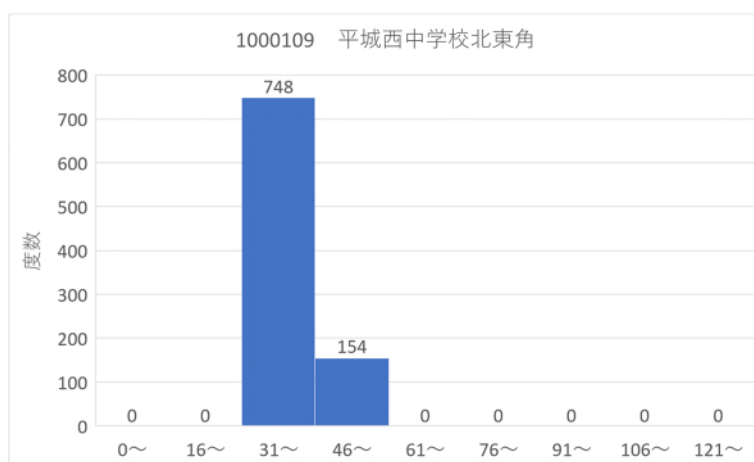


図 6. 65 1000109 の第一現示分布

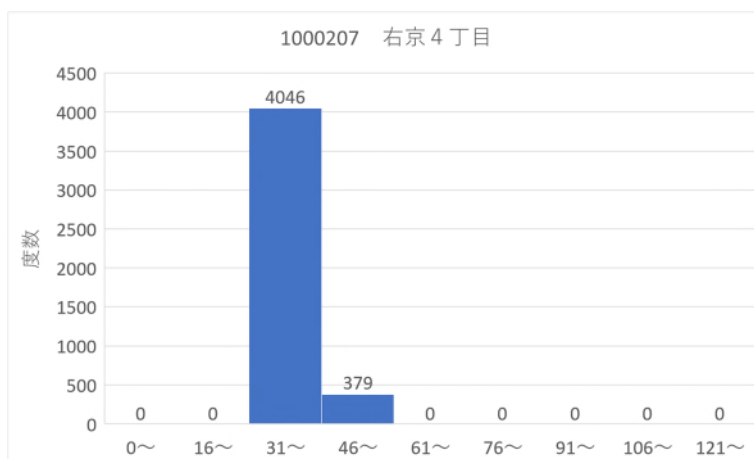


図 6. 66 1000207 の第一現示分布

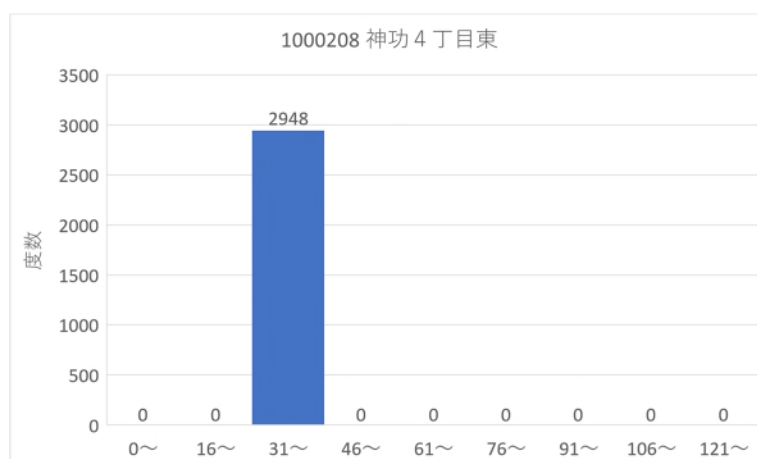


図 6. 67 1000208 の第一現示分布

以上

第7章 警察庁～都道府県間ネットワークの構築及び都道府県警察システムにおける信号情報提供 検証環境の構築、検証実施等（テーマ7）

1. 概要

1.1. 研究開発の目的

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）においては、自動運転に係る激しい国際競争の中で世界に伍していくため、自動車メーカーの協調領域となる世界最先端のコア技術（信号・プローブ情報をはじめとする道路交通情報の収集・配信などに関する技術等）を確立し、一般道で自動運転（SAE レベル3 相当）を実現するための基盤を構築し、社会実装することを内容としている。本事業では、その一環として、クラウド等を活用した信号制御提供の社会実装に向けた研究開発を行う。

2021 年度の検証では、交通信号制御機の仕様書「版5」を利用した構内試験を実施し、時刻の精度向上、信号制御の0.1秒単位により信号情報の精度向上を確認することができた。

2022 年度では、実フィールドにおいて2021年度の構内試験と同等の環境を構築して検証を行う。本章では集中方式の検証、警察庁と県警間の回線構築、V2N 信号情報共通メッセージ規格について述べる。

2. 信号情報提供検証環境の構築

2.1. 信号情報配信装置と信号情報集約システムの接続回線設計

都道府県警察システム内に設置される信号情報配信装置と、警察庁システム内に設置される信号情報集約システムとの接続回線について、帯域検討などの設計作業や回線契約・回線敷設などの実験準備作業を行った。本作業において敷設した回線の位置を図7.1に示す。

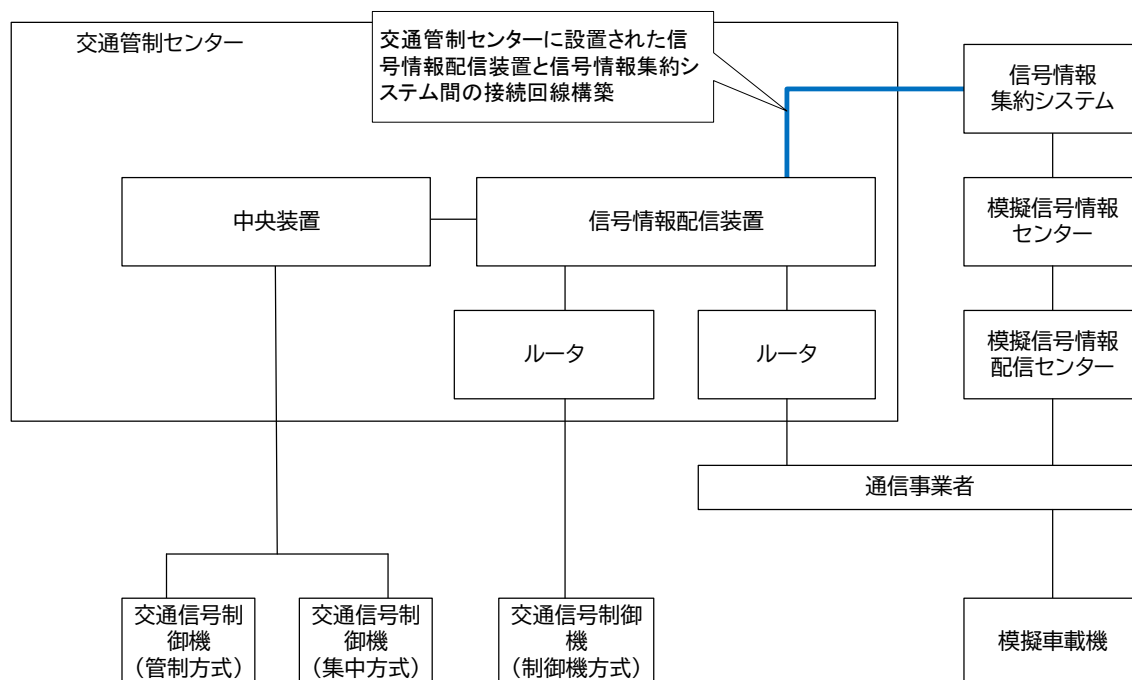


図7.1 システム内における敷設した回線の位置

2.1.1. 帯域の検討

(1) 算出条件

信号情報配信装置と信号情報集約システムの間で発生する通信量の試算を行い、契約が必要となる回線の帯域を求めた。

通信量の試算にあたり、奈良県警でのシステムに収容する交差点数を参考に、以下の算出条件を決定した。表 7. 1 に試算の算出条件を示す。

表 7. 1 通信量の算出条件

項目	条件
システム収容交差点数	512 交差点
信号予定情報の平均データサイズ	1,417byte
平均サイクル長	120 秒
信号予定情報の送信タイミング	1 サイクルに 1 回

(2) 通信量の試算

信号予定情報の送信タイミングは、各交差点のサイクル開始時に加え、可変階段の秒数確定時などがあるが、そのタイミングが他の交差点の送信タイミングと重なると、信号情報配信装置から信号情報集約システムに送信されるデータが、交差点分だけ増加する。つまり、最も使用帯域が増える事象は、全交差点の信号予定情報が同時に送信された時と考えられる。

全交差点の信号予定情報が同時に送られた場合の通信量は

$$1,417\text{byte} \times 512 \text{ 交差点} = 725,504\text{byte} = 5,804,032\text{bit}$$

となる。

(3) 実証実験で使用する回線の帯域

事象実験では、通信量が最も増加した状態であってもデータを送信することが可能な回線を用意する。前述のケースでは「5.8Mbps」以上の帯域が必要となる。

また、通信回線には、信号予定情報のアプリケーションデータ以外にも通信に必要なデータが流れるため、冗長分を見込む必要がある。この冗長分を加えた通信量を 2 倍と見込んだ。

$$5.8\text{Mbps} \times 2 = 11.6\text{Mbps}$$

つまり、必要な帯域は 11.6Mbps となり、準備する回線はこれ以上の帯域を持つ必要がある。今回の実験では、回線事業者のサービスから 20Mbps の回線を選択することとした。

2.1.2. 回線敷設作業

(1) 回線種別

帯域の検討を踏まえ、実験に使用する回線として、下記のサービスを契約した。回線は帯域を確保できるギャランティタイプ（帯域 20Mbps）を選択した。

ソフトバンク株式会社 Ondemand Ether（L2 サービス）

アクセスタイプ：ギャランティタイプ（20Mbps）

(2) 敷設作業

回線敷設にあたっては、表 7.2 に示すスケジュールにて作業を実施した。

表 7. 2 作業実績

奈良県警	警察庁
10/4 回線引込箇所事前調査	10/11 回線引込箇所事前調査
	10/27 回線工事
	11/1 回線工事
11/2 回線工事	11/2 ONU・ルーター設置
11/4 ONU・ルーター設置・疎通確認	
11/4 回線開通	11/4 回線開通

図 7.2 に奈良県警に設置した ONU とルーターの設置状況を、図 7.3 に警察庁に設置した ONU とルーターの設置状況を示す。



図 7. 2 奈良県警に設置後の ONU とルーター（ラックのトレイ上に設置）



図 7. 3 警察庁に設置後の ONU とルーター（ラック最上段のトレイ上に設置）

(3) 疎通確認

実証実験で使用する前に、奈良県警および警察庁に試験用ルーターを設置して、疎通確認を実施した。ルーター間には IPsec を用いたトンネルを構築し、このトンネルを経由して奈良県警セグメントと警察庁セグメントの間で疎通できていることを確認した。疎通確認時のネットワーク構成を図 7. 4 に示す。

なお、実証実験には、試験用ルーターを構成から外して提供した。

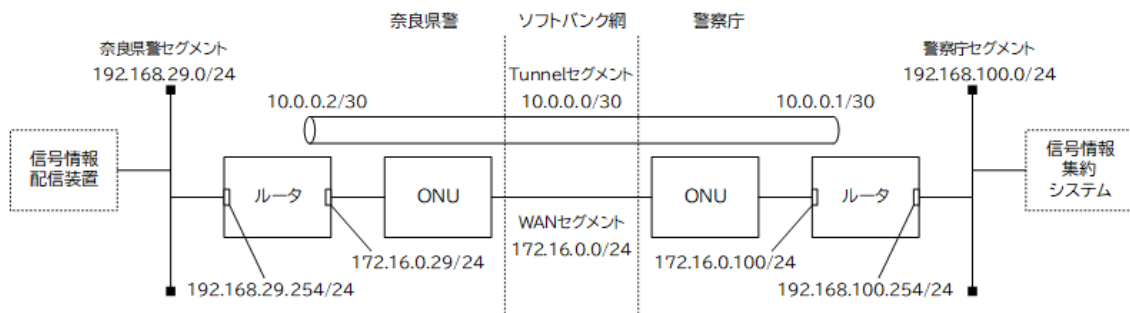


図 7. 4 疎通確認時のネットワーク構成

2.2. 集中方式の検証システムの構築

2.2.1. 集中方式の検証システムの概要

奈良県内の集中制御を実行している交差点において、信号予定情報の送信機能に対応した交通信号制御機に置き換えた。置き換えた交通信号制御機は警交仕規第 1012 号「版 5」に信号情報の送信機能を追加したものである。システム構成を図 7.5 に示す。

信号予定情報は、集中制御で用いられている回線を使用して中央装置に送信する。中央装置ではテーマ 8 にて構築した信号情報配信装置を経由し、テーマ 6 にて構築した信号情報集約システム、信号情報センター、信号情報配信センターを経由して本テーマにて用意した模擬車載機に伝送される。

交通信号制御機と管制センター間は MVNO 回線を使用した。

模擬信号情報配信センターと模擬車載機の接続は LTE 回線・閉域網を通して信号予定情報を配信する。模擬車載機は PC にて構築し、LTE 経由で受信した信号予定情報を解析・表示する。

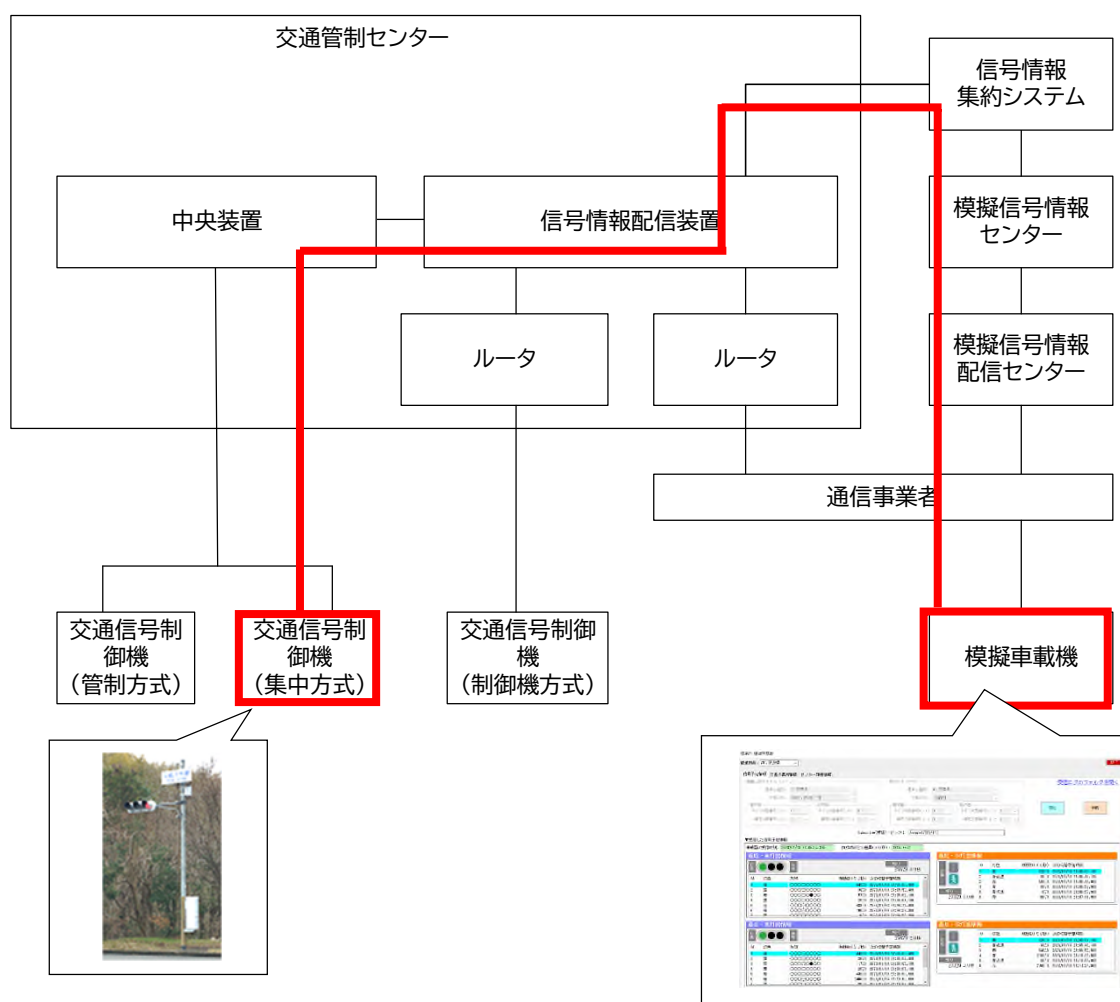


図 7.5 集中方式のシステム構成

2.2.2. 集中方式の交通信号制御機

奈良県奈良市内の路線にて集中方式の交通信号制御機を 6 台配置した。設置場所を図 7.6、各交差点の情報を表 7.3、設置の様子を図 7.7 に示す。

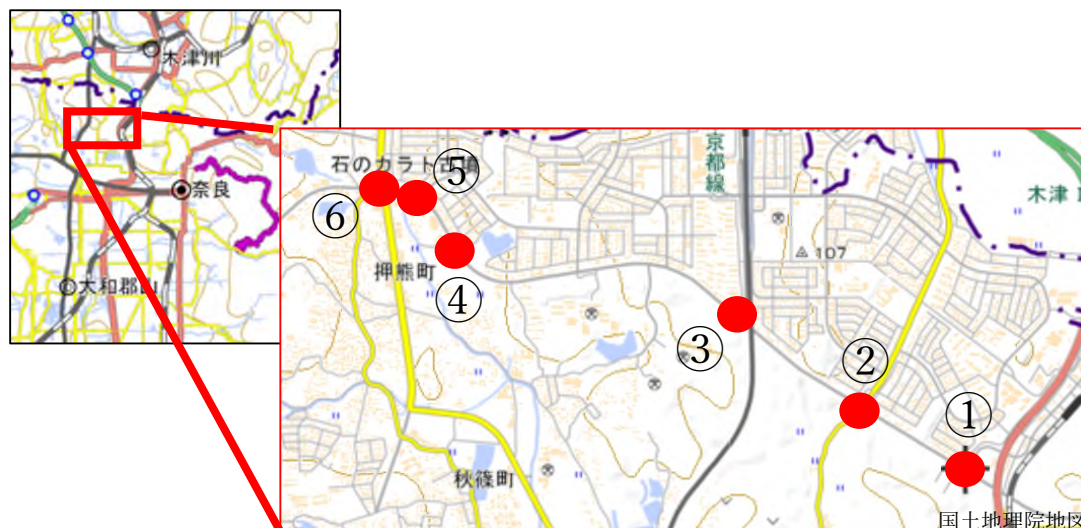


図 7.6 集中方式の対象交差点

表 7.3 集中方式の対象交差点

No.	ID	交叉点名称	緯度	経度	接続方路数
①	20297	平城ニュータウン東	34.7076119	135.8043383	3
②	20298	平城 1 号線	34.7106846	135.798178	3
③	30399	平城 2 号線	34.714405	135.791918	3
④	300384	神功 4 丁目南	34.717933	135.775537	3
⑤	300375	神功 4 丁目	34.720163	135.773617	4
⑥	20382	神功 5 丁目	34.7206708	135.7714528	5

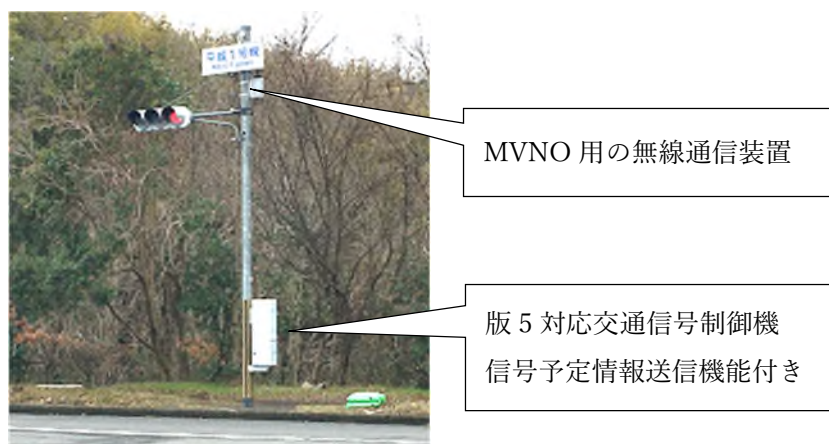


図 7.7 交通信号制御機設置の様子（平城 1 号線）

2.2.3. 模擬車載機

模擬車載機はタブレット PC 上に構築した。信号予定情報は LTE 回線で受信する。模擬車載機と画面の構成を図 7.8 に示す。



図 7.8 模擬車載機

2.3. 接続試験項目及び試験結果

評価に入る前にシステム構築の確認作業を行った。確認内容と確認結果を表 7.4～表 7.6 に示す。

表 7.4 システム構築の確認項目と結果（模擬車載機）

項目	確認内容	確認結果
ネットワーク 接続	LTE 接続、VPN 接続ができること	合格 タブレット PC のネットワークとインターネット通信の設定画面にて VPN が接続済みとして認識した
信号情報受信	集中制御 6 地点の信号予定情報を受信できること	合格 模擬車載機のログにて 6 地点の受信ログを確認できた
時刻修正	閉域網内の時計サーバーにアクセスし、NTP で時刻修正ができること	合格 ネットワークタイム取得プログラムにて時刻修正を行った

表 7.5 システム構築の確認項目（交通信号制御機）

項目	確認項目	判定条件
遠隔動作	交通信号制御機が管制センターからの指令により遠隔動作となること	遠隔動作ランプが点灯すること
信号予定情報	各地点の信号予定情報を模擬車載機で受信できること	模擬車載機の画面にて残秒数が表示されること
	信号予定情報の灯色情報を正しく受信できること	模擬車載機に表示される信号灯器の色が交差点に設置されている信号灯器の表示色と合っていること
	信号予定情報の精度が目視レベルで合っていること	信号灯器の表示色が変化と模擬車載機の灯色変化が目視で合っていること

表 7.6 システム構築の確認結果（交通信号制御機）

No.	ID	交叉点名称	遠隔動作	信号予定情報の受信	灯色情報	灯色変化
①	20297	平城ニュータウン東	合格	合格	合格	合格
②	20298	平城 1 号線	合格	合格	合格	合格
③	30399	平城 2 号線	合格	合格	合格	合格
④	300384	神功 4 丁目南	合格	合格	合格	合格
⑤	300375	神功 4 丁目	合格	合格	合格	合格
⑥	20382	神功 5 丁目	合格	合格	合格	合格

3. 信号予定情報提供の検証

信号予定情報提供の検証項目を表 7.7 に示す。

表 7.7 信号予定情報の検証項目

項番	項目	検証内容
1	信号予定情報の精度	信号予定情報と交差点に設置されている信号灯器の表示の時間差を測定する
2	信号予定情報の通信遅延	信号予定情報が生成されてから模擬車載機が受信するまでの時間差を測定する
3	リコール制御実行交差点の信号情報	押ボタン要求時の信号予定情報の精度と通信遅延を測定する
4	ギャップ観桜制御実行交差点の信号情報	ギャップ感応実行時の信号予定情報の精度を測定する

3.1. 信号予定情報の精度検証

3.1.1. 信号予定情報の精度検証方法

信号灯器の切り替わりタイミングと模擬車載機の表示切り替わりタイミングの時間差を測定する。

測定対象交差点にて模擬車載機の画面と信号灯器を同時にビデオで撮影する。撮影した映像を解析し、信号灯器が切り替わるビデオのフレームと模擬車載機の表示が切り替わるフレームのフレーム数の差分を抽出する。フレーム数の差分から時間差を計算する。

信号灯器が電球式では、交通信号制御機が点灯や消灯の指令を出してから灯器の点灯に反映されるまで 100ms 程度の時間を要する。誤差の算出では測定結果から 100ms の補正をかける必要がある。

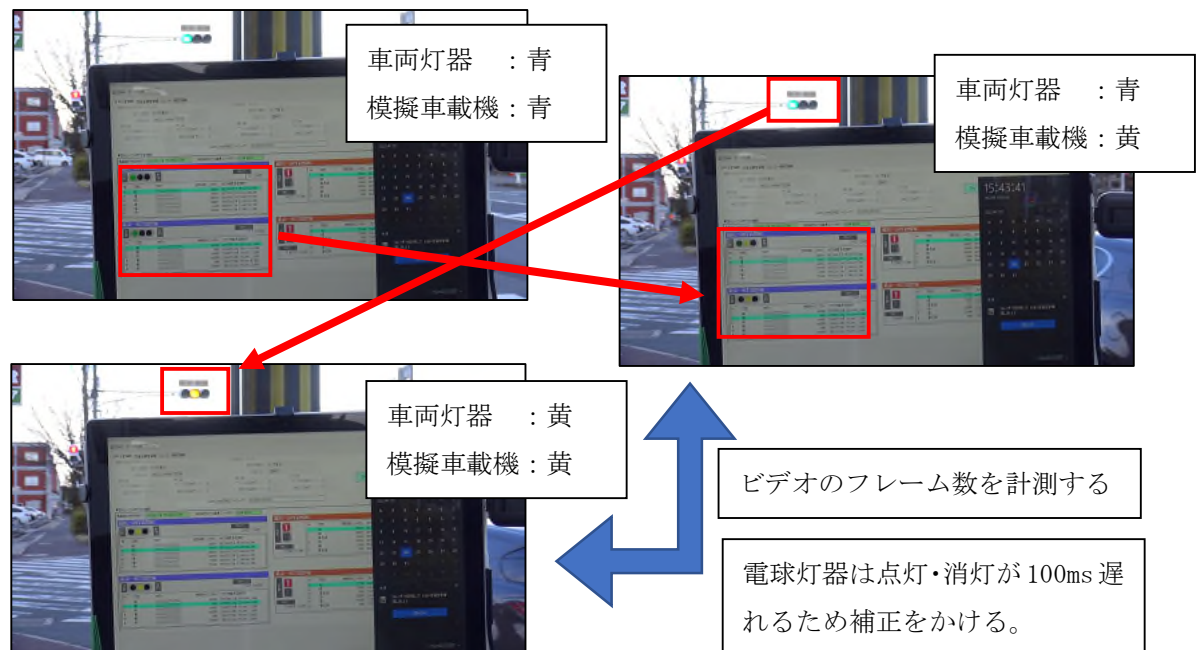


図 7.9 信号予定情報の精度の測定方法

3.1.2. 信号予定情報の精度検証結果

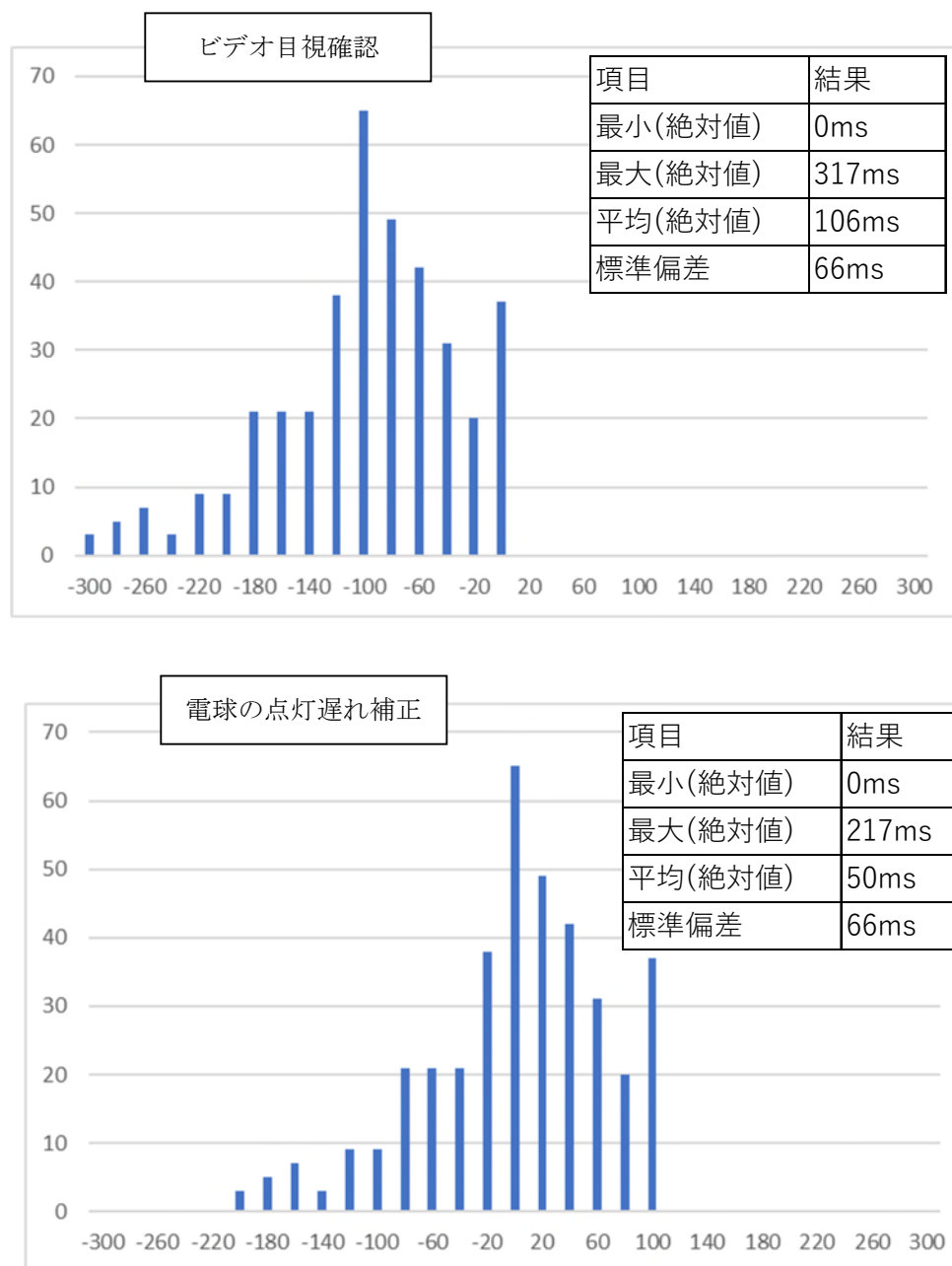


図 7.10 信号予定情報の精度の測定結果

3.1.3. 2021 年度検証(構内試験)との比較

2021 年度の構内試験の結果と 2022 年度の実フィールドによる実証実験の結果を表 7.8 に示す。

表 7.8 2021 年度と 2022 年度の信号予定情報誤差の比較

年度	最小値	最大値	平均値	標準偏差
2021 年度	0ms	167ms	79ms	32ms
2022 年度	0ms	217ms	50ms	66ms

2021 年度、2022 年度ともに目標の±300ms 以内の結果を得て、大きな差はない。信号予定情報の作成方法や時刻修正方式（GPS による時刻修正）が 2021 年度、2022 年度共に同じである。時刻同期が取れていれば設置場所の影響はないため、同等の結果となった。

3.2. 信号情報の通信遅延検証

3.2.1. 信号予定情報の通信遅延測定方法

交通信号制御機にて信号予定情報の作成時刻を付与してデータを作成する。模擬車載機では受信した信号予定情報を受信ログとして記録する。記録する際に、信号予定情報を受信した時刻を付与する。

模擬車載機のログから信号予定情報の作成時刻と受信時刻を抽出して差分を出すことにより、通信遅延を求める。

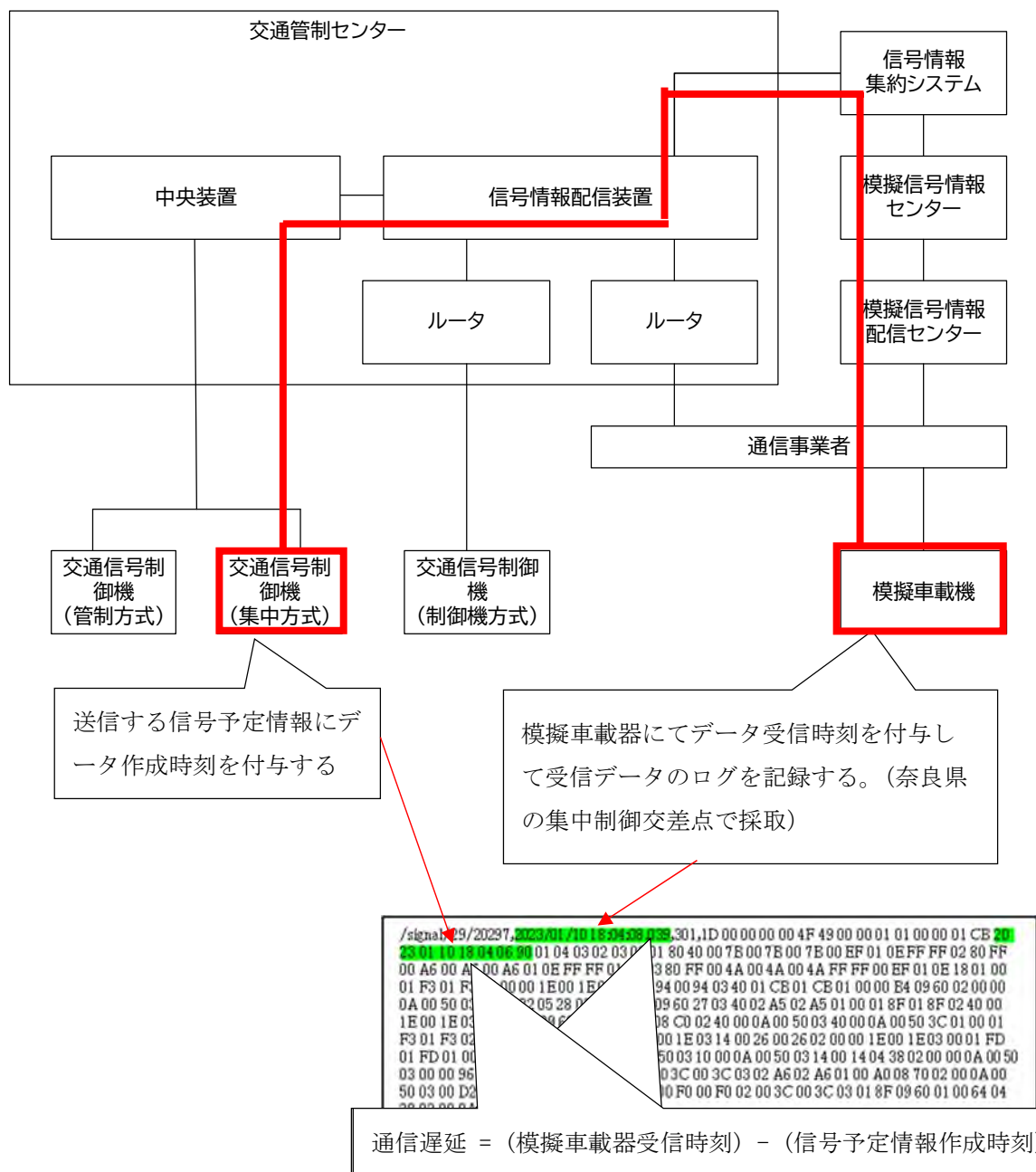


図 7.11 信号予定情報の通信遅延測定方法

3.2.2. 信号予定情報の通信遅延測定結果

通信遅延の測定結果を図 7.12 に示す。

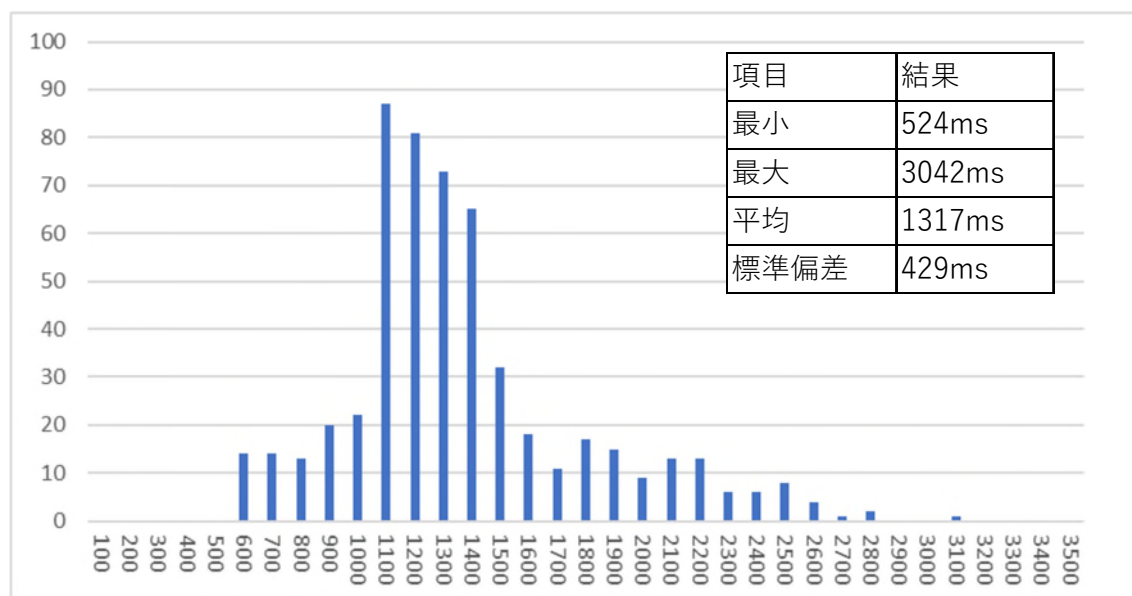


図 7.12 信号予定情報の通信遅延測定結果

3.2.3. 2021 年度検証(構内試験)との比較

2021 年度の構内試験の結果と 2022 年度の実フィールドによる実証実験の結果を表 7.9 に示す。

表 7.9 2021 年度と 2022 年度の信号予定情報伝送遅延の比較

年度	最小値	最大値	平均値	標準偏差
2021 年度	780ms	3020ms	1765ms	522ms
2022 年度	524ms	3042ms	1317ms	4529ms

2021 年度は信号情報配信装置や信号情報集約システムなど本来拠点が異なる装置を構内に構築してローカルネットワークで接続していた。2022 年度は信号情報配信装置を奈良県管制センター、信号情報集約システムを警察庁と実運用と同等に配置してシステムを構築した。

拠点が異なっても構内試験と実フィールドで同様の結果が得られた。

3.3. リコール制御実行交差点の信号情報検証

3.3.1. リコール制御の評価対象交差点

対象交差点 : 平城 2 号線

灯器の形式 : LED

対象交差点の場所を図 7.13、現示階梯図を図 7.14 に示す。

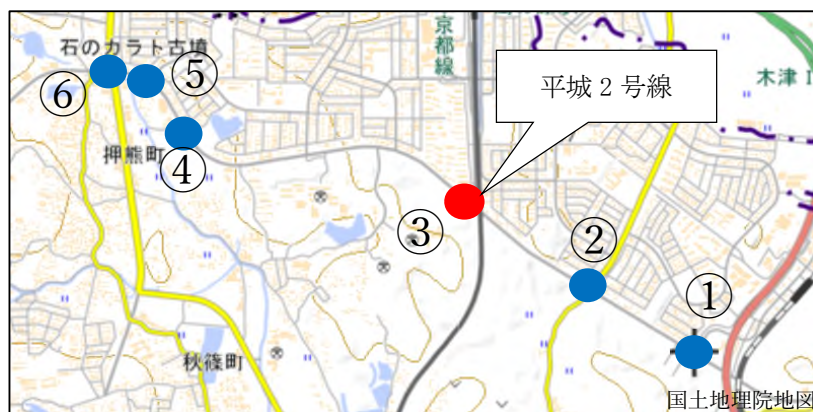


図 7.13 リコール制御評価対象交差点（平城 2 号線）

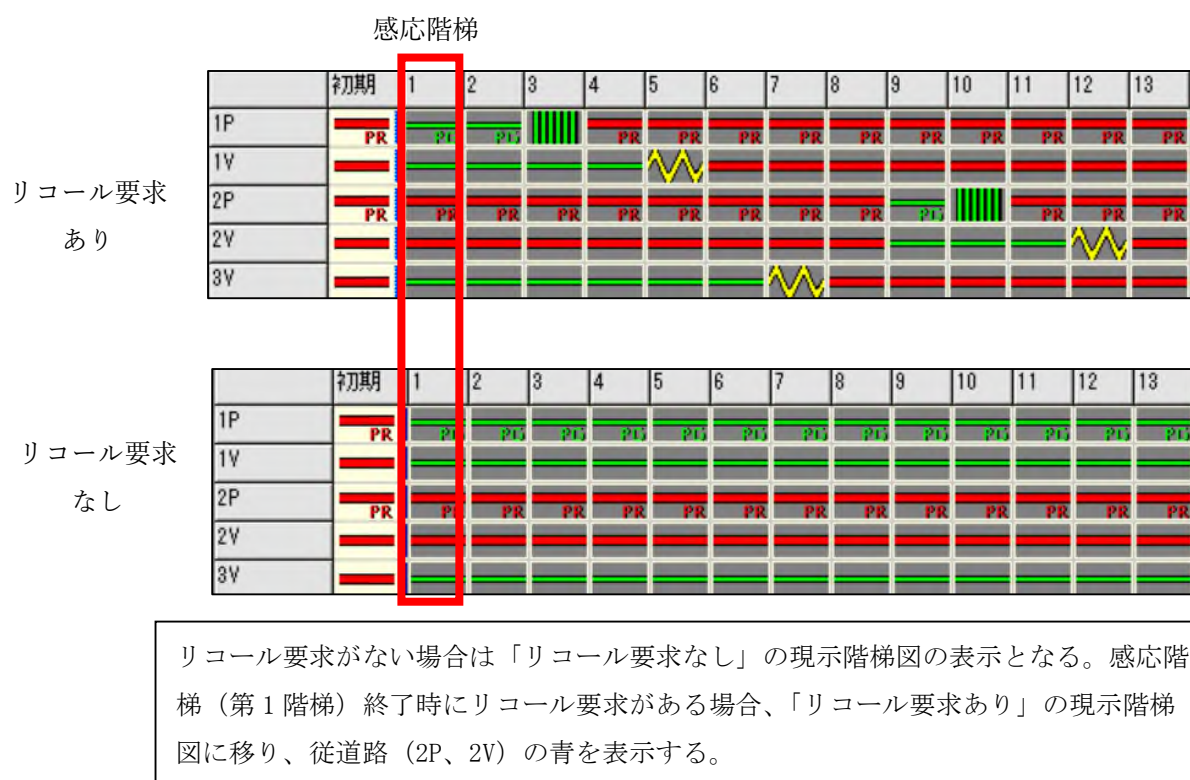


図 7.14 平城 2 号線の現示階梯図

3.3.2. リコール制御の検証結果

リコール制御の精度、伝送遅延の測定結果を図 7.15、図 7.16 に示す。

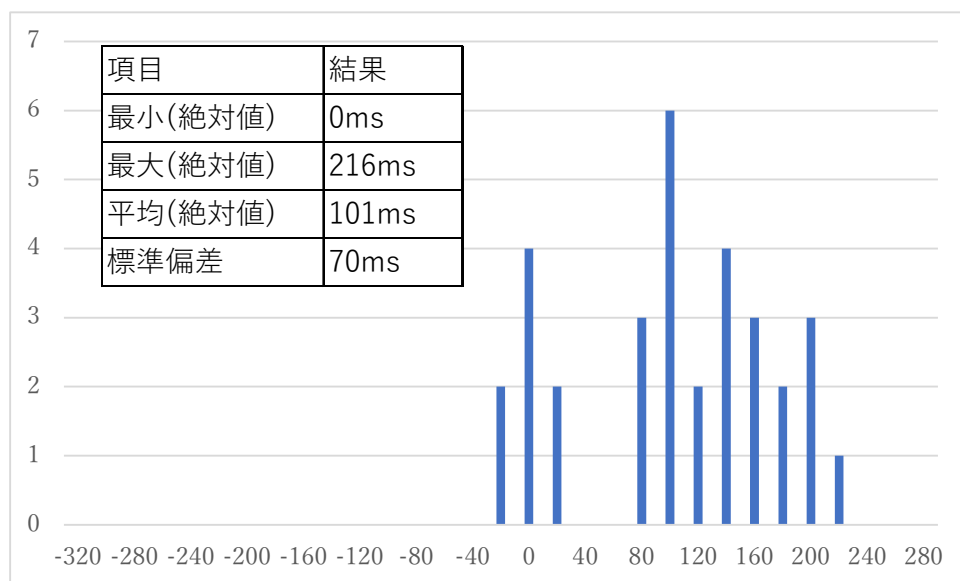


図 7.15 リコール制御の誤差測定結果

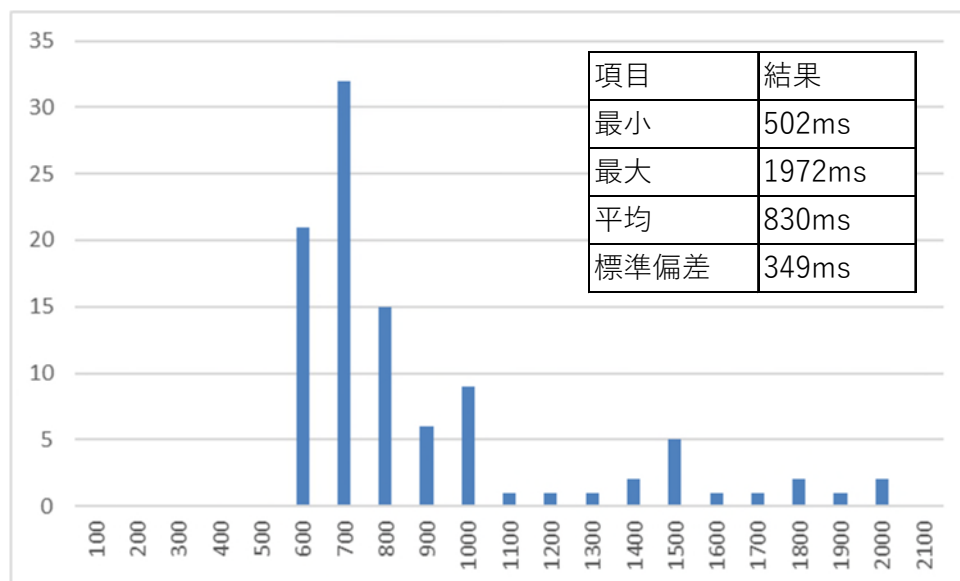


図 7.16 リコール制御の通信遅延測定結果

3.4. ギャップ感応制御実行交差点の信号情報検証

即時の感応制御としてギャップ感応を実行している交差点において精度の検証を行った。

3.4.1. ギャップ制御の評価対象交差点

対象交差点 : 神功5丁目

灯器の形式 : 電球

対象交差点の場所を図7.17、現示階段図を図7.18に示す。主道路の右折矢印(1A)の階段にてギャップ感応を動作させている。

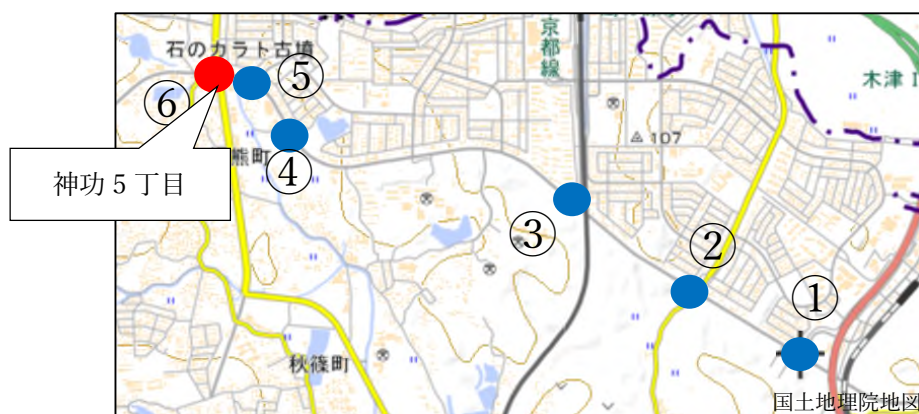


図7.17 ギャップ制御評価対象交差点（平城2号線）

感応階段

	初期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1P	PR	PL	PL	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
1V																
1A	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
2P	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR	PR
2V																
2A	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
3V																

第6階段の1A（右折矢）にてギャップ感応を実施している。最小秒数経過後に車両感知器の入力が3秒途切れると即時に第7階段に歩進する。最小、最大秒数は中央装置からの信号制御指令により決まる。

図7.18 神功5丁目の現示階段図

3.4.2. ギャップ感応制御の検証結果

ギャップ感応の精度測定結果を図 7.19 に示す。

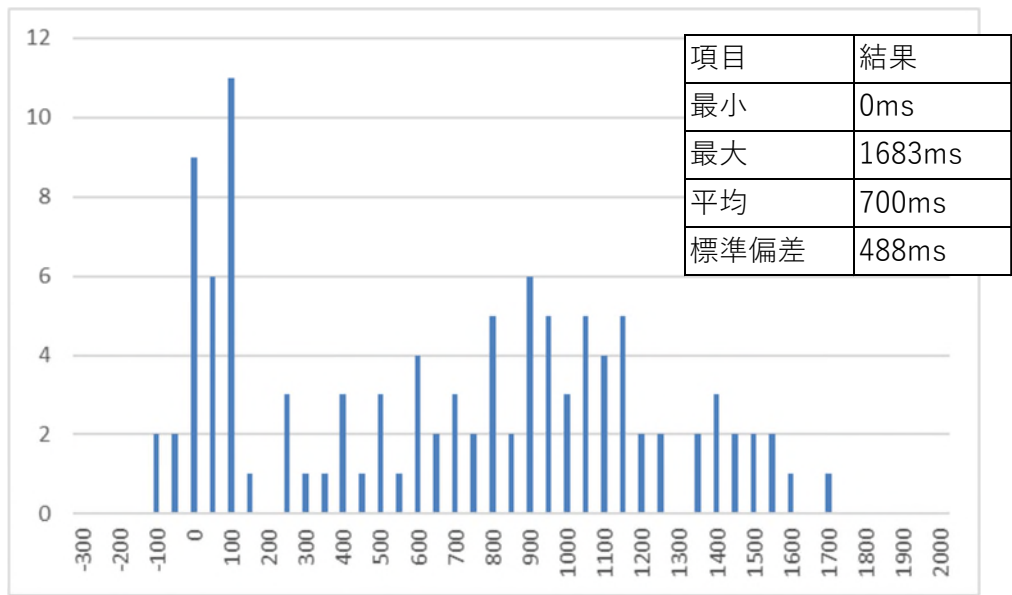


図 7.19 ギャップ感応制御時の精度測定結果

3.5. 考察

精度については、交通信号制御機仕様書版 5 に対応した交通信号制御機を用いることにより、実フィールドでも目標精度である $\pm 300\text{ms}$ 以内を確保できることが確認でした。信号処理の精度が 100ms 単位であること、GPS により絶対時刻で動作していることが大きな要因である。

通信遅延については目標値 1300ms と同等の結果を得ることができた。通信遅延は異常が発生した場合や即時感応により信号灯器の表示が切り替わる判定と実際の切り替わり時間が短い場合に運用上面で考慮する必要がある。2021 年度考察通り、感応階梯の後に固定階梯を入れて通信遅延の分を確保する方式である。

リコール制御の検証では、精度や通信地点について感応制御を実行していない地点と同等の結果を得た。感応階梯の後に歩行者青の固定階梯、歩行者点滅、車両青の階梯が入っていることから通信遅延のリスクを回避する現示となっている（図 7.14、p. 287）。このため、精度を確保することができ、感応階梯後に固定階梯を入れる有用性が確認できた。

ギャップ感応の検証では精度に大きなばらつきが発生した。右折車両が多く、最大延長まで矢印を表示した際の精度は $\pm 300\text{ms}$ に入る。右折車両が少なく、最大秒数前に切り替わった場合には通信遅延分の誤差を生じた。この誤差をなくすためには、感応階梯の後に固定階梯を挿入することが有効である。

4. V2N・信号情報共通メッセージ規格見直し

4.1. 実証実験に向けた規格の見直し

実証実験に向けて 2021 年度に提案した信号情報共通メッセージ規格の見直しを行った。

2021 年度に信号情報以外の情報の統合的な配信に関する検討を実施した。その結果、交差点情報と方路情報を交差点管理情報として定義することとした。

交差点定義情報を共通のメッセージ規格に統合して「V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格」を提案し、実証実験を実施した。

4.2. 実証実験・センター委員会を通した見直し

2022 年度の実証実験にて「V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格」を使用した。実証実験を通して改善点の抽出を行った。また、センター委員会にて審議を行い、意見を伺った。

今後の「V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格」の活用に向けて、実証実験や、センター委員会の審議による改善点を反映する見直しを行った。項目と課題による影響を表 7.10 に示す。

表 7.10 V2N・信号方法提供 共通メッセージ規格の課題

項目	内容	影響
都道府県コード	北海道はセンターごとの管理となっている。 都道府県コードの他にセンターコードがあるべき	北海道の信号情報配信装置にて異常が発生すると北海道全域が異常となる
リコール制御	リコール制御にて要求が無い場合に信号予定情報が送信されない	リコール要求が無い場合に、正常稼働しているのか把握できない
システム状態無効時の時刻	集中方式や制御機方式ではシステム状態無効の際に、異常の状態によっては時刻を付与できない場合がある	MPU 異常や時計異常の際に、正しい時刻を送れない
交差点管理情報の交差点名	交差点名は警察が付けている名称と道路管理者が付けている名所が異なる	情報受信者が受信した交差点名所が地図と異なることがある

4.2.1. 都道府県コード

北海道では都道府県内を 4 つのセンターに分けて運用を行っている。都道府県コードで分けを行うと、北海道の信号情報配信装置にて異常が発生すると北海道全域の異常として扱われてしまう。センターコードを追加して信号情報配信装置単位で分けできるようにする。

信号予定情報、交差点管理情報の提供点管理番号に都道府県コードが割り付けられている。現在予備となっている場所をセンターコードとして割り付ける。これにより信号情報配信装置単位の管理が行えるようになる。

4.2.2. リコール制御の信号予定情報送信

リコール制御ではリコール要求が無い場合、灯色の残秒数が確定しないため信号予定情報の送信タイミングが無くなる。集中方式では信号予定情報の送信が行われなくなり、信号情報配信装置にて正常稼働の把握ができなくなる。

リコール制御では回転型と停止型の動作がある。回転型はサイクルの概念を持ちつつ灯色はリコ

ール待ちの状態を維持するものである。各階段の時間制御・歩進を行い、感應階梯にて要求があると灯色を切替えて従道路側の青を表示する。停止型は感應階梯で階梯を保持し、リコールの要求により歩進して従道路の青を表示する。

回転型、停止型ともに要求が無い場合は信号予定情報が確定しない。確定しない場合でも残秒数の変化や、残秒数の変化がなくても送信するタイミングを新たに定義する。

表 7.11 追加する信号予定情報送信の送信タイミング

項目	内容
灯色の残秒数が増えた場合	灯色の残秒数が増えた場合にイベントカウンタをインクリメントして信号予定情報を送信する。 回転型のリコールでは感應階梯が終了して歩進した際、次のサイクルの感應階梯終了時刻が最小の値となるように変化する。
信号予定情報が一定時間送信されない場合	60 秒信号予定情報が送信されない場合にイベントカウンタをインクリメントして信号予定情報を送信する。

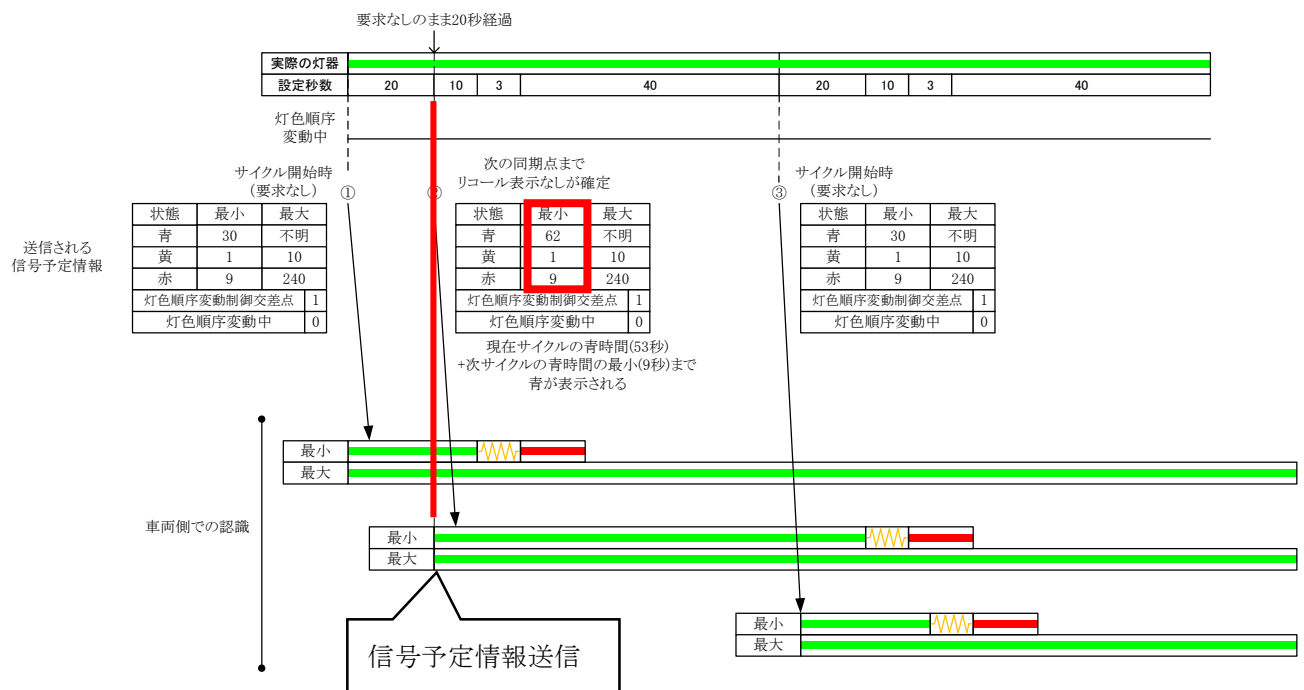


図 7.20 リコール制御 要求なし(回転型)

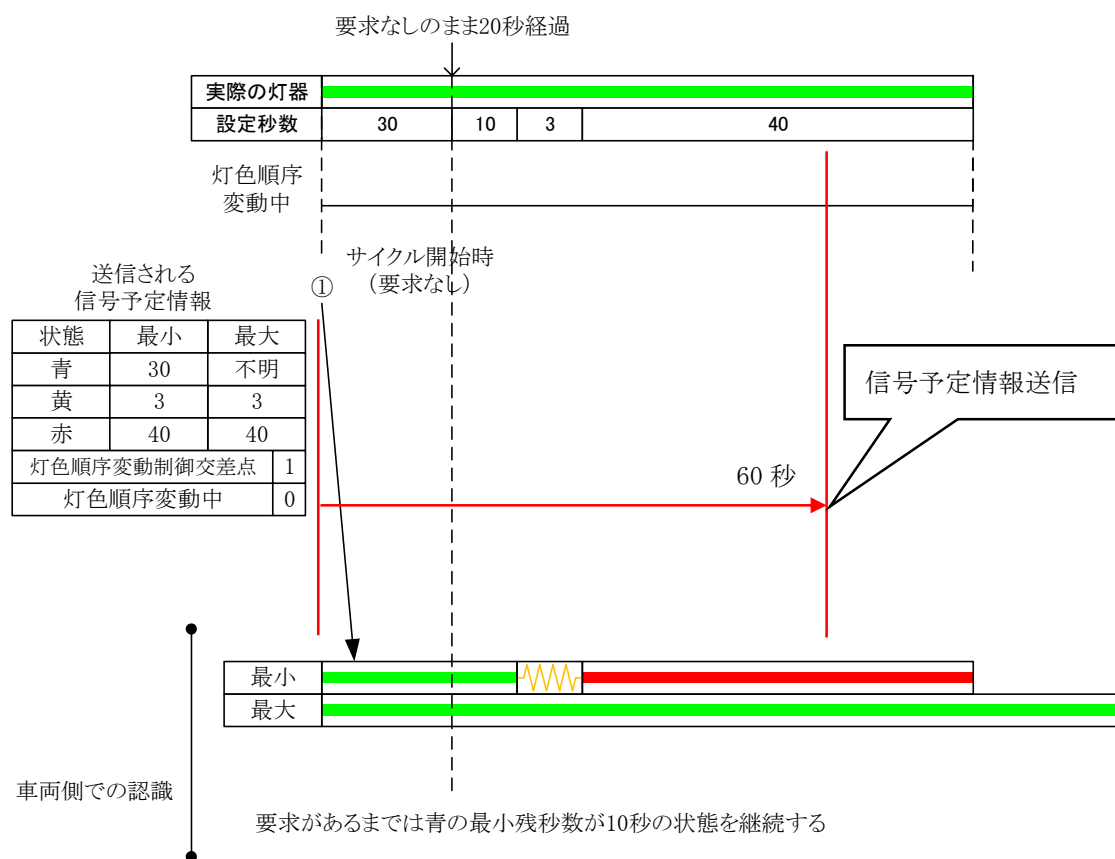


図 7.21 リコール制御 要求なし(停止型)

4.2.3. 交差点管理情報の項目

交差点管理情報に交差点名称と複数差路フラグを入れる案としていたが、委員会の審議や実証実験を通した結果、不要であるとの判断をする。

交差点名称については機器を整備する都道府県警の管理している名称と道路管理者が管理している名称が異り、地図に掲載される名称は道路管理者が管理している名称となることが多い。道路管理者が交差点名称を変更しても都道府県警の管理に反映されることはなく、配信する交差点名称が曖昧になる。交差点監理情報には緯度経度を入れているため場所を特定することができ、交差点名称は不要と判断した。

複数差路フラグは交差点が分離されている場合に定義されるが、V2I の提供検討の中で停止線を挟む場合には別交差点として扱う方向で検討が進んでおり、V2N と V2I で異なる認識となることは避ける。そのため、複数差路フラグは不要である。

4.2.4. V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格の運用

本研究では規格の内容を行ってきたが、運用に対する課題がある。V2I と考えかた合わせる点もあり、運用に関する点については場を移しての検討とする。

表 7.12 V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格の運用に向けた課題

情報の種類	項目	内容
共通	交差点 ID	交通規制情報とあわせることとしているが、規制情報に無い交差点が存在する。
	提供点識別コード	従道路が存在しているが歩行者横断用に押ボタン式信号機を設置し、交通制御上では単路して扱っている地点は「0:交差点」「1:単路」のどちらで扱うか
	接続方路	DRM リンクにない道路や車両が走行できない道路も存在する。どの道路を対象とするのか基準がない
信号予定情報	車灯器情報	正灯器、補助灯器、予告信号灯器など存在し、どこまで扱うのか基準がない
		常時左折の交差点では左折矢印として扱うのか。道路管理者が標識にて整備しており、信号機の管轄では把握できないことがある。
	歩行者灯器情報	直進方向の歩行者灯器の信号情報は提供が必要か。
	青信号表示方向	同じ交差点でも灯器の設置されている場所により角度が異なる地点がある。灯器にはめ込まれている矢印の方向化道路形状における信号方向なのか定義が必要
	流出方路 0 の信号方法	流出方路 0 の信号情報は U ターンのための信号となる。U ターン禁止の場合などもあり、どのような情報を設定するか。

4.2.5. 実証実験・センター委員会を通した見直しのまとめ

これまでの検討結果を踏まえ、実証実験用に作成した V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格を～表 7.15 の通り修正する。

表 7.13 V2N・信号情報提供 共通メッセージ規格 (提供点管理番号)

構成 D F / D E	表現形式	コード	備考
DF_提供点管理番号			
DE_都道府県コード	bin(8)	D-1	
DE_提供点種別コード	bin(1)	D-2	
DE_交差点ID／単路ID	bin(47)	B-1	
DE_センターコード	bin(8)	D-3	
DE_予備 8	bin(8)	C-8	
DE_バージョン番号 (規格)	bin(8)	B-3	
DE_バージョン番号 (定義情報)	bin(8)	B-4	

表 7.14 信号予定情報用データ項目の抜粋

コード	DE名称	定義
E-1	DE_システム状態	本メッセージの状態を表す。 「0：無効」「1：有効」 なお、「0：無効」が設定された場合は、「提供点管理番号～作成日時」までが格納された構成となる。また、「0：無効」を設定する場合は作成日時を更新する。
E-2	DE_イベントカウンタ	ループカウンタ値（0～255）を表す。 カウントダウン停止フラグがOFFからONになった場合、感応制御によって現在灯色に変化した場合、現在灯色の残秒数が、不確定から確定に変わった場合、不明になった場合、不明から復旧した場合及び灯色変化数が増加した場合、灯色残秒数が増加した場合、カウンタ更新から60秒経過した場合にカウントアップされる。 なお、システム状態「0：無効」を設定する場合は、イベントカウンタの設定は任意 (Don't care) とする。

表 7.15 実証実験に向けた交差点管理情報

構成DF／DE	表現形式	コード	備考
DF_提供点管理番号			
DE_都道府県コード	bin(8)	D-1	
DE_提供点種別コード	bin(1)	D-2	
DE_交差点ID／単路ID	bin(47)	B-1	
DE_予備 8	bin(8)	C-8	
DE_予備 8	bin(8)	C-8	
DE_バージョン番号（規格）	bin(8)	B-3	
DE_バージョン番号 （定義情報）	bin(8)	B-4	
DF_交差点情報			
DF_中心経度緯度			
DE_経度	bin(32)	G-1	
DE_緯度	bin(32)	G-2	
DE_運用モード	bin(1)	G-3	
DE_接続方路数（I）	bin(7)	C-11	
DE_予備	bin(8)	C-7	
DF_方路角度情報			
DE_方路角度情報	bin(8)	G-6	
：			
DF_方路角度情報：I			

5. 制御機方式（制御機生成）の検証

5.1. 制御機方式（制御機生成）の検証の目的

信号情報配信に関わる研究では、信号予定情報生成について「管制方式」「集中方式」「制御機方式」の3種類を検討している。この中の制御機方式では、交通信号制御機の改造を行わず信号情報路側機により生成する方式が検討されている。パターン変更やオフセット追従などがはたらき定周期動作と異なる動きをした時に信号予定情報作成は難易度が高い。そのため、信号機の点灯制御を実行している装置である交通信号制御機にて信号予定情報を生成する方式（制御機生成）を提案した。実フィールドにおける制御機生成による信号予定情報提供の検証を行った。

5.2. 制御機方式（制御機生成）信号情報提供検証環境の構築

5.2.1. 制御機方式（制御機生成）の検証システムの概要

奈良県内の地点制御を実行している交差点において、信号予定情報の送信機能に対応した交通信号制御機に置き換えた。置き換えた交通信号制御機は警交仕規第1012号「版5」に信号情報の送信機能を追加したものである。システム構成を図7.22に示す。

信号予定情報は、LTE回線を使用して信号情報配信装置に中央装置に送信する。中央装置ではテーマ8にて構築した信号情報配信装置を経由し、テーマ6にて構築した信号情報集約システム、信号情報センター、信号情報配信センターを経由して本テーマにて用意した模擬車載機に伝送される。

模擬信号情報配信センターと模擬車載機の接続はLTE回線・閉域網を通して信号予定情報を配信する。模擬車載機はPCにて構築し、LTE経由で受信した信号予定情報を解析・表示する。

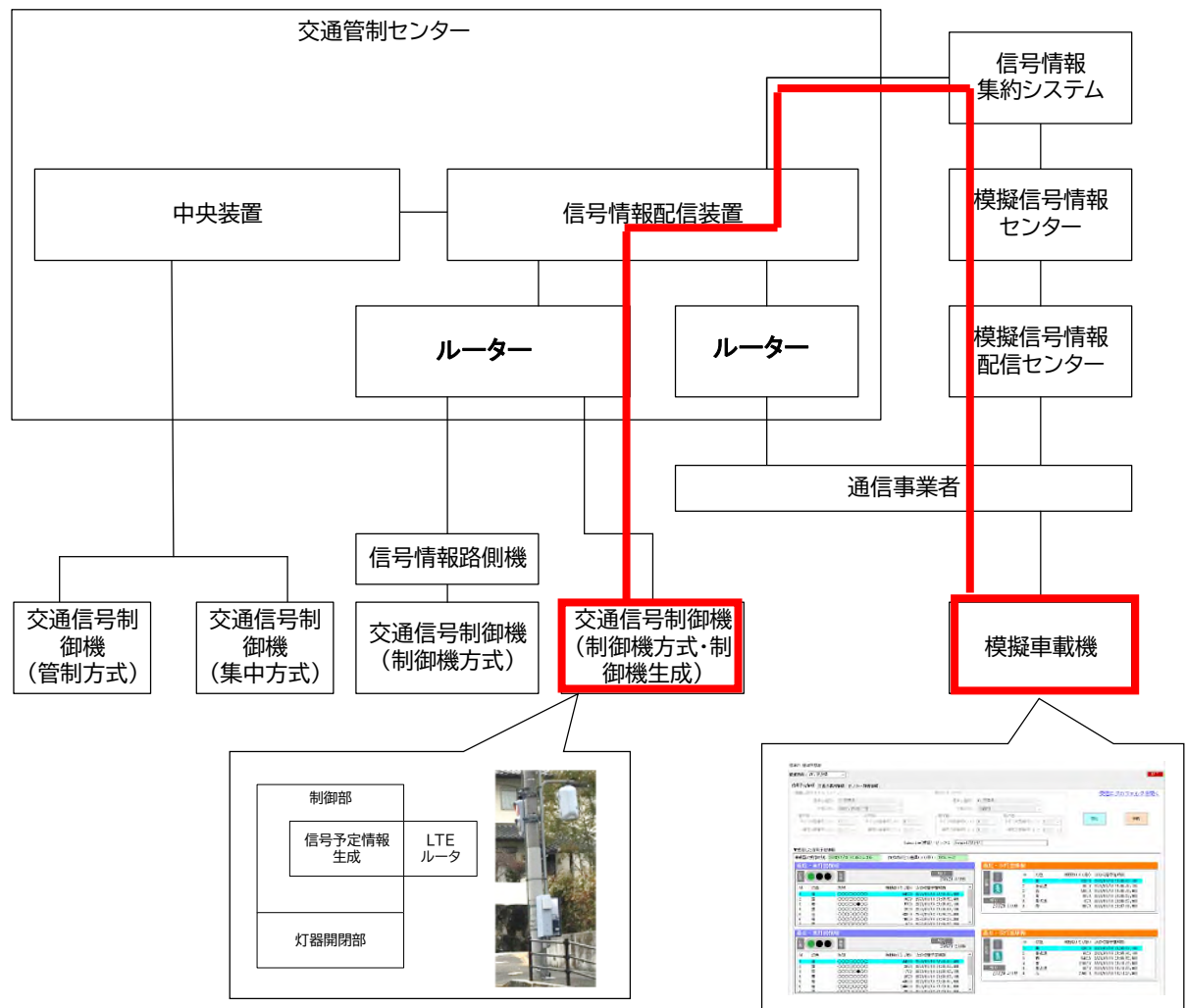


図 7.22 制御機方式（制御機生成）のシステム構成

5.2.2. 制御機方式（制御機生成）の交通信号制御機

奈良県内の右京幼稚園前交差点の交通信号制御機を制御機方式（制御機生成）に置き換えた。交通信号制御機は「版 5」対応をベースに信号予定情報の送信機能を追加した。設置場所を図 7. 23、設置の様子を図 7. 24、現示階段図を図 7. 25 に示す。

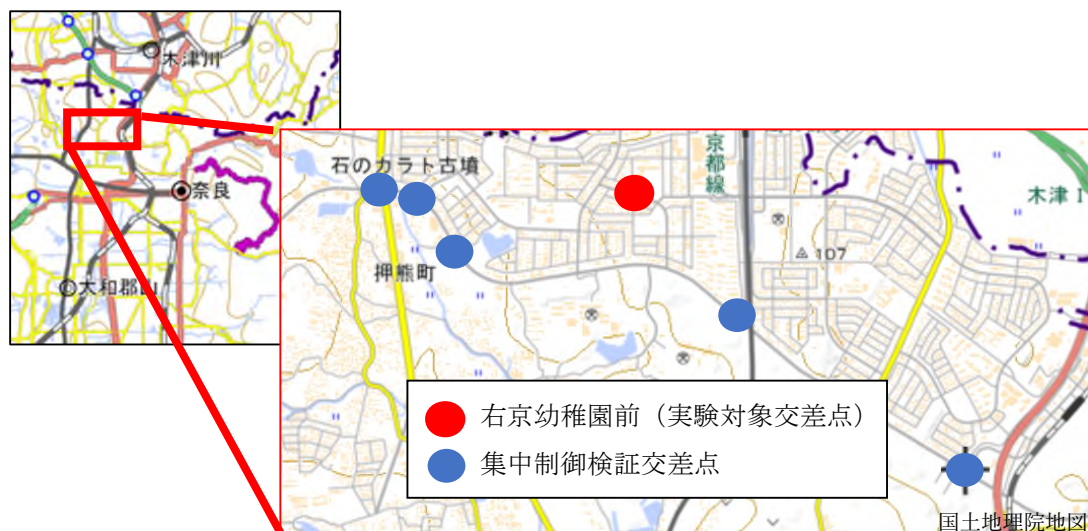


図 7. 23 制御機方式（制御機生成）の対象交差点

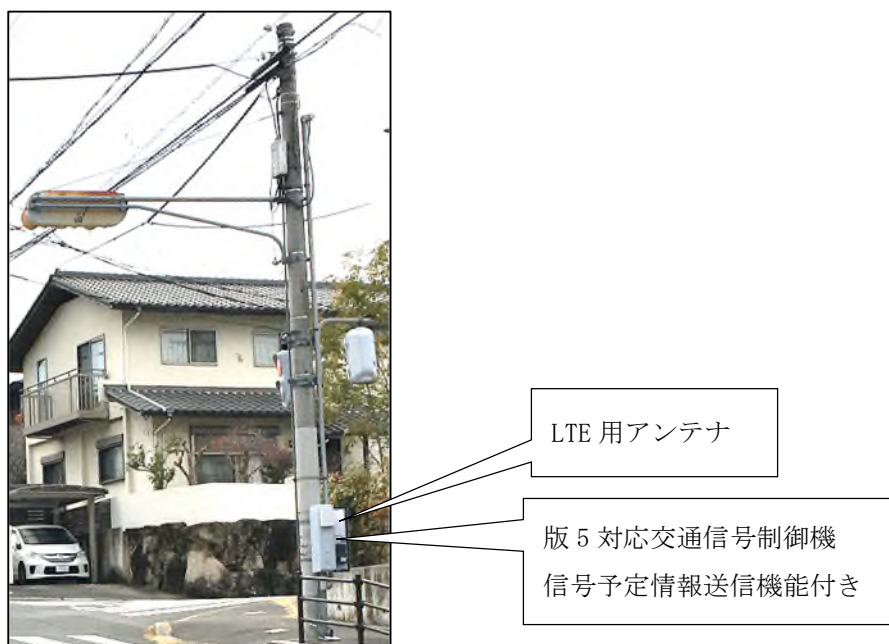
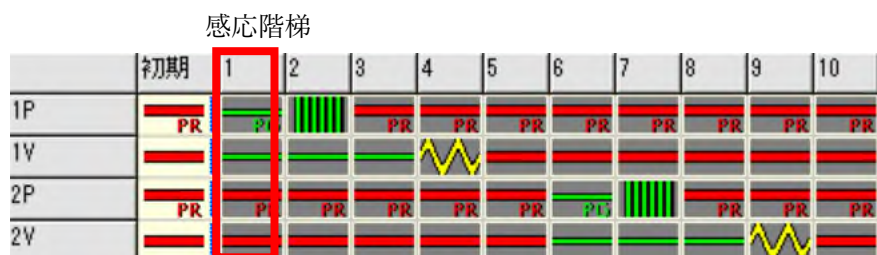


図 7. 24 交通信号制御機設置の様子（右京幼稚園前）



動作している拡張機能 : リコール1 (停止型)

感応階段 : 第1 階梯

第1 階梯でリコールの要求を待ち、階梯の指定秒数経過前にリール要求がある場合は、指定秒数で歩進する。指定秒数経過後にリコール要求が入った場合は、即時に歩進する。

図 7. 25 右京幼稚園前交差点の現示階梯図と拡張機能

5. 2. 3. 模擬車載機

模擬車載器は、集中方式の検証と同じものを使用した。(02.2.3. 模擬車載機)

5. 2. 4. 接続試験項目及び試験結果

評価に入る前にシステム構築の確認作業を行った。確認内容と確認結果を表 7. 16、表 7. 17 に示す。

表 7. 16 システム構築の確認項目と結果 (模擬車載機)

項目	確認内容	確認結果
ネットワーク 接続	LTE 接続、VPN 接続ができること	合格 タブレット PC のネットワークとインターネット通信の設定画面にて VPN が接続済みとして認識した
信号情報受信	集中制御 6 地点の信号予定情報を受信できること	合格 模擬車載機のログにて 6 地点の受信ログを確認できた
時刻修正	閉域網内の時計サーバーにアクセスし、NTP で時刻修正ができること	合格 ネットワークタイム取得プログラムにて時刻修正を行った

表 7.17 システム構築の確認項目と結果（交通信号制御機）

項目	確認内容	確認結果
多段動作	交通信号制御機が多段動作を行うこと	多段動作ランプが点灯
リコール 1 機能	押ボタン、従道路からの車両感知入力によりリコール動作を行うこと	第 1 階梯にて待ち受けとなり、押ボタン入力で従道路の表示を行った。 第 1 階梯にて待ち受けとなり、従道路に設置されている車両感知器の感知入力によりの表示を行った。
信号予定情報	信号予定情報を模擬車載機で受信できること	模擬車載機の画面にて残秒数の表示を行った。
	信号予定情報の灯色情報を正しく受信できること	模擬車載機に表示される信号灯器の色が交差点に設置されている信号灯器の表示色と合っていることを確認した
	信号予定情報の精度が目視レベルで合っていること	信号灯器の表示色が変化と模擬車載機の灯色変化が目視で合っていた

5.3. 信号予定情報提供の検証

信号予定情報提供の検証項目を表 7.18 に示す。

表 7.18 信号予定情報の検証項目

項番	項目	検証内容
1	信号予定情報の精度	信号予定情報と交差点に設置されている信号灯器の表示の時間差を測定する
2	信号予定情報の通信遅延	信号予定情報が生成されてから模擬車載機が受信するまでの時間差を測定する

5.3.1. 信号予定情報の検証方法

精度の検証は信号灯器の切り替わりタイミングと模擬車載機の表示切り替わりタイミングの時間差を測定する。

測定対象交差点にて模擬車載機の画面と信号灯器を同時にビデオで撮影する。撮影した映像を解析し、信号灯器が切り替わるビデオのフレームと模擬車載機の表示が切り替わるフレームのフレーム数の差分を抽出する。差分のフレーム数より時間差を測定する。（図 7.26）

信号灯器が電球式では、交通信号制御機が点灯や消灯の指令を出してから灯器の点灯に反映されるまで 100ms 程度の時間を要する。誤差の算出では測定結果から 100ms の補正をかける必要がある。

通信遅延の検証は、模擬車載機のログを解析することにより実施する。信号予定情報には交通信号制御機にて信号予定情報を生成した時刻が情報に入っている。模擬車載機にて信号予定情報のログを残す際に、受信した時刻を付与する。受信時刻と生成した時刻の差から通信遅延を導き出す。

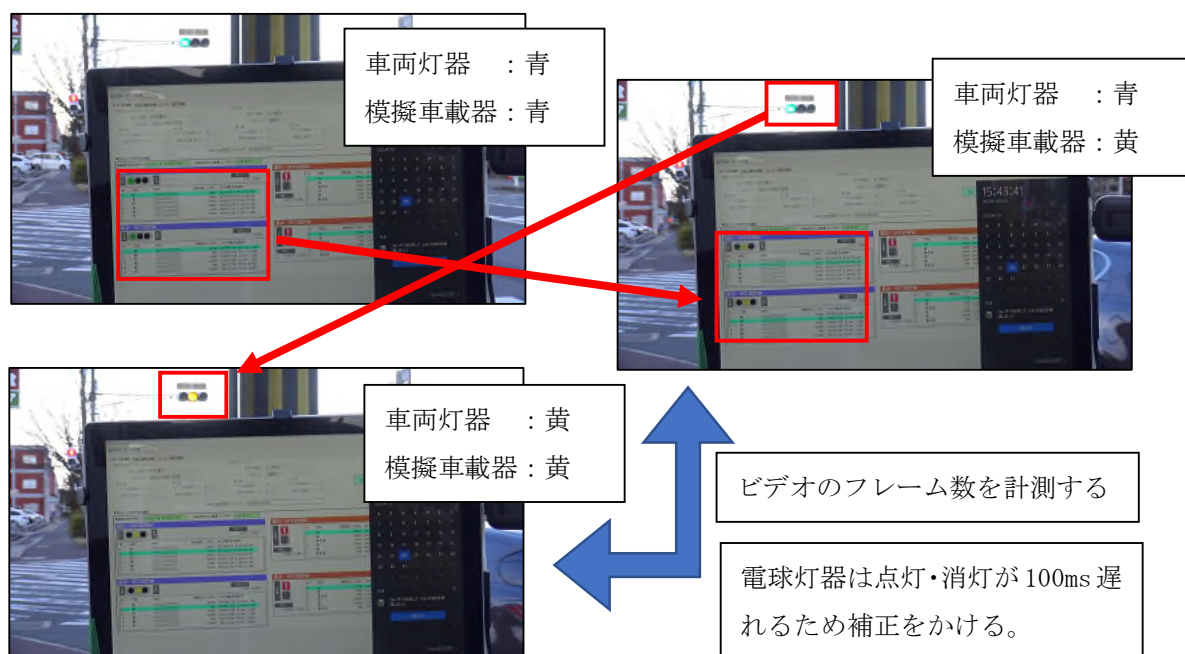


図 7.26 信号予定情報の精度の測定方法

5.3.2. 信号予定情報の精度検証結果

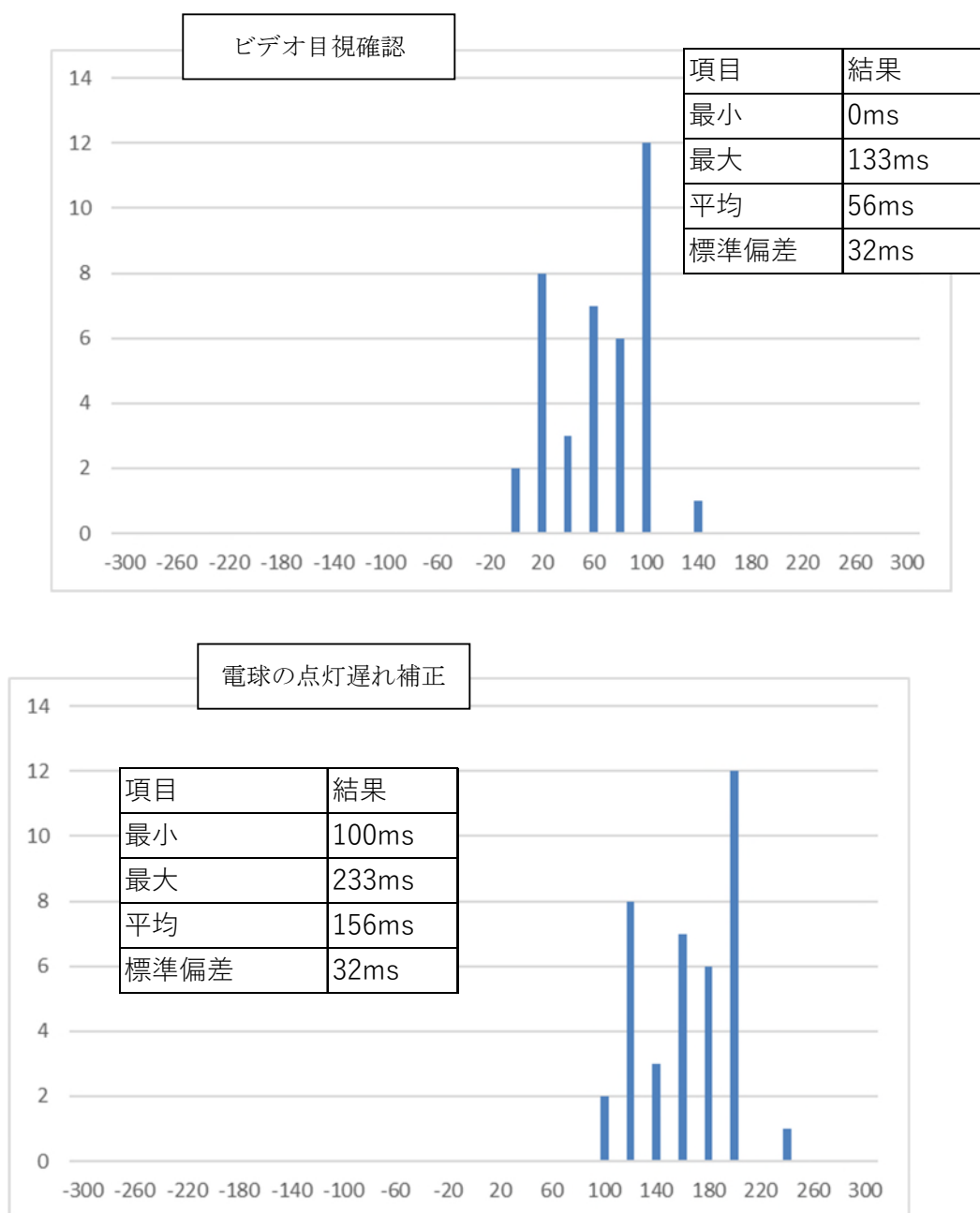


図 7.27 信号予定情報の精度の測定結果

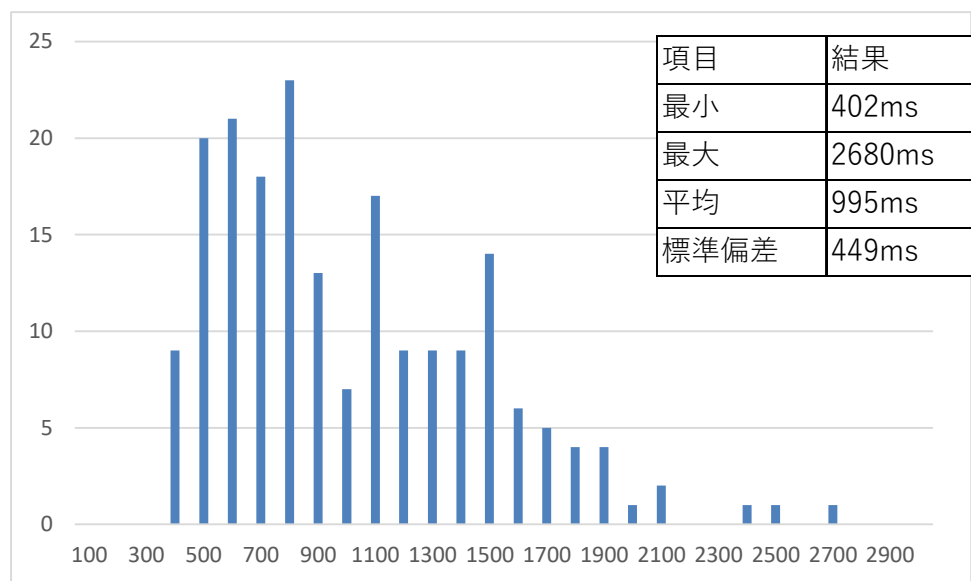


図 7.28 信号予定情報の伝送遅延の測定結果

5.3.3. 集中方式との比較

別途検証行った集中方式との比較を表 7.19、表 7.20 に示す。

表 7.19 集中方式と制御機方式(制御機生成)の信号予定情報誤差の比較

年度	最小値	最大値	平均値	標準偏差
集中方式 拡張機能なし	0ms	217ms	50ms	66ms
集中方式 リコール 1	0ms	216ms	101ms	70ms
制御機方式(制御機生成) リコール 1	100ms	233ms	156ms	32ms

表 7.20 集中方式と制御機方式(制御機生成)の信号予定情報通信遅延の比較

年度	最小値	最大値	平均値	標準偏差
集中方式 拡張機能なし	524ms	3042ms	1317ms	429ms
集中方式 リコール 1	502ms	1972ms	830ms	349ms
制御機方式(制御機生成) リコール 1	402ms	2680ms	995ms	449ms

集中方式と制御機方式(制御機生成)にて大きな差はない。通信遅延は平均で約 1 秒となっているが誤差に影響は出ていない。

6. まとめ

実フィールドにおける集中方式の信号予定情報の精度・通信遅延について評価を行った。

精度は目標誤差の $\pm 300\text{ms}$ 以内を確保できることを確認した。通信遅延については平均 1.3 秒と目標値を確保できることを確認した。

通信遅延は、UD 伝送の再送や通信経路により 2 秒を越えることがある。通常の運用ではサイクルが開始してから主道路の青が黄色に変化するまで数十秒の時間を要する。この時間で通信遅延は吸収されるため運用に影響ない。リコール制御の感応制御では信号現示の組み方などの工夫により影響がない運用ができることを確認できた。ギャップ感応動作時に打ち切りによる即時歩進が働くと伝送遅延分の誤差が現れる。即時感応に対しては信号現示の組み方などの工夫を行わないと誤差が大きくなることが実証実験により改めて確認された。

制御機方式（制御機生成）の精度に関しては交通信号制御機仕様書版 5 に対応した交通信号制御機を用いることにより、目標精度である $\pm 300\text{ms}$ 以内を確保することが確認できた。

通信遅延については平均約 1 秒の結果を得ることができた。ばらつきに関しては集中方式と同等になっている。交通信号制御機と信号情報配信装置の間や信号情報配信センターと車載機の間、LTE による無線通信の回線を使用している、無線通信区間の通信は再送などにより通信遅延のばらつきがあり、最大値も約 2 秒の遅れを計上している。

制御機方式（制御機生成）は、集中方式と同じく交通信号制御機で信号予定情報を生成しているため、精度や通信遅延が集中方式とほぼ同等の結果となった。

評価対象交差点ではリコール 1 を停止型で運用しており、感応階段からの歩進は押ボタンや車両感知器の入力により即時に行われる。運用している現示では感応階段の後ろに歩行者点滅などの階段が入っており、通信遅延を吸収している。今回の事象では通信遅延が最大 2.7 秒であったが、精度に影響を与えなかった。このように感応階段の後に固定階段を入れる有効性が実フィールドでも実証できた。

第8章 都道府県警察システムにおける信号情報提供検証環境の構築及び検証実施等 (テーマ8)

1. 概要

2022 年度に奈良県警により信号情報提供を行うための都道府県警察モデルシステム（以下県警モデルシステムと略す）として、交通管制センターにおいて、信号情報配信装置の新設、端末制御ブロック、及び端末対応装置への機能追加等の整備が行われた。また、実験路線では、管制方式検証用として 6 交差点に警交仕規第 1012 号「版 5」の交通信号制御機（以下信号制御機と略す）、集中方式検証用として 6 交差点に集中方式に対応した信号制御機、制御機方式検証用として 5 交差点に信号情報路側機が整備された。

本テーマでは、これらの県警モデルシステムに対して信号情報提供検証環境を構築し、信号情報提供に係るシステム検証を行った。検証結果を基に、装置の仕様書、及びインターフェイス規格書等の見直しと今後検討すべき課題を整理した。

1.1. 検証の目的

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）では、一般道で自動運転（SAE レベル 3 相当）を実現するための基盤を構築し、社会実装を行うこととなっており、クラウド等を活用した信号情報提供の実現を目的とした研究開発を行ってきた。

2020 年度に実施した研究開発において、埼玉交通管制センターに実装された県警モデルシステムを用い、管制方式、集中方式、及び制御機方式のフィールド評価が実施され、性能、機能、及び実用化に向けた課題が確認されたが、2021 年度の実施した研究開発では、これらの課題についての検討、及び課題に対する対策後の検証を行い工場レベルでの検証を行った。

2022 年度の検証は、V2N による信号情報提供方式として検討してきた管制方式、集中方式、及び制御機方式が実用化レベルであること確認する。そのため、仕様案に基づき整備される信号情報配信装置、信号制御機、及び信号情報路側機等を用いて検証を行う。なお、信号情報配信装置は信号情報集約システムと接続され、完成形と同等のシステム構成で、試験用車載機により評価を行う。ただし、信号情報集約システム、信号情報センター等の仕様に関わる評価は本検証の対象としない。

表 8.1 検証の目的

大項目	中項目	目的
方式の 完成度	管制方式	2020 年度に明らかになった課題に対し 2021 年度に対策し、工場レベルで検証済みの仕様案で実装された機器を交通管制センターで長期間稼働させ、実用レベルであることを確認する。
	集中方式	2021 年度に基本検証は完了しているが、いくつかの未検証項目がある。最新の仕様案で実装された機器を実フィールドで長期間稼働させ、実用レベルであることを確認する。
	制御機方式	2020 年度に明らかになった課題に対し 2021 年度に対策し、工場レベルで検証済みの仕様案で実装された機器を実フィールドで長期間稼働させ、実

		用レベルであることを確認する。
共通	通信仕様	通信インターフェイス規格案に基づき実装された各機器の検証を通じて、基本的な規格に課題がないこと、及び特殊な条件に対する動作検証を通じて、標準化に関する残課題を明確にする。
	多様な信号制御	オフセット追従時を含む多くの信号制御パラメータ（サイクル、及びオフセット）の組合せ、感応制御、及びリコール制御等の多様な信号制御を行う交差点を対象とすることで、カバレッジの高い検証を行う。
	環境	実環境における影響を考慮するため、通信回線、GPS受信環境等の環境が信号情報精度に与える影響を検証する。
	運用性	交差点管理情報に関する検証、信号情報配信状況の監視、運用モードの変更等の運用に関わる検証を行う。

2. 県警モデルシステム構成

2.1. 都道府県における整備概要

図 8.1 に県警モデルシステムとして構築した信号情報提供検証環境を示す。都道府県における整備概要は表 8.2 及び表 8.3 の通り。図 8.2 に都道府県により整備された主な機器の写真を示す。

表 8.2 都道府県における整備概要（交通管制センタ内）

機器名	整備概要
信号情報配信装置	2021 年度作成された信号情報配信装置仕様書案準拠。主な機能は以下の通り。 ・管制方式の信号予定情報の生成、配信 ・集中方式の信号予定情報の変換、配信 ・MQTTブローカー ・交差点管理情報の生成、配信 ・信号予定情報の監視
端末制御ブロック	2021 年度作成されたインターフェイス規格案による機能追加。主な内容は以下の通り。 ・信号情報配信装置への信号制御実行情報 2、信号制御状態情報 2、信号制御指令情報、信号予定情報の中継 ・端末対応装置からの信号予定情報の受信
端末対応装置	2021 年度作成されたインターフェイス規格案による機能追加。 ・信号制御機から受信する信号予定情報の中継

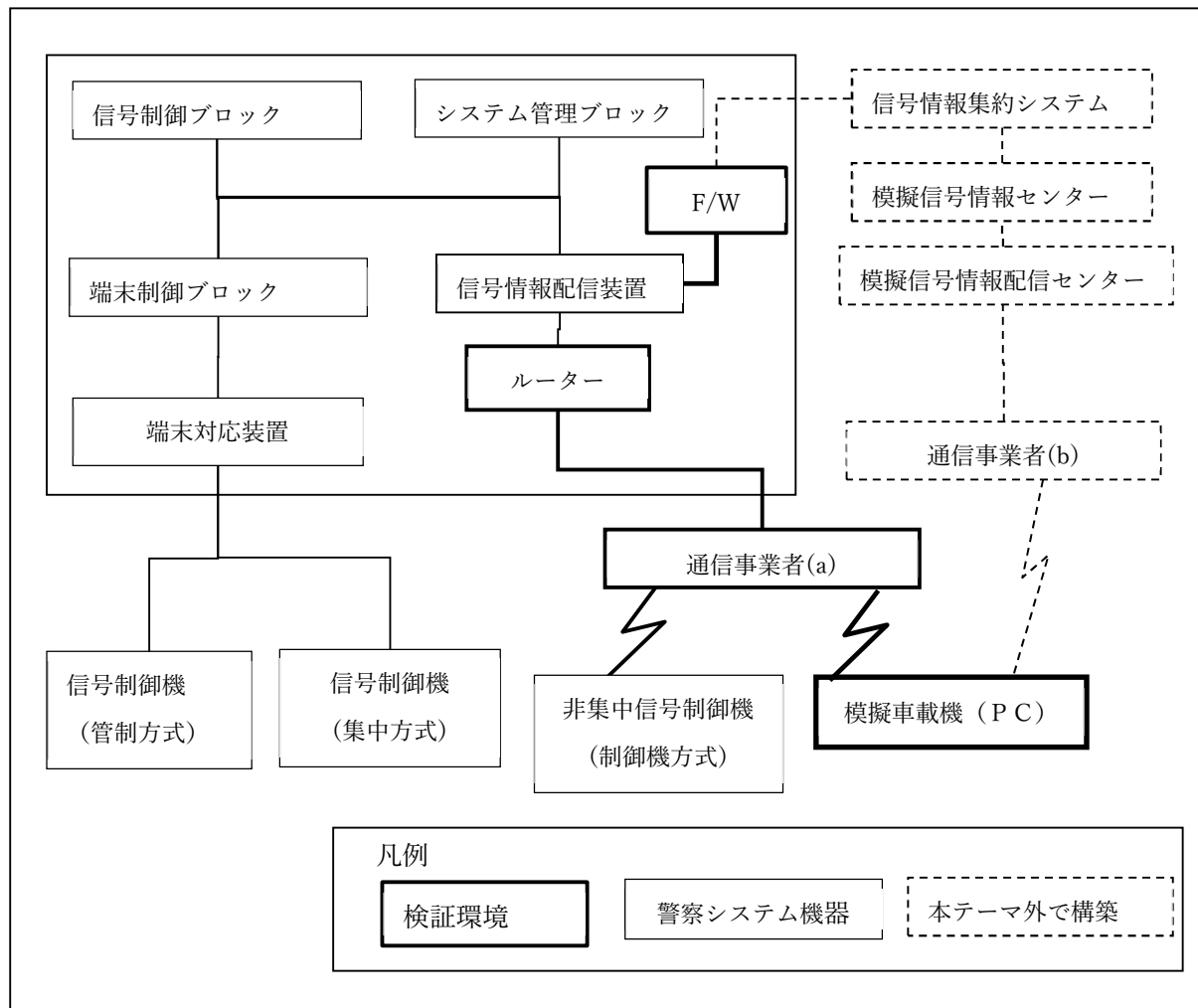


図8.1 県警モデルシステムと検証環境

表 8.3 都道府県における整備概要（信号制御機）

機器名	整備概要
信号制御機 (管制方式)	管制方式検証用として6基を整備 警交仕規第1012号「版5」準拠
信号制御機 (集中方式)	集中方式検証用として6基を整備 警交仕規第1012号「版5」準拠 集中方式仕様書案準拠
信号情報路側機	制御機方式検証用として非集中信号制御機5基に付加するよう整備 信号情報路側機仕様書案準拠



(a) 信号情報配信装置



(b) 信号制御機



(c) 信号情報路側機

図 8.2 都道府県により整備された主な機器の写真

2.2. 信号情報提供検証環境の構築

図 8.1 の県警モデルシステムに対して構築した信号情報提供検証環境を示す。本テーマにおける整備概要は表 8.4 の通り。図 8.3 に本テーマにより整備した信号情報提供検証環境を構成する機器写真を示す。

表 8.4 本テーマにおける検証環境の整備概要

機器名	整備概要
ルーター	模擬車載機との接続用
L T E回線	模擬車載機との接続用回線
模擬車載機	信号予定情報の受信、及び表示用、2 台整備 ・ノート P C、L T E回線用ルーター、G P Sモジュール（自社備品）で構成
F / W	警察庁 信号情報集約システム接続用ファイアウォール ・ルーティング、パケットフィルタリング、V P N接続



(a) ルーター



(b) 模擬車載機 (LTE ドングルはテーマ 6 からの借用品)



(c) 模擬車載機用 LTE 回線用ルーター



(d) F/W

図 8.3 本テーマにより整備した信号情報提供検証環境を構成する機器写真

2.3. 検証対象交差点

検証対象交差点を表 8.5、及び表 8.6 に示す。図 8.4 に検証対象交差点の位置を示す。

集中制御の検証対象の 12 交差点は、奈良県北部のならやま大通りの約 6km の区間に位置する。対象交差点には、これまで検証されていないリコール制御、及び感応制御が含まれる。灯器は、LED 灯器と電球灯器の 2 種類が使われている。

非集中制御の検証対象の 5 交差点は、のならやま大通りの北側に位置する。対象交差点で運用されている信号制御機は複数メーカーがあり、またこれまで検証されていない夜間閃光制御が含まれる。

表 8.5 集中制御の検証対象交差点一覧

提供点コード	交差点名称	集中方式	管制方式	リコール	感応制御	灯器	備考
20302	奈良阪町北		○			LED/電球	車両灯器は混在、歩行者灯器は電球
20419	佐保山住宅東口		○	○		電球	
20423	佐保山住宅西口		○	○		電球	
20297	平城ニュータウン東	○			○	LED/電球	車両灯器は混在、歩行者灯器は電球
20298	平城 1 号線	○		○	○	電球	
20299	平城 2 号線	○	(注 1)			電球	
20272	右京 3 丁目東		○	○		電球	
300377	平城 3 号線		○			LED/電球	車両灯器は混在、歩行者灯器は LED
20379	県営住宅入口		○	○		LED	
300384	神功 4 丁目南	○	(注 1)	○		電球	
300375	神功 4 丁目	○		○		電球	
20382	神功 5 丁目	○			○	電球	

注⁽¹⁾これらの交差点は、オフセット追従時の信号情報提供評価のために信号情報を生成する。通常の評価では集中方式により生成された信号情報を用いる。

表 8.6 制御機方式（非集中制御）の検証対象交差点一覧

No.	交差点名称	メーカー	系統	時刻修正	夜間閃光	灯器	備考
1000109	平城西中学校北東角	A	○	○	○	電球	
1000207	右京 4 丁目	B	○	○		電球	
1000208	神功 4 丁目東	A			○	電球	待ち時間短縮あり
1000216	右京 3 丁目	C	○	○	○	電球	
1000239	神功 4 丁目北	A	○	○	○	電球	

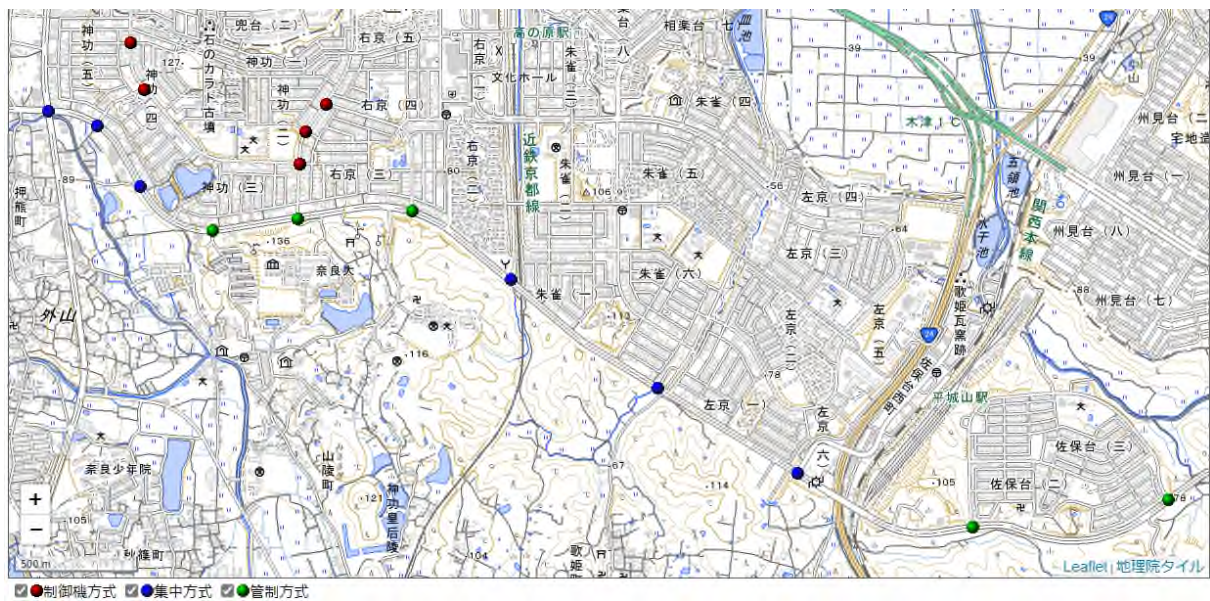


図 8.4 検証対象交差点の位置

2.4. 検証対象交差点以外を含めた信号情報提供を行う交差点

信号予定情報の詳細な検証は実施しないが、信号情報配信装置の制御容量である 512 交差点での信号情報提供を行う上で課題がないことを確認するため、以下の交差点で信号予定情報の提供を行った。信号情報の精度は得られないが、信号予定情報作成はほぼ同じ手順で行える版 4 の信号制御機も対象とした。

表 8.7 検証対象交差点以外を含めた信号情報提供を行う交差点一覧

方式	交差点機器	交差点数	備考
管制方式	版 5 準拠の信号制御機	38	3 交差点は集中方式と同一交差点
	版 4 以前に準拠の信号制御機	61	
集中方式	版 5、及び集中方式仕様書案準拠の信号制御機	6	
制御機方式	信号情報路側機	5	
	版 5、及び制御機生成方式準拠の信号制御機	1	
合計		111	

3. 総合接続試験

総合接続試験は、実運用時を想定し、交通管制センターに閉じたシステムで模擬車載機による信号情報提供を確認するステップ1と信号情報集約システム、模擬信号情報センター、及び模擬信号情報配信センターを経由して模擬車載機による信号情報提供を確認するステップ2に分けて実施した。

3.1. 総合接続試験ステップ1

信号情報集約システムとの接続試験を行った。信号情報路側機、及び模擬車載機を接続し、信号情報生成から模擬車載機における信号情報表示までの機能的な接続試験を行なった。ステップ1では、模擬車載機は交通管制センターの信号情報配信装置に接続した。

表8.8にステップ1の試験結果を示す。

表8.8 総合接続試験ステップ1の試験結果

試験項目	試験内容	試験結果
警察庁回線接続	警察庁回線・ルーター間疎通確認	合格
	警察庁回線・ルーター間 IPsec 接続試験	合格
	警察庁回線・サーバー間疎通確認	合格
MQTTS 接続	MQTTS 接続・切断確認	合格
	交差点管理情報の PUBLISH・SUBSCRIBE 確認	合格
	信号予定情報の PUBLISH・SUBSCRIBE 確認	合格
	監視情報の PUBLISH・SUBSCRIBE 確認 (配信装置から PUBLISH)	合格
	監視情報の PUBLISH・SUBSCRIBE 確認 (集約装置が折り返し)	合格
制御機方式接続試験	信号情報路側機・信号情報配信装置間疎通確認	合格
	時刻同期確認	合格
	MQTTS 接続、及び信号予定情報の PUBLISH 確認	合格
	信号情報提供障害情報の PUBLISH 確認	合格
	LTE 回線再接続確認	合格
模擬車載機接続試験	模擬車載機・信号情報配信装置間疎通確認	合格
	時刻同期確認	合格
	MQTTS 接続、及び信号予定情報の SUBSCRIBE 確認	合格

3.2. 総合接続試験ステップ2

ステップ2では、模擬車載機を模擬信号配信センターに接続して、最終形態での試験を行った。表8.9にステップ2の試験結果を示す。

表 8.9 総合接続試験ステップ 2 の試験結果

試験項目	試験内容	試験結果
全方式の信号情報生成確認	全方式（管制方式、集中方式、制御機方式）、全交差点の信号情報生成を信号情報配信装置で確認	合格
模擬車載機受信確認	模擬車載機・模擬信号配信センター間疎通確認	合格
	時刻同期確認	合格
	MQTTS 接続、及び信号予定情報の SUBSCRIBE 確認	合格
	残秒数の表示及び信号灯器との表示内容が概ね一致することの確認 ・検証ルート上の交差点の全方路	合格
	通信遅延時間が妥当であることの確認	合格

3.3. 総合接続試験結果に基づく今後留意すべき事項

総合接続試験において発生した課題のうち、今後留意すべき事項について表 8.10 にまとめる。

表 8.10 総合接続試験結果に基づく今後留意すべき事項

課題	内容	対処
MQTTS 接続方法	信号情報集約システムから信号情報配信装置に MQTTS で接続できない。 証明書で定義される CN(Common Name) を信号情報配信装置でチェックしているため。	IP アドレスでなく、CN で接続する方法で解決。 実運用時の CN の扱いは今後の検討事項とする。
IPSec パラメータの認識合わせ	県警側と警察庁側の各ルーターが 8 時間毎に切断される。IPSec のパラメータが一致していないことが原因。	ルーターのメーカーによりパラメータ名が異なるので、今回のパラメータ例を残し、今後の参考とする。
TLS バージョン	規格案では、TLS1.3 を規定しているが、現段階では TLS1.2 が多く使われ、TLS1.3 に対応したソフトウェアが少なく、TLS1.2 で実装されている。	信号情報配信装置の MQTT Broker は、TLS1.2、TLS1.3 の両方に対応する設定とした。 規格案に TLS1.2 を追加する。
IP アドレス体系	信号情報配信装置は各県に整備される予定であるが、IP アドレス体系が決められていない。	暫定的に、都道府県コードを含む IP アドレスを設計した。 最終的な IP アドレス体系は今後の検討事項とする。

4. 信号情報提供の検証

4.1. 信号情報提供の検証項目

表 8.11 に検証項目の概要を示し、表 8.12 には方式毎の検証項目を示す。集中方式に関しては、テーマ 7 で実施されるが、ここでは信号情報配信装置の蓄積データを用いて検証可能な項目について検証を行う。表 8.13 には各方式で共通の検証項目を示す。

表 8.11 信号情報提供の検証項目概要

検証項目	検証内容
信号制御機基本性能	G P Sにより時刻修正された信号制御機の時計精度が仕様通り 100msec 以内であることを検証する。 G P Sによる時刻修正の場合、修正幅が、100msec であることを確認する。 G P Sによる時刻修正ができていない時間帯を確認する。 信号制御実行情報 2 の精度が仕様通り 150msec 以内であることを確認する。
信号情報提供（通常制御）	これまでの検証に従い、オフセット追従の有無に分けて評価を行う。 Δt 検証に必要な、サイクル開始時から信号情報提供までの遅延時間を計測する。 制御機方式の時限表切り替わり時の信号情報提供に関して課題がないことを検証する。
信号情報提供（感応制御）	感応制御交差点の信号予定情報の精度検証を行う。 また、固定ステップ開始後、確定した信号予定情報が配信されるまでの遅延時間を計測する。
信号情報提供（リコール動作時）	押ボタンを押し、リコール要求受付タイミングに応じて出力される信号予定情報の精度、及び遅延時間を検証する。 管制方式、及び集中方式は、押ボタンを押し、リコール要求受付タイミングに応じて出力される信号予定情報の精度、及び遅延時間を検証する。リコール受付①タイミングからリコール受付⑤タイミングは、2021 度報告書に示されるものとする。
異常時動作の検証	2021 度報告書で検討した異常時の動作を検証する。具体的には、通信異常、G P S 時刻同期異常、単独動作、保安動作、手動動作、及び手動閃光を対象とする。ただし、意図的な異常発生は行わず、発生した異常のみを対象に評価する。
通信	通信インターフェイス仕様の妥当性を装置間の接続状況により検証する。装置間の通信遅延時間を計測する。

表 8.12 方式毎の詳細な検証項目

観点	検証内容	集中信号 制御機	管制 方式	集中 方式	制御機 方式
信号制御機基本性能	信号機時刻精度検証	○			
	G P S 同期実施状況確認	○			
	時刻修正幅確認	○			
	信号制御実行情報 2 精度検証	○			
信号情報提供 (通常制御)	精度検証 (オフセット追従なし)		○	○	○
	精度検証 (オフセット追従あり)		○	○	○
	サイクル開始からの遅延時間		○	○	○
	時限表切り替わり時精度検証				○
信号提供情報 (感応制御)	感応制御交差点の精度検証			○	
	固定ステップ開始からの遅延時間			○	
信号提供情報 (リコール動作時)	リコール受付①、精度、遅延時間		○		
	リコール受付②、精度、遅延時間		○		
	リコール受付③、精度、遅延時間		○		
	リコール受付⑤、精度、遅延時間		○		
異常時動作	通信異常		△	△	△
	G P S 時刻同期異常		△	△	
	単独動作		△	△	
	保安動作		△	△	△
	手動動作		△	△	△
	手動閃光		△	△	△
通信インターフェイス	信号制御機 (管制方式) ・ 配信装置接続、遅延時間		○		
	信号制御機 (集中方式) ・ 配信装置接続、遅延時間			○	
	信号情報路側機 ・ 配信装置接続、遅延時間				○

注⁽¹⁾ ○：試験対象。△：発生した異常を対象とする。

表 8.13 各方式共通の詳細検証項目

観点	検証内容
車載機までの通信	信号情報配信装置・試験用車載機間の通信遅延時間、通信データ量
	信号情報センター・試験用車載機間の通信遅延時間
信頼性	長期間提供検証（3週間程度）
	信号情報配信状況確認（1日あたり提供件数、異常件数等）
	信号制御パラメータ分析(周期、スプリット)
運用性	信号情報提供の運用／テストモード
	交差点管理情報の確認

4.2. 信号制御機基本性能

4.2.1. 信号制御機基本性能検証の検証方法概要

表 8.14 に信号制御機基本性能検証の検証方法概要を示す。

表 8.14 信号制御機基本性能検証の検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
信号機時刻精度検証	G P Sにより時刻修正された信号制御機の時計精度が仕様通り 100msec 以内であることを検証する。	映像による検証
G P S 同期実施状況確認	G P Sによる時刻修正ができていない時間帯を確認する。	蓄積データによる検証
時刻修正幅確認	G P Sによる時刻修正の場合、修正幅が、100msec であることを確認する。	蓄積データによる検証
信号制御実行情報 2 精度検証	信号制御実行情報 2 の精度が仕様通り 150msec 以内であることを確認する。	映像による検証

4.2.2. 信号制御機基本性能の検証方法

(1) 映像による検証

図 8.5 に、映像による検証のための機器配置を示す。NTP 時刻同期したノート P C を準備し、画面には現在時刻を 10msec 単位で表示する。

信号機時刻精度検証時には、信号制御機の表示部には現在時刻を表示し、ビデオカメラにより撮影を行う。現在時刻の秒の変化タイミングでノート P C の時刻と比較を行い、時刻精度を検証する。

信号制御実行情報 2 精度検証には、ビデオカメラにより灯色とノート P C を撮影する。灯色変化時刻をデータ化し、システム管理ブロックに蓄積される信号制御実行情報と比較し、精度を検証する。

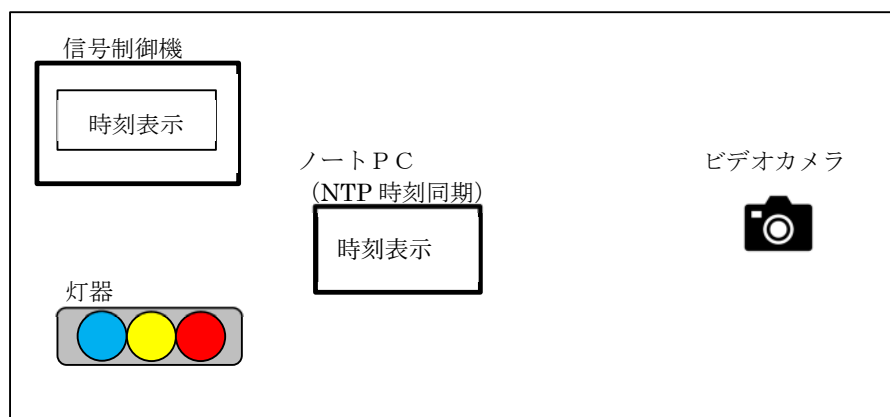


図 8.5 映像による検証時の機器配置

図 8.6 に灯色変化時刻の計測タイミングを示す。計測した灯色変化時刻とシステム管理ブロックに蓄積される信号制御実行情報のサイクル開始時刻と当該ステップ完了までの各ステップの秒数から算出した灯色変化時刻を比較し、誤差を確認する。

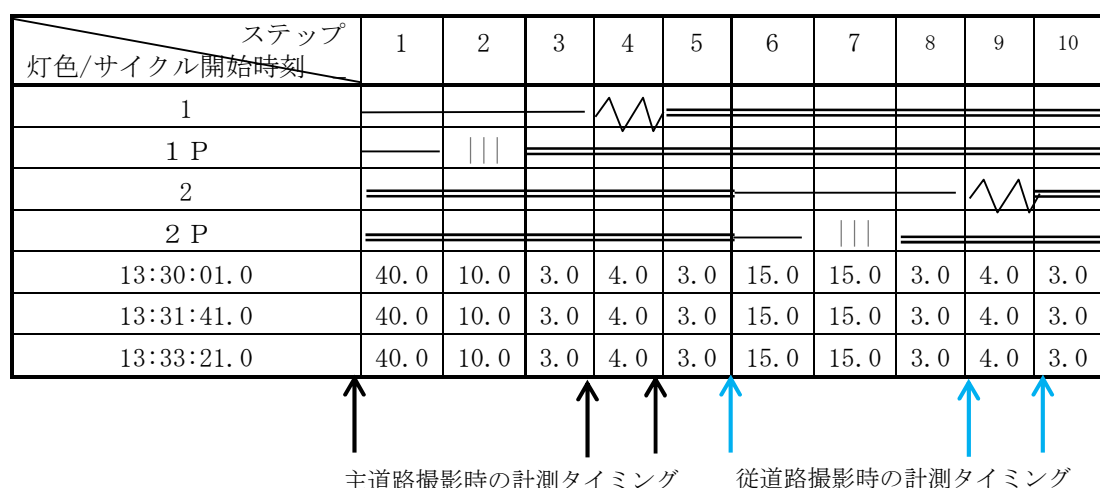


図 8.6 灯色変化時刻の計測タイミング

(2) 蓄積データによる検証

G P S 同期実施状況確認は、蓄積された信号動作状態情報 2 において、G P S 時刻同期異常が発生した時刻、及び復旧した時刻を検索し、G P S による時刻修正ができていない時間帯を特定する。

時刻修正幅の確認方法を図 8.7 に示す。蓄積された信号制御実行情報 2 を用いて推定次サイクル開始時刻を算出し、次サイクルのサイクル開始時刻と比較し、時刻修正幅を算出し確認する。

ステップ サイクル開始時刻	1	2	3	4	5	6	推定次サイクル開始時刻
13:30:32.0	33.0	4.0	3.0	24.0	3.0	3.0	13:31:42.0
13:31:42.1	32.9	4.0	3.0	24.0	3.0	3.0	13:32:52.0
13:32:52.0	33.0	4.0	3.0	24.0	3.0	3.0	13:33:02.0

推定次サイクル開始時刻とサイクル開始時刻の差が時刻修正幅となる。

図 8.7 信号制御実行情報 2 を用いた時刻修正幅の確認方法

4.2.3. 信号制御機基本性能の検証結果概要

表 8.15 に信号制御機基本性能の検証結果概要を示す。

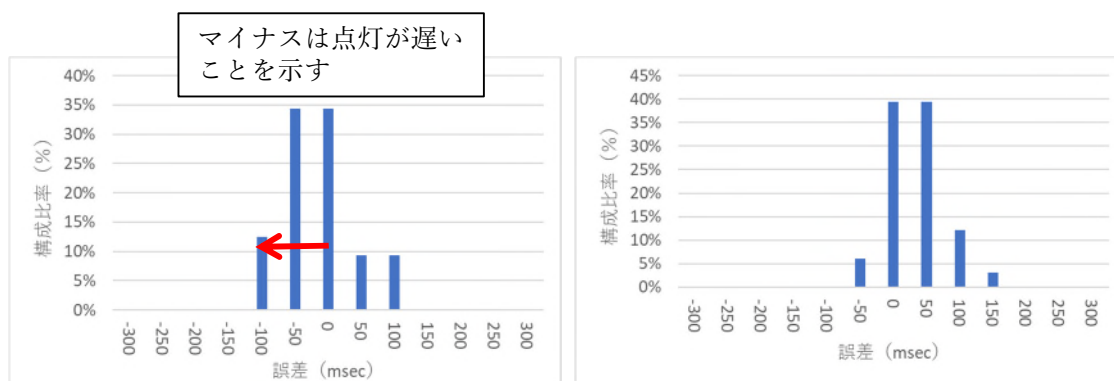
表 8.15 信号制御基本性能の検証結果概要

検証項目	検証方法	検証交差点数	結果	備考
信号機時刻精度検証	映像と蓄積データ	3	-100～200msec	サイクル開始時刻による検証
		2	0～150msec	信号制御機内時刻表示による確認
G P S 同期実施状況確認	蓄積データ	41	時刻同期エラーなし	
時刻修正幅確認	蓄積データ	41	1 交差点を除き、問題なし ^(注1)	2023/1/25 データで検証
信号制御実行情報 2 精度検証	映像と蓄積データ	3	-100～200msec	

注⁽¹⁾ 夜間に異常な動作が見られる。詳細は、4.2.5 参照のこと。

4.2.4. 信号機時刻精度検証の結果詳細

NTP 時刻同期された PC で計測した灯色点灯時刻と蓄積データの灯色点灯時刻を比較した結果を図 8.8 に示す。灯色点灯の遅れの影響を受け、時刻誤差の幅が大きく計測されていると推測する。



(a) 右京 3 丁目東交差点 (電球灯器)

(b) 県営住宅入口交差点 (LED 灯器)

図 8.8 信号制御機時刻精度

NTP 時刻同期された PC の時刻表示と信号制御機内の時刻表示を比較した結果を表 8.16 に示す。短期間での計測においても時刻誤差が見られることから、信号制御機の時計表示処理の誤差、PC の時計表示の誤差、及びビデオからのデータ時の誤差により、実際の時刻の誤差より大きく計測されており、信号制御機自体の時刻誤差は、仕様の誤差 $\pm 100\text{msec}$ 以内であると推測する。

表 8.16 信号制御機内時刻表示による時刻誤差検証

交差点名	検証回数	誤差平均	誤差の幅	備考
右京 3 丁目交差点	10 秒間	97msec	50～150msec	A 社信号制御機
神功 5 丁目交差点	10 秒間	63msec	0～140msec	B 社信号制御機

注 1) 誤差=信号制御機の時刻 - PC の時刻。

注 2) 信号制御機内の時計は 1 秒単位の表示。PC の時計は、10msec 単位の表示で、信号制御機の時計の変化時に計測。

4.2.5. 時刻修正幅確認の結果詳細

(1) 時刻修正幅

100msec (信号制御機の時刻を進める方向)

(2) 時刻修正回数

表 8.17 に 1 日における時刻修正回数の分布を示す。どの交差点も概ね 2 時間に 1 回以下の頻度で、100msec の時刻修正が行われている。

表 8.17 1 日における時刻修正回数の分布(対象データ：2023 年 1 月 23 日)

時刻修正回数	制御機数	備考
0 回	5	信号制御機内の時刻と各ステップの時間が整合しているため、蓄積データでは時刻修正幅は確認できない。
5 回以下	1	
6～10 回	18	
11～15 回	16	

注⁽¹⁾ 上記以外に 1 交差点が、時刻修正幅が±2 秒であり不具合があると思われるため、メーカーへ連絡済み(夜間の時間帯で発生しているため、走行調査への影響は発生しない。)

4.2.6, 信号制御実行情報 2 精度検証

PC で計測した灯色点灯時刻と蓄積データの灯色点灯時刻を比較した結果を図 8.9 に示す。誤差幅はやや広いが、概ね仕様の範囲内である。信号機時刻精度検証の検証と同様、計測方法による誤差により誤差幅が広がっていると推測する。

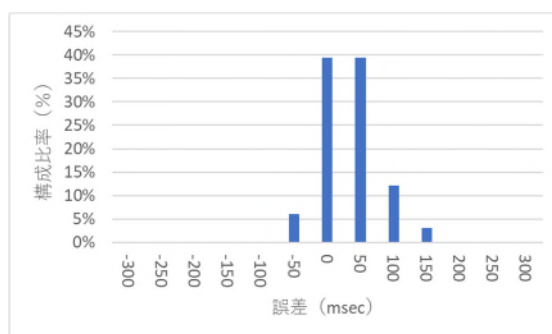


図 8.9 信号制御実行情報 2 の精度（県営住宅入口交差点）

4.3. 信号情報提供検証（通常制御）

4.3.1. 信号情報提供検証（通常制御）の検証方法概要

表 8.18 通常制御時の信号情報提供に対する検証方法概要を示す。

表 8.18 通常制御時の信号情報提供に対する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
精度検証（オフセット追従なし）	信号予定情報の誤差が±300msec 以下であることを検証する。	蓄積データによる検証、又は車載機と映像による検証
精度検証（オフセット追従あり）	信号予定情報の誤差が±300msec 以下であることを検証する。	蓄積データによる検証、又は車載機と映像による検証
サイクル開始からの遅延時間	サイクル開始後信号予定情報が編集されるまでの時間が 6.5 秒以下であることを検証する。	蓄積データによる検証
時限表切り替わり時精度検証	非集中交差点（制御機方式）において時限表切り替わり時にも信号予定情報が提供され、誤差が±300msec 以下であることを検証する。	蓄積データによる検証、又は車載機と映像による検証

4.3.2. 信号情報提供検証（通常制御）の検証方法

(1) 蓄積データによる検証

通常制御時の信号情報提供に対する蓄積データによる検証方法を表 8.19 に示す。

表 8.19 通常制御時の信号情報提供、蓄積データによる検証方法

検証項目	管制方式、及び集中方式	制御機方式
精度検証（オフセット追従なし）	蓄積された信号予定情報と信号制御実行情報を比較する。 信号制御実行情報の実行オフセットが 0 の場合、オフセット追従なしとし、それ以外はオフセット追従ありとして集計する。	信号情報路側機に灯色変化時刻ログが蓄積されている場合、蓄積された信号予定情報と比較する。
精度検証（オフセット追従あり）		時限表からオフセット追従の発生する時間帯を特定し集計する。
サイクル開始からの遅延時間	蓄積された信号制御実行情報のサイクル開始時刻と信号予定情報の作成日時から遅延時間を算出する。	信号情報路側機に灯色変化時刻ログが蓄積されている場合、サイクル開始時刻を特定し、信号予定情報の作成日時から遅延時間を算出する。
時限表切り替わり時精度検証		蓄積された信号予定情報から、信号予定情報が連続して提供されることを確認する。 時限表の切り替わり時の信号予定情報を上記の精度検証方法で検証する。

信号予定情報と信号制御実行情報の比較では、表 8.20 のように車灯器灯色の終了時刻に対応するステップ番号を予め用意し、信号予定情報、及び信号制御実行情報 2 から灯色変化時刻を算出し、信号制御実行情報 2 から算出した灯色変化時刻を真値相当として信号誤差を算出する。

表 8.20 信号予定情報と信号制御実行情報 2 の対応表による比較

方路	信号予定情報		信号制御実行情報 2	
	車灯器灯色	灯色変化時刻	対応ステップ番号	灯色変化時刻
1	1 (青)		3	
	2 (黄)		4	
	3 (赤)		10	
2	1 (青)		8	
	2 (黄)		9	
	3 (赤)		5	

(2) 試験用車載機と映像による検証

図 8.10 に、試験用車載機と映像による検証のための機器配置を示す。ビデオカメラと指定する方路の信号灯色と残秒数、及び現在時刻を表示する試験用車載機を準備する。

車両用灯器と試験用車載機をビデオカメラにより撮影し、それぞれの灯色変化時刻をデータ化し比較する。

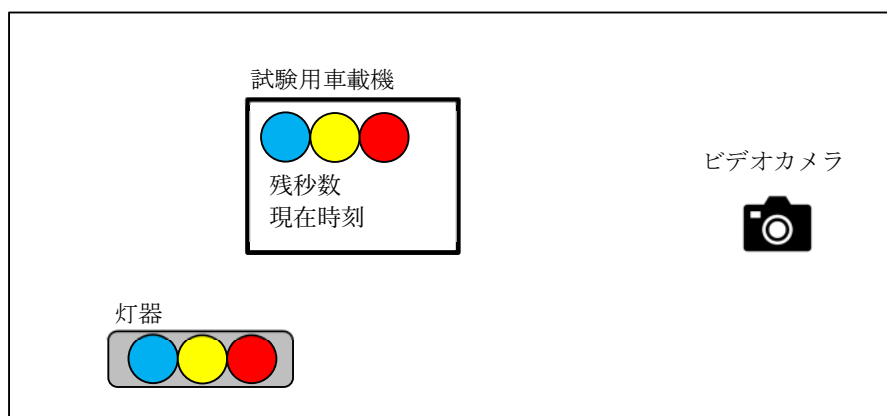


図 8.10 車載機と映像による検証方法

4.3.3. 信号情報提供検証（通常制御）の検証結果概要

表 8.21 に信号情報提供検証（通常制御）の検証結果概要を示す。

表 8.21 信号情報提供検証（通常制御）の検証結果概要

検証項目	方式	検証交 差点数	結果	判定	備考
精度検証（映像）	管制方式	3	-135～101 msec	○	電球灯器、LED 灯器
	集中方式	3	-182～164 msec	○	すべて電球灯器
	制 御 機 方 式	3	-159～0msec	○	すべて電球灯器
検証精度（オフセット追従なし）	管制方式	6	0～100 msec	○	
	集中方式	3	-100～120 msec	○	
	制 御 機 方 式	4	-193～168 msec	○	
検証精度（オフセット追従あり）	管制方式	6	-100～200 msec	○	
	集中方式	6	-100～120 msec	○	感応後の灯色変化は未検証
	制 御 機 方 式	4	67～194msec	△	誤差は目標達成しているが、未提供の場合がある
サイクル開始からの遅延時間	管制方式	6	2.7～4.2 秒	○	
	集中方式	6	0.08～0.1 秒	○	
	制 御 機 方 式	1	162～281msec	○	
時 限 表 切 り 替 わ り 時 精 度 検 証	制 御 機 方 式	1	-64～67msec	△	切り替わり直前は正しいが、切り替わり直後 2 サイクル信号情報が未提供

4.3.4. 映像による精度検証結果詳細

映像による精度検証結果を図 8.11、図 8.12、及び図 8.13 に示す。いずれの方式も、所定の通信経路を経由した信号情報を受信する模擬車載機において、目標する誤差（±300msec）の範囲に入っていることを確認できた。

後述する蓄積データによる検証結果と比べると映像による検証結果は誤差のバラつきが大きい、模擬車載機の処理のバラつき、および計測誤差が原因と推測される。これらの誤差要因を含めて、目標とする誤差（±300msec）の範囲に入っていることを確認できていることは本検証において重要と考える。

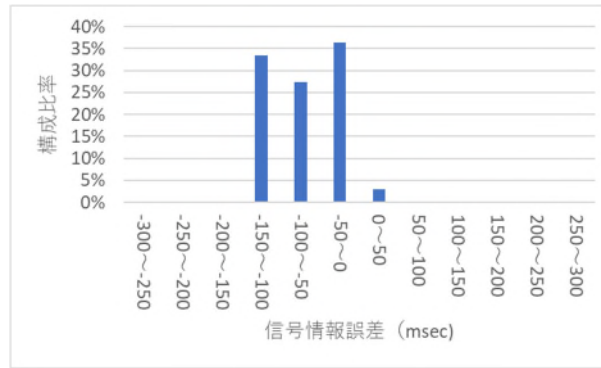


図 8.11 映像による信号情報誤差確認（管制方式）N=30
（県営住宅入口交差点、LED 灯器、誤差範囲 -145～11 msec）

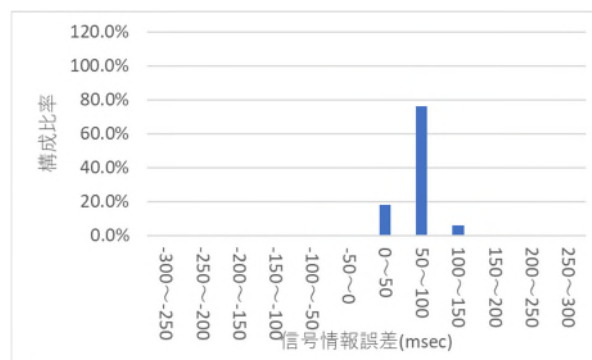


図 8.12 映像による信号情報誤差確認（集中方式）N=30
（神功 5 丁目交差点、電球灯器、誤差範囲 25～123msec）

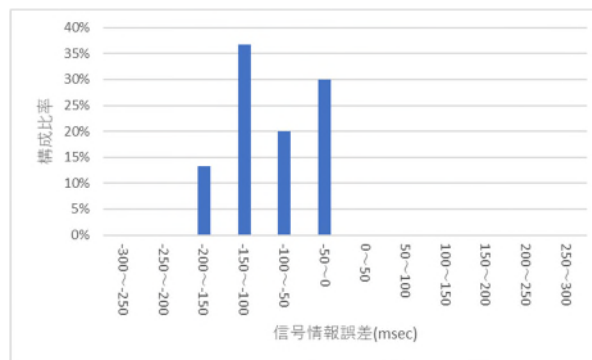


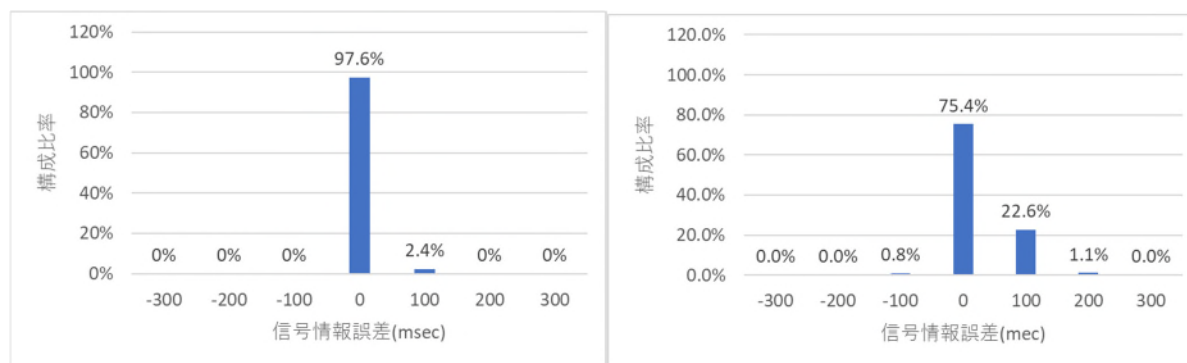
図 8.13 映像による信号情報誤差確認（管制方式）N=30
（神功 4 丁目東交差点、電球灯器、誤差範囲 -156～0msec）

4. 3. 5. 蓄積データによる検証結果詳細

(1) 管制方式

図 8.14 に蓄積データにより算出した管制方式信号情報の誤差分布を示す。オフセット追従なしの時の誤差は、誤差なしの割合が 95%以上を占める。またオフセット追従時においても、誤差範囲 0～100msec が 95%以上を示す。信号制御機が 100msec の時刻修正を行った場合、及びオフセット追従時の算出誤差

により誤差が生じているが、目標とする誤差の範囲内である。



(a) オフセット追従なし時の誤差 (N=5490)

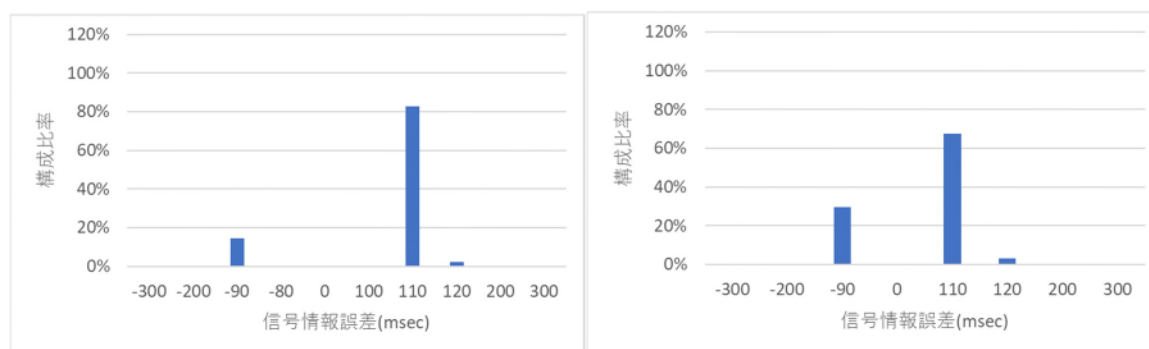
(b) オフセット追従あり時の誤差 (N=968)

図 8.14 管制方式信号情報の誤差分布 (提供点コード:000000300377)

(管制方式の蓄積データによる検証では、誤差は 100msec 単位の離散値をとる)

(2) 集中方式

図 8.15 に蓄積データにより算出した集中方式信号情報の誤差分布を示す。集中方式のオフセット追従なし時の誤差は、-90msec と+110msec となっている特徴がある。これは、編集日時を 10msec 単位で設定しており、その結果、信号情報は 10msec 単位に算出されるが、信号制御実行情報から算出される灯色変化時刻（真値相当）は、100msec 単位であることが要因と推測する。



(a) オフセット追従なし時の誤差 (N=4096)

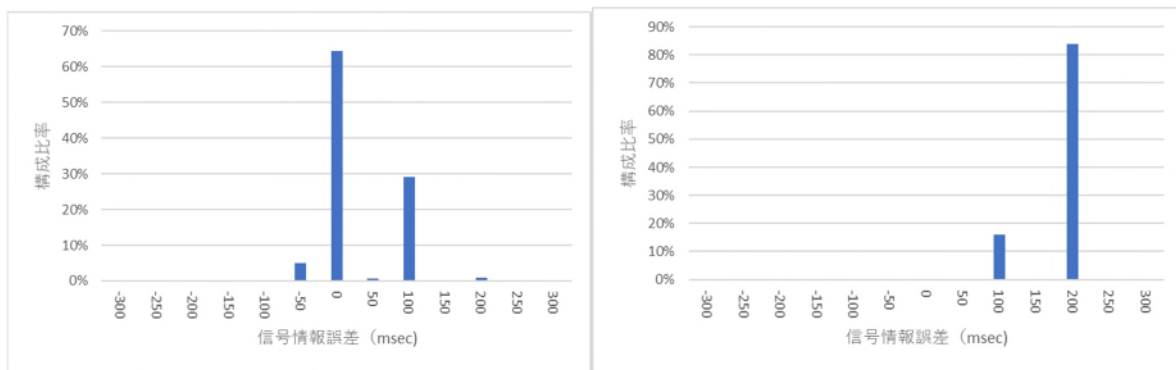
(b) オフセット追従あり時の誤差 (N=272)

図 8.15 集中方式信号情報の誤差分布 (提供点コード:000000300375)

(集中方式の蓄積データによる検証では、誤差は 10msec 単位の離散値をとる)

(3) 制御機方式

図 8.16 に蓄積データにより算出した制御機方式信号情報の誤差分布を示す。制御機方式のオフセット追従なし時の誤差は、C Tセンサーによる灯色信号の検出誤差により生じるが、多くの場合誤差は小さくなっている。オフセット追従時は、オフセット追従学習時と提供時の状況により誤差が生じるが、目標とする誤差に収まっている。ただし、オフセット追従時には信号情報提供が行われていない場合があり、ソフトウェアの対策が望まれる。



(a) オフセット追従なし時の誤差 (N=4865) (a) オフセット追従あり時の誤差 (N=31)

図 8.16 制御機方式信号情報の誤差分布 (提供点コード:00001000207)

4.3.6. 管制方式におけるサイクル開始からの遅延時間詳細

図 8.17 に管制方式におけるサイクル開始時刻から信号情報が生成されるまでの遅延時間の分布グラフを示す。信号制御機から信号情報配信装置が信号制御実行情報を受信した後、信号情報が生成される。信号情報配信装置内での処理時間は極めて小さく、この遅延時間は通信遅延によるものである。信号制御機の仕様では、信号制御実行情報を送信するまでの時間が最大 5 秒であるため、想定しているタイムチャート通りの動作が期待できる。

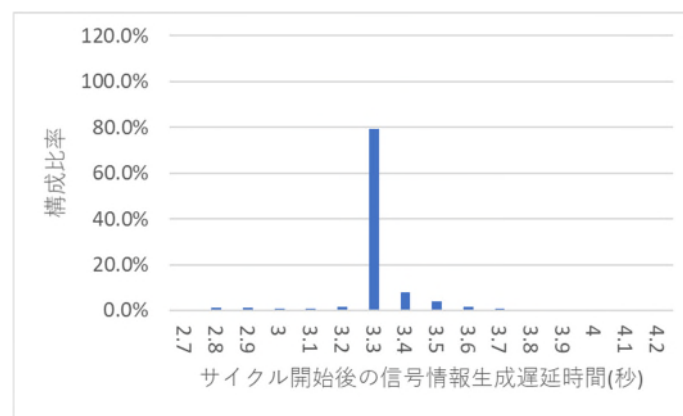


図 8.17 サイクル開始後の信号情報生成遅延時間 (提供点コード:000000300377)

4.4. 信号情報提供 (感応制御)

4.4.1. 信号情報提供 (感応制御) の検証方法概要

表 8.22 に感応制御時の信号情報提供に対する検証方法概要を示す。

表 8.22 感応制御時の信号情報提供に対する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
感応制御交差点の精度検証	サイクル開始時に提供された信号予定情報、及び感応ステップ終了後に提供された信号予定情報の精度を検証する。	蓄積データによる検証
固定ステップ開始からの遅延時間 ^(注1)	感応ステップの次の固定ステップ開始時刻と信号情報配信装置が集中方式の信号制御機から信号予定情報を受信した時刻から遅延時間を算出する。	蓄積データによる検証

注⁽¹⁾ Δt 確保のためには、感応ステップの次に同じ灯色の固定ステップ追加が必要であるが、運用への影響が大きいため、追加は行わず、黄ステップ開始時刻からの遅延時間を算出する。

4.4.2. 信号情報提供（感応制御）検証方法

感応制御時の信号予定情報を表 8.23、及び表 8.24 示す。青矢信号の残秒数は確定できないため、最小残秒数と最大残秒数の範囲に入ることを検証する。

表 8.23 感応制御時のサイクル開始時の信号予定情報

項目 インデックス	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	青	オフ	基準値	最小値と同じ	0
2	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
3	赤	右	基準値－マイ ナス変動幅	基準値＋プラス変 動幅	0
4	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
5	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

表 8.24 感応制御時の感応ステップ終了後の信号予定情報

項目 インデックス	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
2	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

4.4.3. 信号情報提供（感応制御）の検証結果概要

集中方式、及び制御機方式は、感応制御を行っている交差点での信号情報提供が可能である。今回の

制御機方式の対象交差点では感應制御は実施されていないため、集中方式を対象に検証を行った。

誤差検証は、サイクル開始時に提供される信号予定情報と感應ステップ終了後に提供される信号予定情報の精度を抜き取りで検証した。

感應ステップ終了後に車載機に届くまでの時間を算出するための基礎データとして、信号情報配信装置で信号予定情報を受信するまでの遅延時間を算出した。

信号情報提供検証（感應制御）の検証結果概要を表 8. 25 に示す。

表 8. 25 信号情報提供（感應制御）の検証結果概要

検証項目	検証方法	検証交差点数	結果	備考
感應制御交差点の精度検証	蓄積データ	1	OK	0.16 秒の誤差が見られた。
感應ステップ終了からの遅延時間	蓄積データ	1	0.3～1.7 秒 ただし再送時は、 6.19 秒	

4. 4. 4. 信号情報提供（感應制御）の精度検証結果

表 8. 26 に感應制御交差点のサイクル開始時に提供される信号予定情報の例を示す。また、表 8. 27 に感應ステップ終了後に提供される信号予定情報の例を示す。いずれの情報もほぼ遅延なく作成されている。

残秒数の真値は、信号制御実行情報 2 のサイクル開始時刻、ステップ秒数と信号予定情報の生成時刻を元に算出したものである。この真値と提供された残秒数を比較すると 0.1 秒から 0.16 秒の誤差があることが分かる。すべて信号制御機内で生成された情報であるため、誤差 0 となることが期待できるが、若干の誤差が生じていると推測する。なお、この誤差は信号予定情報の仕様内であり支障はない。

表 8. 26 感應制御交差点の信号予定情報例(サイクル開始時)

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小 残秒数	最大 残秒数	カウントダウン 停止フラグ	残秒数の 真値
1	青		66.2	66.2	0	66.3
2	黄		3	3	0	3
3	赤	右折矢	9.1	17.1	0	12
4	黄		2	2	0	2
5	赤		55.5	55.5	0	55.5

注⁽¹⁾ 神功 5 丁目交差点

注⁽²⁾ サイクル開始時刻 10:01:55.8、信号情報生成時刻 10:01:55.9

表 8.27 感应制御交差点の信号予定情報例(感应ステップ終了後)

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小 残秒数	最大 残秒数	カウントダウン 停止フラグ	残秒数の 真値
1	黄		1.8	1.8	0	1.96
2	赤		55.5	55.5	0	55.5

注⁽¹⁾ 丸信号灯色（黄）の開始時刻 10:03:17.4、信号情報生成時刻 10:03:17.44

4.4.5. 感应ステップ終了からの遅延時間

表 8.28 に感应ステップ終了から信号予定情報受信までの遅延時間を示す。図 8.18 に遅延時間分布を示す。遅延時間は平均 0.91 秒と小さいが、通信経路に UD 伝送があり、再送が 5 秒後に行われることから、最大値は 6 秒を越える値となっている。この日の発生は 1 回であり、発生率は約 0.13%となる。

この再送時に遅延が大きくなるケースをどう扱うかは、信号予定情報の利用者とともに検討することが必要と考える。

表 8.28 感应ステップ終了からの遅延時間（N=746）

項 目	平均	最小	最大	標準偏差
固定ステップ開始からの遅延時間（秒）	0.91	0.28	6.19	0.37
固定ステップ(2 秒)の残秒数（秒）	1.8	1.8	2	0.02

注⁽¹⁾ 神功 5 丁目交差点。2023/2/13 1 日分の集計結果。

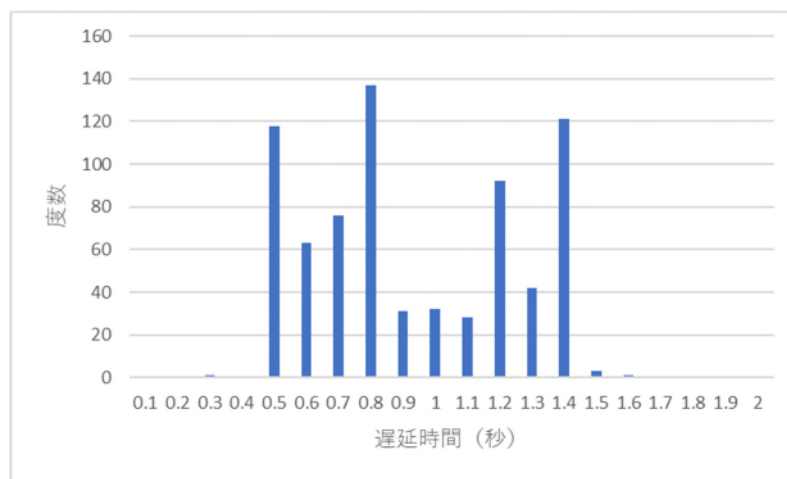


図 8.18 固定ステップ終了からの遅延時間分布

4.5. 信号情報提供（リコール動作時）

4.5.1. 信号情報提供（リコール動作時）の検証方法概要

表 8.29 にリコール動作時の信号情報提供に対する検証方法概要を示す。

表 8.29 リコール動作時の信号情報提供に対する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
信号予定情報の精度	2021 年度報告書に記載の 4 つのリコール要求受付タイミングで作成される信号予定情報の精度を検証する。	蓄積データによる検証
信号予定情報の遅延時間	リコール要求受付タイミングから信号情報配信装置により信号予定情報が作成されるまでの時間が 1.5 秒未満であることを検証する。	蓄積データによる検証

4.5.2. 信号情報提供（リコール動作時）の検証方法

(1) 集中信号制御機に対する検証方法

表 8.30 に、リコール動作時の 5 つの状態を示す。また、各状態において検証する信号予定情報を表 8.31 から表 8.34 に示す。状態の判定は、蓄積されたリコール受付要求情報、及び信号制御実行情報 2 のリコール現示表示結果情報を元に判定する。

表 8.30 リコール動作時の 5 つの状態

信号サイクル	現サイクル		次サイクル
実行ステップ	リコール要求受付ステップ	受付ステップ以外	リコール要求受付ステップ
5 つの状態 (注 1)	○⇒① ●→②	○⇒③ ●→④	●⇒⑤

注⁽¹⁾ ○は、リコール要求受付なしを示す。●はリコール要求受付ありを示す。

⇒は、ステップの変化により状態変化することを示す。

→は、リコール要求受付の変化により状態変化することを示す。

① から⑤は、状態番号を示す。④では、信号予定情報を送信せず、⑤で送信する。

表 8.31 状態①の信号予定情報

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	青	オフ	基準値(注 ¹⁾)	不明	0
2	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
3	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

注⁽¹⁾ リコール要求受付ステップでリコール要求があることを前提とした残秒数が設定される。

状態②、または状態③まで有効な情報であることを考慮して検証する。

表 8.32 状態②の信号予定情報

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	青	オフ	任意の値 ^(注1)	最小値と同じ	0
2	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
3	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

注⁽¹⁾ リコール現示が呼び出された場合の残秒数を作成日時の時刻を元に算出する。その結果として、青灯色終了時の信号誤差が±300msec 以内であることを確認する。

表 8.33 状態③の信号予定情報

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	青	オフ	任意の値 ^(注1)	不明	0
2	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
3	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

注⁽¹⁾ リコール要求受付ステップが終了し、リコール要求受付情報を受信したタイミングで当該サイクルの残秒数と次サイクルの青の最小残秒数を元に算出される。信号灯色との直接の比較はできない。サイクル終了時の残秒数で確認する。

表 8.34 状態⑤の信号予定情報

項目 順序番号	丸信号 灯色表示	青矢信号 灯色表示	最小残秒数	最大残秒数	カウントダウン 停止フラグ
1	青	オフ	任意の値 ^(注1)	最小値と同じ	0
2	黄	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
3	赤	オフ	任意の値	最小値と同じ	0
以下省略					

注⁽¹⁾ サイクル開始時点でリコール現示表示が確定しているため、通常の信号制御と同様の算出結果となる。その結果として、青灯色終了時の信号誤差が±300msec 以内であることを確認する。

4.5.3. 信号情報提供（リコール動作時）の検証結果概要

表 8.35 に信号情報提供（リコール動作時）の検証結果概要を示す。検証は、1 時間分のデータを抜き取り、リコール動作時に提供される信号予定情報の送信タイミング、及び信号予定情報作成の遅延時間を確認した。

表 8.35 信号情報提供（リコール動作時）の検証結果概要

検証項目	方式	結果	備考
信号予定情報の精度	管制方式	所定の4つのタイミングで信号予定情報が所定の精度で作成されていることを確認した。	
	集中方式	信号予定情報が作成されないタイミングがあり、青時間の残秒数がカウントダウンにより0となり、走行に支障がでる可能性がある。	「V2N・信号情報提供共通メッセージ規格」の見直しが必要。
信号予定情報の遅延時間	管制方式	遅延なく信号予定情報が生成されていることを確認。	
	集中方式	遅延なく信号予定情報が生成されていることを確認。	

4.5.4. 管制方式の検証結果

佐保山住宅東交差点において2023年2月3日 7時から1時間の信号情報が正しいことを確認した。表 8.36 に検証結果を示す。

表 8.36 リコール動作時信号情報提供の検証結果（管制方式）

検証項目	条件 ^(注1)	作成タイミング	内容	確認結果
信号予定情報作成タイミング、内容	① 受付ステップでリコール要求なし	サイクル開始時	青の最大残秒数が不明	26回受信 OK
	② 受付ステップでリコール要求あり	リコール要求受付受信時	確定した信号情報（3色動作）	7回受信 OK
	③ 受付ステップ以外、リコール要求なし	受付ステップ終了後	青の最小残秒数の更新、最大残秒数が不明	18回受信 OK
	⑤ 受付ステップ以外、リコール要求あり	次のサイクル開始時	確定した信号情報（3色動作）	15回受信 OK
信号予定情報の遅延時間	②の場合		リコール要求受付情報受信からの時間	即時
	③の場合		第1ステップ終了からの時間	約1.3秒後

注⁽¹⁾ ①～⑤は、2021年度の報告書で整理したリコールに関する5つの状態。④は、受付ステップ以外でリコール要求ありの条件で、リコール要求受付受信時には即時に作成せず、⑤で作成することを確認している。

4.5.5. 集中方式の検証結果

神功4丁目南交差点において2023年2月13日5時から1時間の信号情報が正しいことを確認した。表8.37に検証結果を示す。

表 8.37 リコール動作時信号情報提供の検証概要(集中方式)

検証項目	条件	作成タイミング	内容	確認結果
信号予定情報 作成タイミン グ、内容	① 受付ステップでリコール要求なし	サイクル開始時	青の最大残秒数が不明	42 回受信
	② 受付ステップでリコール要求あり	リコール要求受付 受信時	確定した信号情報 (3色動作)	1 回受信 (注1)
	③ 受付ステップ以外、 リコール要求なし	受付ステップ終了 後	青の最小残秒数の更 新、最大残秒数が不明	0 回受信 (事象は 41 回)
	⑤ 受付ステップ以外、 リコール要求あり	次のサイクル開始 時	確定した信号情報 (3色動作)	1 回受信 (注3)
信号予定情報 の遅延時間	②の場合		リコール要求受付から の時間	計測なし
	③の場合		第1ステップ終了から の時間	計測なし
	⑤の場合		リコール要求受付から の時	1.5 秒

注⁽¹⁾ 通信データのログでは、第1ステップでリコール要求受付情報が作成されているが、信号制御機は当該サイクルでリコール動作を行っていない。

注⁽²⁾ リコール要求受付情報の経過秒数がステップの秒数を越えている場合がある。

注⁽³⁾ 集中方式では、「⑤受付ステップ以外、リコール要求あり」の場合、リコール要求受付時に信号予定情報を生成している。

4.5.6. 信号情報がほぼ同時に作成されるケースについて

管制方式では、図 8.19 に示す通り信号情報がほぼ同時に作成されるケースが見られた。信号制御実行情報2とリコール要求受付情報は、非同期に生成される。そのため、ほぼ同時に作成された場合、管制方式では信号予定情報も同じ作成日時で作成される。

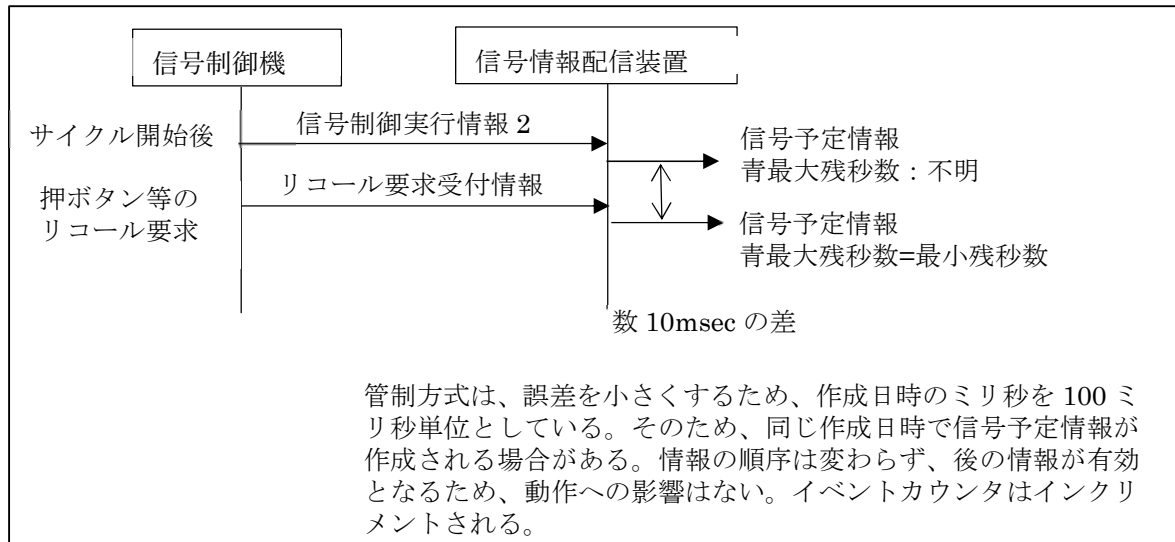


図 8.19 信号予定情報がほぼ同時に作成されるケース

4.6. 異常時動作

4.6.1. 異常時動作の検証方法概要

表 8.37 に異常時動作時の信号情報提供に対する検証方法概要を示す。

表 8.38 異常時動作時の信号情報提供に対する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
通信異常、GPS時刻同期異常、単独動作、保安動作、手動動作、手動閃光	異常発生後に送信される無効の信号予定情報のタイミング(即時、もしくは次サイクル開始時等)、及び異常の復旧後の信号予定情報の作成タイミングを検証する。	一定期間、通常運用で発生した異常に対して、蓄積データにより検証する。

4.6.2. 異常時動作の検証方法

表 8.39 に異常発生方法と確認する信号予定情報の送信タイミングを示す。異常発生は、一般交通に影響を与える。そのため、自然発生時の検証を優先し、事前発生しない異常は工場試験とする。

表 8.39 異常発生方法と確認する信号予定情報の送信タイミング

検証項目	異常発生方法	信号予定情報の送信タイミング
通信異常	自然発生、又は信号制御機の LAN ケーブルを外す。	即時、又は次サイクル開始時
G P S 時刻同期異常	自然発生、又は G P S アンテナを遮蔽する。	次サイクル開始時
単独動作	信号制御機の遠隔切スイッチで遠隔制御から単独動作へ移行させる。 ^(注1)	次サイクル開始時
保安動作	信号制御機の保安固定スイッチで遠隔制御から保安動作へ移行させる。 ^(注1)	即時
手動動作	信号動作切替スイッチにより動作させる。 ^(注1)	即時
手動閃光	手動 閃光スイッチにより動作させる。	即時

注⁽¹⁾ 信号制御機のメーカーが自社製の場合、工場試験が可能。

4.6.3. 異常時動作の検証結果概要

表 8.40、及び表 8.41 に異常時信号情報提供に関する検証結果概要を示す。GPS 時刻同期異常時の動作に関して想定と異なる動作が確認された。県警モデルシステムで発生した通信異常、単独動作については、正しく動作していることを確認した。

表 8.40 異常時の信号情報に関する検証結果概要(管制方式)

検証項目	県警モデルシステム	工場環境	信号予定情報	確認結果
通信異常	発生	△	次サイクル開始後	OK
信号制御機の GPS 時刻同期異常	未発生	○	次サイクル開始後	OK
信号制御機の単独動作	発生	△	信号状態情報 2 受信後、即時 ^(注1)	OK
信号制御機の保安動作	未発生	○	信号状態情報 2 受信後、即時	OK
信号制御機の手動動作	未発生	○	信号状態情報 2 受信後、即時	OK
手動閃光	未発生	○	信号状態情報 2 受信後、即時	OK

注⁽¹⁾ サイクルの切り替わり時に単独動作に切替わる場合があるため、信号状態情報 2 受信後、即時とするのが正しい。

表 8.41 異常時の信号情報に関する検証結果概要(集中方式)

検証項目	県警モデルシステム	信号予定情報	確認結果
通信異常	発生	信号情報配信装置の監視機能による無効情報の送信	OK
信号制御機のGPS時刻同期異常	未発生	次サイクル開始後	
信号制御機の単独動作	未発生	次サイクル開始後	
信号制御機の保安動作	未発生	信号状態情報 2 受信後、即時	
信号制御機の手動動作	未発生	信号状態情報 2 受信後、即時	
手動閃光	未発生	信号状態情報 2 受信後、即時	

4.6.4. 通信異常時動作（管制方式）

表 8.42 に通信異常時の信号情報配信装置の動作を示す。信号制御実行情報 2 の未受信を信号制御実行情報 2 の再送、及び若干の余裕を考慮した後に検知し、システム状態が無効の信号予定情報を送信できている。

なお、集中方式、及び制御機方式は、通信異常発生時は信号予定情報が受信できない。その際に信号情報配信装置は、システム状態が無効の信号の信号予定情報を送信している。

表 8.42 通信異常時の信号情報配信装置の動作（管制方式）

通信インターフェイス	受信時刻	説明
信号制御実行情報 2	14:54:00	予定サイクル長 70 秒を受信
信号制御実行情報 2	未受信	14:55:20 に信号制御実行情報 2 の未受信を検知。
	14:55:20	システム状態が無効の信号予定情報を作成

注 ⁽¹⁾ 佐保山住宅東口交差点において検証。

4.6.5. 信号制御機の単独動作時の動作（管制方式）

管制方式は、信号制御機が中央装置からの指令で動作しない単独動作を行っている場合、信号予定情報を生成できない。集中方式は信号制御機内で信号予定情報を生成するため、単独動作時にも信号情報を生成できる。また、制御機方式が対象とする非集中制御の信号制御機は常に単独動作である。ここでは管制方式について、信号制御機が単独動作時となった場合の信号情報配信装置の動作検証を行った。

工場環境では、単独動作を意図的に発生するため、サイクルの途中で発生していたが、県警モデルシ

システムではサイクル開始時に単独動作する場合があることが分かった。そのため、単独動作時は、即時にシステム状態が無効の信号予定情報を送信すべきであり、その動作が行われていることを確認した。表 8.43 に信号制御機の単独動作時の信号情報配信装置の動作の確認結果を示す。

表 8.43 信号制御機の単独動作時の信号情報配信装置の動作

通信インターフェイス	受信時刻	説明
信号制御状態情報	5:06:43	中央指令受信
信号制御状態情報	5:06:51	非遠隔動作受信（第 1 ステップ）
信号制御実行情報 2	5:06:54	システム状態が有効の信号予定情報を作成
	5:06:54	システム状態が無効の信号予定情報を作成

注⁽¹⁾ 検証対象交差点以外で検証。

4.7. 通信インターフェイス

4.7.1. 通信インターフェイスの検証方法概要

表 8.44 に通信インターフェイスに関する検証方法概要を示す。本検証は、2021 年度報告書に記載の信号予定情報提供に関するタイムチャートどおりにシステムを実現できるかを検証する。

表 8.44 通信インターフェイスに関する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
方式毎の装置間接続、通信遅延時間	方式毎に、信号情報配信装置との各機器間の通信インターフェイスデータの通信遅延時間を検証する。 ・管制方式：主に信号制御機からの情報 1.4 秒^(注1)以下の通信遅延時間であること ・集中方式：信号制御機からの情報 1.4 秒^(注1)以下の通信遅延時間であること ・制御機方式：信号情報路側機からの情報 1.5 秒^(注1)以下の通信遅延時間であること	信号情報配信装置において蓄積される信号予定情報ログのタイムスタンプで判定する。

注⁽¹⁾ 検証内容の各方式の秒数は、2021 年度までの実績を参考に設定している。

4.7.2. 通信インターフェイスの検証方法

表 8.45 に通信インターフェイスに関する検証方法の詳細を示す。信号情報配信装置側で通信インターフェイスデータ受信時にタイムスタンプ付加し、検証を行う。

表 8.45 通信インターフェイスに関する検証方法詳細

検証項目	情報種別	検証方法
管制方式	信号制御指令 2	サイクル開始前に受信していることを確認する。通信遅延時間の検証は不要。
	信号制御実行情報 2	サイクル開始後、6.4 秒以下で受信していることを検証する。
	信号動作状態情報 2	信号制御実行情報 2 から算出される各ステップの歩進時刻に対応する本インターフェイスデータの受信時刻から遅延時間を算出する。遅延時間に関する規定はなく、実力値を計測する。
	リコール要求受付情報	リコール受付時刻と本インターフェイスデータの受信時刻を比較し、1.4 秒以下であることを検証する。
集中方式	信号予定情報	信号予定情報と本インターフェイスデータの受信時刻を比較し、1.4 秒以下であることを検証する。
制御機方式	信号予定情報	信号予定情報と本インターフェイスデータの受信時刻を比較し、1.5 秒以下であることを検証する。

4.7.3. 通信インターフェイスの検証結果

表 8.46 に通信インターフェイスに関する検証結果を示す。計測結果は概ね判定値以内となっている。計測結果が判定値を越えている部分は、設計時における通信遅延時間のバラツキの推測が不十分であったためであり、全体のタイムチャートへの影響はない。

表 8.46 通信インターフェイスに関する検証結果概要

検証項目	情報種別	判定値	計測結果	確認結果
管制方式	信号制御指令 2	未設定		受信 OK
	信号制御実行情報 2	6.4 秒以下	2.7～4.2 秒	OK ただし、再送、又は未受信あり。
	信号動作状態情報 2	実力値	0.5～1.9 秒	OK ただし、再送、又は未受信あり。
	リコール要求受付情報	1.4 秒以下	0.2～1.6 秒	ほぼ OK 再送時は+5 秒の遅延。
集中方式	信号予定情報	1.4 秒以下	0.2～1.6 秒	ほぼ OK 再送時は+5 秒の遅延。
制御機方式	信号予定情報	1.5 秒以下	0.2～1.6 秒	ほぼ OK

4.7.4. 再送、及び未受信の状況

管制方式は、複数の情報を用いて信号予定情報を生成するため、通信障害等で情報の受信が遅れる、もしくは未受信となる場合できない場合、信号予定情報の生成に影響を及ぼす。ここでは、信号情報配信装置が信号制御機より受信する情報の再送、及び未受信状況を表 8.47 に示す。約 30%の信号制御機で、未受信等が発生している。

信号制御実行情報 2 が受信できない場合、信号予定情報は提供されない。信号動作状態情報 2 が受信されない場合、リコール動作交差点の第 1 ステップ終了時に信号動作情報 2 が受信できず、正しい信号予定情報が送信できない。また、リコール要求受付情報が受信できない場合は、正しい信号予定情報が送信できない。

表 8.48 に未受信詳細を示す。特定のメッセージだけが未受信となるのではなく、すべてのメッセージが未受信となっていると推測する。この期間は該当する交差点の信号予定情報の配信が停止する可能性が高い。

表 8.47 通信インターフェ이스の再送、及び未受信の状況

項目 情報種別	検 証 交 差点数	再送ありの交 差点数	未受信ありの 交差点数	未受信期間	未受信時間 の割合
信号制御実行情報 2	37	10	11	約 2 分～19 分	0.18%
信号動作状態情報 2	37	10	9	約 6 分～16 分	0.19%
リコール要求受付情報	14	2			

表 8.48 未受信詳細

情報種別	未受信前の受信	未受信後の受信	未受信時間
信号制御実行情報 2	2023/02/03 17:24:28	2023/02/03 17:31:08	6 分 40 秒
信号動作状態情報 2	2023/02/03 17:24:29	2023/02/03 17:31:03	6 分 34 秒

4.8. 車載機までの通信

4.8.1. 車載機までの通信に関する検証方法概要

表 8.49 に車載機までの通信に関する検証方法概要を示す。

表 8.49 車載機までの通信に関する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
信号予定情報の車載機までの通信遅延時間	信号情報配信装置から試験用車載機までの通信遅延時間が 1.3 秒以下であることを確認する。 無線区間では通信データ量が通信費用の影響するため、各交差点の通信データ量を計測する。	信号予定情報の生成時刻と受信時のタイムスタンプの比較による検証

4.8.2. 車載機までの通信に関する検証方法

図 8.20 に通信遅延時間の計測方法を示す。信号予定情報の作成日時は、ほぼ送信時刻と同時刻であり、この時刻と信号予定情報の受信時刻を用いて通信遅延時間を算出する。方式毎に作成日時は作成される場所が異なることを考慮して、信号情報配信装置と試験用車載機間の通信遅延時間を算出する。

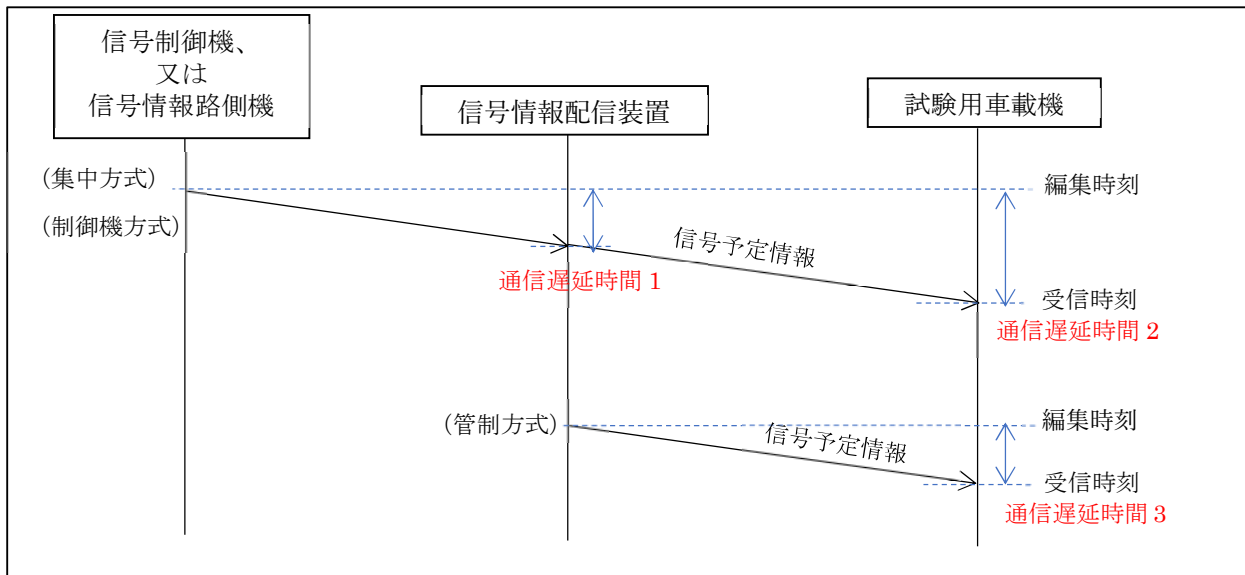


図 8.20 通信遅延時間の計測方法

4.8.3. 車載機までの通信に関する検証結果概要

表 8.50 に車載機までの通信時間遅延時間計測結果から算出した通信遅延時間最大値を示す。この最大値は、 Δt を満足するために設計したタイムチャートの実現状況を検証するためのものである。

UD 伝送が使用される管制方式及び集中方式の信号制御機・信号情報配信装置間の通信において、再送が発生した場合は大きな通信遅延が発生する。リコール制御、もしくは感応制御が行われる交差点では、再送発生時に必要なタイミングでの受信はできないと思われるため、表で示すとおり、最大値を2シグマ、及び3シグマで算出し、最大値以内で通信できる確率を示している。リコール制御、及び感応制御が行われない交差点では、信号サイクル開始後の青時間が十分長ければ、再送が発生しても Δt を満足することはできる。

表 8.50 通信遅延時間最大値に関する算出結果

検証項目	タイム チャート	計測最大値 (msec)	2 シグマ最 大値(msec)	3 シグマ最 大値(msec)	2 シグマの 範囲 (%)	3 シグマの 範囲 (%)
信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (集中方式)	1.4 秒 以内	1200 9740 (注1)	1,233	1416	97.45	99.57
信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (制御機方式)	(未設定)	1540	1,292	1,603	97.72	99.86
信号情報配信装置・試験用車載機間の通信遅延時間 3 (管制方式)	1.3 秒 以内	757	543	648	97.72	99.86

注⁽¹⁾ UD 通信の再送時の遅延時間

4.8.4. 集中方式に関する通信遅延時間

(1) 通信遅延時間計測結果

表 8.51 に集中方式に関する通信遅延時間の計測結果を示す。

表 8.51 集中方式に関する通信遅延時間計測結果

検証項目	計測結果(msec)					備考
	計測数	平均	最小	最大	標準偏差	
信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1	135	804	400	1200	162	2023/2/25 約 130 分間
信号制御機・試験用車載機間の通信遅延時間 2	135	990	544	1416	176	上記と同じ時間帯

2) 通信遅延時間分布

図 8.21 及び図 8.22 に信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 と信号制御機・試験用車載機間の通信遅延時間 2 の分布を示す。通信遅延時間は 1.2 秒前後の集中していることが分かる。また、最頻値から小さい方向へ広く分布している。

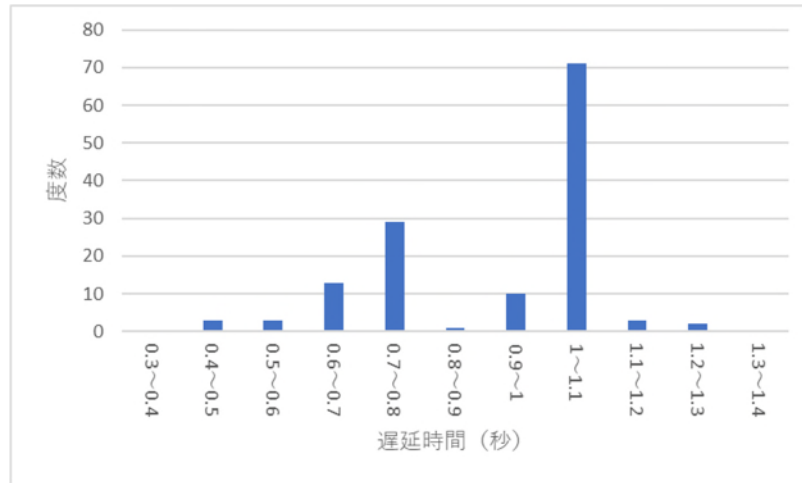


図 8.21 信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (集中方式) の分布

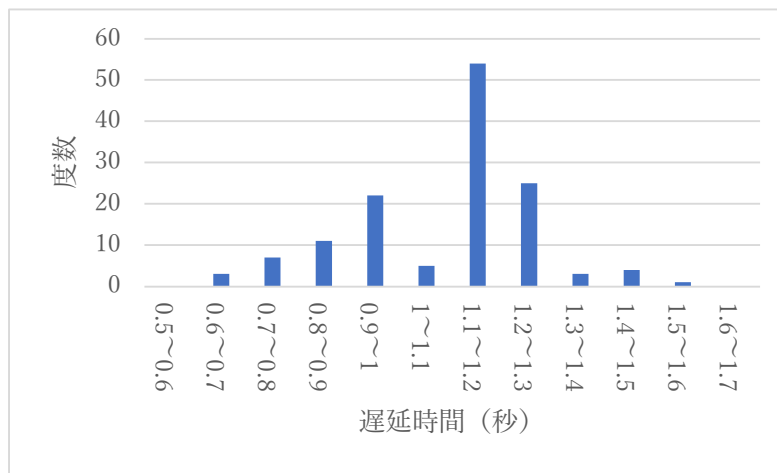


図 8.22 信号制御機・試験用車載機間の通信遅延時間 2(集中方式) の分布

(3) 計測期間による通信遅延時間の考察

信号制御機・試験用車載機間の通信遅延時間 1 の計測期間に合わせて、信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 2 を算出し評価したが、信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 2 は蓄積データから 1 日分の算出が可能であり、両者を比較した。結果を表 8.52 に示す。

1 日分の計測では、まれに発生する UD 伝送の再送が含まれ、そのまま最大値、標準偏差を算出すると通信遅延時間を正しく分析できない。そのため、UD 伝送の再送を除き集計を行った。その結果、再送がなくとも頻度は少ないが 3 秒を越える通信遅延があることが確認できた。(2) で示した通信遅延時間分布から正規分布と仮定し、最大値に関する考察を表 8.53 の通り行った。

表 8.52 信号制御機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1(集中方式)計測結果比較

項目 \ 計測期間	約 130 分間	1 日分	
		全データ	UD 伝送の再送を除く ^(注 1)
計測数	135	1374	1370
平均(msec)	804	823	807
最小(msec)	400	230	230
最大(msec)	1200	9740	3050
標準偏差(msec)	162	441	213

注⁽¹⁾ UD 伝送の再送は 4 回発生し、5.83 秒、7.88 秒、7.89 秒、9.74 秒の通信遅延が生じている。

当該交差点での本計測での発生率は、0.29%だが、特定の 1 日のデータであるため参考値である。

表 8.53 遅延時間を正規分布と仮定した場合の最大値考察

項目 \ 計測期間	値(msec)	最大値(msec)	確率 (UD 再送考慮)
平均	807		
標準偏差	213		
2 シグマでの最大値考察		1,233 (807+213*2)	97.45%
3 シグマでの最大値考察		1,446 (807+213*3)	99.57%

4.8.5. 制御機方式に関する通信遅延時間

(1) 通信遅延時間計測結果

表 8.54 に制御機方式に関する通信遅延時間の計測結果を示す。

表 8.54 車載機までの通信時間に関する検証結果概要

検証項目	計測結果(msec)					備考
	計測数	平均	最小	最大	標準偏差	
信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (制御機方式)	153	696	260	1540	311	2023/2/26 約 110 分間
信号情報路側機・試験用車載機間の通信遅延時間 2 (制御機方式)	153	878	429	1705	313	上記と同じ 時間帯

(2) 通信遅延時間分布

図 8.23、及び図 8.24 に信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 と信号情報路側機・試験用車載機間の通信遅延時間 2 の分布を示す。いずれもピークが 2 箇所あり、遅延時間が幅広く分布している。

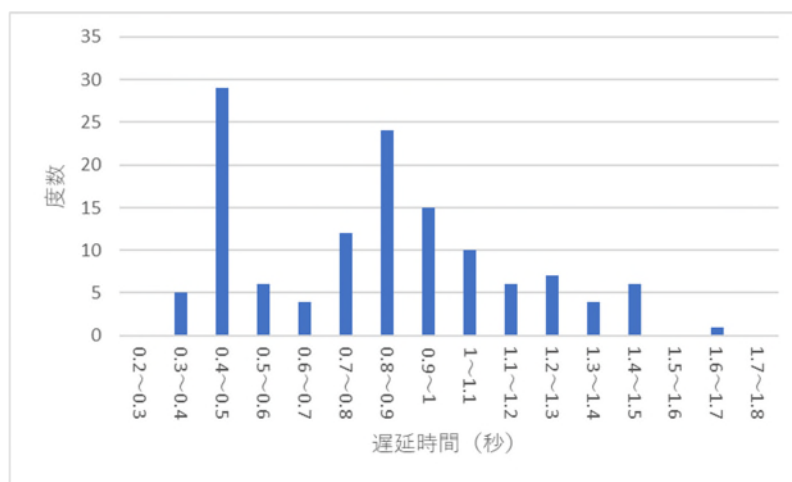


図 8.23 信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (制御機方式)

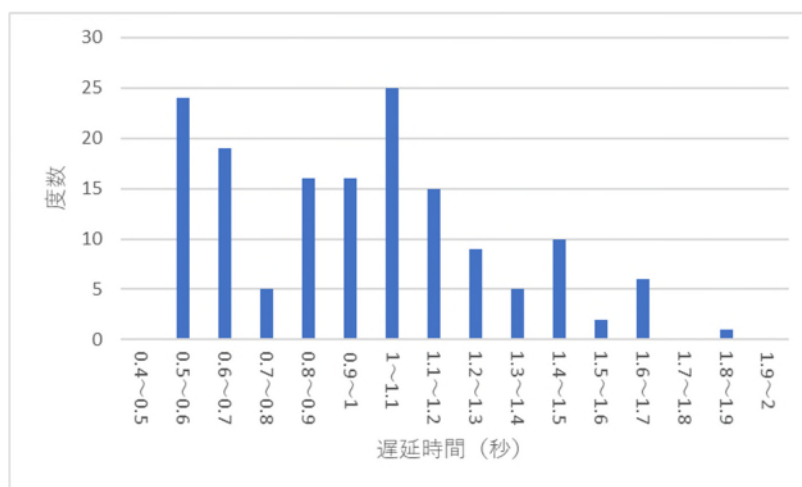


図 8.24 信号情報路側機・試験用車載機間の通信遅延時間 2 (制御機方式) の分布

(2) 計測期間による遅延時間最大値の考察

表 8.55 に信号情報に信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1 (制御機方式) 計測結果を示す。集中方式に関する通信遅延時間と異なり、計測期間を 1 日とした場合でも、各統計値は大きく変わらない。特に標準偏差はほぼ同じ値となっている。1 日分の計測結果を基に考察した遅延時間の最大値を表 8.56 に示す。

表 8.55 信号情報路側機・信号情報配信装置間の通信遅延時間 1(制御機方式)計測結果比較

項目 \ 計測期間	約 110 分間	1 日分
計測数	153	1220
平均(msec)	696	670
最小(msec)	260	90
最大(msec)	1540	1540
標準偏差(msec)	311	311

表 8.56 遅延時間を正規分布と仮定した場合の最大値考察

項目 \ 計測期間	値(msec)	最大値(msec)	確率 (UD 再送考慮)
平均	670		
標準偏差	311		
2 シグマでの最大値考察		1,292 (670+311*2)	95.45%
3 シグマでの最大値考察		1,603 (670+311*3)	99.73%

4.8.6. 管制方式に関する通信遅延時間

(1) 通信遅延時間計測結果

表 8.57 に制御機方式に関する通信遅延時間の計測結果を示す。

表 8.57 車載機までの通信時間に関する検証結果概要

検証項目	計測結果(msec)					備考
	計測数	平均	最小	最大	標準偏差	
信号情報配信装置・試験用車載機間の通信遅延時間 3(管制方式)	240	333	159	757	105	2023/2/25 約 490 分間

(2) 通信遅延時間分布

図 8.25 に信号情報配信装置・試験用車載機間の通信遅延時間 3 の分布を示す。

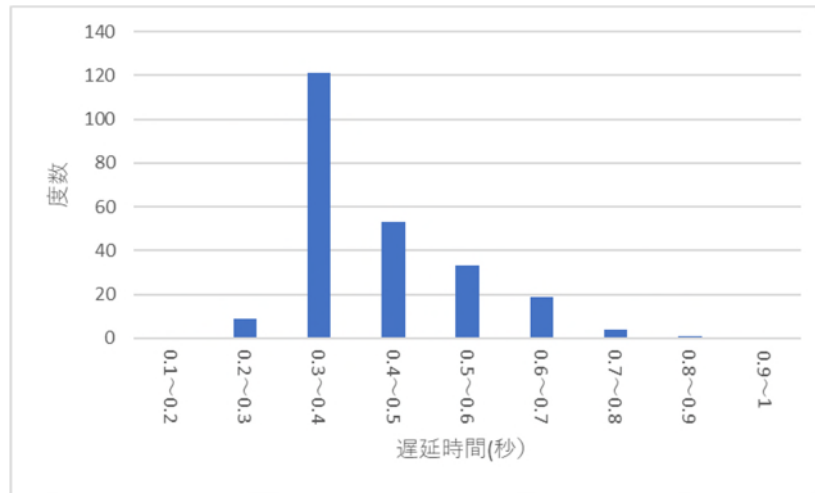


図 8.25 信号情報配信装置・試験用車載機間の通信遅延時間 3(管制方式) の分布

(3) 通信遅延時間の考察

計測結果を基に考察した遅延時間の最大値を表 8.58 に示す。

表 8.58 遅延時間を正規分布と仮定した場合の最大値考察

項目 \ 計測期間	値(msec)	最大値(msec)	確率
平均	333		
標準偏差	105		
2 シグマでの最大値考察		543 (333+105*2)	95.45%
3 シグマでの最大値考察		648 (333+105*3)	99.73%

4.9. 信頼性

4.9.1. 信頼性に関する検証方法概要

表 8.59 に信頼性に関する検証方法概要を示す。

表 8.59 信頼性に関する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
長期間提供検証	信号情報提供を長期間提供し、課題の有無を確認する。 ・信号予定情報の提供もれがないこと ・信号情報監視による誤差異常がないこと	蓄積データによる検証
信号制御パラメータ分析(周期、オフセット)	信号制御機が多様な周期、オフセットで制御されている状態で、信号予定情報が正しく検証されていることを確認する。 長期間提供の信頼性検証を別の角度から裏付ける位置づけとなる。	蓄積データによる検証 又は時限表

4.9.2. 信頼性に関する検証方法

(1) 長期間提供検証

表 8.60 に長期間提供検証に関する検証方法を示す。

表 8.60 長期間提供検証に関する検証方法

検証項目	検証方法
信号予定情報の提供もれがないこと	信号制御実行情報 2 に蓄積されるサイクル情報に対して、信号予定情報が蓄積されている場合、提供ありとして集計する。 交差点毎、日毎、時間毎等で集計し検証する。
信号情報監視による誤差異常がないこと	各方式共通の検証として、無効の信号予定情報がないことを確認する。 管制方式の場合は、信号予定情報検証機能により出力されるログにより確認する。 集中方式、及び制御機の場合、蓄積された信号情報提供異常情報において、整合性異常の障害がないことを確認する。

(2) 信号制御パラメータ分析

表 8.61 に信号制御パラメータ分析に関する検証方法を示す。集中制御機では、交通状況に応じて多様な信号制御が行われることが想定され、その状況下で長期間検証することは、多くの条件で信号予定情報の精度検証を行っていることに相当する。

表 8.61 信号制御パラメータ分析に関する検証方法

検証項目	検証方法
集中制御機	蓄積された信号制御上位指令で、周期、及びオフセットの度数分布状況をまとめる。
非集中制御機	時限表から周期、オフセットの設定をまとめる。

4.9.3. 信頼性に関する検証結果概要

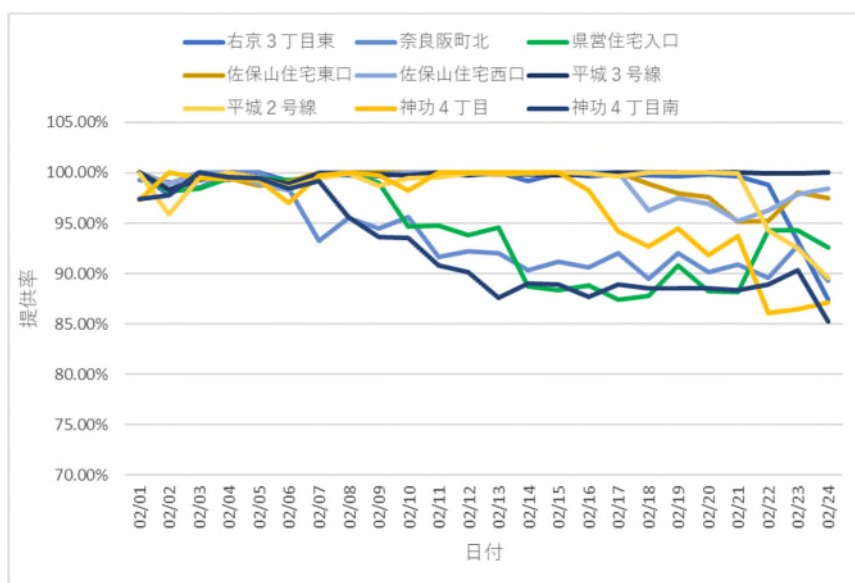
表 8.62 に信頼性に関する検証結果概要を示す。多様な信号制御パラメータにより信号制御が行われており、オフセット追従等の評価は十分行われていると判断する。

表 8.62 信頼性に関する検証結果概要

検証項目	検証結果	備考
長期間提供検証	2月1日から24日間の提供状況を確認 (1) 管制方式 信号制御機・交通管制センター間の通信品質により提供率が低い交差点があることを確認。 (2) 集中方式 リコール動作への対応後、提供率は100%であることを確認。 (3) 制御機方式 1日では99%以上の提供率があることを確認できたが、長期間で安定した高い提供率は確認できなかった。	通信品質への影響を低下させることができるかは今後の課題と考える。 安定性に関してはソフトウェア実装上の課題と考える。
信号制御パラメータ分析（周期、オフセット）	多様な周期、オフセットで制御されていることを確認。	

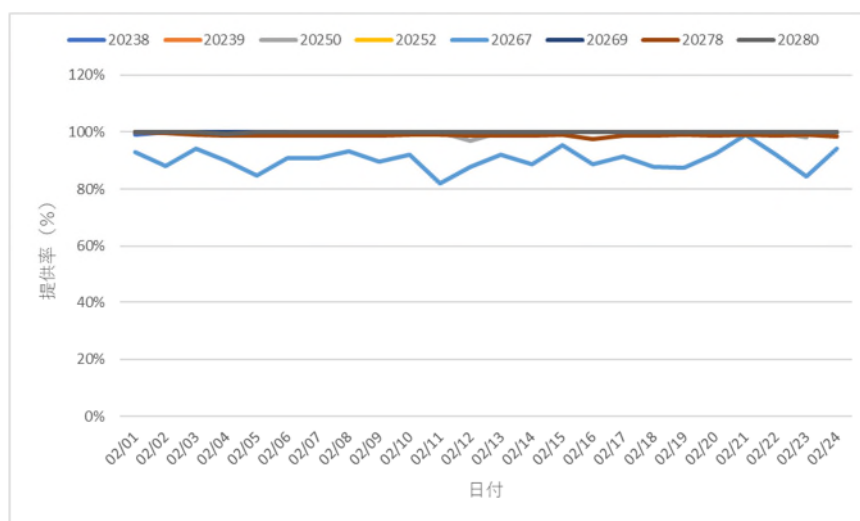
4.9.4. 信号情報の提供率推移

図 8.26、図 8.27、及び図 8.28 に各方式の対象期間の 1 日毎の提供率の推移を示す。対象路線の管制方式の交差点では、期間中に実施された信号制御機・交通管制センター間の通信機器の調整後に提供率の低下がみられたため、対象路線以外の 9 交差点の提供率をまとめた。対象路線以外の交差点では期間中、提供率に大きな変化は見られないことから通信機器の調整が影響していると考えられる。



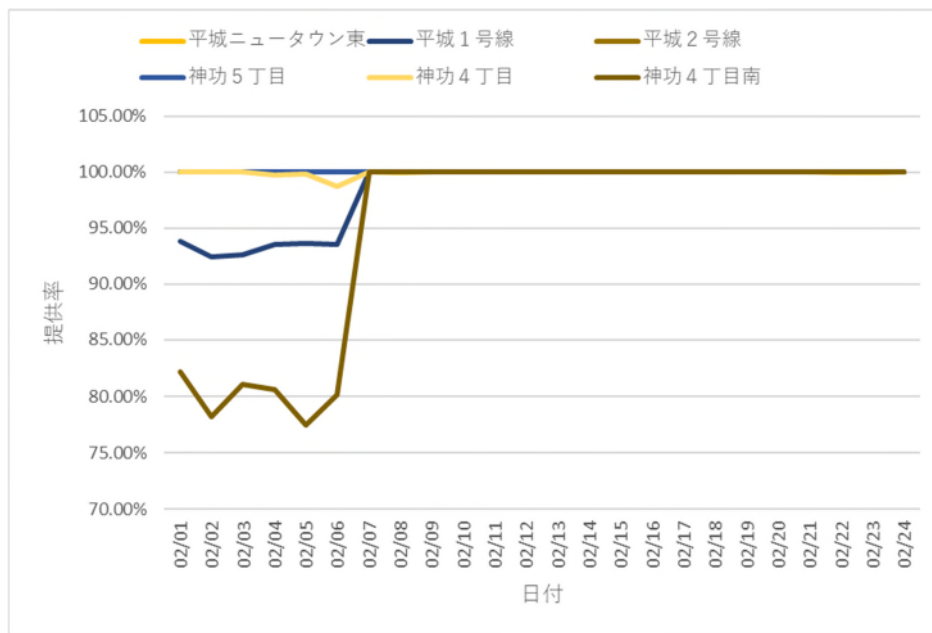
注⁽¹⁾ 2 月 6 日に各交差点の通信機器のソフトウェア変更が行われた。

図 8.26 信号情報配信状況 1（管制方式 9 交差点）



注⁽¹⁾ 通信機器のソフトウェア変更は行われていない。

図 8.27 信号情報配信状況 2（管制方式 対象路線以外の 9 交差点）



注⁽¹⁾ 2月6日まではリコール動作時の信号情報提供の不具合により提供率低下

図 8.28 信号情報配信状況 3（集中方式 対象路線の 6 交差点）

4.9.5. 信号情報の 1 日毎の提供率集計結果

表 8.63、表 8.64、表 8.65、及び表 8.66 に対象期間の 1 日毎の各方式の提供率を集計した結果を示す。制御機方式は、安定した信号情報提供が行われていないため、最大の提供率を集計している。

表 8.63 1 日毎の提供率集計（2 月 1 日から 2 4 日まで） 管制方式対象路線の 9 交差点

交差点名	平均	最小	最大
右京 3 丁目東	98.96%	87.38%	100.00%
奈良阪町北	93.73%	89.33%	100.00%
県営住宅入口	94.21%	87.37%	100.00%
佐保山住宅東口	99.03%	95.16%	100.00%
佐保山住宅西口	98.94%	95.20%	100.00%
平城 3 号線	99.77%	98.34%	100.00%
神功 4 丁目	96.55%	86.07%	100.00%
平城 2 号線	98.67%	89.55%	100.00%

表 8.64 1 日毎の提供率集計（2 月 1 日から 2 4 日まで） 管制方式対象路線以外の 9 交差点

交差点名	平均	最小	最大
20238	99.88%	99.11%	100.00%
20239	99.88%	98.82%	100.00%
20250	99.76%	97.01%	100.00%
20252	99.92%	98.87%	100.00%
20267	90.39%	82.12%	98.94%
20268	98.46%	94.42%	100.00%
20269	99.96%	99.14%	100.00%
20278	98.91%	97.60%	100.00%
20280	98.58%	96.28%	99.88%

表 8.65 1 日毎の提供率集計（2 月 1 日から 2 4 日まで） 集中方式対象路線の 6 交差点

交差点名	平均	最小	最大
平城ニュータウン東	100.00%	100.00%	100.00%
平城 1 号線	98.30%	92.46%	100.00%
平城 2 号線	100.00%	100.00%	100.00%
神功 5 丁目	100.00%	100.00%	100.00%
神功 4 丁目	99.92%	98.75%	100.00%
神功 4 丁目南	94.93%	77.42%	100.00%

表 8.66 1 日毎の提供率集計（2 月 1 日から 2 4 日まで） 制御機方式の 5 交差点

交差点名	最大
平城西中学校北東角	97.71%
右京 4 丁目	99.81%
神功 4 丁目東	99.51%
右京 3 丁目	99.44%
神功 4 丁目北	85.24%

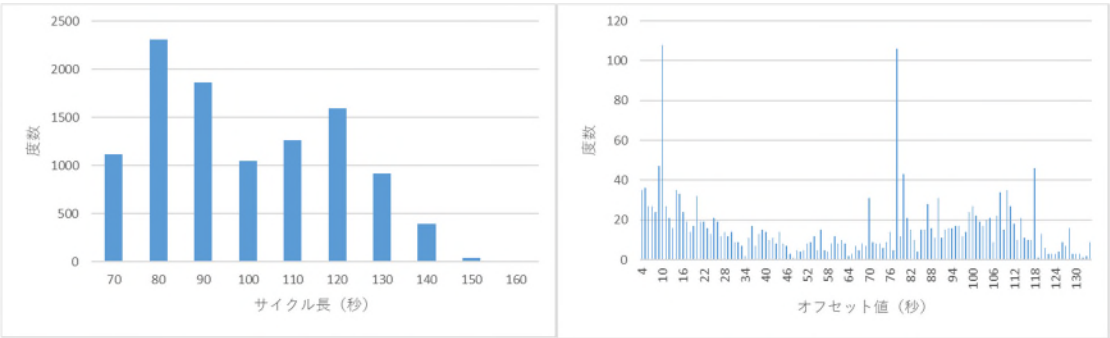
4.9.6. 信号制御パラメータ分析

(1) 集中制御交差点

表 8.67 に対象路線の集中制御交差点 12 箇所の信号制御パラメータをまとめた結果を示す。また図 8.29 に集中制御交差点の信号制御パラメータの分布を示す。これらは、多様なサイクル長、オフセット値で信号制御が行われた状態で、信号情報提供の検証が行われていることを示す。

表 8.67 集中制御交差点の信号制御パラメータまとめ

項目	最小	最大
周期（秒）	70	160
オフセット（秒）	0	138



(a) 制御機へ指令されたサイクル長の分布 (b) 制御機へ指令されたオフセット値の分布

図 8.29 集中制御交差点の信号制御パラメータの分布

(2) 非集中制御交差点（制御機方式交差点）

表 8.68 に対象路線の非集中制御交差点 5 箇所の信号制御パラメータをまとめた結果を示す。これらの交差点は、同じ日種（平日、土曜日、日曜日、特殊日）では、同じ動作が行われる。ただし、信号制御機において時刻同期がされている場合、秒単位は概ね正確な時刻あるが、ミリ秒単位での時刻同期は行われていないため、サイクル開始時刻等は同じ日種でも±1秒程度変化する。

表 8.68 非集中制御交差点の信号制御パラメータまとめ

項目	最小	最大	備考
サイクル長（秒）	70	90	1日あたり4～6回のサイクル長変更
オフセット（秒）	0	48	1日あたり4～6回のオフセット追従タイミングが発生（サイクル長が変化してもオフセット追従が行われない場合あり）

4.10. 運用性

4.10.1. 運用性に関する検証方法概要

表 8.69 に運用性に関する検証方法概要を示す。

表 8.69 運用性に関する検証方法概要

検証項目	検証内容	検証方法概要
信号情報提供の運用／テストモード	テストモードでは、事前確認用のネットワークで試験用車載機により検証が行えることを確認する。また、信号情報センター経由では、信号情報は提供されないことを確認する。 運用モードでは、信号情報センター経由では、信号情報は提供されることを確認する。	試験用車載機による検証 信号情報配信装置のHMIによるモード変更
交差点管理情報の確認	規制情報に基づき、交差点管理情報が作成されていることを確認する。 方路別角度情報が妥当であることを検証する。	交通規制情報との比較による検証 DRMを用いた検証

4.10.2. 運用性に関する検証方法

(1) 信号情報提供の運用／テストモード

図 8.30 に信号情報提供の運用／テストモードに関する状態遷移を示す。この状態遷移に従って、試験用車載機で信号予定情報が受信できることを検証する。

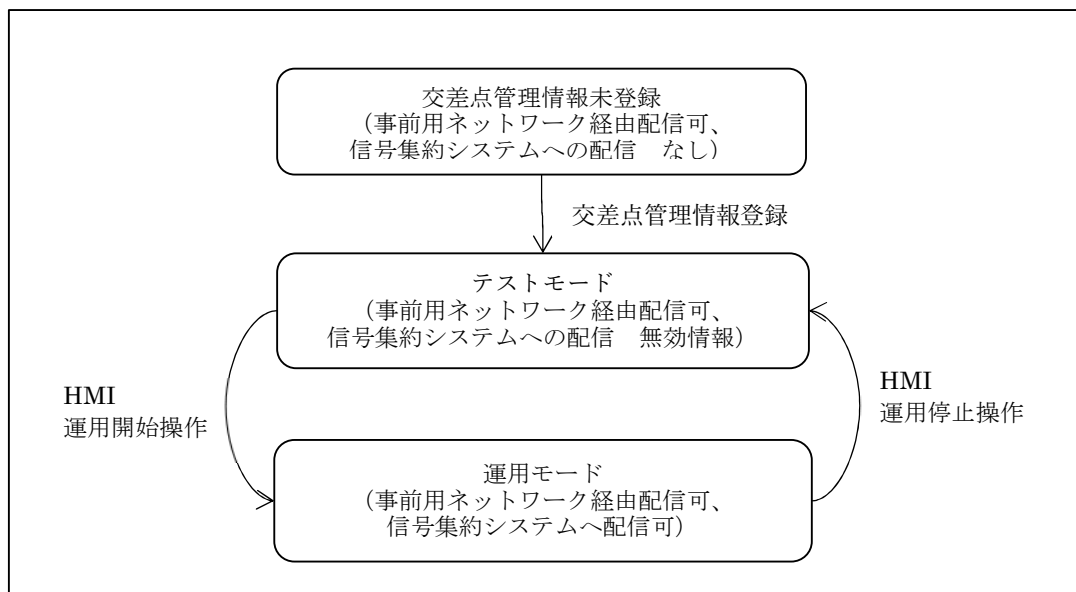


図 8.30 信号情報提供の運用／テストモードに関する状態遷移

(2) 交差点管理情報

表 8.70 に交差点管理情報の検証方法を示す。

表 8.70 交差点管理情報の検証方法

交差点管理情報の項目	検証方法
都道府県コード	コード表に応じて設定されていること
提供点識別コード	単路部か交差点か識別されていること。
提供点管理番号	交差点 ID／単路 ID が、交通規制情報の都道府県別ユニークキーに一致すること。
緯度、経度	交通規制情報の規制場所の緯度・経度に一致すること。
その他	1 つの信号制御機で 2 つの交差点を制御し、それらの交差点間に停止線が引かれている場合、2 つの交差点として定義されていること。
方路別角度情報	北から時計周りに定義されていること。 角度が妥当であること。DRM のノードに定義される接続ノードの接続角度が ± 10 度以内であれば OK とする。

4.10.3. 運用性に関する検証結果概要

表 8.71 に運用性に関する検証結果概要を示す。

表 8.71 検証結果概要

検証項目	検証結果	備考
信号情報提供の運用／テストモード	設計通り動作することを確認	
交差点管理情報の確認	正しく設定されていることを、DRM を元に作成したデータと比較し確認。 方路がカーブしている場合、誤差がでる可能性はあるが、方路の特定には影響しない。	
信号情報配信状況確認	24 日間の配信状況を確認した。信号制御機と交通管制センター間の通信により、提供率が低くなることを確認した。	

4.10.4. 信号情報提供の運用／テストモードの検証結果

表 8.72 に信号情報提供の運用／テストモードの状態遷移に関する確認結果を示す。テストモード、運用モードは正しく機能することを確認した。

表 8.72 信号情報提供の運用／テストモードの状態遷移に関する確認結果

状態遷移	確認項目	確認結果
交差点管理情報登録（テストモード）	事前用ネットワーク経由の模擬車載機への配信ができること 信号情報配信センターからの配信がされないこと	○
HMI による運用モードへの変更	事前用ネットワーク経由の模擬車載機への配信ができること 信号情報配信センターからの配信がされること	○
HMI による運用モードへの変更	事前用ネットワーク経由の模擬車載機への配信ができること 信号情報配信センターからの配信がされないこと	○

4.10.5 交差点管理情報の検証結果

(1) 交差点管理情報の検証結果

表 8.73 に交差点管理情報の検証結果を示す。

表 8.73 交差点管理情報の検証

交差点管理情報の項目	確認項目	確認結果
都道府県コード	奈良県を示す 29 が設定されていること	○
提供点識別コード	交差点を示す 0 が設定されていること (単路部 0 は対象なし)	○
提供点管理番号 緯度・経度	交通規制情報の規制場所の緯度・経度に一致すること (交通規制情報に登録されている 9 交差点を検証)	○
方路別角度情報	正しく設定されていること	○

(1) 提供点管理番号

対象交差点 17 のうち、交通規制情報に登録されていない交差点が 8 交差点あった。これらの交差点は、今回の検証用のために独自で採番し検証を実施した。

(2) 経度・緯度に関する確認結果詳細

交通規制情報の緯度・経度は、小数点以下 12 桁まで設定されている。一方、交差点管理情報は小数点以下 7 桁まで設定する。桁数の差による差は、1cm 未満で影響ない。信号情報配信装置の交差点管理情報は、度、分、秒形式で設定されたものを変換しているため、変換誤差で最大 17cm の誤差が生じているが、交差点管理情報を使う上での支障はない。

(3) 方路別角度情報に関する確認結果詳細

DRM リンクで算出したものと比較確認を行った。基本道路のノードには接続するリンクの接続角度が設定されているが、信号交差点が基本道路のノードとして登録されていない場合がある。そのため、全道路のノード、及びリンクを用いて接続角度を算出した。

交差点管理情報の方路別角度情報と DRM リンクの方位角の差は、概ね 10 度未満で設定されていた。交差点付近でカーブしているリンク、交差点に接続する細街路リンクで 25 度前後の差があったが方路の特定に支障は生じなかった。

(4) 信号情報配信装置起動時の交差点管理情報の Publish 確認

信号情報配信装置起動時には、MQTT Broker に交差点管理情報が登録されていない。そのため、起動時には、すべての交差点の交差点管理情報を Publish する仕様となっている。この動作が行われていることを確認した。

5. 信号情報提供に関する課題検討結果

5.1. 交通規制情報調査

自動運転向けに提供される信号情報の交差点位置は、オープンデータである交通規制情報を参照して作成する。そのため交差点位置参照に際して課題がないかデータ調査した。

5.1.1. 交通規制情報の調査方法

(1) 調査対象

調査時点（2022 年 8 月）で、公益財団法人日本道路交通情報センターのホームページ（<https://www.jartic.or.jp/>）より入手可能な最新の交通規制情報とする。

ファイル名に 2022 年 6 月と記されている。（2022 年 5 月が 1 件あり）

(2) レコードの抽出

以下の共通規制種別コードをもつレコードを抽出する。

98: 「信号機」 又は、108: 「信号機の設置及び管理の委任」

(3) 調査項目

(a) 定義されているレコード数

(b) 都道府県別ユニークキーのユニーク性

(c) 規制番号の特徴

(d) 交通信号機等ストック数（警察庁公開、令和 2 年度末現在）に対する交通規制情報の整備率

(e) 信号機の緯度・経度の正しさ

5.1.2. 交通規制情報の調査結果

表 8.74 に交通規制情報の信号機に関するデータ調査結果まとめを示す。

表 8.74 交通規制情報の信号機に関するデータ調査結果まとめ

調査項目	調査結果	今後の課題
定義されているレコード数	約 15 万件が登録されている。	特になし。
都道府県別ユニークキーのユニーク性	6 府県でユニーク性がない。 うち 2 県はキーとして使えない。	交通規制情報の仕様として問題ないかの確認。 同じ交差点で複数のレコードを登録する理由の確認。
規制番号	規制番号がユニークな県が 9 県あり。	特になし（全国的に同じ意味をもつ番号でないため、利用困難）。

交通信号機等ストック数に対する交通規制情報の整備率	全ストック数に対して約 73% が定義されている。	公開されていない 8 つの都県の公開予定の確認。 完了していない 2 県の完了予定の確認。
信号機の緯度・経度の正しさ	概ね交差点内の座標を示す。 一部交差点外の座標を示す場合があるが、信号交差点の特定には支障はない。	1 つの信号制御機で複数の交差点を制御する場合の定義等が不明確。
その他	都道府県コードが、JIS で定められる都道府県コードと異なる。(UTMS 協会の通信規格では JIS の都道府県コードを採用)	交通規制情報の都道府県コードの扱いを確認することが必要。
	信号機の位置を定義する共通規制種別コードが、98 (信号機) 以外に 108 (信号機の設置及び管理の委任) を使う都道府県がある。	オープンデータのあるべき姿を確認する (統一するのがよいと思われる)。

5.2. オフセット追従に関する課題の実証実験での追加検証結果

5.2.1. オフセット追従時の課題

感応制御等が行われていない通常の交差点において、オフセット追従は、信号制御実行情報の予定サイクル長と信号制御上位指令のサイクル長に差異がある場合、その差をオフセット追従量として各スプリットに比例配分して行われる。この時、0.1 秒未満の値の扱い方によって誤差が生じる。以下の誤差の例を表 8.75 に示す。この例では、生成された信号予定情報で 300msec が生じる。このほかに時刻同期誤差、信号機における灯色変化の誤差等があるため、目標とする $\pm 300\text{msec}$ の誤差を達成できない可能性がある。

表 8.75 オフセット追従時の 0.1 秒未満の扱いによる誤差の例

スプリット番号	1	2	3	4	5	6	合計
0.1 秒未満の値 (例)	0.01	0.02	0.01	0.09	0.08	0.09	0.3
提供時計算方法: 四捨五入配分	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3
制御機計算例: 端数合計 0.3 秒を第 1 スプリットから順に配分	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.3
累積誤差	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0	

注⁽¹⁾ 単位は全て秒

5.2.2. オフセット追従の課題に関する実証実験での検証方法

表 8.76 にオフセット追従の課題に関する実証実験での検証方法を示す。実証実験では、実際の信号制御機のオフセット追従時の特徴を把握し、その特徴に合わせた信号予定情報を生成し、精度改善が行えるかを検証した。オフセット追従に関しては、知的財産権に配慮する議論が行われているため、ここではその特徴については記載しない(正しく特徴を捉えている保証もない)。

表 8.76 オフセット追従の課題に関する実証実験での検証方法

検証項目	検証方法
他社 ^(注 1) 製信号制御機におけるオフセット追従時を含む信号情報誤差	実験路線の他社製信号制御機のうち 3 交差点は感応制御等が行われていないため、管制方式で信号予定情報の生成を行い、信号予定情報の評価を行う。
他社製信号制御機のオフセット追従の特徴を考慮した信号予定情報生成方法時の信号情報誤差	他社製の信号制御機のオフセット追従時の動作から、オフセット追従時の特徴を把握し、管制方式において、その特徴に合わせて信号予定情報を生成し、信号予定情報の評価を行う。

注 ⁽¹⁾ 他社とは、信号情報配信装置と信号制御機メーカーが異なることを示す。

5.2.3. オフセット追従の課題に関する検証結果

表 8.77 にオフセット追従の課題に関する検証結果を示す。

オフセット追従に関して対策をしない場合は交差点によって誤差範囲が異なる。誤差が大きい場合は、追従時に 200msec の誤差が生じている。オフセット追従の特徴を考慮した信号予定情報生成を行うことで、200msec の誤差が生じる場合を減らすことができています。

交差点によっては、対策をしなくとも±100msec の誤差となっていることが分かった。

表 8.77 オフセット追従の課題に関する検証結果

交差点	日付	集中方式		管制方式			備考
		検証数	誤差範囲	検証数	誤差範囲	200msec 誤差回数	
平城 2 号線	2/3	7155	0～120	7146	-100～200	28	
	2/27	7160	110～120	7115	-100～200	2	オフセット追従 対策 (特徴考慮)
神功 4 丁目南	2/3	6786	-100～120	7997	-100～100	0	注(1)
	2/27	7511	-100～120	7997	-100～100	0	注(1)
神功 4 丁目	2/3	6786	-90～120	7997	-100～100	0	注(1)
	2/27	5896	-90～120	7997	-100～100	0	注(1)

注 ⁽¹⁾ 検証数が集中方式と検証数が大きく異なるのは、リコール動作時の信号予定情報の違いによる。

5.2.4. オフセット追従課題の検証結果に対する考察

(1) オフセット追従の特徴を考慮した信号予定情報による誤差軽減

オフセット追従の方法が信号制御機メーカーから公開されない場合でも、信号情報の誤差を軽減するための対策があることが確認できた。具体的には、当該信号制御機のオフセット追従の動作を分析し、その特徴を考慮して信号予定情報の生成を行うことである。

(2) オフセット追従時の信号誤差の影響

オフセット追従時でも信号誤差が大きくなりえない交差点がある。オフセット追従自体が常時発生していないことから、確率的に信号誤差が 300msec を越える場合は大きくない可能性ある。この点を信号予定情報の利用者からも検討されることで、オフセット追従に関する課題検討が進展することが期待される。

5.3. 夜間閃光に関する検証

5.3.1. 夜間閃光に関する検証概要

夜間閃光時の信号予定情報生成に関する課題の有無を確認する。今回の対象路線では、集中制御機の夜間閃光は行われていないため、その他の交差点から選定した。なお制御機方式では対象路線において夜間閃光が実施されている。

5.3.2. 夜間閃光に関する検証方法

夜間閃光の前後の信号予定情報の提供内容を確認する。夜間閃光（ステータス閃光）に関する仕様、検討状況を表 8.78 にまとめる。

表 8.78 夜間閃光（ステータス閃光）に関する仕様、検討状況

ケース	仕様	2021 年度検討状況
閃光開始前	なし	なし
閃光時	特殊制御動作中フラグ 灯色の規定	黄点滅（最小 0 秒、最大不明）、赤（最小 5 秒、最大 5 秒）で提供
閃光終了時	特殊制御動作中フラグ	赤（最小 5 秒、最大 5 秒）＋次サイクル情報で提供

5.3.3. 夜間閃光に関する検証結果

表 8.79、及び表 8.80 に各方式の検証結果をまとめる。いずれの方式も仕様や検討内容に合致した実装ができていない。閃光時の生成に関してはいずれも仕様書、報告書では規定されていないが定期的に作成されており、今後の仕様見直しの参考となる。特殊制御動作中フラグは、仕様が設計者に十分周知できていない。ただし、閃光の場合は、灯色自体が点滅となるため、特殊制御動作中フラグの仕様を単純化できる余地はあると考える。管制方式の閃光終了時の信号情報は、難易度が高く、実装の観点で問題ないか再確認が必要である。

表 8.79 管制方式の動作状況(提供点コード：000000020278)

	閃光開始	閃光時	閃光終了時
生成時刻		23:01:56(サイクル開始時刻毎に生成)	6:01:11 (信号制御実行情報受信時に生成)
灯色順序変動制御交差点 (事前通知可)	1	1	1
灯色順序変動中フラグ	0	0	0
車灯器情報	通常	黄点滅赤点滅 最小、最大とも不明	全赤 5 秒が提供されていない。
歩行者灯器情報	通常	滅灯 最小、最大とも不明	全赤 5 秒が提供されていない。

表 8.80 制御機方式の動作状況(提供点コード：000001000208)

	閃光開始前	閃光時	閃光終了時
生成時刻		00:01:05 (1 分毎に生成)	5:00:04 (信号制御実行情報受信時に生成)
灯色順序変動制御交差点 (事前通知可)	1	1	1
灯色順序変動中フラグ	0	0	0
車灯器情報	通常	黄点滅／赤点滅 最小、最大とも不明	全赤 5 秒から提供されている。
歩行者灯器情報	通常	滅灯 最小、最大とも不明	全赤 5 秒から提供されている。

6. 結果まとめ

6.1. 信号情報提供の検証結果まとめ

表 8.81、表 8.82 に、信号情報提供の検証結果をまとめる。

表 8.81 信号情報提供の検証結果まとめ(1 / 2)

検証項目	検証結果	課題
信号制御機 基本性能	GPS による時刻同期が行われ、信号制御機の時刻精度が仕様通り（±100msec 以内※）の動作であること確認した。また、信号制御実行情報 2 の精度が仕様通り（±100msec 以内）の動作であることを確認した。 なお動画撮影による検証では、一定の検証が発生するため、正確には、信号制御機の仕様を逸脱した動作を行っていないことを確認したレベルである。	1 交差点において夜間に異常な動作が見られるため、メーカーへの確認が必要である。
信号情報提供（通常制御）	管制方式、集中方式は、オフセット追従なし、及びオフセット追従中の両方で、信号情報の目標精度（300msec 以内）を達成していることを確認した。 制御機方式は、オフセット追従なしでは信号情報の目標精度（300msec 以内）を達成していることを確認した。しかし、オフセット追従中、及びパターン切り替え時には安定した信号情報提供がおこなわれないケースが見られた。	
信号情報提供（感应制御）	集中方式において、感应制御が行われる交差点で信号情報の目標精度（300msec 以内）を達成していることを確認した。 感应階梯終了後にただちに信号予定情報が生成されていることを確認した。	発生確率は低いが UD 伝送の再送時には、感应階梯終了後の信号予定情報の配信が遅れる。自動運転で配信遅延に対応できることの確認が必要。
信号情報提供（リコール動作時）	管制方式は、設計されたタイミングで信号情報提供が行われていることを確認できた。 集中方式は、規格に沿っているが、管制方式と異なるタイミングで信号情報提供が行われていることを確認した。	「V2N・信号情報提供共通メッセージ規格」において信号予定情報の送信タイミングを見直し、共通化を図る。
異常時動作の検証	管制方式において、県警モデルシステムで発生する通信異常に対してフェールセーフ動作として信号予定情報を遅れることなく無効にすることができている。 その他の異常も可能な範囲で検証できた。	実環境では工場環境と異なる条件で異常が発生するため、検証の網羅性を継続検討することが必要。 GPS 時刻同期異常でも信号情報提供を継続するメーカーがあり、確認が必要である。

表 8. 82 信号情報提供の検証結果まとめ(2 / 2)

検証項目	検証結果	課題
通信インターフェイス	信号情報配信装置が使用する通信インターフェイスの各情報が設計したタイミングで受信していることを確認した。UD 伝送の再送時には、5 秒程度受信が遅れることを確認した。また、受信もれも発生することを確認した。	信号予定情報提供の遅延、または未提供時に自動運転で支障がないか確認が必要。
車載機までの通信	管制方式、集中方式、制御機方式の模擬車載機までの通信遅延時間を計測した。UD 伝送の再送時には、大きな通信遅延時間が生じるため、再送を除いた最大遅延時間を遅延時間の正規分布を仮定し、2 シグマ、3 シグマで算出した。3 シグマの値は以下の通り。 ・管制方式：最大 648msec ・集中方式：最大 1416msec ・制御機方式：最大 1603msec (各方式の模擬車載機までの通信経路は異なる。)	通信遅延時間の最大値を規定し、一定の確率で保証できる方法が自動運転で許容されるか確認が必要。
信頼性	管制方式は、100%の提供率の交差点がある一方、提供率が 90%以下のとなる交差点があることを確認。信号制御機と交通管制センター間の通信の品質が影響する。集中方式の提供率はほぼ 100%であることを確認した。 制御機方式は、制御機自体の安定性が低く、十分な提供率の検証ができなかった。	管制方式は、通信業者に通信品質の低下について確認することが必要。 制御機方式自体の安定性について確認することが必要。
運用性	テストモードにおいて信号情報を確認した後、運用モードで自動運転車両へ信号情報をできることを確認した。 交差点管理情報は、正しく作成され、方路の特定ができることを確認した。一部の方路では、方位角の設定に誤差が生まれることを確認した。	複雑な交差点や、一度に多数の交差点の信号情報を新規提供する場合の交差点管理情報の作成についての課題がないか確認することが必要。

6.2. 信号情報提供に関する課題検討結果まとめ

表 8.83 に信号情報提供に関する課題検討結果まとめを示す。

表 8.83 信号情報提供に関する課題検討結果まとめ

課題	検討結果	今後の進め方
交通規制情報調査	オープンデータとして公開されている交通規制情報のうち、信号機に関連する項目に関して全都道府県分を調査し、信号予定情報の提供点コードとして利用する上での課題をまとめた。	洗い出した課題に関して関係者への確認を行い、課題解決に向けて協議する。
オフセット追従	信号制御機のオフセット追従において、0.1 秒未満の扱いが分からないことに起因する信号情報誤差について確認し、誤差が大きくなる交差点がある一方、誤差が小さい交差点もあることを確認した。 信号制御機のオフセット追従仕様が公開されなくとも、信号制御機のオフセット追従の動作を分析し、信号予定情報の生成時に考慮することで誤差を小さくできる方法があることを確認した。	オフセット追従時の誤差の発生状況を考慮した上で自動運転車両への影響があるかどうかの確認、誤差の改善はメーカー努力とするか等の議論を継続する。
夜間閃光	管制方式、および制御機方式の夜間閃光時の信号予定情報について確認した。一部の情報に関して仕様、及び 2021 年度の検討結果に沿った動作ができていなかった。	夜間閃光の信号予定情報の生成に関する課題、利用時の課題、仕様の分かり易さの課題等を確認し、仕様書の見直しを検討する。

第9章 全体のまとめ

1. 成果

信号情報の生成技術については、検討対象としてきた3つの方式（管制方式、集中方式及び制御機方式）のそれぞれに課題は残っているが、日本自動車工業会の信号情報提供に対する要望事項（信号予定情報の精度誤差±300msec以内、安全に停車できる時間までに信号予定情報を提供できること、信号灯色と配信情報の一致性を確認する機能）を満足するという当初の目標について、一定の成果を収めることができた。

また、信号情報の配信技術については、信号制御機から車載機まで一気通貫での実証実験を実施した。その結果、将来は全国の信号情報を警察庁の信号情報集約システムに集約する構想のもと、実証実験では奈良県の信号情報を集約し、配信センターから車載機に配信できることを確認するとともに、信号情報集約システムと配信センターの機能を整理し、情報検証機能を含む機能の整理を行った。

2. 今後の課題

今後の社会実装を考えると、次のような課題があると認識している。

- ・ SIP 事業で作成した仕様、規格や技術的知見・ノウハウの標準化
- ・ V2N の3方式及びV2I をユースケースに応じてどのように適用するかについてのガイドラインの作成
- ・ V2N は、V2I に比べてフェールセーフ機能をはじめ劣る面があるという状況を踏まえた、社会実装時に要求される水準に応じた仕様の具体化
- ・ 配信される信号情報の正しさを定期的に検証する仕組みの構築、都道府県警察、警察庁、信号情報センター及び配信センター間の責任分界点の明確化
- ・ 信号機メーカー毎に差異のある信号予定情報生成の考え方の整理（作成ガイドライン必要）

3. 展望

今後はこれらの課題に対応するために UTMS 協会内に設けた自動運転インフラ検討作業部会で検討を続けていく。また、作業部会内の検討結果については、本事業の委員会メンバーに還元する予定である。

加えて、日本自動車工業会をはじめとする様々な関係団体と連携しながら競争領域である車載機側を含めた総合的な検討も進めていきたい。