

ICT を活用した次世代 ITS の確立

Ⅱ 歩車間通信技術の開発

平成 28 年度 研究成果報告書

(1) 専用端末を利用した直接通信型歩車間通信技術の開発

イ) 高度位置精度技術の開発

エー 2) 実証実験に向けた歩行者端末および車載機の開発と実環境検証

第 1 部

パナソニック株式会社

平成 29 年 3 月

目次

(1) 専用端末を利用した直接通信型歩車間通信技術の開発	0
1 研究開発概要	3
1.1 目的	3
1.2 目標	4
1.2.1 イ) 高度位置精度技術の開発	4
1.2.2 エー 2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証	5
1.3 開発範囲	7
1.4 開発体制	8
1.4.1 歩車間通信技術開発	8
1.4.2 ビジネスプロデューサー	9
1.4.3 歩車間通信研究開発運営委員会	9
2 成果の要約	10
イ) 高度位置精度技術の開発	12
3 高精度位置測定技術の改良	12
3.1 統合測位の方式開発とアプリケーション試作	12
3.1.1 基本検証	12
3.1.2 測位精度の安定化と消費電力のバランス検討	67
3.1.3 測位精度実験	74
3.2 3次元地図、高度地図を活用した測位精度改善	98
3.2.1 3D-Map 法	98
3.2.2 Height-Aided 法	103
3.2.3 測位性能検証	106
3.2.4 まとめ	115
3.2.5 今後の課題	116
4 危険判定精度の向上 方式開発とアプリケーション試作	117
4.1 衝突予測方式改良	117
4.1.1 誤差を加味した判定	118
4.1.2 複数台数への対応	119
4.1.3 段階的な通知	122
4.1.4 道路幅対応	123
4.2 不要支援対策	125
4.2.1 歩車挙動による支援対象絞込み	125

4.2.2	歩行者状態推定.....	126
5	危険判定の有効性検証（実験）.....	133
5.1	危険判定・安全支援に関する評価.....	133
5.1.1	基本検証の目的.....	133
5.1.2	評価項目設計.....	133
5.1.3	評価方法.....	135
5.1.4	評価環境.....	140
5.1.5	評価結果と考察.....	143
5.1.6	課題抽出実験.....	157
5.1.7	歩行者状態判定.....	213
5.1.8	屋外通信環境との連携.....	219
エー2)	実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証.....	234
6	歩行者端末の試作検討.....	234
6.1	一体化に向けた検討.....	234
6.1.1	スマートフォン型端末試作の背景.....	234
6.1.2	歩行者端末試作に対する方針.....	235
6.1.3	歩行者端末の仕様.....	236
6.1.4	歩行者端末の先行試作評価.....	240
6.1.5	歩行者端末で想定される課題.....	242
6.2	3 端末構成での実現性検討.....	246
6.2.1	背景.....	246
6.2.2	システム構成検討.....	246
6.2.3	700MHz 帯車車間通信対応通信機受入確認.....	247
7	車載用アプリケーションの試作.....	250
7.1	ナビゲーションアプリケーションへの安全支援機能追加.....	250
7.1.1	目的.....	250
7.1.2	実現方法.....	250
7.1.3	結果.....	251
7.1.4	考察.....	253
7.2	大規模実証用アプリケーション試作.....	255
7.2.1	サーバー連携.....	255
7.2.2	ウェアラブル機器連携.....	260

1 研究開発概要

1.1 目的

歩行者と、近接する自動車との間で、位置情報等を交換することにより、衝突を回避するための、歩車間通信システムの研究開発を行う。

本研究開発では、車載システムと直接通信できる専用端末を利用した、直接通信型歩車間通信技術を開発する。この技術を実用化することにより、行動予測が難しく、自動車に比べ移動の自由度が高い、自転車なども含む広義の歩行者の情報を車に伝えることで、事故の低減につなげることが期待できる。

歩車間通信システムについて、基本計画書「技術課題 II(1)専用端末を利用した直接通信型歩車間通信技術の開発」に、以下の研究開発が掲げられている。

- 技術課題 ア) 歩車間通信の要求条件の検討
- 技術課題 イ) 高度位置精度技術の開発
- 技術課題 ウ) 歩車間通信の通信プロトコルの開発
- 技術課題 エ) 実環境における実証実験および課題の抽出

これらの要求条件を達成することで、多数の車両、歩行者、自転車が混在する実際の道路環境下において、歩車間通信システムを実現できる。

このうち、本資料は、下記の2つの研究開発を対象とした報告書である。

- イ) 高度位置精度技術の開発
- エー2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証

見通しの悪い交差点等で発生する、歩行者・自転車事故の低減に向けて、専用端末を利用した直接通信型歩車間通信技術を確立することを、本研究開発の目的とする。

(基本計画書における政策目標：交通事故死者数 2500 人以下/年)

「イ) 高度位置精度技術の開発」では、衛星捕捉劣化環境における測位精度の向上と、危険判定シーンを拡大して、危険判定の精度向上とその有効性検証に取り組む。

「エー2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証」では、SIP システム実用化 WG より要請された、大規模実証実験に対応するため、歩行者端末と車載機を試作し、専用端末を利用した、直接通信型歩車間通信技術による、歩行者安全支援の有効性を確認する。

1.2 目標

1.2.1 イ) 高度位置精度技術の開発

1.2.1.1 高精度位置測定技術の改良 (PMM/PDR)

歩行者の危険回避システムの実現には、都市部のビル陰や高架橋下等、衛星を良好に捕捉できない環境においても、一定の測位性能が必要である。

衛星捕捉劣化環境における測位精度向上のため、複数の技術による新たな差別化技術として、衛星測位に歩行者自律航法、3次元地図情報活用技術を組み合わせ、有効性を検証する。

また、将来的に歩行者が携行する際の利便性を考慮して、低消費電力で測位機能を実現することが重要なため、測位精度と消費電力増加のバランスを含めて検討する。具体的には、衛星測位の実行頻度と、衛星捕捉劣化環境において衛星測位を補完する技術である歩行者自律航法の動作頻度を最適化する。

そのため、本研究開発では、衛星捕捉状態に応じた歩行者自律航法処理の起動・停止をソフトウェア処理で制御する測位アプリケーションを開発して、測位精度、消費電流の改善効果を確認する。

● 成果目標

歩行者自律航法に対応した測位アプリケーションを開発し、測位精度の安定化と消費電流のバランスを考慮して、本機能の起動・停止条件、および、衛星測位との切り替え条件を見極める。

1.2.1.2 危険判定精度の向上

交通事故のシーン、事故直前の歩行者行動や背景要因は様々であり、支援機能の検討においては、できるだけ多くのケースを考慮することが、交通事故の削減に繋がる。

平成 27 年度に検討した危険判定処理の基本方式に対して、想定する危険判定シーンを拡大し、支援が必要な場面・不要な場面を含めて判定精度を向上できる危険判定アプリケーションを検討する。

想定シーン拡大例として歩行者の移動状態、歩行中、乗車中等の状態を判定する。歩行者移動状態の判定は、加速度情報、位置情報の時間変化等を利用して総合的に判断し、有効性を検証する。乗車中は、歩車間の事故の観点では安全とみなし、危険通知のアラームを発動しない。また、危険判定処理において「人の移動に起因した測位誤差の抑制」の必要性を検討する。

● 成果目標

日常生活パターン例から歩行者の移動状態を分類し、交通事故の観点から各状態の安全性を考慮の上、支援の可否を定義する。

支援が必要な場面として、単路横断の事故を想定し、衝突予測方法、支援タイミングを検討する。

支援が不要な場面について、加速度センサーや位置情報を利用して車両乗車中等を判定できる方法を検討する。

以上を加味し、平成 27 年度に開発した危険判定アプリケーションを拡張し、各場面での支援の有効性を確認する。

1.2.1.3 危険判定の有効性検証

危険判定アプリケーションの有効性検証のため、有識者の知見を活用して、検証が必要なシーンを限定した実証実験を行う。歩行者端末単独での危険地帯判定、危険歩行状態検出の有効性検証に加え、車載機の情報を含めたトータルの支援機能について、有効性を確認する。

● 成果目標

複数の歩行者端末が存在する場合を考慮して、平成 28 年度までに検討した、事故対策の優先度の高い単路横断、交差点右折・左折・直進時の事故に関して、具体的なシナリオを設定し、テストコース等の実フィールドにおいて、支援機能の有効性を確認する。

1.2.2 エー 2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証

1.2.2.1 歩行者端末と車載機の試作と基本検証

SIP システム実用化 WG より、大規模実証実験に対応するために、小型の歩行者端末が必要という指摘を受けており、歩行者の利便性・携帯性を高めた歩行者端末と、歩車間通信に対応した車載機が必要である。

そのため、700MHz 帯通信モジュール、高精度測位モジュール、および LTE 携帯電話網との通信を担う LTE モジュールを備えた歩行者端末を試作し、端末の小型化に向けた基盤を構築する。

携帯性を高めた歩行者端末の実現に向け、上記の複数の無線機能の統合により、アンテナ間干渉やノイズによる感度劣化が発生する。さらに小型化に伴う発熱等も含め、実装課題と対策を明確化する。

また、歩車間通信に対応した車載機を試作する。車載機は、700MHz 帯通信での歩車間通信によって得られた歩行者情報や、衝突判定による危険通知をナビゲーション画面に表示する。衝突判定アルゴリズムはイ) の成果を活用する。

試作した歩行者端末と、車載機を用いたシステム検証を行い、歩行者安全支援システムとしての有効性を確認する。

大規模実証実験のために、PICS や歩行者ナビ等の歩行者支援システムの搭載を考慮した歩行者端末や、PTPS 等の次世代交通システムやバス内運行システムとの連携を考慮した車載機を開発する。

- 成果目標

大規模実証実験に対応する歩行者端末と車載機を試作する。

歩行者端末の試作では、複数無線機能の統合により発生する様々な実装課題の抽出と、その対策を明確化する。また、試作した歩行者端末と車載機を用いたシステム検証を行い、歩行者安全支援システムとしての有効性を確認する。

1.3 開発範囲

表 1 に本研究開発の全体範囲を示す。

表 1 研究開発の範囲

大項目	小項目	受託者
歩車間通信の要求条件 (技術課題 ア)	交通事故削減に資するサービスの抽出	国土交通省側 受託者
	歩車間通信に求められる通信の要求条件 (事故要因分析に基づいた通信エリア、 メッセージセット等の検討)	
歩行者端末		
700MHz 帯通信 (技術課題 ウ、エ-1)	通信プロトコル (車車間通信・路車間通信との互換性確保)	パナソニック
	携帯性を考慮した小型化技術の開発 バッテリー特性や省電力に関する技術	
高精度測位 (技術課題 イ)	準天頂衛星を活用した高度位置精度技術	
交通事故削減のためのアプリケーション (技術課題イ、エ-1 連携)	歩車間通信の要求条件検討結果を踏まえた 事故回避アプリケーション開発	
小型端末試作 (技術課題エ-2)	歩行者,車載端末の試作での複数無線機能の 統合により発生する様々な実装課題の抽出	

本成果報告書では、下記を範囲とする。

イ) 高度位置精度技術の開発

エー 2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証

1.4 開発体制

(平成 29 年 3 月 1 日付 体制)

1.4.1 歩車間通信技術開発

研究責任者

○青山 恭弘 (Panasonic AVC IC 無線ソリューション開発部 部長)

イ) 高度位置精度技術の開発

○大久保 義行 (Panasonic AVC IC 無線ソリューション開発部 システム 1 課 課長)

以下省略

エー 2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証

大久保 義行 (Panasonic AVC IC 無線ソリューション開発部 システム 1 課 課長)

以下省略

Panasonic AVC IC :

AVC ネットワークス社 イノベーションセンター

1.4.2 ビジネスプロデューサー

野津 純一

(パナソニックシステムネットワークス株式会社、公共システム本部
公共システム推進室 室長)

1.4.3 歩車間通信研究開発運営委員会

委員

無線通信に対する有識者：笹瀬 巖教授（慶應義塾大学）

ITS に対する有識者：上條 俊介 准教授（東京大学）

高齢者移動支援に対する有識者：小竹 元基 准教授（東京大学）

2 成果の要約

本年度の年次目標に対する達成状況を以下に示す。

表 2 「イ) 高度位置精度技術の開発」の達成状況

目標	達成状況	説明
歩行者自律航法に対応した測位アプリケーションを開発する	開発完了	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星数、歩行速度をパラメータとして測位方式を切り替えるアプリケーションを試作した ・建物の高さ情報を含む3次元地図情報を活用して、ビル壁等からの反射波を位置推定に用い、±5mの測位精度を達成した
測位精度の安定化と、消費電流のバランスを考慮して、歩行者自律航法の起動・停止条件、および、衛星測位との切り替え条件を見極める	見極め完了	測位周期と消費電流の関係を整理し、歩行者状態に基づき測位頻度を間引く等の低消費電力化を検討した
日常生活パターン例から歩行者の移動状態を分類し、交通事故の観点から各状態の安全性を考慮の上、支援の要否を定義する	定義完了	<ul style="list-style-type: none"> ・大多数が会社や学校、自宅等の建物内にいる時間が長く、安全なため支援は不要である。それ以外の時間では、通勤や通学、買い物、散歩等となり、車両や電車を使う場合には安全として支援が不要である ・上記以外の歩行者の移動を、支援の対象として定義した
支援が必要な場面として、単路横断の事故を想定し、衝突予測方法、支援タイミングを検討する	開発完了	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の歩行者を対象に、歩行者と車両との移動方向の角度と、移動速度を加味した衝突予測方法を実装した ・危険度（TTC）による段階的な支援タイミングとして、国土交通省受託者の報告内容を採用した
支援が不要な場面について、加速度センサーや位置情報を利用して車両乗車中等を判定できる方法を検討する	開発完了	<ul style="list-style-type: none"> ・支援が不要な場面として、歩行者が車両と平行に移動するケース、および車両から歩行者が遠ざかるケースについて、検討・開発・評価を実施した ・支援が不要な場面として、歩行者と車両

		<p>が立体交差するケースについて、検討・開発・評価を実施した</p> <ul style="list-style-type: none"> ・支援が不要な場面として、車両乗車中を検討し、移動速度による判定を実施した
危険判定アプリケーションを拡張し、各場面の支援の有効性を確認する	有効性を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・危険判定アプリケーションを拡張し、有効性を確認した ・危険度（TTC）に応じた段階的支援は車両の事前認知に効果的であった
複数の歩行者端末が存在する場合も考慮して、優先度の高い単路横断、交差点右折・左折・直進時の事故に関して、具体的なシナリオを設定し、実フィールドにおいて、支援機能の有効性を確認する	有効性を確認	<ul style="list-style-type: none"> ・複数の歩行者支援に対し、危険度（TTC）による段階的な支援の有効性を確認した ・平行移動時の不要支援の実現を確認した ・交差点右左折については改善検討が必要である ・立体交差の不要支援について、有効性を確認した

表 3 「エー 2）実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本検証」の達成状況

目標	達成状況	説明
大規模実証実験に対応する歩行者端末と車載機を試作する	開発完了	歩行者端末と車載機の構想設計を行い、先行して LTE モジュールの試作・評価を実施した
複数無線機能の統合により発生する様々な実装課題の抽出とその対策を明確化する	検討完了	複数無線機能の統合による課題抽出と対策を明確化した
試作した歩行者端末と車載機を用いたシステム検証を行い、歩行者安全支援システムとしての有効性を確認する	開発完了	車載機搭載アプリケーションを作成し、システム検証を実施した

イ) 高度位置精度技術の開発

3 高精度位置測定技術の改良

3.1 統合測位の方式開発とアプリケーション試作

3.1.1 基本検証

3.1.1.1 概要

平成 27 年度（2015 年度）に実施した、準天頂衛星対応の GNSS 測位専用端末による測位実験の結果、高層ビル街において、以下の方式により、直接波か、反射波のみを受信しているかを識別し、測位誤差を抑制した。

- CN 制限（受信 CN が一定レベル以上の衛星を測位に使用）
- 仰角制限（衛星位置の仰角が一定以上の衛星を測位に使用）

反射波のみを受信している衛星を、測位に使用しないことで、測位誤差の抑制を確認できた。一方、使用できる衛星数が減少してしまい、測位精度の劣化や、測位率の低下が発生した。

本年度は、衛星の仰角による受信 CN の変動と、高仰角の衛星に制限することで使用できる衛星数が減少してしまうため、仰角に応じて CN 制限値を変更することで、仰角にかかわらず、直接波を受信できる衛星を選択する方式とした。

さらに、測位精度の低下の対策として、ドップラー周波数偏差を利用した方位、速度検出による自律航法（相対測位）を行った。

測位率の低下の対策として、加速度センサー等のモーションセンサーを利用した PDR(Pedestrian Dead Reckoning)を用い、補完を行った。

CN レベルにより、直接波か反射波かを判断する方法、衛星測位でのカルマンフィルタの適用、衛星測位とセンサー等を利用した DR（デッドレコニング／自律航法）の技術に関しては、すでに多くの研究がなされている。

「マルチ GNSS の評価と DGNSS の可能性に関する研究（土倉,他（東京海洋大学）」

「カルマンフィルタを用いた GPS 単独測位精度向上（孫、他（東京海洋大学）」

「Effective Satellite Selection Methods for RTK-GNSS NLOS Exclusion in Dense Urban Environments (Tokura、Kubo 他（東京海洋大学）」

「3D building model-based pedestrian positioning method using GPS/GLONASS/QZSS

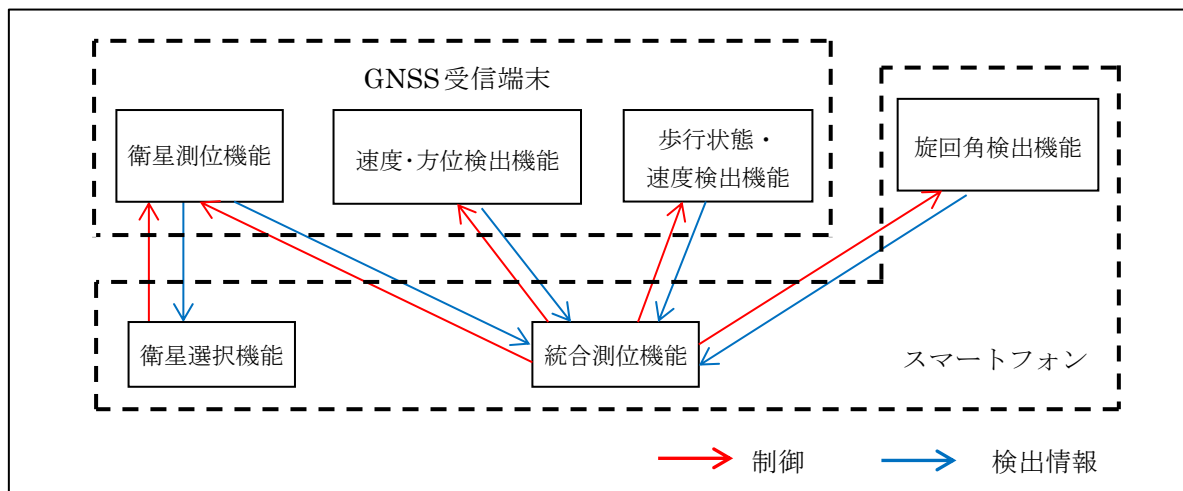
(Li, Kamijo, 他 (東京大学))」
 「Pedestrian dead reckoning for mobile phones through walking and running mode recognition ((東京大学), N.Kakiuchi, S. Kamijo)」

本研究では、CN レベルの利用については、「マルチ GNSS の評価と DGNSS の可能性に関する研究 (土倉,他 (東京海洋大学))」の方式を採用し、自律航法については、「GNSS/センサー統合による歩行者測位に関する研究 (劉、久保、東京海洋大学)」の方式と同様の構成とした。

機器構成と機能配置、および機能一覧を以下に示す。



(a) 機器構成



(b) 機能配置

図 1 機器構成と機能配置

表 4 機能一覧

機能	処理内容	機能配置
衛星測位	GPS,QZSS,GLONASS を使用した測位	GNSS 受信端末
衛星選択	CN による直接波を受信できる衛星の選択	スマートフォン
速度・方位検出	衛星電波のドップラー偏差を利用した速度ベクトル検出	GNSS 受信端末
歩行状態・速度検出	モーションセンサーによる歩行状態、速度の検出	GNSS 受信端末
旋回角検出	モーションセンサーによる旋回角の検出	スマートフォン
統合測位	下記検出情報をカルマンフィルタにより統合した測位 ① 衛星測位 ② ドップラー偏差による速度・方位 ③ 歩行状態・速度 ④ 旋回角	スマートフォン

3.1.1.2 衛星選択機能

3.1.1.2.1 方式説明

反射波による大きな誤差を抑制するため、電波の受信強度（CN）で、反射波か直接波かを判断し、直接波のみでの測位実施を目的とする。

直接波であっても、衛星の CN は仰角に依存し、低仰角の場合 CN 値が低くなることが知られている（参考文献：擬似距離を利用したマルチ GNSS による都市部高精度測位実験の報告、土倉、久保（東京海洋大学））。よって、仰角に応じた曲線しきい値を採用し、しきい値より高い信号強度の衛星のみを直接波と判断し、測位計算に使用する機能を検証した（以下、衛星選択機能と記載する）。

3.1.1.2.2 衛星選択機能におけるしきい値

今回は、衛星システム毎（GPS、GLONASS、QZSS）に別々のしきい値を設定した。同一システム内では同じしきい値を使用した。

しきい値は、オープンスカイ環境静止条件で測定した仰角-CN 特性より、高仰角を直線、低仰角を曲線で近似し、上記線より 6dB 以上下回った時には、反射波の影響を受けた衛星と判断し、測位計算から除外する。

しきい値は、GNSS 測位端末である QZPOD で取得した、GPS、GLONASS、QZSS の仰角-CN 特性データから算出した。

仰角 50 度以下の場合は、50 度以下の CN 値を 2 次式の曲線で近似し、50 度より高仰角の場合は、50 度より高仰角の CN 平均値を求め、各衛星システムの CN 予測値を算出する。

この曲線より 6dB 下げた線を衛星選択のしきい値として決定した。GPS、GLONASS、QZSS の仰角-CN 特性と、採用したしきい値を下図に示す。

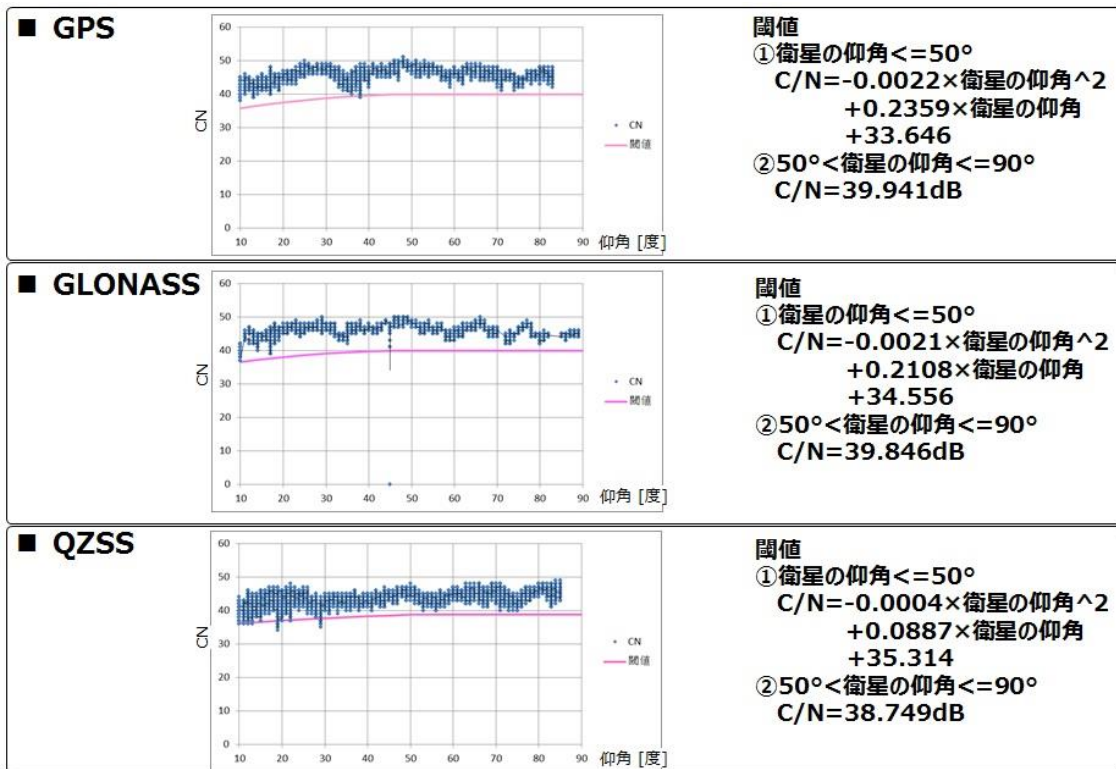


図 2 各衛星システムの仰角-CN 特性と衛星選択機能しきい値

3.1.1.2.3 衛星選択機能測位評価

評価は、横浜市佐江戸町パナソニック敷地内で実施した。



図 3 横浜市都筑区佐江戸町パナソニック敷地内

試験場所：横浜市都筑区佐江戸町

評価項目：水平誤差

測定構成：スマートフォン-GNSS 測位専用端末(端末間は Bluetooth 接続)

端末保持状態：帽子上固定

初期状態：Hot Start

歩行経路：1,2,3 の 3 パターン

歩行経路 1 :A 地点⇒B 地点

A 地点：北緯 35.51242778 °、東経 139.5634444 °

B 地点：北緯 35.51272778 °、東経 139.5635333 °

歩行経路 2 :A 地点⇒B 地点

A 地点：北緯 35.51298333 °、東経 139.5614667 °

B 地点：北緯 35.51309722 °、東経 139.5625806 °

歩行経路 3:A 地点⇒B 地点

A 地点：北緯 35.51271389 °、東経 139.5635639 °

B 地点：北緯 35.51234167 °、東経 139.5634083 °

3.1.1.2.4 評価実施場所

評価実施場所は、以下の3パターンの歩行経路で実施した。

各歩行経路でA地点→B地点まで歩行し、評価を実施した。

赤線の歩行経路を一定速度で歩行した。

下図に、歩行経路1,2,3における歩行経路と、試験開始地点Aでの衛星配置を示す。



図4 歩行経路1

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

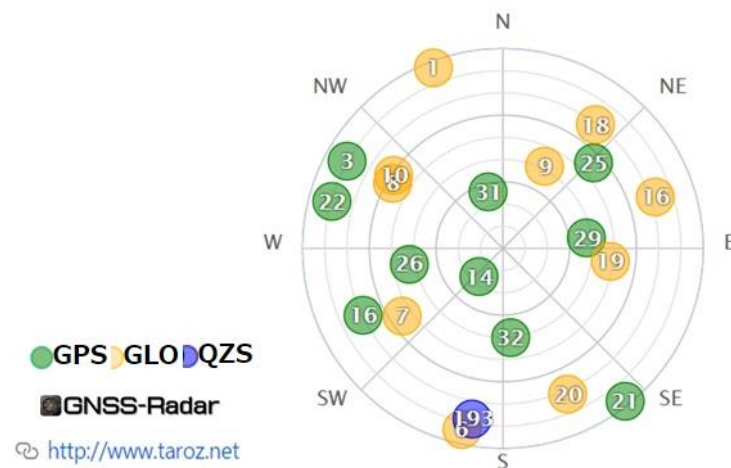


図5 歩行経路1試験開始地点Aでの衛星配置



図 6 歩行経路 2

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

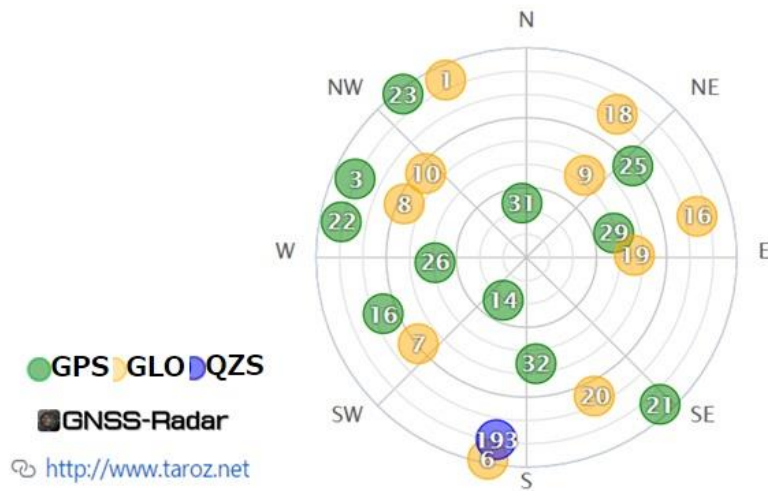


図 7 経路 2 試験開始地点 A での衛星配置



図 8 歩行経路 3

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

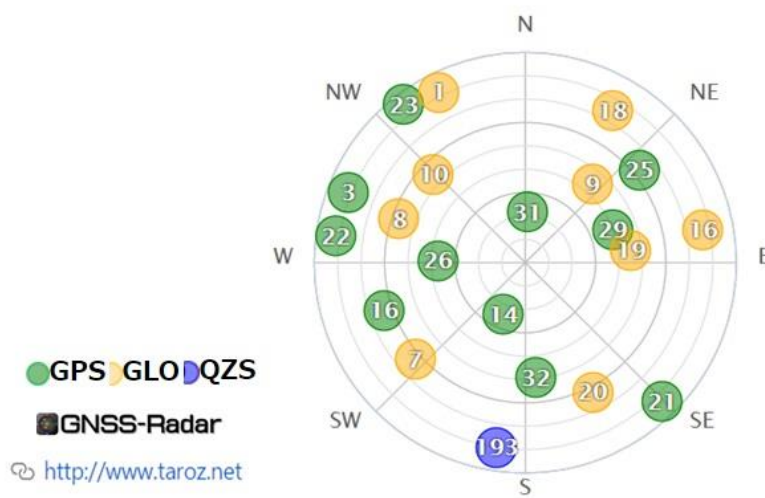


図 9 歩行経路 3 試験開始地点 A での衛星配置

3.1.1.2.5 評価結果

GNSS 測位端末の保持方法を帽子上とし、前記の歩行経路において評価を実施した。方式として、衛星選択機能無しの場合と、衛星選択機能有りの場合で評価を実施した。衛星選択有りの場合は、GNSS 端末の測位結果に対して、次節以降で記載する統合測位を適用した場合の結果もあわせて記載する。歩行経路 1、2、3 における衛星測位誤差を示す。

表 5 衛星測位誤差 (歩行経路 1)

	平均誤差[m]	標準偏差[m]	最大誤差[m]	測位率[%]
衛星選択機能無し	4.1	4.3	17.2	100
衛星選択機能有り	1.1	0.6	2.1	100
衛星選択機能有り +統合測位	0.9	0.7	2.2	100

表 3.1.1.2-6

表 7 衛星測位誤差 (歩行経路 2)

	平均誤差[m]	標準偏差[m]	最大誤差[m]	測位率[%]
衛星選択機能無し	3.5	3.7	13.9	100
衛星選択機能有り	1.9	2.3	19.1	63.0
衛星選択機能有り +統合測位	2.6	1.7	9.4	100

表 8 衛星測位誤差 (歩行経路 3)

	平均誤差[m]	標準偏差[m]	最大誤差[m]	測位率[%]
衛星選択機能無し	1.6	1.4	6.0	100
衛星選択機能有り	5.1	2.8	31.3	71.4
衛星選択機能有り +統合測位	4.0	2.5	8.3	100

歩行経路 1 において、衛星選択機能により、衛星測位誤差が改善している。

歩行経路 2 において、衛星選択機能有りの場合、歩行経路 2 の一部で屋根の下を歩行している影響で、測位率が低下している。また、測位に使用した衛星数（以下、使用衛星数と呼ぶ）の低下、HDOP の劣化による影響で最大誤差が大きくなっている。ただし、衛星選択機能有りの測位結果に、統合測位を適用し、測位できない区間の補完、HDOP を考慮したフィルタリングを行うことで、衛星測位誤差が改善した。

歩行経路 3 においても、衛星選択機能によって測位誤差特性の劣化が見られた。歩行経路 3 の場合も統合測位を適用することで、衛星選択機能による使用衛星数減少による測位誤差特性の劣化の影響を軽減できるものの、衛星選択機能無しの場合と比較すると、衛星測位誤差を改善できなかった。

以下に、各試験条件における評価結果詳細を記載する。

3.1.1.2.5.1 歩行経路 1

歩行経路 1 における、衛星選択機能無しの場合と、衛星選択機能有りの場合の結果を記載する。衛星選択機能無し場合の結果は以下である。



図 10 歩行軌跡（衛星選択機能無し）（歩行経路 1）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

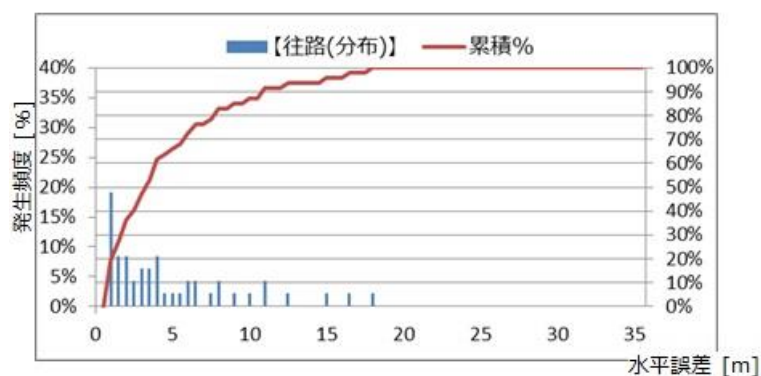


図 11 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能無し）（歩行経路 1）

衛星選択機能有り場合の結果は以下である。



図 12 歩行軌跡（衛星選択機能有り）（歩行経路 1）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

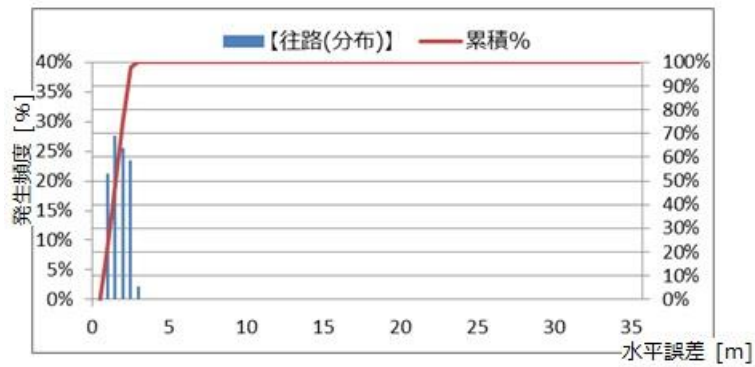


図 13 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能有り）（歩行経路 1）

歩行軌跡の結果より、衛星選択機能により、水平誤差が小さくなっている。

水平誤差発生頻度と累積値の結果より、衛星選択機能により、水平誤差 5m 以上の誤差が抑制されている。

衛星選択機能有りと、衛星選択機能無しの場合における平均 CN(dB)、水平誤差[m]、使用衛星数、HDOP を示す。

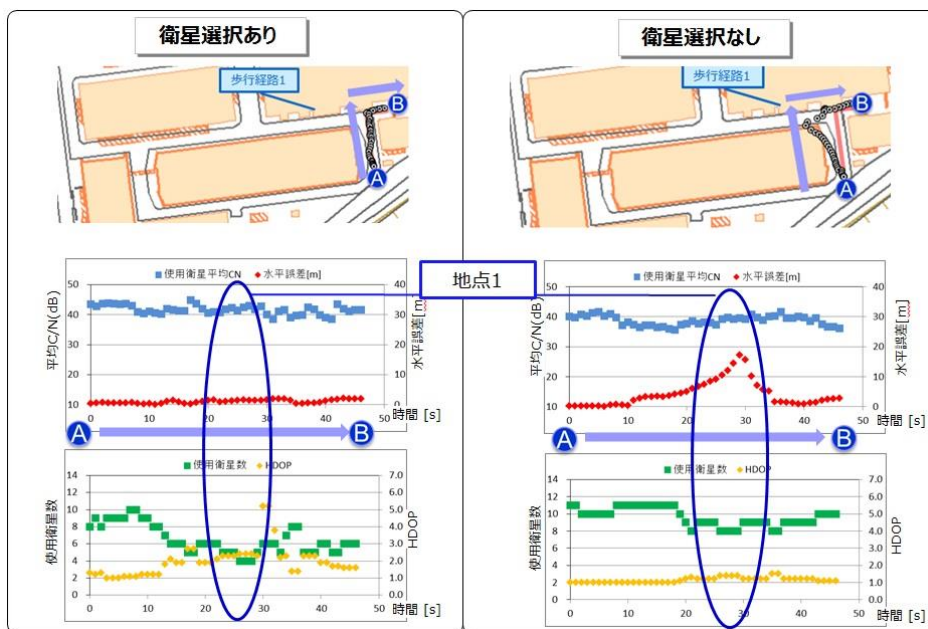


図 14 平均 CN, 水平誤差、使用衛星数、HDOP (歩行経路 1)

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

実線丸で記載している地点（以下、地点 1 と呼ぶ）は、衛星選択機能無しは、最大約 17m 水平誤差が発生しているが、衛星選択機能有りでは、使用衛星数は減少しているものの、水平誤差が抑制されていることがわかる。

地点 1 における衛星選択機能有りの場合と、無しの場合の衛星状況(衛星配置、CN 値、使用衛星数)を示す。

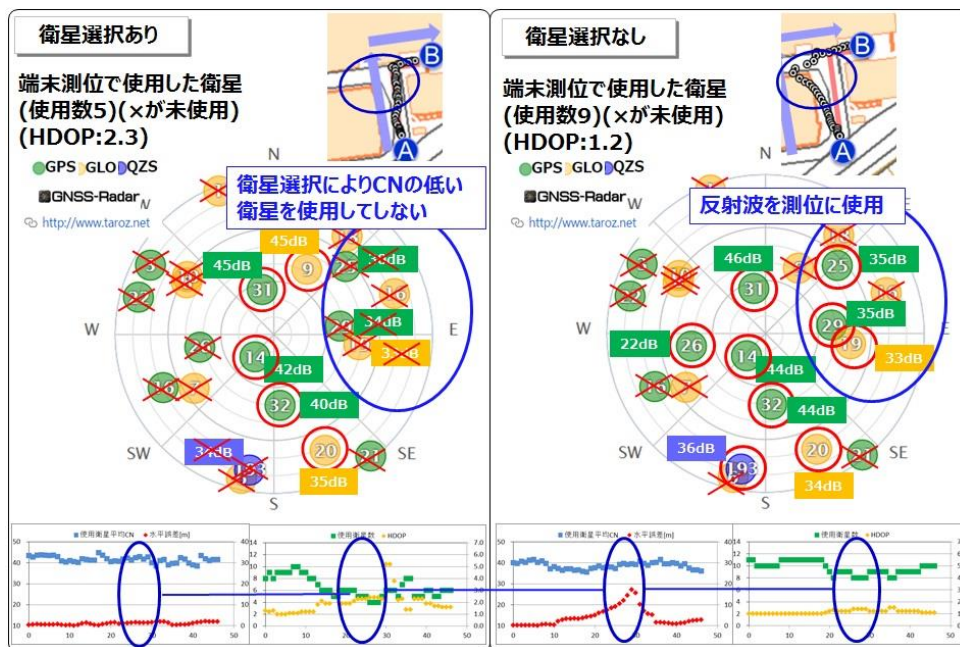


図 15 地点 1 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

×印が記載されている衛星は、測位に使用していないことを示す。
 歩行経路の東側の建物の影響で GPS25 番、29 番、GLONASS19 番は直接波として見えない環境にあり反射波となる環境であるが、衛星選択無しの場合には測位計算に使用している。
 衛星選択機能有りの場合は、上記反射波となる衛星を使用していないため、水平誤差劣化を抑制できている。

3.1.1.2.5.2 歩行経路 2

歩行経路 2 における、衛星選択機能無しの場合と、衛星選択機能有りの場合の結果を記載する。衛星選択機能無し場合の結果は以下である。



図 16 歩行軌跡（衛星選択機能無し）（歩行経路 1）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

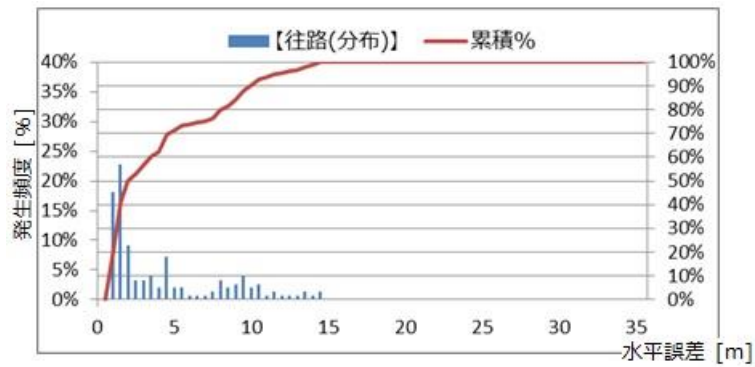


図 17 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能無し）（歩行経路 2）

衛星選択機能有り場合の結果は以下である。



図 18 歩行軌跡（衛星選択機能有り）（歩行経路 2）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

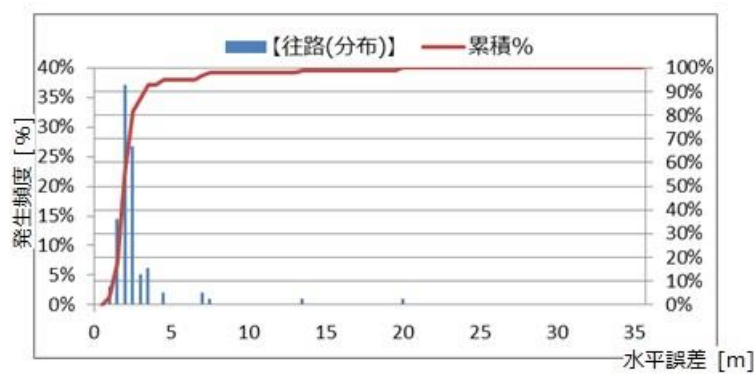


図 19 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能有り）（歩行経路 2）

測位率 100%でないため、測位できたデータのみでグラフを記載している。

歩行軌跡の結果より、屋根の下を歩行時に、衛星選択機能無しでは、水平誤差が大きくなっている。衛星選択機能有りでは、屋根の影響で衛星の CN が劣化しているため、衛星選択機能により、測位に使用できる衛星がないと判断し、結果、測位できていない。

水平誤差発生頻度と累積値の結果より、衛星選択機能により、水平誤差 5m 以上の誤差が抑制されている。ただし、一部データで大きな誤差が発生しているため、最大誤差は大きくなっている。

衛星選択機能有りと、衛星選択機能無しの場合における平均 CN(dB)、水平誤差[m]、使用衛星数、HDOP を示す。

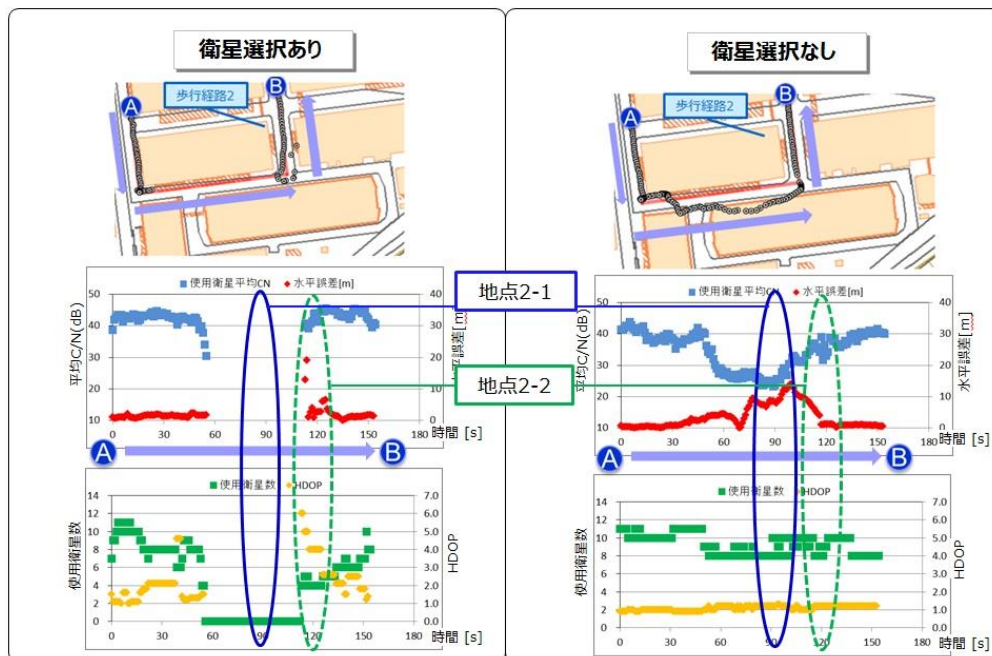


図 20 平均 CN、水平誤差、使用衛星数、HDOP (歩行経路 2)

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

実線丸で記載している地点 (以下、地点 2-1 と呼ぶ) は、屋根の下を歩行している箇所であり、衛星選択機能無しの場合、使用衛星平均 CN が低く、最大約 17m 水平誤差が発生している。一方、衛星選択機能有りの場合は、CN により使用衛星を判断しており、全衛星が CN しきい値より低いため使用衛星数が 0 となり、測位が実施されていない。また、点線丸で記載している地点 (以下、地点 2-2 と呼ぶ) において、衛星選択機能有りで瞬間的に約 19m 程度の大きな誤差が発生している。

地点 2-1 における衛星選択機能有りの場合と、無しの場合の衛星状況（衛星配置、CN 値、使用衛星数）を示す。

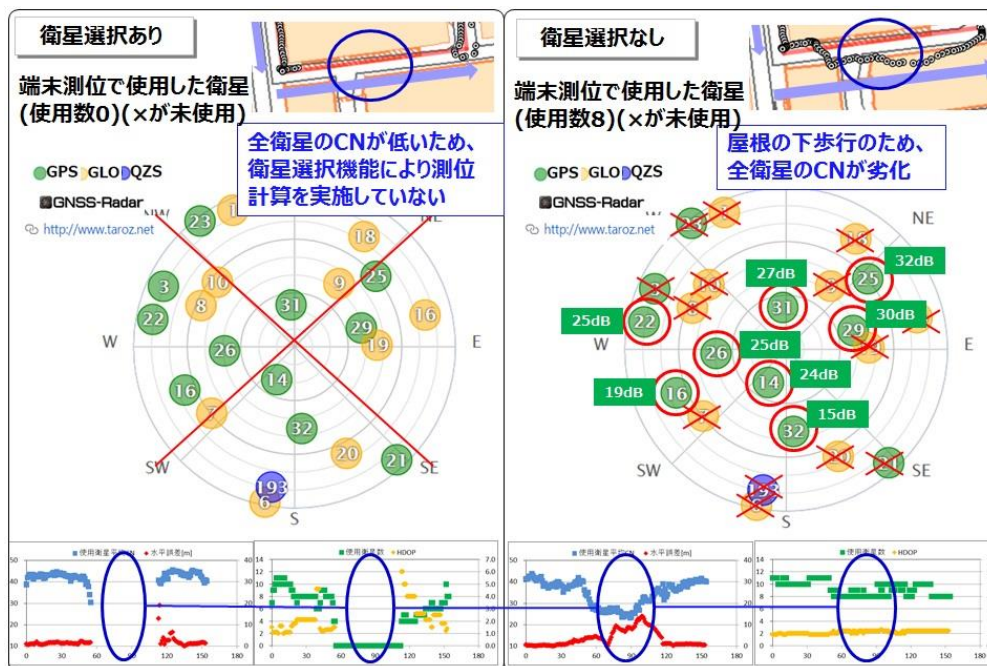


図 21 地点 2-1 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

×印が記載されている衛星は、測位に使用していないことを示す。

屋根の下を歩行している影響で、全衛星の CN が低下する環境であるが、衛星選択無しの場合は CN の低下した衛星の信号を元に測位計算を行っているため、水平誤差が劣化していると考えられる。衛星選択有りの場合は、CN 低下の影響により、測位結果が得られていないが、統合測位を実施することで、測位できなかった領域を補完する事ができる。

地点 2-2 における衛星選択機能有りの場合と、無しの場合の衛星状況（衛星配置、CN 値、使用衛星数）を示す。

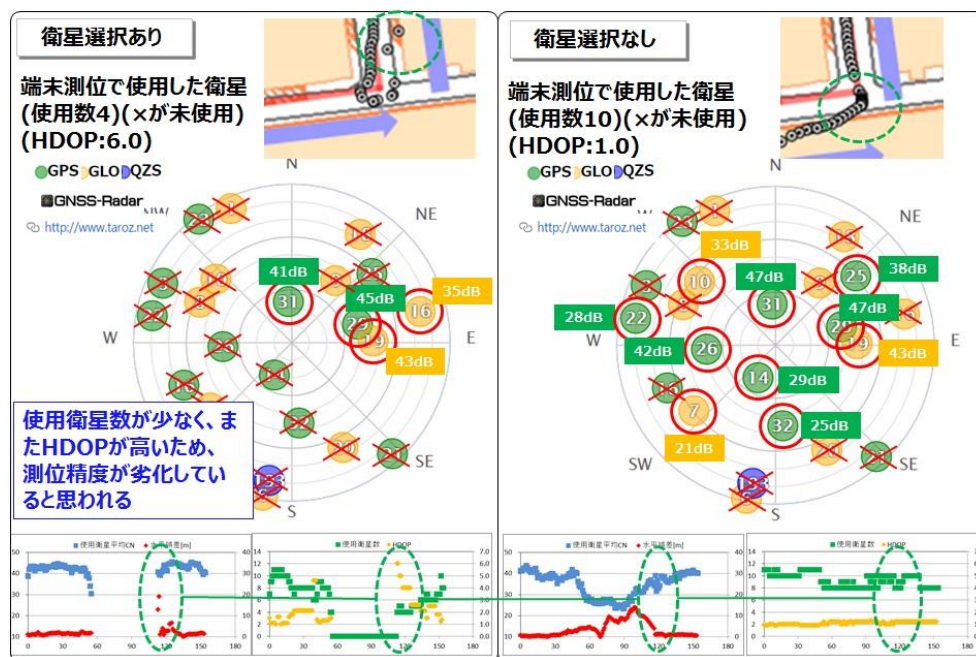


図 22 地点 2-2 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

×印が記載されている衛星は、測位に使用していないことを示す。

屋根のある場所を通過し、衛星の CN が高くなった場所であるが、衛星選択有りの場合は、瞬間的に約 19m 程度の大きな誤差が発生している。これは、衛星選択機能により、直接波のみの測位を試みた結果、使用衛星数が 4 と少なく、HDOP が 6.0 と劣化してしまったため、反射波を使用しない測位を実施しても水平誤差が劣化したと考えられる。このような誤差は、統合測位により、HDOP を考慮したフィルタリングを実施することにより、抑制することができる。

統合測位を適用した場合の歩行軌跡と、水平誤差発生頻度と、累積値を示す。統合測位を実施することで、測位できなかった領域を補完できている。HDOP を考慮したフィルタリングにより、一時的な大きな誤差を抑制できている。



図 23 歩行軌跡（統合測位）（歩行経路 2）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

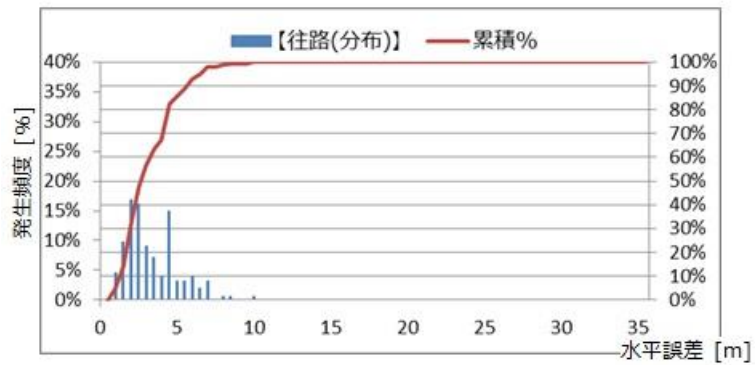


図 24 水平誤差発生頻度と累積値（統合測位）（歩行経路 2）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

3.1.1.2.5.3 歩行経路 3

歩行経路 3 における、衛星選択機能無しの場合と、衛星選択機能有りの場合の結果を記載する。衛星選択機能無し場合の結果は以下である。



図 25 歩行軌跡（衛星選択機能無し）（歩行経路 3）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

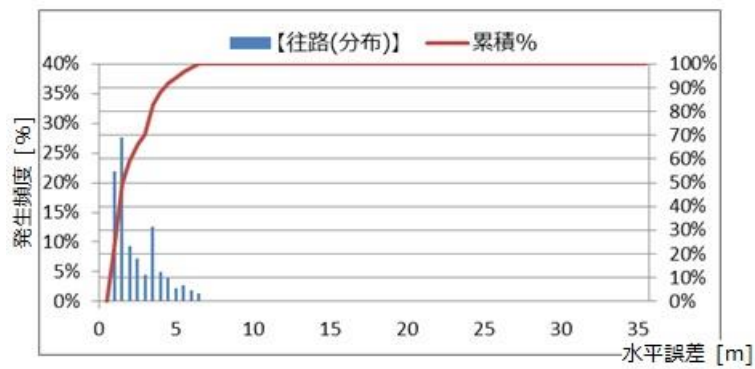


図 26 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能無し）（歩行経路 3）

衛星選択機能有り場合の結果は以下である。



図 27 歩行軌跡（衛星選択機能有り）（歩行経路 3）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

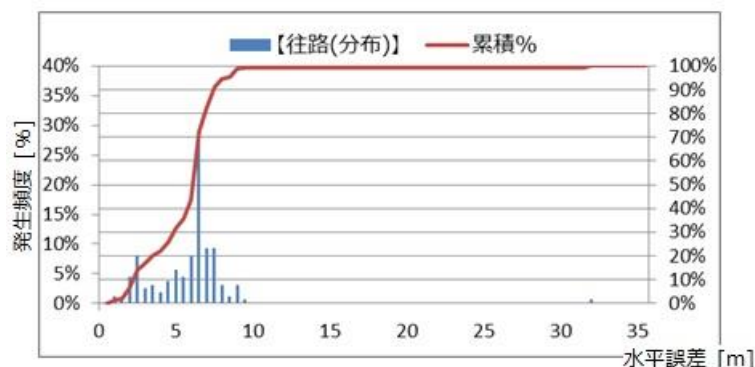


図 28 水平誤差発生頻度と累積値（衛星選択機能有り）（歩行経路 3）

測位率 100%でないため、測位できたデータのみでグラフを記載している。

歩行軌跡の結果より、衛星選択機能有りの方が、水平誤差が大きくなっている。

水平誤差発生頻度と累積値の結果より、衛星選択機能有りの場合において、水平誤差が劣化しており、水平誤差 5~9m 程度の誤差頻度が多くなっている。また、一部データで大きな誤差が発生しているため、最大誤差も大きくなっている。

以下に衛星選択機能有りと、衛星選択機能無しの場合における平均 CN(dB)、水平誤差[m]、使用衛星数、HDOP を示す。

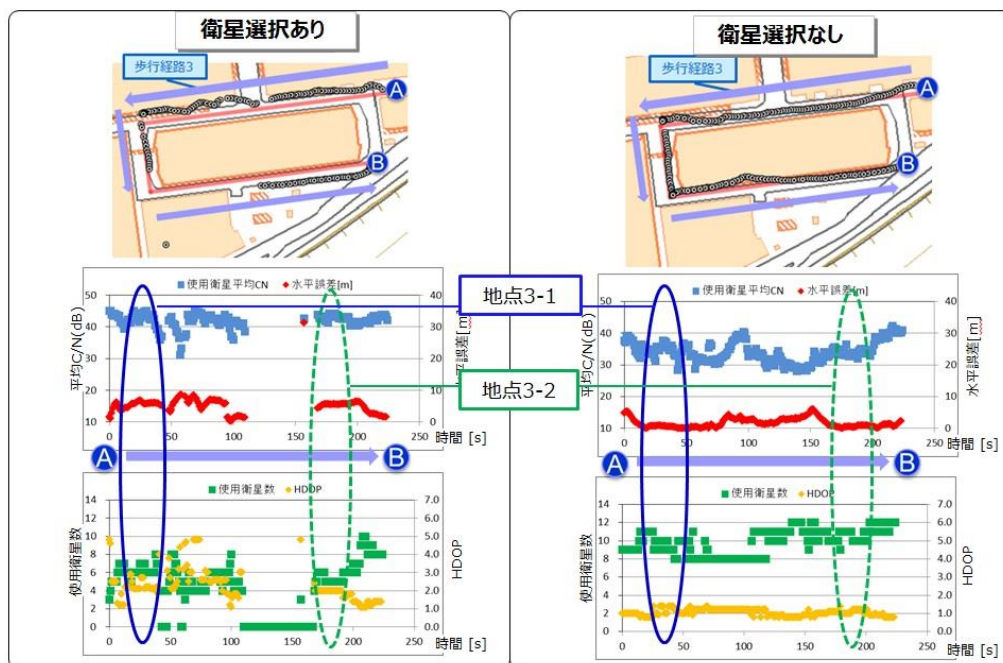


図 29 平均 CN，水平誤差、使用衛星数、HDOP（歩行経路 3）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

衛星選択機能有りの場合において、時間 100～150s の区間の、使用衛星数が 0 となっている箇所は、周辺に高い建物が密集している場所での測位のため、直接波として受信できた衛星数が少なく、測位ができていない。

時間 153s において約 31m の大きな水平誤差が発生しているが、歩行経路 2 の場合と同様に、使用衛星数が少なく、HDOP が高いことが原因と考えられる。

上記以外の箇所において、衛星選択機能有りの場合は、水平誤差 5-9m 程度の誤差の箇所が多くなっている。

以下に、実線丸で記載している地点（以下、地点 3-1 と呼ぶ）と、点線丸で記載している地点（以下、地点 3-2 と呼ぶ）の、2 箇所における衛星状況を記載する。

地点 3-1、3-2 における、衛星選択機能有りの場合と、無しの場合の衛星状況(衛星配置、CN 値、使用衛星数)を示す。

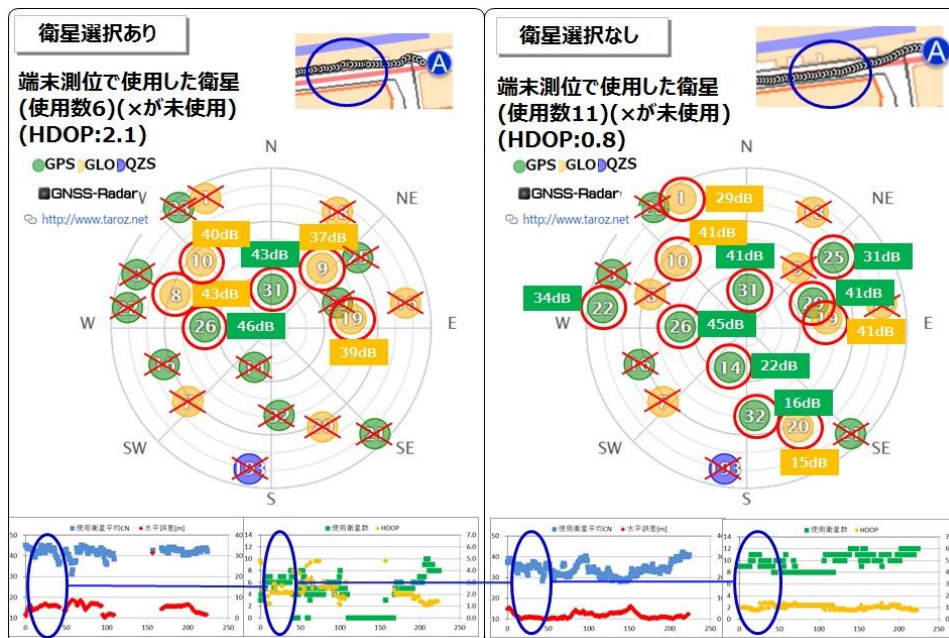


図 30 地点 3-1 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

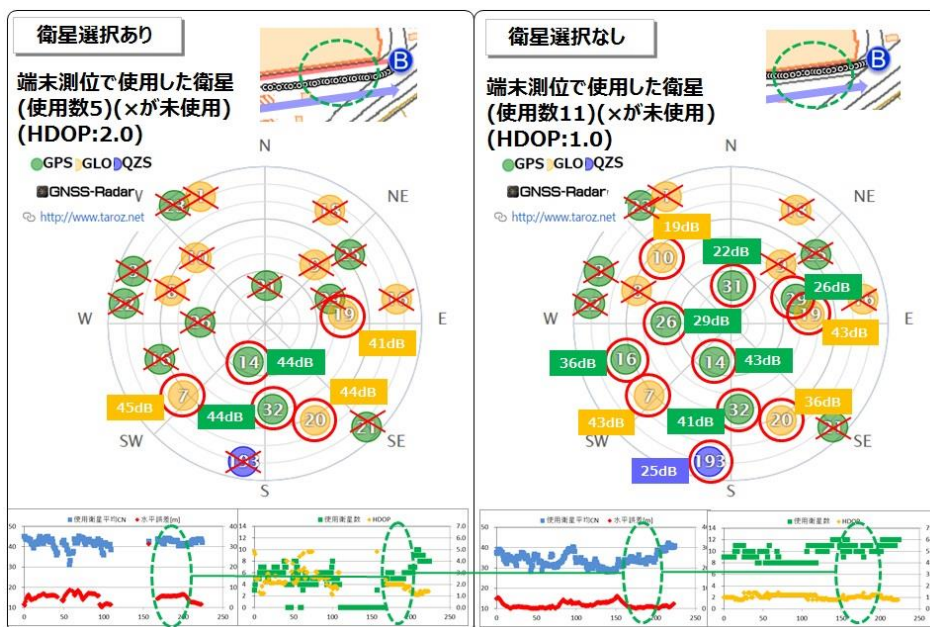


図 31 地点 3-2 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

×印が記載されている衛星は、測位に使用していないことを示す。

地点 3-1、3-2、ともに衛星選択機能有りの方が、直接波のみを使用しているため使用衛星数は少なくなっている。一方、衛星選択機能無しの場合は、使用衛星数は多い。反射波と思われる CN 値の衛星も測位に使用しているが、衛星選択機能有りの方が、水平精度が劣化している。測位精度向上には、反射波の影響抑制のために、単純に使用衛星数を少なくしてしまうと、測位精度が劣化することが確認できた。

統合測位を適用した場合の歩行軌跡と、水平誤差発生頻度と、累積値を示す。



図 32 歩行軌跡（統合測位）（歩行経路 3）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

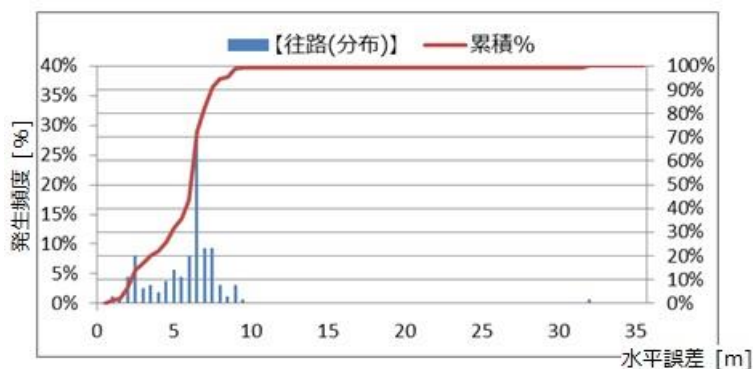


図 33 水平誤差発生頻度と累積値（統合測位）（歩行経路 3）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

統合測位を実施することで、測位できなかった領域を補完できている。

HDOP を考慮したフィルタリングにより、一時的な大きな誤差を抑制できている。

ただし、衛星選択機能による、直接波のみの測位のための衛星数減少の影響を軽減できず、衛星選択機能無しの結果と比較すると、衛星測位誤差を改善できなかった。

3.1.1.3 移動方向、速度検出

3.1.1.3.1 移動方向検出法

移動方向（方位）を推定する主な方法として、以下の4方式がある。

- 位置情報利用：移動時の2点の位置関係から移動方向を推定
- 地磁気利用：地磁気の向き（磁北の方向）から移動方向を推定
- モーションセンサー利用：加速度センサー、ジャイロセンサーを利用して方向の変化量を推定
- 電波ドップラー利用：複数GNSS衛星からの電波のドップラー効果により、速度ベクトルを検出して移動方向を推定

各方式の特徴を下表に示す。

表9 移動方向推定方法

利用方式	利点	欠点
位置情報	・位置のみの利用で検出が容易	・静止時の方位の検出は不可 ・位置精度に依存
地磁気	・静止時の方位検出が可能 (ただし、デバイスの向いている方向の検出)	・移動方向は加速度センサー等のモーションセンサーの利用が必要 ・磁北を検出するため、地図の北からのズレ（偏角）があり補正が必要。 ・地磁気は、場所・時間により変動し、近くに金属があると地磁気が乱れる
モーションセンサー	・時間応答性が良い	・相対的な移動方向の検出は可能だが、地図上の方位の検出はできないため、他の方位センサー技術との併用が必要 ・センサー姿勢補正が必要
電波ドップラー	・位置精度に比べ精度が良い	・静止時の方位の検出は不可 ・複数の衛星電波を受信できない環境では方位検出不可

位置情報を利用する方法は、移動した2点間の向きで移動方向を算出するため、位置精度が悪い場合は大きな誤差が生じる。そのため、正しい移動方向を検出するには、比較的長い時定数のフィルタ等が必要になり、歩行者のように急に進行方向を変える動作のある場合の方向推定には適さない。

地磁気を利用する方法では、地磁気の向き（3次元）により磁北の方向を検出できるが、その方向は地磁気センサー（デバイス）の向きである。そのため、移動方向を推定するには、加速度センサーを併用する必要がある。加速度センサーはデバイスの加速度と、その方向（デバイスに固定された座標に対する方向）を検出できるため、地磁気センサーと組み合わせて、地理上の移動方向を推定することができる。ただし、地磁気センサーが検出する磁北であり、地理上の方位（北）とずれ（偏角）がある。その偏角は、場所や時間により変わる。（例えば、札幌では約9度、那覇では約5度） また、地磁気は周辺の金属の影響を受けるため、鉄製建造物、自動車、自転車、電車や金属製品の付近では、正常に磁北を検出できない場合がある。以上の理由により、地磁気の利用は歩行者での使用には適さない。

モーションセンサー（加速度センサー、ジャイロセンサー等）を利用する方式は、時間応答性は良いが、相対的な移動方向の検出は可能だが、地図上の方位を検出することはできないため、他の方位センサー技術の併用が必須である。

電波のドップラー効果を利用する方式について説明する。衛星から遠ざかる方向に移動する場合は、搬送波の周波数が低くなり、近づく方向に移動する場合は、搬送波の周波数が高くなるドップラー効果により、移動速度を算出することができる。そして、複数の衛星に対する速度を合成することで、移動速度を推定することができる。速度は三次元の世界速度ベクトルとして算出され、その速度ベクトルの向きが移動方向を示す。衛星電波の受信環境（衛星数、衛星位置等）に依存するが、位置測位とは異なり電離層や対流圏の遅延の影響はなく時間応答性がよい。

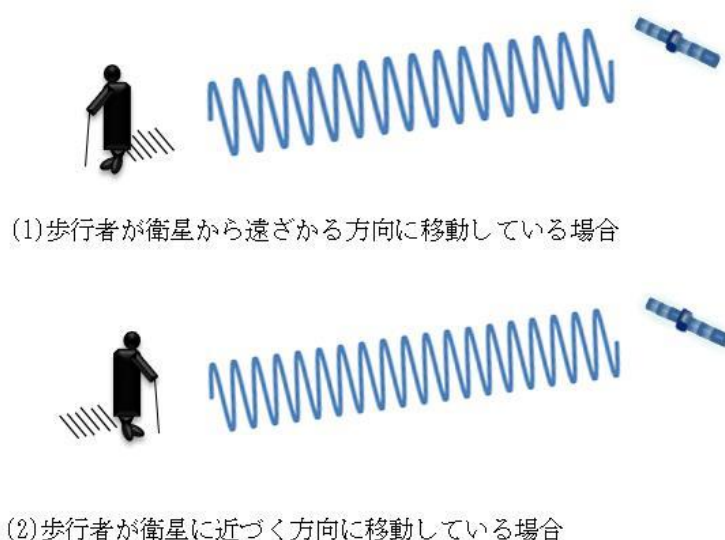


図 34 ドップラー効果の説明図

以上の理由により、電波のドップラー効果を利用する方式が歩行者での使用に適している。ドップラー効果方式を主に使用し、衛星環境等の理由で使用できない場合は、モーションセンサーを利用して、相対的な移動方向を検出して補完する方式とした。

3.1.1.3.2 移動速度検出法

速度を推定する主な方法として、以下の4方式がある。

- 位置情報利用：2点の位置とその時刻から2点間の移動に要した時間から速度を推定
- 加速度センサー利用：加速度を積分して速度を推定
- 歩行特徴利用：歩行時の周期的な動きを加速度センサー、ジャイロセンサーで検出し、歩行時の歩行ピッチ、歩幅を算出し速度を推定
- 電波ドップラー利用：GNSS衛星からの電波のドップラー効果により速度を推定

各方式の特徴を下表に示す。

表 10 移動速度推定方法

利用方式	利点	欠点
位置情報	・位置のみの利用で検出が容易	・位置誤差に依存
モーションセンサー	・時間応答性がよい	・センサー姿勢補正が必要 ・バイアス補正等のキャリブレーションを頻繁に行わなければ誤差が蓄積する。また安価なMEMSセンサーは温度特性が悪い。
歩行特徴	・歩行動作を安定して検出可能	・歩行動作の個人差により精度が低下する。 ・時間応答性が悪い
電波ドップラー	・位置精度に比べ精度が良い	・複数の衛星電波を受信できない環境では方位検出不可

位置情報を利用する方法は、方位推定と同様に、移動した2点間の位置情報（距離と時間）から速度を算出するため、位置精度が悪い場合は大きな誤差が生じる。そのため、正しい速度を検出するには、比較的長い時定数のフィルタ等が必要になる。一定の速度で歩行を継続している場合には、精度よく速度を推定できるが、歩行開始時や歩行停止時の速度推定には適さない。

加速度センサーを利用する方法では、加速度センサーは重力加速度も検出するため、センサー姿勢を固定するか、逐次姿勢検出を行うことで、重力加速度成分を除く必要がある。また、加速度を時間積分するため、時間経過にともない速度誤差が累積してしまう。さらに、スマートフォン等に搭載されている安価なMEMSセンサーは、バイアスを有しており、加えて温度特性が悪く、頻繁にキャリブレーションを行わなければならない。以上の理由

により、加速度センサーの利用は歩行者での使用には適さない。

歩行特徴を利用する方法は、モーションセンサーを利用する方式であるが、センサー値から直接速度を算出するのではなく、歩行時の動作の特徴を検出して歩行ピッチを検出し、歩行ピッチや加速度と、歩行速度との相対関係性を利用して、歩行速度を推定する方法であり、PDR（歩行者自律航法）で主に用いられている方法である。歩行動作には個人差があるため、精度を上げるためには個人毎に最適化を行う必要がある。また、歩行動作を安定に検出するためには、数歩の歩行が必要であり、歩行開始時の検出に課題がある。

電波のドップラー効果を利用する方式は、移動速度推定で述べたように、複数の衛星に対する速度を合成することで、移動速度と方向を推定することができる。

以上の理由により、電波のドップラー効果を利用する方式が、歩行者での使用に適しており、この方式を主に使用し、衛星環境等の理由で使用できない場合は、歩行特徴を利用して歩行速度を検出して、補完する方式とした。

3.1.1.4 評価

3.1.1.4.1 移動方向・速度検出精度（高層ビル街）

新宿のほぼ直線のコースを往復し、移動方向、移動速度の精度評価を行った。

- 試験条件

試験場所：新宿高層ビル街

測定構成：スマートフォン-GNSS 測位端末（端末間は Bluetooth 接続）

GNSS 端末保持状態：帽子上固定

スマートフォン保持状態：手持ち（被験者がスマートフォンの画面が見える位置にほぼ固定した”歩きスマホ”と言われている状態で保持）

歩行経路：新宿中央公園北から新宿警察署裏のほぼ直線道路を 8 往復（下図の赤ライン）

スタート地点から折り返し地点に向けて歩行し、折り返し地点で停止した後、方向転換しスタート地点に向けて歩行する。途中の停止地点にて停止する。

スタート地点：北緯 35.69180523 °、東経 139.6901651 °

折り返し地点：北緯 35.69246747 °、東経 139.6942896 °

歩行速度：約 1.4m/s（5km/h）

初期状態：Hot Start



図 35 新宿歩行コース

- 移動方向検出精度結果

静止時を除いた、移動時に検出した、移動方向の誤差について検証を行った。期待方位は、予め測量器等で位置座標を求めている、各停止地点間の方位とした。

各施行回の全データに対する結果、誤差分布、誤差の絶対値の累積分布を示す。

この結果から以下のことがわかる。

- 平均誤差：約 1 度
- 標準偏差：15～20 度
誤差の 68%が約 10 度以内であるが、95%では約 35 度に広がっている。
- ±45 度以上の誤差の頻度が高い

標準偏差が大きく、誤差分布が広がっているのは、機器を帽子上に装着しており、歩行時に左右を注意するために、頭を左右に振る動作に大きく起因している。

±45 度以上の誤差が生じているのは、主に歩行開始直後であり、これも、頭を左右に振る動作に起因する。

表 11 移動時の方向検出誤差

	平均誤差 [度]	標準偏差 [度]	中央値 [度]	最小 [度]	最大 [度]	方位 検出数	移 動 時 EPOCH 数 (1s 周期)	方位検出率
全データ	-0.6	17.7	0.1	-148.7	151.7	2282	4155	54.9%
1 回目	-1.3	21.4	1.0	-148.7	66.6	380	520	73.1%
2 回目	1.6	19.2	1.4	-96.3	131.0	283	525	53.9%
3 回目	-1.4	17.3	-0.3	-90.4	98.5	312	535	58.3%
4 回目	-2.6	15.5	-0.8	-99.0	51.5	258	534	48.3%
5 回目	-0.9	12.9	0.1	-61.4	106.1	276	519	53.2%
6 回目	0.4	15.7	-0.2	-69.6	151.7	263	507	51.9%
7 回目	-0.5	18.3	0.2	-101.5	88.8	248	512	48.4%
8 回目	-0.1	18.0	0.6	-147.3	97.5	262	503	52.1%

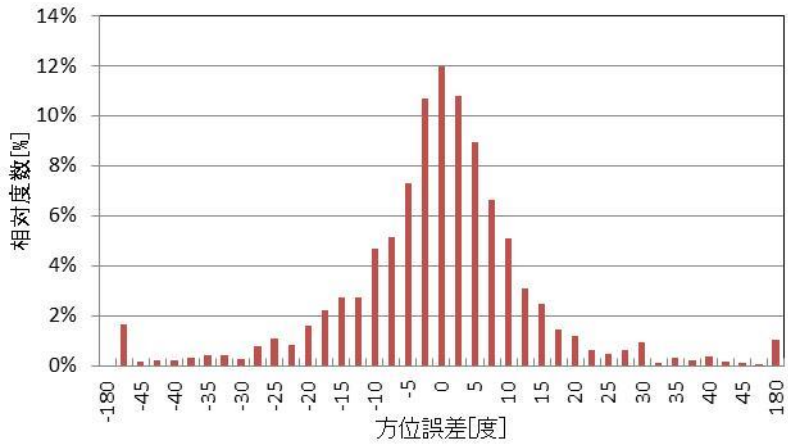


図 36 方位誤差分布

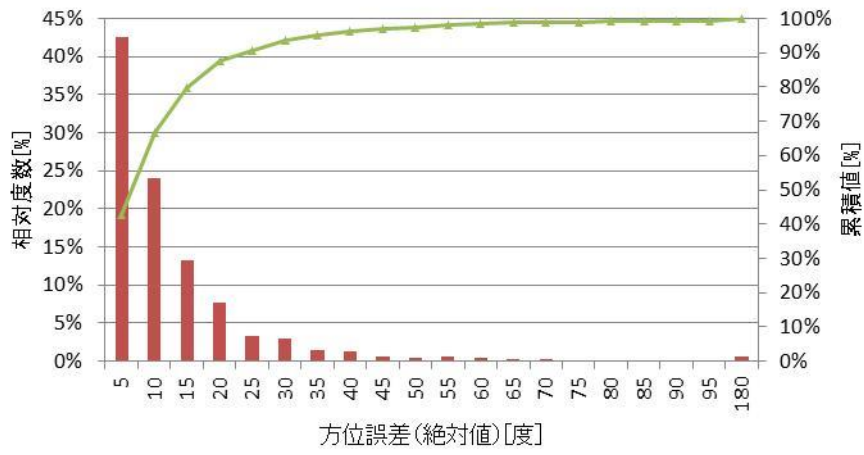


図 37 方位誤差 (絶対値) 分布と累積分布

- 移動速度検出精度結果

静止時を除いた、移動時に検出した移動速度の誤差について、検証を行った。期待速度は、予め測量器等で位置座標を求めている、各停止地点間の距離を、2地点間の移動に要した時間で除算した平均速度とした。

移動速度について、各施行回の全データに対する結果、誤差分布、誤差の絶対値の累積分布を以下に示す。この結果から以下のことがわかる。

- 平均誤差：0.1m/s 以下
- 標準偏差：約 0.5m/s
誤差の 68%が約 0.3m/s 以内であるが、95%では約 1.2m/s に広がっている。
- -1.2m/s 以下の誤差の頻度が高い

標準偏差が大きく、誤差分布が広がっているのは、歩行動作自体に速度の高低があることに起因している。

-1.2m/s 以下の誤差が生じているのは、歩行開始直後と、歩行中の検出速度が”0”になる場合であった。

表 12 移動時の速度検出誤差

	平均誤差 [m/s]	標準偏差 [m/s]	中央値 [m/s]	最小 [m/s]	最大 [m/s]	速度 検出数	移 動 時 EPOC 数 (1s 周期)	速度検出率
全データ	0.01	0.47	0.04	-1.55	5.80	2282	4155	54.9%
1 回目	0.03	0.55	0.02	-1.49	2.96	380	520	73.1%
2 回目	0.04	0.52	0.03	-1.51	4.36	283	525	53.9%
3 回目	0.05	0.47	0.03	-1.50	5.80	312	535	58.3%
4 回目	0.03	0.40	0.04	-1.49	1.93	258	534	48.3%
5 回目	-0.03	0.43	0.05	-1.55	1.39	276	519	53.2%
6 回目	-0.06	0.39	0.01	-1.54	1.13	263	507	51.9%
7 回目	-0.07	0.47	0.03	-1.52	2.35	248	512	48.4%
8 回目	0.03	0.40	0.05	-1.55	1.49	262	503	52.1%

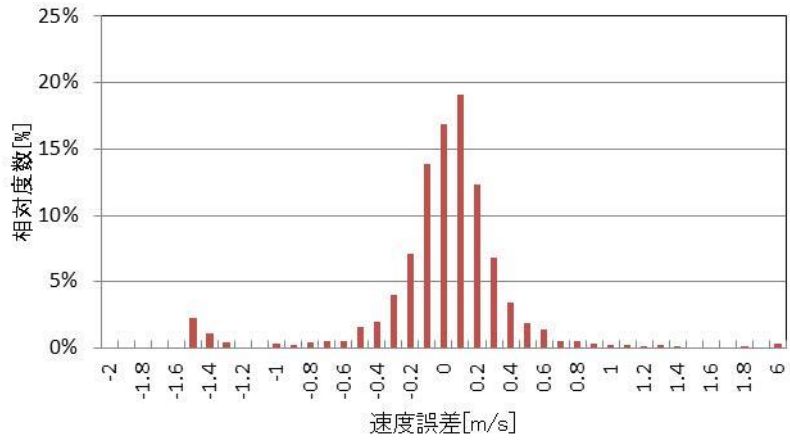


図 38 速度誤差分布

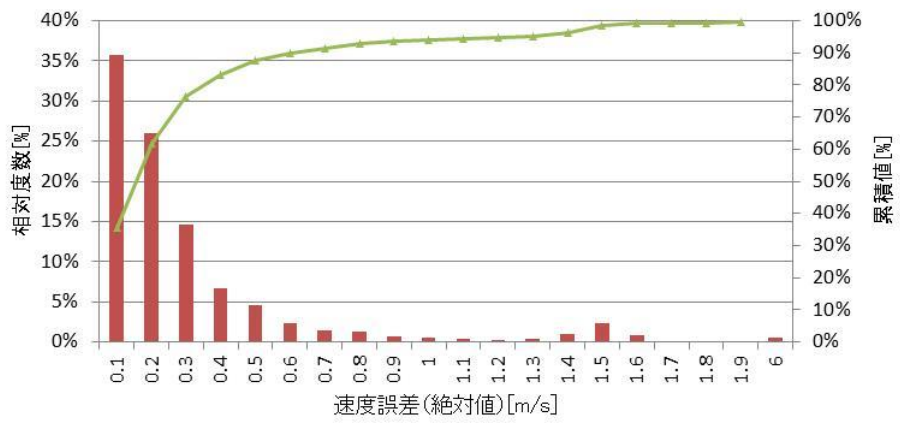


図 39 方位誤差（絶対値）分布と累積分布

3.1.1.4.2 衛星測位精度（高層ビル街）

- 試験条件

移動方向、速度検出時と同じ新宿コース往復において、静止時を含むコース往復時の測位誤差について検証を行った。期待位置は、予め測量器等で位置座標を求めている、各停止地点間を、一定速度で歩行しているため、各停止地点からの移動開始時間と、到達時間を測定し、移動開始時間からの経過時間で、各時刻の期待位置を算出した。

- 試験結果

各施行回の全データに対する結果と、誤差分布、累積分布を以下に示す。

この結果から以下のことがわかる。

- 平均誤差：14m

- 標準偏差：約 24m

誤差の 68%が約 12m、95%では約 45m に広がっている。

- 100m 以上の誤差の頻度が高い

表 13 衛星測位誤差

	平均誤差 [m]	標準偏差 [m]	中央値 [m]	最小[m]	最大[m]	測位率
全データ	14.1	23.6	7.7	0.1	206.8	62.8%
1回目	9.1	6.6	7.7	0.3	48.9	79.9%
2回目	21.1	29.6	9.2	1.2	186.3	53.8%
3回目	21.7	18.8	16.0	0.8	97.5	63.5%
4回目	8.4	5.8	6.4	0.4	34.7	55.8%
5回目	8.6	5.5	6.8	0.7	28.0	62.7%
6回目	22.5	44.9	11.1	0.3	206.8	61.0%
7回目	16.0	30.2	5.9	0.1	144.2	61.7%
8回目	7.3	5.5	5.7	0.5	34.3	64.1%

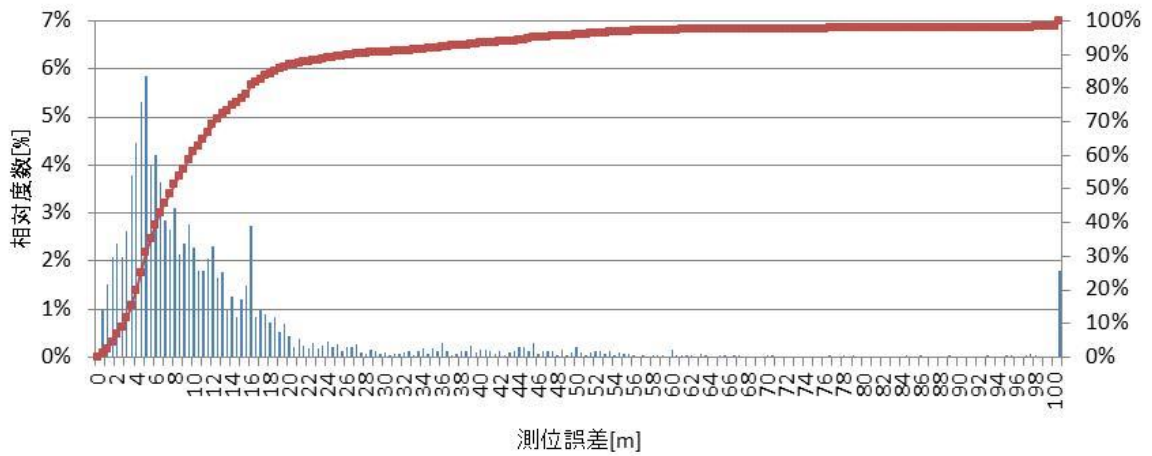


図 40 測位誤差分布と累積分布

誤差要因分析のため、測位に使用した衛星数、および HDOP に関して解析を行った。以下に、測位に使用した衛星数の頻度分布表を示す。80%以上が 5 衛星以下であり、最大で 8 衛星であった。

表 14 使用衛星数の頻度分布表

使用衛星数	測位回数	相対度数	累積相対度数
3	824	21.3%	21.3%
4	1427	36.9%	58.3%
5	877	22.7%	81.0%
6	450	11.6%	92.6%
7	239	6.2%	98.8%
8	47	1.2%	100.0%

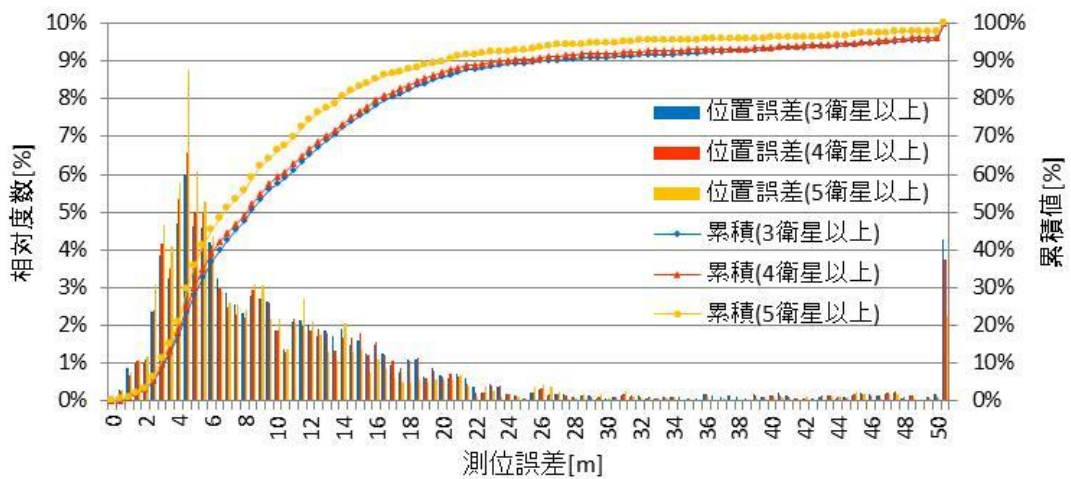
続いて、衛星数が多いほど測位精度が良いか確認するため、使用する衛星数の最低数を制限した場合の、測位誤差との関係を、以下に示す。最低数を 3~8 衛星の間に設定した場合の誤差精度 (50%,68%,95%)、および誤差の発生頻度とその累積分布である。

表 15 使用衛星数を制限した場合の誤差分布表

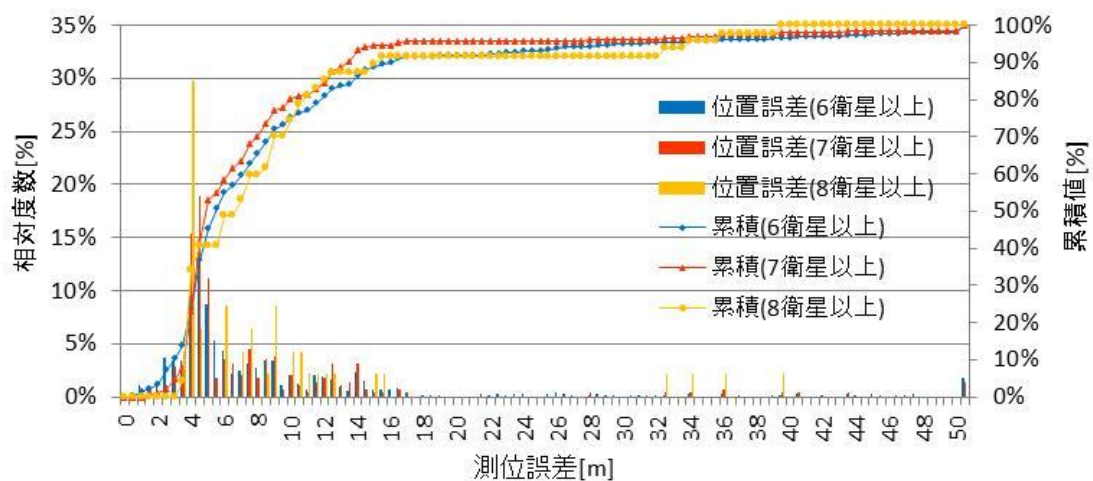
使用衛星数	CEP(50%) [m]	DRMS(68%) [m]	2DRMS(95%) [m]
3 以上	8.5	13.0	47.0

4 以上	8.5	12.5	45.5
5 以上	7.0	11.0	31.0
6 以上	5.5	8.5	30.5
7 以上	5.0	7.5	16.5
8 以上	7.0	9.0	34.0

これより 7 衛星以上とした場合が最も精度が良く、誤差の 68% が約 8.5m 以内である (95% は約 16.5m 以内)。しかし、最低数を 7 衛星とした場合、測位成功した中の約 7% であり、測位自体が成功する測位率は約 60% のため、測位率が 4% 程度に落ちてしまう。



(a)使用衛星数が、3 衛星以上、4 衛星以上、5 衛星以上の場合



(b)使用衛星数が、6 衛星以上、7 衛星以上、8 衛星以上の場合

図 41 使用衛星の制限数に対する衛星測位誤差の分布

施行回の中で最も測位精度が良い第 5 回と、最も精度の悪い第 6 回について、使用衛星の最低数を 3~8 衛星の間に設定して、統合測位のシミュレーションを行った。

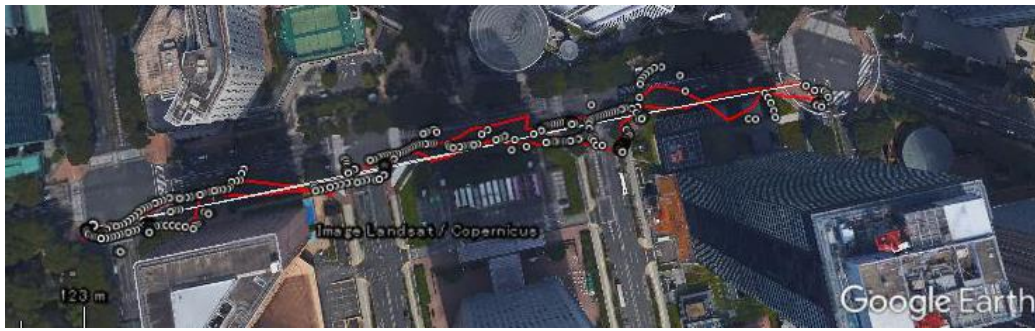
測位誤差の結果を以下に示す。第 5 回は使用衛星の最大数は 6 だったため、6 衛星までの結果である。

表 16 衛星数と測位精度の関係 (第 5 回)

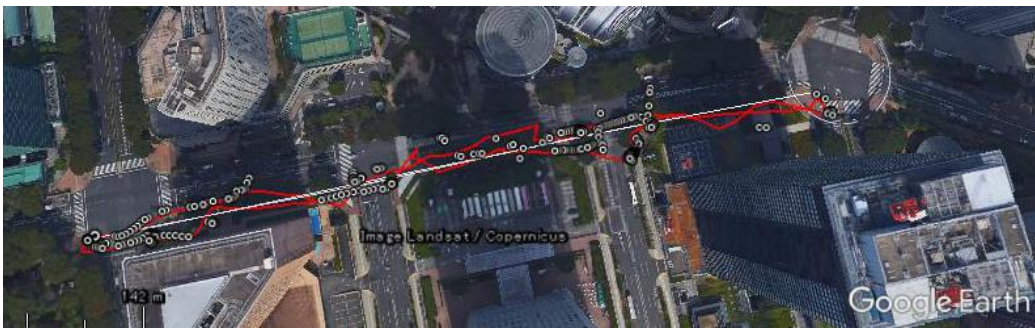
衛星数	方式	平均[m]	標準偏差[m]	中央値[m]	最大[m]	測位率[%]
衛星数	統合測位	7.5	4.9	6.4	21.2	100
3 以上	衛星測位	8.6	5.5	6.8	28.0	62.70
衛星数	統合測位	8.0	4.6	6.8	18.5	100
4 以上	衛星測位	7.9	4.8	6.3	24.6	43.50
衛星数	統合測位	7.1	4.6	6.0	18.4	100
5 以上	衛星測位	7.4	4.4	6.2	17.9	9.60
衛星数	統合測位	11.3	5.5	11.2	21.1	100
6 以上	衛星測位	9.8	4.3	7.1	14.9	0.90

表 17 衛星数と測位精度の関係 (第 6 回)

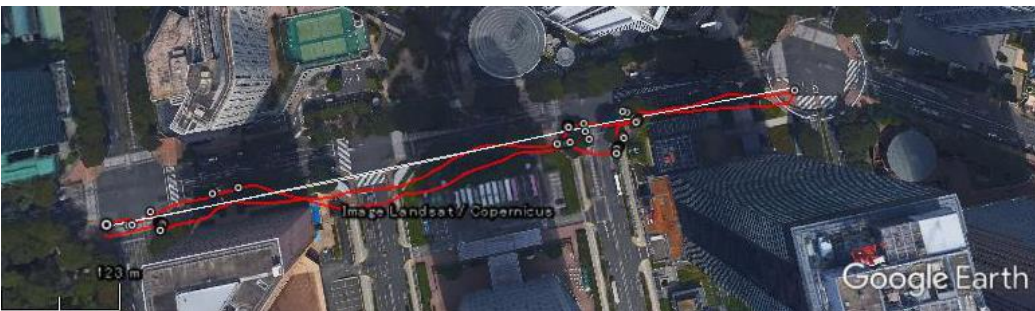
		平均[m]	標準偏差[m]	中央値[m]	最大[m]	測位率[%]
衛星数	統合測位	27.9	47.8	11.1	194.7	100
3 以上	衛星測位	22.5	44.9	11.1	206.8	61.00
衛星数	統合測位	27.4	48.7	10.8	201.3	100
4 以上	衛星測位	14.7	26.7	11.1	206.8	48.20
衛星数	統合測位	10.3	6.9	9.5	44.9	100
5 以上	衛星測位	11.3	9.2	10.3	96.6	30.40
衛星数	統合測位	13.3	12.3	10.3	48.0	100
6 以上	衛星測位	8.6	4.4	8.6	15.2	11.60
衛星数	統合測位	15.4	11.8	11.7	48.0	100
7 以上	衛星測位	8.7	4.8	9.9	15.2	7.1
衛星数	統合測位	29.3	22.0	18.5	62.5	100
8 以上	衛星測位	6.2	4.9	3.5	14.1	0.9



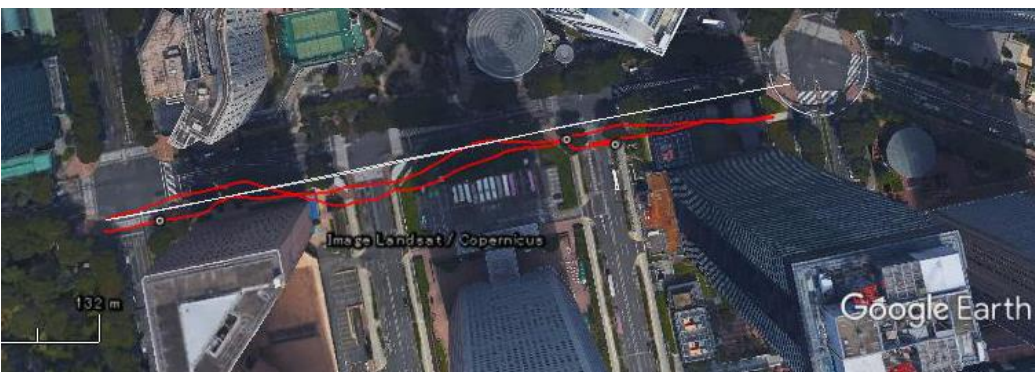
(a)衛星数 3 以上（下制限なし）



(b)衛星数 4 以上



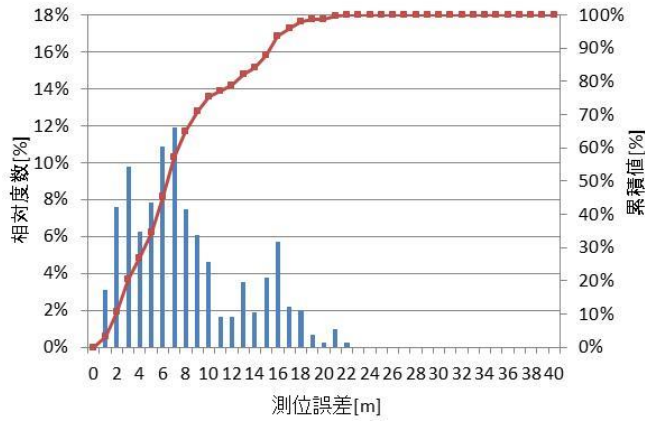
(c)衛星数 5 以上



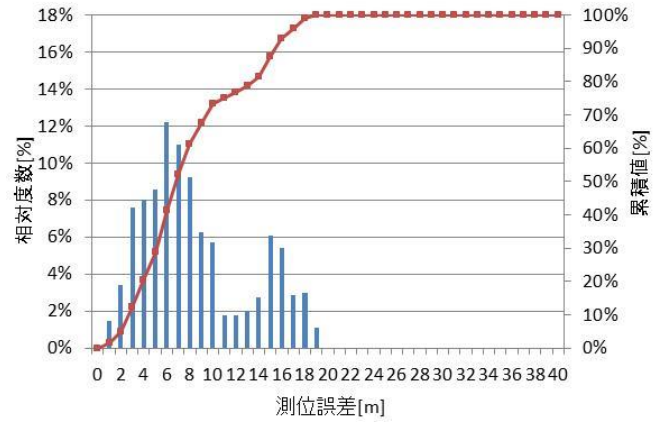
(d)衛星数 6 以上

白ライン：真値軌跡 赤ライン：測位軌跡 点：衛星測位結果

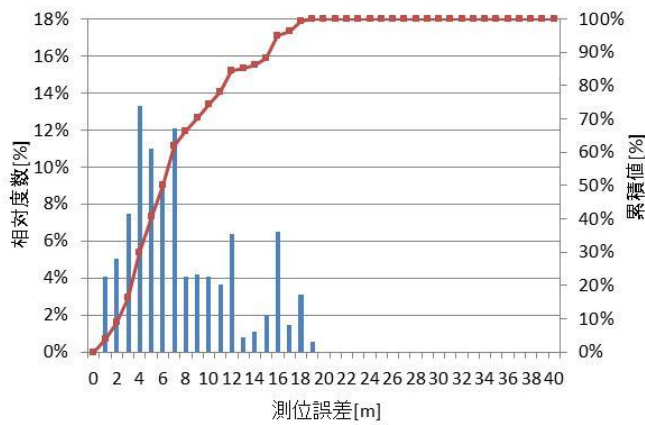
図 42 使用衛星の下制限数と測位軌跡（5 回目）



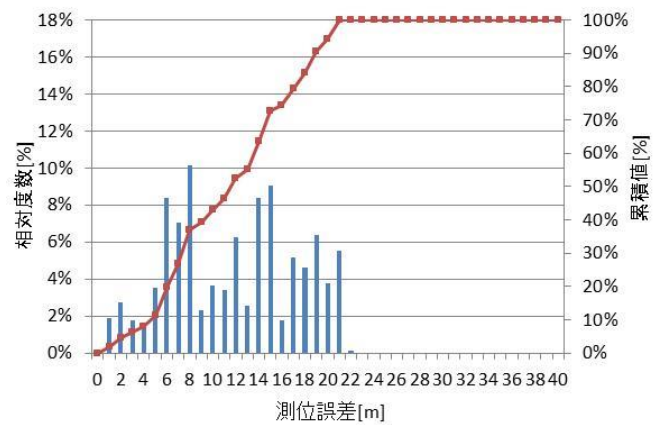
(a)衛星数 3 以上



(b)衛星数 4 以上

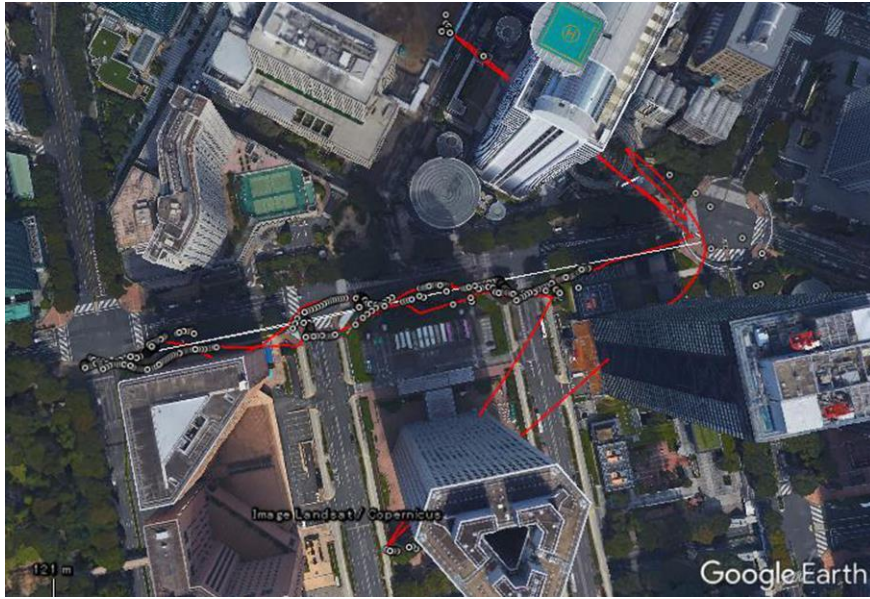


(c)衛星数 5 以上

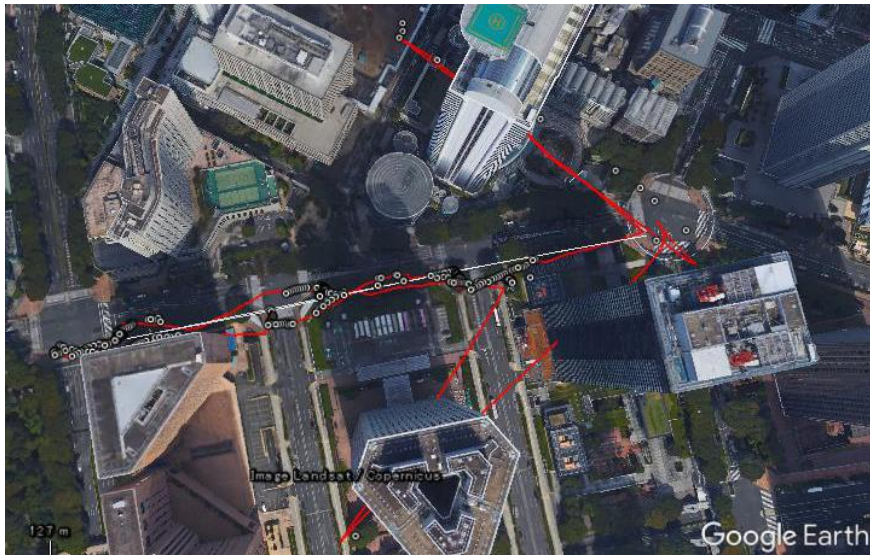


(d)衛星数 6 以上

図 43 使用衛星の下制限数と測位誤差分布 (5 回目)



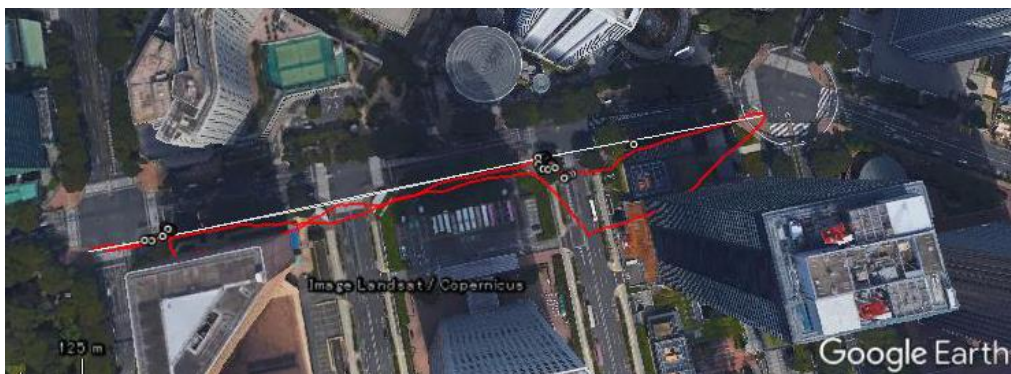
(a) 衛星数 3 以上



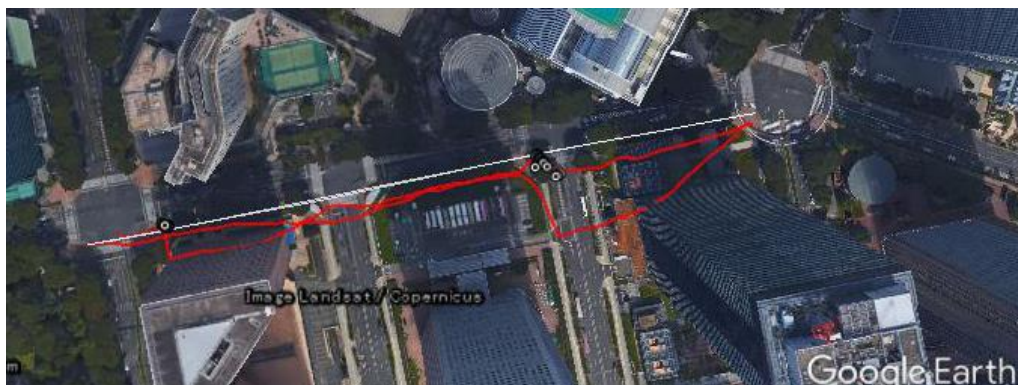
(b) 衛星数 4 以上



(c) 衛星数 5 以上



(d)衛星数 6 以上

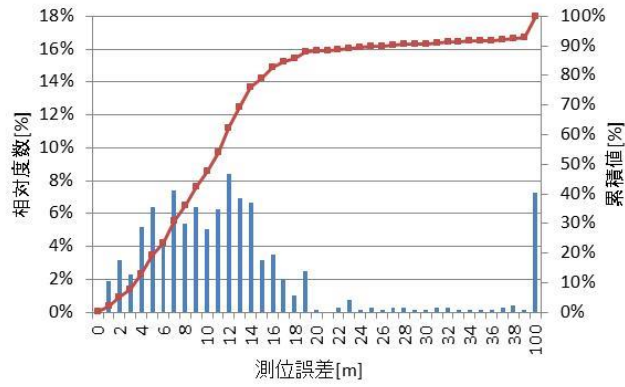


(e)衛星数 7 以上

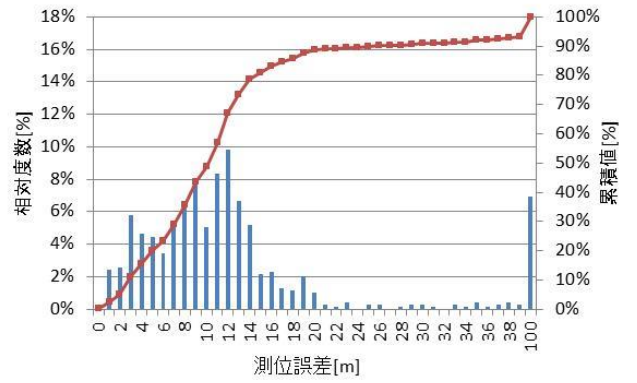


(f)衛星数 8 以上

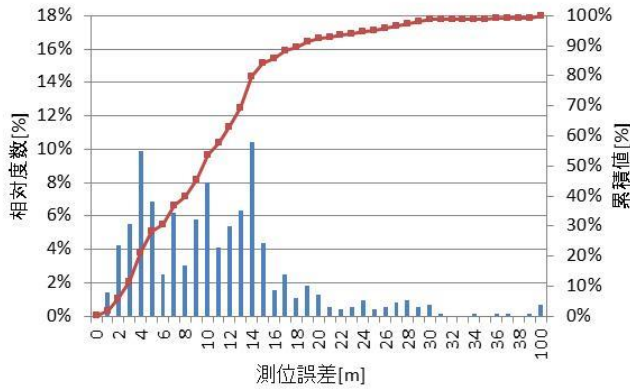
図 44 使用衛星の下制限数と測位軌跡（6 回目）



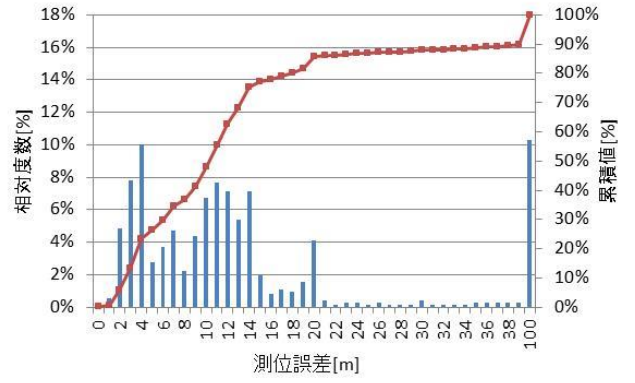
(a)衛星数 3 以上



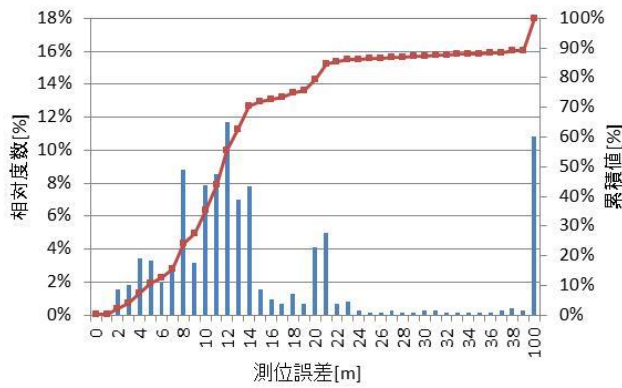
(b)衛星数 4 以上



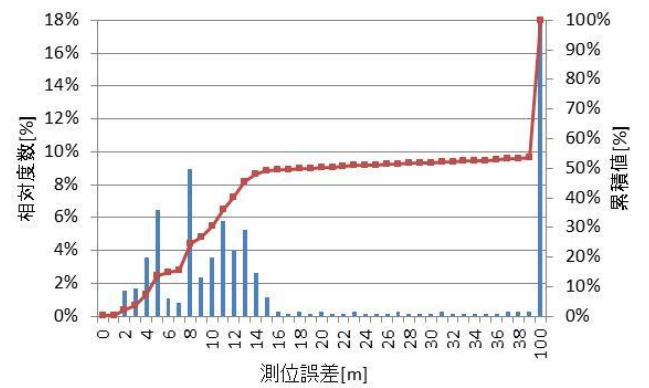
(c)衛星数 5 以上



(c)衛星数 6 以上



(c)衛星数 7 以上



(c)衛星数 8 以上

図 45 使用衛星の下制限数と測位誤差分布 (6 回目)

3.1.1.4.3 高架橋下

高架橋下のほぼ直線のコースを往復し、高架橋下の衛星測位から自律航法へのシームレスな測位の実現、およびその精度の評価を行った。

- 試験条件

試験場所：東京都千代田区一ツ橋 1 丁目 首都高速都心環状線高架下

測定構成：スマートフォン-GNSS 測位端末（端末間は Bluetooth 接続）

GNSS 端末保持状態：帽子上固定

スマートフォン保持状態：手持ち（被験者がスマートフォンの画面が見える位置にほぼ固定した”歩きスマホ”と言われている状態で保持）

歩行経路：一ツ橋河岸交差点から平川門交差点を 7 往復（下図の赤ライン）

地点 A と地点 B の間を歩行。地点 A から地点 B への歩行を往路、地点 B から地点 A への歩行を復路とする。

地点 A：北緯 35.691755 °、東経 139.758767 °

地点 B：北緯 35.690575 °、東経 139.758661 °

歩行速度：約 1.4m/s (5km/h)

初期状態：Hot Start



(a) 試験経路



(b) 北側(地点 B 側)からの高架橋風景

図 46 一ツ橋歩行コース

(Google)

● 試験結果

往路、復路の測位軌跡を、7回分をまとめて以下に示す。ここでは、前節で述べた測位に使用する衛星数の制限は行っていない。

衛星測位環境の悪い高架橋下付近でのシームレスな測位は実現できているが、高架橋下やその付近では地磁気の変動があり、その影響により進行方位の誤差が大きくなり、その結果、測位精度の劣化が生じている。

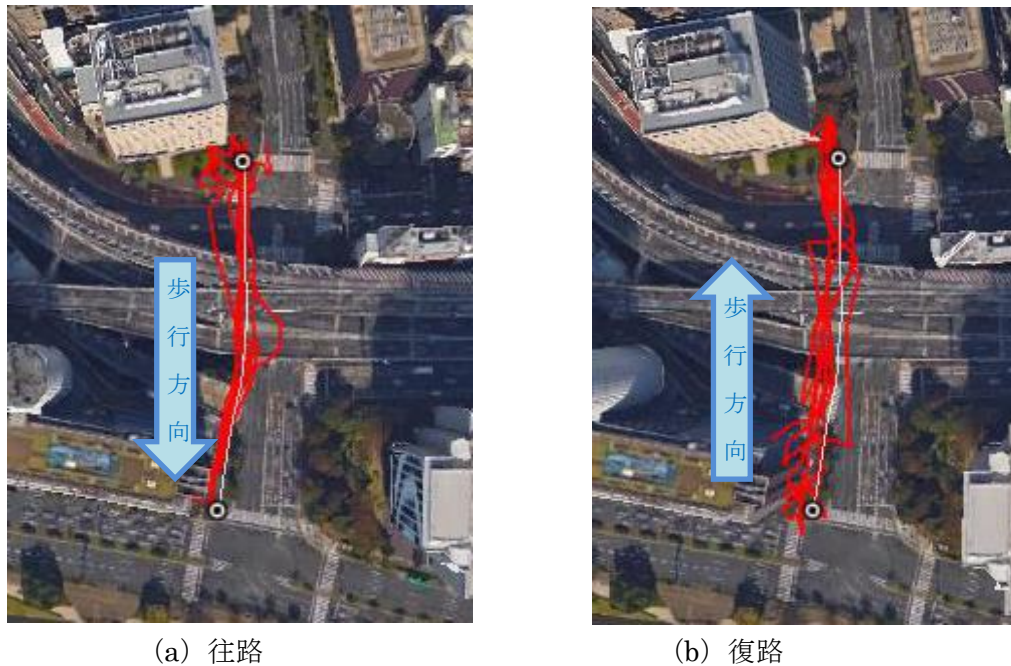


図 47 高架下歩行時の測位結果

(Google)

往路、復路共にスタート直後の測位誤差が大きくなっている。これは HotStart 直後に、全衛星を対象とした測位から開始しており測位が安定していないためである。

往路について、高架橋下に入る前の測位精度と進行方向の誤差が大きい 1 回目と、高架橋下で進行方向が東（図中の右）に大きく向いてしまっている 2 回目に関する分析結果を以下に記載する。

まず 1 回目の結果について以下に説明する。(a) に示すように、高架橋下に侵入する前の位置誤差が大きく、高架橋下での進行方向が、やや東（図中右）寄りになってしまっている（東寄りになることで結果的には真値に近づいている）。高架橋下に侵入する前の使用衛星数は、6~9 衛星あり、衛星数の下限を設けても衛星測位精度の改善効果は得られなかった。

次に高架橋下侵入前の衛星配置と使用衛星を同図の (b) に示す。同図から使用衛星が天空の西側に寄っている。この不均等な衛星配置により、大きな測位誤差が発生している。高架橋下に侵入する進行方向が、東寄りになっていることも、不均等な衛星配置が、ドップラー偏差による方位検出に影響しているためである。また、高架橋下に侵入する直前の進行方向が更に東寄りに向いているのは、直前で GPS 衛星番号 18、GLONASS 衛星番号 12 の直接波が高架橋に遮られて、順に使用しなくなってきており、そのため、さらに使用衛星が東側に偏り、検出方位が東寄りになっている。

次に、高架橋下の後半において、やや東側に向いているが、これは地磁気の変化の影響を受けていると考えられる。下記に推定した進行方向（カルマンフィルタ出力）、スマートフォンの地磁気センサーで検出した地磁気方位、ドップラー偏差で検出した方位、およびドップラー方位の利用有無の時系列を示す。

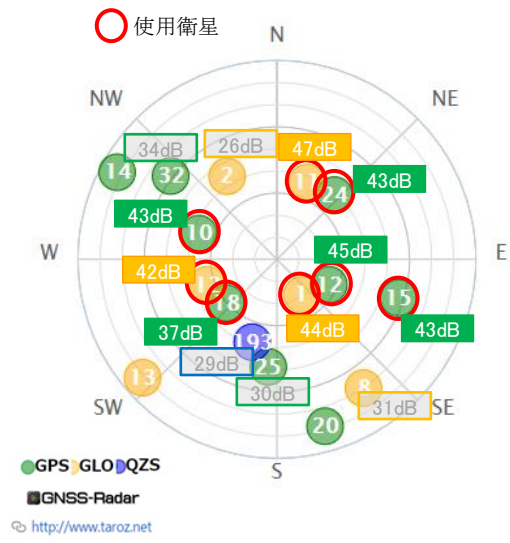
図において、ドップラー方位使用有無のラインが”1”の時がドップラー方位を利用していることを示し、”0”が利用していないことを示している。最初と最後の”0”の区間はそれぞれ地点 A、B での停止時を示しており、途中の”0”の区間が高架橋下でドップラー方位を利用していないことを示している。

高架橋下ではドップラー方位を利用せず、PDR のみで自律航法を行っている。PDR では、スマートフォンのジャイロスコープにより検出した旋回角を利用して、進行方向の変化を推定している。スマートフォンの姿勢補正を行うために地磁気方位を使用しているため、地磁気方位が偏向した場合、旋回角の誤差が生じる。図(a)の 55 秒付近で地磁気方位が大きくなるに伴い、進行方位が小さくなっている。これは、地磁気方位の変化により、逆方向の旋回を検出しているためである。スマートフォンに搭載された地磁気センサーが検出した磁力を示す。全磁力により高架橋下では地磁気が乱れている。



歩行軌跡 (赤ライン)

(a) 歩行軌跡と衛星測位ポイント (Google)



衛星測位結果 (◎)

(b) 衛星配置と受信 CN

図 48 往路 1 回目結果と高架橋侵入前の衛星配置

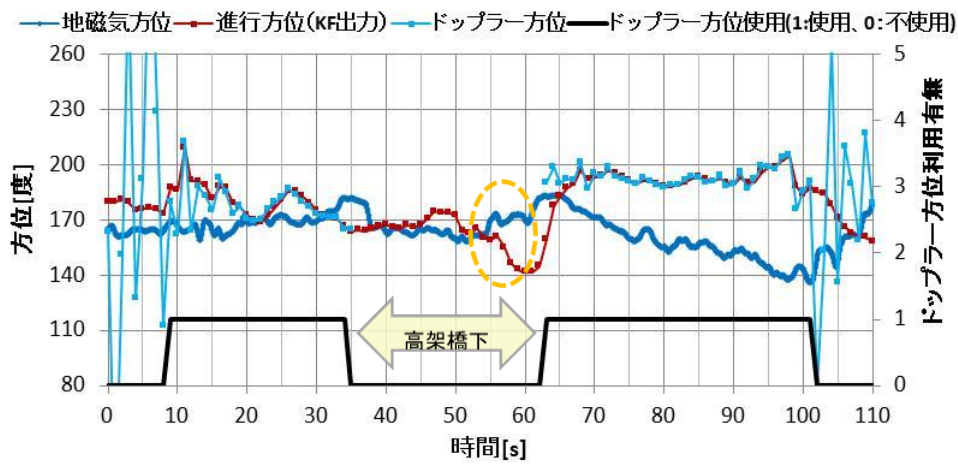
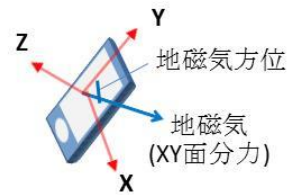


図 49 往路 1 回目の進行方位と地磁気方位



(a) スマートフォンでの検出地磁気



(b) スマートフォン 3 軸説明図

図 50 往路 1 回目のスマートフォンセンサーでの検出地磁気

続いて、往路 2 回目について以下に説明する。

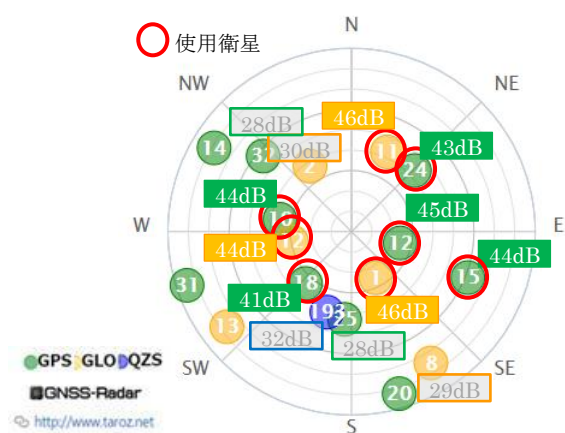
往路 1 回目と同様に、歩行軌跡と、高架橋侵入前の衛星配置、進行方位とスマートフォンで検出した地磁気方位、スマートフォンに搭載された地磁気センサーが検出した磁力を以下に示す。

1 回目と同じく、高架橋侵入前の衛星配置の不均等により測位位置が西側に寄っており、高架橋侵入方位が東側に寄っている。また高架橋下の PDR 動作においても、地磁気の偏差により進行方位が東方向にずれている。



歩行軌跡 (赤ライン)

(a) 歩行軌跡と衛星測位ポイント (Google)



衛星測位結果 (◎)

(b) 衛星配置と受信 CN

図 51 往路 2 回目結果と高架橋侵入前の衛星配置



図 52 往路 2 回目の進行方位と地磁気方位



図 53 往路 2 回目のスマートフォンセンサーでの検出地磁気

3.1.1.4.4 屋外・屋内移動

完全に衛星測位ができない屋内と、衛星測位が可能な屋外との間の移動において、シームレスな測位の実現、およびその精度の評価を行った。

- 試験条件

試験場所：神奈川県横浜市都筑区 パナソニック佐江戸事業所構内

測定構成：スマートフォン-GNSS 測位端末（端末間は Bluetooth 接続）

GNSS 端末保持状態：帽子上固定

スマートフォン保持状態：手持ち（被験者がスマートフォンの画面が見える位置にほぼ固定した”歩きスマホ”と言われている状態で保持）

歩行経路：屋外から屋内に入り建物内を通過し、屋根のある屋外に出た後、建物に沿って屋外を歩行。5回実施。（下図の赤ライン）

地点 A と地点 B の間を歩行。地点 A から地点 B への歩行を往路、地点 B から地点 A への歩行を復路とする。139.5625621685413,35.51394076620358

地点 A：北緯 35.513662 °、東経 139.563697 °

地点 B：北緯 35.513941 °、東経 139.562562 °

歩行速度：約 1.4m/s (5km/h)

初期状態：Hot Start



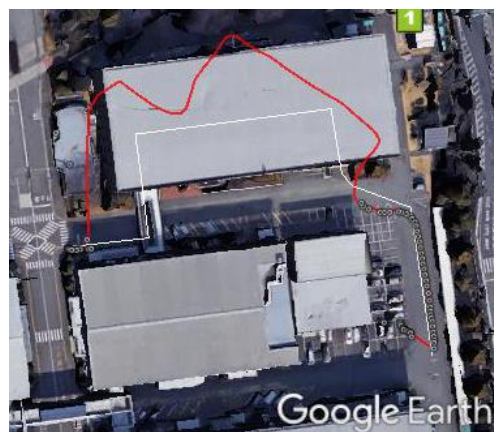
図 54 屋外・屋内移動の歩行コース

- 試験結果

測位軌跡を以下に示す。



(a) 1回目



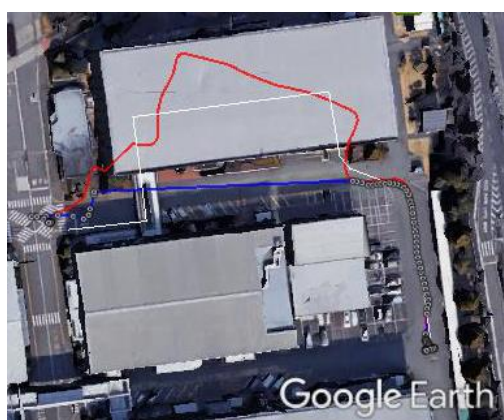
(b) 2回目



(c) 3回目



(d) 4回目



(e) 5回目

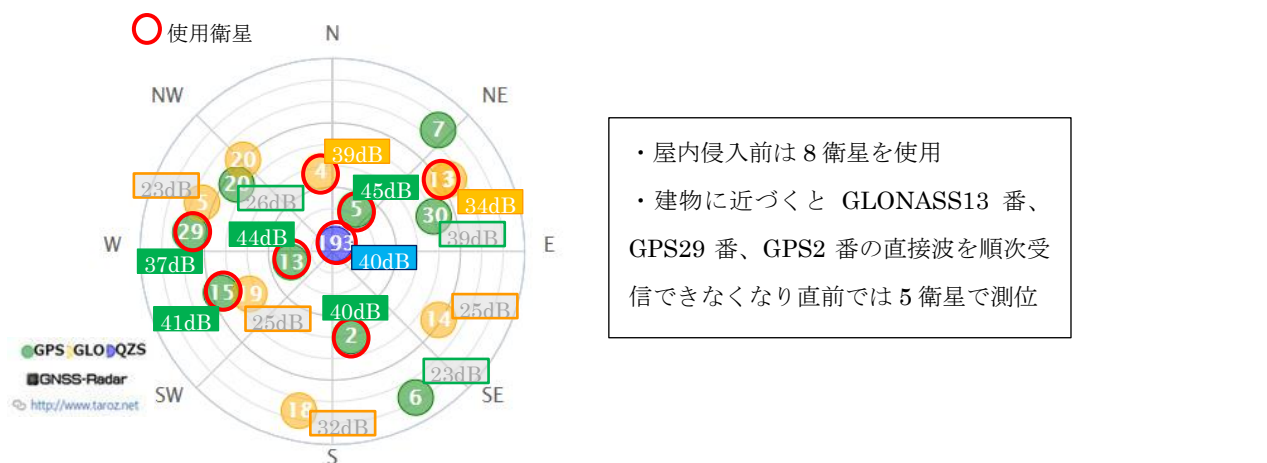
図 56 屋外・屋内移動時の測位結果

シームレスな測位は実現できており、屋内での自律航法も精度よくできているが、屋内侵入時の方位ずれにより、再度屋外に出た地点の測位誤差が大きくなっている。また、屋外に出る際の方位ずれも生じている。この方位ずれは屋外・屋内境界での地磁気の乱れに起因すると考えられる。

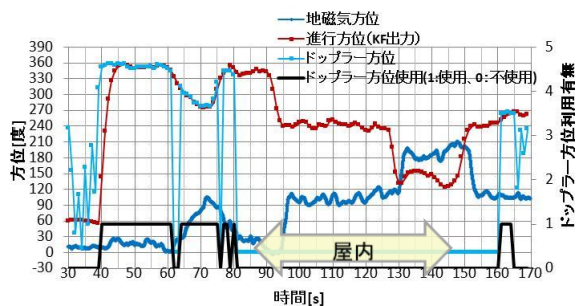
1 回目の結果について以下に説明する。

屋内移動での進行方位のずれのため、その後の屋外に出た地点の誤差が大きくなっている。前節の高架橋下試験と同様に、屋内侵入前の使用衛星の衛星配置、および進行方位と検出地磁気の時系列を以下に示す。

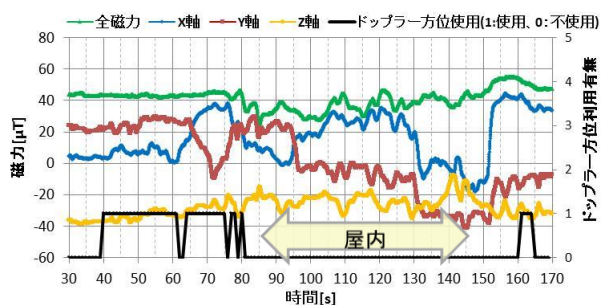
同図 (c) の全磁力により、屋内や屋内付近では地磁気が乱れている。この地磁気の変動が屋内侵入時の方位ずれに影響しているためである。



(a) 衛星配置と屋内侵入前の使用衛星



(b) 進行方位と地磁気方位



(c) スマートフォンでの検出地磁気

図 57 1 回目の衛星配置と地磁気

3.1.1.5 改善検討

表 18 改善検討一覧

課題	対策案
マルチパス誤差対策として、直接波を受信できる衛星に制限して測位を行った場合、使用衛星数が多くても、水平誤差の改善効果が不十分	<ul style="list-style-type: none"> ・使用衛星数以外の精度評価指標を導出し、精度の良い測位結果のみを使用する 案：高度誤差（変動）等 ・Beidou、Galileo 等他測位システムに対応することで衛星数を増やす。
方位誤差の改善	<ul style="list-style-type: none"> ・ドップラー偏差を利用する際の、利用衛星配置の精度評価指標を導出し、精度の良い検出方位のみを利用する ・ドップラー偏差による速度ベクトル検出で、反射波を利用しないように衛星選択を実施する。 ・地磁気方位の精度を評価し、精度の良い場合に利用する
屋内から屋外への移動時の測位精度改善	<ul style="list-style-type: none"> ・使用衛星数以外の精度評価指標を導出し、精度の良い測位結果のみを使用する

3.1.2 測位精度の安定化と消費電力のバランス検討

3.1.2.1 測位周期と電流

3.1.2.1.1 測定系

測位端末の測位状態（測位開始/停止・測位周期・スリープ状態）を変化させた時の、電池端電流の変化を測定した。

測位端末の電流測定系を図 58 に示す。

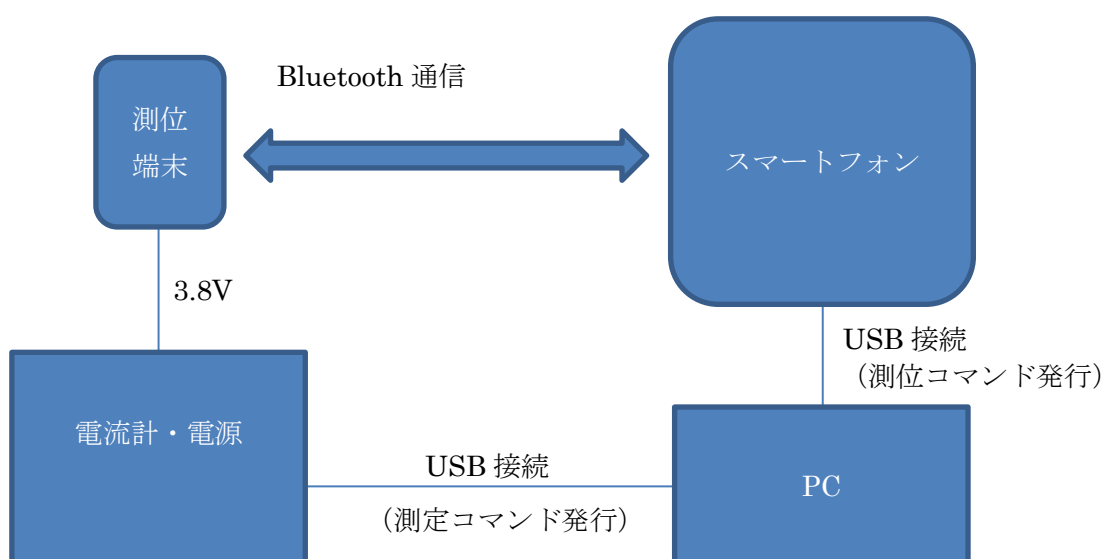


図 58 測位端末の電流測定系

測位端末の電池を取り除き、電流計・電源を接続し、電力を供給する。

電流計・電源は、PC と接続し、供給電圧の制御および電流値のログを集計する。

測位端末の測位情報の取得および、測位コマンド発行（測位開始・停止・周期変更等）は、実際の実証実験時の構成と同等の、Bluetooth 接続したスマートフォンから行う。

スマートフォンは、PC と接続され、PC 側で測位情報の記録および、PC 側からの測位開始・停止・周期変更等の測位コマンドの発行指示を解釈して、Bluetooth 経由で測位端末に対して、測位コマンドを発行する。

3.1.2.1.2 測定シナリオ

測定した測定シナリオを、表 19 に示す。PDR ON（有効）、PDR OFF（無効）を設定し、それぞれの測定シナリオにおける測位端末の電流値を測定した。

表 19 測定シナリオ

試験番号	測定内容	測定時間 [秒]
1	通常動作：1 秒周期の衛星測位	180
2	IDLE：@gstp コマンドで衛星測位停止	180
3.1	通常スリープ	180
3.2	Deep スリープ（ペリフェラル電源 OFF）	180
3.3	Deep スリープ（ペリフェラル電源 ON）	180
4.1	通常動作：1 秒周期での衛星測位	180
4.2	測定周期（3 秒周期 2 秒スリープ※）	180
4.3	測定周期（30 秒周期 29 秒スリープ※）	300
4.4	測定周期（60 秒周期 30 秒スリープ※）	600

※PDR ON の場合は、スリープなし

3.1.2.1.3 測定結果

測定結果を図 59、図 60 に示す。

横軸は一連の試験を連続で行ったときの相対時刻を表す。

縦軸は、左軸（第一軸）が消費電流、右軸（第二軸）が試験番号を表す。

同一の試験番号の時刻区間が、その試験番号の試験であることを表し、その時刻区間の消費電流が、試験の測定結果である。

消費電流値は、1 秒毎の平均値として集計している。

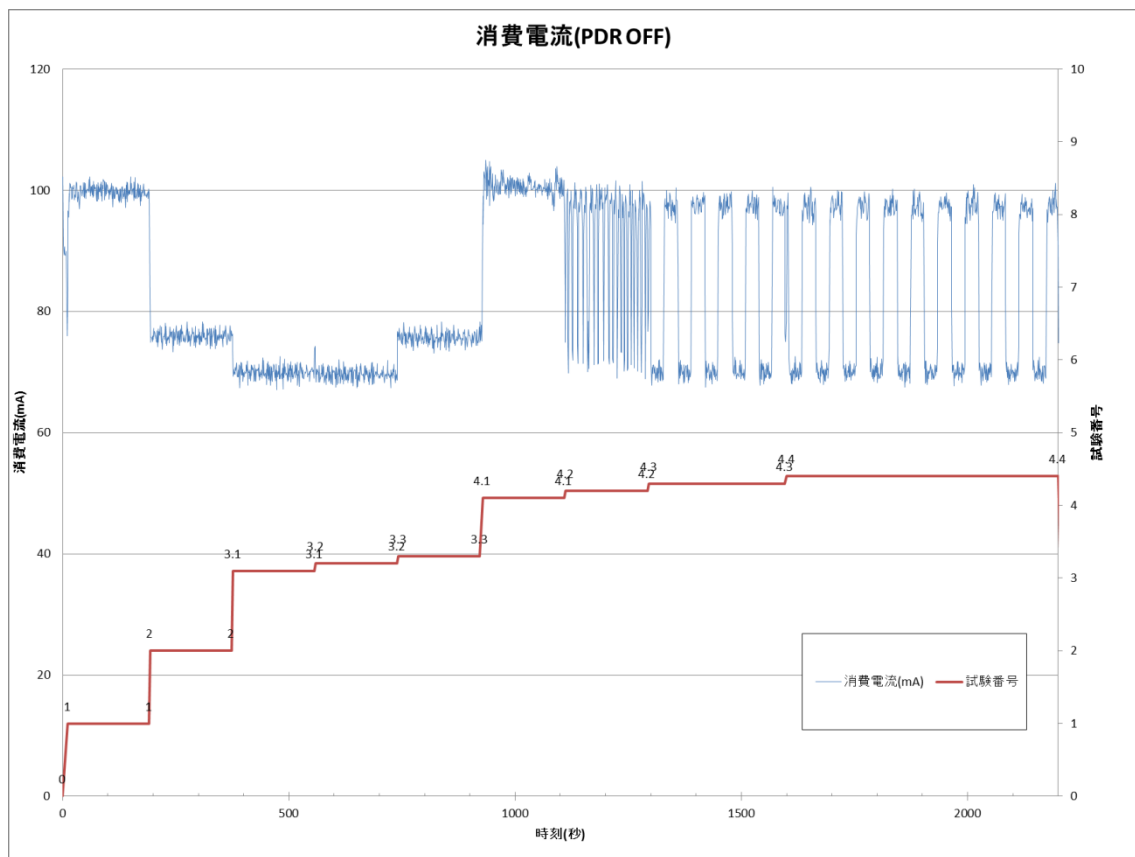


図 59 消費電流 (PDR OFF) 試験全体

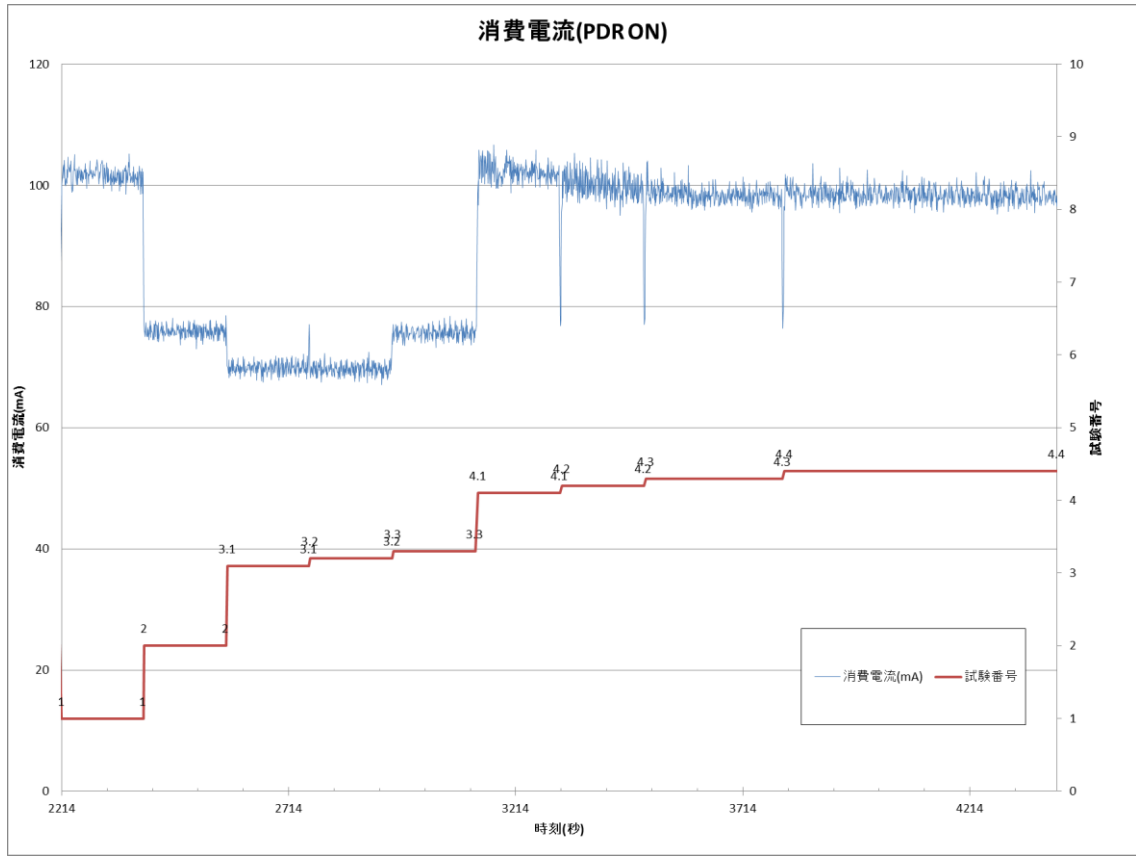


図 60 消費電流 (PDR ON) 試験全体

一例として、消費電流（PDR OFF）の試験番号 4.4 部分の拡大図を図 61 に示す。
図 61 を見ると、スリープと測位を繰り返しているため、消費電流が大きい値が続く区間と、消費電流が小さい値が続く区間が、交互に現れている。

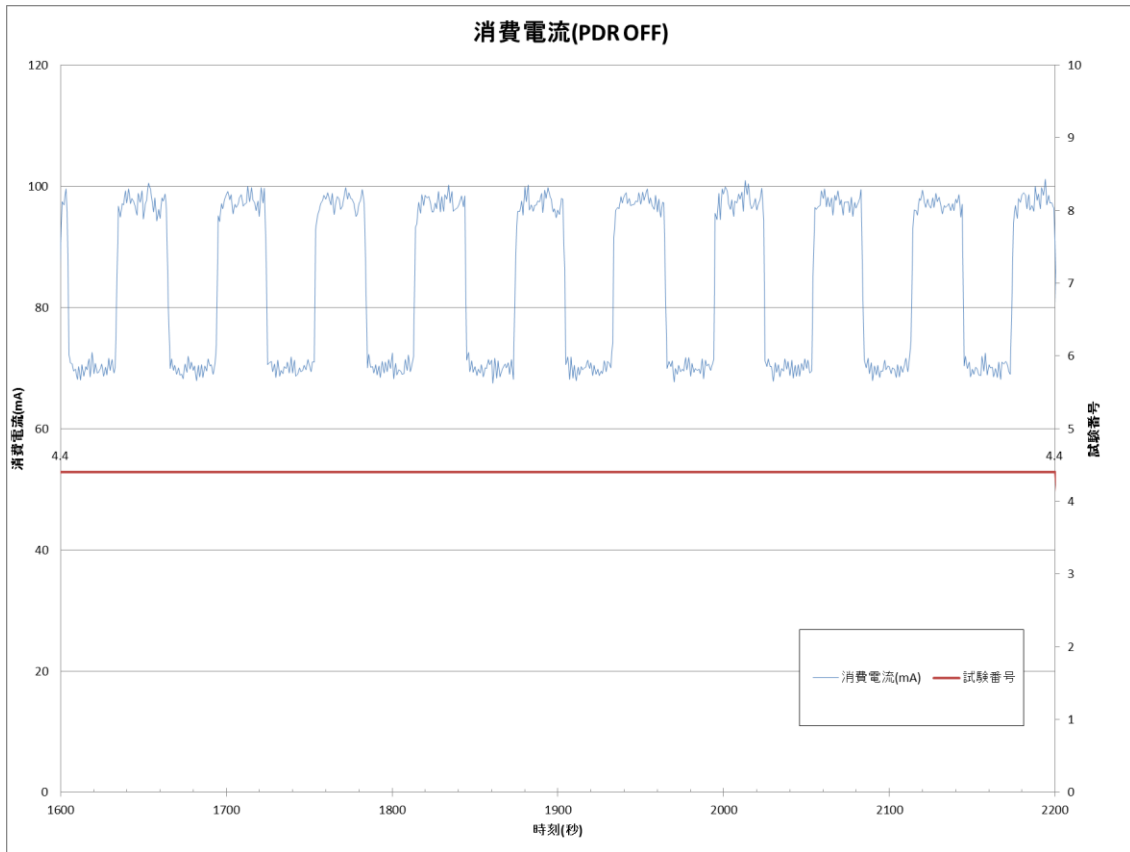


図 61 消費電流（PDR OFF）試験番号 4.4 部分拡大

消費電流が小さい値が続く区間（Low 区間）と、大きい値が続く区間（High 区間）を、しきい値 80mA で分類して集計すると、表 20 の結果になる。

表 20 消費電流の Low/High 区間の集計結果

PDR	試験番号	Low 区間 平均電流 値[mA]	Low 区間 占有時間 [秒]	High 区間 平均電流値 [mA]	High 区間 占有時間 [秒]	試験番号 1 に 対する Low 区 間の消費電流 低減率[%]
OFF	1	-	0	99.7	181	-
OFF	2	75.9	180	82.0	1	23.8
OFF	3.1	69.9	181	-	0	29.8
OFF	3.2	69.6	181	-	0	30.1
OFF	3.3	75.7	181	-	0	24.1
OFF	4.1	-	0	100.6	181	-
OFF	4.2	72.2	38	96.6	143	27.6
OFF	4.3	70.0	141	97.0	160	29.7
OFF	4.4	70.1	290	96.8	311	29.7
ON	1	-	0	101.6	181	-
ON	2	75.9	181	-	0	25.3
ON	3.1	69.9	181	-	0	31.2
ON	3.2	69.7	181	-	0	31.4
ON	3.3	75.6	182	-	0	25.6
ON	4.1	-	0	102.2	181	-
ON	4.2	-	0	99.8	181	-
ON	4.3	-	0	98.4	301	-
ON	4.4	-	0	98.4	601	-

- 測定結果で、測位周期に対するスリープ時間の設定の比率と、測定結果の比率が異なっているのは、スリープから非スリープに復帰時に、非測位状態であると、必ず非測位状態から測位状態になるまで、測位を継続するためである。したがって、測定地点における実際の衛星配置や、GPS の電波状況次第でスリープ時間に変動が発生する
- 測位端末の仕様で、PDR ON 時の測位中に、スリープ間欠動作できないため、スリープ動作するためには、PDR ON から PDR OFF に切り替えることや、間欠動作ではなく、測位を停止する実装が必要となる

3.1.2.2 歩行者状態検討結果

歩行者状態を推定し、測位端末を非スリープ状態から、スリープ状態へ遷移させるように制御すると、表 20 の通り、通常の測位（試験番号 1）に対して、約 27～29%の電流を削減できる。さらに、非スリープ時間と、スリープ時間の比率により効果が変わる。

例えば、歩行者状態推定における、最も長い周期設定である 30 秒のうち、15 秒スリープできるような測位環境では、非スリープ時間とスリープ時間の時間比率は 1:1 となり、効果は 50%となる。このような条件の場合、約 14%の電流が削減できる。

3.1.3 測位精度実験

自動車と歩行者間の危険判定処理、および不要支援を正しく行うには、正確な位置情報を取得することが重要である。特に歩行者の位置を測位する際は、端末の持ち方による GNSS アンテナ性能への影響が想定される。

今回、GPS、GLONASS および準天頂衛星をサポートする、GNSS 測位専用端末の QZPOD を用いる。端末保持方法を変化させ、測位精度を評価する。上記端末の比較機として、スマートフォンもあわせて測位評価する。

本年度の位置測位の精度目標を 5m 以内 (1σ) として、QZPOD およびスマートフォンの測位精度実験を行い、評価結果の分析と、課題を抽出する。QZPOD は、GNSS 位置測位と、PDR による位置測位補償をする。

3.1.3.1 実験概要

表 21 に、本実験の概要を示す。

表 21 実験概要

項目	内容
測定場所	低層住宅街 オープンスカイ+鉄道高架路+高層ビル複合エリア
測定方法	静止測位 歩行測位
端末種類 (アンテナ種類)	QZPOD (誘電体パッチアンテナ) スマートフォン (モノポールアンテナ)
端末保持方法	帽子上 胸ポケット 肩掛けカバン内

3.1.3.2 実験場所

図 62 に実験場所を示す。

実験場所 1 は、低層住宅街エリアとして、東京都世田谷区奥沢 7 丁目付近である。

実験場所 2 は、オープンスカイ+鉄道高架路+高層ビル複合エリアとして、東京都江東区青梅 2 丁目付近である。

実験場所1

低層住宅地エリア
東京都世田谷区奥沢7丁目付近



実験場所2

オープン+鉄道高架路+高層ビル複合エリア
東京都江東区青梅2丁目付近



図 62 実験場所

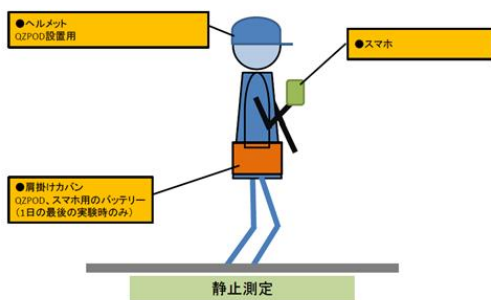
(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

3.1.3.3 実験機材構成

図 63 に静止/歩行測定時の実験機材構成を示す。



◆ 静止測定



◆ 歩行測定

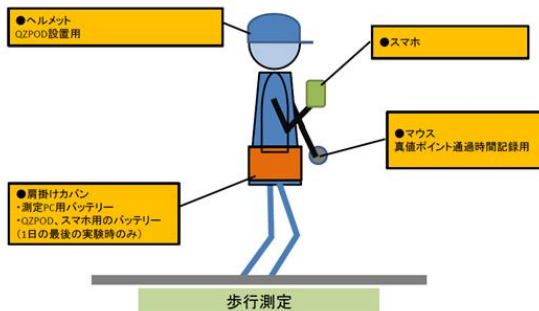


図 63 静止/歩行測定時の実験機材構成

3.1.3.4 基準点測定

図 64 に実験場所 1 の基準点測定結果を、図 65 に実験場所 2 の基準点測定結果を示す。
 あらかじめ、実験場所における基準点を測定し、実験機による位置測位結果と真値の比較
 から、測位誤差を算出する。

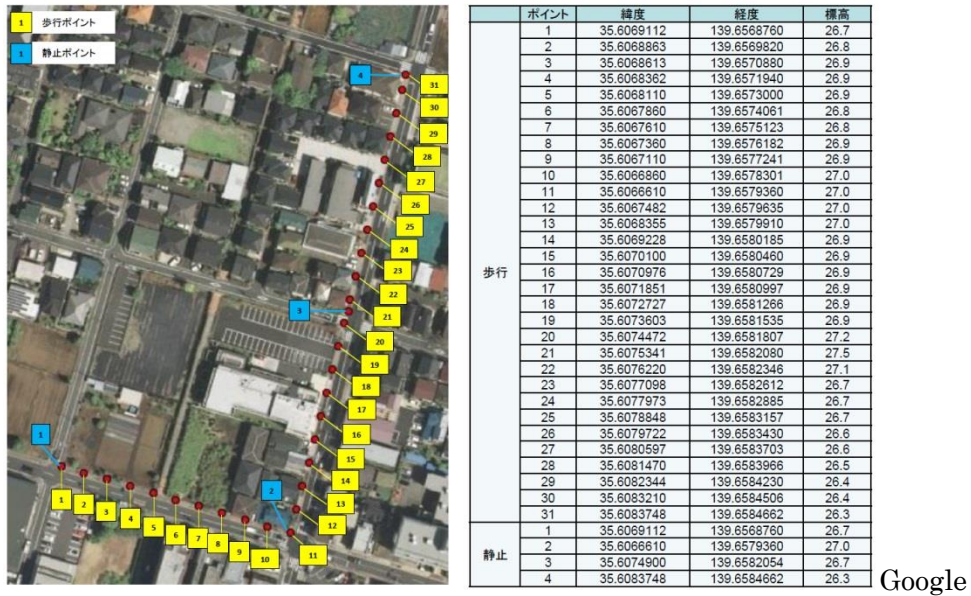


図 64 実験場所 1 の基準点測定結果

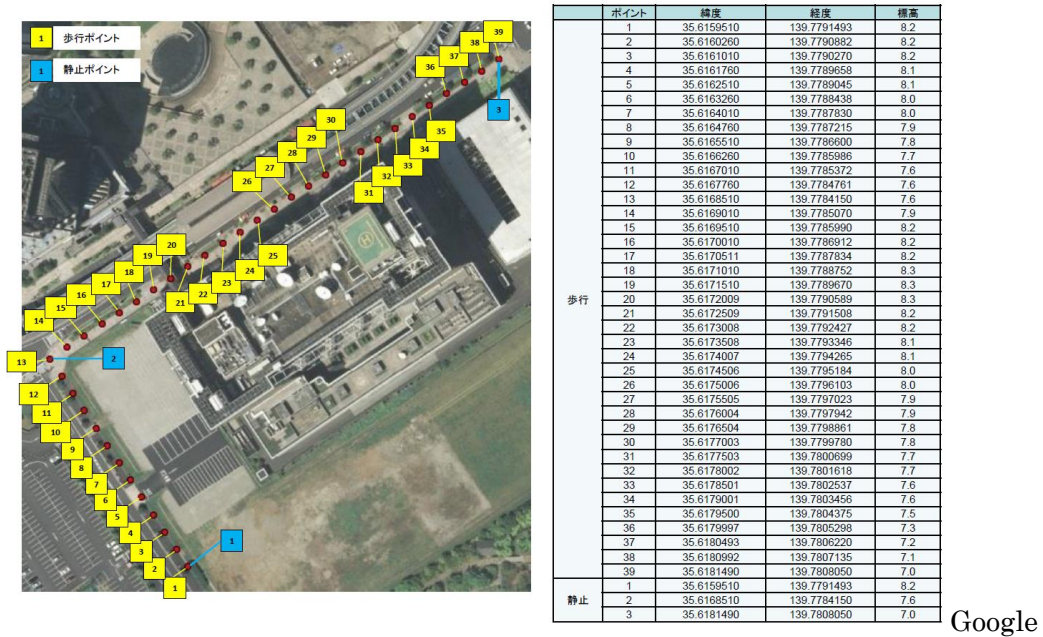


図 65 実験場所 2 の基準点測定結果

3.1.3.5 測定手順

図 66 に静止測位の測定手順を、図 67 に歩行測位の測定手順を示す。

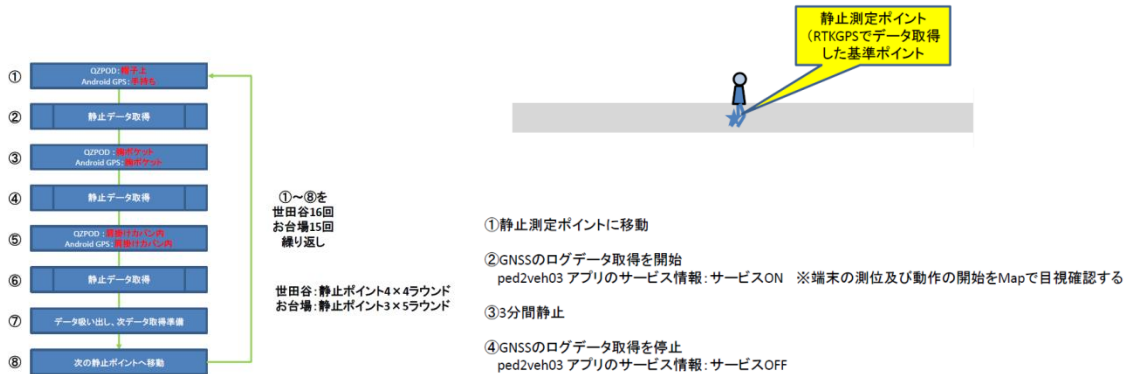


図 66 静止測位の測定手順

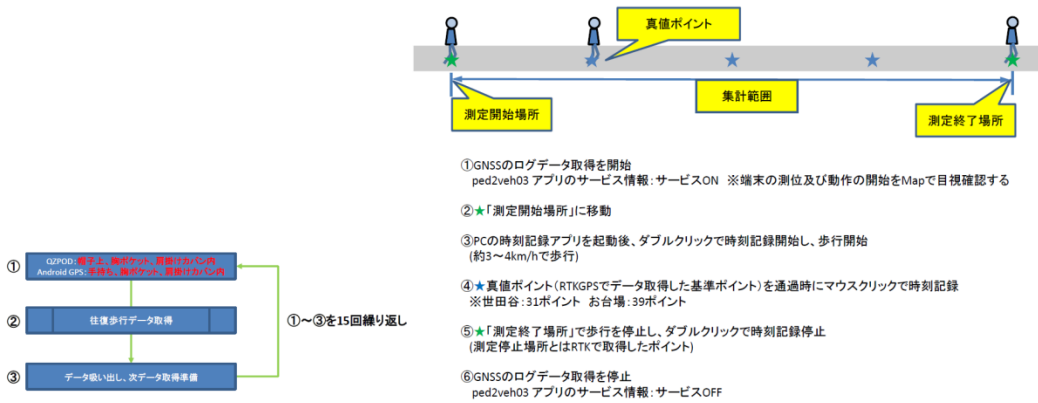


図 67 歩行測位の測定手順

3.1.3.6 実験結果

3.1.3.6.1 実験場所 1 静止測位結果

本試験から、以下の結果が得られた。

- QZPOD の胸ポケットおよび肩掛けカバン配置時は、水平誤差が大きい
- スマートフォンは、手持ちが最良で、それ以外の持ち方で水平誤差が劣化するが、QZPOD よりも、劣化量が小さい
- QZPOD の持ち方変更時の衛星測位への影響は、時間ごとの使用衛星数の変化が大きく、平均 CN 値の差が大きい
- 四方周辺が全て囲われている、静止ポイント 2 の水平誤差が最も大きい
- DRMS@QZPOD 帽子が 2.5~5m であり、目標内に収まっている

開始時の衛星配置図と試験結果を示す。

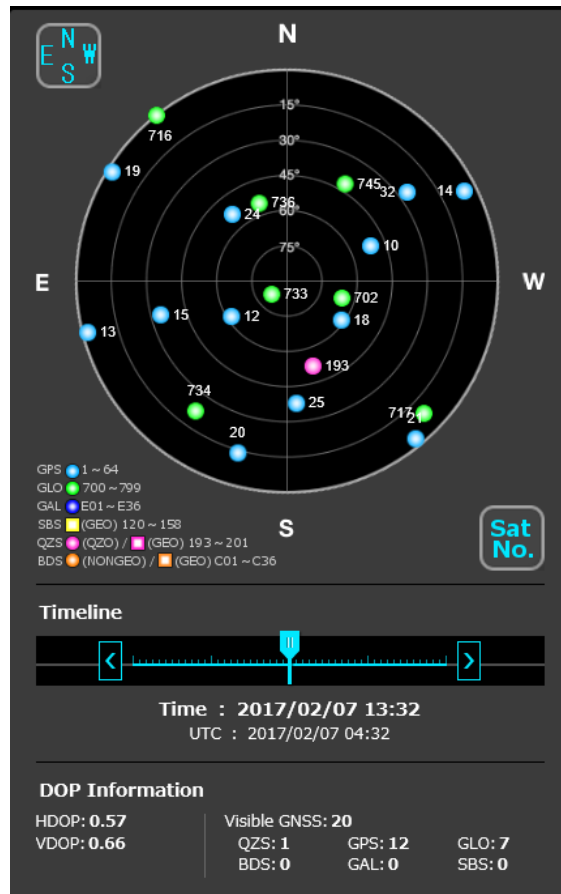
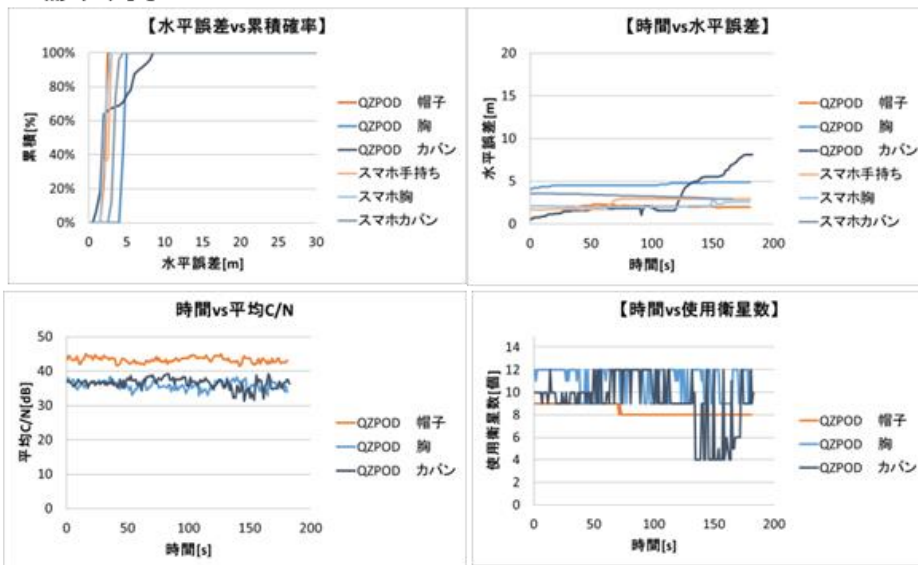


図 68 静止試験開始時の衛星配置図（東京）
（GNSS Viewer による取得画像）



(Google)

端末、持ち方



QZPOD帽子

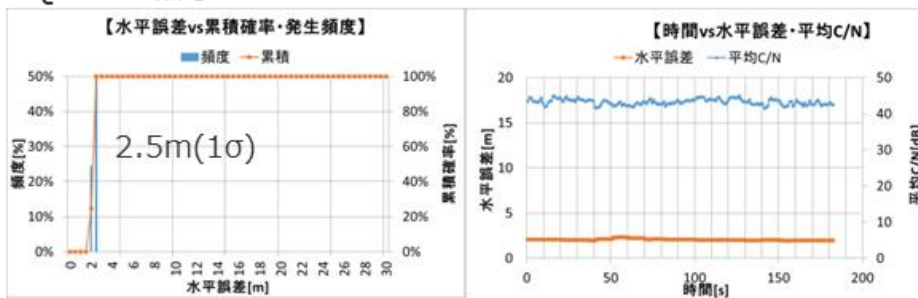
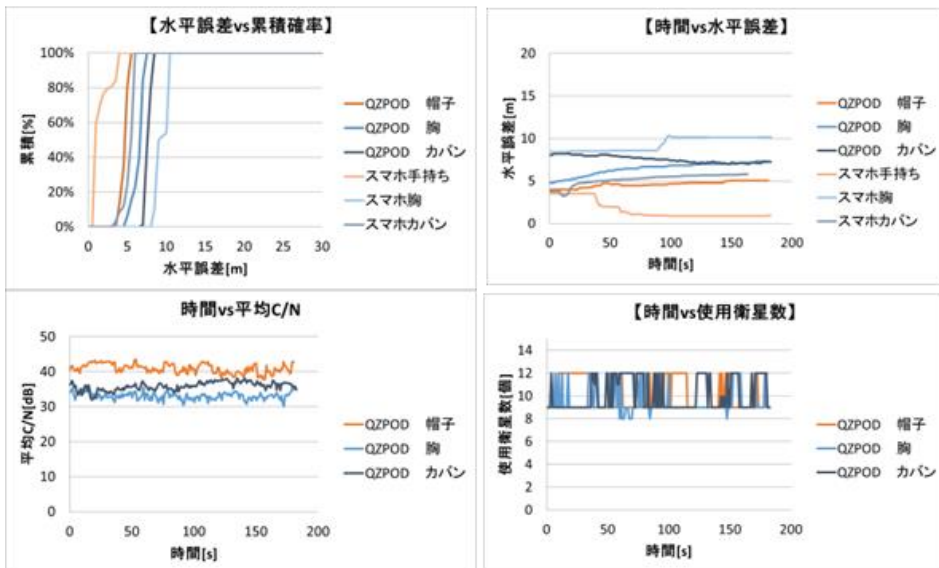


図 69 静止ポイント1の静止測位試験結果 (実験場所1)



端末、持ち方

(Google)



QZPOD帽子

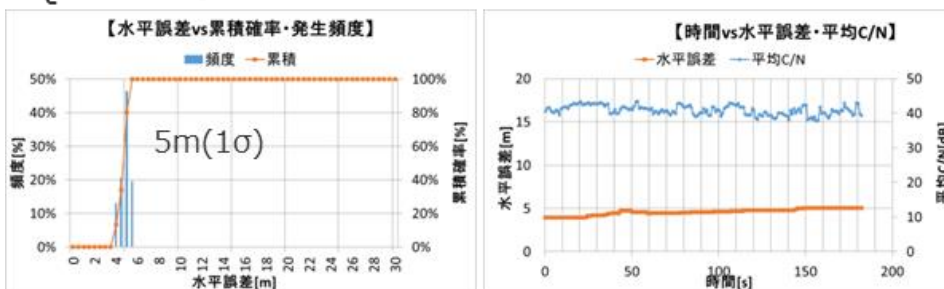
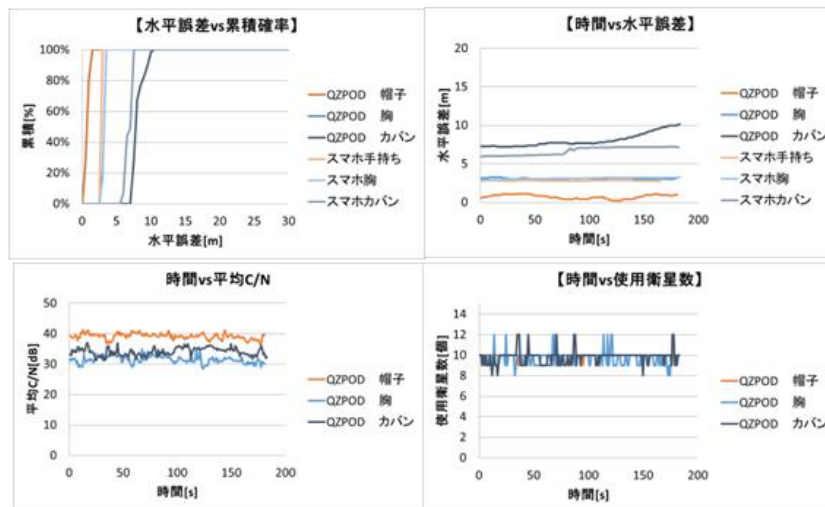


図 70 静止ポイント 2 の静止測位試験結果 (実験場所 1)



端末、持ち方

(Google)



QZPOD帽子

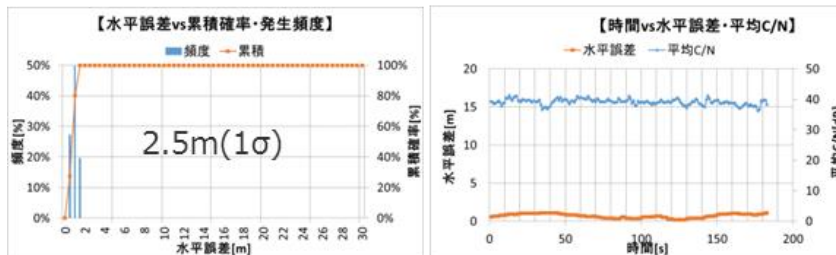
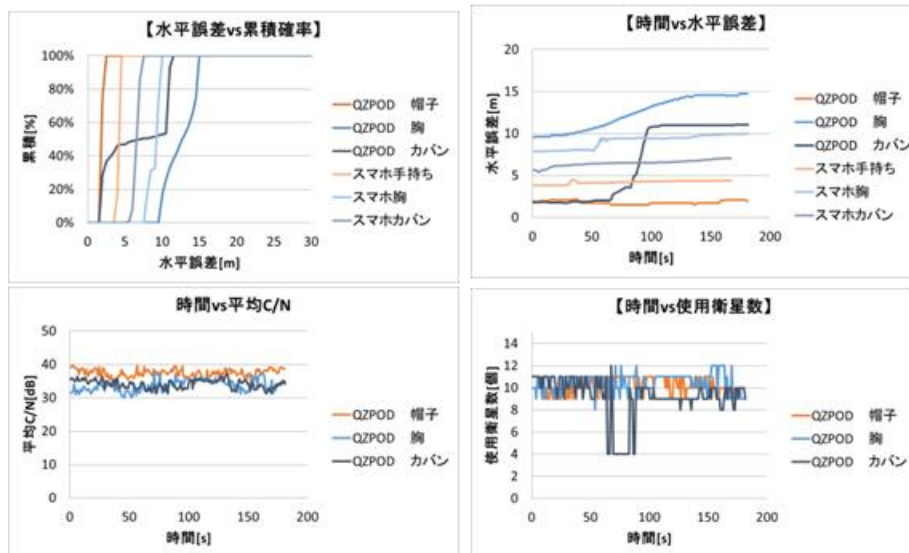


図 71 静止ポイント3の静止測位試験結果 (実験場所1)



(Google)

端末、持ち方



QZPOD帽子

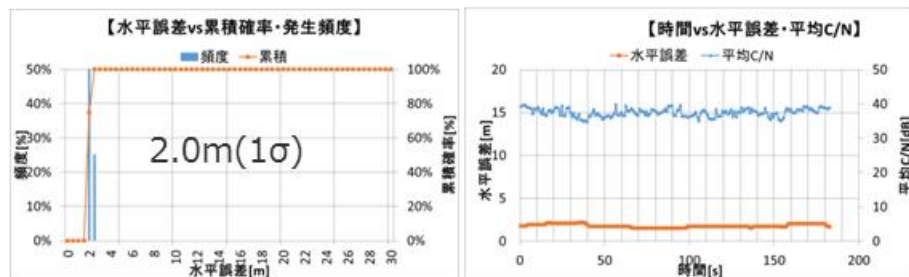


図 72 静止ポイント 4 の静止測位試験結果 (実験場所 1)

3.1.3.6.2 実験場所 2 静止測位結果

本試験から、以下の結果が得られた。

- QZPOD の胸ポケットおよび肩掛けカバン配置時は、実験場所 1 よりも、水平誤差が大きい
- スマートフォンは、手持ちが最良で、それ以外の持ち方で水平誤差が劣化するが、QZPOD よりも劣化量が小さい
- QZPOD の持ち方変更時の衛星測位への影響は、平均 CN 値の差がないが、使用衛星数が大きく違う（実験場所 1 とは、異なる傾向）
- DRMS@QZPOD 帽子が 2.5~5m であり、目標内に収まっている

開始時の衛星配置図と試験結果を示す。

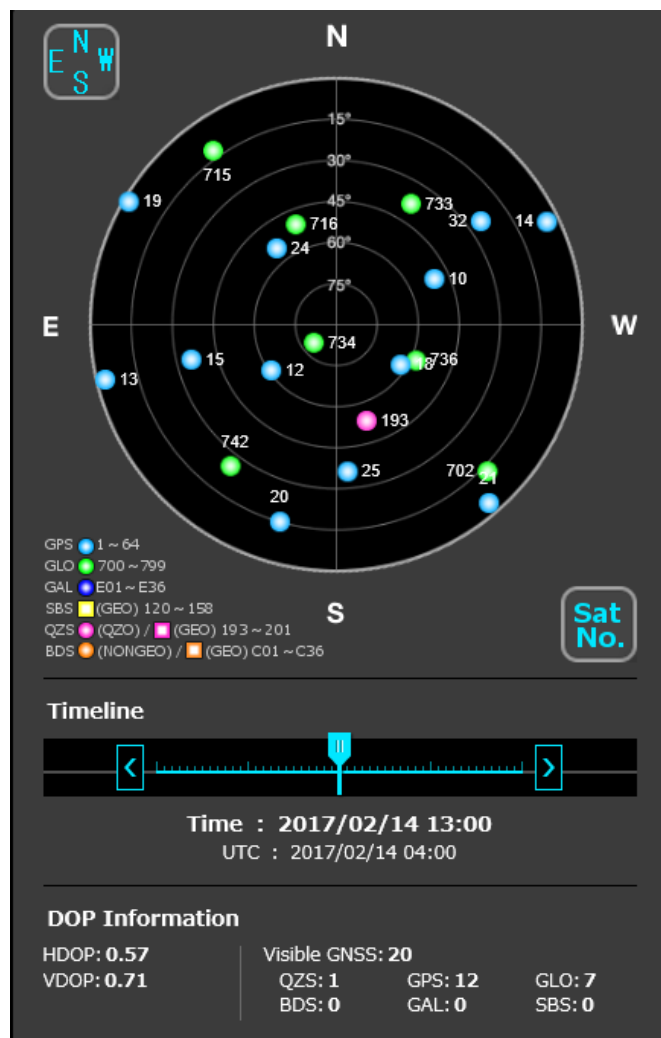
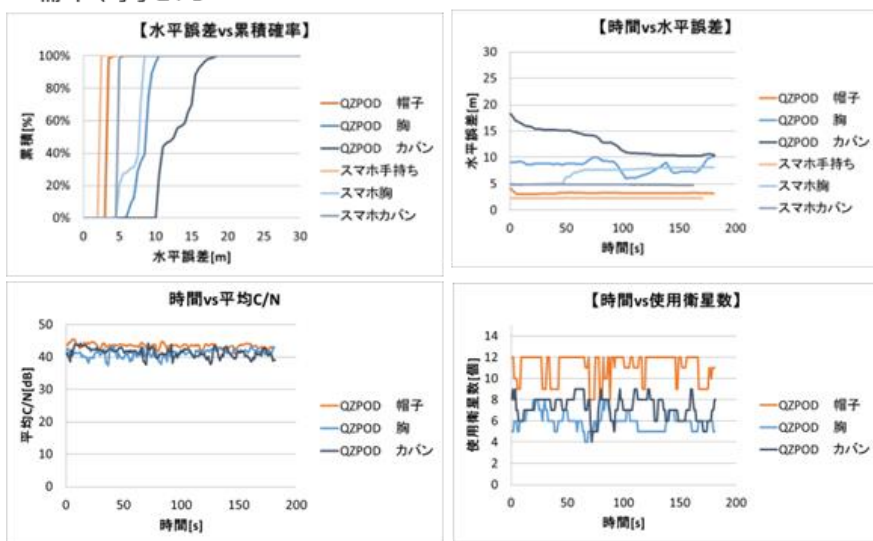


図 73 静止測位試験開始時の衛星配置図（東京）
（GNSS Viewer による取得画像）



端末、持ち方

(Google)



QZPOD帽子

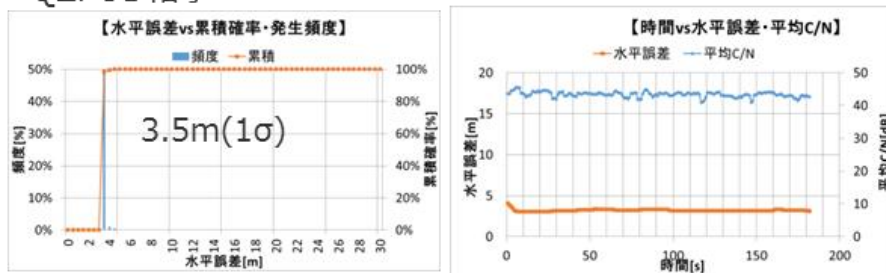
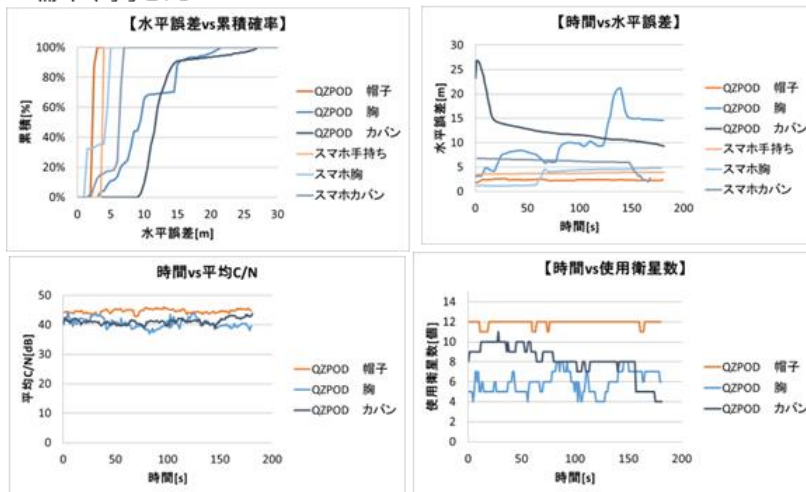


図 74 静止ポイント 1 の静止測位試験結果 (実験場所 2)



(Google)

端末、持ち方



QZPOD帽子

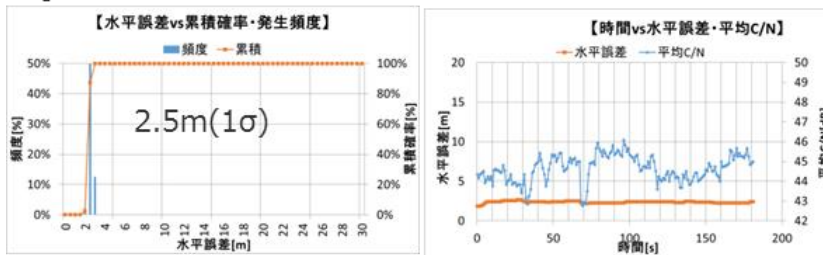
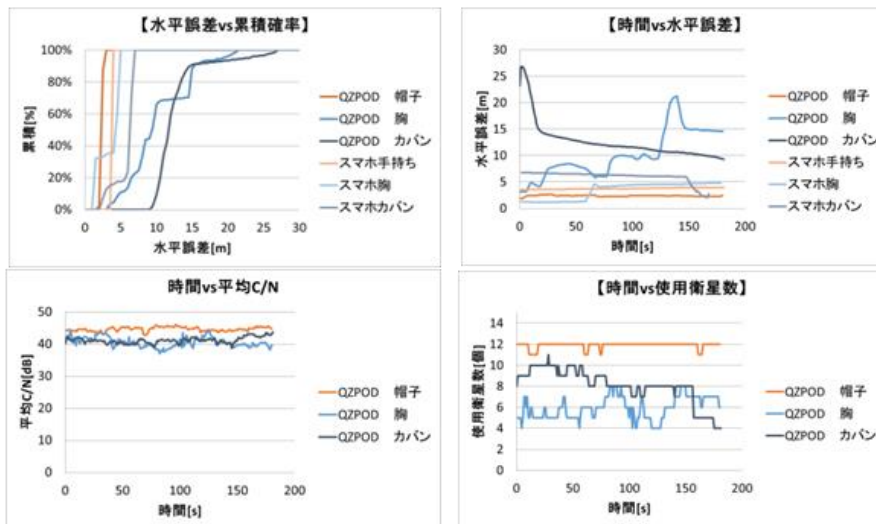


図 75 静止ポイント 2 の静止測位試験結果 (実験場所 2)



端末、持ち方

(Google)



QZPOD帽子

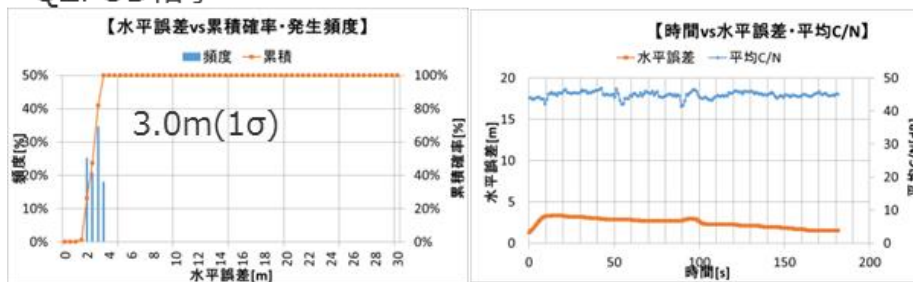


図 76 静止ポイント 3 の静止測位試験結果 (実験場所 2)

3.1.3.6.3 実験場所 1 歩行測位結果

本試験から、以下の結果が得られた。

- 全般的な優劣傾向は、静止試験と同様であるが、水平誤差がより大きい
- 使用衛星数の変動と共に、水平誤差の劣化が大きく、特に低層の建物で囲まれた静止ポイント 2 で使用衛星数が減り、真値とのずれが大きい
- DRMS@QZPOD 帽子が 4.0~4.5m であり、目標内に収まっている

開始時の衛星配置図と試験結果を示す。

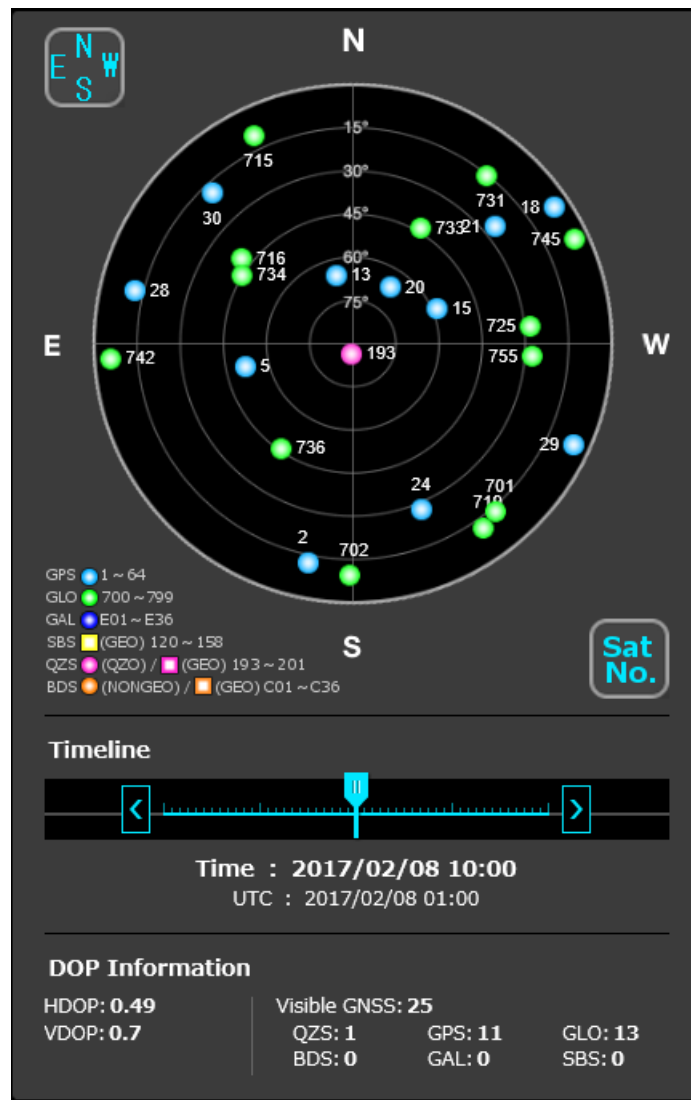


図 77 歩行測位試験開始時の衛星配置図（東京）
 （GNSS Viewer による取得画像）



端末、持ち方

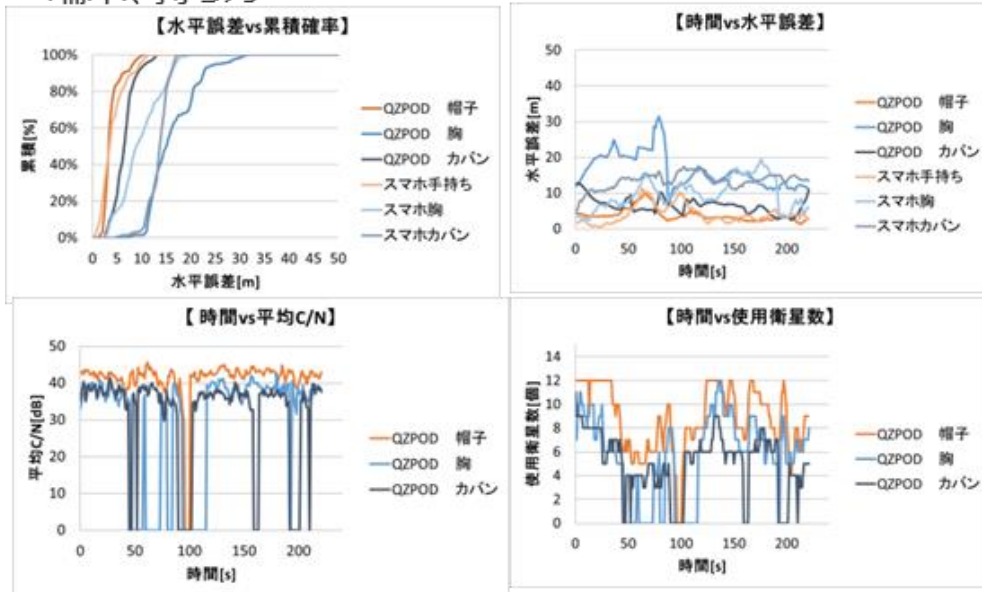


図 78 往路の歩行測位試験結果（実験場所 1）



端末、持ち方

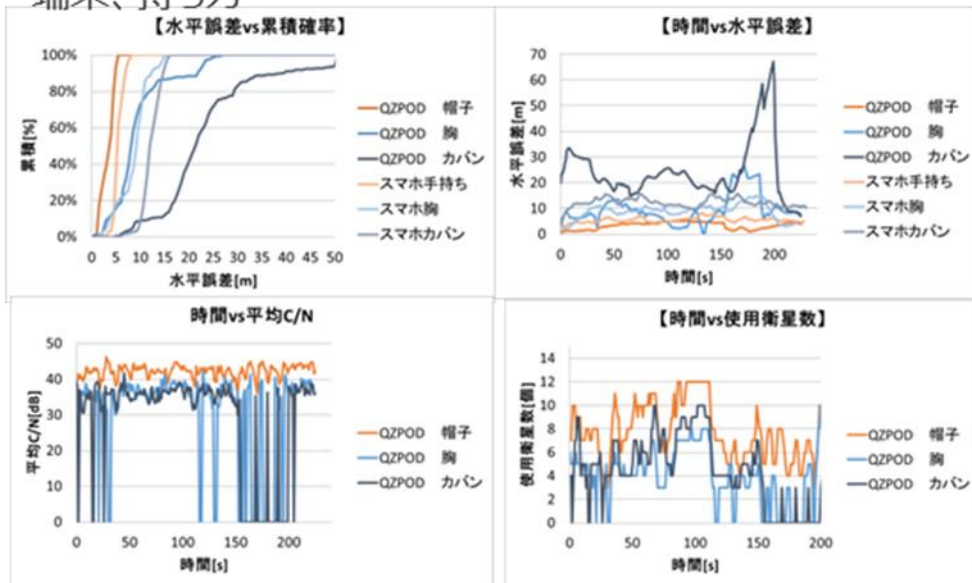
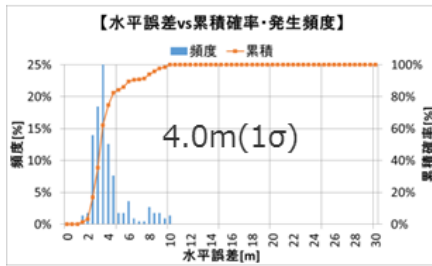
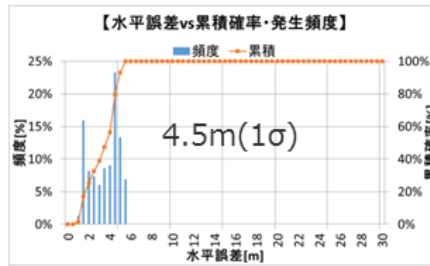


図 79 復路の歩行測位試験結果（実験場所 1）

往路



復路



往復合算

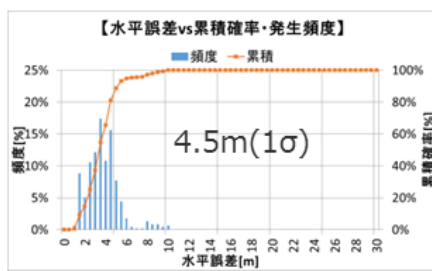


図 80 QZPOD 帽子上での往復路歩行測位試験結果（実験場所 1）

3.1.3.6.4 実験場所 2 歩行測位結果

本試験から、以下の結果が得られた。

- 全般的な傾向は、静止試験と同様であるが、歩行測位の方が劣化量は大きい
- 実験場所 2 と比べて、使用衛星数の振れ幅が大きく、測位不可の状態が多い
- 位置測位ができず、PDR のみで位置推定されている状態では、数十 m オーダーでの水平誤差が発生している
- DRMS@QZPOD 帽子が 3.5~6.5m であり、目標内に収まっていない

開始時の衛星配置図と試験結果を示す。

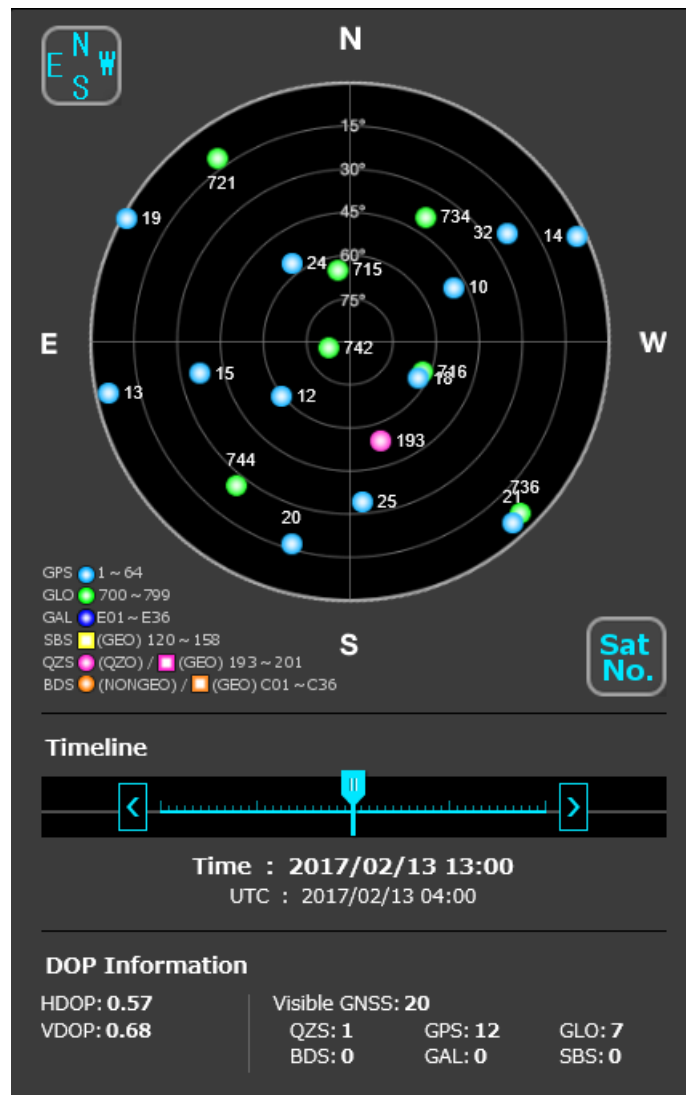


図 81 歩行測位試験開始時の衛星配置図（東京）
（GNSS Viewer による取得画像）

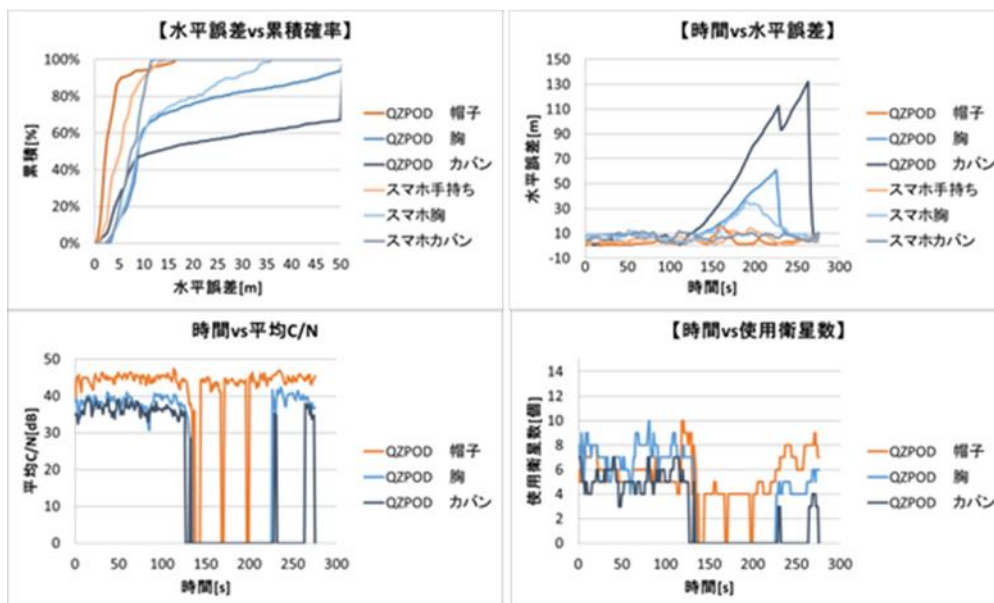
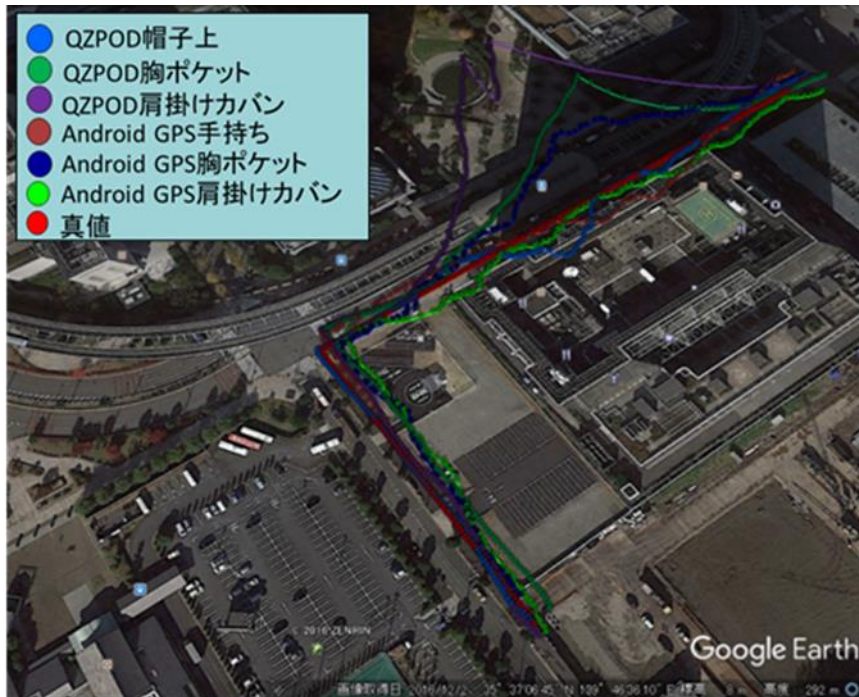


図 82 往路の歩行測位試験結果（実験場所 2）

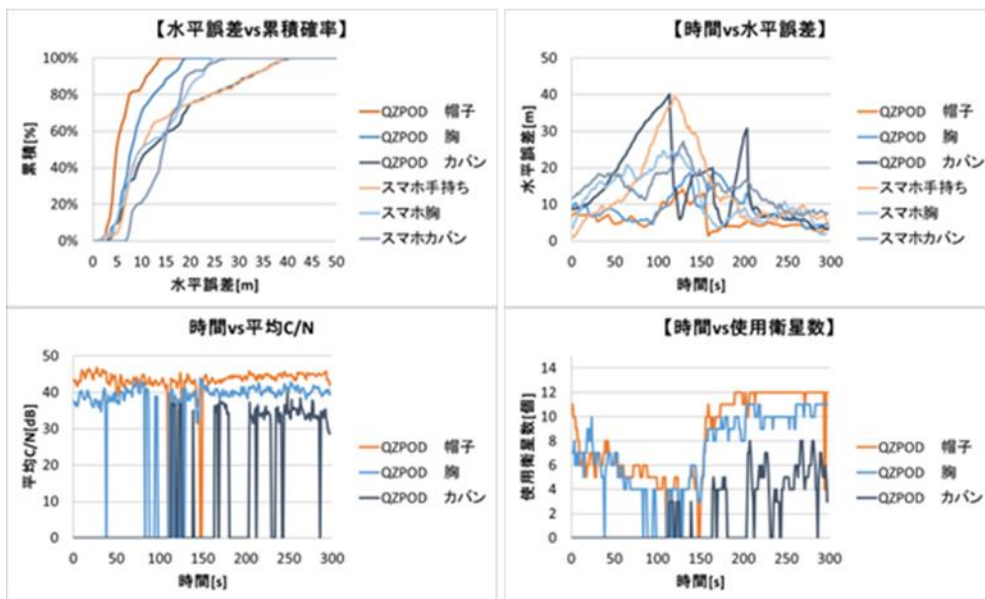
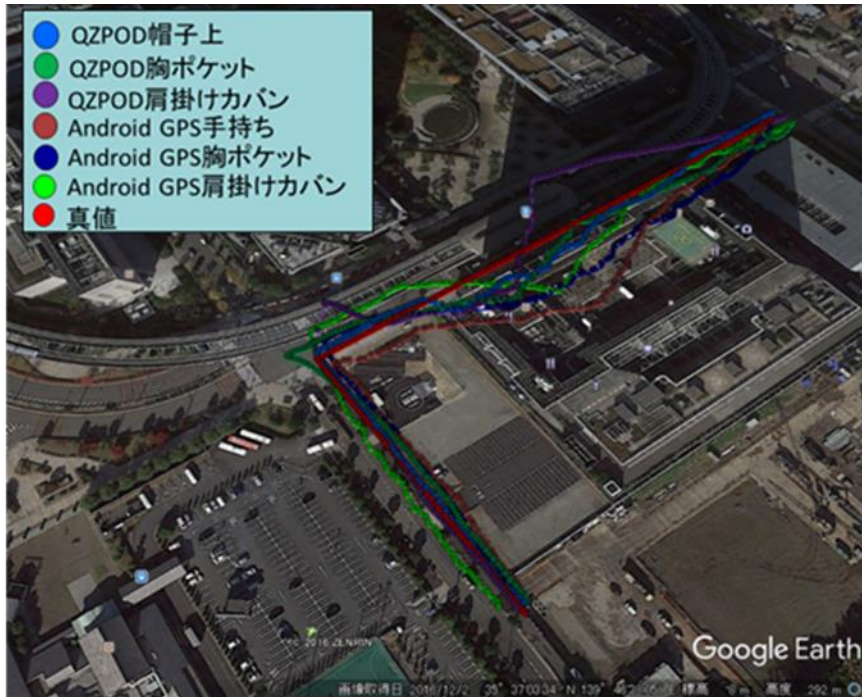
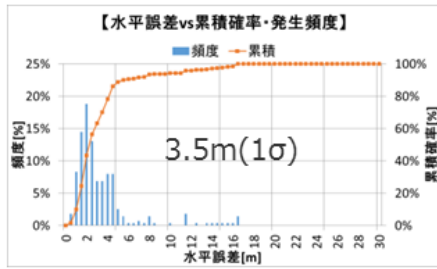
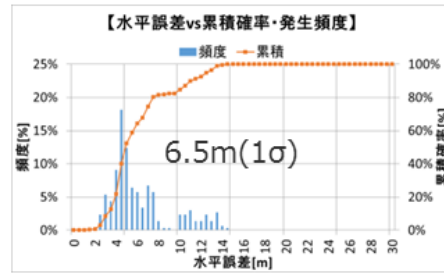


図 83 復路の歩行測位試験結果 (実験場所 2)

往路



復路



往復合算

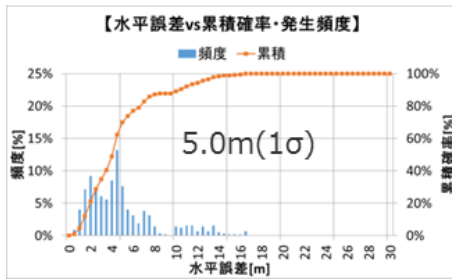


図 84 QZPOD 帽子上での往復路歩行測位試験結果 (実験場所 2)

3.1.3.7 考察

搭載アンテナと端末保持方法、実験場所 1（低層住宅街）、実験場所 2（オープンスカイ＋高層ビル複合エリア）の測位結果に対し、考察する。

図 85 に、実験場所 1 における衛星測位環境イメージ図を示す。

図 86 に、実験場所 2 における衛星測位環境イメージ図を示す。

図 87 に、歩行測位試験開始時の Beidou 含む衛星配置図（東京）を示す。

3.1.3.7.1 端末保持方法

- QZPOD は、誘電体パッチアンテナを搭載しているため、天頂方向に対して強い指向性がある。このため、アンテナ天面が天頂方向に正しく配置されていないと、衛星からの信号を正しく受信できず、水平誤差が大きくなる
- 対して、スマートフォンは、一般的にモノポールアンテナを搭載しているが、それにより実現される無指向特性により、端末保持方法による劣化の程度が小さい（天頂方向以外の信号も受けやすいため、反射波を受ける確率も高い）
- 2017 年度の実証実験でも、誘電体パッチアンテナ採用を予定しており、アンテナ天面を常に天頂方向に固定させる措置が必要である

3.1.3.7.2 低層住宅街

- 最も水平誤差が大きくなる静止ポイント 2 付近は、図 24 のような環境である
- このエリアは、建物が高くはないが、建物と歩道の距離が近く、歩道付近では建物に対して、 78° 以上の高仰角の衛星が必要になる。一方、車道の先の建物に対しては、 37° 以上の衛星であれば、有効な衛星となる
- 位置測位に使用する衛星数は確保しやすいが、直接波だけでなく、反射波や回折波が含まれるため、測位精度に誤差を含みやすい

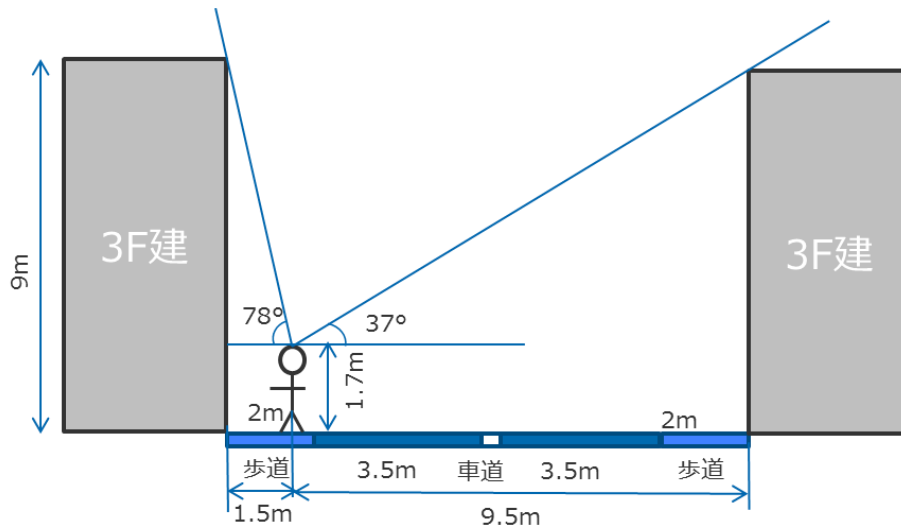


図 85 実験場所 1 における衛星測位環境イメージ図

3.1.3.7.3 鉄道高架路＋高層ビルエリア

- 最も歩行位置測位が悪かったエリア付近は、図 86 のような環境である
- このエリアは、一方が高層ビル、もう一方が鉄道高架路のため、いずれも 79° 、 63° の高仰角の衛星配置が求められ、直接波以外でも、測位するために必要な衛星数の確保が難しい環境となっている
- このため、QZPOD 胸およびカバンでは、位置測位ができず、PDR のみの補完により、大幅な位置測位ずれを発生させている
- このような環境下では、位置測位に使用する衛星の候補（例えば Beidou）を増やすことが有効である

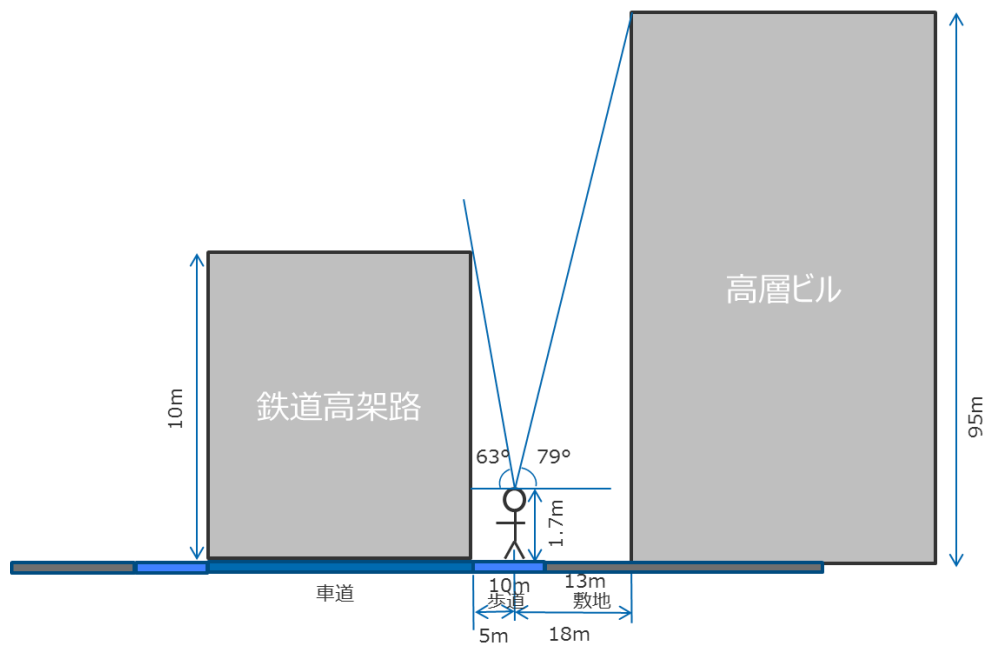


図 86 実験場所 2 における衛星測位環境イメージ図

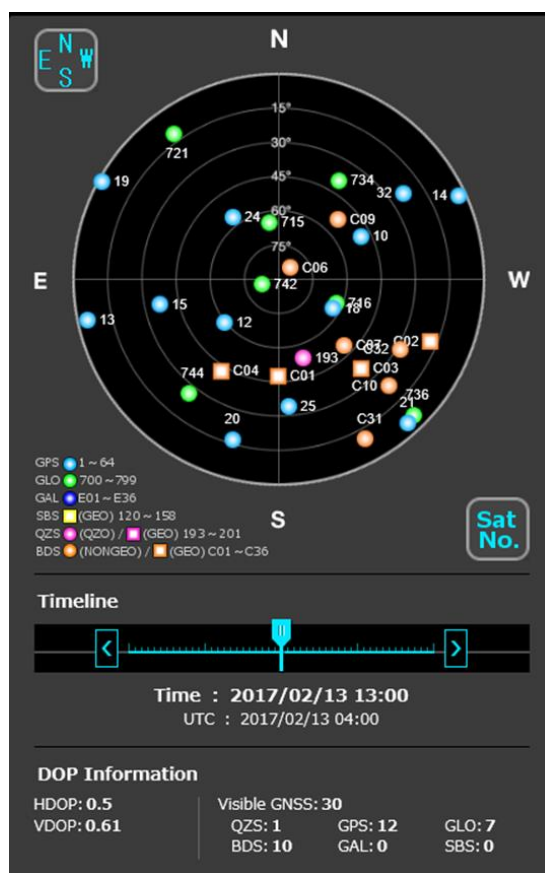


図 87 歩行測位試験開始時の Beidou 含む衛星配置図 (東京)

(GNSS Viewer による取得画像)

3.2 3次元地図、高度地図を活用した測位精度改善

自動車と歩行者・自転車の交通事故回避のためには、正確な位置情報を高い応答性で算出することが重要である。平成 26 年度（2014 年度）に実施した準天頂衛星対応の GNSS 測位専用端末による測位実験の結果、高層ビル街や市街地等を歩行中の測位誤差は大きく、対策が必要であることが判明している。

それらの測位誤差の主要因としては、ビルの外壁等による反射に起因するものや、ビル陰により、位置測定に利用可能な衛星数を多く確保できないことである。

そこで本章では、東京大学生産技術研究所で検討されている、3次元地図情報を活用した改善手法(3D-Map法)と、2次元地図と高度(Altitude)情報を組み合わせた改善手法(Height Aided法)の2手法を使った測位精度実験を行い、その有効性を検証した。

「3次元地図情報を用いたGPS高精度測位手法」、三浦 俊祐, 2014

「3次元地図情報を用いたマルチパス推定によるGNSS測位精度の改善」、三浦 俊祐, 2013

「3次元構造データを活用した都市部におけるGPSの測位精度改善に関する研究」、三浦 俊祐, 2014

「3D building model-based pedestrian positioning method using GPS/GLONASS/QZSS and its reliability calculation」、Hsu, Li-Ta

「高さ情報を用いたGNSS測位の精度向上手法」、黄宇陽, 2015

3.2.1 3D-Map法

3.2.1.1 概要

測位の誤差要因は、大きく分けて衛星起因（軌道情報、時計）と、伝送路起因（電離層遅延、対流圏遅延、マルチパス）があるが、表 22にあるように、特にマルチパスによるものは測位誤差に与える影響が最も大きい。

衛星起因の誤差や電離層、対流圏での遅延については、複数周波数や DGPS 等を使って補正することができるが、マルチパスによる誤差については、それらで修正することは難しく、別の手段により対策する必要がある。

そこで、ビル等の建造物の高さ情報を含んだ 3次元地図情報を活用することで、各衛星からの到来電波が、見通し（LOS: Line of sight）によるものか、障害物等に隠れている状況（NLOS: Non-Line of sight）なのかを判断することで、測位精度を改善する手法が提案されている。NLOS/LOSは、レイトレーシング（図 88）によって判定する。

誤差は、LOS 信号と NLOS 信号の干渉による場合（図 89 左）と、LOS 信号が十分小さく、NLOS 信号が支配的なシャドウィングによる場合（図 89 右）に分けることができるが、影響の大きい後者について、3D-Map 法によって測位精度の改善を図る。

表 22 測位の誤差要因

誤差源	誤差要因	誤差の大きさ	誤差の性質
衛星依存	軌道要素	2 m	バイアス
	時計の摂動	2 m	バイアス
伝送路依存	電離層遅延	2~数十 m	バイアス
	対流圏遅延	2.3~2.6 m	バイアス
	マルチパス	~100 m	ランダム
受信機依存	擬似距離測定雑音	~1 m	ランダム

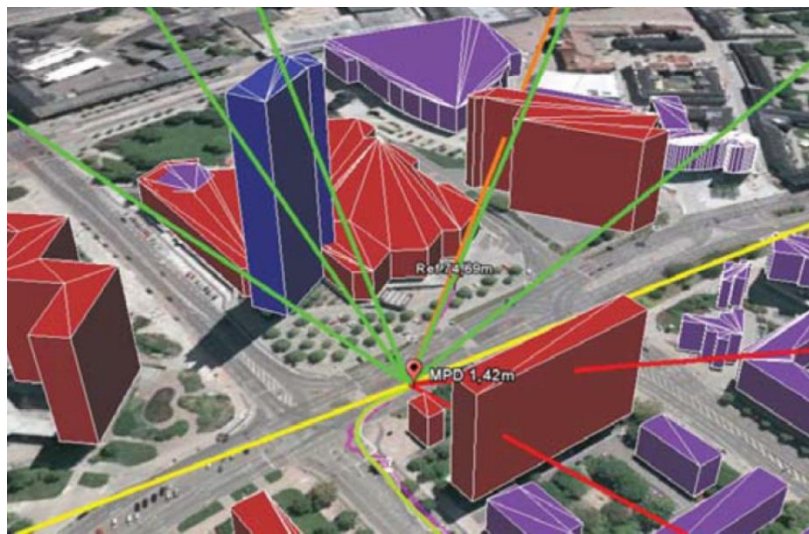


図 88 レイトレーシング概要

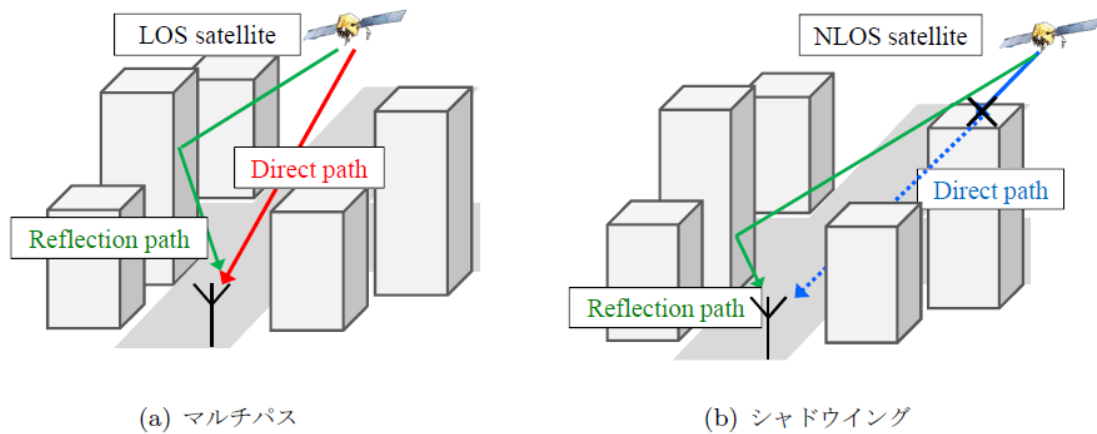


図 89 測位誤差要因

3.2.1.2 アルゴリズム

以下に 3D-Map 法の手順を説明する。

- ① 従来通りの GNSS 測位を実施し、各衛星からの疑似距離と座標 ($\mathbf{P}_{receiver}$) を仮決定する。
- ② ①の座標 ($\mathbf{P}_{receiver}$) および前回の 3D-Map 法の測位結果 ($\mathbf{P}_{last\ epoch}$) の近傍に、ランダムにサンプリング座標 \mathbf{P}^i を設定 (図 90) する。それぞれについて、各衛星までの疑似距離を、レイトレーシング法により計算する。サンプリング座標の配置は、 $\mathbf{P}_{last\ epoch}$ から標準偏差 1σ で 5m の距離とし、 $\mathbf{P}_{receiver}$ からは 10m の位置に、ランダムに配置する。

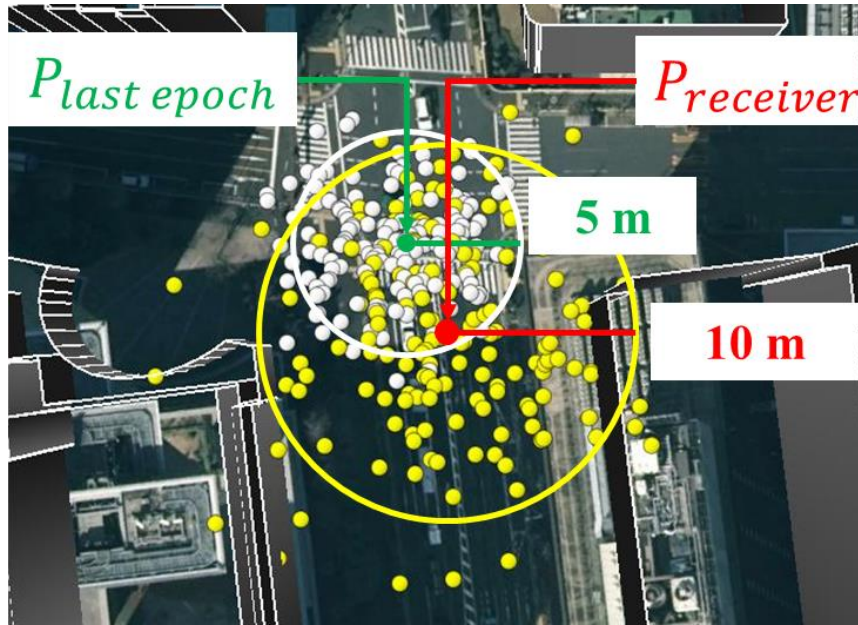


図 90 サンプリング座標 (Google)

- ③ ①で観測された疑似距離 ρ と、②で計算された疑似距離 $\hat{\rho}^{(i)}$ の差($d_{pr}^{(i)}$)を、以下の式より計算する。その際、受信機のクロック ($\delta t^{r(i)}$) を最小にする。

$$d_{pr}^{(i)} = \min_{\delta t^{r(i)}} \sum_n^{N^{sim}} \frac{|\rho_n - \hat{\rho}_n^{(i)}(\delta t^{r(i)})|}{N^{sim}}$$

- ④ それぞれのサンプリング座標 \mathbf{P}^i 毎に、尤度 α^i を計算する。実験から、パラメータ C_{pr} は10m、 σ_0 は20mを用いる。

$$\alpha^i = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{d_{pr}^{(i)}}{\sigma_0}\right)^2\right] & \text{if } d_{pr}^{(i)} < C_{pr} \\ 0 & \text{if otherwise} \end{cases}$$

- ⑤ 各ポイントについて、以下をチェックし、サンプリング座標 \mathbf{P}^i の内、有効なものだけを残す。
- ・衛星からの受信電力が十分に大きい場合、建物の内部にある候補点は使用しない
 - ・受信電力がしきい値（過去の受信電力の平均値より決定する）以上の衛星が NLOS と認識された場合、その候補点は使用しない
 - ・受信電力がしきい値（過去の受信電力の平均値より決定する）以下の衛星が LOS と認識された場合、その候補点は使用しない

- ⑥ 残った候補点 \mathbf{P}^i と、それぞれの尤度 α^i から座標を再計算し、最終結果座標 $\chi(t)$ とする。

$$\chi(t) = \frac{\sum_i \alpha^i(t) \mathbf{P}^i(t)}{\sum_i \alpha^i(t)}$$

- ⑦ ④の計算式において、有効な候補点として判断された($d_{pr}^{(i)} < C_{pr}$)点の割合を、候補点の信頼度 (URA_{3DMAP}) とし、 URA が 3 以下の時にのみ、座標出力を実施する。

表 23 URA 対応 (3DMap)

URA index	URA_{3DMAP}
1	75~100%
2	50~75%
3	25~50%
4	10~25%
5	5~10%
6	5%以下

3.2.2 Height-Aided 法

3.2.2.1 概要

従来から、高度地図（Altitude Map）情報を用いて衛星選択し、精度向上を図ることが検討されてきた。しかし、これらの方法は、衛星数の減少により DOP (Dilution of Precision) の劣化を招き、位置精度が劣化することも多かった。

そこで、高度地図情報を衛星選択ではなく、直接測位計算に用いることで改善を図る手法が提案されている。測位誤差の要因となる衛星からの疑似距離（Pseudo range Error）と、鉛直方向の誤差情報（Vertical Error）と、水平方向の誤差情報（Horizontal Error）のそれぞれが相関している（図 91、図 92）ことに着目し、補正する。

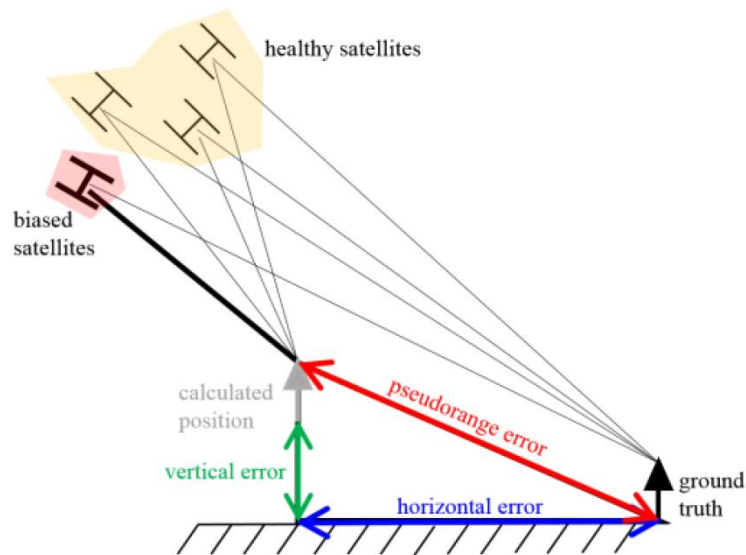


図 91 測位誤差の要因

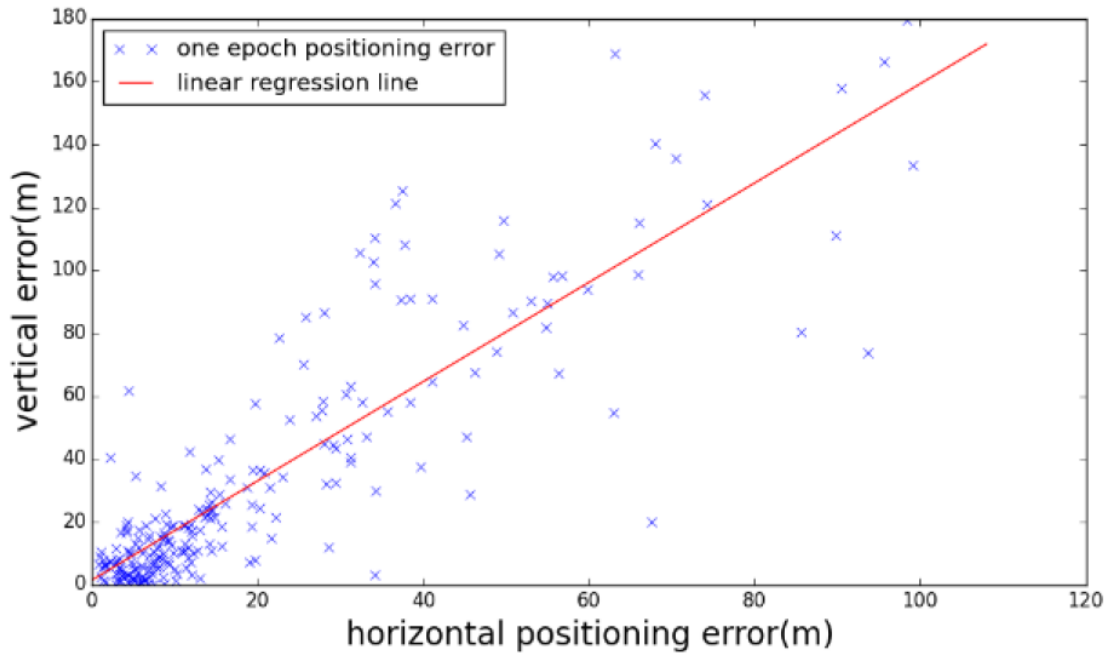


図 92 誤差情報分布

3.2.2.2 アルゴリズム

以下に Height-Aided 法の手順を説明する。

- ① 従来通りの GNSS 測位を実施し、各衛星からの疑似距離と座標を仮決定する。
- ② 仮決定した座標の高さ情報 ($height_{WLS}$) と、高度地図情報 ($height_{map}$) から、鉛直誤差 (VE) を決定する。

$$VE = height_{WLS} - height_{map}(latitude, longitude)$$

WLS(Weighted least squares): 加重最小二乗法

- ③ ある衛星との疑似距離を変化させ、VE が最小となる疑似距離を決定する。
衛星の疑似距離の変化量は、経験的に-200m から+200m とする。
- ④ ③をすべての衛星について繰り返し、VE が最小となる疑似距離の組み合わせを決定する。
- ⑤ ④までの手順で決定した疑似距離の組み合わせから、VE が最小となる座標を最終座標として再計算する。
- ⑥ 最終的に、以下の計算式から信頼度 ($URA_{Height-Aided}$) を計算し、URA が 3 以下の時のみ座標出力を実施する。

$$URA_{Height-Aided} = \frac{VE}{VDOP * HDOP}$$

表 24 URA 対応 (Height-Aided)

URA index	URA _{Height-Aided}
1	20 以下
2	20~40
3	40~80
4	80~160
5	160~320
6	others

3.2.3 測位性能検証

マルチパス誤差による測位精度低下が発生し易い、高層ビル街や市街地における測位精度改善に対する 3D-Map 法、および Height Aided 法の有効性確認のため、各方式の比較評価を実施した。

3.2.3.1 評価項目

測位方式として、次の 4 方式で測位実験を実施した。

1. 3D-Map 法（以下、3D 測位）
2. 3D-Map 法と歩行者自立航法の併用（以下 3D 測位+PDR）
3. Height Aided 法
4. Height Aided 法と歩行者自立航法の併用（以下 Height Aided +PDR）

比較データとして、統合測位（マルチ GNSS+PDR 補完+衛星ドップラー補完）方式（以下統合 PDR）の測位データも取得した。

3.2.3.2 実施形態

中高層ビル街である、千代田区一ツ橋エリア、および高層ビル街である新宿エリアに、実験ルートを設定し、歩行を測位した。

① 一ツ橋



図 93 一ツ橋実験ルート周辺風景

・試験場所：東京都千代田区一ツ橋 2 丁目

以下の A,B,C,D の 4 地点を結ぶ、コの字状のルートである。

A⇒B⇒C⇒D のルートを往路、D⇒C⇒B⇒A のルートを復路として、赤線の歩行経路を一定速度で歩行した。

A 地点：北緯 35°41'31.51"、東経 139°45'31.67"

B 地点：北緯 35°41'34.64"、東経 139°45'30.98"

C 地点：北緯 35°41'34.64"、東経 139°45'31.97"

D 地点：北緯 35°41'31.89"、東経 139°45'32.51"

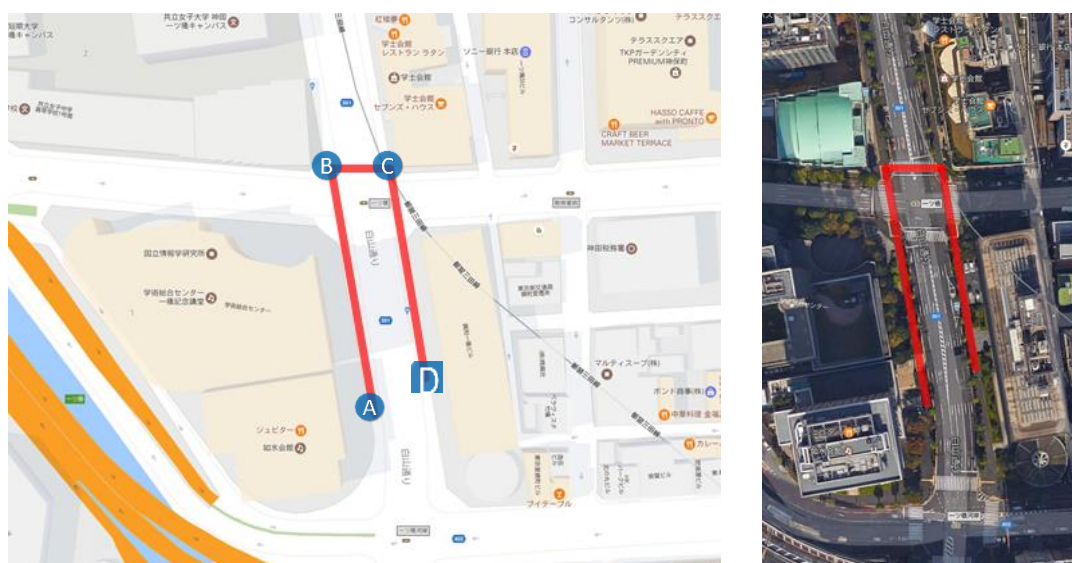


図 94 一ツ橋実験ルート (Google)

- ・評価項目：水平誤差
- ・測定構成：GNSS 測位端末、PC、スマートフォン
- ・歩行者状態：A～B～C～D 地点を通るルート（約 210m）の歩行
- ・端末保持状態：アンテナを左肩上に装着
- ・測位初期状態：Hot Start

② 新宿

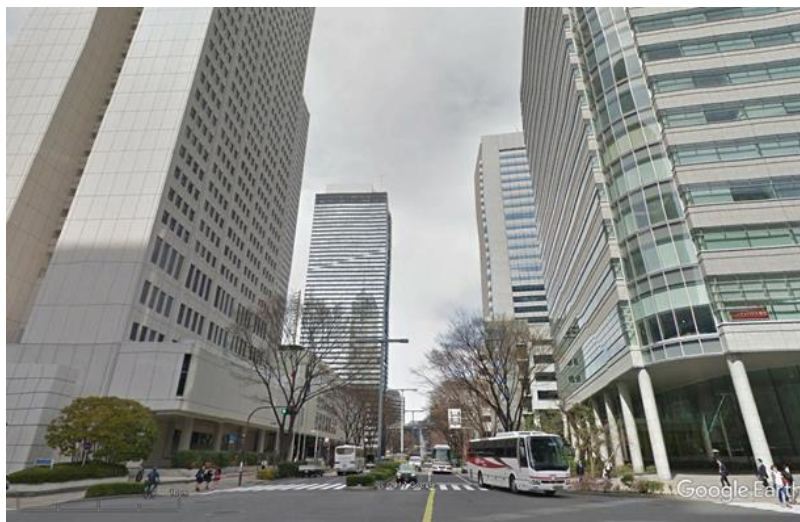


図 95 新宿実験ルート周辺風景

・評価場所：東京都新宿区西新宿 2 丁目

以下の A,B,C,D の 4 地点を結ぶ、クランク状のルートである。

A⇒B⇒C⇒D のルートを往路、D⇒C⇒B⇒A のルートを復路として赤線の歩行経路を一定速度で歩行した。

A 地点：北緯 35°41'28.29"、東経 139°41'41.87"

B 地点：北緯 35°41'26.60"、東経 139°41'42.16"

C 地点：北緯 35°41'26.42"、東経 139°41'40.99"

D 地点：北緯 35°41'22.09"、東経 139°41'42.06"



図 96 新宿実験ルート (Google)

- ・評価項目：水平誤差
- ・測定構成：GNSS 測位端末、PC、スマートフォン
- ・歩行者状態：A～B～C～D 地点を通るルート（約 220m）の歩行
- ・端末保持状態：アンテナを左肩上に装着
- ・測位初期状態：Hot Start

3.2.3.3 評価結果

一ツ橋で 33 試行、新宿で 36 試行の測位データを取得した。

一ツ橋、新宿のそれぞれのエリアについて、全体的な傾向をよく表している試行のデータを一例ずつ（表 25、表 27）と、全試行の集計結果（表 26、表 28）を示し、各方式について測位結果の考察を述べる。

3.2.3.3.1 一ツ橋

表 25 一ツ橋測位結果 (代表例)

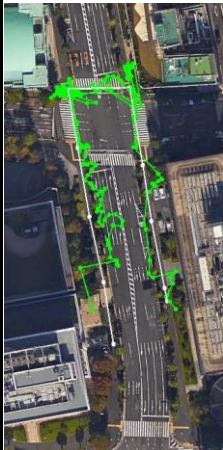
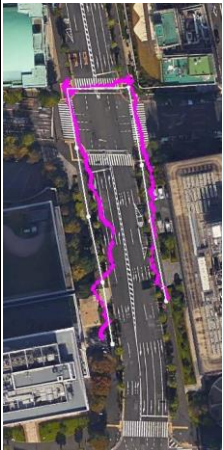



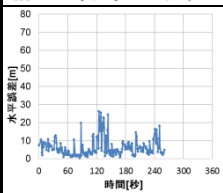
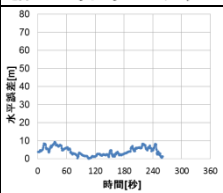
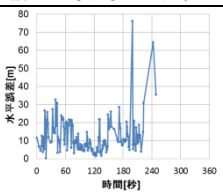
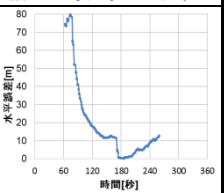
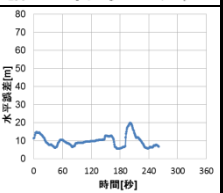
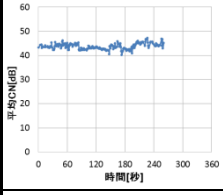
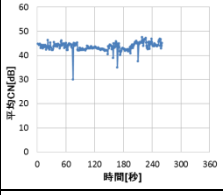
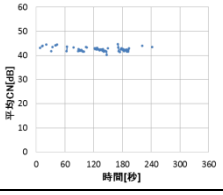
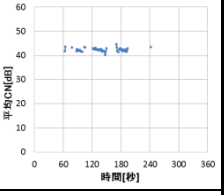
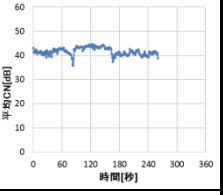
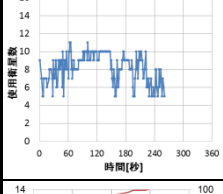
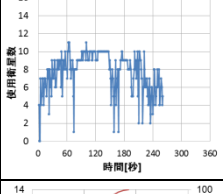
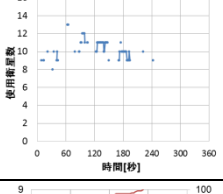
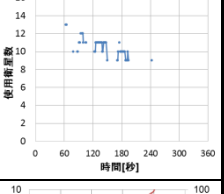
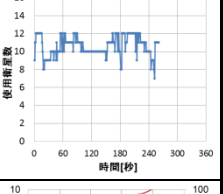
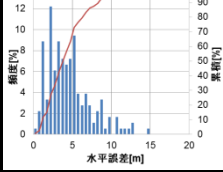
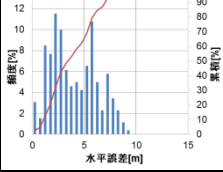
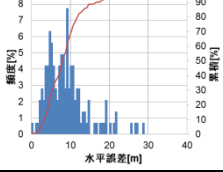
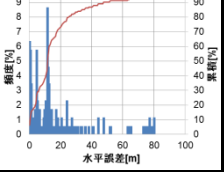
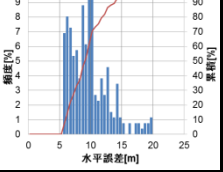
	3D 測位	3D 測位+PDR	HeightAided	HeightAided+PDR	統合 PDR
測位点 プロット					
	地図データ:Google, Image Landsat / Copernicus	地図データ:Google, Image Landsat / Copernicus	地図データ:Google, Image Landsat / Copernicus	地図データ:Google, Image Landsat / Copernicus	地図データ:Google, Image Landsat / Copernicus
時間 vs 水平誤差					
時間 vs 平均CN					
時間 vs 使用衛星数					
水平誤差 分布					
平均誤差[m]	4.54	4.02	9.13	18.39	9.75
標準偏差[m]	2.77	2.23	5.47	20.65	3.15
最大誤差[m]	14.63	9.24	28.59	80.28	19.83
累積88%誤差[m]	4.75	4.75	9.75	16.75	9.75
累積95%誤差[m]	9.25	7.25	19.75	75.75	15.75
測位率[%]	68.97	99.62	54.41	66.28	100.00

表 26 一ツ橋 集計データ

	3D 測位	3D 測位 +PDR	Height Aided	Height Aided+PDR	統合 PDR
平均誤差[m]	6.17	6.73	10.91	20.63	11.74
標準偏差[m]	4.29	4.08	8.36	14.80	9.08
最大誤差[m]	49.77	38.70	88.79	86.99	105.22
累積 68%誤差[m]	6.51	7.20	12.07	24.69	11.47
累積 95%誤差[m]	14.07	14.57	25.89	48.64	32.12
測位率[%]	76.41	99.40	36.84	54.60	99.88

① 3D 測位

測位誤差は、全試行平均で約 6m に抑えられており、4m 台の試行もあった。

測位率は、全試行平均で 76%と良い値を示しているが、40%台となっている試行もあり、若干ばらつきが大きい。

測位結果が真値から大きく外れることがあり、水平誤差の時間軸での変動が大きかった。

② 3D 測位+PDR

3D-Map 法で発生していた水平誤差の変動が抑えられており、3D-Map 法より誤差の偏差と最大誤差が改善している。

3D-Map 法の測位率が比較的良好なため、連続して測位不可となることが少なかった。そのため、PDR の誤差の累積が少なく、誤差が改善されている。

起点から終点まで、歩行ルートに沿った、なめらかな軌跡となっている。

③ Height Aided

平均誤差は、全試行平均で 11m 程度に抑えられている。

信頼度の低いデータが測位結果として反映されない方式のため、測位率は、全試行平均で約 37%にとどまっている。

水平誤差の変動が大きく、歩行ルートのトレースがほとんどできていない。

④ Height Aided+PDR

測位率は Height Aided 法単独より改善され、全試行平均で約 55%となっているが、平均誤差、偏差とも劣化している。

Height Aided 法で測位できていない部分について、もともと誤差の大きい Height Aided 法での測位を起点として PDR が開始されるため、誤差の大きい測位点の割合が増え、誤差が劣化している。

3.2.3.3.2 新宿

表 27 新宿測位結果 (代表例)


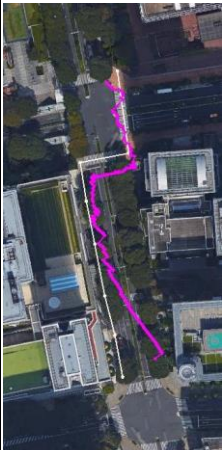



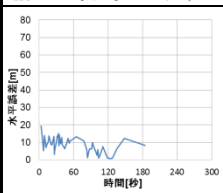
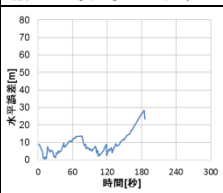
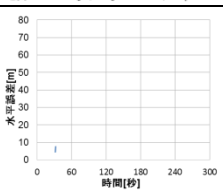
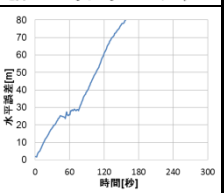
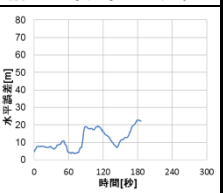
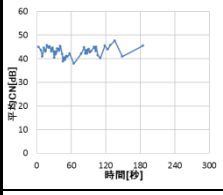
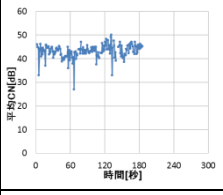
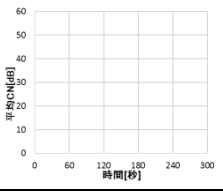
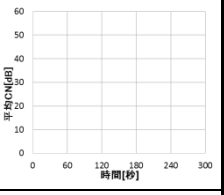
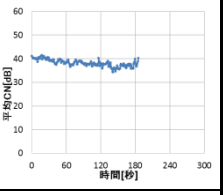
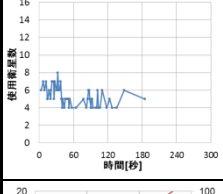
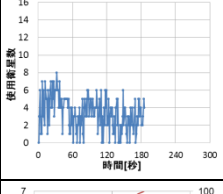
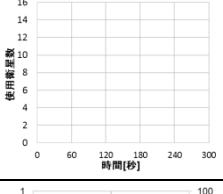
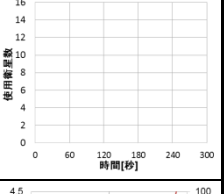
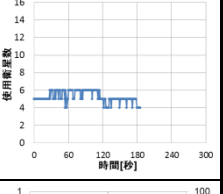
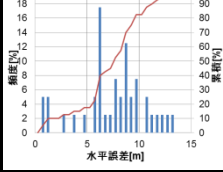
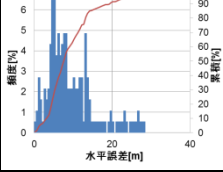
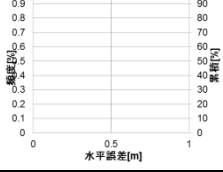
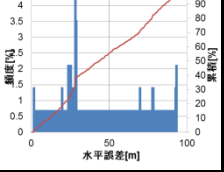
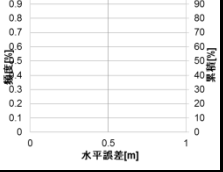
	3D 測位	3D 測位+PDR	HeightAided	HeightAided+PDR	統合 PDR
測位点 プロット					
時間 vs 水平誤差					
時間 vs 平均CN					
時間 vs 使用衛星数					
水平誤差 分布					
平均誤差[m]	7.46	9.58		47.21	11.58
標準偏差[m]	3.18	6.30		27.82	5.52
最大誤差[m]	13.22	28.36		93.35	22.77
累積 68% 誤差[m]	8.25	10.75		66.25	13.75
累積 95% 誤差[m]	11.75	23.25		90.25	20.75
測位率[%]	21.39	98.93	0.00	75.40	99.47

表 28 新宿 集計データ

	3D 測位	3D 測位 +PDR	Height Aided	Height Aided+PDR	統合 PDR
平均誤差[m]	10.89	15.04	11.11	75.35	23.40
標準偏差[m]	6.07	8.91	6.23	12.82	14.39
最大誤差[m]	55.17	74.07	100.71	174.94	292.45
累積 68%誤差[m]	12.32	19.22	11.25	83.24	27.25
累積 95%誤差[m]	21.26	30.52	21.98	93.66	49.93
測位率[%]	36.52	96.62	4.57	39.40	99.80

① 3D 測位

測位誤差は比較的良好な値（全試行平均で約 11m）である。

方式的に信頼度の低いデータを排除した結果であり、測位率が全試行平均で約 36%とかなり低く、測位できないタイミングが多く発生している。

表 27 の試行では、測位率は約 20%で、後半部の測位ができていない。

② 3D 測位+PDR

3D-Map 法で測位できなかった部分について、PDR で補完されているため、測位率がほぼ 100%まで改善できているが、平均誤差は 15m に低下している。

3D-Map 法で連続して測位不可となるケースが多く、PDR での誤差が累積されることで、平均誤差が低下している。

表 27 の試行のプロットで、3D-Map 法で測位できていない後半では、徐々に真値から外れている。

③ Height Aided

平均誤差は、数値上 3D-Map 法と同等の結果（11m）となっているが、3D-Map 法と同様に、信頼度の低いデータは測位結果として反映されない方式のため、測位率は、全試行平均 5%以下で、歩行中、全く測位できていないケースも多かった。

④ Height Aided+PDR

測位率は、Height Aided 法単独より改善され、全試行平均で約 40%となっているが、Height Aided 法ではほとんど測位できていないことから、ほぼ PDR の精度がそのまま反映された結果である。

3.2.4 まとめ

東京都内 2 箇所における測位実験の結果から、高層ビル街や市街地等における歩行中の GNSS 測位精度の向上に対する 3D-Map 法、および Height Aided 法の有効性について考察する。

● 3D-Map 法

中高層ビル街（一ツ橋）、都心の高層ビル街（新宿）の双方にて、統合 PDR 方式に比べて、安定的に良好な精度の測位ができた。

しかし、測位計算の結果を信頼度でフィルタリングする方式のため、測位率が 100%にならず、歩行中、測位結果が出力されないタイミングが存在する。

特に、衛星信号の受信環境が悪い新宿では顕著であり、連続して測位結果が出力されないケースが頻繁に見られた。

本開発の目的である、歩行者の交通事故回避のためには、測位の精度とともに、連続した測位が必要であり、上記性質をもつ本方式単独での適用には課題がある。対策として、PDR 併用による補完が有効で、実験において良好な結果が得られている。ベストケースでは、平均誤差が 4.02m まで抑えられている。

PDR については、方向検出、移動速度にある程度の誤差が含まれ、連続して PDR を使用すると誤差が累積される。3D-Map 法で算出される測位結果自体は精度が高く、長期間に渡っては測位されたため、測位率を保ちつつ、精度の高い測位ができていた。

● Height Aided 法

今回の 2 箇所の実験においては、測位率が非常に低く、特に新宿では、一度も測位結果が算出されないこともあった。また、測位結果についてもばらつきが大きかった。

PDR 併用については、測位率が 0%に近い場合は、ほぼ PDR 単独での測位となってしまう、PDR の性能がそのまま反映されている。測位率がある程度の場合も、ばらつきが大きいことから、PDR を併用することで誤差が拡大する傾向があった。

ただし、Height Aided 法については、PDR の併用で良い結果を示すケースもあるので、マルチパス環境での精度向上の調整が必要である。

3.2.5 今後の課題

今回実験した方式の中では、3D-Map 法と PDR の併用が良好な結果が得られており、GNSS 測位の精度向上には、本方式の適用が有効である。

歩行者の位置測位では、環境や時間によらず、精度の高い測位が必要であり、測位の安定化のための課題を、今後の課題として以下に示す。

- 計算パラメータのチューニング
今回実験を行ったビル街以外の種々の環境、ロケーションで測位を行い、アルゴリズムの説明で示した尤度計算や信頼度計算、URA で用いる各種パラメータの最適化の検討が必要である。
- PDR の性能向上
3D-Map 法で測位算出できない環境では、測位の精度が PDR の性能に依存するため、PDR の精度向上が必要である。
- デバイス構成、アンテナ位置の検証
今回の実験は、理想的なデバイス構成、アンテナ位置での評価であった。
スマートフォン等の携帯機器でのリアルタイム処理の検証や、アンテナ位置による測位精度への影響の検証が、実用化に当たって必要となる。
- データベース構築検討
方式の課題ではないが、実用化に当たっては、広範囲の 3D-Map のデータベース構築が必要であり、その提供方法や更新方法についての検討が必要である。

4 危険判定精度の向上 方式開発とアプリケーション試作

4.1 衝突予測方式改良

事故防止の実現には測位精度の向上が必須である。

一方、誤差のある中で、衝突予測の精度を高めていく取り組みが必要である。

本章では、衝突予測方式と、前年度からの改良部分について記述する。

警視庁の平成 28 年度の事故データによると、人对車両の死亡事故数の 72%が、歩行者横断の事故であり、最も頻度が高く、危険である。

(5) 事故類型別の状況

◎ 事故類型別死亡事故件数の推移

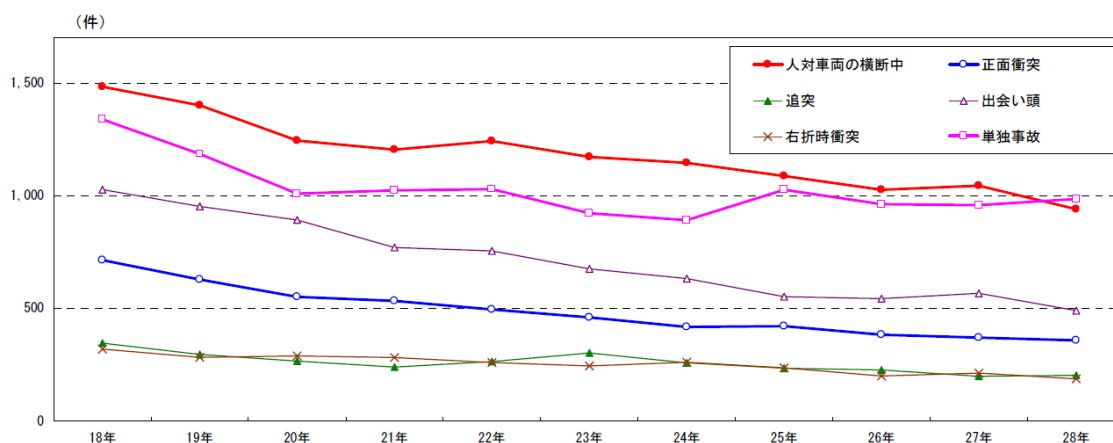


図 97 事故類型別死亡事故件数の推移

特に、遮蔽物のある道路での、直進車両との出会い頭の衝突がほとんどであるため、この対策を進めることが、死亡事故の軽減に直結する。

そのため、直進車（単路、交差点どちらも）と、歩行者横断の様々な状況において、正しく衝突判定され、危険を通知することが期待される。

歩車間通信により、歩行者と車両の位置情報を相互に伝送し、お互いの相対位置を把握する。その後、衝突の可能性があるかを事前に予測し、危険を通知する。

実際には、方位誤差、および測位誤差など、多くの影響があり、それらの誤差に対応する

必要がある。

昨年度までは、進む方向と距離の範囲円を、10 秒後まで予想して作成し、歩行者と車両で重なりが発生するか判定することで、実現していた。

しかし、衝突条件が限られた状況での実現に留まり、以下の課題点があった。

- 測位誤差、方位誤差の影響が含まれておらず、画一的な判定であった

そのため、測位の精度がよい位置では問題がないが、測位誤差が含まれる場所では、衝突予測地点がずれるため、望ましいタイミングでの通知ができていなかった。

- 警報のみ通知されるため、危険度の変化が不明であった

通知は、衝突 3.2 秒前の警報（音、バイブ）のみであったため、突然の通知となり、事前の遷移が把握できなかった。歩行者が急に止まれるとは限らず、事前から徐々に通知する必要がある。

- 一定の条件の、規定のタイミングのみに対応していた

歩車間の通知システムの検証であったため、交差点の直行で、速度一定の決められた条件の確認であった。

実運用では、歩行者、車両ともに、速度、進行方向、タイミングなどに自由度があるため、対応する必要がある。

- 範囲円の計算量が多いため、1 台対向のみで、それ以上の複数台になると、1 秒周期に間に合わず、処理が溢れてしまう

自分の範囲円の推移計算と、面同士の重なり判定の計算に時間がかかっていたため、3 台以上の複数になると処理量が溢れ、1 秒周期での判定に間に合わなくなっていた。

本年度は、効果的な支援の実現のため、以下の改良を行い、適用範囲の拡大を目指す。

判定の更新周期は 1 秒である。

- 誤差を加味した判定
- 複数台数への対応
- 状況による、段階的な通知をする

4.1.1 誤差を加味した判定

速度、測位、方位の誤差を計算式に含める。

簡易化のため、方位と速度については、現時点の値を一定として計算に使用し、衝突地点までの将来の変動は考慮しない。（ただし、計算は毎秒更新される）

速度から最小誤差時の到達点と、最大誤差時の到達点を算出し、その間を判定領域とする。

誤差の数値は、使用する測位端末によるため、速度誤差率を定義し、何%のブレがあるかを設定であらかじめ入力する。

方位の精度は、センサー精度に影響し、歩行者と車両で進行方向に対する誤差値が異なる。そのため、歩端末モードと車端末モードを分けて、方位誤差角度を設定できる。

位置誤差も同様に、測位精度に影響し、歩行者と車両でそれぞれ誤差範囲円を設定する。

具体的な計算式詳細は「開発アプリケーションの詳細仕様」の章に記載する。

下図の以下の領域が誤差範囲で変動する。

R : 位置誤差 (円)
 $L_{Mplus}(t), L_{Mminus}(t)$: 方位誤差範囲
 $L_{min}(t), L_{max}(t)$: 速度誤差範囲

その最大領域を判定対象として、誤差があっても判定できる。

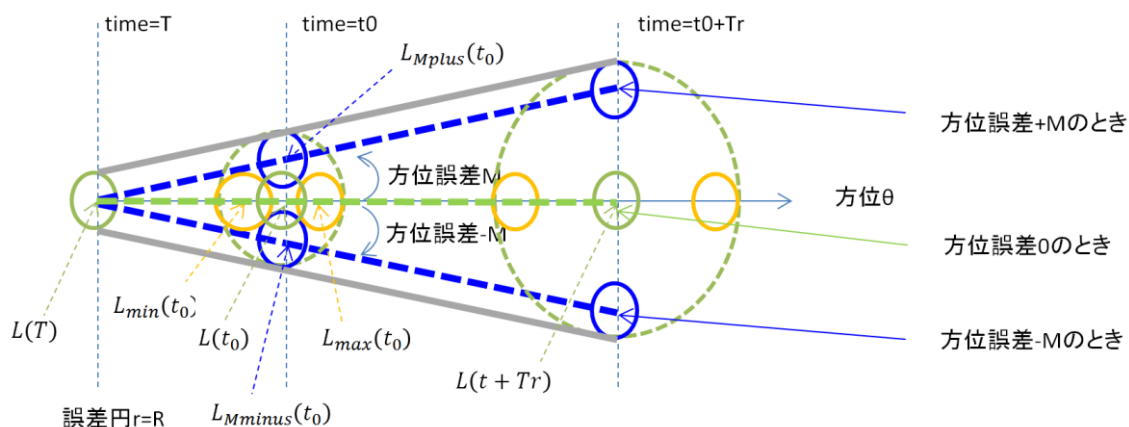


図 98 誤差を加味した衝突判定領域

実験の詳細結果は「危険判定の有効性検証」の章で示す。

4.1.2 複数台数への対応

ベクトル方式により衝突予測秒数を算出する。

上記の誤差を含めた立体的な範囲から、衝突予想秒数を算出する。

前年度の時間ごとの総当りの円の重なり判定から、ベクトル計算に変更する。

誤差範囲を含めた円錐の側面と、衝突判定対象の進行ベクトルの交点を、方程式で求める。

単位時間ごとに連続的に計算をする必要がなくなり、方程式の解から、衝突する秒数を得

られる。そのため、計算にかかる時間が 1/10 に軽減され、複数の台数に対応が可能となる。

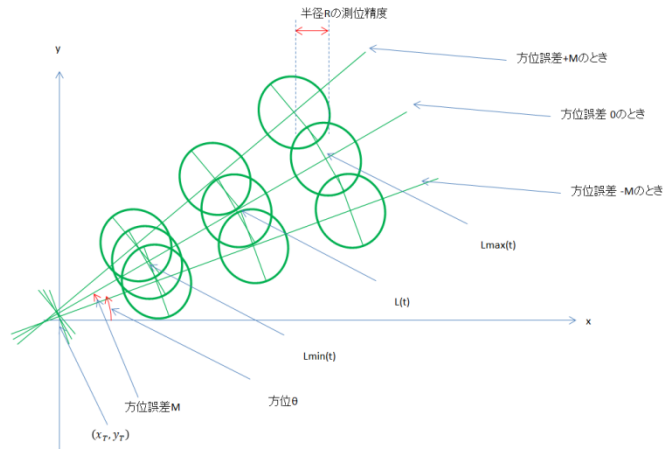


図 99 前年度の衝突判定方式

前年度的方式では、誤差円を時間ごとに推移させ、重なり判定を全て行っていた。

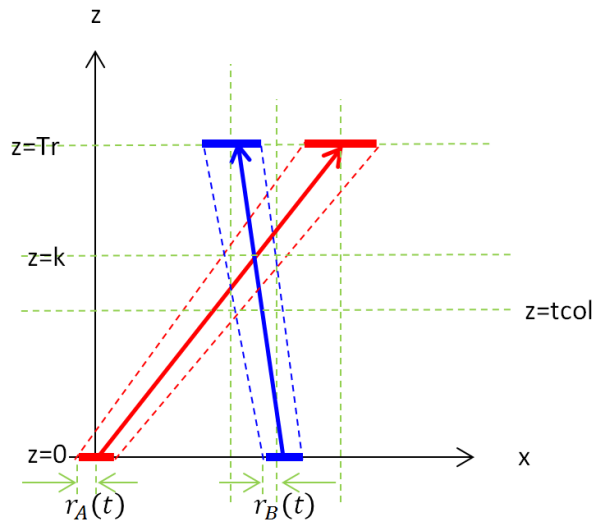


図 100 今年度の衝突判定方式

今年度的方式では、ベクトルの交点の有無を方程式で解くため、時間ごとに遷移させての計算が不要になる。

また、さらに計算量を削減するため、歩車間で通信した情報のうち、衝突可能性がある範囲を限定した上で、衝突を計算する。

相対距離を算出し、離れていて、現在のスピードで衝突しないものを除外する。

次に、ベクトルの進行方向から、お互いに近づいていて、前方にある角度範囲内のみを抽

出し、衝突判定する。

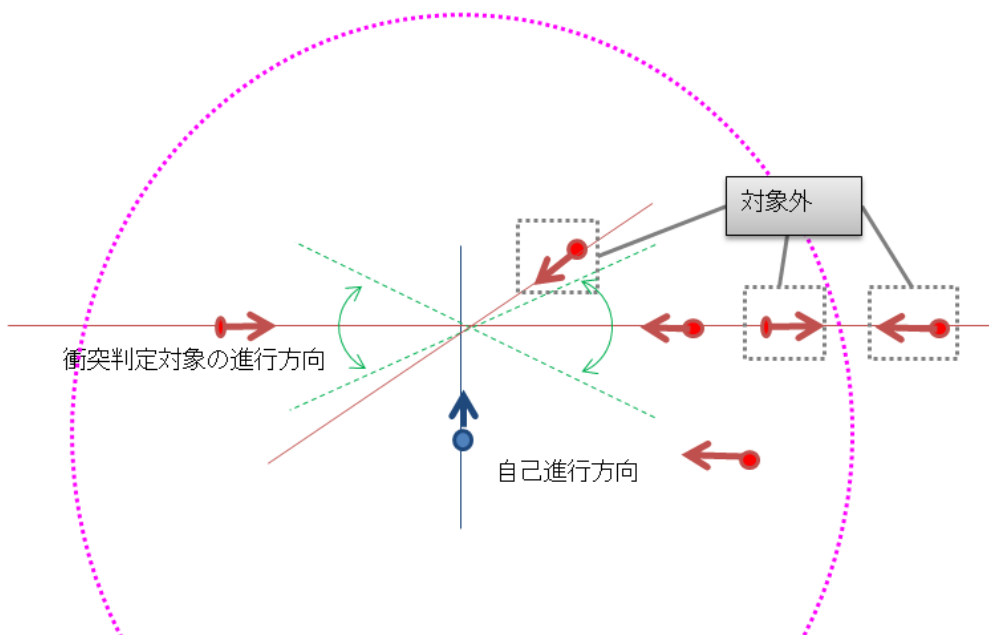


図 101 衝突範囲のフィルタ概念図

処理量の改善確認のため、多数の歩行者情報をシミュレートした結果を以下に示す。

歩行者 1 人に対し、車両を 100 台同時に走行した場合でも、フィルタが適切にされ、1 秒おきに、対象の衝突判定が実現されている。

逆に車両 1 台に対し、100 人の歩行者についても、対応して表示および衝突判定ができてい



図 102 多数の車両との衝突判定

(デバッグ表示のため、画面上に o2 などと表示されているのが、衝突判定した対象車両数となる)

4.1.3 段階的な通知

前年度は、衝突の可能性を、警報音とバイブレーションにより、ユーザーに通知していた。しかし、それでは画一的な通知になり、衝突までの状況を把握することができなかった。そこで、今年度は、衝突点までの秒数で、段階的に通知をすることで、危険回避行動がとりやすくなる。

下記の 4 段階で通知する。

- 存在通知

車両が判定可能な範囲内に入ったことを通知する。

衝突判定はせずに、相対的な距離を表示する。

音とバイブレーションは動作させない。

- 情報提供

衝突までが遠いとき（10 秒以上）に、距離と到来方向を表示する。

簡単な通知音とバイブレーションで通知する。

- 注意喚起

衝突までが近いとき（6.5~10 秒）に、距離と到来方向を表示する。
注意通知音とバイブレーションで通知する。

- 警報

衝突までが緊急のとき（~3.7 秒）に、距離と到来方向を表示する。
警報音とバイブレーションで通知する。

測位精度が影響するため、衝突タイミングの推定には誤差が生じる。
そのため、測位計算で用いた精度情報を参照し、通知方法を切り替える。
測位の精度が高いときは、信頼性が高いので、すべての情報を通知する。
逆に測位の精度が低いときは、信頼性が低く、実際の衝突点および衝突タイミングがずれるため、警報、注意喚起を断定できず、情報提供のみの通知とする。
測位精度を 3 段階（High/Mid/Low）に分類する。
通知の対応は以下になる。

表 29 測位精度と通知の対応

測位精度	情報提供	注意喚起	警報
High	○	○	○
Mid	○	○	×
Low	○	×	×

4.1.4 道路幅対応

実際の環境においては、道路の幅は様々であり、単路の小さい道もあれば、幹線道路などの複数車線の道路もある。

歩行者への通知は、道路横断途中の通知ではなく、広い道路のときは、道路横断前の通知が望ましい。そのため、道路の幅により、通知のタイミングを変える必要がある。

道路幅の取得は、地図情報との連携が必要となる。

今年度は、地図との連携部分が開発対象外のため、将来的な連携に備え、取得した道路幅により、通知タイミングを変化させる部分を組み込む。

道路の幅の情報は、レーン数で取得する。

レーンひとつ当たりの幅を 4m、歩行者速度を 1m/s とし、レーン幅分だけ、通知の時間に加算し、タイミングを前にずらす。

前年との対応を以下に示す。

表 30 衝突判定機能の比較

機能	前年度	今年度
車両直進時対応	○	○
車両右左折時対応	○	△
計算速度	×	○
危険通知	○	○
段階的な危険通知	×	○
速度変化対応	×	○
衝突方向角度変化	△	○
道路幅対応	×	△
飛び出し検出	△	×

段階的な通知の実験結果および考察の詳細は、「危険判定・安全支援に関する評価」の章に示す。

適切なタイミングで通知が動作しなかった主要因は、遅延である。

歩行者が継続して歩行しているときは、方向が収束し、安定していくため、正しく通知されるが、停止からの動き出しや、急な方向転換では、センサーの追従が遅れるため、方向の誤差が大きくなり、予想進路にずれが生じる。そのため、動き出しのときに余分に通知される結果となった。

歩行者が直進しての単路横断と、出会い頭の事故について、段階的に通知され、さらに正解率が高いため、事故の発生防止に有効である。

4.2 不要支援対策

4.2.1 歩車挙動による支援対象絞込み

進行方向の衝突を判定する方法では、歩行者の状況に関係なく、常に支援がされる状態になり、通知の効果がなくなる。

歩行者と車の相対的な位置と方向の情報から、状況（シーン）により支援の有無を切り替え、危険なときのみ通知し、安全なときには除外する仕組みが必要である。

歩道を安全に歩行しているときは、不要な通知をせずに、危険なときに通知をするようにすべきである。そこで、歩行者と車両の速度と、方向から、危険な状況かを推測する。

死亡事故の主要因は横断である。そのため、横断方向の通知は必須である。

逆に、歩行者と車両が平行して進んでいる場合は、歩道や、道の端を歩行している状況が多く、事故の確率が低い。

そこで、衝突判定前に、自己の進行方向と、対向の衝突判定対象の進行方向を比較し、ある角度の判定範囲内に入っているかを判定する。

お互いが向かっているかを、進行ベクトルの外積から算出する。

信号待ちで停止している状況など、停止している状況では、衝突することはないため、安全である。

そこで、減速状態から停止した場合を検知して、衝突判定を行わず、不要な危険通知をしない。検知には、速度情報の遷移を使用する。

車両側の速度が遅いときは、衝突しても死亡事故には繋がらない。

そのため、車両速度が低い（歩く程度）のときには、衝突判定しない。

速度にしきい値を設け、その値以下かどうかを判定する。

実験結果および考察の詳細は、「危険判定・安全支援に関する評価」の章に示す。

実運用での通知の抑制の有効性を確認できた。

4.2.2 歩行者状態推定

歩行者は移動の自由度が高く、様々な環境にいることが想定される。

外出時の道路上は事故を防止する必要がある。一方で、建物内や、車両乗車中などの安全な状況では、事故が発生しないため、危険通知は必要ない。

そこで、衝突しうる危険な環境のときに支援を有効にし、そうではない安全な環境のときは、不要な支援を除外する。

それにより、不適切な危険通知がされないようにし、判定精度を向上するとともに、環境に応じてシステムを休止させ、電池持ちを長くする。

危険通知の支援が不要な状況を抽出した中から、実現可能な以下の状況について取り組む。

- 高架
- 屋内
- 車両

昨年度との比較を示す。

(歩道橋については、昨年度実現できているが、地図連携部分のため、今年度のアプリケーションにマージしていない。)

表 31 歩行者状態推定機能の比較

状況	昨年度	今年度
歩道橋	○	×
歩道	×	×
高架	×	○
屋内	×	△
車両乗車	×	△
自転車乗車	×	×

4.2.2.1 高架判定

高架の判定は、気圧センサーの値から、高度を推定する。

各端末の気圧センサーの値は相対値となるため、絶対的な高度にはならない。

そこで、端末間の相対的な差を比較する。

スマートフォンで検証したところ、同じ機種であっても、気圧センサーの出力値にばらつきがある。そこで、基準点を設定し、機種ごとの差を各端末で補正する。

本年度は、基準値の設定は、アプリケーション上から手動で行う方式とする。

(地図連携機能は対象外のため)

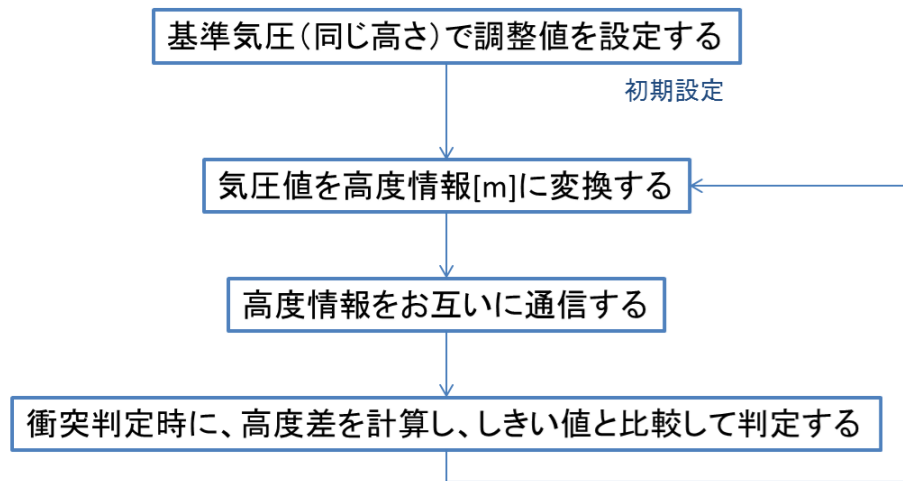


図 103 高架判定フロー

試験結果および考察の詳細は「課題抽出試験」の章に示す。

高さの差が一定以上の場合、100%検出ができています。

しかし、同じ高度から、登り坂となる場合は、通知されてしまった。

これは、気圧センサーの差情報が反映される前に、平地であった場合の衝突判定が行われるためである。

今後の改善には、地図情報と連携し、判定箇所が坂なのかといった道路形状の取得が必要である。

4.2.2.2 屋内判定

衛星の電界強度情報から、屋内か屋外かを判定する。

屋内では衛星の信号がさえぎられるため、電界強度が低い。そのため、電界強度の変化を検出し、屋外/屋内の遷移を推定する。

屋外→屋内：電界強度が強い状況から、弱い状況へ遷移する

屋内→屋外：電界強度が弱い状況から、強い状況へ遷移する

さらに加速度、ジャイロセンサーを組み合わせ、歩行を検知し、一定時間以上移動していないようであれば、端末が放置されていると判定し、システムの動作を休止させる。

実際に屋外での歩行、静止と屋内に遷移した結果の例を示す。



図 104 屋外歩行時の画面表示結果



図 105 屋外静止時の画面表示結果

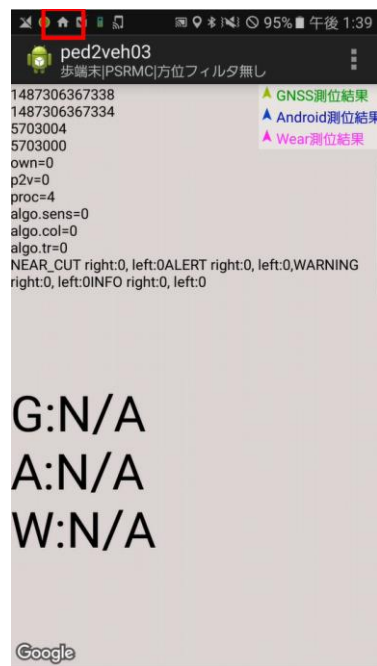


図 106 屋内歩行時の画面表示結果

通知正解率は屋外開放地、屋内はビル内で、100%（5/5回）であった。
必要な場所のみ通知することで、不要な動作を大幅削減できる。

課題としては、窓際など境界では、電界強度があいまいのため、適用はできない。(屋外になる)

変化を検出するため、判定に 10 秒以上かかり、瞬時の適用ができていない。

4.2.2.3 車両判定

位置情報から速度の変化を取得し、歩行では到達できない速度が持続したときに、車両と判定する。

速度情報は、位置精度にしたがってしまうため、瞬時値ではなく、経過をみて判断する。

加速度センサーなど単独での状態判定は、検出確率が低いため、誤った判定となってしまう。本年度は、車両と想定される確立が高い状況のときに、通知を行わなくする限定的な効果とする。精度を高めるには、センサーや統計情報との連携が現実的である。

車両に乗って移動したときの、アプリケーション表示画面を以下に示す。

端末の上部の状態表示が正しく車に変わり、遷移していることが確認できた。



図 107 通知欄の車両状態表示



図 108 車両乗車時の通知表示結果

昨年度は、地図情報連携で歩道橋の不要支援を行った。

今年度はそれに加え、明らかに不要な状況である、高架、屋内、車両の除外ができた。

他の状況ごとにもそれぞれ対応が必要となる。

はっきりと断定できる状況ではよいが、端末情報からはどちらとも取れる、境界の曖昧なところを、外部の情報で補完するなど、連携しての精度向上が必要である。

5 危険判定の有効性検証（実験）

5.1 危険判定・安全支援に関する評価

5.1.1 基本検証の目的

歩車間通信システムの危険判定・安全支援に関する評価として、JARI（日本自動車研究所）テストコースを用い、実車を使い、歩行者が様々な条件で衝突直前まで歩行する、基本検証を実施した。

評価目的は以下の検証である。

- ① TTC（衝突時間）に応じた段階的な安全支援ができる
- ② 複数の歩行者に対して安全支援ができる
- ③ 歩行者と車両のなす角度が変化しても安全支援ができる
- ④ 歩行者と車両の速度が変化しても安全支援ができる
- ⑤ 道路幅に応じた安全支援ができる
- ⑥ 歩行者の安全な、平行移動と、遠ざかる動作のときに支援をしない（不要支援）

5.1.2 評価項目設計

すべてのパターンで実施すると、膨大な組み合わせとなる。項目の削減のため、試験項目の抽出は、Pairwise 法を採用した。それにより、全パターンのうち、因子を網羅する項目が選択されている。

抽出に使用した因子を以下に示す。

表 32 項目抽出因子

因子	単位	値
車線数	レーン	1, 2
車速度	km/h	10, 45, 60（一定速度） 0~30, 30~60（加速） 60~30, 30~0（減速）
歩行者人数	人	1, 2
歩行者速度	m/s	1, 2, 3
歩行者横断方向	-	近づく、遠ざかる
歩行者進入角度	度	0, 30, 45, 60, 90

Pairwise 法により生成した項目を以下に示す。

表 33 評価項目

番号	道路 車線数	車 加減速	速度[km/h]	歩行者 A			歩行者 B		
				速度[m/s]	横断	角度[度]	速度[m/s]	横断	角度[度]
1	2	一定	60	2	近づく	90			
2	1	一定	45	3	近づく	30	2	近づく	90
3	2	減速	60→30	3	近づく	0			
4	1	減速	60→30	2	近づく	90	3	近づく	60
5	1	加速	30→60	1	近づく	45	2	近づく	90
6	2	加速	30→60	3	遠ざかる	90	3	近づく	45
7	1	減速	30→0	2	近づく	30			
8	1	減速	30→0	1	遠ざかる	90			
9	1	加速	0→30	2	遠ざかる	90			
10	1	加速	0→30	3	近づく	60			
11	1	一定	10	1	遠ざかる	0			
12	2	一定	50	2	近づく	90			

5.1.3 評価方法

基本的な評価方法は、歩行者と車両が、スタート地点から衝突ポイントに向かって、衝突するタイミングに合わせて、移動した。歩行者と運転手のそれぞれに、危険判定方式による支援が正しくできているかを評価する。

歩行者端末と車両の端末ログと、環境のビデオ撮影、車載カメラの画像をあわせることにより、支援の有無、およびタイミングを評価する。

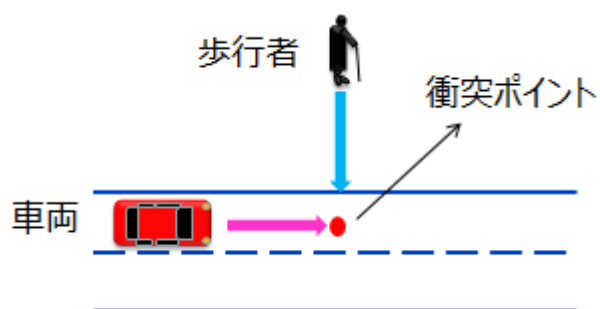


図 109 歩行者と車両の衝突評価概念図

5.1.3.1 TTC に応じた段階的な安全支援の評価

衝突ポイントまでの移動期間に、歩行者と車両の危険通知が、適切な支援タイミングで通知がされているかを確認する。

- 衝突の 3.2 秒前まで：警報
- 衝突の 6.5 秒前まで：注意喚起
- 衝突の 10 秒前まで：情報提供

歩行者側の通知タイミングは、「歩車間通信の要求条件に関する調査 報告書（独立行政法人交通安全環境研究所，平成 28 年 3 月）」に記載された、歩行者の支援タイミングについて、モニター評価した結果の数値を利用している。

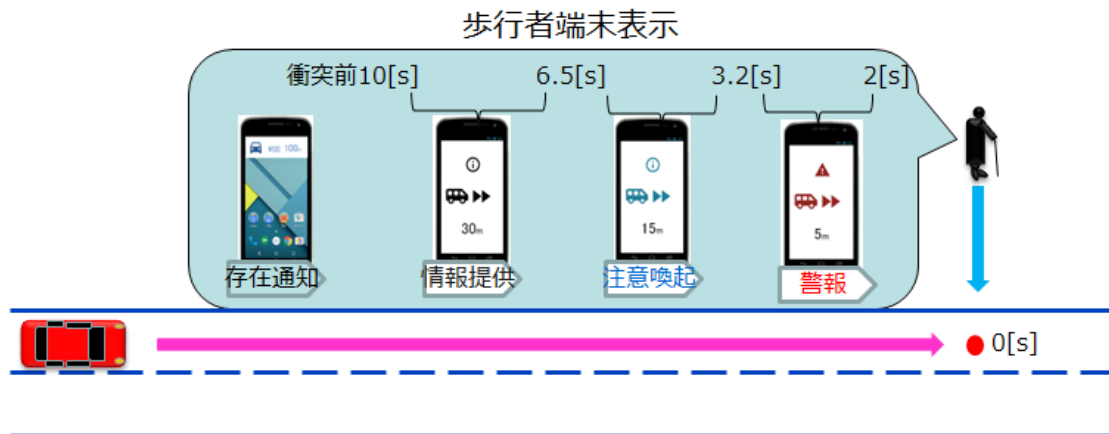


図 110 歩行者の段階的支援の確認

車側の運転手への段階的な支援タイミングは、「先進安全自動車(ASV)推進計画 報告書 (国土交通省自動車交通局 先進安全自動車推進検討会, 平成 23 年 6 月)」より、歩行者と同様に、警報、注意喚起、情報提供の危険通知を確認する。

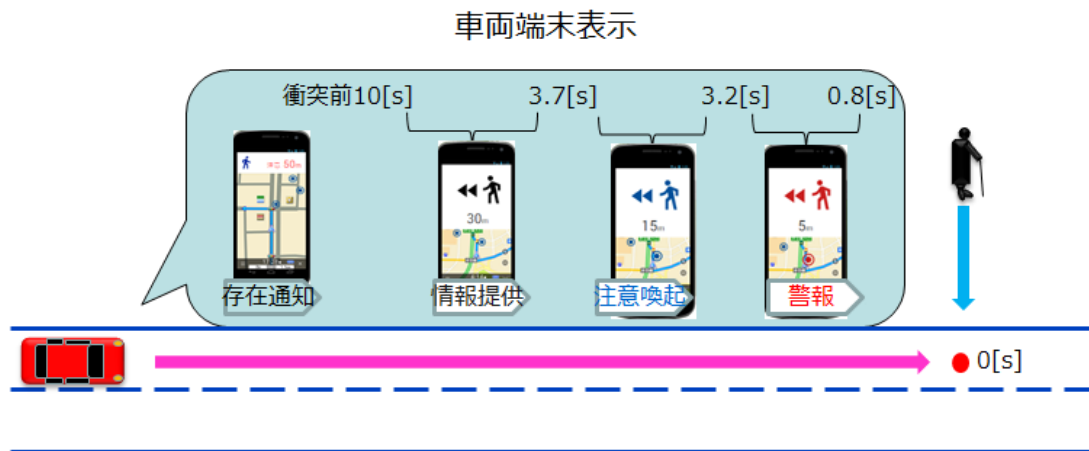


図 111 運転手の段階的な支援の確認

5.1.3.2 複数の歩行者に対する安全支援の評価

複数台を接続した状況で、遅延なく、システムが問題なく動作するかを確認する。車両 1 台に対し、2 名の歩行者を同時に移動させ、支援に影響が出ずに、それぞれの通知が正しいことを確認する。

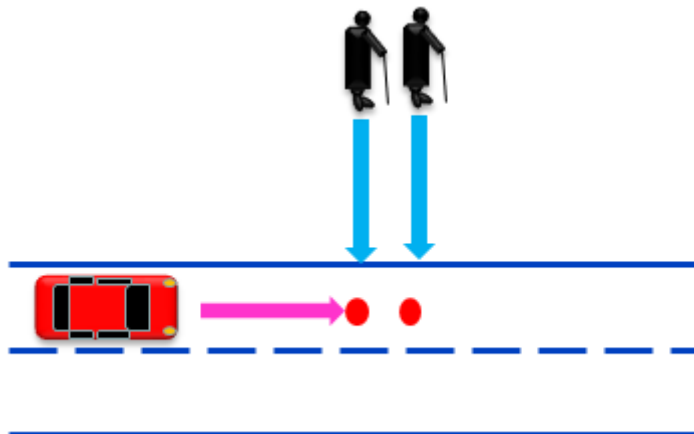


図 112 複数対応の評価概念図

5.1.3.3 歩行者と車両のなす角度に対応した安全支援の評価

歩行者の横断の方向は自由度があるため、歩行者と車両の相対的な角度を 0~90 度変化させて、正しく危険通知がされることを確認する。

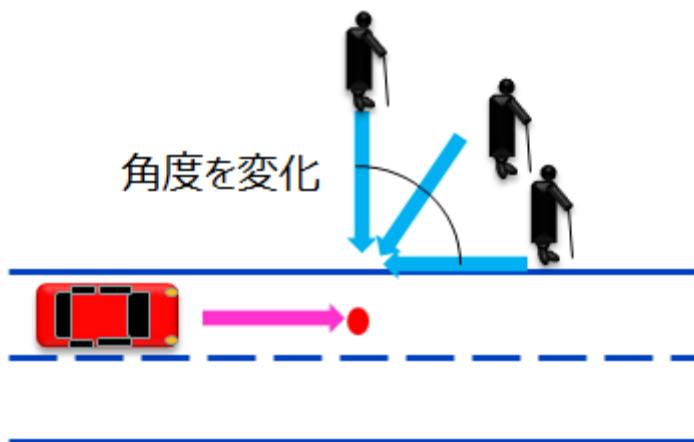


図 113 角度による評価概念図

5.1.3.4 歩行者と車両の速度に対応した安全支援の評価

歩行者と、車両の速度が変化したときに、衝突予想が計算され、危険通知が正しいタイミングでされることを確認する。

車両の速度は、一定、加速、減速の 3 種類について、低速～高速 (0~60km/h) で変化させる。

歩行の速度は、ゆっくりから飛び出し (1~3m/s) の間で、一定速度になるように歩行移動

する。
これらの組み合わせを、評価する。

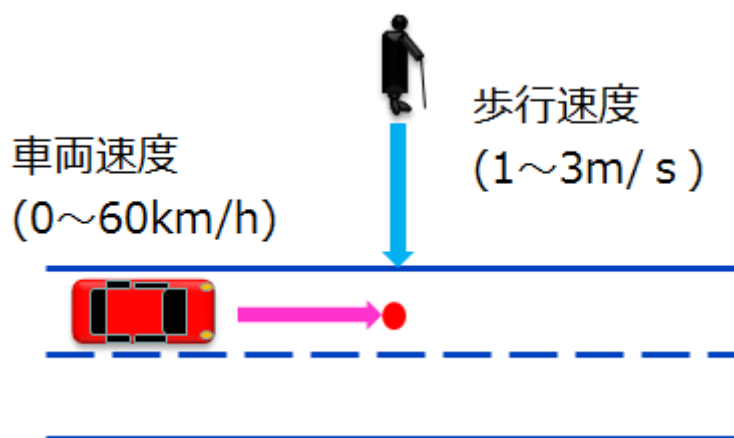


図 114 速度による評価概念図

5.1.3.5 道路幅に応じた安全支援の評価

道路の手前で支援するには、道路幅に応じて、通知のタイミングを変更する必要がある。本評価では、歩行者に近いレーン（レーン数 1）と、1 車線間隔を空けたレーン（レーン数 2）を車両が走行する。走行レーンの違い（道路幅）に応じて、通知タイミングが正しく変更されているかを確認する。

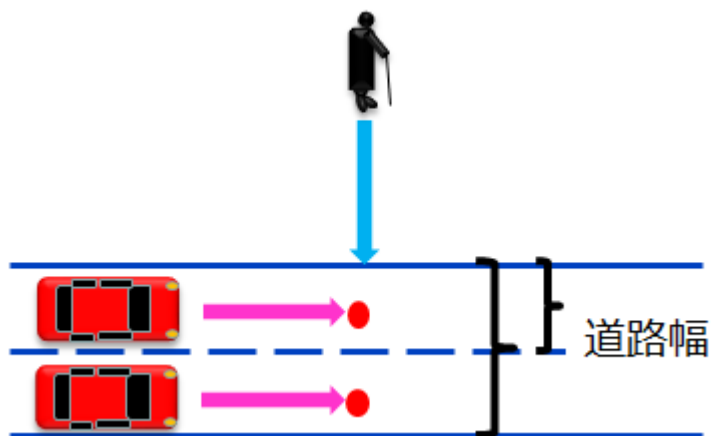


図 115 道路幅による評価概念図

5.1.3.6 歩行者の安全な状態に応じた不要支援の評価

不要な安全支援を抑制するため、平行移動時と、衝突しない方向へ遠ざかる移動時は、衝突判定から除外され、通知がされないことを確認する。

5.1.3.6.1 平行移動時の不要支援の評価

歩行者が安全な歩道を歩き、車両が車道を走っている横断ではない状況想定する。歩行者と車両がほぼ平行に移動し、危険通知されないことを確認する。

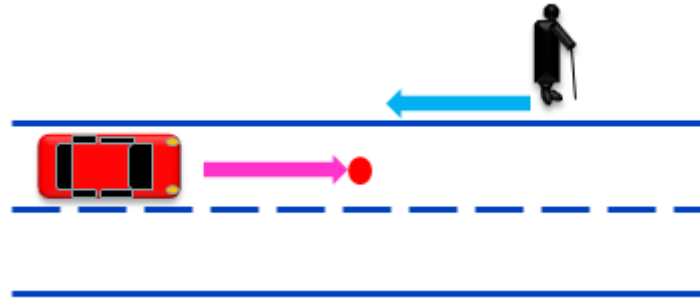


図 116 平行移動時の評価概念図

5.1.3.6.2 遠ざかる動作時の不要支援の評価

歩行者が衝突ポイントへ向かうのではなく、遠ざかる状況において、衝突の可能性が低い
ため、危険通知されないことを確認する。歩行者は衝突ポイント側から、道路から離れる
方向に歩行する。

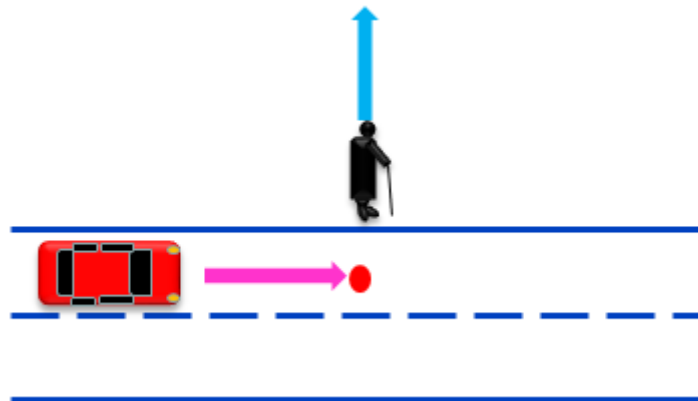


図 117 遠ざかり時の評価概念図

5.1.4 評価環境

歩車間通信システムの危険判定・安全支援に関する評価として、JARI（日本自動車研究所）テストコースを用い、実車を使った基本検証を実施した。

5.1.4.1 実施コース

JARI テストコースの使用箇所と、車両のスタートポイント、衝突ポイントと、歩行者の移動方向は以下となる。

環境条件は、単路横断のコース、開放地（測位誤差：3m 以内）である。

見通しの悪い箇所からの歩行者の横断を模擬するために、交差点の角にコンテナを設置した。

車両と歩行者の移動するタイミングを指揮者が指示し、車両は折り返しポイントで折り返してスタートポイントに戻る。

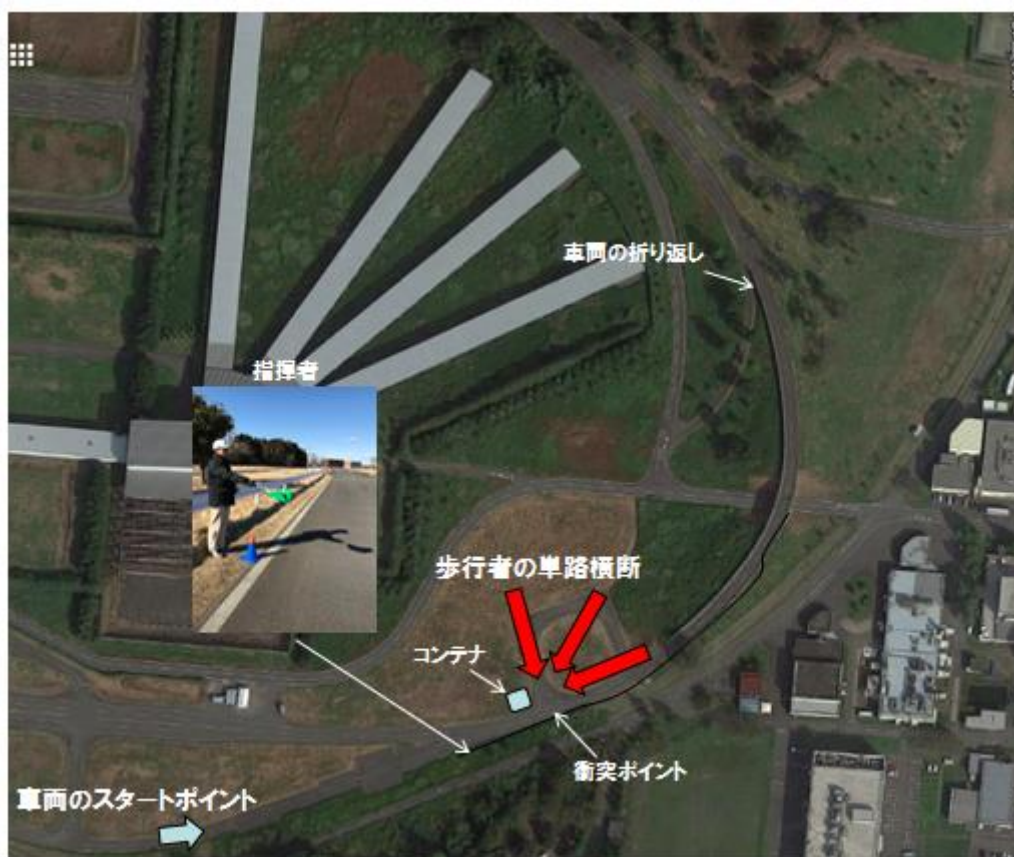


図 118 試験コース

((C)2017 Google,地図データ(C)2017 Google,ZENRIN)

衝突ポイント（P から車線の線上）に対する歩行者と車両の配置の詳細は以下となる。
 車両は **Start1** もしくは **Start2** に位置する。車線数 1 の場合は **Start1** からスタートする。
 車線数 2 の場合は **Start2** からスタートする。
 歩行者は車両との角度を、図のように変えて評価する。例えば、車両と歩行者のなす角度が 90 度の場合は、図の 90 度のポイントから衝突ポイント手前の P ポイントに向かって移動する。

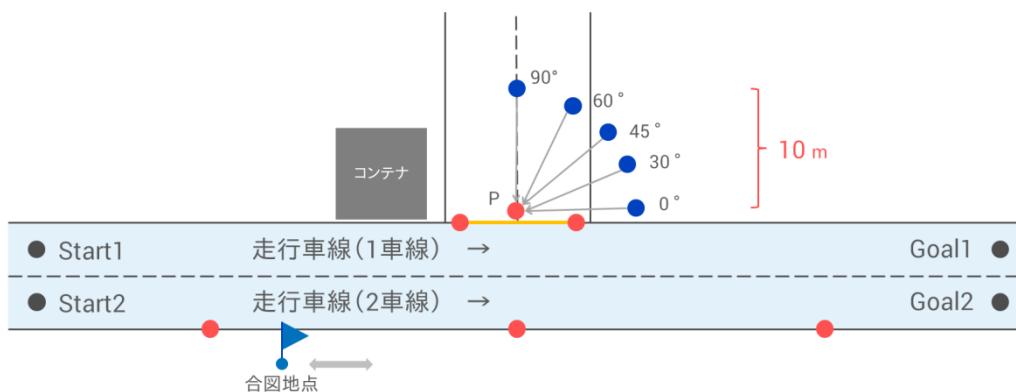


図 119 評価配置の詳細

5.1.4.2 使用端末の構成

歩行者が携帯する端末と車両に搭載する端末の構成は、以下である。

- 位置を計測する GNSS 測位専用端末
- 歩車間で 700MHz 通信を実施する 700MHz 帯通信端末
- 700MHz 通信端末で受信した歩行者や車両の位置、速度、角度情報をもとに、主に歩行者と車両との衝突判定を実施するスマートフォン



図 120 評価端末構成

5.1.4.3 歩行者の携行状態

歩行者は、ヘルメットの上に GNSS 測位端末を設置し、700MHz 通信端末と、充電用のモバイルバッテリーをカバン内に入れ、そのカバンを歩行者が肩からかける。スマートフォンは歩行者の手に持って歩行した。



図 121 歩行者の携帯方法

5.1.4.4 車両側の搭載状態

車両側は、助手席のダッシュボード上に、GNSS 測位端末、700MHz 通信端末を配置する。GNSS 測位端末は、天頂が見えるようにフロントガラスの位置に設置し、スマートフォンはダッシュボード上の設置台におく。



図 122 車両への搭載方法

5.1.5 評価結果と考察

5.1.5.1 TTC に応じた段階的な安全支援の評価

段階的な支援の通知率は以下の結果となった。

評価時に歩行者の移動範囲を限定していたため、歩行者の情報提供については、通知がされない条件である。

全体で 80%程度の通知率となっており、段階的な通知が実施されている。

表 34 段階的な支援の通知率

通知率[%]	情報提供	注意喚起	警報	合計
歩行者	-	100	69	84.5
運転手	78	68	82	76.0

歩行者支援、運転手支援の通知タイミングについての結果を以下に示す。

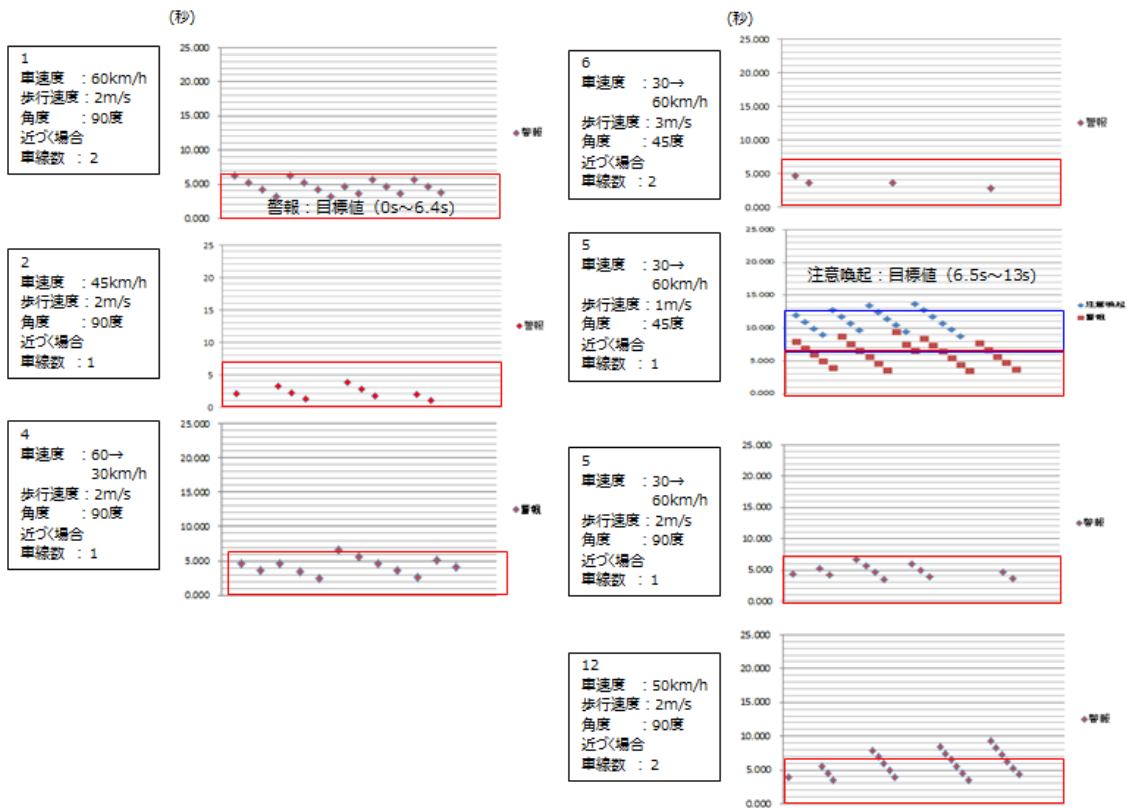


図 123 歩行者支援タイミング

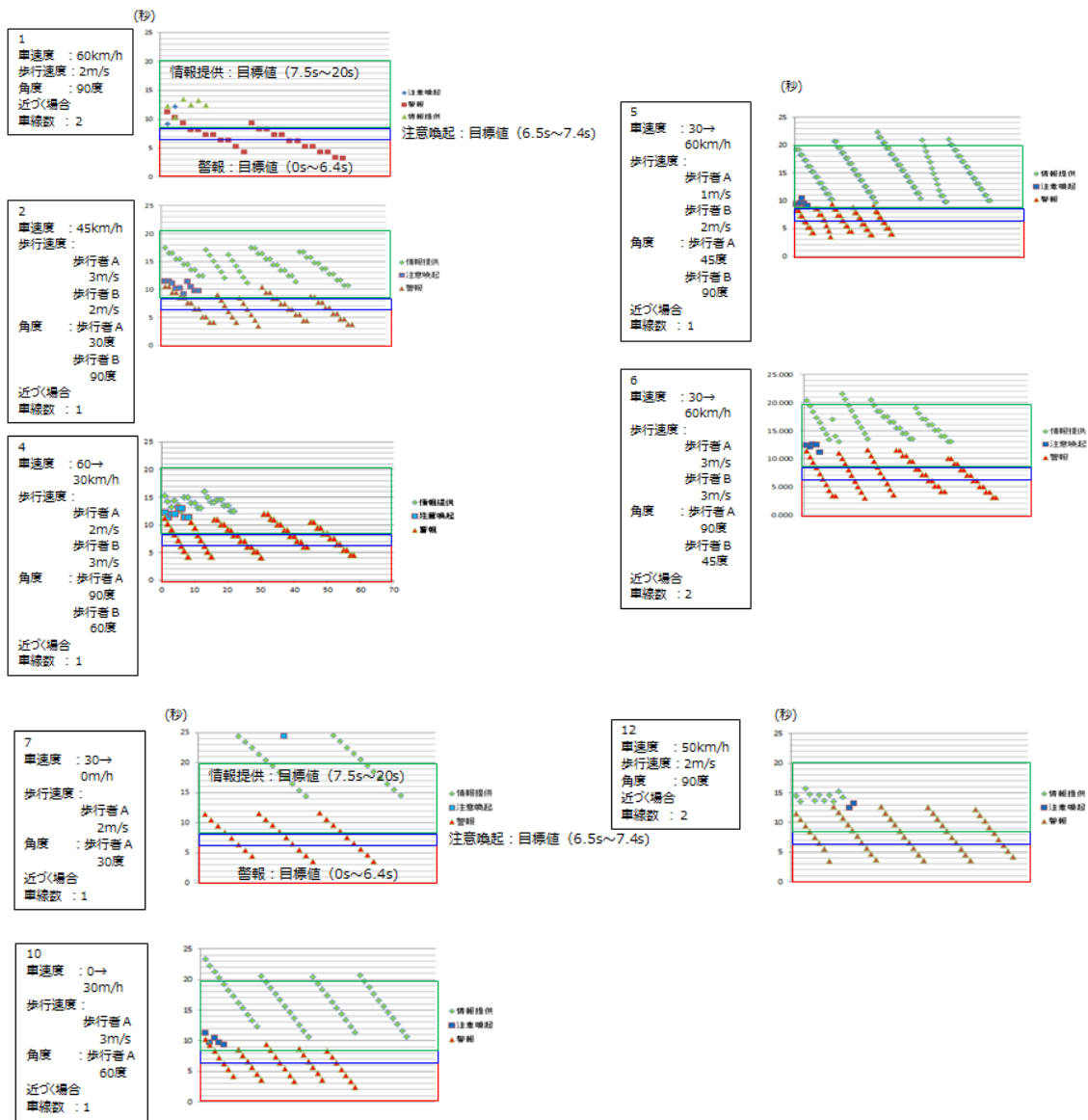


図 124 運転手支援タイミング

歩行者支援については目標枠内であり、支援タイミングとしては適切である。

運転手支援については目標枠より、数秒手前で支援されている。

これは速度誤差範囲を車両側で大きく設定していたためであり、車両の実走行に合わせたパラメータの調整により、支援タイミングの調整が必要である。

通知がされないケースについて状況を分析すると、方位の追従に数秒 (2,3 秒) かかっており、そのため、正しい判定が実施されるまでにタイムラグがあることが原因となっている。具体例を以下に示す。

歩行者がスタート地点に移動し、その後停止する。静止時はそのときの方位で固定される（図では 50~60 度）。試験の開始と同時に歩行を開始したときに、方位が正しい進行方向（図では 250 度）に追従するまで、2 秒ほどかかり、その期間の通知がされなかった。

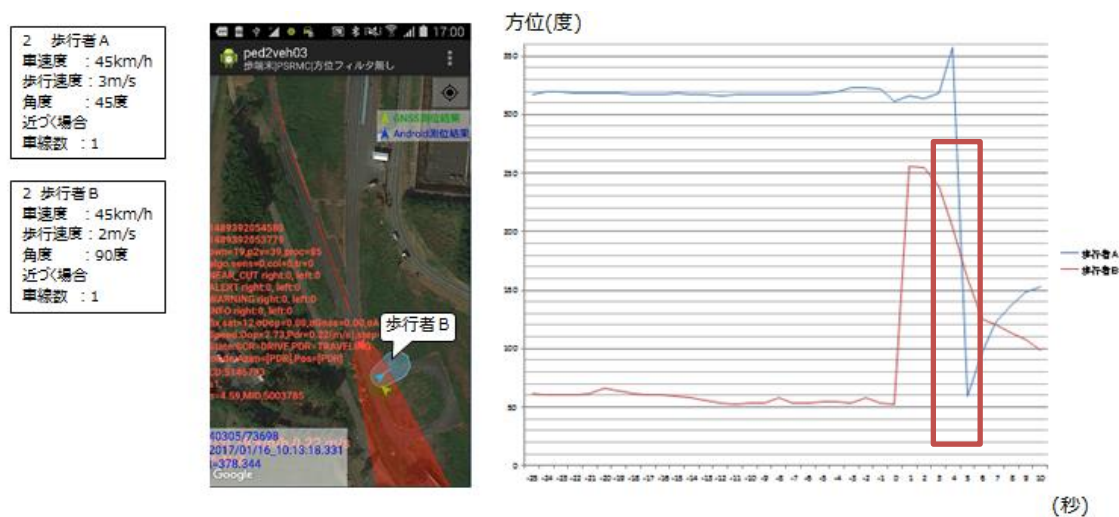


図 125 支援されていないときの方位の遷移

((C)Google)

5.1.5.2 複数の歩行者に対する安全支援の評価

複数歩行者の安全支援について、車両 1 台に対して、歩行者が 1 名のとくと、2 名の複数のときについて、実環境上で通知動作の比較した結果を以下に示す。

表 35 複数支援の通知率

構成	通知率[%]
1 対 1	80.2
1 対複数	79.0

どちらも違いがなく、複数の歩行者に対する安全支援は、問題なく実現されている。

5.1.5.3 歩行者と車両のなす角度に対応した安全支援の評価

角度による評価結果を以下に示す。

表 36 角度による通知率

分類	角度	情報提供	注意喚起	警報	合計
歩行者	30	-	-	30	30
	45	-	100	80	90
	60	-	-	0	0
	90	-	-	100	100
運転手	30	80	80	80	80
	45	80	40	100	73.3
	60	90	90	90	90
	90	88	80	88	85.3

車両側の支援は、ばらつきの範囲内であり、特に角度による違いはなく、通知が実施されている。

歩行者側の通知について、30度と60度の通知率が低い。

この2点で通知がされていない原因について考察する。

● 30度歩行者通知

歩行者と車両のなす角度が、30度の場合の実施状況を以下に示す。

車両が赤い矢印で、その移動予報範囲が赤で示されている。歩行者側は車両と30度で交差する方向を向いている緑色の矢印、その移動予報範囲が緑で示されている。

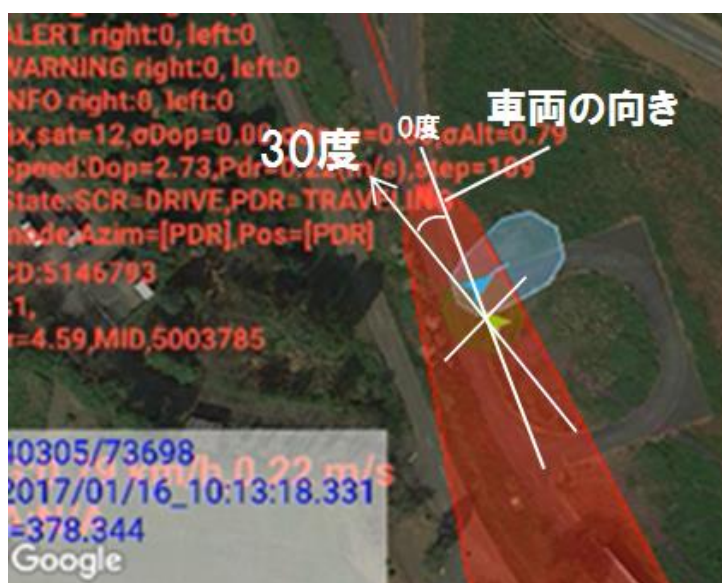


図 126 30度の試験状況

((C)Google)

方位について分析を行った。

正しい向きを0度とし、試験開始0秒地点から移動した方位の結果を以下に示す。

支援が正しくされたのは、紫線の試行のときであった。

正しい方位で遷移しているのは、緑線と赤線の2回の試行であった。

方位の収束に3秒ほどかかっているが、方位の違いからは、特に30度で通知がされる要因は確認できない。

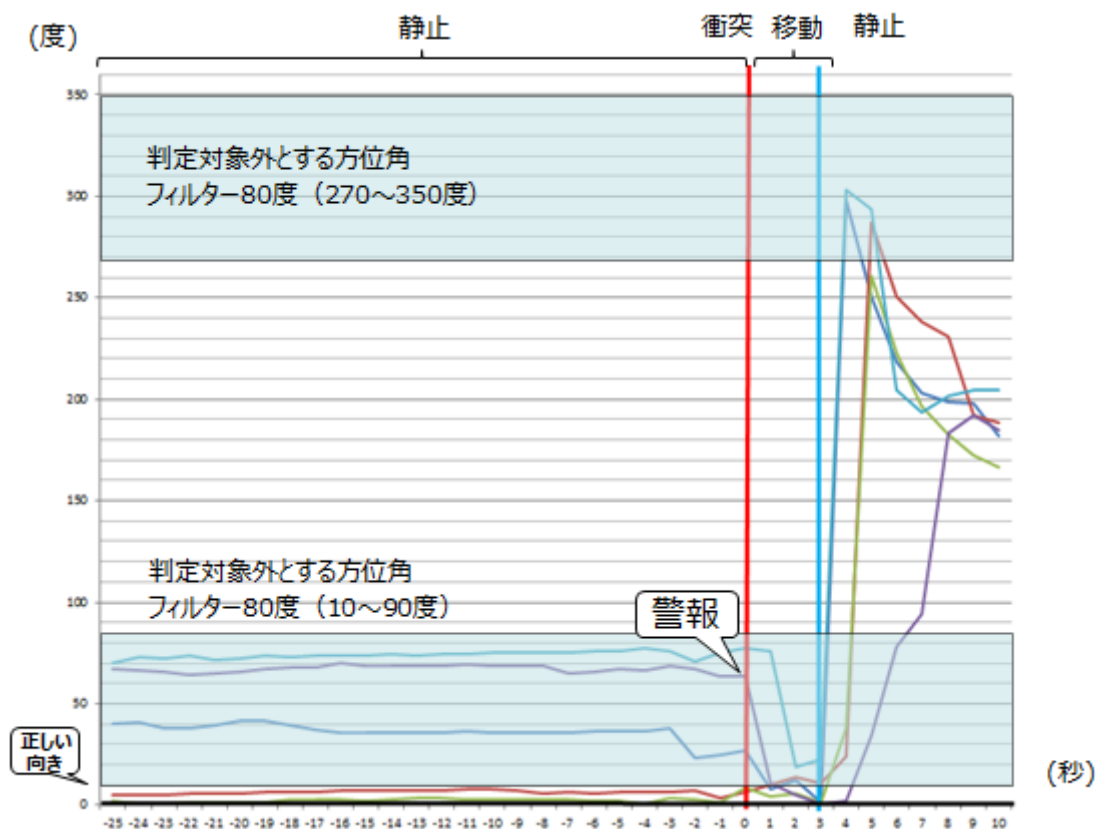


図 127 30度の場合の方位

次に、歩行者の速度を分析する。

歩行者は静止状態から、10mの距離をおおよそ3m/s（走る速度）で移動し、静止する。

以下に歩行者の速度を示す。

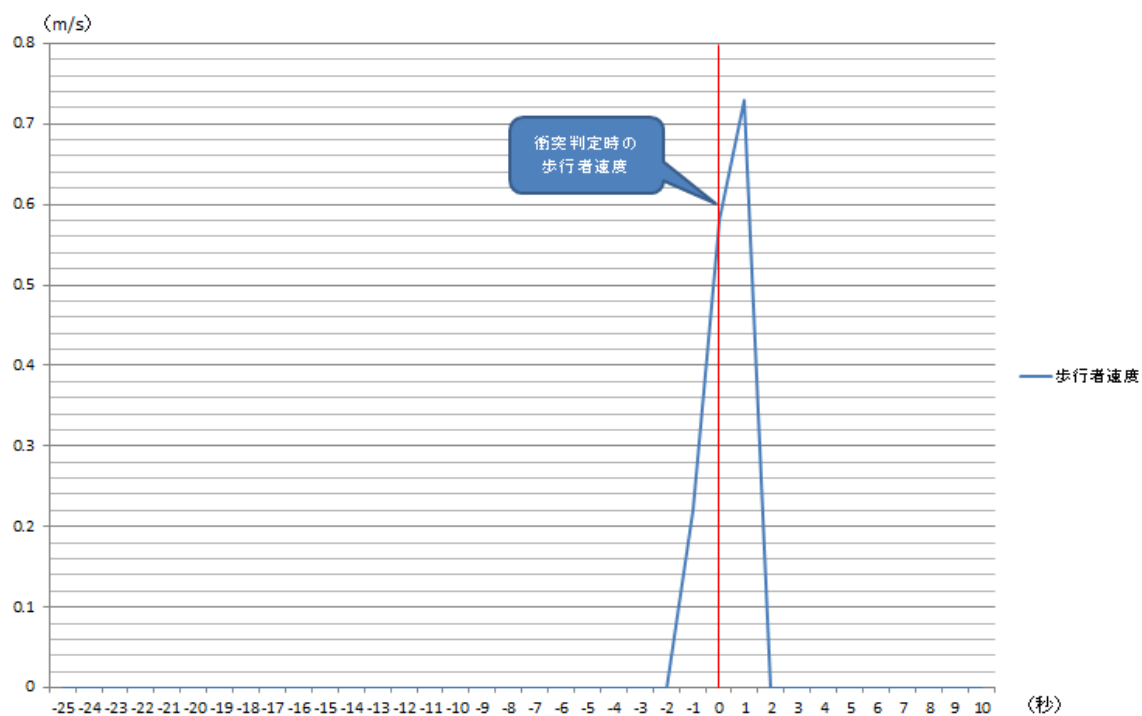


図 128 30 度の場合の歩行者速度

速度をみると、0.8m/s ほどの検出結果となっており、想定 velocities の 3m/s に達していない。そのため、到達点まで判定範囲が広がらず、通知がされなかった。

分析すると、GNSS 測位端末のドップラーシフトによる速度検出に、約 2 秒の遅延があり、さらに統合測位のカルマンフィルタ入力まで最大 1 秒の遅延があることがわかった。そのため、検出時間の追従性が、低くなっている（反映されるまで 2,3 秒かかる）。本評価においても、3m/s の速度に到達せずに、実際の速度より遅いと認識されるため、通知がされなかったことが要因である。

● 60 度歩行者通知

歩行者と車両のなす角度が、60 度の場合の実施状況を以下に示す。車両が赤い矢印で、その移動予報範囲が赤で示されている。歩行者側は車両と 60 度で交差する方向を向いている緑色の矢印、その移動予報範囲が緑で示されている。

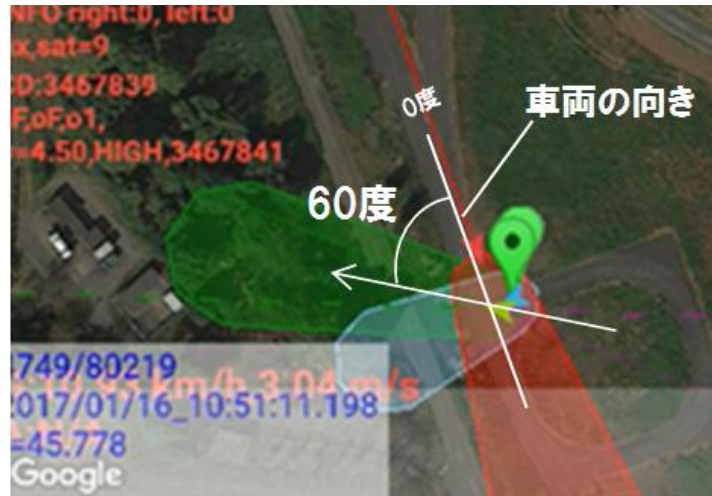


図 129 60度の試験状況

((C)Google)

30度のとくと同じく、方位の分析を行った。

方位にぶれがあるが、青線と紫線以外は3秒後に収束している。

これら全ての試行で通知がされておらず、また、30度のとくと特に特徴ある際がないことから、方位による原因は認められない。

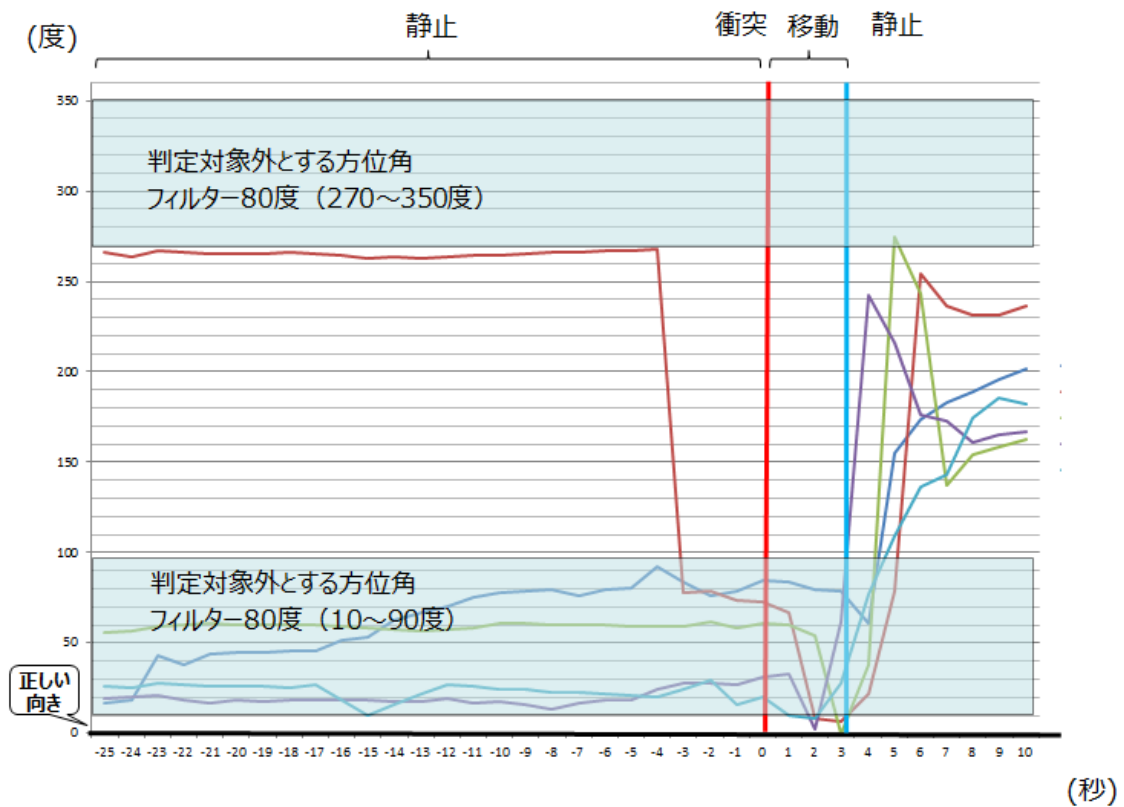


図 130 60 度の場合の方位

次に、60 度の場合の歩行者速度を分析した。

本評価時も 30 度の場合と同じく、3m/s の移動を想定しているが、0.8m/s ほどしか出力がされていない。したがって、30 度の場合と同じ要因と確認できる。

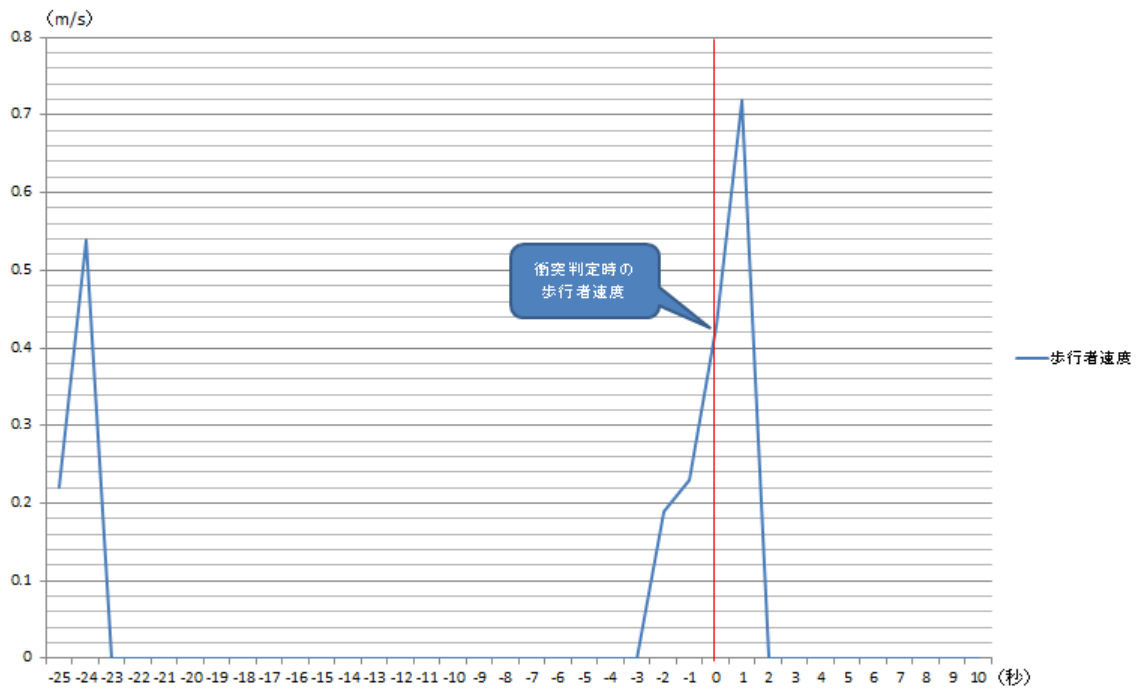


図 131 60 度の場合の歩行者速度

5.1.5.4 歩行者と車両の速度に対応した安全支援の評価

速度による通知率の結果を以下に示す。

表 37 歩行者速度による警報通知率

分類	歩行者速度 [m/s]	通知率[%]
低速	1	100
中速	2	80
高速	3	40

表 38 車両速度による警報通知率

分類	車両速度 [km/h]	通知率[%]
低速	~30	80
中速	30~50	88.6

特に、歩行者の移動速度が速い（走る）ときの通知率が低く、車両側は比較的安定している。

これは、車両はある程度長い距離を走り、速度が安定するため、速度の追従が問題ないのに対し、歩行者側の急な移動に、速度の追従できていないためである。

歩行者が数秒間走り続ければ、問題はないが、実際の道路上では、急な走り出しや、速度変化が想定されるため、対策が必要であることがわかった。

5.1.5.5 道路幅に応じた安全支援の評価

以下に、道路幅が1レーンの場合と、2レーンの場合について、歩行者の警報の通知タイミングの分布を示す。

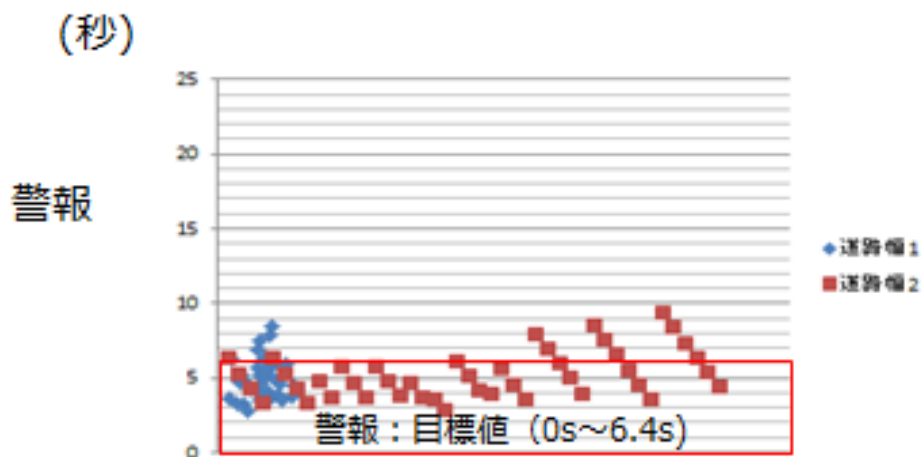


図 132 道路幅による歩行者の支援タイミング比較

以下に、同様に車両の通知タイミングの分布を示す。

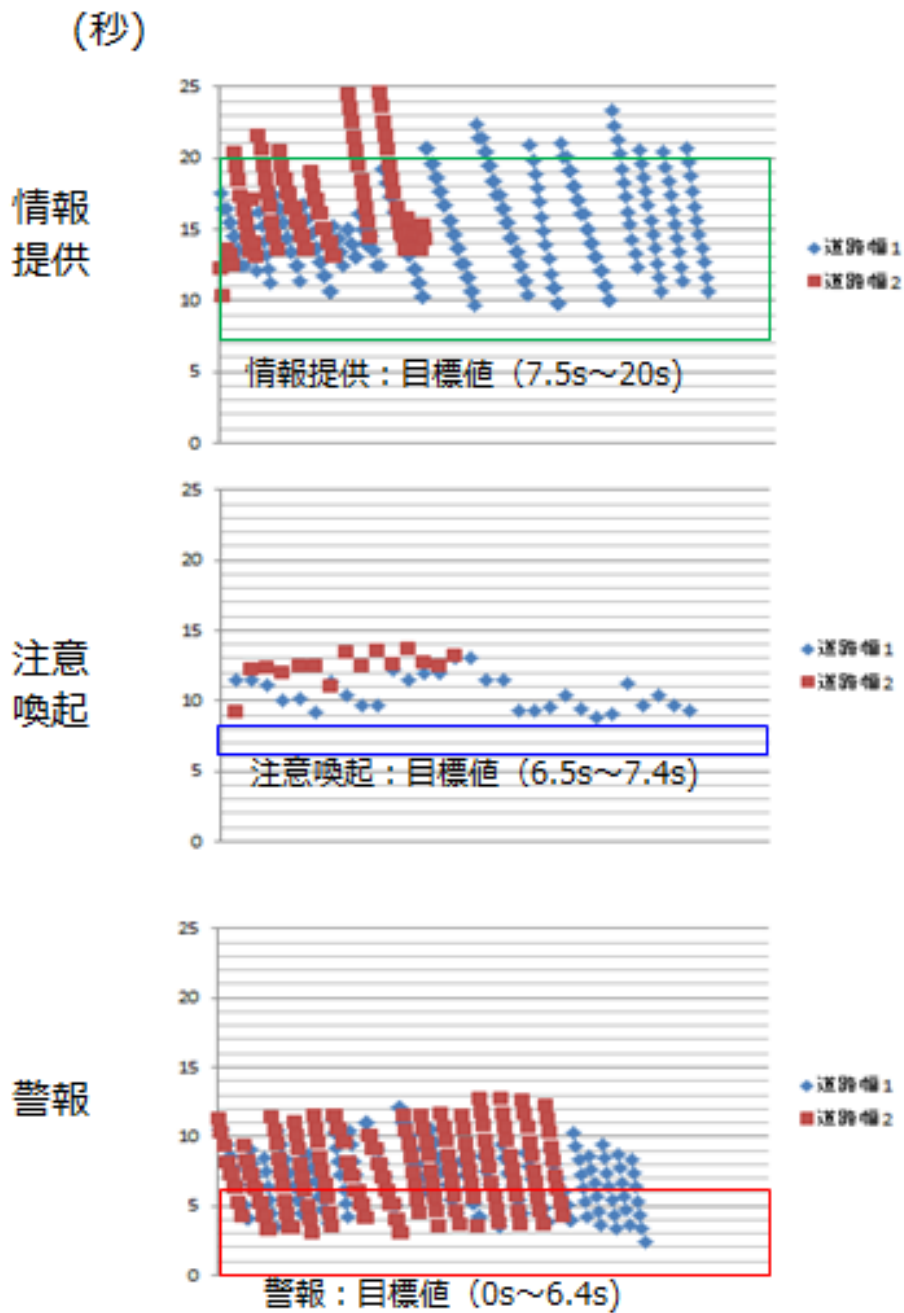


図 133 道路幅による運転手の支援タイミング比較

結果をみると、道路幅による違いがなく、同じタイミングで一様に分布している。これは想定と異なる結果であり、この評価では、機能が有効に動作していない。計算結果から単純にずらすだけではなく、速度や測位誤差精度と合わせて、通知秒数を変更するなど対策を追加が、今後必要となる。

5.1.5.6 歩行者の安全な状態に応じた不要支援の評価

5.1.5.6.1 平行移動時の不要支援の評価

平行移動時の、通知率の結果を以下に示す。

表 39 平行移動時の通知率

分類	情報提供	注意喚起	警報	合計
歩行者	-	0	100	50
運転手	80	80	80	80

通知がされない（0%）が期待動作であるが、ほとんどの状況で支援がされている。

歩行者と車両のなす角度が、0度の場合の実施状況を以下に示す。

車両が赤い矢印で、その移動予報範囲が赤で示されている。歩行者側は車両と平行に向いている緑色の矢印、その移動予報範囲が緑で示されている。

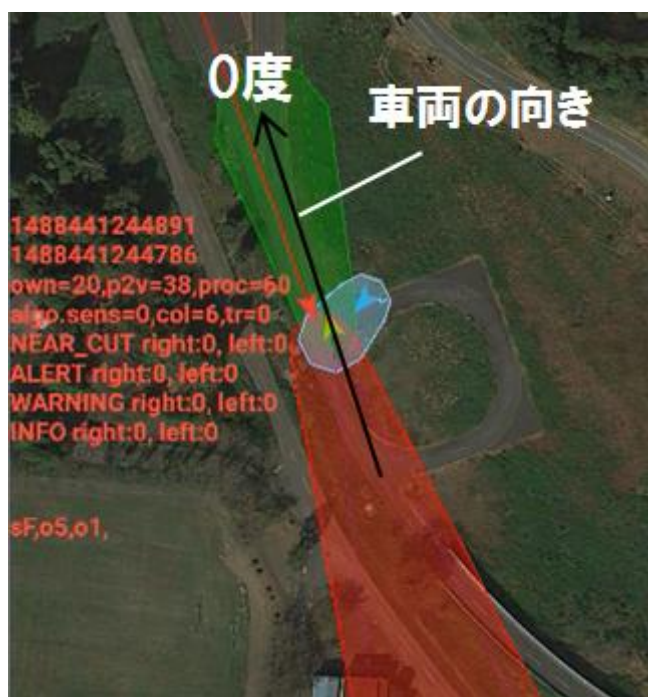


図 134 0度の試験状況

((C)Google)

方位についての結果を以下に示す。

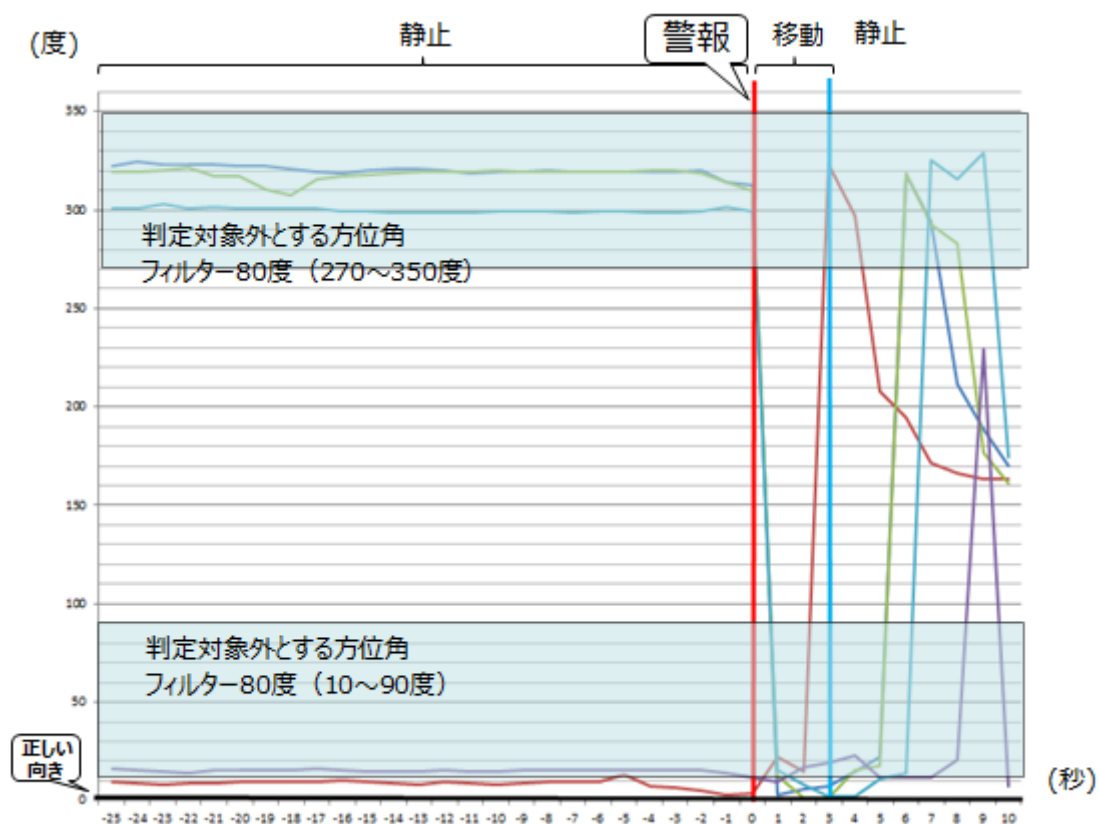


図 135 平行移動時の方位

警報が通知されてしまうのは、初期位置の方位から、平行移動の正しい方位に収束するまでの期間に、衝突判定条件に含まれてしまうからである。

動き出しから、平行である場合は問題ないが、他の方向から、平行に移動するときの変化において、衝突が判定されてしまう。

したがって、方位が安定するまでは、誤判定されることが課題であり、方位が収束したあとは、除外判定が正しく実施されていた。

5.1.5.6.2 遠ざかる動作時の不要支援の評価

遠ざかる動作時の、通知率の結果を以下に示す。

表 40 遠ざかる動作時の通知率

分類	情報提供	注意喚起	警報	合計
歩行者	-	0	80	40

運転手	67	53	73	64
-----	----	----	----	----

歩行者、車両ともに不要支援率が低い結果となった。

これは、平行移動と同様に、動き出しの方位の収束に時間がかかるため、および測位の誤差範囲に入ってしまうことが要因である。

5.1.6 課題抽出実験

本実験の目的は、現実の交通状況に近い環境において、安全支援が必要なケースと、安全支援が不要なケースを設定し、安全支援が想定通りかの確認と、課題を抽出する。

5.1.6.1 評価項目

評価項目と評価内容を表 41 に示す。

評価項目として、死亡事故が多い単路における車両直進と、交差点における車両右折・左折を対象とした。

各評価項目において車両と歩行者の挙動を数パターン定め、安全支援が必要なケースと、安全支援が不要なケースを設定した。

安全支援が不要なケースには、車線変更と高架を設定した。以降で詳細を説明する。

表 41 評価の概要

評価項目	単路 交差点 車線変更 高架
評価内容	各評価項目において動作検証と課題を抽出する。 動作検証は、安全支援が、想定通りかの観点で行う。 <ul style="list-style-type: none">● 安全支援が必要なケースで、歩行者に通知されること● 安全支援が不要なケースで、歩行者に通知されないこと

評価項目は、(財) 交通事故総合分析センター (以下 ITARDA) の調査・分析結果を参考に設定した。車両と歩行者について、死亡事故の統計情報を元に事故の多いケースを抽出し、評価項目として定めた。

車両の挙動は、図 136 の歩行者死亡事故における車両の行動類型割合を参考にした。この資料によると、死亡事故が最も多いのは車両直進時の 79%で、次いで右折、左折である。そこで、車両挙動として単路における直進、交差点における右折・左折を設定した。

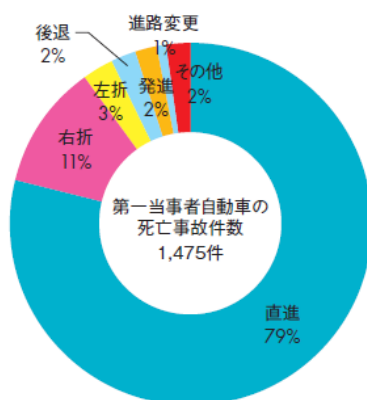


図 136 歩行者死亡事故における車両の行動類型割合

(出典：ITARDA INFORMATINO No.83 「自動車と歩行者の事故”危ない! 右から歩行者が横断!”)

単路での歩行者の挙動は、以下の情報を参考にした。

図 137 の単路における進行方向別死者数によると、死亡事故が多いのは歩行者が右側から垂直に横断する場合、次いで左側から垂直に横断する場合である。

そこで、歩行者の挙動として右側から垂直に横断、左側から垂直に横断を中心に設定した。斜めに横断する場合の死亡事故も起きているため、数パターン追加した。

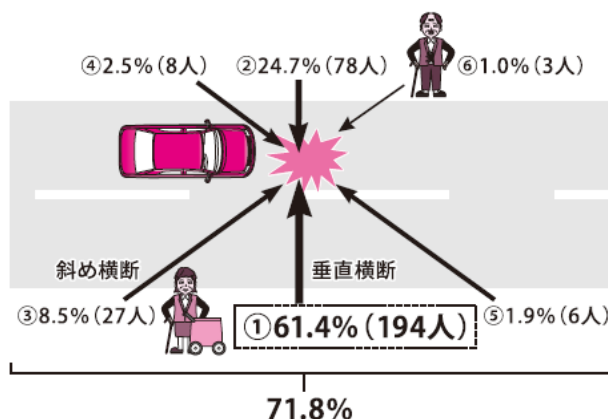


図 137 単路の進行方向別死亡者数

(出典：ITARDA INFORMATINO No.100 「高齢歩行者の道路横断中の事故」)

交差点での歩行者の挙動は、図 138 の交差点における進行方向別死者数を参考とした。
この資料によると、車両右折・左折時の横断歩道の歩行者の横断で、死亡事故が多く起きている。

統計には表されていないが、その他にも、歩行者が横断前にまっすぐ歩き、そのまま横断する場合や、歩行者信号が変わってから歩行を開始して横断する場合などのように、いくつか種類が考えられる。

そこで、交差点における歩行者の挙動として、現実の交通状況を考慮して、横断前後の挙動にバリエーションを持たせた。

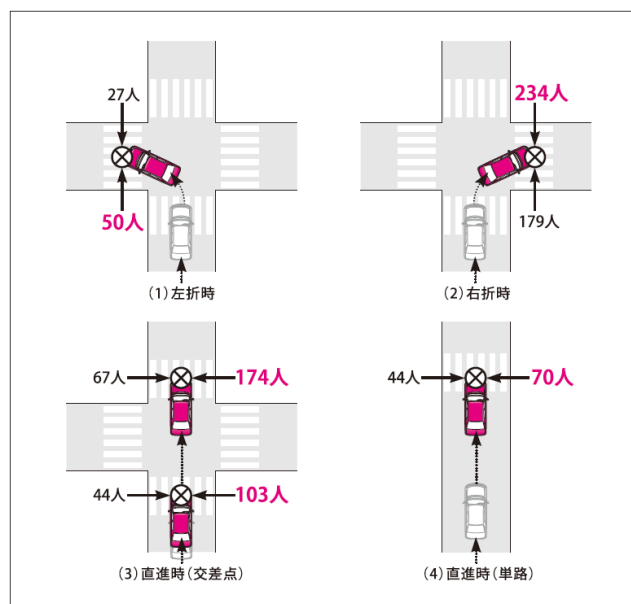


図 138 交差点の進行方向別死亡者数

(出典：ITARDA INFORMATINO No.118 「高齢歩行者の道路横断中の事故」)

以上の調査・分析結果を参考に、評価における車両および歩行者の挙動を設定した。

図 139 は、単路の車両直進時における歩行者の挙動のバリエーションである。

図 139 左は、歩行者が車道に垂直、または斜めに直進する挙動で、安全支援が必要なケースである。

図 139 右は、歩行者が車道に並行、または車道から離れる方向に直進する挙動で、安全支援が不要なケースである。図では歩行者が車道の左側にいる場合を示しているが、車道の右側にいる場合も考え方は同様である。組合せの数が多くなるため、この中から代表的な挙動を評価に設定した。

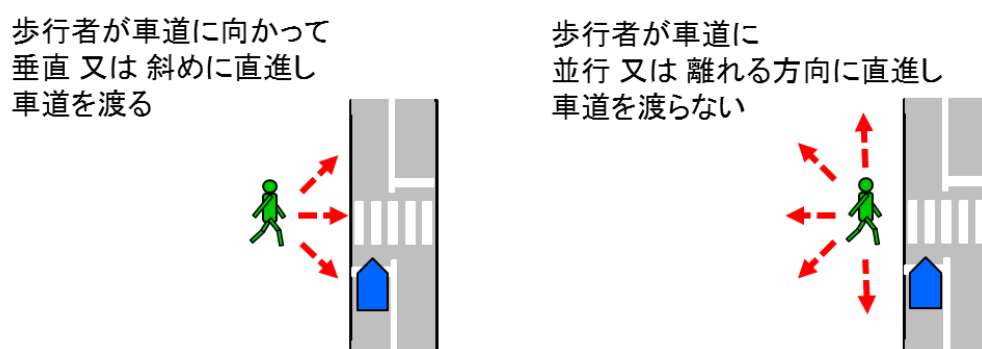


図 139 単路における歩行者の挙動

(左：安全支援が必要なケース、右：安全支援の不要なケース)

図 140 は、交差点の車両左折時における歩行者の挙動のバリエーションである。

図 140 左は、車両左折時に歩行者が車両の横断する車道を渡るもので、安全支援が必要なケースである。

図 140 中は、車両左折時に歩行者が歩道のみを移動して車道に出ない場合や、車両横断済みの歩道を渡るケースで、安全支援の不要なケースである。

図 140 右は、歩行者が歩道を直進、または信号待ちから車道を横断した後に、左折した車両が横断する場合で、安全支援の不要なケースである。

図では歩行者が交差点の左側・手前にいる場合を示しているが、交差点の右側や奥にいる場合も考え方は同様である。組合せの数が多くなるため、この中から代表的な挙動を評価に設定した。

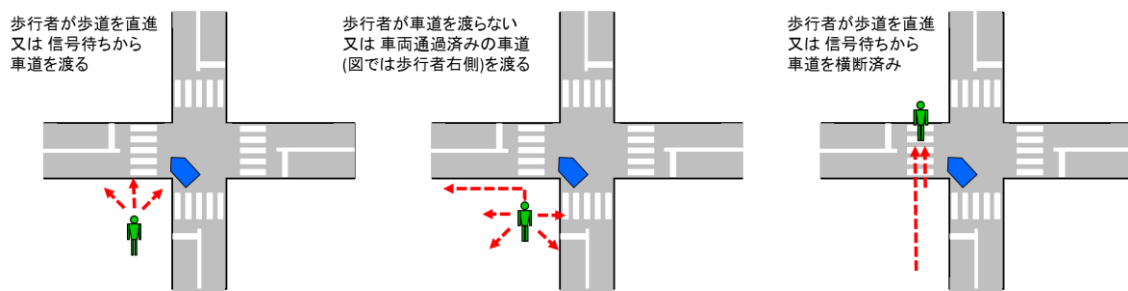


図 140 交差点における歩行者の挙動

(左：安全支援の必要なケース、中・右：安全支援の不要なケース)

図 141 は、車線変更と高架における歩行者・車両の挙動のバリエーションである。

図 141 左は、歩行者が歩道を移動中に、車両が車線変更する。安全支援の不要なケースであるが、車線変更中に車両が歩行者に向かってくる状況になるため、安全支援が必要なケースと間違える可能性がある。

図 141 右は、車両が高架横断中に歩行者が高架下をくぐる。安全支援の不要なケースであるが、測位の緯度経度のみを見ると車両と歩行者が重なる状況になるため、安全支援が必要なケースと間違える可能性がある。

これらも安全支援の不要なケースの評価項目に加えた。

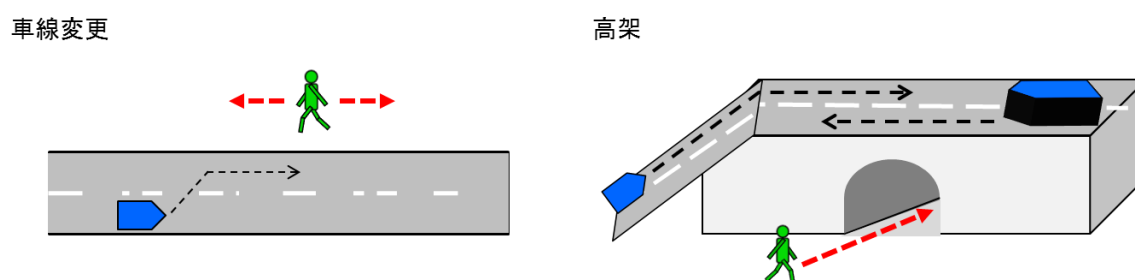


図 141 車線変更と高架における歩行者・車両の挙動
(左、右とも安全支援の不要なケース)

以上により、評価項目を設定した。詳細については、5.1.6.4 節の評価シナリオで説明する。

5.1.6.2 実施形態

図 142 に、実験用機材構成を示す。スマートフォンから Bluetooth 通信により、GNSS 測位専用端末と 700MHz 帯通信端末を制御する。



図 142 実験用機材構成

図 143 に、本機材構成による実験の実施形態を示す。

歩行者と車両それぞれで、GNSS 測位専用端末による位置、速度、方位の検出を行う。700MHz 帯通信端末により、お互いの位置、速度、方位の情報をやりとりする。歩行者と車両それぞれのスマートフォンで、衝突判定アルゴリズムにより、お互いの位置、速度、方位の情報を用いた衝突判定を行い、衝突判定の結果必要と判断された場合に安全支援の通知を行う。

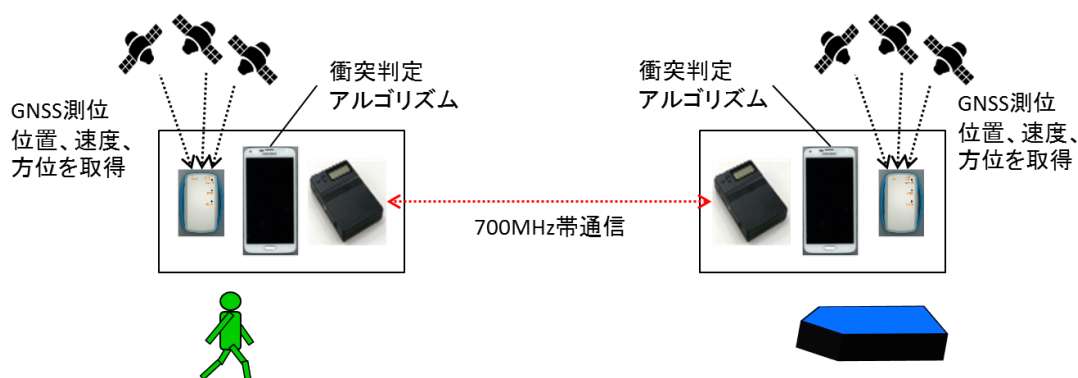


図 143 歩行者および車両における実施形態

図 144 に、歩行者と車両それぞれの実験機材の配置を示す。

歩行者はスマートフォンを手に持ち、GNSS 測位専用端末を頭上に、700MHz 帯通信端末を肩掛けカバン内に配置する。

車両はダッシュボード上に GNSS 測位専用端末、700MHz 帯通信端末、スマートフォンを配置する。

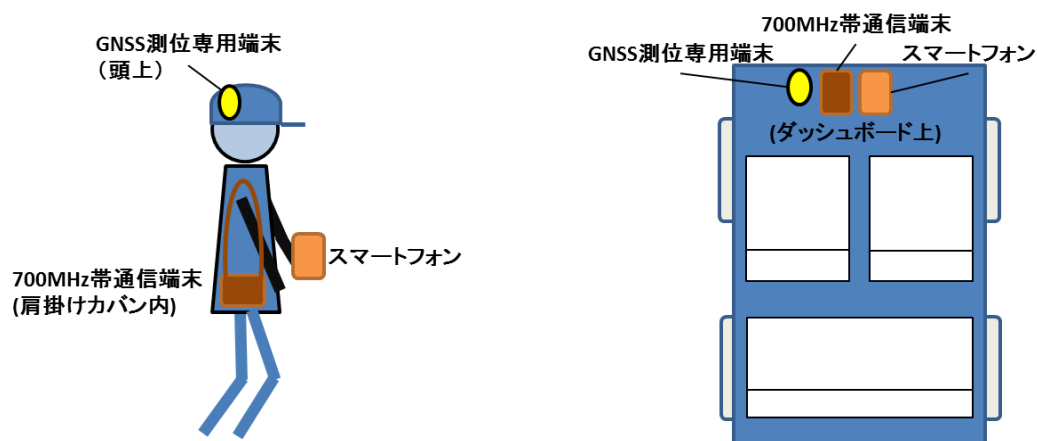


図 144 実験機材の配置
(左：歩行者、右：車両)

図 145 に、安全支援の通知について概要を示す。衝突判定アルゴリズムにより歩行者と車両の衝突が予測されると、予測衝突時間に応じて通知される。図に示すように、予測衝突時間が短くなるにつれて通知レベルが情報提供、注意喚起、警報と上がっていく。

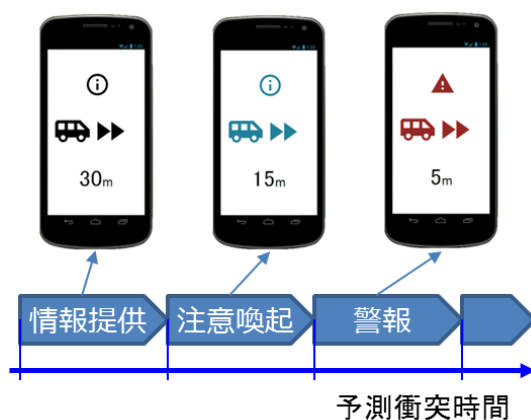


図 145 安全支援の通知

表 42 に、各通知レベルの通知タイミング設定を示す。

表 42 各通知レベルの通知タイミング設定

通知種類	予測衝突時間
情報提供	衝突から 20～6.5 秒前
注意喚起	衝突から 6.5～3.2 秒前
警報	衝突から 3.2～0.5 秒前

5.1.6.3 評価実験場所

岐阜羽島付近に、単路、交差点、車線変更、高架について公道の典型的な場所を設定し、実験を行った。

図 146 に実験場所の全体図を示す。



図 146 実験場所 全体図

(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 147 に単路と交差点の実験場所を示す。

単路の実験は、図の赤丸で囲んだ片側 1 車線の公道で行った。

交差点の実験は赤丸の中央にある交差点で行った。

住所：〒501-6236 岐阜県羽島市江吉良町 3047-1 付近
座標：35.304495, 136.686705

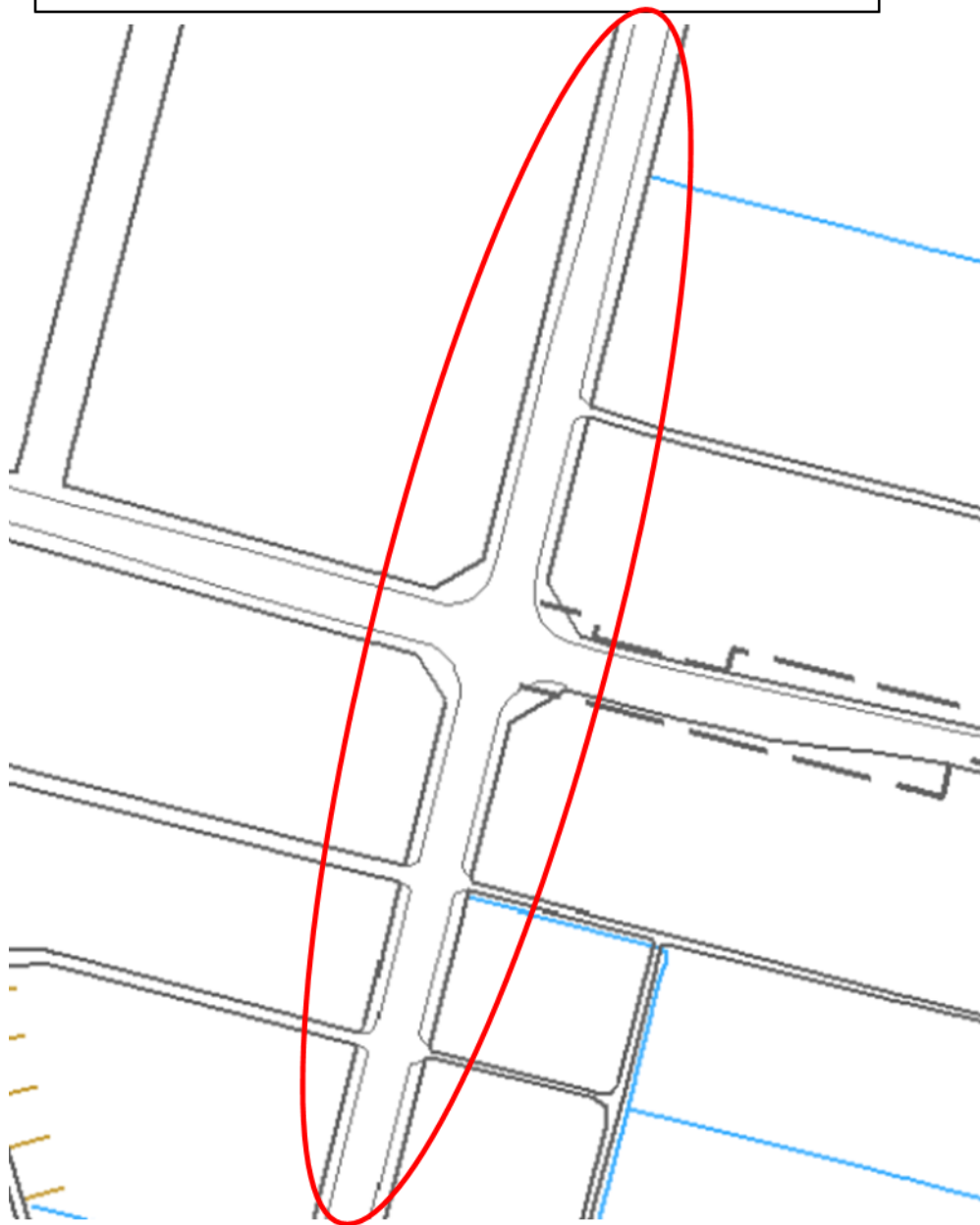


図 147 単路・交差点実験場所
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 148 に、車線変更の実験場所を示す。

車線変更のため、図の赤丸で囲んだ片側 2 車線の公道で行った。

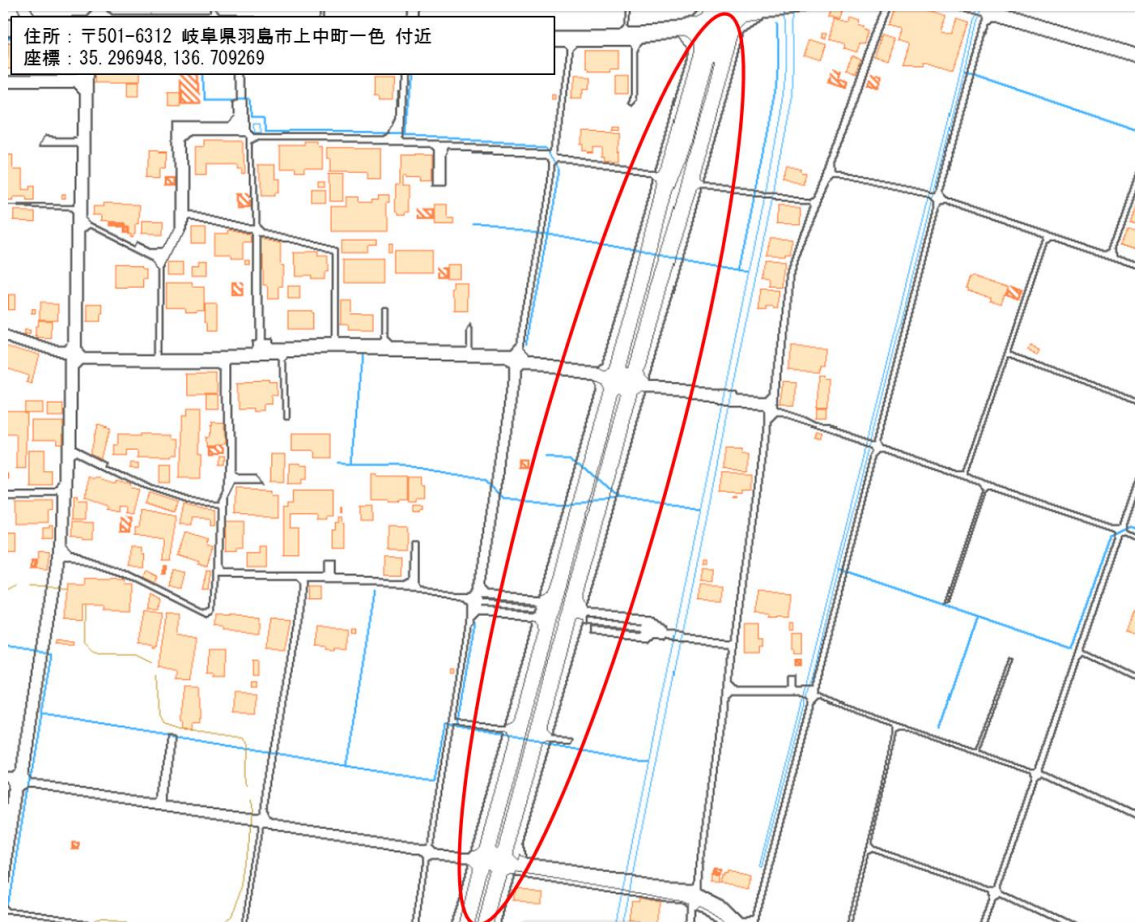


図 148 車線変更実験場所
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 149 に、高架の実験場所を示す。車両は高架上进行し、歩行者は高架下の道路を移動した。高架下の道路との高度差は、約 8m である。

図 150 は、車両と歩行者の高度の関係を示す模式図である。

車両が左側から移動開始する時は、車両は歩行者とほぼ同じ高度から出発し、高架を上がるにつれて高度が上がる。車両が右側から移動開始する時は、車両は歩行者よりも高い位置から出発する。

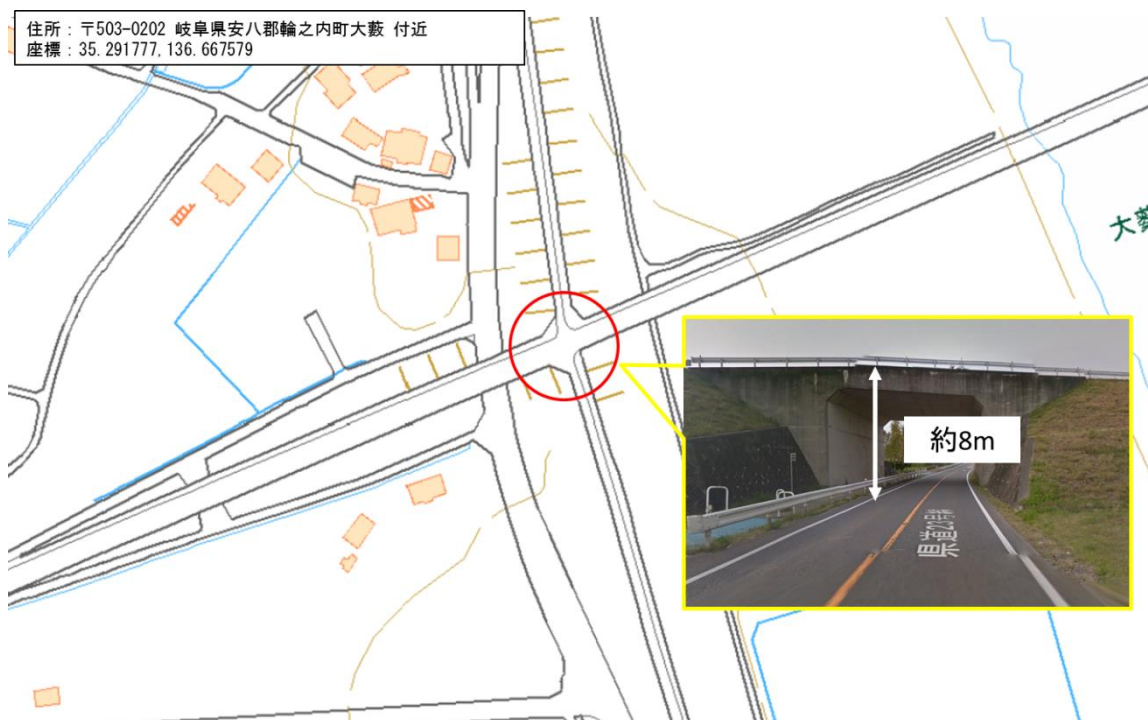


図 149 高架実験場所

(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

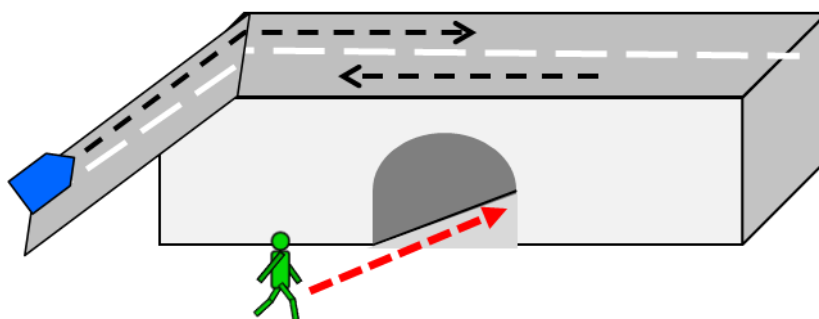


図 150 車両と歩行者の高度の関係を示す模式図

5.1.6.4 評価シナリオと評価結果

本実験における評価項目の単路、交差点、車線変更、高架について評価シナリオを以下のように設定し、実験を行った。

各評価シナリオは10回ずつ実施した。以後の説明では、それぞれの回をラウンドと定義する。例えば試験番号1-1の1ラウンド目であれば、1-1-1Rと表記する。

5.1.6.4.1 単路（安全支援が必要なケース）

単路（安全支援が必要なケース）の評価シナリオを表43に示す。

本シナリオは、車両直進時に歩行者が車道を横断しようとした際に、車両および歩行者に適切なタイミングで安全支援が通知されることを確認する。

車両の速度は法定速度の50km/hと、それより少し遅い40km/hに設定した。

歩行者の速度は通常歩行の1m/sと、飛び出しを想定した3m/sに設定した。

歩行者の挙動は、車道の左側から直進する場合、車道の左側から斜めに向かう場合、車道の右側から直進する場合を設定した。

表 43 単路（安全支援が必要なケース）の評価シナリオ一覧



評価項目						
試験番号	カテゴリ	車両・歩行者挙動	車両速度	歩行者速度	通知の期待動作	
1-1	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の左側から車道に向かい直進 	安全支援が必要なケース	50km/h	1m/s	通知あり
1-2	単路		安全支援が必要なケース	50km/h	3m/s	通知あり
1-3	単路		安全支援が必要なケース	40km/h	1m/s	通知あり
1-4	単路		安全支援が必要なケース	40km/h	3m/s	通知あり
1-5	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の左側から車道に向かい右斜め前に移動 	安全支援が必要なケース	50km/h	1m/s	通知あり
1-6	単路		安全支援が必要なケース	40km/h	1m/s	通知あり
1-7	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の右側から車道に向かい直進 	安全支援が必要なケース	50km/h	1m/s	通知あり
1-8	単路		安全支援が必要なケース	50km/h	3m/s	通知あり
1-9	単路		安全支援が必要なケース	40km/h	1m/s	通知あり
1-10	単路		安全支援が必要なケース	40km/h	3m/s	通知あり

図 151 に、単路（安全支援が必要なケース）の実験の様子を示す。

車両が車道を直進し、歩行者が車道に向かって直進する。

車両と歩行者がそのまま直進すると、歩行者が車道に侵入して車両と衝突するため、安全支援が必要である。

実験では安全に配慮し、歩行者は実際には車道に侵入せず、車道の直前で停止する。



図 151 単路（安全支援が必要なケース）の実験の様子

表 44 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作である通知ありに対し、1 回を除き期待通りの動作ができています。

期待通りに動作しなかった原因は、歩行者の速度が算出されていなかった。

表 44 単路（安全支援が必要なケース）の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

評価項目			評価結果		期待値通りの割合	備考
試験番号	カテゴリ	通知の期待動作	通知なし	通知あり		
1-1	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-2	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-3	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-4	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-5	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-6	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-7	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-8	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-9	単路	通知あり	1 回	9 回	90 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される
1-10	単路	通知あり	0 回	10 回	100 %	情報提供、注意喚起、警報と段階的に通知される

本評価シナリオの通知の詳細を、試験番号 1-7 の結果に基づき説明する。

図 152 は評価シナリオ 1-7 の 1 ラウンド目 (以降、1-7-1R) の、歩行者 (緑色) と車両 (桃色) の移動軌跡を直線で示したものである。

図中の緑■は、車両に搭載された危険通知アプリケーションに、情報提供の通知がされた位置を示している。同様に、図中の黄色■と赤■は、それぞれ注意喚起と警報が通知された位置を示したものである。

同様に図中の緑、黄色、赤の▲は、歩行者に対して、それぞれ、情報提供、注意喚起、警報が通知された場所を示している。

図中に凡例を示しているが、以降の図でも同じ凡例を使用するため、説明は付さない。

図に示された通知の詳細より、歩行者が車両に近づくにつれ注意喚起、情報提供と通知レベルが上がり、車道に飛び出す直前で通知レベルが警報まで上がっている様子が確認できる。

この結果から、安全支援として期待通りの動作をしていることが確認できた。

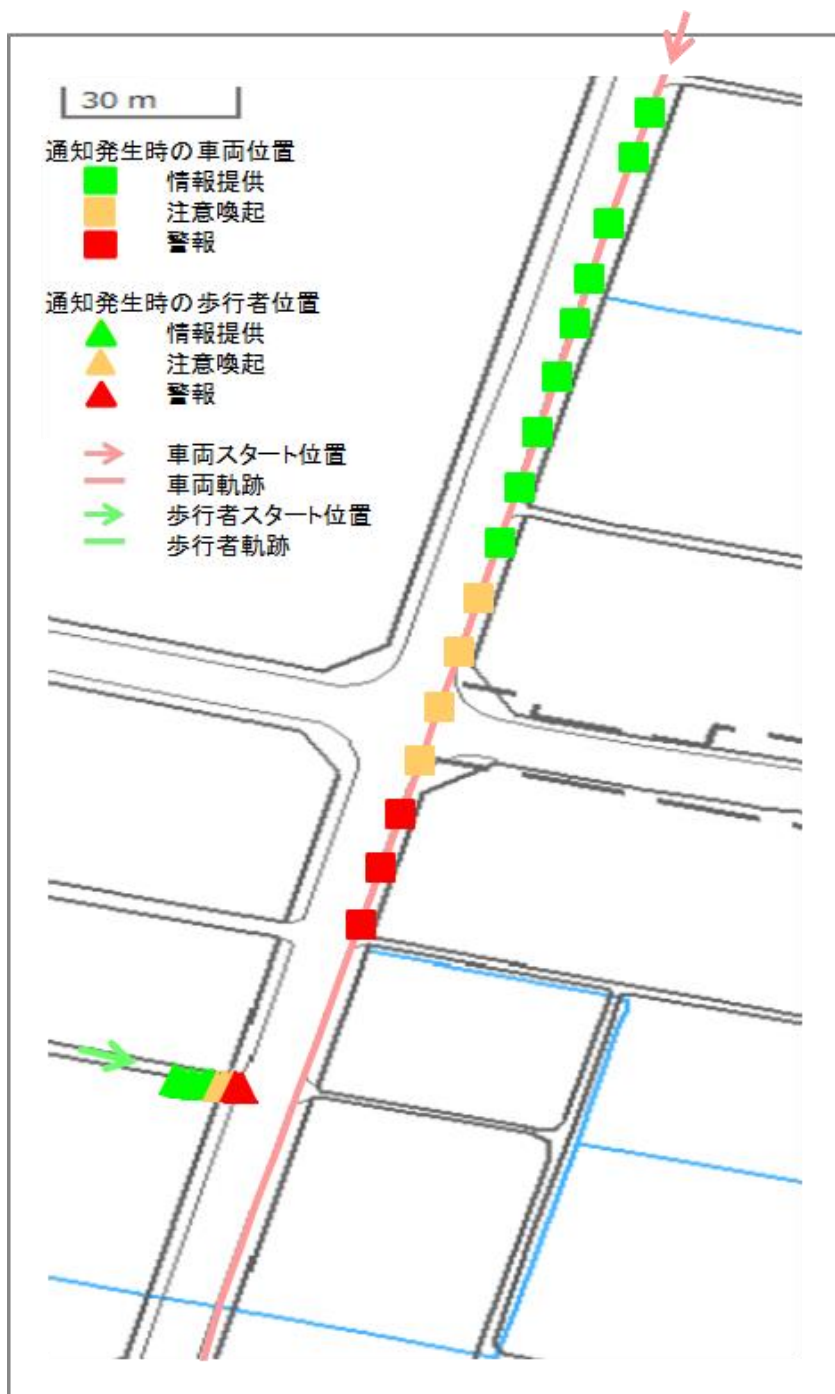


図 152 評価シナリオ 1-7-1R の通知結果
 (地図データ出展：国土地理院ホームページ)

通知タイミングについて、評価シナリオ 1-7 の 10 ラウンド分の結果を図 153 に示す。
 図中の緑▲、黄▲、赤▲は、それぞれ情報提供、注意喚起、警報の通知について、通知時の時刻と歩車間距離を示すものである。
 通知の期待時刻は、情報提供が 20～6.5 秒前、注意喚起が 6.5～3.2 秒前、警報が 3.2～0.5 秒前であり、図中にそれぞれ緑矢印、黄矢印、赤矢印で示す。

このグラフより、それぞれの通知が期待時刻内に収まっている。この結果から、通知は期待通りの動作をしていることが確認できた。

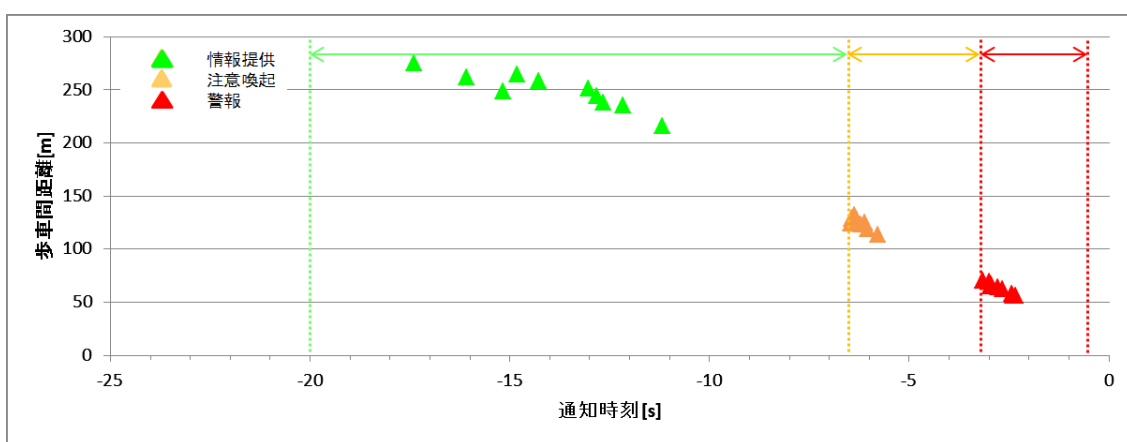


図 153 評価シナリオ 1-7 の 10 ラウンド分通知結果

5.1.6.4.2 単路（安全支援が不要なケース）

単路（安全支援が不要なケース）の評価シナリオを表 45 に示す。

本シナリオは、車両直進時に歩行者が車両の進行方向、または対向方向に並行に移動して車両と接近した際に、安全支援は不要として通知されないことを確認する。

車両の速度は法定速度の 50km/h、歩行者の速度は通常歩行の 1m/s に設定した。

歩行者の挙動は、車両から見て車道の左側を車両の進行方向、または対向方向に並行に移動する場合と、車道の右側を車両の進行方向、または対向方向に移動する場合を設定した。

表 45 単路(安全支援が不要なケース)の評価項目一覧

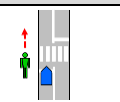
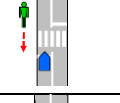
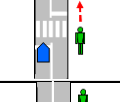
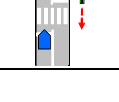
評価項目							
試験番号	カテゴリ	車両・歩行者挙動	車両速度	歩行者速度	通知の期待動作		
1-11	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の左側を進行方向に並行移動 	安全支援が不要なケース	50km/h	1m/s	通知なし	
1-12	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の左側を対向方向に並行移動 	安全支援が不要なケース	50km/h	1m/s	通知なし	
1-13	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の右側を進行方向に並行移動 	安全支援が不要なケース	50km/h	1m/s	通知なし	
1-14	単路	車両挙動: 直進 歩行者挙動: 車道の右側を対向方向に並行移動 	安全支援が不要なケース	50km/h	1m/s	通知なし	

図 154 に、単路（安全支援が不要なケース）の実験の様子を示す。

車両が直進する間、歩行者 1 は車両から見て左側を、車両の進行方向と同じ方向に並行に移動するが、車道には出ない。

歩行者 2 も同様に、車両の進行方向と対向方向に並行に移動するが、車道には出ない。車両はそのまま進んでも歩行者 1 および歩行者 2 とすれ違うだけで、衝突することはないため、安全支援は不要である。



図 154 単路（安全支援が不要なケース）の実験の様子

表 46 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作の通知なしに対し、項目 1-13 は 10 ラウンドとも期待通りの動作をしている。

しかし、項目 1-11、1-12、1-14 は期待動作とならず、通知が発生している。期待動作とならない原因について、この後で考察する。

表 46 単路(安全支援が不要なケース)の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

試験番号	カテゴリ	通知の期待値	評価結果		期待値通りの割合	備考
			通知なし	通知あり		
1-11	単路	通知なし	1 回	9 回	10 %	
1-12	単路	通知なし	3 回	7 回	30 %	
1-13	単路	通知なし	10 回	0 回	100 %	
1-14	単路	通知なし	7 回	3 回	70 %	

図 155 に、評価シナリオ 1-11-5R の通知結果を示す。

本評価シナリオでは車両が直進し、歩行者が車両の進行方向と同じ方向に移動するが、車両と歩行者はすれ違うだけで衝突はしない。そのため安全支援は不要であり、期待動作は通知なしである。

しかし、図に示した結果のように、歩行者の移動開始時に情報提供の通知がされ、次いで移動中に警報の通知がされている。期待動作となっていない原因について、以降で考察する。



図 155 評価シナリオ 1-11-5R の通知結果
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 156 は、評価シナリオ 1-11-5R (図 155) の歩行開始時の様子を撮影したものである。①→③の順に時間が進んでいる。本試験では、映像の奥側から手前に向かって車両と歩行者 (図中の歩行者 1) が平行に移動するが、特に蛇行して歩行していない。

一方、この時の歩行者の速度 (図 157 上図) と、歩行者の方位 (図 157 下図) を確認したところ、歩行者の速度の立ち上がり付近において、歩行者の方位が 50 度付近から 200 度付近に大きく変化している。

図 157 下図の方位は真北が 0 度を表し、以降順に 90 度ごとに、東、南、西を表す。図 155 で示した通り、歩行者は方位 200 度の方向へ進行しているため、歩行開始時の 50 度が、歩行者の進行方位を誤検知している。

車両の進行方位が 200 度に対して、歩行者の進行方位が 50 度となり、平行ではなく直交したため、情報提供通知がされてしまった。以降では、この移動開始時の進行方位の誤検知を原因とする誤通知を、課題①と定義する。

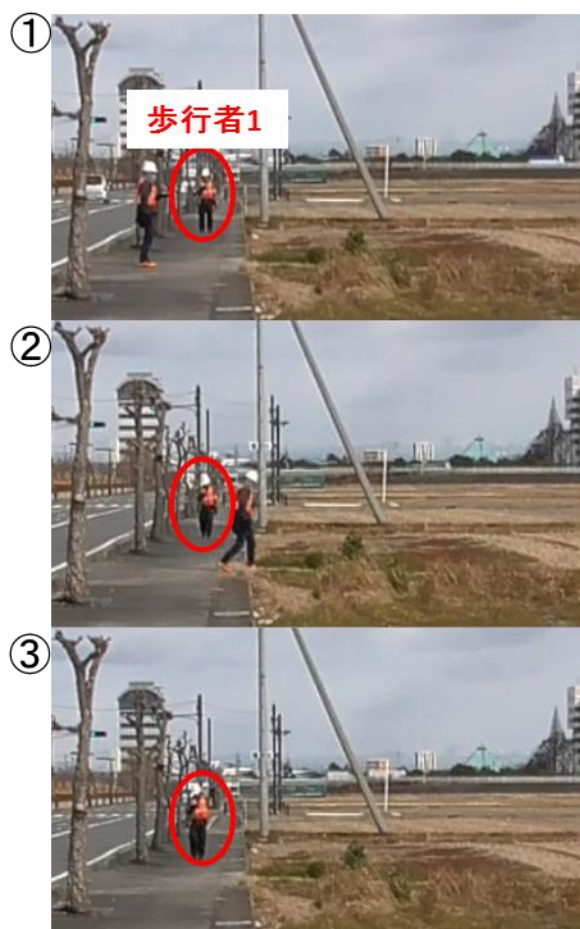


図 156 移動開始時のビデオ映像 (1-11-5R)

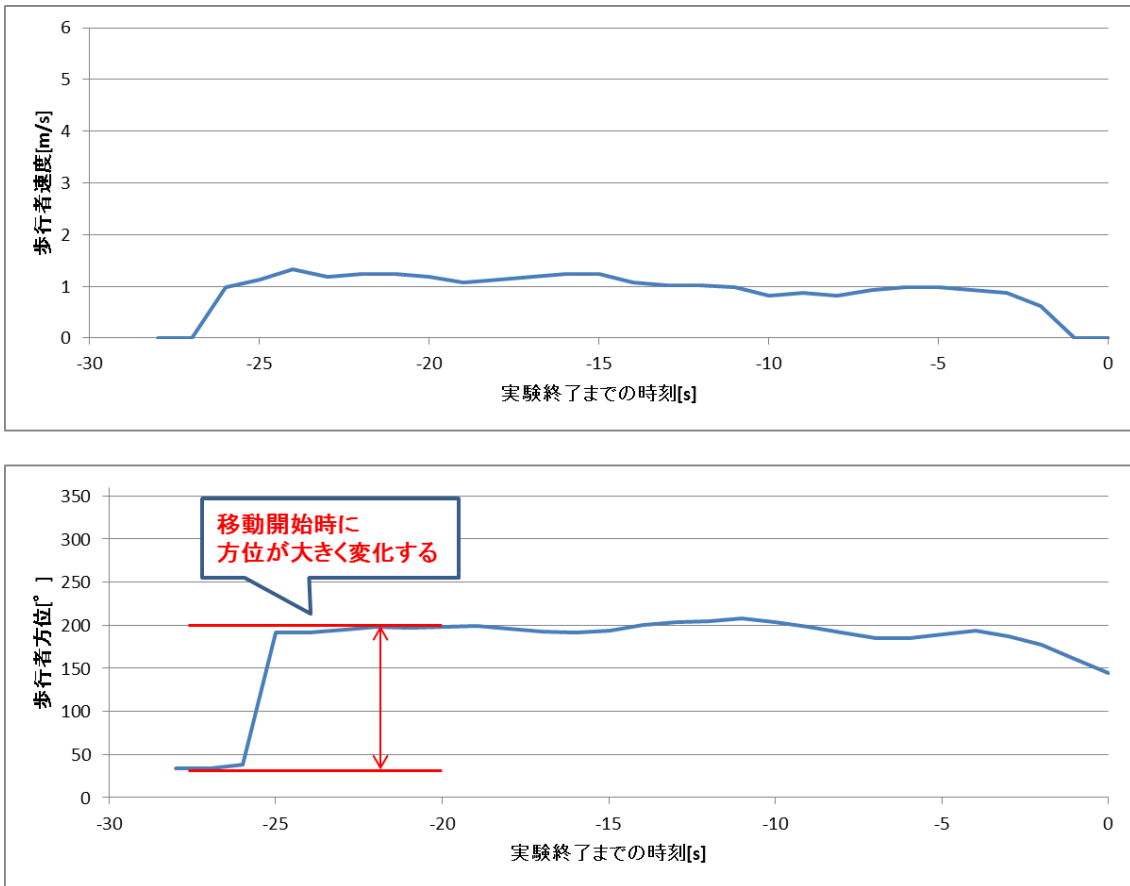


図 157 歩行者移動開始時の速度と方位のグラフ (1-11-5R)

図 158 は、評価シナリオ 1-11-5R (図 155) で、歩行中に警報通知が発生した付近の様子を撮影したものである。

①→③の順に時間が進んでいる。

本試験では、映像の奥側から手前に向かって、車両と歩行者 (図中の歩行者 1) が平行に移動するものである。

図 158①では歩行者は歩道の中心付近を歩行するが、同時刻に別のシナリオの歩行者 (図中の歩行者 2) を避けようとして車道側を歩行している。この時の歩行者の速度 (図 159 上図) と、歩行者の方位 (図 159 下図) を確認したところ、この歩行者のふらつきは図 159 下図に示す約 25 度の変化として検出されている。

この 25 度の進行方位の差により、危険通知アプリケーションは、車両の進行方位と歩行者の進行方位が平行ではなく、安全支援が必要として警報が通知された。

しかし、この程度の歩行中のふらつきは日常で起こりうる挙動であり、この場合でも歩行者の歩行速度は 1m/s で安定して推移しているため、歩行者が車道へ飛び出す兆候ではない。以降では、この歩行者のふらつきを検知した結果とする誤通知を課題②と定義する。

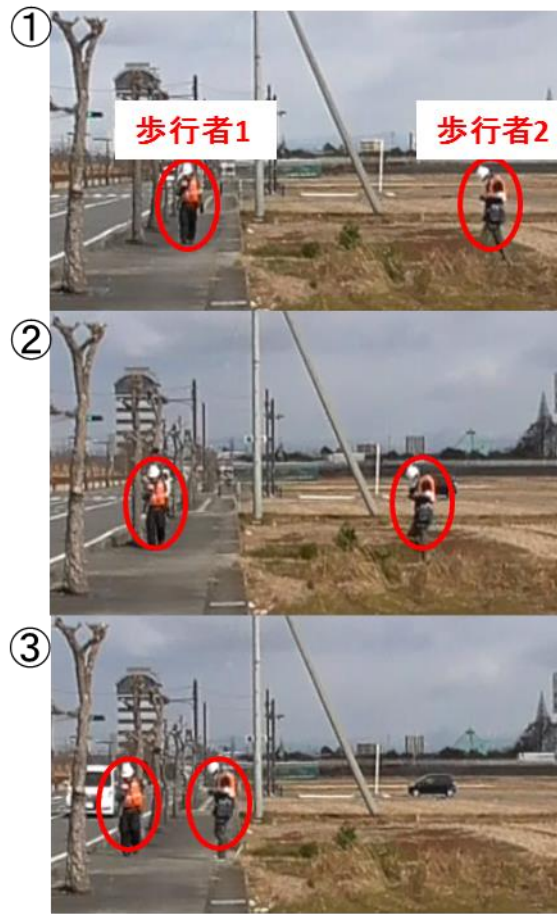


図 158 移動中のビデオ映像 (1-11-5R)

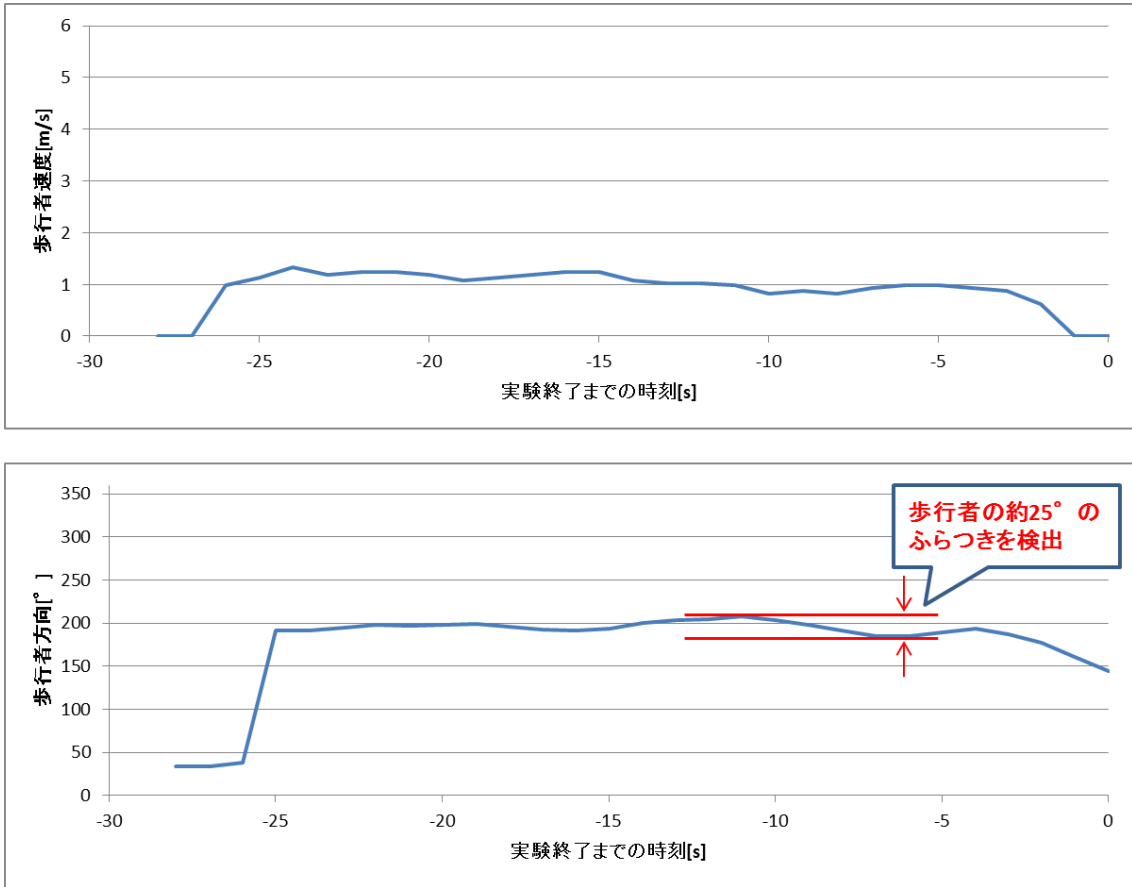


図 159 歩行者移動中の速度と方位のグラフ (1-11-5R)

本評価シナリオにおいて抽出した課題を表 47 に整理する。

表 47 今後の課題

	現象	解析結果	対策案
課題①	歩行者が移動開始時に通知が発生する	歩行開始直後は、歩行者の進行方位を正しく検出できないため通知が発生する	静止から移動開始する時に方向が安定する仕組みを追加する
課題②	歩行者の移動中のふらつきにより通知が発生する	歩行者の移動中のふらつきを検知し車両の進行方位と平行ではなくなったとみなされ通知が発生する	歩行者のふらつきを検出し、歩行状況などから安全支援の要・不要を判定する仕組みを追加する

5.1.6.4.3 交差点（安全支援が必要なケース）

交差点（安全支援が必要なケース）の評価シナリオを表 48 に示す。

本シナリオは、交差点において車両が左折、または右折する時に、歩行者が横断歩道を渡る（または、横断歩道を渡る手前まで直進して停止する）際に、車両および歩行者に適切なタイミングで、安全支援が通知されることを確認する。

車両速度は徐行(10km/h 以下)、歩行者速度として通常歩行の 1m/s または飛び出しの 3m/s に設定した。

歩行者の挙動は、歩道を直進してきてそのまま横断歩道を渡る場合と、信号待ちで停止の状態から、横断歩道を渡る場合を設定した。

表 48 交差点(安全支援が必要なケース)の評価項目一覧








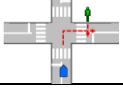
評価項目						
試験番号	カテゴリ	車両・歩行者挙動	車両速度	歩行者速度	通知の期待動作	
2-1	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 手前から直進し横断歩道前で停止 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-2	交差点左折		安全支援が必要なケース	徐行	3m/s	通知あり
2-3	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 奥から直進し横断歩道前で停止 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-4	交差点左折		安全支援が必要なケース	徐行	3m/s	通知あり
2-5	交差点左折	車両挙動: 信号待ちから左折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-6	交差点左折	車両挙動: 信号待ちから左折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-7	交差点右折	車両挙動: 右折 歩行者挙動: 奥から直進し横断歩道前で停止 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-8	交差点右折		安全支援が必要なケース	徐行	3m/s	通知あり
2-9	交差点右折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 奥から直進し横断歩道前で停止 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-10	交差点右折		安全支援が必要なケース	徐行	3m/s	通知あり
2-11	交差点右折	車両挙動: 信号待ちから右折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり
2-12	交差点右折	車両挙動: 信号待ちから左折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が必要なケース	徐行	1m/s	通知あり

図 160 に、交差点（安全支援が必要なケース）の実験の様子を示す。

車両は直進してきて横断歩道を渡った後、左折を開始している。この時歩行者 1 は、車両から見て手前の歩道を直進してきて、そのまま横断歩道を渡ろうとしている。

歩行者 2 は、車道から見て奥の歩道を直進してきて、そのまま横断歩道を渡ろうとしている。

車両と歩行者がそのまま進むと、横断歩道上で車両と歩行者が衝突するため、安全支援が必要である。実験では安全に配慮し、歩行者は実際には横断歩道に入らず、直前で止まる。



図 160 交差点（安全支援が必要なケース）の実験の様子

表 49 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作の通知ありに対し、試験番号 2-1、2-2、2-5、2-7、2-9、2-10、2-12 が期待動作と
ならず、安全支援の通知がされない場合がある。

期待動作とならない原因について、以降で考察を行う。

表 49 交差点（安全支援が必要なケース）の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

試験番号	評価項目		評価結果		期待値通りの割合	備考
	カテゴリ	通知の期待値	通知なし	通知あり		
2-1	交差点左折	通知あり	10 回	0 回	0 %	
2-2	交差点左折	通知あり	10 回	0 回	0 %	
2-3	交差点左折	通知あり	0 回	10 回	100 %	
2-4	交差点左折	通知あり	0 回	10 回	100 %	
2-5	交差点左折	通知あり	10 回	0 回	0 %	
2-6	交差点左折	通知あり	0 回	10 回	100 %	
2-7	交差点右折	通知あり	8 回	2 回	20 %	
2-8	交差点右折	通知あり	5 回	5 回	50 %	
2-9	交差点右折	通知あり	7 回	3 回	30 %	
2-10	交差点右折	通知あり	0 回	10 回	100 %	
2-11	交差点右折	通知あり	10 回	0 回	0 %	
2-12	交差点右折	通知あり	9 回	1 回	10 %	

図 161 に、評価シナリオ 2-8 において、10 ラウンド分の車両・歩行者の軌跡をプロットした図を示す。

本評価シナリオでは車両が直進してきた後に右折し、同時に歩行者は直進してきて横断歩道を渡ろうとする。

図に示したように、10 ラウンド分の軌跡を重ねた時、車両の位置測位結果は約 6m のブレがある。以下に述べるように、この測位結果のブレが通知結果に影響している。



図 16110 ラウンド分の軌跡のプロット(2-8)
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 162 は、評価シナリオ 2-8-6 と 2-8-9R について、地図上の車両軌跡と、ビデオ映像の比較したものである。

図 162 左は、2-8-6R と 2-8-9R の車両軌跡であり、赤点線は左折直前の横断歩道付近での車両の位置の比較である。車両位置が、約 6m ずれている。しかし、図 162 右のビデオ映像で、左折直前の横断歩道付近にいる時の車両の位置を比較すると、実際はほとんど同じ位置にいる。そのため、この 6m のずれは、危険通知アプリケーションの位置測位の誤差である。位置測位の誤差が、評価シナリオ 2-8 は 10 ラウンドの試験のうち、期待通りの結果（通知あり）が 3 回、期待通りでない結果（通知なし）が 7 回と通知の結果が分かれる原因となっている。

これを課題③と定義する。

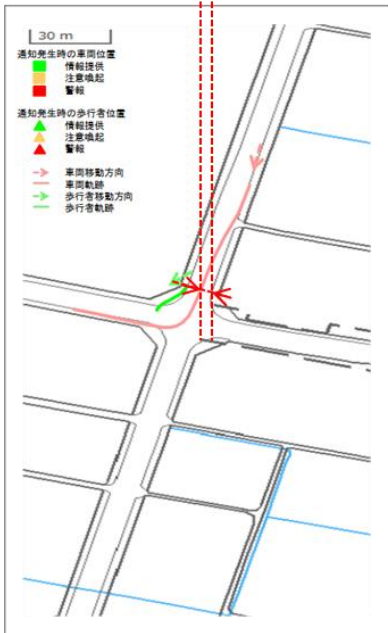
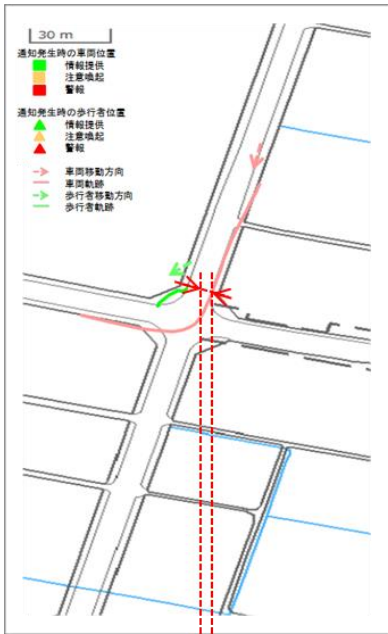


図 162 評価シナリオ 2-8-6R と 2-8-9R の車両軌跡とビデオ映像の比較
 (地図データ出展：国土地理院ホームページ)

測位誤差が通知に影響する、もう一つ例として、図 163 に 2-2-4R を示す。

測位誤差のために車両が歩道上を走っているように見えている。実際には車両が歩行者の右側を走って右折するにも関わらず、危険通知アプリケーションにおける測位結果上は、車両が歩行者の左側で左折するように検出されている。そのため危険な状況にも関わらず衝突判定がされず、安全支援の通知がされない。

このように、測位誤差により車両と歩行者の位置関係が実際と異なり、そのために期待動作の通知がされないことが確認できた。このケースの場合は、測位結果上は車道が歩道を走ってしまうため、地図データの活用等で誤差を補正する検討が必要である。これを課題④と定義する。

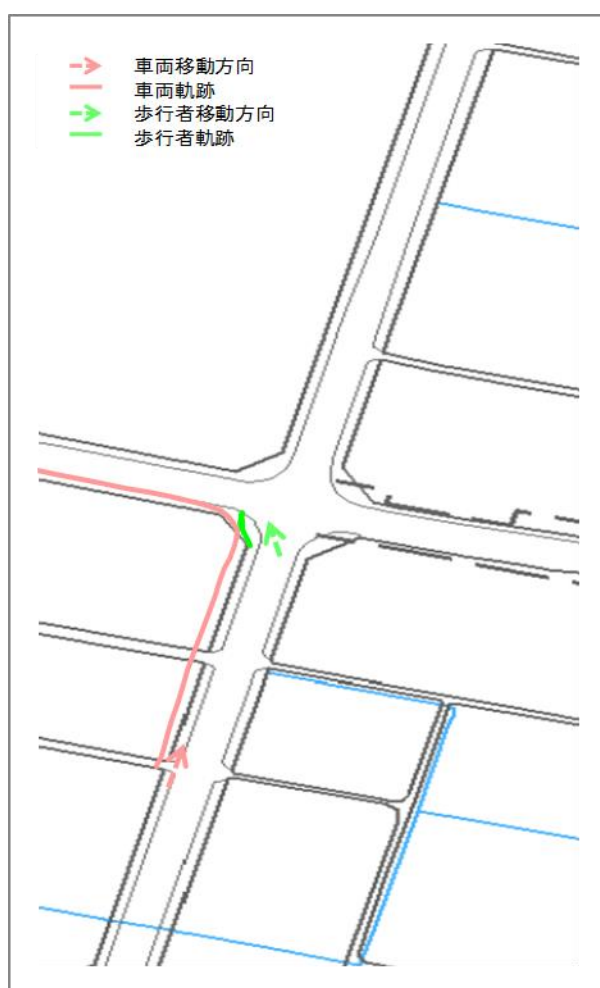


図 163 車両測位のずれにより通知が鳴らない例 (2-2-4R)
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

本評価シナリオで抽出した課題を、表 50 に整理する。

表 50 今後の課題

	現象	解析結果	対策案
課題③	車両右折時に通知が安定しない	測位の誤差により、実際には同じ移動軌跡でも測位された位置がずれるため、衝突判定を誤る	外部の基準情報を加えて、測位精度を向上する
課題④	車両左折時に通知されない	測位の誤差により、車両と歩行者の位置関係が実際と異なるため、衝突判定を誤る	地図データの活用等で測位の誤差を補正する手法の検討

5.1.6.4.4 交差点（安全支援が不要なケース）

交差点（安全支援が不要なケース）の評価シナリオを表 51 に示す。

本シナリオは、車両左折、または右折時にも歩行者は横断歩道を渡らない、または既に横断歩道の通過済みのため、安全支援は不要として通知がされないことを確認する。

車両速度は徐行（10km/h 以下）、歩行者速度は通常歩行の 1m/s に設定した。

歩行者の挙動は、横断歩道を渡らない方向での直進、横断歩道を渡らず歩道に沿って曲がる、横断歩道の通過済みを設定した。

表 51 交差点（安全支援が不要なケース）の評価シナリオ一覧










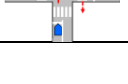
試験番号	カテゴリ	評価項目				
		車両・歩行者挙動	車両速度	歩行者速度	通知の期待動作	
2-13	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 左側から直進し横断歩道手前で停止 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-14	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 左側から斜めに移動し横断歩道手前で停止 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-15	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 手前から直進し横断歩道を渡らない 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-16	交差点左折	車両挙動: 左折 歩行者挙動: 奥から直進し横断歩道を渡らない 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-17	交差点左折	車両挙動: 信号待ちから少し遅れて左折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-18	交差点左折	車両挙動: 信号待ちから少し遅れて左折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-19	交差点右折	車両挙動: 右折 歩行者挙動: 手前から直進し横断歩道を渡らない 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-20	交差点右折	車両挙動: 右折 歩行者挙動: 奥から直進し横断歩道を渡らない 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-21	交差点右折	車両挙動: 信号待ちから少し遅れて右折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし
2-22	交差点右折	車両挙動: 信号待ちから少し遅れて右折 歩行者挙動: 信号待ちから横断歩道を渡る 	安全支援が不要なケース	徐行	1m/s	通知なし

図 164 に、交差点（安全支援が不要なケース）の実験の様子を示す。

車両は直進してきて横断歩道を渡った後、左折を開始する。

この時歩行者 1 は、車両から見て手前の歩道を直進するが、横断歩道は渡らず道なりに歩道を曲がる。

歩行者 2 は、車道から見て奥の歩道を直進するが、同様に横断歩道は渡らず、道なりに歩道を渡る。この場合は車両と歩行者の衝突の危険はないため、安全支援は不要である。



図 164 交差点(安全支援が不要なケース)の実験の様子

表 52 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作の通知なしに対し、2-16、2-17、2-18、2-19、2-20、2-21 で期待動作とならず、安全支援の通知がされてしまう。

期待動作とならない原因について、以降で考察を行う。

表 52 交差点(安全支援が不要なケース)の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

試験番号	評価項目		評価結果		期待値通りの割合	備考
	カテゴリ	通知の期待値	通知なし	通知あり		
2-13	交差点左折	通知なし	10 回	0 回	100 %	
2-14	交差点左折	通知なし	10 回	0 回	100 %	
2-15	交差点左折	通知なし	10 回	0 回	100 %	
2-16	交差点左折	通知なし	0 回	10 回	0 %	
2-17	交差点左折	通知なし	9 回	1 回	90 %	
2-18	交差点左折	通知なし	9 回	1 回	90 %	
2-19	交差点右折	通知なし	6 回	4 回	60 %	
2-20	交差点右折	通知なし	3 回	7 回	30 %	
2-21	交差点右折	通知なし	9 回	1 回	90 %	
2-22	交差点右折	通知なし	10 回	0 回	100 %	

図 165 に、評価シナリオで 2-20-9R の通知結果を示す。

本評価シナリオは車両が直進の後に左折し、同時に歩行者は、車両から見て奥の歩道を横断歩道に向かって直進するが、横断歩道は渡らず、歩道に沿って曲がる。

期待動作は通知しないが、図で示した結果のように、歩行者の移動開始直後、車両が右折を始める直前に、警報の通知が発生する。

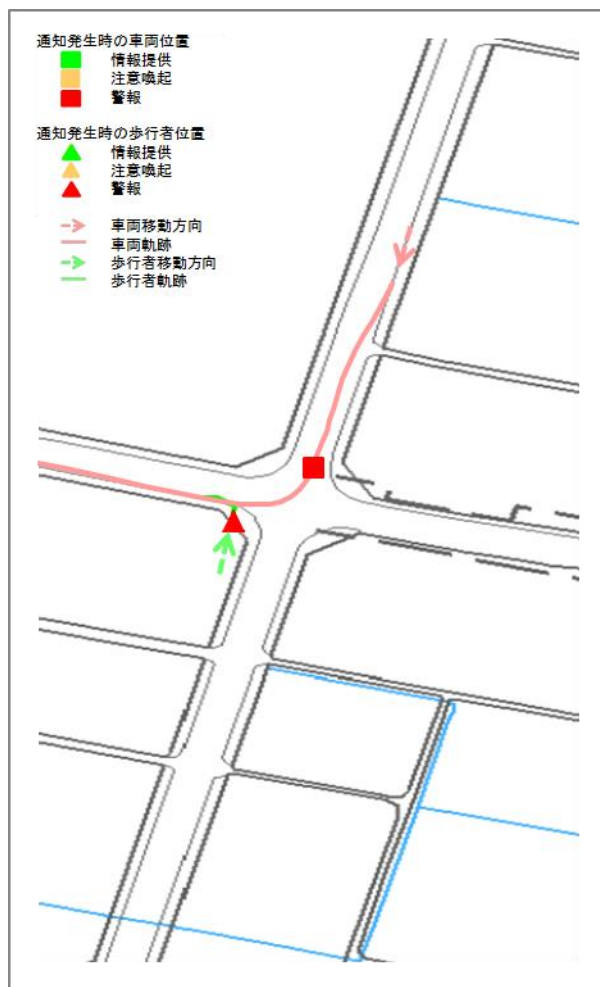


図 165 評価シナリオ 2-20-9R の通知結果
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

この時の歩行者の速度（図 166 上図）と、歩行者の方位（図 166 下図）を確認すると、歩行者の速度の立ち上がりにおいて、歩行者の方位が 330 度付近から 15 度付近に大きく変化している。

図 165 より、歩行者は移動開始時に方位 15 度の方向に進行するため、歩行開始時の 330 度は歩行者の進行方位を誤検知している。そのため、歩行者の移動開始時に、車両に対し斜めの進行方向と検出されてしまい、警報の通知がされてしまう。この現象は 5.1.6.4.2 節で述べた課題①と同じ現象であり、本評価シナリオでも同じ課題で誤検出が発生している。

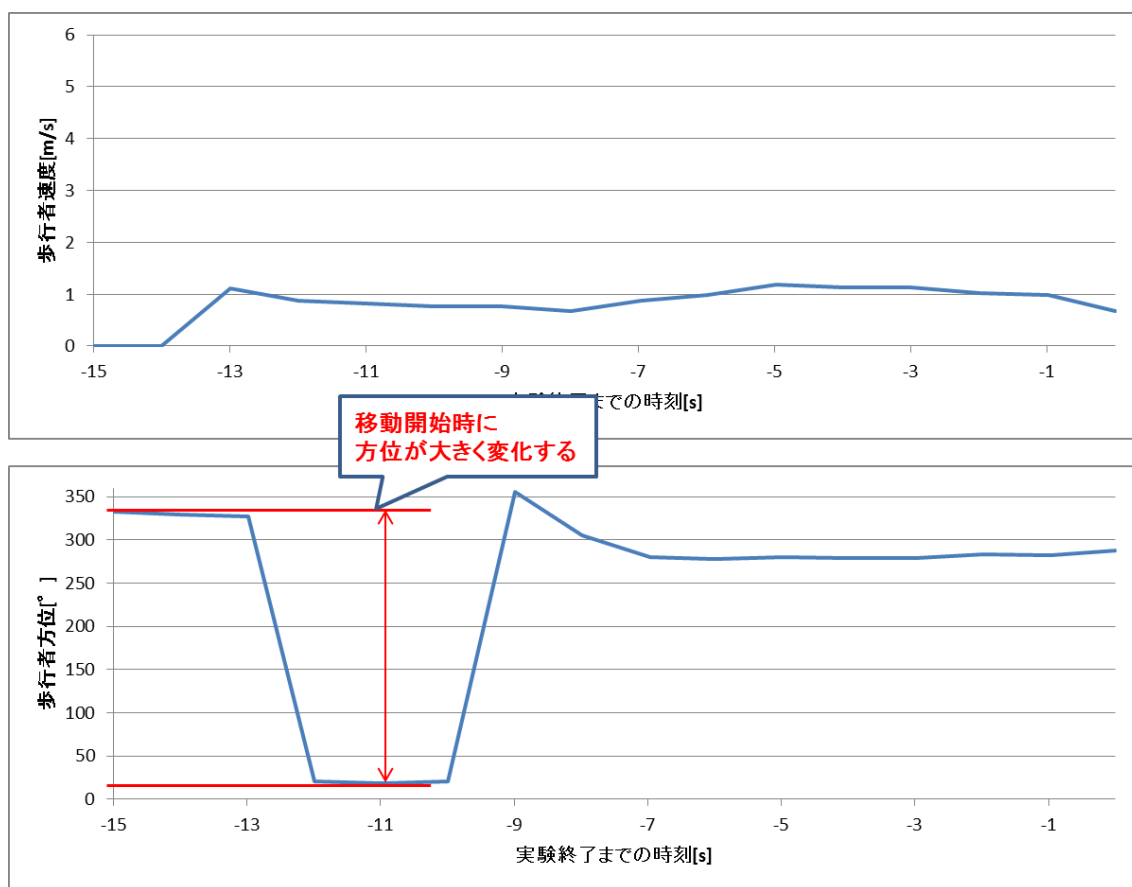


図 166 歩行者移動開始時の速度と方位のグラフ(2-20-9R)

その他の誤通知のケースとして、図 167 に、評価シナリオ 2-16-2R の通知結果を示す。本評価シナリオでは、車両が直進した後左折し、歩行者は車両から見て奥の歩道を直進し、横断歩道を渡らずに歩道に沿って曲がる。期待動作は通知しないだが、図より、歩行者が方向を変えたあたりで、警報の通知がされる。

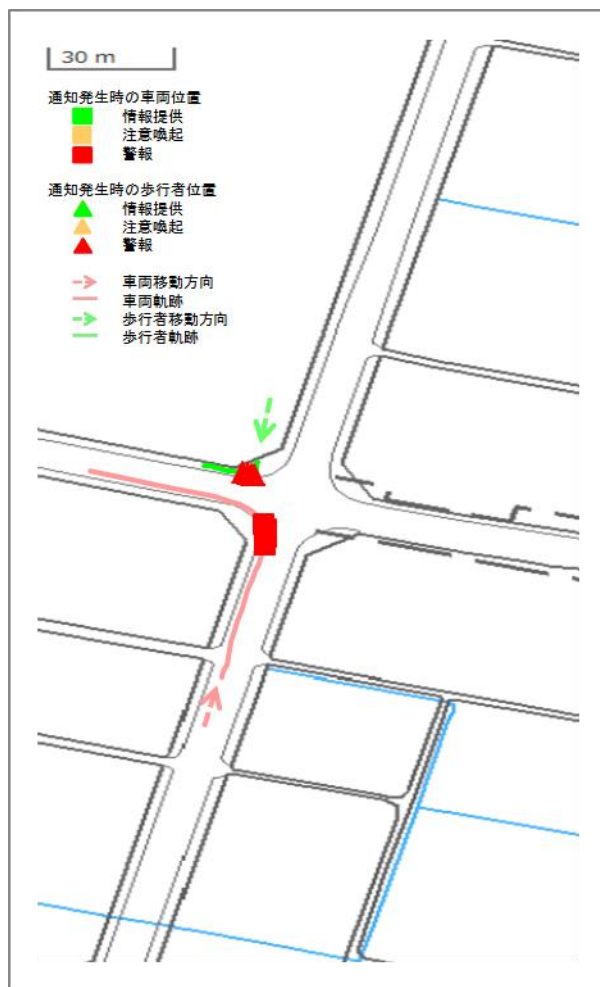


図 1672-16-2R の通知結果
 (地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 168 は、評価シナリオ 2-16-2R における通知発生時刻、歩行者方位、車両方位について、時間軸をそろえ、比較したものである。

図 168 上図の通知発生時刻と、図 168 中の歩行者の方位より、通知が発生する期間は、歩行者が道なりに曲がるために進行方向を 90 度変える期間と重なっている。

図 168 下図より、この期間に車両は右折を開始したが、進行方向の変化は 10 度～15 度程度と少ない。この図より、通知が発生する期間は、歩行者が車両よりも先に進行方向を変え、車両から離れる方向に向かって進んでいる期間となる。進行方向が大きく変わるときに追従できていない。これを課題⑤と定義する。

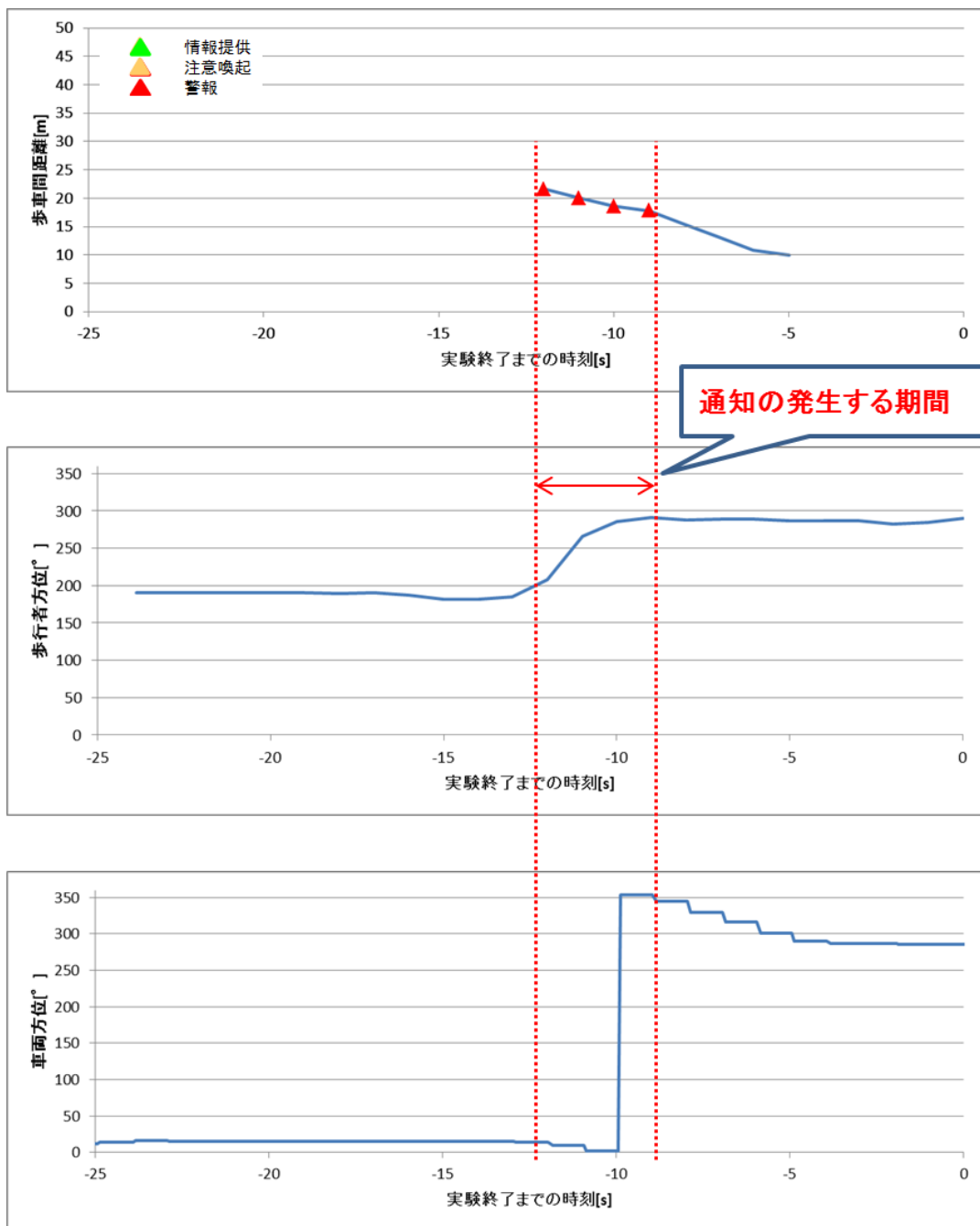


図 1682-16-2R の通知時刻、歩行者方位、車両方位

本評価シナリオにおいて抽出した課題を表 53 に整理する。

表 53 今後の課題

	現象	解析結果	対策案
課題⑤	右左折の直進中、対向歩行者が歩道に沿って方向を変える時に通知される	進行方向が大きく変わるときに追従できていない	進行方向の変化量により、支援方法を変える

5.1.6.4.5 車線変更（安全支援が不要なケース）

車線変更（安全支援が不要なケース）の評価シナリオを表 54 に示す。

本シナリオは、歩行者が歩道に沿って歩いている時に、単路を走行する車両が、歩行者の近くで車線変更をする。

車線変更時に、車両が歩行者に向かってくる状況になるが、車線変更後に車両は引続き車道を直進する。この時に安全支援は不要として通知がされないことを確認する。

車両の速度は法定速度の 50km/h、歩行者の速度は通常歩行の 1m/s に設定した。

歩行者の挙動として、車両の進行方向と対向に歩く場合と、車両の進行方向と同じ方向に歩く場合を設定した。

表 54 車線変更（安全支援が不要なケース）の評価項目一覧

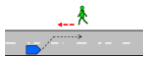

評価項目							
試験番号	カテゴリ	車両・歩行者挙動		車両速度	歩行者速度	通知の期待動作	
3-1	車線変更	車両挙動: 直進し歩行者近くで車線変更 歩行者挙動: 車両の対向方向に直進		安全支援が不要なケース	50m/s	1m/s	通知なし
3-2	車線変更	車両挙動: 直進し歩行者近くで車線変更 歩行者挙動: 車両の進行方向に直進		安全支援が不要なケース	50m/s	1m/s	通知なし

図 169 に、車線変更（安全支援が不要なケース）の実験の様子を示す。

歩行者 1 は、車両から見て左側を車両の進行方向と同じ方向に移動する。

歩行者 2 は同様に、車両の進行方向と対向方向に移動する。

車両は直進して、歩行者 1 と歩行者 2 が歩道を移動する近くで、歩行者に向かってくるように車線変更する。この後車両は引続き車道を進行するため、安全支援は不要である。



図 169 車線変更（安全支援が不要なケース）の実験の様子

図 152 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作の通知なしに対し、期待通りの動作は 3-1 の 1 回のみであり、他は通知が発生している。期待動作とならない原因について、以降で考察する。

表 55 車線変更（安全支援が不要なケース）の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

評価項目			評価結果		期待値通りの割合	備考
試験番号	カテゴリ	通知の期待値	通知なし	通知あり		
3-1	車線変更	通知なし	1 回	9 回	10 %	
3-2	車線変更	通知なし	0 回	10 回	0 %	

図 170 に、評価シナリオ 3-1-3R の通知結果を示す。

本評価シナリオでは車両が直進してきて、歩行者の近くで歩行者に向かってくるように車線変更した後、車道の直進を続ける。

歩行者は車両の進行方向と対向方向に直進する。

期待動作は通知なしであるが、図で示した結果のように、歩行者の移動開始時に情報提供、歩行中に注意喚起の通知が発生する。

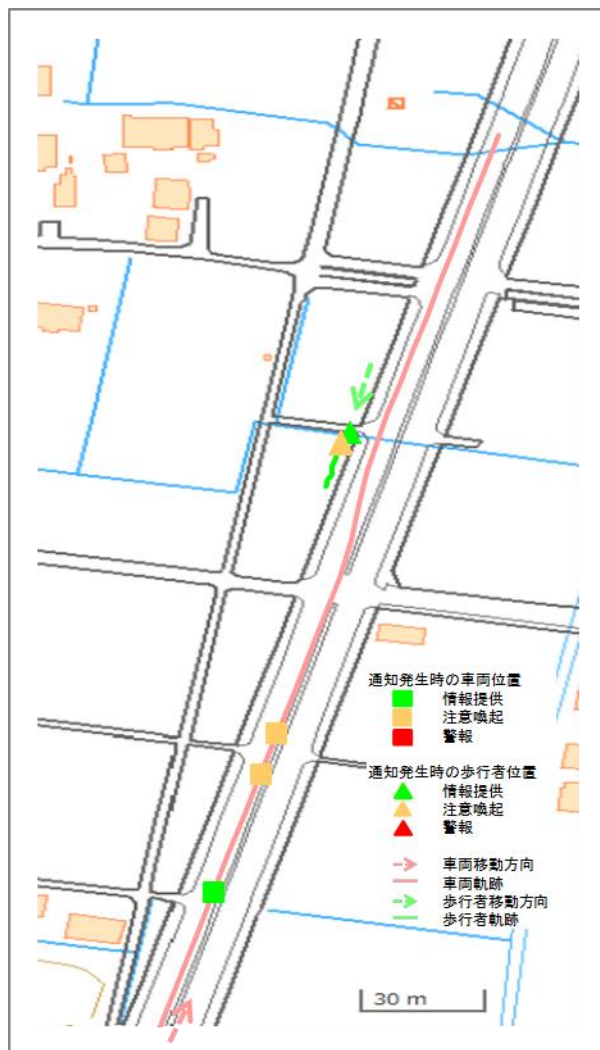


図 170 評価シナリオ 3-1-3R の通知結果
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 171 は、評価シナリオ 3-1-3R（図 170）の歩行開始時の様子を撮影したものである。

①→④の順に進んでいる。

④において、車両が向かって来るが、車両が車線変更するのは時間的にこの後である。そのため、車両が近づいて車線変更する前に、通知が発生している。本試験では、歩行者（図中の歩行者 1）は移動開始後に歩道を直進するが、特に蛇行して歩行している様子はない。



図 171 移動開始時のビデオ映像 (3-1-3R)

この時の歩行者の速度（図 172 上図）と、歩行者の方位（図 172 下図）を確認すると、歩行者の速度の立ち上がりから、歩行者の方位が約 40 度の幅でふらついている。図 171 で示した通り、実際はこの間の歩行者にふらつきは見られないため、誤検知されている。このふらつきは 7~8 秒程度続いているため、2 回の誤通知の原因となっている。移動開始時の進行方向の誤検知を原因とする誤通知は、前節で述べた課題①と同じ現象であり、本評価シナリオにおいても誤検出が発生している。

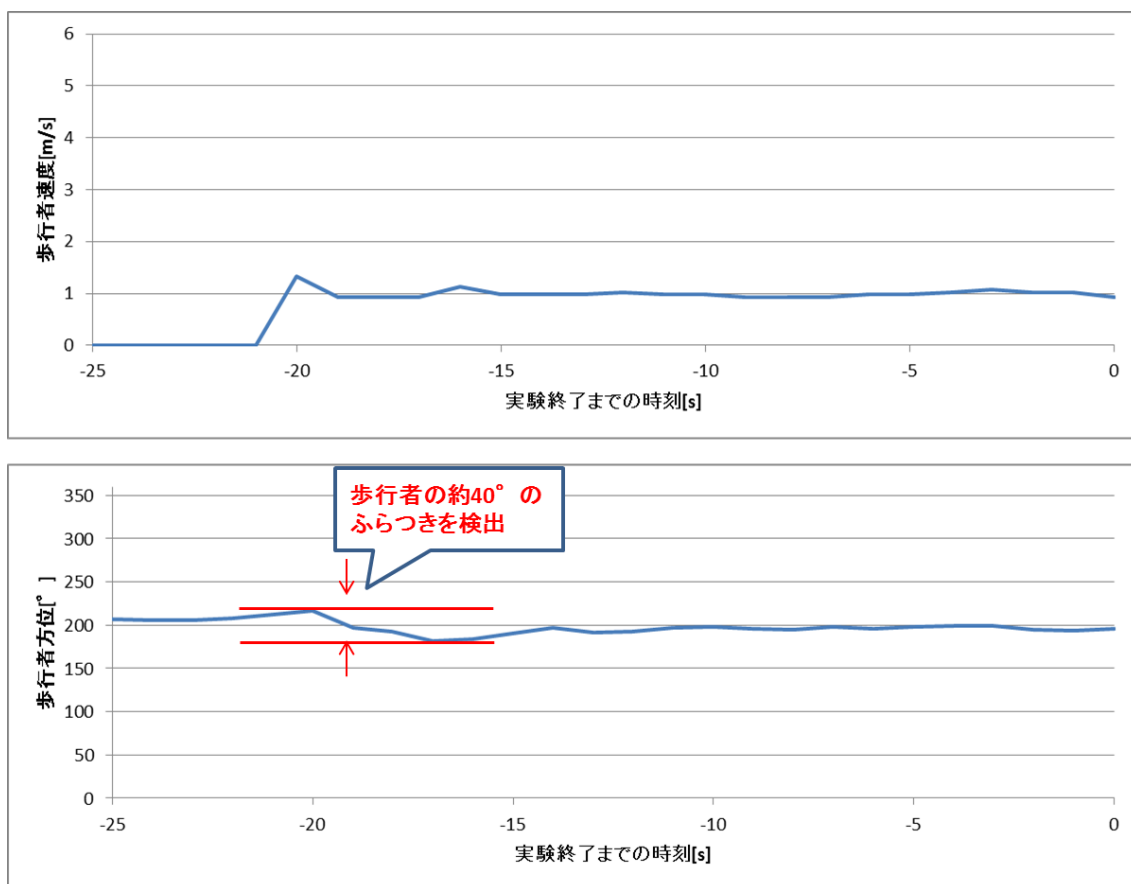


図 172 歩行者移動開始時の速度と方位のグラフ(3-1-3R)

上記の現象は、車両が車線変更を行う前の、直進時の現象である。車線変更で車両が歩行者に向かってくる時は、全てのラウンドで通知されていない。そのため車両の車線変更そのものに対しては、不要な安全支援は発生していない。

5.1.6.4.6 高架（安全支援が不要なケース）

高架（安全支援が不要なケース）の評価シナリオを表 56 に示す。

本シナリオは、車両が高架を渡っている時に、歩行者が車両の真下を通るように高架下を横断する。この時に安全支援は不要として通知されないことを確認する。

車両の挙動として、歩行者より高い高度から出発する場合と、歩行者と同じくらいの高度から出発する場合を設定した。

車両の速度は法定速度の 50km/h に設定した。

歩行者速度は通常歩行の 1m/s と、飛び出しを想定した 3m/s に設定した。

表 56 高架（安全支援が不要なケース）の評価項目一覧


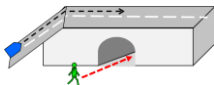
評価項目							
試験番号	カテゴリ	車両・歩行者挙動		車両速度	歩行者速度	通知の期待動作	
4-1	高架下横断	車両挙動: 高架の上を直進 歩行者挙動: 高架手前から直進し高架下を通過		安全支援が不要なケース	50m/s	1m/s	通知なし
4-2	高架下横断			安全支援が不要なケース	50m/s	3m/s	通知なし
4-3	高架下横断	車両挙動: 歩行者と同じ位の高さから高架に上がり直進 歩行者挙動: 高架手前から直進し高架下を通過		安全支援が不要なケース	50m/s	1m/s	通知なし
4-4	高架下横断			安全支援が不要なケース	50m/s	3m/s	通知なし

図 173 に、高架（安全支援の不要なケース）の実験の様子を示す。

車両が高架を直進し、歩行者はその下を交差する歩道を直進する。

高架と歩道が交差する箇所において、車両が通過するのと同じタイミングで、歩行者は真下を通過する。この時、高さを除いた位置関係では車両と歩行者が衝突する状態になるが、実際には車両は高架上、歩行者は高架下であるため、安全支援は不要である。



図 173 高架（安全支援が不要なケース）の実験の様子

表 57 に、本評価シナリオの評価結果を示す。

期待動作の通知されないに対し、4-1、4-2 は全て期待通りの動作をしているが、4-3、4-4 は全てで通知が発生してしまい、期待動作とならない。

期待通りとならない場合について、以降で考察する。

表 57 高架（安全支援が不要なケース）の評価結果一覧

※青掛は期待通りの結果、赤掛は期待通りではない結果を表す

試験番号	評価項目		評価結果		期待値通りの割合	備考
	カテゴリ	通知の期待値	通知なし	通知あり		
4-1	高架下	通知なし	10 回	0 回	100 %	
4-2	高架下	通知なし	10 回	0 回	100 %	
4-3	高架下	通知なし	0 回	10 回	0 %	
4-4	高架下	通知なし	0 回	10 回	0 %	

図 174 に、評価シナリオ 4-4-1R の通知結果を示す。

本評価シナリオでは車両が歩行者と同じくらいの高さから出発し、その後高架を直進する。歩行者は高架下で高架と交差する歩道を移動する。期待動作は通知なしだが、図で示した結果のように、車両が高架を上がる途中までは情報提供、または注意喚起の通知が発生し、その後通知がなくなる。

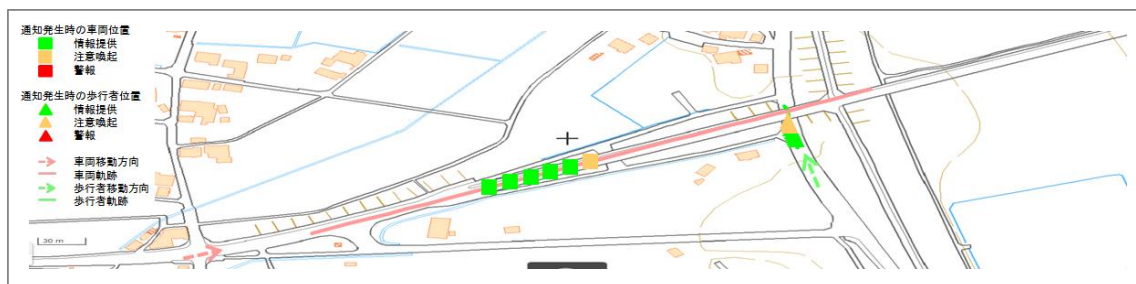


図 174 評価シナリオ 4-4-1R の通知結果
(地図データ出展：国土地理院ホームページ)

図 175 に、評価シナリオ 4-4-1R において、歩行者と車両で危険通知アプリケーションにより検出された高度の比較を示す。

本シナリオにおいては、車両が歩行者と同じくらいの高さから出発するため、高度の差が大きくなるまで高架の検出ができずに、衝突判定のため通知している。このように、車両と歩行者が実際には高架の上下にいる場合でも、高架の入口等で高度差がないところからは、衝突判定の通知されてしまう。

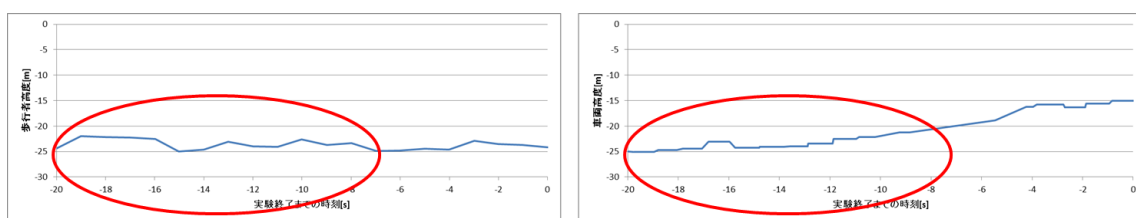


図 175 評価シナリオ 4-4-1R の歩行者と車両の高度比較

今のシステムでは、高度の差が小さい時に、高架下にいることが検出できない。そのため、高架下においても、高度差が小さいケースでは不要な通知がされる。これを課題⑥と定義する。

本評価シナリオで抽出した課題を、表 58 に整理する。

表 58 今後の課題

	現象	解析結果	対策案
課題⑥	歩行者が高架下にいるのに通知がされる	車両が高架を上がる途中で、歩行者と高度差が小さい場合に高架下と検出できないため	地図情報により、高架や坂などの道路形状を検出する

5.1.6.5 課題抽出試験のまとめ

本実験は、現実の交通状況に近い環境において、単路、左折、右折、車線変更、高架で安全支援が必要なケースと安全支援が不要なケースを設定し、安全支援が想定通りかの確認と、課題を抽出した。本実験において抽出した課題を表 59 に整理する。

表 59 抽出した課題一覧

	現象	解析結果	対策案
課題①	歩行者が移動開始時に通知が発生する	歩行開始直後は、歩行者の進行方位を正しく検出できないため通知が発生する	静止から移動開始する時に方向が安定する仕組みを追加する
課題②	歩行者の移動中のふらつきにより通知が発生する	歩行者の移動中のふらつきを検知し車両の進行方位と平行ではなくなったとみなされ通知が発生する	歩行者のふらつきを検出し、歩行状況などから安全支援の要・不要を判定する仕組みを追加する
課題③	車両右折時に通知が安定しない	測位の誤差により、実際には同じ移動軌跡でも測位された位置がずれるため、衝突判定を誤る	外部の基準情報を加えて、測位精度を向上する
課題④	車両左折時に通知されない	測位の誤差により、車両と歩行者の位置関係が実際と異なるため、衝突判定を誤る	地図データの活用等で測位の誤差を補正する手法の検討
課題⑤	右左折の直進中、対向歩行者が歩道に沿って方向を変える時に通知される	進行方向が大きく変わるときに追従できていない	進行方向の変化量により、支援方法を変える
課題⑥	歩行者が高架下にいるのに通知がされる	車両が高架を上がる途中で、歩行者と高度差が小さい場合に高架下と検出できないため	地図情報により、高架や坂などの道路形状を検出する

5.1.7 歩行者状態判定

「不要支援対策 - 歩行者状態判定 - 屋外屋内の判定」の章に説明した、状態判定機能について、試験詳細を示す。

歩行者状態判定の試験実施の詳細手順を記載する。

屋外の歩行・一時停止・静止と、屋内の歩行・静止の状態判定の遷移が、正しく実施されることを確認する試験である。

5.1.7.1 実施手順

実施場所：

神奈川県横浜市パナソニック佐江戸南事業場 構内

実施ルート：

屋外のスタート地点から、まっすぐに歩行し、途中の地点で、しばらく停止したのち、再び歩行し、そのまま屋内（ビル）を歩行し、建物内の中心で、停止する。

実施形態：

スマートフォン1台と測位端末を手持ちで歩行する。

歩行経路を以下に示す。



図 176 歩行経路

以下の状況で、実際の歩行者の動作と相違なく遷移しているかを確認する。

1. 屋外歩行
2. 屋外一時停止
3. 屋外停止
4. 屋外歩行再開始
5. 屋内歩行
6. 屋内停止

5.1.7.2 結果

5/5回問題なく状態を遷移することができた。

表 60 状態遷移確認結果

状態	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
屋外歩行	○	○	○	○	○
屋外一時停止	○	○	○	○	○
屋外停止	○	○	○	○	○
屋外歩行再開始	○	○	○	○	○
屋外歩行	○	○	○	○	○
屋外停止	○	○	○	○	○

実際の遷移結果の抽出画像を以下に示す。(1回目の実施)



図 177 屋外歩行画面



図 178 屋外一時停止



図 179 屋外静止（出力抑制で OFF になる）



図 180 屋外歩行再開始



図 181 屋内歩行 (境界)



図 182 屋内歩行



図 183 屋内静止（出力抑制で OFF になる）

5.1.8 屋外通信環境との連携

5.1.8.1 背景

本研究開発では、『危険判定精度の向上』、および、『危険判定の有効性検証』に取り組んだ。

本年度の成果目標を、「平成 27 年度に開発した危険通知アプリケーションを拡張し、各場面での支援の有効性を確認する。」、および、「複数の歩行者端末が存在する場合も考慮して、平成 28 年度に検討した、事故対策の優先度の高い単路横断、交差点右折・左折・直進時の事故に関して具体的なシナリオを設定の上、テストコース等の実フィールドにおいて、支援機能の有効性を確認する。」としていた。

これらの成果目標の”有効性の確認”、すなわち、”スマートフォンによる危険通知 HMI の妥当性の検証”には、自らが置かれている周囲環境、スマートフォンのユーザーインターフェース (UI) の状態、利用者の反応、他者との位置関係等、歩行者・自転車等の移動体から撮像した複数かつ大容量の映像に関して、途切れなく映像を伝送できる通信環境の構築が必要である。

本通信環境の構築において、九州大学 伊都キャンパス内に環境を構築するとともに、自転車と車両（模擬）を用いた衝突回避実証実験を実施した。

5.1.8.2 実証実験場所

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学 伊都キャンパス

- ① ウェスト2号館北側
- ② キャンパス内西側道路



図 184 実験場所① 空撮画像 (画像データ:©Google)



図 185 実験場所② 空撮画像 (画像データ:©Google)

5.1.8.3 実証実験期間

2017年2月21日(火)～2月24日(金)

5.1.8.4 実証実験内容

5.1.8.4.1 出会い頭事故が発生するタイミングの実験

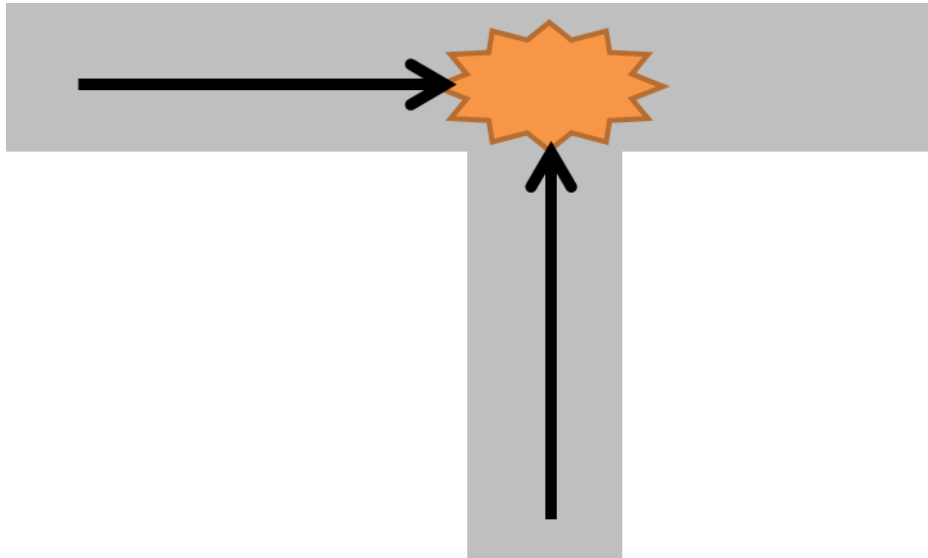


図 186 出会い頭事故の模擬実験イメージ

<期待動作>

見通しの悪い交差点における危険通知と実施者の挙動が映像により確認できること

<試験パラメータ>

① 警報なし

※警報なしは1回のみの実施

② 警報あり

警報ありは以下のパターンを実施した

I 自転車の速度： 2パターン（速い/遅い）

II 警報タイミング：最低2パターン（通常時、別パターン）

結果は主観評価値としたため、複数回、複数人で同実験を実施した。

回避行動のばらつき抑止のために、注意喚起でブレーキ準備、警報でブレーキ開始とした。

5.1.8.4.2 対向ですれ違う際の実験

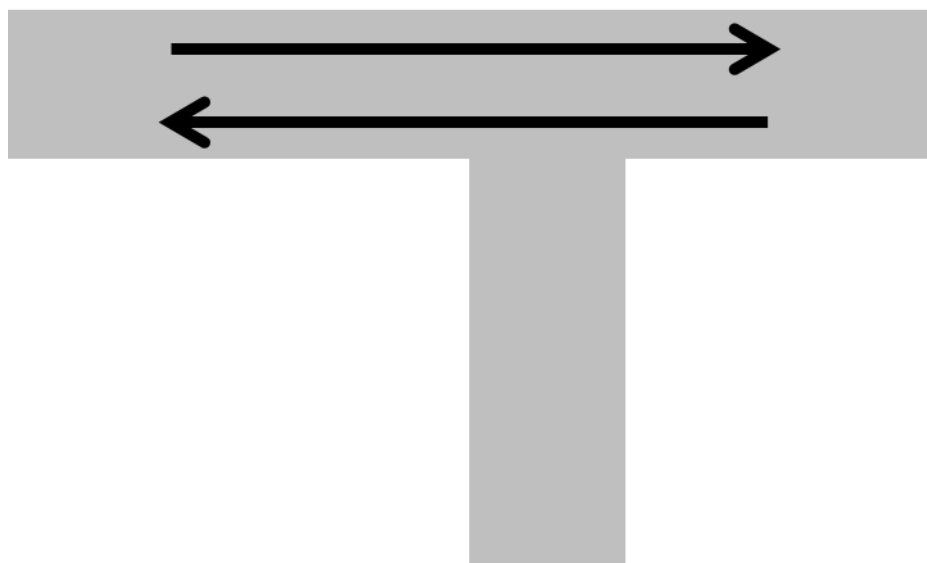


図 187 対向ですれ違う際の模擬実験イメージ

<期待動作>

危険通知のされないケースと実施者の挙動が映像により確認できること

<試験パラメータ>

警報ありのみ

5.1.8.5 使用した機材、および、実験風景



図 188 実験機材



図 189 実験風景 実験場所①



図 190 実験風景 実験場所②

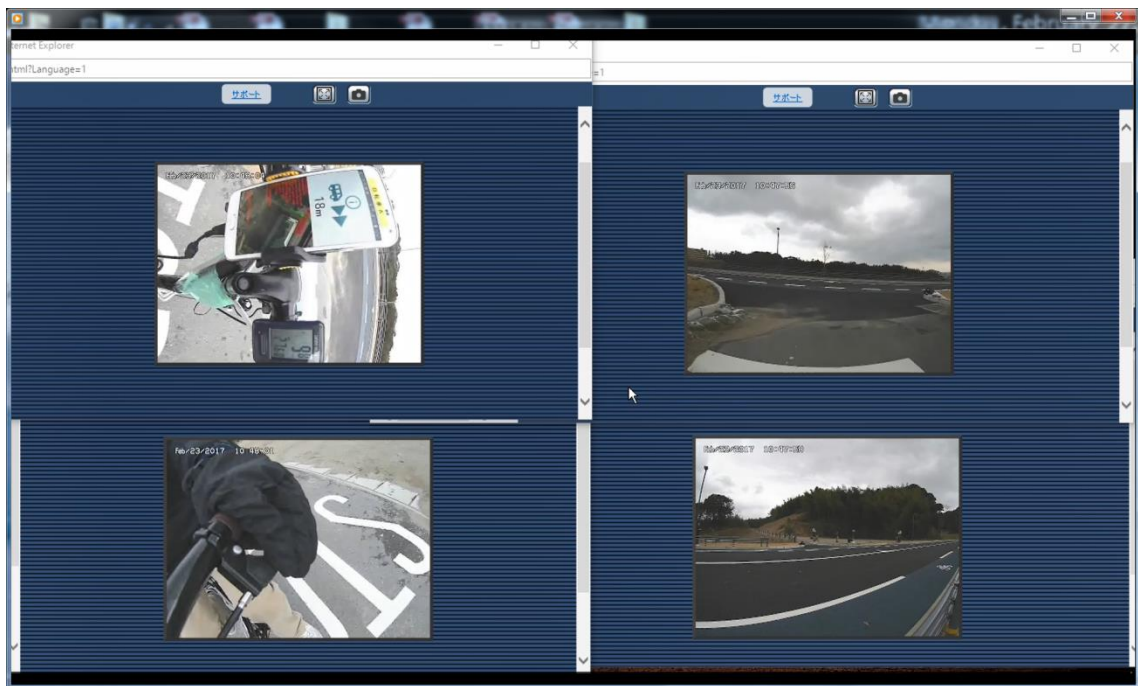


図 191 HMI の妥当性の評価のための運転者の動作監視映像イメージ

左上：スマートフォンおよびスピードメーター、左下：運転者のブレーキ監視

右上：自転車の前方の様子、右下：実験時の全景の様子

5.1.8.6 実証実験結果

5.1.8.6.1 実験場所①での実験

通知および映像取得は問題なく行えたが、本実験を通して、警告が出ないケースが1回発生した。

原因は、測位精度が悪く、測位により検出した自車の位置が、実際の位置との差分が大きいことであった。その際のスマートフォンのキャプチャ画像と、動作監視の画像を図192に示す。

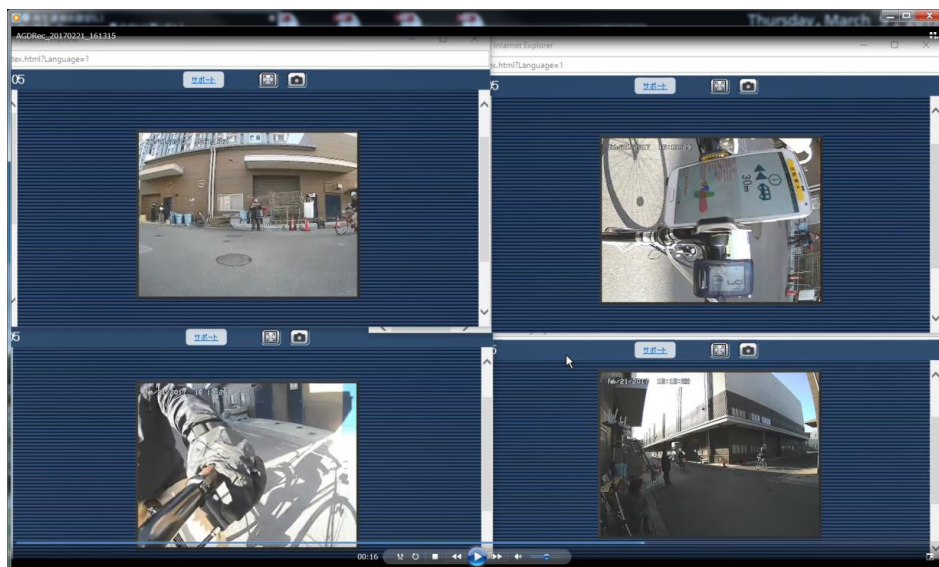
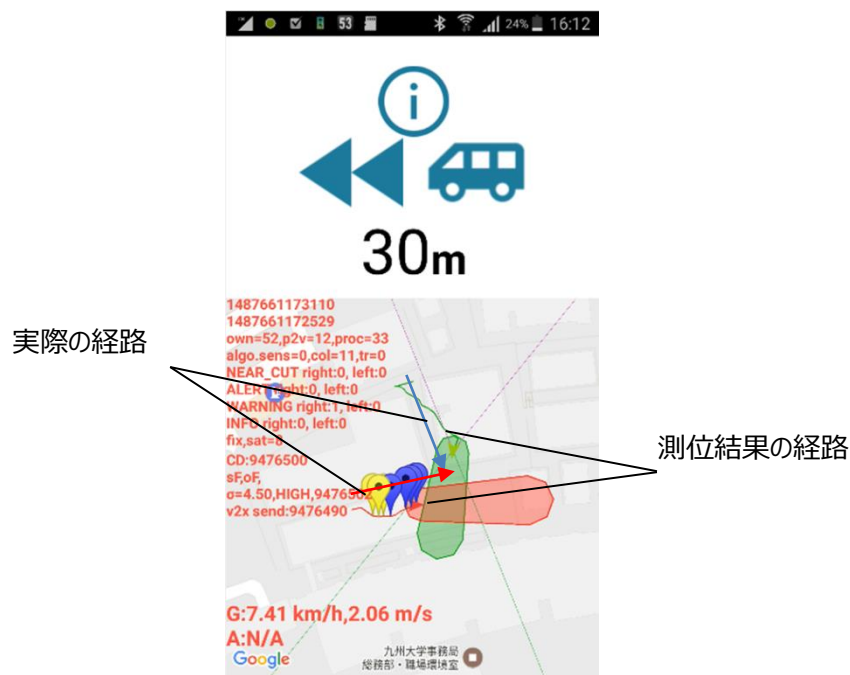


図 192 支援が出なかったケース

上：スマートフォンのスクリーン、下：全景監視画像

この画像より、自転車側は道路上を走っているにも関わらず、測位結果(緑)が東側にずれている。同様に自動車側(赤)も、南側にずれている。両者がお互いから離れた方向にずれたため、計算上の衝突時間が遅くなっており、衝突直前まで警告が出ないという結果となった。

測位結果の劣化の原因は、実験場所①は建物が密集しているエリアであり、測位衛星からの電波として、建物により反射された電波を受信したためである。

対策として、今回の実験中に、反射波の受信を抑える調整も試みたが、精度はあまり改善しなかった。

現状では、実験場所①のように、建物が密集しているエリアで課題である。このようなエリアでは、3D マップを活用した測位精度の改善等の対策が必要である。

5.1.8.6.2 危険通知 HMI の妥当性

5.1.8.4.1 節の実験における、HMI（ヒューマンインターフェース）の通知タイミングに関する主観評価の結果を、

表 61 に示す。

表中の通知タイミングは、1 から順に徐々に遅くなる設定である。主観評価の値としては、タイミングがそれぞれ、1:早い、2:少し早い、3:ちょうど良い、4:少し遅い、5:遅い、の5段階評価とした。

表 61 通知タイミング主観評価結果

場所	警報 タイミング	自転車 速度	自動車(模擬) 速度	主観評価値(平均)				
				運転者A	運転者B	運転者C	総計	
実験場所①				2.21	2.00		2.19	
	1			1.11	2.00		1.27	
		遅い						
			遅い		1.11	2.00	1.27	
	2			4.20			4.20	
		遅い						
			遅い		4.20		4.20	
				2.33	3.10	2.66	2.81	
実験場所②	1			2.33	2.25	2.86	2.57	
		速い						
			速い		2.33	2.86	2.69	
			遅い		1.00		1.00	
	2			1.33	1.94	1.62	1.71	
		速い						
			速い		1.33	2.33	1.40	1.64
			遅い		1.20		1.20	
		遅い						
			速い		3.00	3.00	3.00	
			遅い		1.33	1.00	1.00	1.09
	3				3.00		3.00	
		遅い						
			速い		3.00		3.00	
	4				3.33	4.50	3.67	4.00
		速い						
		速い		3.67	4.00	4.20	4.00	
		遅い			4.60		4.60	
	遅い							
		速い			5.00	4.33	4.75	
		遅い		3.00	4.00	2.50	3.10	
総計				2.33	2.87	2.62	2.71	

今回の実験は合計 136 回の試行であったが、自転車/自動車の速度、警報タイミング等、パラメータが多かったこと、また、カットアンドトライ進めたこともあり、全ての組合せの試験を網羅できていない。試行回数が最も多かった運転手 B の結果より、警報タイミングの設定を遅くしていくと、警報タイミングが遅いと感じている傾向があるため、今回の実験結果により大まかな傾向の把握はできる。

今回の結果から自転車、自動車双方の速度が、最適な警報タイミングに影響を与えている。この結果は実験実施前の予想と異なっていたため、衝突判定のアルゴリズムを元に机上検証を行った。机上検証の前提として、10 秒後に衝突をするという状況を想定し、自転車および自動車の速度、測位誤差を変化させて衝突と予測するタイミングを確認した。

図 193 に、自転車および自動車の速度を 10km/h とした場合で、測位誤差をそれぞれ 5m、8m とした際の結果を示す。

赤線、青線がそれぞれの進行方向の遷移の予測を示しており、破線部分は誤差範囲である。緑線の時間で衝突と判定される。

測位誤差が 5m の場合は、8.2 秒後に衝突と判定され、測位誤差が 8m の場合は、7.12 秒後に衝突と判定される。このように測位誤差が大きくなると、衝突と判定されるタイミングが早くなる。

次に、測位誤差を 5m とし、自転車および自動車の速度をそれぞれ 10km/h あるいは 20km/h と変化させた際の様子を図 194 に示す。また、

表 62 にそれぞれ衝突と判定される時間を示す。これらの結果から、速度が早くなると衝突と判定される時間が遅くなることが明らかになった。

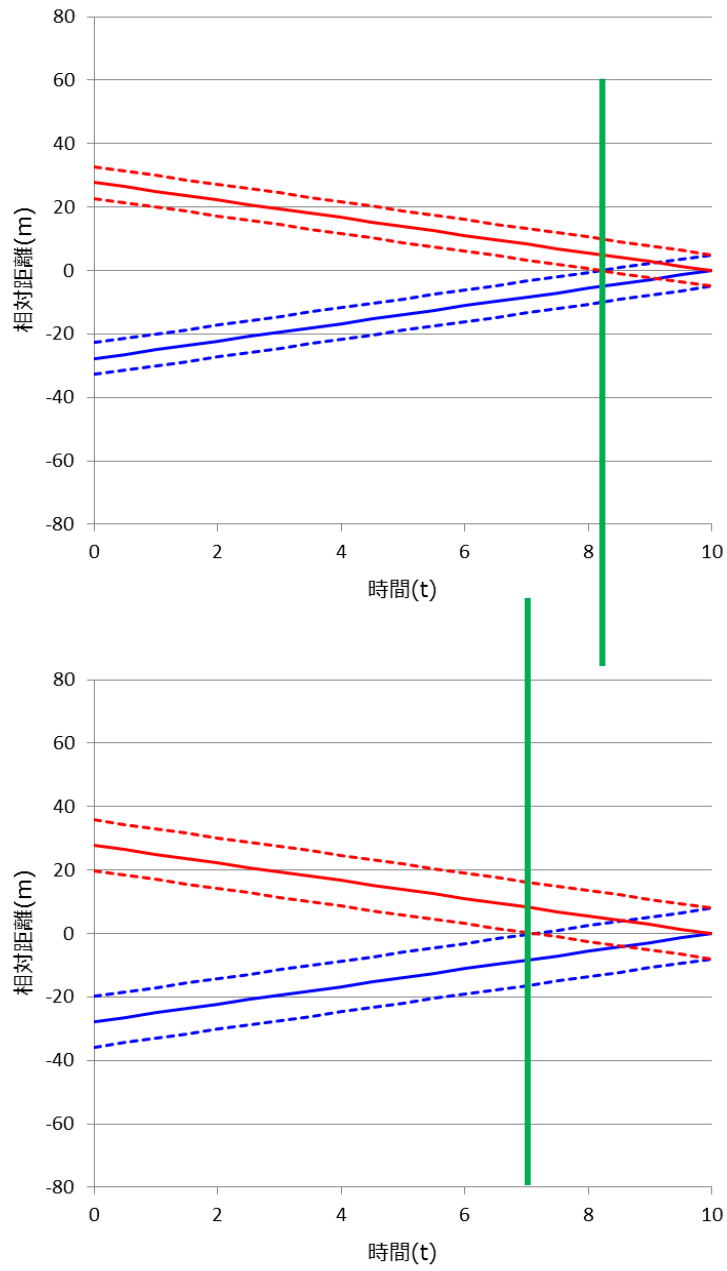


図 193 上：測位誤差 5m、下：測位誤差 8m

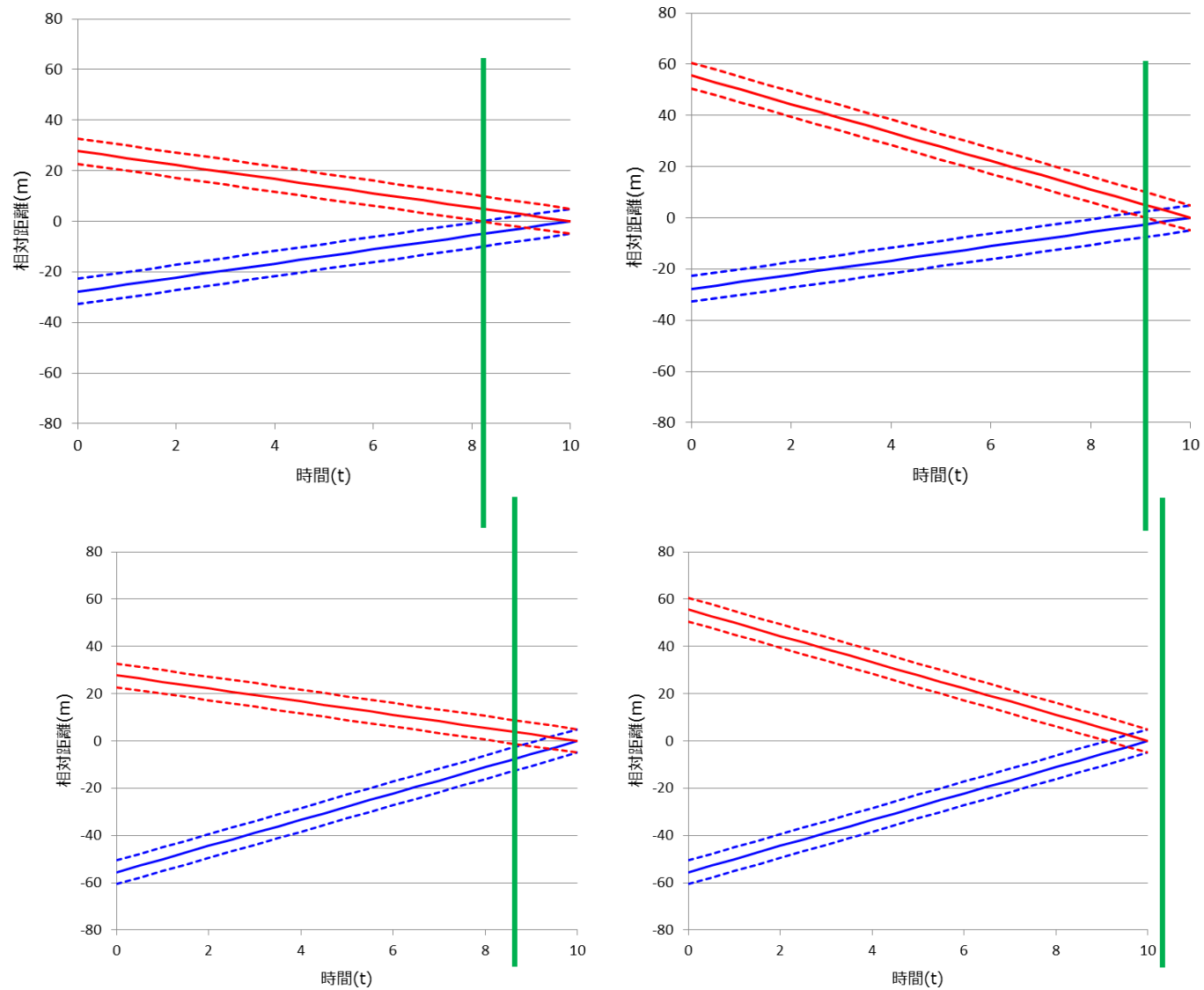


図 194 自転車/自動車の速度 左上：10km/h, 10km/h、右上 10km/h, 20km/h

左下：20km/h, 10km/h、右下 20km/h, 20km/h

表 62 通知タイミング主観評価結果

衝突と判定する時間		自動車	
		10km/h	20km/h
自転車	10km/h	8.2 秒	8.8 秒
	20km/h	8.8 秒	9.1 秒

その他の要因として、自転車でブレーキをかけてから、停止するまでの制動時間に起因する影響も存在する。速度が速ければ制動時間は長くなるため、同じタイミングで警報を鳴らしても、実際に止まるまでの時間や距離が異なる。つまり、速度が速ければ速いほど通知タイミングが遅くなり、さらに制動時間も長くなる。これら 2 重の要因で、運転手の体感としての差が、当初の想定よりも大きいという結果になった。

本来は、速度が速いほど通知タイミングを早くする方が望ましいため、次年度以降、改善が必要である。

5.1.8.6.3 屋外通信環境の有効性

今回の実験では、屋外通信環境との連携の有効性を確認した。

導入した屋外通信環境により、自転車の前方の様子、スマートフォンの UI、スピードメーター、運転手のブレーキ操作、および、実験の全景を同時に監視できる。実証実験のドライバーの状況のリアルタイムの監視と、4 つの映像の同時録画による実験の振り返り等の作業の効率化に活用した。

今回の例では、実験映像と端末から出力された測位ログの内容から、衛生環境の誤差が多い環境なのか、速度の変化が、ユーザーの操作によるものか、端末のセンサー値出力なのかの比較に活用することができた。

今後は、本環境を活用した実証実験のリモート監視も可能であり、例えば大規模実証実験を実施する際に、複数地点を同時に監視することに活用できる。

エー2) 実証実験に向けた歩行者端末と車載機の試作と基本 検証

6 歩行者端末の試作検討

6.1 一体化に向けた検討

6.1.1 スマートフォン型端末試作の背景

2015年度まで、図 195 に示すような3端末による歩行者端末システムとして、運用してきたが、携行性を改善する観点から、それらを一体化した歩行者端末が望まれる。

以下の点からスマートフォン型の歩行者端末を試作する検討を行った。

- 図 196 に示すような、大規模実証実験において、ITS 通信以外の通信機能（LTE および Bluetooth）の搭載が求められている
- 歩行者支援機能を搭載する際、Android 端末の方がアプリケーション開発は容易である
- 地図情報を表示させるために、LCD を有している必要がある

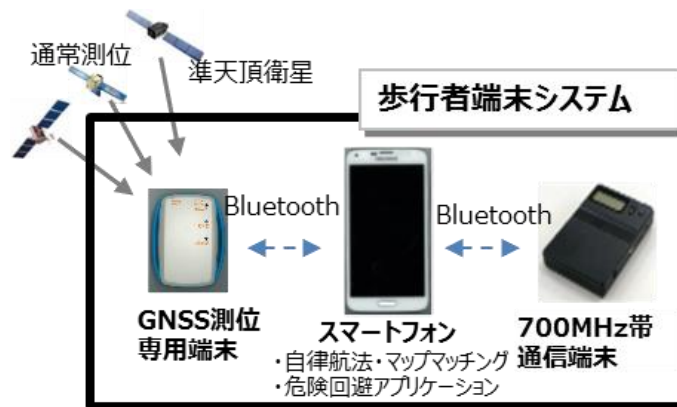


図 195 3 端末による歩行者端末システム

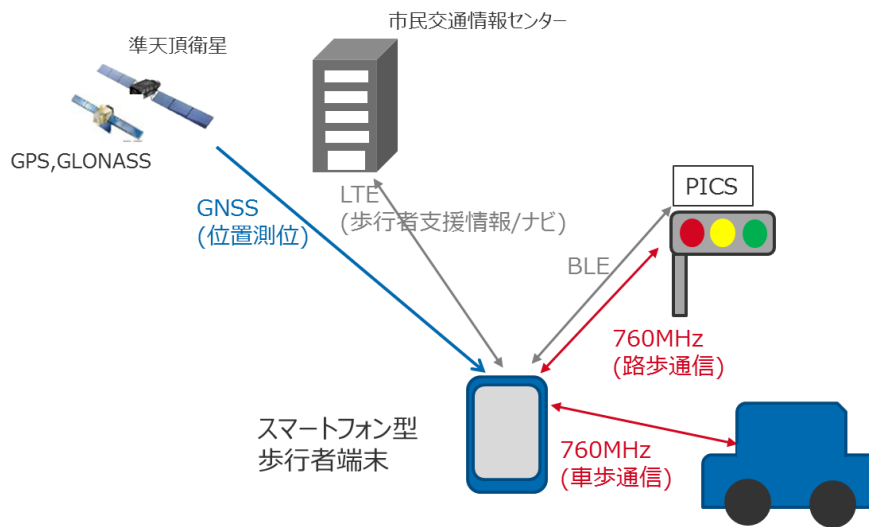


図 196 大規模実証実験による歩行者端末との通信先

6.1.2 歩行者端末試作に対する方針

図 197 に当初想定 of 歩行者端末試作概略日程を示す。

スマートフォン型歩行者端末試作を、以下の方針で進めることとした。

- 限られた費用と期間で歩行者端末試作を行うべく、通信モジュールを活用する。それを用いて先行で試作することで、歩行者端末試作開始前に、Android プラットフォーム部の性能見極めを完了させる
- ITS デバイスは、ソフト開発負担が小さく、Android プラットフォームとの融和性が優れたものを選定する
- ITS 用通信チップ周辺デバイスは、専用で開発されたデバイスと、汎用品の双方を活用し、システム構成の実現を目指す
- 人体によるアンテナ特性への影響が想定されるため、外部アンテナ端子を設けて、試験方法に拡張性を持たす

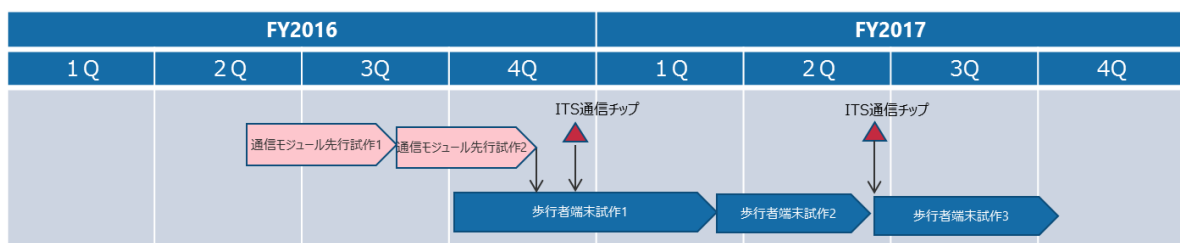


図 197 当初想定 of 歩行者端末試作概略日程

6.1.3 歩行者端末の仕様

6.1.3.1 ハードウェア構成

図 198 に歩行者端末のハードウェア構成図を示す。

ハードウェア構成は、通信モジュール部が Android プラットフォーム部を担い、LCD、タッチパネル、各種センサーといったスマートフォンに欠かせない機能を搭載すると共に、歩行者端末として不可欠な ITS 通信機を Android 部の SoC から制御する構成とする。

GNSS 受信機に関しては、通信モジュール内にその機能を搭載しているが、準天頂衛星測位に非対応のため、専用の GNSS モジュールを新たに搭載する。PDR 用センサーは、この GNSS モジュールに接続され、位置測位を補償する。

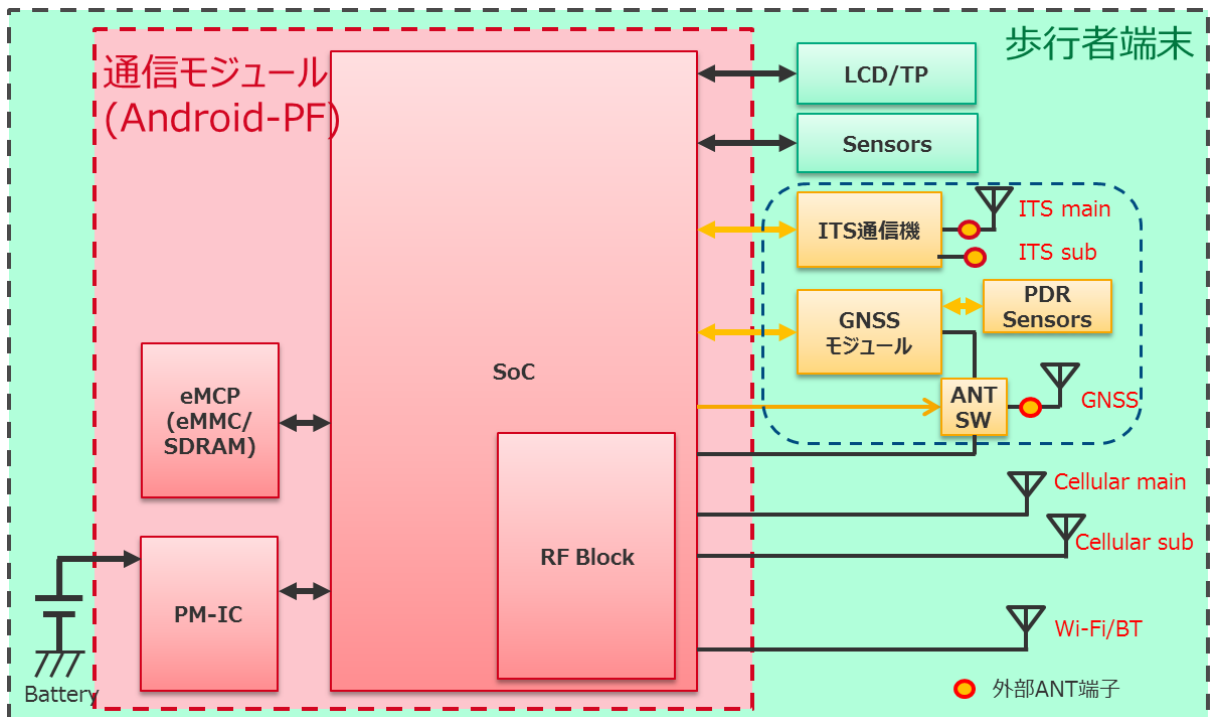


図 198 歩行者端末のハードウェア構成図

6.1.3.2 アンテナ構成

図 199 に歩行者端末のアンテナ構成図を示す。歩行者端末のアンテナ設計に際し、以下の方針で進める。

- スマートフォン内蔵の ITS アンテナは、Single アンテナ構成とする
 - ※Cellular Main/Sub、GNSS、BT/Wi-Fi、ITS アンテナとアンテナが多数存在し、スペース確保と性能両立が困難となるため
- 外部アンテナ端子を設け、内部/外部を切替られる
- 外部アンテナ時は、Diversity 構成とする
 - ※人体影響によるヌルの影響を見えにくくするため、複数アンテナにより補完する

歩行者端末に外部アンテナを構成するにあたり、端末背面部に穴を開け、ケーブルコネクタ接続により、外部アンテナへ切り替える。さらに外部アンテナ接続時に、コネクタ接続を安定させるべく、外部アンテナ変換器を設け、端末との保持を安定させる。

外部 GNSS アンテナは、アクティブアンテナへの接続を想定し、ケーブル上に DC 給電する。

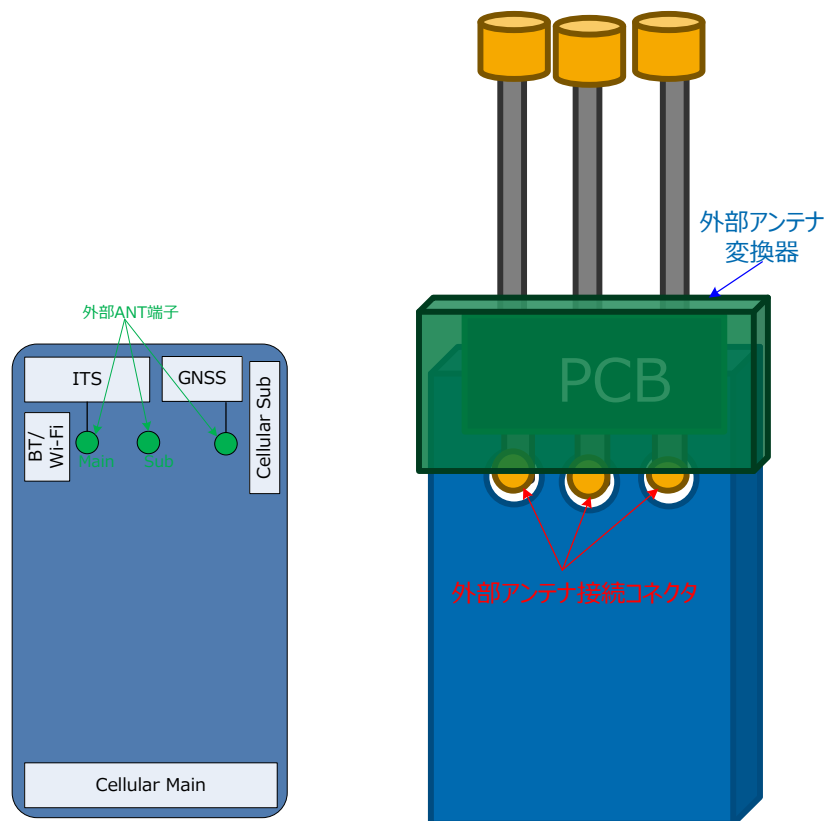


図 199 歩行者端末のアンテナ構成図

6.1.3.3 歩行者端末の機能仕様

表 63 に歩行者端末の仕様を示す。

実証実験には直接的に必要なカメラ機能は、工数および費用削減を目的として、非搭載とした。

表 63 歩行者端末の機能仕様

大項目	項目	仕様	
外形	サイズ	未定	
画面	ディスプレイ	● HD5.5 インチ	
	タッチパネル	● 静電容量式	
OS	Android	● Android5.1(将来的に OS 更新予定)	
記録媒体	メモリー(ROM/RAM)	●/● (8GB/1GB or 16GB/2GB)	
	SD カードスロット	非搭載	
	SIM カードスロット	● (サイズ未定)	
通信	セルラー	UMTS	B1/B6/B19(HSPA Cat.24/Cat.6)
		LTE	B1/B3/B19/B28B Cat.4
	WLAN	IEEE 802.11a/b/g/n (2.4GHz/5GHz)	
	位置測位	GPS,QZSS,GLONASS(PDR 対応)	
	Bluetooth	BT4.1(BLE)	
	ITS760MHz	ARIB STD T-109	
アンテナ	セルラー	内蔵アンテナ(Main/Sub)	
	Wi-Fi/Bluetooth	内蔵アンテナ(2.4G/5G 共用)	
	位置測位	内蔵アンテナ ※外付けアンテナへの切り替えオプション有	
	ITS760MHz	内蔵 Single アンテナ ※外付けアンテナへの切り替えオプション有、Diversity 対応	
センサー	加速度	●	
	方位	●	
	ジャイロ	●	
	気圧	●	
	近接	●	
	照度	●	
外部出力	スピーカー	●	
	バイブレータ	●	

	LED	●
	イヤホンジャック	●
	USB コネクタ(通信/充電)	● microUSB
	外部ディスプレイ	非対応
	外部アンテナ	●
電源	電池	● 3100mA/3.7V
	充電	● microUSB コネクタのみ (1.5A 充電)
認証	日本電波法	●
	電気通信事業法	●
	BT SIG	●
	Android	●
防水		非対応

6.1.4 歩行者端末の先行試作評価

図 200 に歩行者端末の先行試作品の外観図を示す。

表 64 に先行試作品の認証試験結果を示す。

表 65 に先行試作品の Android CTS 試験結果を示す。

先行試作品は、前記の通信モジュールを搭載し、歩行者端末に搭載予定のデバイスを組み込み、無線性能および機能の先行検証をする。

ITS 通信機および準天頂衛星対応 GNSS 受信機を搭載していないが、拡張インターフェースの板間コネクタにより、回路、機能検証ができる。

各通信システムの性能、および機能の検証を目的とした、各種認証試験（日本電波法、電気通信事業法、BT SIG）において、全ての試験項目で Pass することを確認した。

Android CTS 試験において、非搭載機能に関わる試験項目で Fail が発生したが、それ以外の項目は全て Pass することを確認した。

いずれにおいても問題ない結果が得られ、先行試作としてのハードウェア、ソフトウェア検証を完了した。

なお、搭載を予定していた ITS 通信チップの開発遅延により、本プロジェクトの方針が見直され、歩行者端末試作は保留となった。



図 200 歩行者端末の先行試作品の外観図

表 64 先行試作品の認証試験結果

項目	日本電波法	電気通信事業法	BT SIG
WCDMA B1/B5/B6	Pass	Pass	-
HSPA B1/B5/B6	Pass	Pass	-
LTE B1/B3/B19/B28	Pass	Pass	-
2.4GHz Bluetooth	Pass	Pass	Pass
2.4GHz Wi-Fi 11b/g/n 1-13CH	Pass	Pass	-
5GHz Wi-Fi 11a/n W52,W53,W56	Pass	Pass	-

表 65 先行試作品の Android CTS 試験結果

1 Fris test								
No.	Title	Result		ALL Case	Fail	Pass	Not Executed	Timed out
1	ALL			100156	149	100007	0	0
2 Second test								
No.	Title	Result		ALL Case	Fail	Pass	Not Executed	Timed out
1	149Fail			149	21	128	0	0
3 Test one by one								
No.	Title	Final Result	Count	processing method		Name for result		
1	android.admin.cts.DeviceAdminActivationTest	Pass	1	Admin permissions are not granted in settings		DeviceAdminActivationTest		
2	android.media.stress.cts.NativeMediaTest	Pass	3	Prepare multimedia resources in SD card		NativeMediaTest		
3	android.net.http.cts.ApacheHttpClientTest	Pass	1	Re link WIFI		ApacheHttpClientTest		
4	android.net.wifi.cts.WifiManagerTest	Pass	1	Re link WIFI		WifiManagerTest		
5	android.security.cts.ListeningPortsTest	Pass	1	Test again		ListeningPortsTest		
6	android.provider.cts.MediaStore.Images.MediaTest	Pass	2	Test again		MediaStore.Images.MediaTest		
7	tests.targets.security.cert.CertificateTest	Pass	1	Test again		CertificateTest		
8	android.hardware.cts.SensorTest	Pass	2	Already modified		SensorTest		
9	android.provider.cts.MediaStore.Images.ThumbnailsTest	Pass	2	Test again		MediaStore.Images.ThumbnailsTest		
10	android.security.cts.STKFrameworkTest	Pass	1	Test again		STKFrameworkTest		
11	android.telephony.cts.SmsManagerTest	Pass	1	Test again		SmsManagerTest		
12	android.provider.cts.MediaStoreIntentsTest	Pass	2	Test again		MediaStoreIntentsTest		
Final failure								
No.	Title	Result	Count	Judgement				
1	android.app.cts.SystemFeaturesTest	Fail	2	No suport	junit.framework.AssertionFailedError: Device does not have front-facing camera but reports either the FEATURE_CAMERA_FRONT or FEATURE_CAMERA_EXTERNAL feature at junit.framework.Assert.fail (Assert.java:50) -> No Front Camera so it is not supported			
2	android.net.cts.DnsTest	Fail	1	Exempt	junit.framework.AssertionFailedError: PackageManager#hasSystemFeature(android.hardware.sensor.ligh) returns true but SensorManager#getSensorList(5) shows sensors [] expected:<true> but was:<false> at junit.framework.Assert.fail (Assert.java:50)			

6.1.5 歩行者端末で想定される課題

歩行者端末試作の予測される課題を抽出し、対策案を示す。
端末試作を通して、確認できた箇所を以下に記載する。

図 201 に ITS-760MHz と LTE B28 との周波数関係を示す。
周波数が非常に近接しており、通信システム間の相互干渉が懸念される。
以下、特に影響が懸念されるものについて説明する。

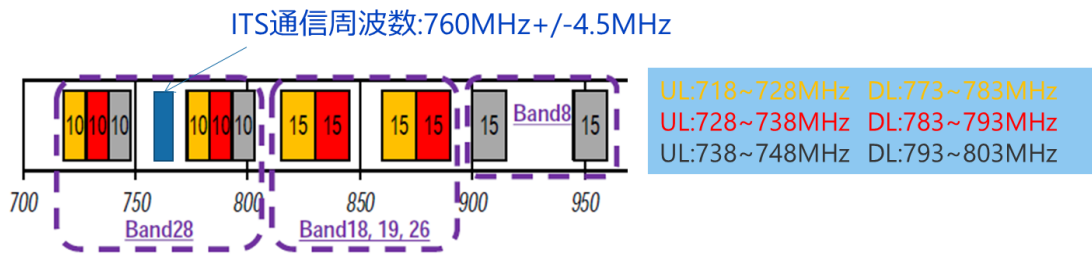


図 201 ITS-760MHz と LTE B28 との周波数関係

6.1.5.1 LTE B28 送信時の ITS 帯妨害波

LTE B28 送信時に ITS 通信機に影響を与える要因は以下である。

- LTE 送信波による ITS 受信へのブロッキング
- LTE 送信時に発生する ITS 帯スプリアス

LTE 送信波は、ITS 受信回路におけるバンドパスフィルターを介して、妨害波レベルを大きく減衰させることが可能であり、その影響を最小限に留めることができる。一方、LTE 送信時に発生する ITS 帯スプリアスは、ITS 受信信号と同一周波数のため、ITS 受信回路では対策できない。

今回、先行試作品を用い、LTE B28 送信時(+23dBm)の ITS スプリアスを測定した。

図 202 に通信モジュールの LTE B28 送信時の ITS 帯スプリアス測定結果を示す。

図 203 に ITS 帯スプリアスによる影響と対策案を示す。

LTE B28 送信チャンネルが ITS 帯域に近く、LTE 送信信号の帯域幅が広がるほど、影響が大きくなり、高いレベルのスプリアスが発生している。

仮に ITS 通信機の感度を-93dBm (QPSK、符号化率 1/2) とすると、ITS スプリアス波が 35dB 高いレベルに存在するため、特に同一端末内に、それぞれの無線機を搭載する場合、ITS 受信機における大幅な感度劣化が発生する。

現在、ITS 帯域を十分減衰させる LTE B28B 用 Duplexer が存在せず、本部品だけでさらに 35dB 減衰させることはできない。

そのため、以下の対応が必要となる。

- セルラーアンテナと ITS アンテナ間の距離を取り、アンテナ間アイソレーションを十分確保する
- B28B_Duplexer による ITS 減衰量改善およびノッチフィルタ追加（新規部品開発が必要となる）

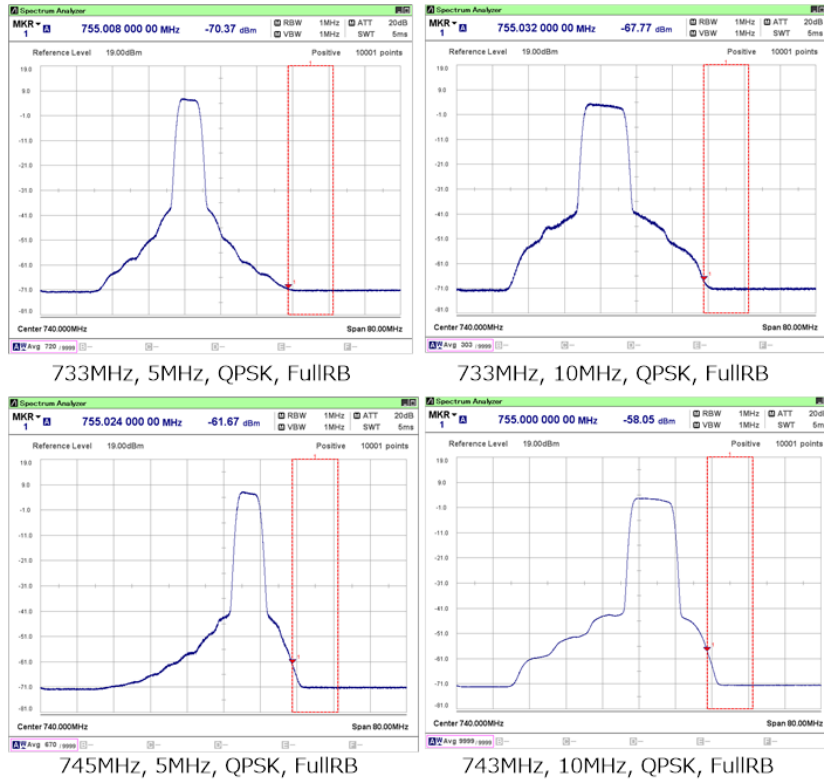


図 202 先行試作品の LTE B28 送信時の ITS 帯スプリアス測定結果

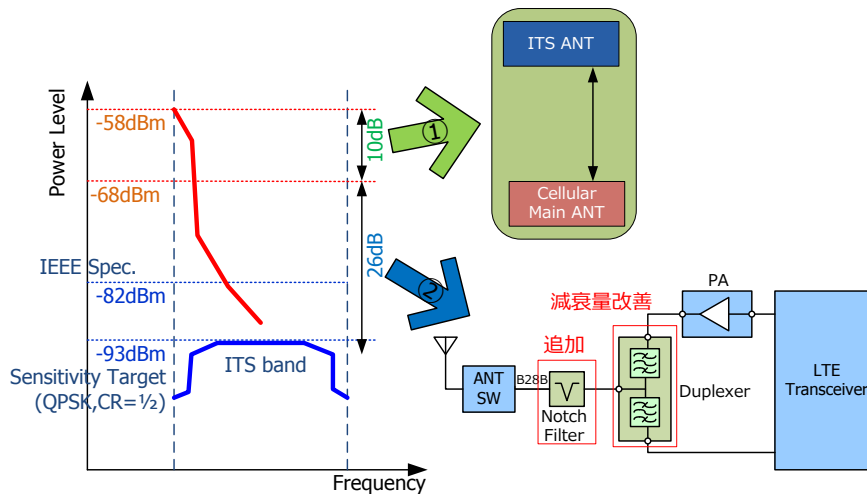


図 203 ITS 帯スプリアスによる影響とその対策案

6.1.5.2 LTE B28 送信時の相互変調

図 204 に LTE B28B 送信波と ITS 送信波による相互変調の関係を示す。

前節では、ITS 通信機への影響を説明したが、ここでは、LTE B28 無線機への影響が想定されることを記載する。

LTE B28B と ITS 帯域が等間隔で配置されているため、周波数配置に依存して 3 次相互変調成分が発生する。この 3 次歪成分は、LTE B28 受信帯域に発生するため、LTE B28B 受信機の感度劣化を引き起こす可能性がある。

ただし、ITS 通信機の送信 Duty が 0.3%以下と規定されているため、LTE 受信機側での影響は薄まるが、2つの送信波による 3 次相互変調成分であり、かつ、歩行者端末内の非線形素子（半導体）から容易に発生するため、デバイス入力部のフィルタ設計、シールド設計に注意が必要である。

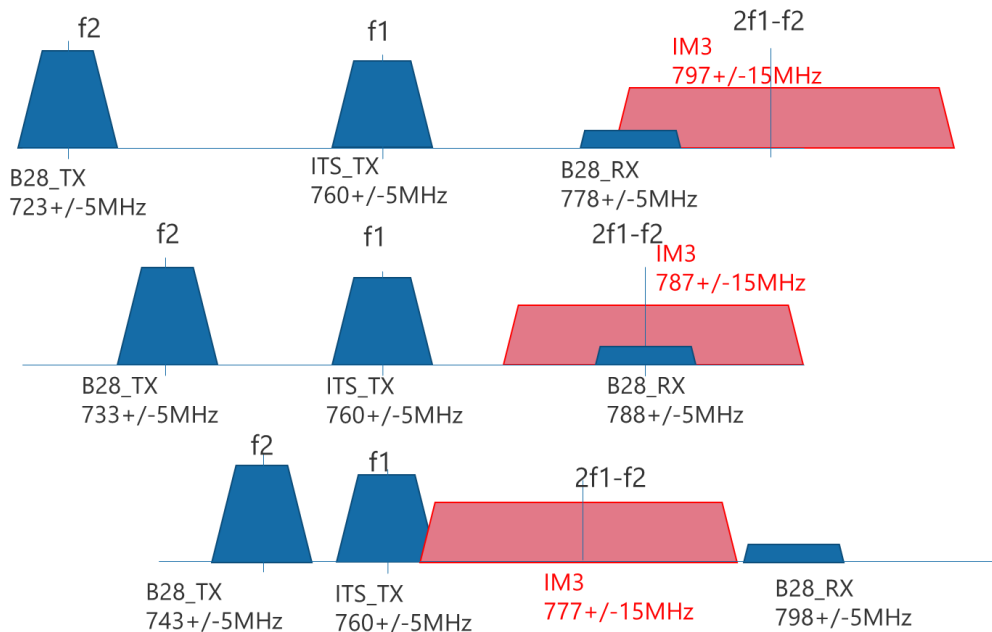


図 204 LTE B28B 送信波と ITS 送信波による相互変調の関係

6.1.5.3 LTE B28 について

LTE B28 は、FPU（Field Pickup Unit：報道・スポーツ中継など放送事業で使用されるシステム）および特定ラジオマイク（コンサートホールやスタジオ等で使用される無線マイク）の周波数移行が前提のため、現時点十分な設置数ではない。ただし、各キャリアが 10MHz ずつ分け合っていること、伝搬ロスが少ないプラチナバンドであること、さらに LTE グロ

ーバルバンドになっていることから、平成 31 年 3 月 31 日までの周波数再編完了後には、その拡大が予測されるバンドであり、その動向を注視する必要がある。

6.2 3 端末構成での実現性検討

6.2.1 背景

6.1.4 で説明したように、ITS 通信チップの開発遅延に伴い、一体型歩行者端末の試作は保留となった。また、過去に使用してきた ITS 通信端末および GNSS 受信機は、その部材の EOL により、実証実験に使用する必要台数が確保できない。

今回、ITS 通信端末および GNSS 受信機の仕様を含めて、システム全体を見直した。

6.2.2 システム構成検討

6.2.2.1 設計方針

端末構成見直しに伴い、以下の方針を進めることとする。

- 3 端末構成をベースとして、使用者が取り扱い易いように改善を図る
- 複数端末構成となり、各端末保持が安定されないため、ITS および GNSS は、外部アンテナを前提とする

6.2.2.2 システム構成図

図 205 に 3 端末構成システム構成図を示す。

従来の 3 端末構成と比較して、以下を改善した。

- リュックサック内に端末を収納し、端末の携行性を改善した
- リュックサックに外部アンテナを設置し、被験者が背負うことにより、必要な通信方向へのアンテナ特性を確保する
- 従来、各端末を別々に充電する必要があったが、760MHz ITS 通信端末と GNSS 測位端末の給電を、大容量モバイルバッテリーに一元化して、満充電からの使用時間を大幅に改善し、1 回の充電で済むようにした

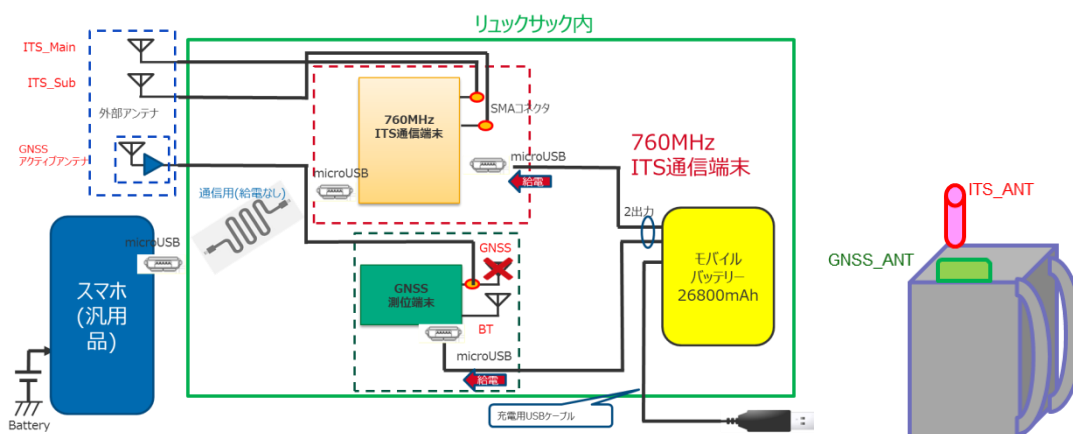


図 205 3 端末構成システム構成図

6.2.3 700MHz 帯車車間通信対応通信機受入確認

6.2.3.1 受入確認について

受入確認は、表 66 記載の各項目について行う。

通信時の動作については、付属の相互接続試験アプリケーションにより確認する。

表 66 受入確認項目一覧

	確認項目	備考
基本機能	電源 SW 動作	LED 含む
	通信用 MicroUSB 接続	
	充電用 MicroUSB 充電	LED 含む
	アンテナ切替 SW 動作	
	内部アンテナ	
	外部アンテナ	
	モード切替	通常⇔メンテナンス
通常モード	送受信動作確認	LED 含む
メンテナンスモード	無変調送信	
	バースト送信	

6.2.3.2 受入確認環境と受入端末

受入確認における、基本機能、通常モードの送受信動作の確認は、図 206 に示す構成で確認する。

確認する通信機 5 台の個体識別番号と、送受信動作確認時の組合せは表 67 に示す。

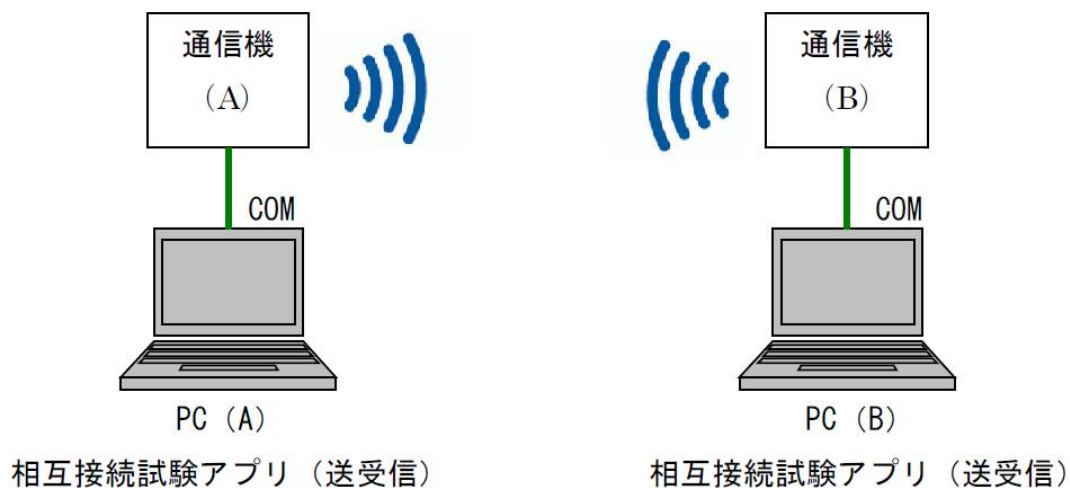


図 206 試験系構成図

表 67 受入確認端末組合せ

No.	通信機(A) 管理番号(製造番号)	通信機(B) 管理番号(製造番号)	備考
1	ITS700-001 (ES000017)	ITS700-002 (ES000019)	
2	ITS700-003(ES000018)	ITS700-004 (ES000020)	
3	ITS700-003 (ES000018)	ITS700-005 (ES000016)	通信機器(A)は、No.2 と重複

6.2.3.3 受入確認結果

受入確認結果を表 68 に示す。

本確認結果により、基本機能、通常モードは問題なく動作すると判断できる。

表 68 受入確認結果

項目	ITS700-001	ITS700-002	ITS700-003	ITS700-004	ITS700-005	備考
基本機能						
1 電源 SW 動作	OK	OK	OK	OK	OK	LED 含む
2 通信用 MicroUSB 接続	OK	OK	OK	OK	OK	
3 充電用 MicroUSB 充電	OK	OK	OK	OK	OK	LED 含む
4 アンテナ切替 SW 動作	OK	OK	OK	OK	OK	
5 内部アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	
6 外部アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	
7 モード切替	OK	OK	OK	OK	OK	通常⇔メンテナ ンス
通常モード						
8 送受信動作確認	OK	OK	OK	OK	OK	LED 含む
メンテナンスモード						
9 無変調送信	OK	OK	OK	OK	OK	
10 バースト送信	OK	OK	OK	OK	OK	

7 車載用アプリケーションの試作

7.1 ナビゲーションアプリケーションへの安全支援機能追加

7.1.1 目的

本開発の歩車間通信システムの、実環境での効果測定のため、今後、大規模実証実験の実施が予定されている。

実施においては、ユーザーの使用を前提とした効果検証が必要となる。

そこで、車載側の通知手段として、実際にユーザーに普及している、カーナビゲーションシステムを連携させる。

カーナビゲーションシステムの表示画面に、歩行者の位置情報、および危険通知を追加する。

7.1.2 実現方法

開発するソフトウェアの構成図を以下に示す。

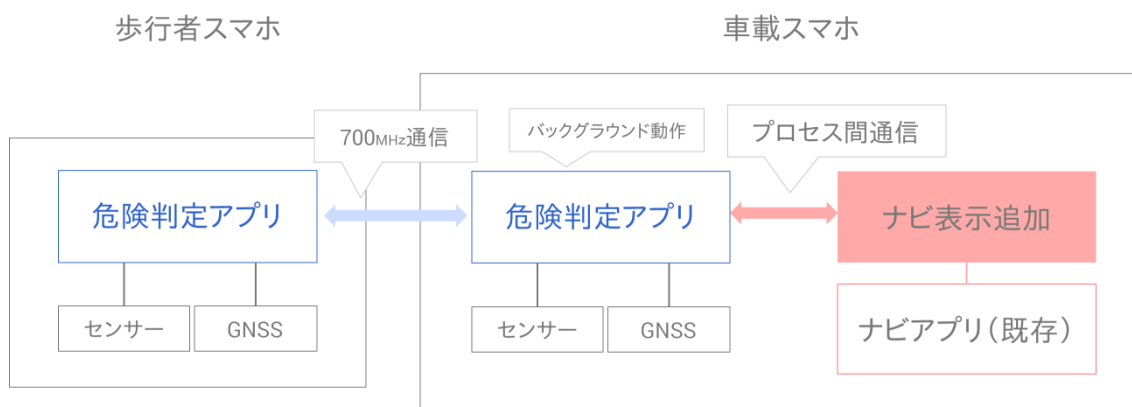


図 207 ナビゲーションソフトウェア構成図

市販の Android 用のナビゲーションアプリケーションに、歩行者の位置情報表示と、危険通知を組み込む。

アプリケーション間のメッセージは、Intent 機能を使用する。

危険判定が実施される周期（1 秒）ごとに、歩行者の所在情報を、危険判定アプリケーションからナビゲーションアプリケーションに送信する。

受信したナビゲーションアプリケーションは、それぞれの位置情報を、地図の表示領域と縮尺に合わせて、歩行者のアイコンを表示する。

情報提供、注意喚起、警告の危険通知は、危険判定アプリケーションで発生後、即座にナビゲーションアプリケーションに送信する。

受信したナビゲーションアプリケーションの画面上に、リアルタイムに直接通信した情報が表示される。

ナビゲーションの案内より、危険通知の画面と音声案内を優先してユーザーに伝える。

7.1.3 結果

ナビゲーションアプリケーションの基本検証結果を示す。

ナビゲーション表示したときの、存在通知、情報提供、注意喚起、警報の順に、実際の出力結果画面を示す。

歩行者の位置情報が、地図上に正しくマッピングされている。

危険通知について、想定の色区分で、ナビゲーションより優先した表示と、消滅を確認できた。

正しく表示がされ、バイブ、音も鼓動した。

ナビの出力音声は縮小され、警告音が優先されて鳴ることが確認できた。

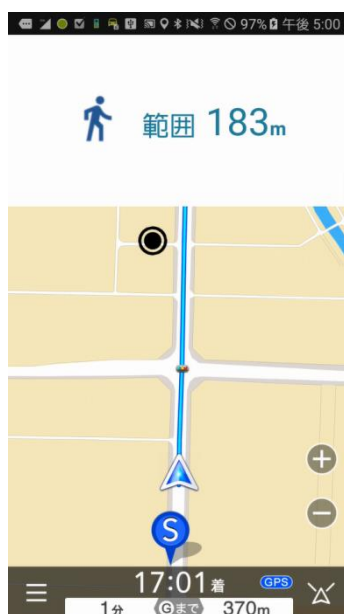


図 208 ナビゲーション画面の存在通知

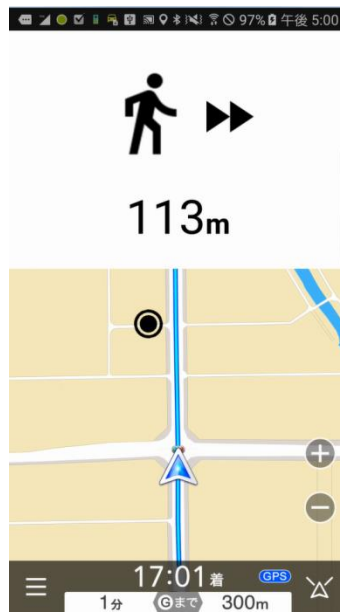


図 209 ナビゲーション画面の情報提供

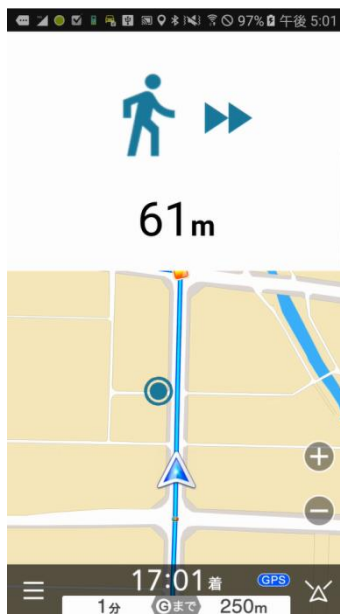


図 210 ナビゲーション画面の注意喚起

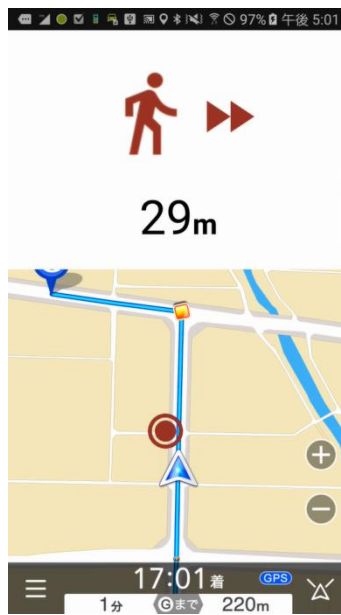


図 211 ナビゲーション画面の警報

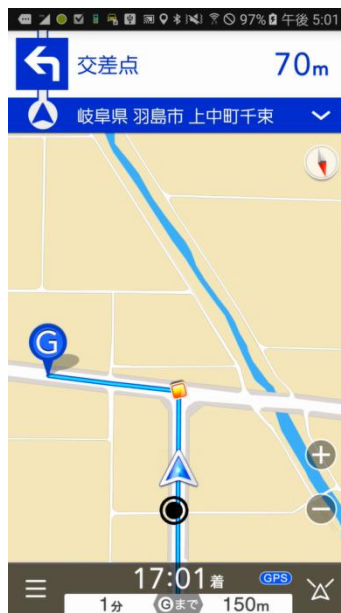


図 212 ナビゲーション画面の通常表示（通り過ぎた後）

7.1.4 考察

一般的なカーナビゲーションシステムに組み込む方法について、実現性を確認できた。現在ユーザーが使用しているものを拡張するため、親和性が高く、普及に向けたシステム価値をイメージしやすい。そのため、ユーザーに抵抗なく、歩車間通信システムを使用してもらえらる利点がある。

多数の歩行者表示が可能であるが、実運用では、重要な情報を選択し、ユーザーにどのように知らせるかが重要である。

今後の実証実験において、車載の実運用を見据えた効果測定に活用が期待できる。

7.2 大規模実証用アプリケーション試作

7.2.1 サーバー連携

7.2.1.1 目的

大規模実証実験に移行すると、一区間に 300 台程度のように、実施端末台数が増える。そのため、端末ごとに試験ログを記録すると、試験結果の集計の手間が膨大になり、分析が困難になる。

そこで、ネットワーク回線を経由し、ログ情報の収集を自動化する仕組みを導入する。

それにより、すぐに試験実施状況の把握ができる。

抽出したデータを加工し、グラフィカルに表示することで、視認性を向上させる。

7.2.1.2 実現方法

歩行者の各端末のアプリケーションで、位置情報や、センサー情報などの状態ログを取得し、記録する。

セルラー網により、一定周期で取得したログを、サーバーに送信する。

サーバーのアプリケーションでログを受信し、データベースに記録する。

蓄積した情報（経路、速度、方位、各種センサー、衝突判定結果、携行状態など）をブラウザ上に表示し、視覚的に試験状況を把握できる。

ブラウザ上は、地図上に経路、遷移グラフ、統計情報、一覧の 4 種類を表示する。

端末本体をケーブル接続することなく、試験実施期間中に、試験の実施状況を確認できる。

サーバーには Basic 認証とユーザー認証をかけ、セキュリティを確保する。

7.2.1.3 結果

出力の一例を以下に示す。

車両直進に対し、歩行者が横断する試験である、「課題抽出試験 単路（安全支援が必要なケース）」の結果を表示した。

端末からログを受信し、地図上に情報を表示できている。



歩行者NO : gifu_ped_001 2017年02月02日 @15:44

歩行者NO : gifu_ped_001

リスト表示

ユーザー名	ログID	ログ種別	自端末ログデータ数	実施時間	危険度判定数
gifu_ped_001	20170202154440	歩進未	1	00:00:46	13

理想ルート入力

© 2017 Panasonic Corporation

図 213 カードレイアウト画面



歩行者NO : gifu_ped_001 2017年02月02日 @15:44

All selected (4) 理想ルート エクスポート

未選択 未選択 未選択

高度, 速度, 方位

© 2017 Panasonic Corporation

図 214 マップ表示画面

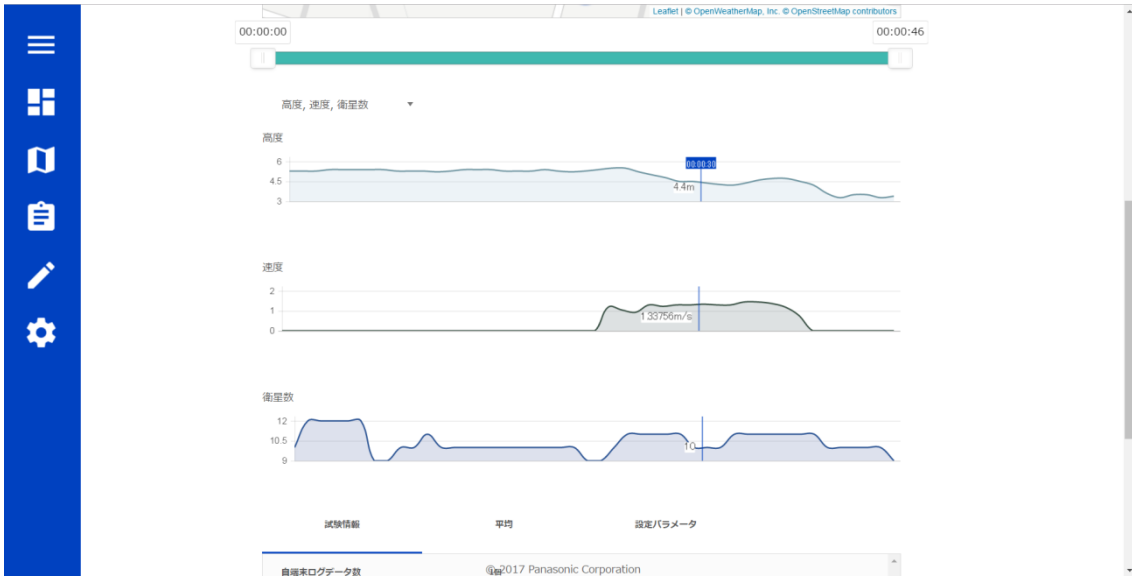


図 215 グラフ表示画面



図 216 パラメータ表示画面



図 217 理想ルート入力画面



図 218 設定画面

また、地図画面において、対向側の車両を同時に表示し、地図の種類を衛星写真に変えたものを以下に示す。



図 219 対向車および衛星写真モード画面

7.2.1.4 考察

試験状況の確認が感覚的にでき、取得精度の確認が可能となった。

データベースの内容はブラウザで表示しているため、表示形式は容易に拡張と変更ができる。

例えば、比較するために、地図上に理想のルートを手書きで追加できる機能と、誤差の概算のために、2地点間の距離を測定する機能を、今回追加している。

今後の実フィールド試験において、データの即時集計と、実施状況の把握による確実な実施が期待できる。

7.2.2 ウェアラブル機器連携

7.2.2.1 目的

製品として見込まれているハードウェアに、スマートフォン型がある。
しかし、スマートフォン型では、バックや、ポケットに入れて持ち歩くなど、携行されている状態が多様であり、通知に気づかない状況が発生する。
手に持っている場合でも、画面を見て危険通知を受ける状況は、いわゆる歩きスマホになり、歩行の危険性自体が増してしまう。
また、正確な衛星測位には、電波を受信するアンテナの向きが精度に影響する。
上向きが最適であるが、スマートフォンの格納状態によっては、取得アンテナの位置と向きが不適切となり、正しい測位ができない恐れがある。
そこで、腕時計型のデバイスに通知を組み込むことで、携行状態を固定し、わかりやすく安全な通知方法として活用する。

7.2.2.2 実現方法

測位機能と通知機能を腕時計型のスマートウォッチに実装する。
実現性の観点から、既存のスマートフォン部分はそのまま流用する。
Android スマートフォンと、Android スマートウォッチを、Bluetooth で無線接続し、連携する。
測位は、測位端末と、スマートウォッチの測位のどちらを使うかを切り替えられるようにし、効果を確認する。
スマートフォンに表示していた通知を、スマートウォッチ上に表示して危険を通知する。
さらに気づきやすくするため、通知の際には、スマートウォッチのバイブレーションを駆動させる。
通知とは別に、画面上に簡易の地図表示に対応し、表示の最適化の検証を可能にする。



図 220 ウェアラブルソフトウェア構成図

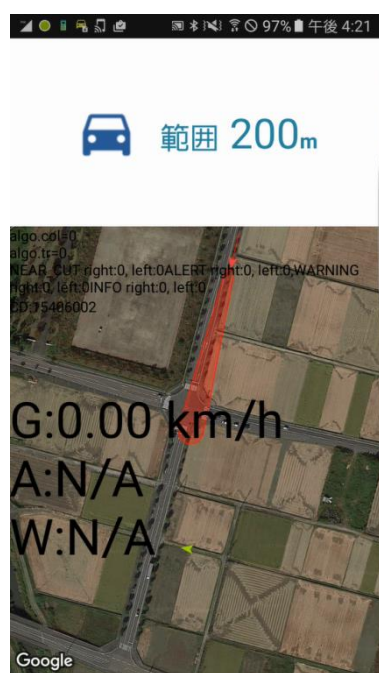
7.2.2.3 結果

ウェアラブル表示したときの、存在通知、情報提供、注意喚起、警報の順に、出力結果画面を示す。

スマートフォンの画面表示を比較のために記載している。

(厳密に同じタイミングではなく、近いタイミングでのキャプチャ画面のため、ほぼ同じ時間の表示である)

スマートウォッチ上に、歩車間通信の通知を表示できた。



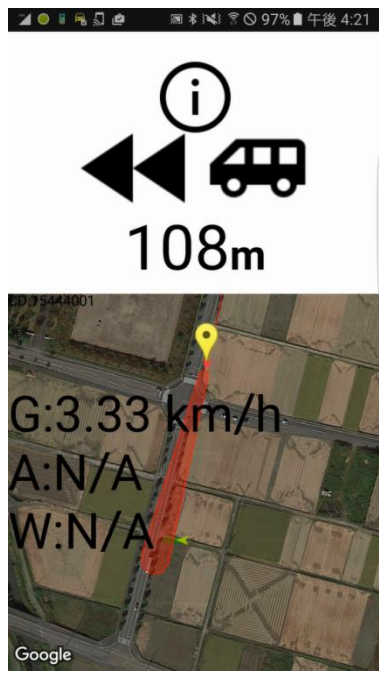
スマートフォン表示



地図表示

通知表示

図 221 存在通知のウェアラブル表示



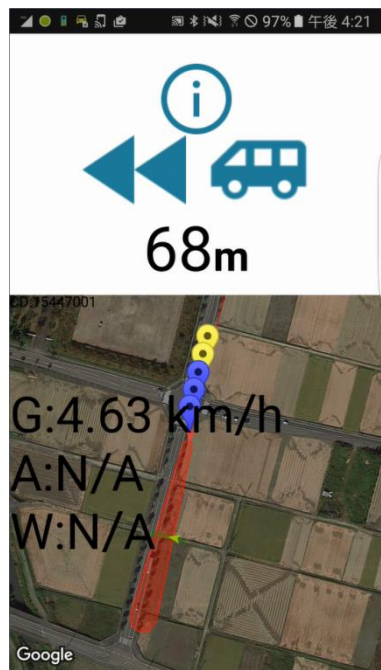
スマートフォン表示



地図表示

通知表示

図 222 情報提供のウェアラブル表示



スマートフォン表示



地図表示

通知表示

図 223 注意喚起のウェアラブル表示

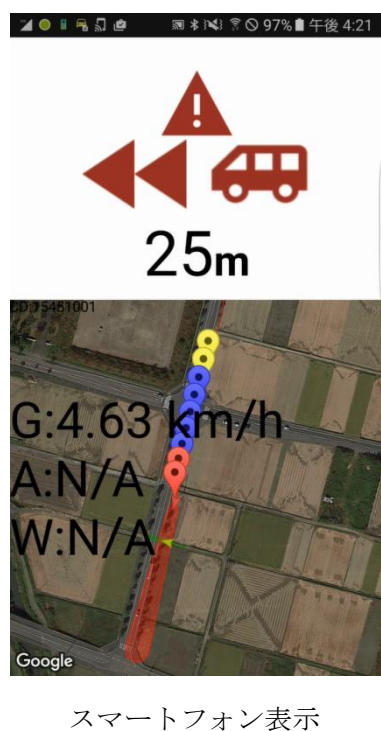


図 224 警報のウェアラブル表示

7.2.2.4 考察

ウェアラブル型のため、測位アンテナの位置が常に腕に固定されることになり、利用シーンの幅が狭められ、安定した測位を得られた。

表示についても、都度スマートフォンの画面を確認せずに、バイブレーションによる認知が可能であった。

今回は、一例として腕時計型を採用したが、Bluetooth 標準規格に対応した様々なデバイスに展開できる。

今後は、ユーザーインターフェースの向上に、認知的な効果確認が期待される。