

ICTを活用した次世代ITSの確立

II 歩車間通信技術の開発

(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

平成27年度研究成果報告書

平成28年3月

パナソニック株式会社

目次

1.	はじめに.....	8
2.	研究開発目的及び目標.....	9
3.	研究開発体制.....	11
4.	研究成果の要約.....	12
4.1.	年次目標.....	12
4.2.	成果概要.....	12
5.	研究実施計画.....	13
6.	研究成果詳細.....	16
6.1.	歩行者端末システム.....	16
6.1.1.	GNSS 測位専用端末.....	16
6.1.2.	スマートフォン.....	18
6.1.3.	危険回避アプリケーション.....	18
6.2.	準天頂衛星測位性能検証.....	20
6.2.1.	評価項目.....	20
6.2.2.	実施形態.....	20
6.2.3.	評価実施場所.....	21
6.2.4.	評価シナリオと評価結果.....	21
6.2.5.	まとめと今後の技術課題.....	34
6.3.	危険回避アプリケーション性能検証.....	35
6.3.1.	評価項目.....	35
6.3.2.	実施形態.....	38
6.3.3.	評価実施場所.....	39
6.3.4.	評価シナリオと評価結果.....	41
6.3.5.	まとめと今後の技術課題.....	53
7.	研究発表などの成果.....	59
8.	その他研究活動.....	61
8.1.	研究開発運営委員会.....	61
8.2.	ビジネスプロデューサによる動向調査.....	63
9.	危険判定アプリケーション仕様.....	63
9.1.	危険判定アプリケーションのシステム構造設計.....	63
9.2.	ソフトウェア構成と機能概要.....	65
9.2.1.	ソフトウェア構成.....	65
9.2.2.	700MHz 帯通信端末との通信.....	66
9.2.3.	機能概要.....	67
9.2.4.	歩車間通信制御ブロック.....	71
9.2.5.	危険判定ブロック.....	74
9.2.6.	地図描画機能.....	76

9.3.	画面仕様	82
9.4.	緯度経度の座標変換	83
9.5.	位置情報の選択と設定	83
9.5.1.	位置情報のソースの選択設定	83
9.5.2.	速度閾値以下の方位の固定設定	83
9.6.	衝突判定アルゴリズム	84
9.6.1.	イメージ	84
9.6.2.	前提条件	85
9.6.3.	検出手段	85
9.6.4.	検出アルゴリズム	86
9.7.	交差点判定アルゴリズム	92
9.7.1.	イメージ	92
9.7.2.	前提条件	92
9.7.3.	注意喚起方法	93
9.7.4.	データについて	97
9.8.	歩道橋判定アルゴリズム	98
9.8.1.	イメージ	98
9.8.2.	前提条件	99
9.8.3.	判定式	99
9.8.4.	データについて	101
9.9.	飛び出し判定アルゴリズム	102
9.9.1.	イメージ	102
9.9.2.	検出する動き	102
9.9.3.	検出手段	103
9.10.	危険地帯判定アルゴリズム	111
9.10.1.	イメージ	111
9.10.2.	前提条件	111
9.10.3.	データについて	113
9.11.	ログ出力フォーマット	115
9.11.1.	GNSS 受信機器情報	115
9.11.2.	700MHz 帯通信端末間通信データ	117
9.11.3.	GNSS 専用端末通信コマンド	119
9.11.4.	危険判定情報	120
9.11.5.	自端末位置情報	122
10.1.	危険判定実験データ	123
10.1.1.	単路横断（車両と同車線側からの横断：歩行者が左から右へ横断）	123
10.1.2.	交差点右折（歩行者が前方から横断）	124
10.1.3.	飛び出し（急な向きの変更）	124
11.	参考文献	127

図表目次

表 4.1-1	研究開発の範囲	9
表 4.2-1	成果概要	12
表 6.1-1	GNSS 測位専用端末諸元	16
表 6.1-2	危険回避アプリケーション 機能一覧	18
表 6.2-1	今後の技術課題	34
表 6.3-1	国土交通省受託者が定めた 6 場面への対応	37
表 6.3-2	子供の飛び出し、不要支援場面への対応	38
表 6.3-3	高齢者の単路横断評価結果(事前評価)	43
表 6.3-4	高齢者の単路横断評価結果(実証実験評価)	44
表 6.3-5	道路際で停止後、横断	44
表 6.3-6	交差点での右折時 評価結果(事前評価)	48
表 6.3-7	交差点での右折時 評価結果(実証実験評価)	48
表 6.3-8	単路での飛び出し(急な飛び出し)評価結果(事前評価)	50
表 6.3-9	歩道橋上横断 評価結果(事前評価)	52
表 6.3-10	今後の技術課題 (本年度抽出分)	53
表 6.3-11	今後の技術課題(これまでに抽出分)	56
表 7-1	研究成果一覧	60
表 8-1	【第一回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応	61
表 8-2	【第二回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応	62
表 8-3	【第三回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応	62
表 9-1	コマンド一覧	66
表 9-2	通信制御ブロック	71
表 9-3	ブロードキャスト Intent 名一覧	76
表 9-4	表示一覧	77
表 9-5	モード名一覧	83
表 9-6	パラメータ定義	84
表 9-7	衝突判定イメージ	84
表 9-8	衝突判定イメージ	92
表 9-9	交差点データのファイル定義パラメーター一覧	97
表 9-10	歩道橋判定イメージ	98
表 9-11	飛び出し判定イメージ	102
表 9-12	センサー一覧	104
表 9-13	危険地帯判定イメージ	111
表 9-14	危険地帯データのファイル定義パラメーター一覧	114
表 9-15	GNSS 受信機器情報	115
表 9-16	700MHz 帯通信端末間通信データ	117

表 9-17	G N S S 専用端末通信コマンド	119
表 9-18	危険判定情報	120
表 9-19	自端末位置情報	122
表 9-20	高齢者の単路横断評価結果(車両と同車線側からの横断) (事前評価)	123
表 9-21	交差点での右折時 評価結果(実証実験評価)(歩行者が前方から横断)	124
表 10.1-22	単路での飛び出し(急な向きの変更)評価結果(事前評価)	126

図 4.1-1	交通事故死者数に関する参考データ	8
図 4.1-1	歩行者端末システム	10
図 4.1-1	3 ヶ年計画	12
図 4.2-1	本研究開発における成果目標イメージ	13
図 6.1-1	準天頂衛星対応 GNSS 測位専用端末	17
図 6.1-2	危険回避アプリケーション ユーザインタフェース画面例.....	19
図 6.2-1	新宿高層ビル街	20
図 6.2-2	歩行経路	21
図 6.2-3	帽子上の歩行軌跡 (対策無し)	22
図 6.2-4	試験開始地点 A での衛星配置	22
図 6.2-5	水平誤差発生頻度と累積値 (対策無し)	22
図 6.2-6	帽子上の歩行軌跡 (対策有り)	23
図 6.2-7	試験開始地点 A での衛星配置	23
図 6.2-8	水平誤差発生頻度と累積値 (対策有り)	23
図 6.2-9	平均 C/N、水平誤差、使用衛星数.....	24
図 6.2-10	場所 1 での衛星状況	25
図 6.2-11	場所 1 での西側から見た建物との関係	26
図 6.2-12	場所 2 での衛星状況	27
図 6.2-13	帽子上、胸ポケット内の歩行軌跡 (対策無し)	28
図 6.2-14	試験開始地点 A での衛星配置.....	28
図 6.2-15	帽子上、胸ポケット内の水平誤差発生頻度と累積値 (対策無し)	29
図 6.2-16	帽子上、胸ポケット内平均 C/N、水平誤差、使用衛星数 (対策無し)	30
図 6.2-17	胸ポケットの歩行軌跡 (対策有り) [受信 C/N < 25dB を除外]	31
図 6.2-18	胸ポケットの歩行軌跡 (対策有り) [受信 C/N < 30dB を除外]	31
図 6.2-19	水平誤差発生頻度と累積値 (対策有り) [受信 C/N < 25dB を除外]	32
図 6.2-20	水平誤差発生頻度と累積値 (対策有り) [受信 C/N < 30dB を除外]	32
図 6.2-21	平均 C/N、水平誤差、使用衛星数[受信 C/N < 25dB を除外].....	33
図 6.2-22	平均 C/N、水平誤差、使用衛星数[受信 C/N < 30dB を除外].....	33
図 6.3-1	高齢者の単路横断	35
図 6.3-2	交差点右折	36

図 6.3-3	実施形態(自転車での事前評価).....	38
図 6.3-4	実施形態(車両を使った実証実験：歩端末).....	39
図 6.3-5	実施形態(車両を使った実証実験：車載端末).....	39
図 6.3-6	事前評価の評価実施場所(単路/交差点).....	40
図 6.3-7	実証実験での評価実施場所(単路/交差点).....	40
図 6.3-8	評価実施場所(不要支援：歩道橋).....	41
図 6.3-9	高齢者の単路横断シナリオ	42
図 6.3-10	自転車を使った単路横断実験	42
図 6.3-11	実車を使った単路横断実験	42
図 6.3-12	衝突判定アルゴリズム概要	43
図 6.3-13	交差点 右折時シナリオ	46
図 6.3-14	自転車を使った交差点での右折時横断実験.....	47
図 6.3-15	実車を使った交差点での右折時横断実験	47
図 6.3-16	右折時の判定アルゴリズム概要	47
図 6.3-17	単路飛び出しシナリオ(急な飛び出し).....	49
図 6.3-18	歩道橋上横断のシナリオ	51
図 6.3-19	51
図 6.3-20	歩道橋上判定アルゴリズム	52
図 8.2-1	ビジネスプロデューサ調査報告 3カ年計画.....	63
図 9.1-1	地図表示画面	64
図 9.2-1	危険判定アプリケーションソフトウェア構成.....	65
図 9.2-2	通信シーケンス	67
図 9.2-3	機能ブロックの構成	68
図 9.2-4	位置情報のデータフロー	69
図 9.2-5	通常の通信手段	70
図 9.2-6	デバック用の通信手段	70
図 9.2-7	歩車間制御ブロックの状態遷移図	72
図 9.2-8	700MHz 通信圏内外アイコン表示機能	73
図 9.2-9	軌跡、矢印、丸印、アイコン表示フロー	79
図 9.2-10	描画例	80
図 9.2-11	安全地帯ラベル表示	81
図 9.3-1	画面仕様	82
図 9.6-1	方位誤差を加味した位置予測	87
図 9.6-2	方位誤差 $M=\pm 10$ 度の際の予測図	88
図 9.6-3	現在時刻～未来時刻 $t=5+(3+T)$ までの台形描画.....	91
図 9.7-1	右折シーン	95
図 9.7-2	車の方向ベクトルと V_{cr} の判定範囲(DOT1).....	96
図 9.7-3	V_{crc} と V_{cw} の判定範囲(DOT2)	96

図 9.7-4 歩行者の方向ベクトルと V_{cw} の判定範囲(DOT3, DOT4).....	97
図 9.8-1 歩道橋の範囲円および高さ基準に使用する範囲.....	101
図 9.9-1 検出する飛び出しの動き	103
図 9.9-2 報告時刻	105
図 9.9-3 サンプリング	105
図 9.10-1 危険地帯の範囲円	113
図 9-2 高齢者の単路横断シナリオ(車両と同車線側からの横断).....	123
図 9-3 交差点 右折時シナリオ(歩行者が前方から横断).....	124
図 10.1-4 単路飛び出しシナリオ(急な向きの変更).....	125

1. はじめに

自動走行システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減という効果が期待され、特に超高齢化社会を迎える中、世界一安全な道路交通社会を目指す我が国にとって、関連技術の開発やその普及に向けた環境整備は極めて重要である。自動走行システムを実現するためには、従来の自動車単体での運転支援技術（自律型）の更なる高度化に加え、車と車、インフラ、歩行者等をつなぐ高度な無線通信技術を活用した運転支援技術（協調型）の早期実用化が不可欠である。

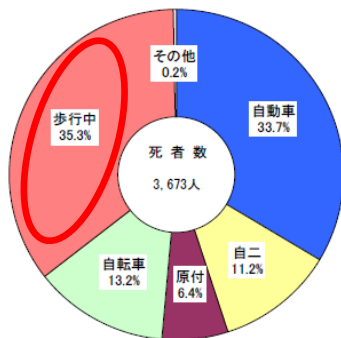
平成 25 年に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」において、「車の自律系システムと車と車、道路と車との情報交換等を組み合わせ、2020 年代中には自動走行システムの試用を開始する。これらの取組などにより、2018 年を目途に交通事故死者数を 2,500 人以下とし、2020 年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現する（交通事故死者数が人口比で世界一少ない割合になることを目指す）」とされている。この国家目標を実現するために、内閣府における SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）が創設された。本研究開発は、SIP・自動走行システムに係わる研究開発の一部として実施されるものである。

一方、交通事故の現状について、2014 年の交通事故統計によると、交通事故死者数 3673 名（2014 年 11 月末時点）の内、歩行中、及び、自転車乗車中の死者の割合が 48.5%と高く、交通事故死者数削減に向けては、特に 35%を占める歩行者への対策が必須である。また、歩行中の死者数の内、65 歳以上の高齢者の割合が 70%以上であり、高齢者への対策が重要である。

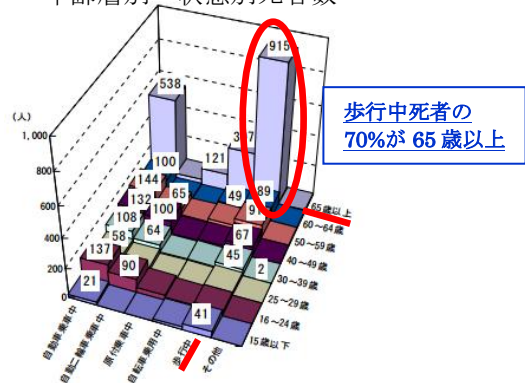
図 4.1-1 に交通事故死者数に関する参考データを示す。

以上のような背景から、本研究開発においては、歩行者をターゲットとし、歩行者等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等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。

状態別死者数（構成率%）



年齢層別・状態別死者数



出典：「2014 交通事故統計」（警察庁）
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001128424>

平成 26 年 11 月末時点

図 4.1-1 交通事故死者数に関する参考データ

2. 研究開発目的及び目標

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。

本研究外である技術課題のア) 歩車間通信の要求条件の検討の研究開発と連携する形で、上記課題イ、及び、技術課題ウ) 歩車間通信の通信プロトコルの開発、エ) 実環境における実証及び課題の抽出の研究開発を行い、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、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おける要求条件を達成する歩車間通信システムを実現する。

以上より、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（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）に向けて、歩行者やドライバーに対して適切な状況・タイミングで注意喚起を行える直接通信型の歩車間通信システムを小型・省電力にて実現し、歩行者事故削減に貢献することを目標とする。

表 4.1-1 に本研究開発の範囲について示す。

表 4.1-1 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)	パナソニック	
			通信プロトコル (車車間通信・路車間通信との互換性確保)
			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		

次に、技術課題解決のため開発を行う、直接通信型歩車間通信システムについて、本研究開発では原理・方式の開発と実証を主目的とし、以下の A、B、C の 3 端末(以降、これら 3 端末をまとめて歩行者端末システムと称す)で本通信システムを構成する。本研究外である技術課題のウ、エの開発において A の端末を開発し、本研究開発でウ、エの研究開発と連携する形で、B、C の 2 つの端末を開発する。図 4.1-1 に本研究開発における歩行者端末システムを示す。

- A) 歩行者・自転車端末 (以降、700MHz 帯通信端末と称す) : 700MHz 帯安全運転支援通信システム (以降、700MHz 帯通信と称す) に対応した歩行者・自転車用端末
- B) GNSS 測位専用端末 : 準天頂衛星システム (QZSS : Quasi Zenith Satellite System) を含む GNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球航法衛星システム) 信号受信に加えて、準天頂衛星が放送する L1-SAIF (SAIF : Submeter-class Augmentation with Integrity Function) 補強信号受信、及び、これを利用した位置補正機能を有する測位専用端末
- C) スマートフォン : 700MHz 帯通信端末と GNSS 測位専用端末の情報のハブ役となる端末であり、本端末上に、歩行者自律航法 (PDR : Pedestrian Dead Reckoning) ・マップマッチング技術 (地図情報との比較による補正) を用いた高精度測位アプリケーションや、危険回避アプリケーションを実装する。

以下、技術課題のイについて、目標の概要を示す。

歩行者・自転車等は、車道に加えて、歩道や歩道橋、公園など移動可能エリアが広く、また、急な飛び出しや方向転換など行動予測が難しいため、自動車との事故低減のために歩行者・自転車の正確な位置情報を把握し、自動車へ伝えることが重要と考えられる。しかしながら、従来の GPS 等をベースにした位置計測技術では事故低減のための位置精度が不十分であり、より高い位置精度が求められるため、準天頂衛星の利用や、歩行者自律航法、マップマッチングを複合的に組み合わせる方法を考案・検討し、試作評価することを目標とする。



図 4.1-1 歩行者端末システム

3. 研究開発体制

(1) イ) 高度位置精度技術の開発に関わる研究開発体制を以下に示す。

代表研究責任者：青山 恭弘（パナソニック株式会社）

(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

・担当 パナソニック株式会社

研究リーダー：大久保 義行

(パナソニック株式会社)

研究者：今泉 賢、相原 弘一、白崎 良昌、

上野 剛、村松 慎太郎、野村篤志、藤本仁

(パナソニック株式会社)

・使用する主な研究機器

(リース) GPS 測量システム、Bluetooth プロトコルアナライザ

(購入設備) 実験用 GNSS 受信モジュール式、

比較用 QZSS 受信機

(既存設備) GNSS 再放射系実験設備、シールドルーム

4. 研究成果の要約

4.1. 年次目標

歩行者の正確な位置測定、及び、歩行者への適正な危険通知アラーム発動の実現を3ヵ年の目的とし、以下の年次目標を設定する。

＜平成26年度＞	＜平成27年度＞	＜平成28年度＞
『準天頂衛星受信機能の開発』 ■ 準天頂衛星による測位精度、消費電力等に関する性能検証 ・GNSS測位専用端末開発 ・位置情報取得アプリ開発 ・準天頂衛星測位性能検証 ・700MHz帯通信端末とのI/F検証	『準天頂衛星受信機能の高精度化、小型・低消費電力検討』『高精度測位システム確立』 ■ マルチパス誤差対策による高精度化 ■ 交通事故多発シーンを特定 ■ 危険判定アルゴリズムの開発と危険回避アプリケーションの実装 ■ バッテリーセービング機能の開発	『高精度位置測定技術の改良(PMM/PDR)』『危険判定精度の向上』『危険判定の有効性検証』 ■ 歩行者自律航法、マップマッチングに対応した測位アプリケーションを開発 ■ 想定する危険判定シーンを拡大 ■ 危険回避アプリケーションの実地検証

図 4.1-1 3ヵ年計画

4.2. 成果概要

平成27年度はマルチパス誤差対策と危険判定方式を実現、以下の成果を達成している。

表 4.2-1 成果概要

歩行者の正確な位置測定、及び、歩行者への適正な危険通知アラーム発動を実現

目標	達成(見込)	説明
マルチパス誤差対策検証	検証完了	低い位置の衛星を除外(仰角最適化)と受信電界強度で反射波識別し除外(端末保持状態も加味し閾値調整)するマルチパス誤差対策を施したファームウェアを開発し、検証を実施
交通事故多発シーンを特定	特定完了	交通事故死亡者数の多いシーンとして高齢者の単路横断、交差点での右折、子供の飛び出しを選定
危険判定アルゴリズムの開発と危険回避アプリケーションの実装	開発・実装完了	衝突判定、右折判定、飛び出し判定のアルゴリズムを開発し危険回避アプリケーションとして実装完了
危険エリア外での700MHz帯通信端末のバッテリーセービング機能の開発	開発完了	危険エリア外として歩道橋上で700MHz通信をOFFする機能を開発
特記事項：国土交通省側の受託者と連携して、歩車間通信システムへの要求条件(支援方法、システム遅延、測位誤差等)に関する意見交換を行いながら、研究開発を推進		

5. 研究実施計画

[基本計画]

歩行者・自転車等は、自動車に比べ移動の自由度が高く、従来の GPS をベースにした位置計測技術では精度が不十分である。このことから、準天頂衛星などを複合的に組み合わせる方法や新たな方式を考案するなどの高度位置精度技術の開発が必要である。

[本研究成果目標]

歩行者・自転車等は、車道に加えて、歩道や歩道橋、公園など移動可能エリアが広く、また、急な飛び出しや方向転換など行動予測が難しいため、自動車との事故低減のために歩行者・自転車の正確な位置情報を把握し、自動車へ伝えることが重要と考えられる。しかしながら、従来の GPS 等をベースにした位置計測技術では事故低減のための位置精度が不十分であり、より高い位置精度が求められる。本研究開発においては、歩行者や自転車の移動に起因した測位誤差の影響や、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も含めて一定の測位性能を達成するために、準天頂衛星システムによる高精度測位と、歩行者自律航法、マップマッチング技術を複合的に組み合わせることにより「高度位置精度技術」を構成し、その有効性を検証する。この高度位置精度技術について、携帯性を考慮したサイズ・電池持ちでの機能・性能実現性を検討するため、準天頂衛星受信機能を有する GNSS 測位専用端末、及び、スマートフォンに搭載する歩行者自律航法・マップマッチングによる危険回避アプリケーションを試作評価する。

自動車と歩行者・自転車の交通事故回避のため、自動車、歩行者・自転車の現在位置情報の他、移動速度や移動方向、危険歩行状態（障害物乗り越え等の異常行動検出）を把握することが高精度な危険予測に繋がる。そのため、位置情報、加速度センサー等を利用した歩行者の状態判定、及び、これらを加味した危険判定機能を盛り込んだ歩行者の危険回避アプリケーションを検討・試作し、3 端末で構成する歩行者端末システムを用いた実証実験を通して位置精度を含めたシステムの成立性を検証する。

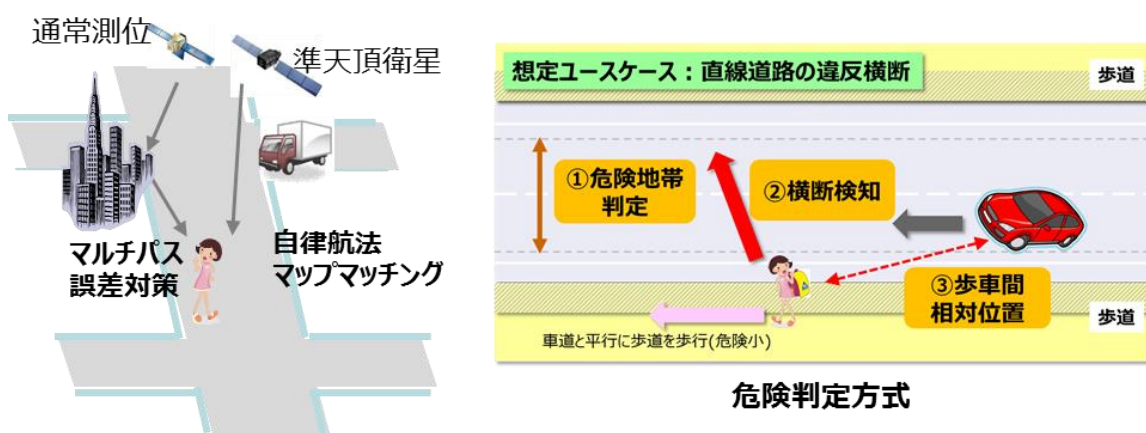


図 4.2-1 本研究開発における成果目標イメージ

[平成 27 年度年次目標]

『高精度位置測定技術の実現』

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 5m 以上と大きく、対策が必要であることが判明している。測位誤差の要因としては、ビルの外壁等で反射した衛星信号をそのまま測位に利用することに起因するマルチパス誤差や、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等が考えられる。そこで、マルチパス誤差への対策として、マルチパス判別/軽減アルゴリズムを検討し、その有効性を検証する。そのため、本研究開発においては、既存 GNSS 測位専用端末のファームウェア改造を実施して、測位精度の改善効果を確認する。

具体的な成果目標を以下に示す。

- ① 衛星捕捉数に応じて高仰角に配置された衛星のみ測位に利用する、あるいは、衛星から放送される軌道パラメータから算出した衛星位置(期待値)と測距結果からマルチパスを識別して測位対象から除く、等のマルチパス誤差対策を調査・検討する。
- ② 歩行者の交通事故多発シーンを特定し、そのシーンへの対応でシステムに求められる適切な測位誤差を目標値として定め評価する

『危険判定方式の開発』

交通事故回避のための歩行者支援機能を実現するため、交通事故のシーン・場所の特定、事故直前の歩行者の行動や背景要因を理解した上で、効果的な支援方法（例えば、情報提供→注意喚起→警告、という段階的な支援）を検討する必要がある。交通事故統計によると、自動車と歩行者・自転車の交通死亡事故が多く発生しているシーンとして、「直線道路での違反横断」や「交差点での出会い頭衝突」（自転車側の一時不停止違反が多数）等が挙げられるが、事故発生直前の歩行者の行動や背景要因については、詳細な分析が実施されていないのが実状である。そこで、「課題ア）歩車間通信の要求条件の検討」の受託者等と連携し、歩行者の交通事故のシーン、その際の歩行者行動、背景要因を分析し、その上で、歩行者やドライバーに対して適切な状況・タイミングで支援を行える危険回避アプリケーションを検討・試作・評価する。また、SIP にて行われる車車間通信・路車間通信の実証実験へ、歩行者端末システム追加実験として参加し、位置精度を含めた危険判定方式の妥当性を検証する。

具体的な成果目標を以下に示す。

- ① 危険回避アプリケーションにおける危険判定アルゴリズムとしては、安全側に設計しつつも、不要支援を極力抑制する方式の確立が必要である。そのため、地図による危険地帯判定、危険歩行状態検出（横断検出、障害物乗り越え等の異常行動検出）、自動車、歩行者・自転車の現在位置情報・移動速度・移動方向等を複合的に組み合

わせた危険判定方式を実装し、その効果を確認する。平成 27 年度は、優先度の高い交通事故のケースに対して危険判定処理の基本方式の確立を目指す。

- ② 700MHz 帯通信端末のバッテリーセービングのため、危険エリア外では 700MHz 帯通信を OFF、危険エリア内では 700MHz 帯通信を ON する制御を実装する。

6. 研究成果詳細

6.1. 歩行者端末システム

本研究開発で採用した歩行者端末システムは、原理・方式の開発と実証を主目的とし、前述の図 4.1-1 の通り、GNSS 測位専用端末、700MHz 帯通信端末、及び、これらを繋ぐスマートフォン、の合計 3 端末にて構成する。

6.1.1. GNSS 測位専用端末

本研究開発における準天頂衛星測位性能検証に用いた GNSS 測位専用端末の諸元を表 6.1-1 に、外観（写真）を図 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 GNSS 測位専用端末諸元

項目	諸元
対応衛星システム	GPS, GLONASS, QZSS(L1C/A, L1-SAIF, L1-SAIF+)
受信感度	・ C/A メッセージ復調 : GPS: -148dBm 以上、GLONASS: -145dBm 以上 ・ SAIF メッセージ復調 : -130dBm 以上 ・ C/A コード追尾 : -160dBm 以上 ・ SAIF コード追尾 : -142dBm 以上
動作時間	約 4 時間
アンテナ	GPS/GLONASS アンテナ内蔵
外部入力仕様	・ パッシブアンテナ入力対応 ・ 消費電流評価用端子対応 ・ Bluetooth ver2.1 ・ USB
外部出力仕様	NMEA 0183 4.00 対応
本年度改造仕様	(1)GPS 移動速度により設定するフィルタ動作閾値の パラメータ化と外部から設定する機能 (2)移動速度を外部から入力する機能 (内部の GPS 移動速度を使用しないモード) (3)仰角および信号レベルのマスク値を外部から設定する機能 (4)測位に利用する衛星選択に関して、 使用しない衛星番号を外部から設定する機能 ※対応衛星システム : GPS/GLONASS/QZSS(L1C/A,L1-SAIF) に対応



图 6.1-1 準天頂衛星對應 GNSS 測位專用端末

6.1.2. スマートフォン

下記要件を満たす唯一の端末として、サムスン電子製の GALAXY S5 を採用した。

- ・ 消費電力の測定を行うため、電池パックが取り外せること
- ・ Android™ OS 5.0（最新版）に対応、研究開発の全期間に渡り安全に使用できること
- ・ 携帯電話通信機能を有し、多くのキャリアで使用できること（SIM フリー端末）
- ・ Bluetooth 通信機能を有すること
- ・ 市販で広く販売されている端末であること（汎用スマートフォン）

6.1.3. 危険回避アプリケーション

本アプリケーションは、前述の図 4.1-1 に示した歩行者端末システムにおけるスマートフォンに搭載する Android™ アプリケーションであり、表 6.1-2 危険回避アプリケーション 機能一覧の機能を有する。また、開発したアプリケーションのユーザインタフェース画面例を図 6.1-2 に示す。本アプリケーションの詳細仕様は後述の 9.1 節に示す。

表 6.1-2 危険回避アプリケーション 機能一覧

大項目	中項目	小項目	機能名
① 精度位置測定技術の実現	マルチパス誤差対策		マルチパス誤差対策機能
② 危険判定方式の確立	危険地帯判定		交差点判定(右折判定)
	安全地帯判定		歩道橋上判定機能
	歩行者状態検出		飛び出し検出機能
	歩行者注意喚起	危険判定	衝突判定機能
			注意喚起機能
		700MHz 帯通信端 末との通 信機能	通信圏内判定機能
			700MHz 通信 ON/OFF 制御機能
その他	実験用機能		車載モード
			シミュレーションモード



図 6.1-2 危険回避アプリケーション ユーザインタフェース画面例

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

6.2. 準天頂衛星測位性能検証

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 5m 以上と大きく、対策が必要であることが判明している。測位誤差の要因としては、ビルの外壁等で反射した衛星信号をそのまま測位に利用することや[マルチパス誤差]、ビル陰により直接波を観測できる衛星を多く確保できないこと等が考えられる。そこで、マルチパス誤差への対策として、衛星電波の受信強度（C/N）からマルチパスを識別して測位対象から除く、高仰角に配置された衛星のみ測位に利用する、という 2 つの対策について、既存 GNSS 測位専用端末のファームウェア改造を実施して、測位精度の改善効果を確認する。

6.2.1. 評価項目

今年度は昨年度と同じ高層ビル街として新宿都庁周辺のマルチパス誤差が発生しやすい環境で、GNSS 測位端末の保持方法として以下の 2 通りで評価を実施した。

- ①帽子上
- ②胸ポケット内

6.2.2. 実施形態

評価の実施方法は、以下の高層ビル街を歩行した。



図 6.2-1 新宿高層ビル街

試験場所：東京都区新宿二丁目 A 地点⇔B 地点

A 地点：北緯 35.69180523°、東経 139.6901751°

B 地点：北緯 35.69246747°、東経 139.6942896°

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)

歩行者状態：A 地点～B 地点間(約 380m) の歩行中

端末保持状態：帽子上固定/胸ポケット内

初期状態：Hot Start

6.2.3. 評価実施場所

評価実施場所としては以下の A から B 間である。A 地点→B 地点(以下、往路)、B 地点→A 地点(以下、復路)を一往復して評価を実施し、赤線の歩行経路を一定速度で歩行した。

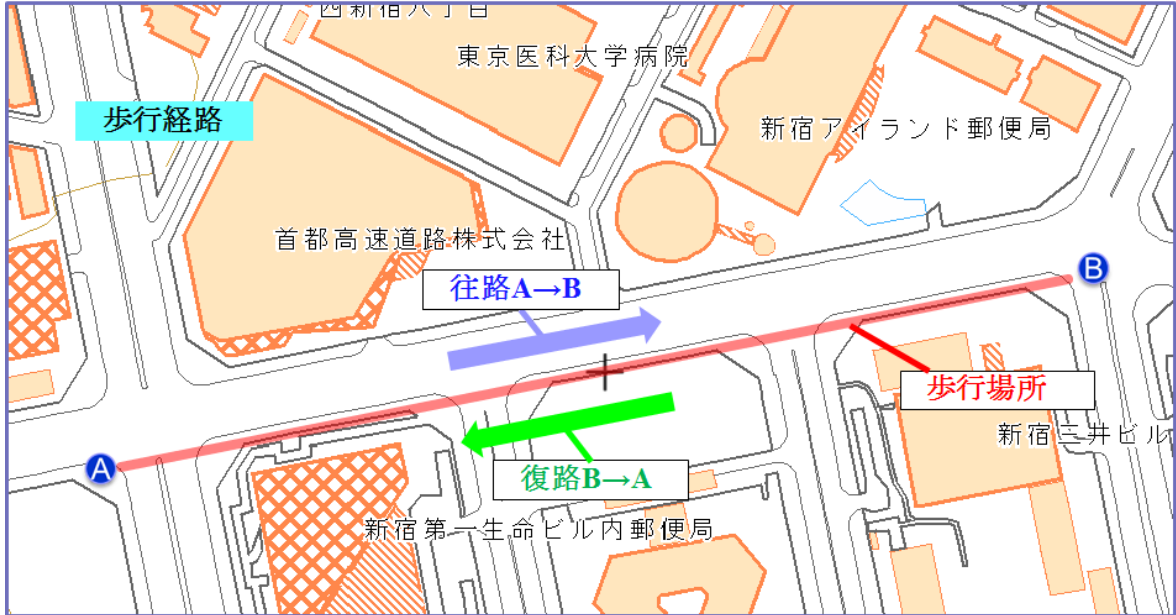


図 6.2-2 歩行経路

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

6.2.4. 評価シナリオと評価結果

今回評価対象は前記の歩行経路について GNSS 測位端末の保持方法を帽子上、胸ポケットと変え、評価シナリオを設定し、それぞれ評価を実施した。

6.2.4.1. GNSS 測位端末が帽子上の場合

以下、対策無しは【受信 C/N<15dB、もしくは仰角<5° を除外】の条件のこととする。
対策無しの場合の結果は以下である。

時間帯（往路：10:26.50～10:32.05、復路：10:35.00～10:41.10）

■ 対策無し結果

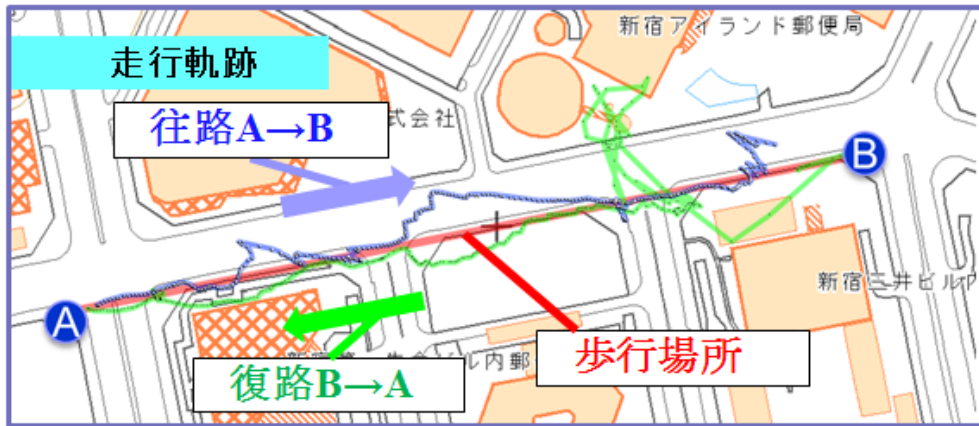


図 6.2-3 帽子上の歩行軌跡（対策無し）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

試験開始A地点

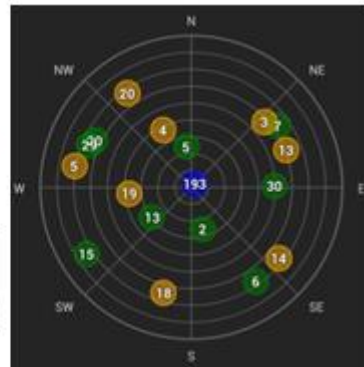


図 6.2-4 試験開始地点Aでの衛星配置

■ 対策無し結果

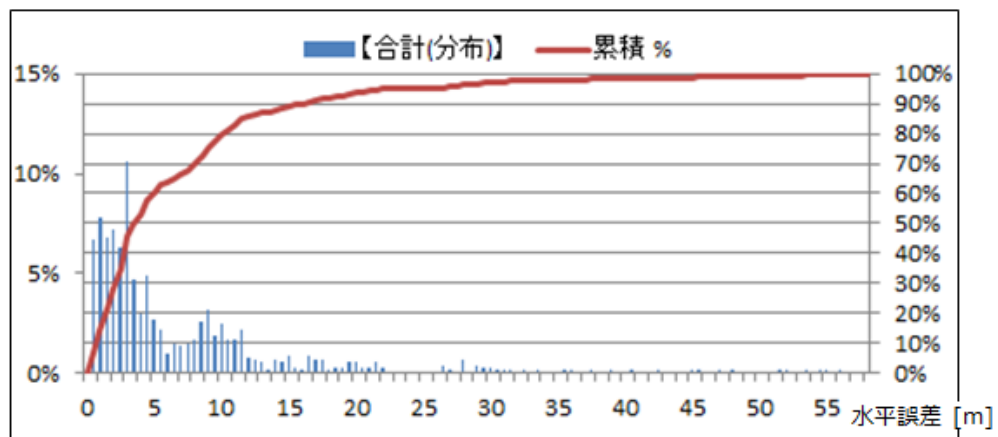


図 6.2-5 水平誤差発生頻度と累積値（対策無し）

対策有り【受信 C/N<35dB、もしくは仰角<30° を除外】の場合の結果は以下である。
時間帯（往路：11:36.45～11:41.55 復路：11:42.30～11:49.10）

■ 対策有り結果

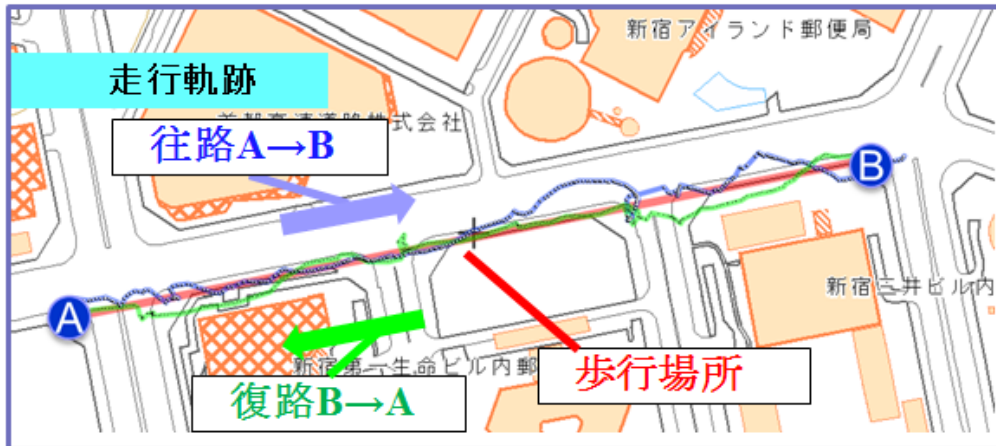


図 6.2-6 帽上の歩行軌跡（対策有り）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

試験開始A地点

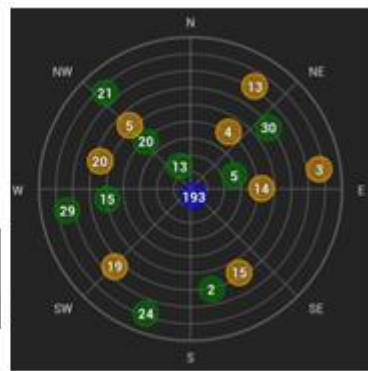


図 6.2-7 試験開始地点Aでの衛星配置

■ 対策有り結果

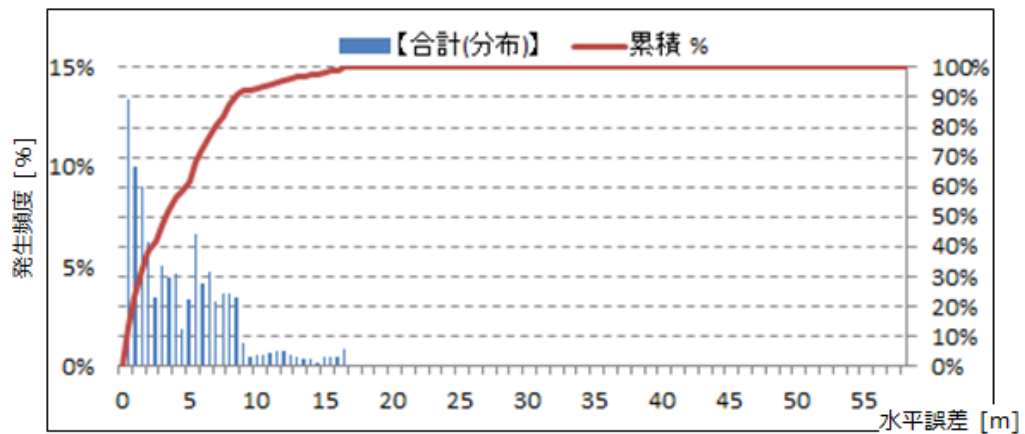


図 6.2-8 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）

図 6.2-3 帽子上の歩行軌跡（対策無し）と図 6.2-6 帽子上の歩行軌跡（対策有り）より、対策を実施することで、マルチパス誤差が抑制され、水平誤差が小さくなっていることが分かる。

図 6.2-5 水平誤差発生頻度と累積値（対策無し）と図 6.2-8 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）より、対策を実施することで、水平誤差 20m 以上の誤差が抑制されていることが分かる。但し、対策有りの場合も、5~10 数 m の誤差は残っている。

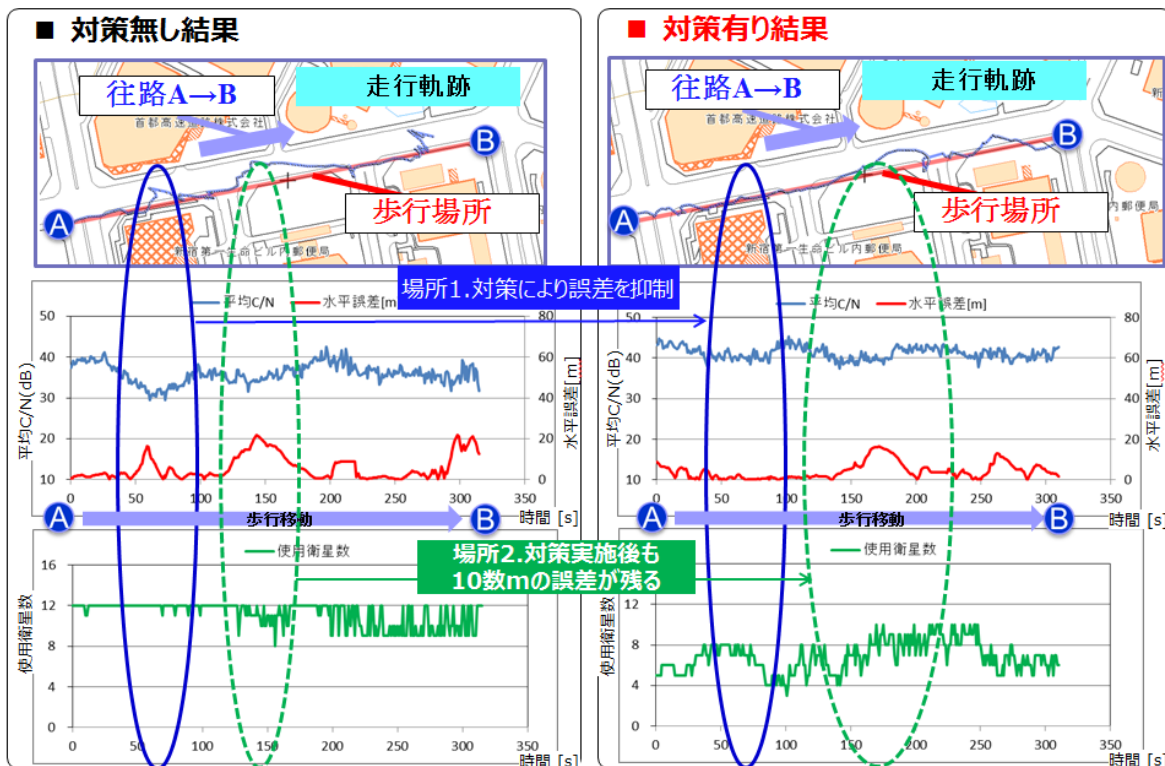


図 6.2-9 平均 C/N、水平誤差、使用衛星数

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

図 6.2-9 平均 C/N、水平誤差、使用衛星数に対策無しと対策有りの往路における平均 C/N(dB)、水平誤差[m]、測位に使用した衛星数(以下使用衛星数と呼ぶ)を示す。実線丸で記載している場所（以下、場所 1 と呼ぶ）は、対策無しは平均 C/N が下がっており、最大約 16m 水平誤差が発生しているが、対策有りでは、平均 C/N が劣化せず、水平誤差が抑制されていることがわかる。但し、点線丸で記載している場所（以下、場所 2 と呼ぶ）では、対策無しの水平誤差最大約 21m、対策有りの水平誤差最大約 16m の結果が得られており、水平誤差の抑制効果が小さい。

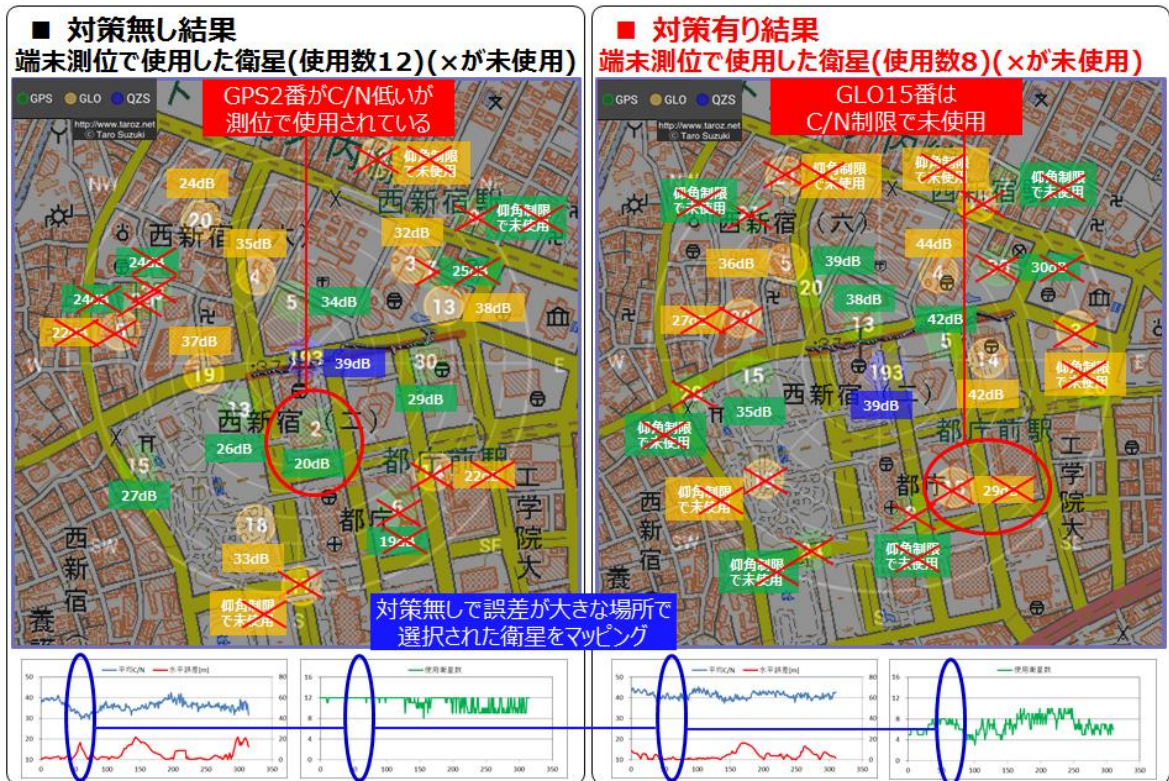


図 6.2-10 場所 1 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

図 6.2-10 場所 1 での衛星状況に対策無し対策有りの衛星状況(衛星配置、C/N 値、使用衛星数)を示す。×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。対策無しでは C/N が低い衛星番号 2 番(GPS, C/N20dB)が、測位で使用されている。

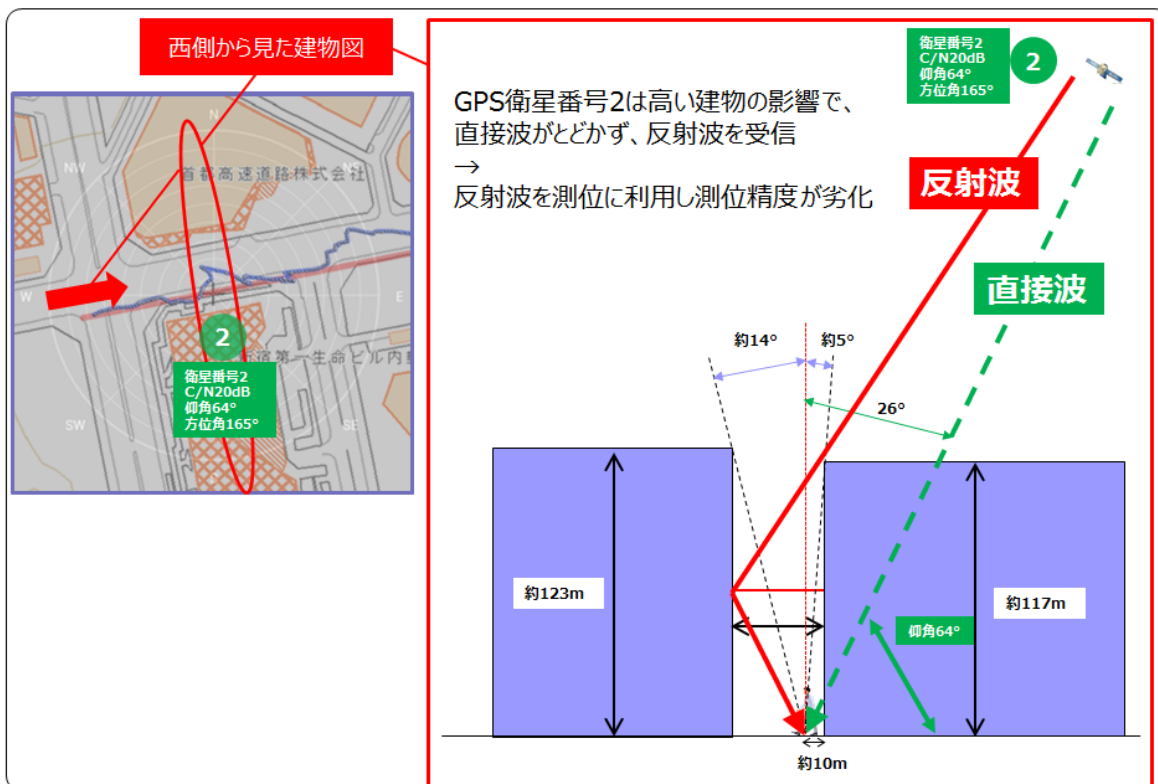


図 6.2-11 場所 1 での西側から見た建物との関係

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

図 6.2-11 場所 1 での西側から見た建物との関係に対策無し場所 1 における建物と衛星番号 2 番(GPS, C/N20dB)の配置イメージを示す。衛星情報と測定場所の建物の情報より、衛星番号 2 番(GPS, C/N20dB)の直接波は届かず、反射波を受信しているため、C/N が劣化していると考えられ、場所 1 においては、本体策を実施することで、衛星番号 2 番(GPS, C/N20dB)を測位に使用しないことは有効であると考ええる。

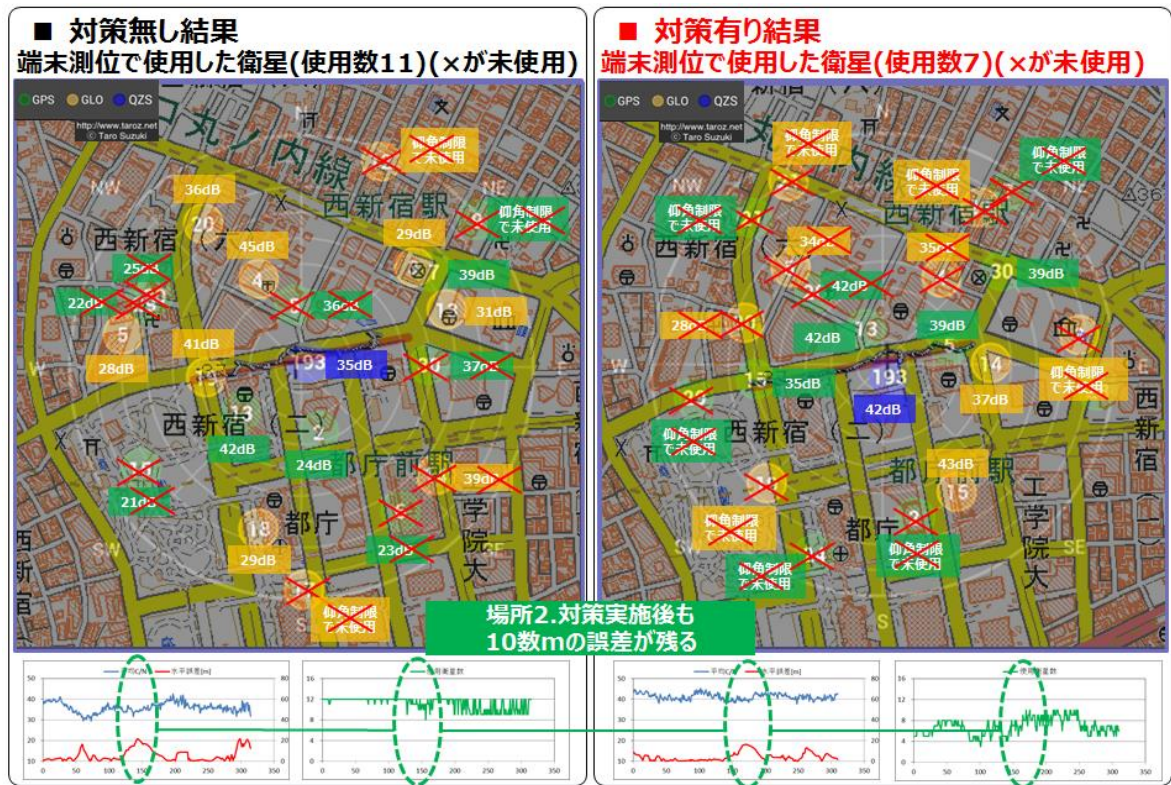


図 6.2-12 場所 2 での衛星状況

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

図 6.2-12 場所 2 での衛星状況に場所 2 における対策無し対策有りの衛星状況を示す。×印が記載されている衛星は、測位の際に、衛星情報を使用しなかったことを示している。対策を実施することにより、低 C/N の衛星を使用しないため、反射波の影響による誤差抑制はできているが、場所 1 の結果と比較すると、改善効果が小さい。

対策有りの衛星使用状況から、場所 2 付近では、使用衛星数が最小で 4 まで減少しているため、結果、最大 16m 程度の水平誤差が生じていると考えられる。

次年度では、さらなる改善のため、本年度で取り組んだ C/N 制限、仰角制限による反射波影響の抑制に加え、使用衛星数等の情報に基づき、使用衛星数が減少した場合は、衛星数の多い場所での測位結果を基点として、歩行者自律航法(PDR:Pedestrian Dead Reckoning)を実施し、測位結果を補正する等の対策を実施することにより、測位誤差のさらなる抑制を検討する予定である。

6.2.4.2. GNSS 測位端末が胸ポケット内の場合

対策無しの場合の結果は以下である。

時間帯（往路：10:26.50～10:32.05）

比較のため、帽子上対策無し(往路)の結果も合わせて記載する。

■ 対策無し結果



図 6.2-13 帽子上、胸ポケット内の歩行軌跡（対策無し）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

試験開始A地点

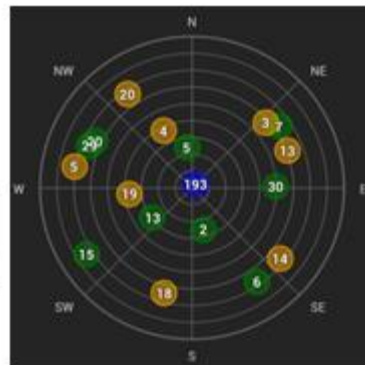
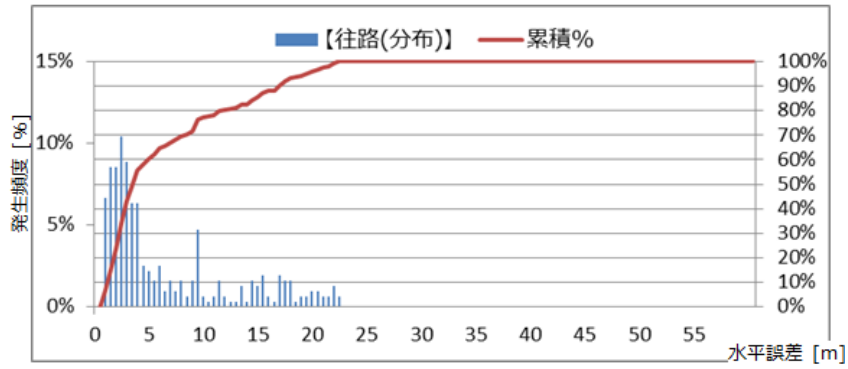


図 6.2-14 試験開始地点 A での衛星配置

■ 帽子対策無し往路結果



■ 胸ポケット対策無し往路結果

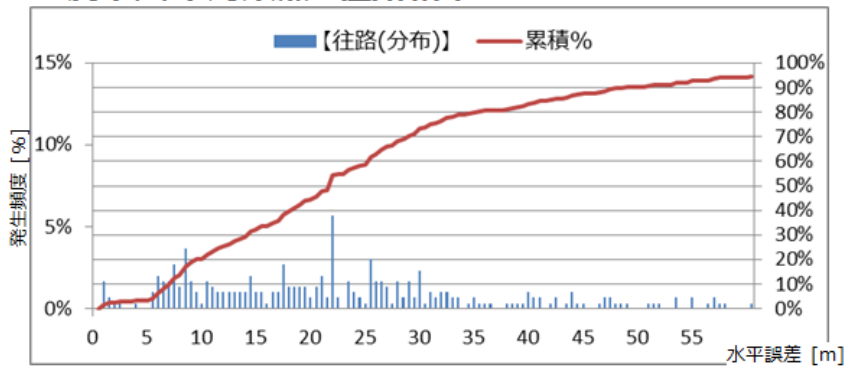


図 6.2-15 帽子上、胸ポケット内の水平誤差発生頻度と累積値（対策無し）

帽子上の場合に比べ、胸ポケットの場合、水平誤差 40m 以上の誤差の発生頻度も高い結果であることを確認した。

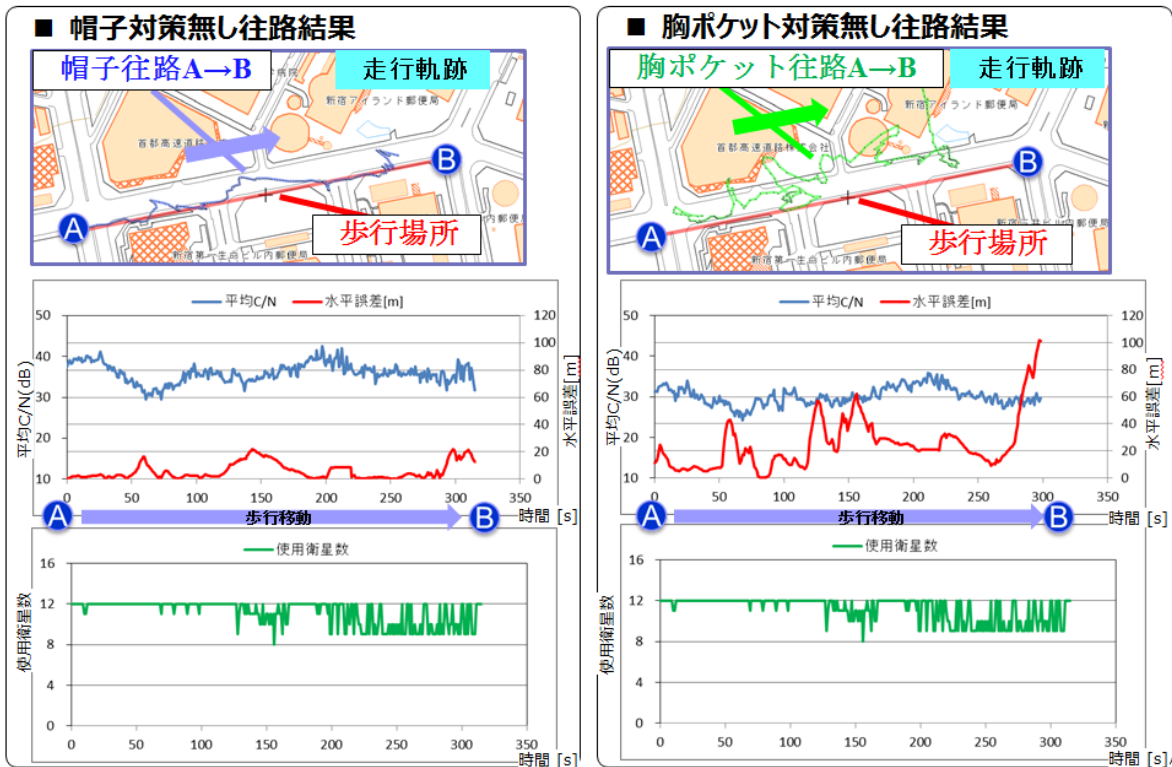


図 6.2-16 帽子上、胸ポケット内平均 C/N、水平誤差、使用衛星数（対策無し）

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

図 6.2-16 帽子上、胸ポケット内平均 C/N、水平誤差、使用衛星数より、帽子上の場合に比べて、胸ポケットの場合、水平誤差特性が劣化していることを確認した。

帽子上の場合、平均 C/N が 30dB～42dB 程度

胸ポケットの場合は平均 C/N が 24dB～36dB 程度

となっている。

胸ポケット水平誤差の劣化要因としては、C/N が劣化した衛星を使用することによる影響に加えて、人体による遮蔽の影響のため、測位に有効な衛星が天球面の片側方向へ偏ってしまったことが考えられる。

胸ポケットの C/N 制限として帽子上の場合と同じ 35dB を適用すると、使用衛星数の極端な減少による水平誤差特性の劣化が予想されるため、C/N 制限の閾値は、帽子上の場合より 5dB 以上上げる必要がある。

■ 対策有り結果【受信C/N<25dB】



図 6.2-17 胸ポケットの歩行軌跡（対策有り）【受信 C/N < 25dB を除外】

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

■ 対策有り結果【受信C/N<30dB】

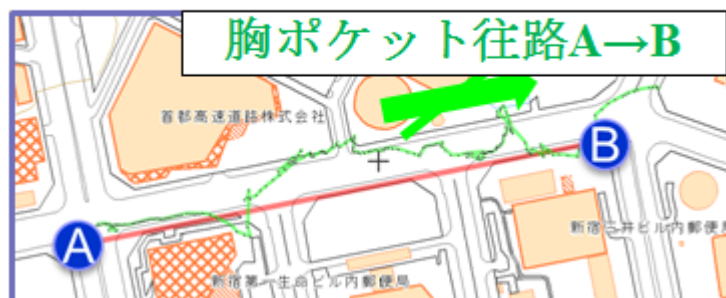


図 6.2-18 胸ポケットの歩行軌跡（対策有り）【受信 C/N < 30dB を除外】

（地図データ出典：国土地理院ホームページ）

図 6.2-17 胸ポケットの歩行軌跡（対策有り）【受信 C/N < 25dB を除外】、図 6.2-18 胸ポケットの歩行軌跡（対策有り）【受信 C/N < 30dB を除外】の結果を示す。なお、胸ポケットの場合は仰角制限値を変更しないこととした。対策無しに比べて、対策有りでは、反射波による影響が抑制され、水平誤差が改善されている。

■ 対策有り結果【受信C/N<25dB】

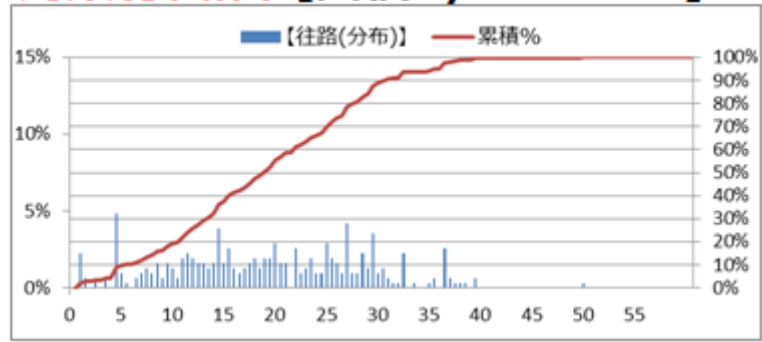


図 6.2-19 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）【受信 C/N<25dB を除外】

■ 対策有り結果【受信C/N<30dB】

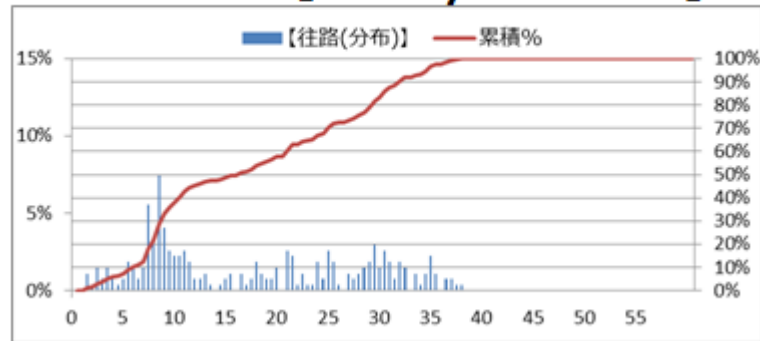


図 6.2-20 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）【受信 C/N<30dB を除外】

図 6.2-19 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）【受信 C/N<25dB を除外】と図 6.2-20 水平誤差発生頻度と累積値（対策有り）【受信 C/N<30dB を除外】の結果を示す。対策を実施することで、水平誤差 40m 以上の誤差が抑制されていることが分かる。閾値を適切に設定することで、胸ポケットにおいても C/N 制限による反射波の影響の抑制が有効であることを確認した。

■ 対策有り結果【受信C/N<25dB】

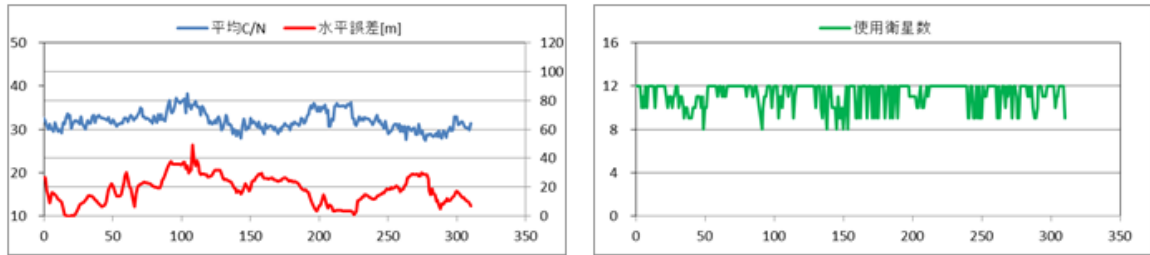


図 6.2-21 平均 C/N、水平誤差、使用衛星数[受信 C/N<25dB を除外]

■ 対策有り結果【受信C/N<30dB】

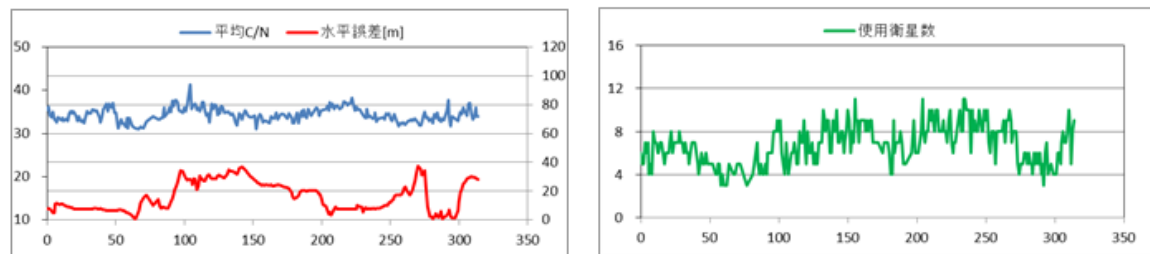


図 6.2-22 平均 C/N、水平誤、使用衛星数[受信 C/N<30dB を除外]

図 6.2-21 平均 C/N、水平誤差、使用衛星数[受信 C/N<25dB を除外]と図 6.2-22 平均 C/N、水平誤、使用衛星数[受信 C/N<30dB を除外]を示す。C/N 制限を実施することで反射波の影響を抑制でき、結果、水平誤差が抑制されている。

また、胸ポケットの場合は、対策無しの場合の平均 C/N が 24dB~36dB 程度であるため、C/N 制限閾値を 30dB とすると使用衛星数は減少する。しかし、水平誤差特性は改善方向であるため、使用衛星数がある程度減少しても C/N の高い衛星を選択することが測位誤差抑制に有効であることを確認した。

6.2.5. まとめと今後の技術課題

本研究開発では、高層ビル街や市街地等でビルの外壁等で反射した衛星信号をそのまま測位に利用することに起因するマルチパス誤差や、ビル陰により直接波を観測できる衛星を多く確保できないことによる測位誤差影響の抑制のため、C/N 制限、仰角制限を実施し、マルチパス誤差対策を実施した。

結果として、高層ビル街において、水平誤差 10m 以上の誤差が抑制されていることを確認した。但し、5m 以上の水平誤差は残っており、歩車間通信システムの実用化に向けてさらなる対策が必要である。今後の技術課題について、表 6.2-1 今後の技術課題に示す。

表 6.2-1 今後の技術課題

課題	対策案	備考
マルチパス誤差対策として C/N 制限、仰角制限を行った場合、使用衛星数が少ない時に水平誤差の改善効果が小さい。	使用衛星数が減少してきた場合は、衛星数の多い場所での測位結果を基点とし、歩行者自律航法(PDR:Pedestrian Dead Reckoning)を実施し、測位結果を補正する等の対策を実施	来年度の研究開発計画にて実施予定
高さ方向の測位精度改善	気圧センサーの併用 (気圧センサーの相対値で高さ方向の変動を捉えることは可能だが、車の高度とのマッチング方法は課題)	実用化フェーズで検討
高架橋下等、衛星捕捉劣化環境における測位精度改善 (屋内からの飛び出しケースにも同様の課題)	歩行者自律航法、地図情報による補正(マップマッチング)、測位用基準点(Bluetooth ビーコン等)を複合的に組み合わせた測位技術の適用	本研究開発にて来年度、部分的に実施予定
端末保持状態に起因する測位精度改善(C/N 劣化への対策)	アンテナの利得と指向性のバランス検討	実用化フェーズで検討
安全エリア誤判定に起因する不要支援の削減	車内、建物等の安全エリアを判定する手段の検討(Wi-Fi アクセスポイントや、Bluetooth ビーコン等利用)	本研究開発にて来年度、部分的に実施予定

6.3. 危険回避アプリケーション性能検証

6.3.1. 評価項目

歩行者交通事故が多いシーンとして歩車間通信の要件を検討している国土交通省受託者が定めた 6 場面(単路、交差点右折)に加え、子供の死傷者数が多い飛び出しを対象に加え、また、不要支援対策の 1 例として歩道橋上での歩車間通信機能の停止を本年度の評価項目とした。

下図のように国土交通省受託者が定めた 6 場面(単路、交差点右折)は、交通事故死者数の 2014 年度の統計からも単路、特に高齢者の単路横断、そして道路形状別では単路の次に、交差点、交差点の中でも車両の右折時に事故が多いことがわかる。

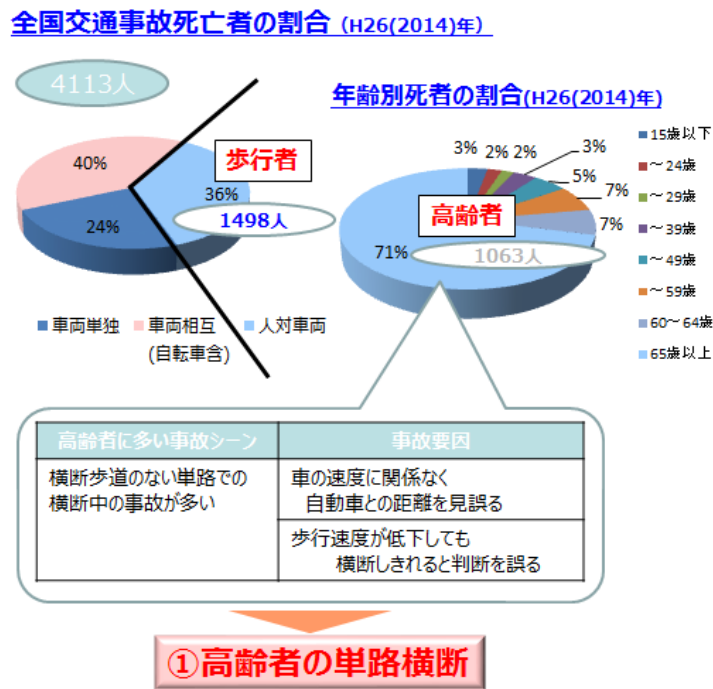


図 6.3-1 高齢者の単路横断

(出典: H26 警察庁、交通白書、平成 26 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について)

平成 24 年度 タタ財団助成研究論文「死傷事故低減に向けた高齢歩行者における行動特性の究明と対策について」)

道路形状別死者の割合(H26(2014)年)

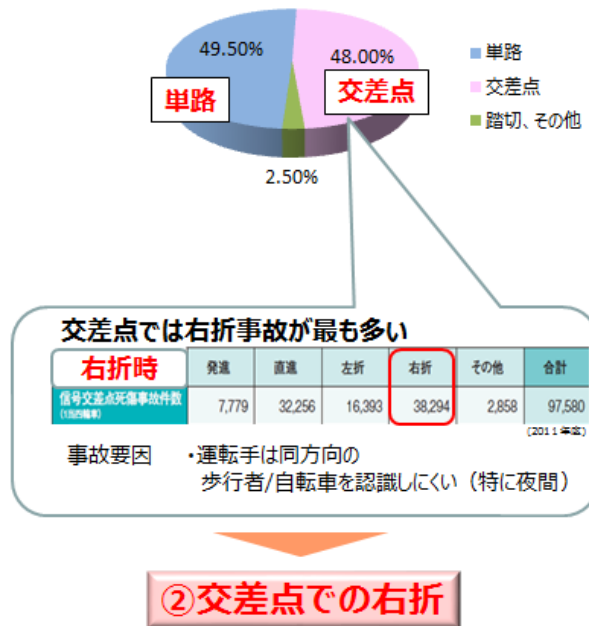








図 6.3-2 交差点右折

(出典: ITARDA INFORMATION No.95 「信号交差点における右折事故」)

また、子供の死亡者数は 2014 年度で 15 人と比較的少ないが、死傷者数が 2800 人と多い飛び出しを追加の評価対象としている。

各シーンの内、以上を加味し本年度の評価対象を以下に記載する。
要件を検討している国土交通省受託者が定めた 6 場面は以下である。その中で単路については高齢者の事故が多い右から左への横断を優先して実施した。左から右への横断については参考評価のみ実施し、今後の評価項目とした。右折については事故数が多い道路幅が 13m 以上の道路を想定し、歩行者を見落としやすい車両の進行方向と同方向への横断を評価対象とした。車両の進行方向と逆方向からの横断は今後の評価項目とした。

表 6.3-1 国土交通省受託者が定めた 6 場面への対応

	国土交通省受託者設定場面(6場面)	対応
単路	●場面 1 : 単路 : 歩行者が右から左に横断 	●
	●場面 2 : 単路 : 歩行者が左から右に横断 	
右折	●場面 3 : 信号あり交差点 : 右折 : 歩行者が後方横断 	●
	●場面 4 : 信号あり交差点 : 右折 : 歩行者が前方横断 	
	●場面 5 : 信号なし交差点 : 右折 : 歩行者が後方横断 	●
	●場面 6 : 信号なし交差点 : 右折 : 歩行者が前方横断 	

**単路横断で事故が多い高齢者を想定
高齢者の事故が多い右から左への横断を選定**




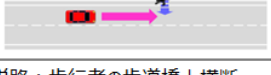
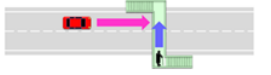
【高齢者特性】 ①歩行速度低下
②歩車間距離見誤り

**右折時の事故が多い道路幅(13m以上)を想定
歩行者を見落としやすい同方向横断を選定**

運転手は同方向歩行者を認識しにくい傾向から
歩行者が車両の後方を横断する場面を選択

さらに追加設定場面として子供の飛び出し評価対象とし、その飛び出しの特徴として単路へ急に飛び出すパターンと道路に沿って歩いていて、急に向きを道路側に変えて飛び出すパターンの 2 パターンを想定した。その中で歩行者が、車両と近い道路からの飛び出し(左から右への飛び出し)を評価対象とし、右から左への横断については今後の評価項目とした。

表 6.3-2 子供の飛び出し、不要支援場面への対応

	追加設定場面(6場面)	対応
飛び出し	●場面7：単路：急に向きを変更し、右から左へ飛び出し 	
	●場面8：単路：急に向きを変更し、左から右へ飛び出し 	●
	●場面9：単路/交差点：静止せず、右から左へ飛び出し 	
	●場面10：単路/交差点：静止せず、左から右へ飛び出し 	●
不要支援対応	●場面11：単路：歩行者の歩道橋上横断 	●

6.3.2. 実施形態

評価の実施方法は、車両を自転車で代用した評価と実際の車両で実施した評価の2パターンを実施した。いずれも車載機の対応ができていないため、車載端末と歩端末との接続ではなく、歩端末を対向させて評価を実施した。実施形態を以下に示す。



図 6.3-3 実施形態(自転車での事前評価)

歩行者、自転車もしくは車両へそれぞれ GNSS 測位専用端末、危険回避アプリケーションを搭載したスマートフォン、700MHz 通信端末をセットにして搭載、もしくは保持し、評価を実施した。

また、実際の車両を使用した JARI 実証実験での実施形態は以下である。



図 6.3-4 実施形態(車両を使った実証実験：歩端末)



図 6.3-5 実施形態(車両を使った実証実験：車載端末)

6.3.3. 評価実施場所

評価実施場所として、自転車を使った事前評価では当社の構内の一部を単路、交差点の右折場所として見立て、評価を実施した。飛び出しの評価についても下図の単路を評価場所としている。当社構内は建物があり、衛星での測位精度が劣化する環境でもあり、危険回避アプリケーションでの測位誤差を加味した判定を評価できる環境でもある。



図 6.3-6 事前評価の評価実施場所(単路/交差点)
(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

車両を使った実証実験については JARI(筑波)を利用した。単路、交差点右折はそれぞれ以下の箇所を利用した。

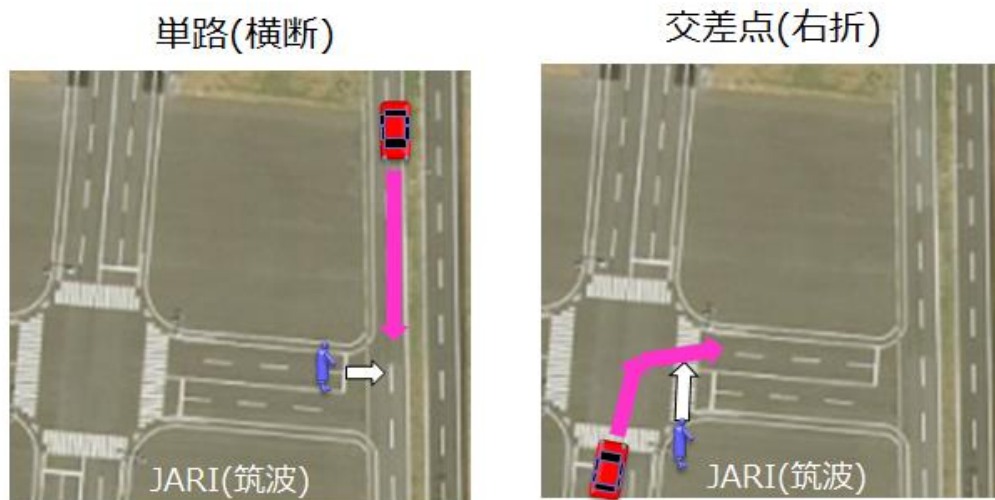


図 6.3-7 実証実験での評価実施場所(単路/交差点)
(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

不要支援対応として、歩道橋上での歩車間通信の停止を典型的な歩道橋として実際の横浜市小机の歩道橋を利用し評価を実施した。

歩道橋



図 6.3-8 評価実施場所(不要支援：歩道橋)

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

6.3.4. 評価シナリオと評価結果

今回評価対象の単路横断、交差点での右折、飛び出し、歩道橋上の横断についてそれぞれ評価シナリオを以下のように設定し、それぞれ評価を実施した。

6.3.4.1. 単路横断

単路横断での評価シナリオを典型的な道路幅である道路幅 7m の道路、単路横断で事故が多い高齢者を想定し、歩行速度が比較的遅めに 1.0m/s に設定し、自転車を使った事前評価では自転車の速度を 10km/h として、衝突ポイントを車道の中央に設定した。また、高齢者は認知が遅れることもあり、普通歩行者が衝突の 5 秒前に注意喚起を実施するのに対して、1 秒早い衝突 6 秒前に注意喚起するように設定した。自転車については速度 10km/h になるまで時間がかかるため助走期間を加え、自転車、歩行者が同時にスタートし衝突ポイントで衝突するようにそれぞれのスタート位置を決め、歩行者に道路横断前に注意喚起できるかの検証を実施した。

車両を使った実証実験では、実際の車両の速度は 50km/h の一定速度で車道を通り、歩行者側は同じ条件で衝突ポイントまで移動する動作を実施した。評価シナリオとその実験の様子と検証結果はそれぞれ以下である。

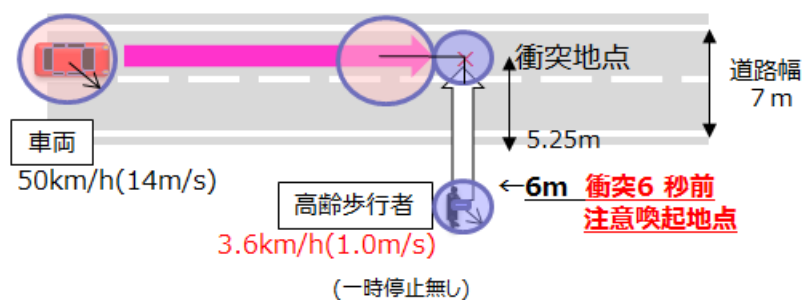


図 6.3-9 高齢者の単路横断シナリオ

当社構内での自転車を使った事前評価の様子は以下である。車の代わりに自転車を用いて、歩行者と自転車を同時にスタートし衝突地点に向かう評価を実施したが、自転車の速度を一定に 10km/h に保つことが難しく、評価方法として自転車を一定速度で周回させて、それに合わせて歩行者が単路を横断する方法がより良いと考えられる。



図 6.3-10 自転車を使った単路横断実験

JARI での車両を使った実証実験では、50km/h で走行する車両に合わせ歩行者が単路を横断する方法で評価を実施した。以下がその様子である。



図 6.3-11 実車を使った単路横断実験

また、今回評価した衝突判定アルゴリズムについて概要を説明する。詳細は後述する危険判定アプリケーション仕様を参照。衝突判定アルゴリズムは歩行者と車両のそれぞれの位置情報、速度、方位に基づき、高齢者の場合は 6 秒後までのそれぞれの衝突予測領域を求め、お互いの

衝突予測領域が重なった場合に衝突すると予測するものである。誤差については、現状は方位誤差として車両は基本は道路に沿って移動するため方位誤差0度としている。歩行者の方位誤差は10度と設定、位置誤差については実際には、車両と歩行者の端末で計測する位置精度により設定するが、現状はそれぞれの存在範囲、すなわち車両では一般的な車両の大きさ、半径2.5m、歩行者については半径1mを存在範囲として位置誤差に設定している。

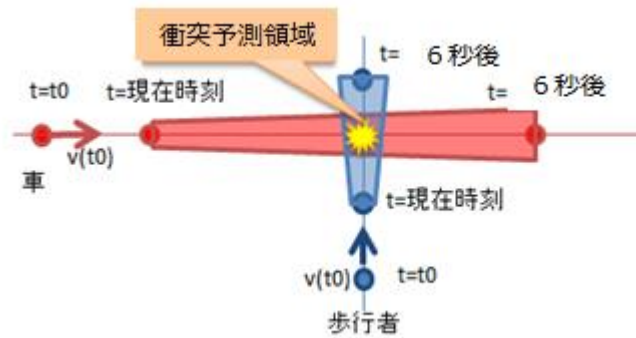


図 6.3-12 衝突判定アルゴリズム概要

自転車を使った当社構内での高齢者の単路横断の評価結果を以下に示す。

表 6.3-3 高齢者の単路横断評価結果(事前評価)

	歩行者 (高齢者)		
	700MHz圏内 (○/×)	注意喚起 (○/×)	注意喚起 地点(m)
1回目	○	○	7.7m
2回目	○	○	7.6m
3回目	○	○	6.6m
4回目	○	○	6.8m
5回目	○	○	6.5m
6回目	○	○	6.3m
7回目	○	○	6.7m
8回目	○	○	6.2m
9回目	○	○	5.6m
10回目	○	○	6.3m
平均			6.6m

JARI 実証実験での高齢者の単路横断の評価結果を以下に示す。

表 6.3-4 高齢者の単路横断評価結果(実証実験評価)

	歩行者 (高齢者)		
	700MHz圏内 (○/×)	注意喚起 (○/×)	注意喚起 地点(m)
1回目	○	○	6.5m
2回目	○	○	7.5m
3回目	○	○	6.0m
4回目	○	○	7.0m
5回目	○	○	6.5m
6回目	○	○	6.5m
7回目	○	○	6.5m
8回目	○	○	6.5m
9回目	○	○	5.5m
平均			6.5m

表 6.3-5 道路際で停止後、横断

	歩行者(普通歩行者)		
	700MHz圏内 (○/×)	注意喚起(○/×)	注意喚起 地点(m)
1回目	○	○	3m
2回目	○	○	7m
3回目	○	×	-
4回目	○	○	2.6m
5回目	○	○	1m
6回目	○	○	0m
7回目	○	○	3.3m
8回目	○	○	3.4m
9回目	○	○	3.5m
10回目	○	○	2.6m
平均			2.6m

事前評価では、道路横断前であり衝突ポイントから 6.63m の注意喚起できており、JARI 実証実験では、衝突ポイントから 6.5m の注意喚起できており、いずれも高齢者への注意喚起タイミングとして期待値として 6 秒前を想定しており、高齢者の歩行速度を 1m/s としているので、それぞれ 6.6 秒前、6.5 秒前となり適切なタイミングでの注意喚起が来ていると考えられる。

今後の課題としては以下 5 点が考えられる。

① 車載機対向

今回の評価では歩端末対向で評価を実施したため、車側と歩行者側での位置誤差の精度は同じである。そのため、車側を実際の車載機の位置誤差の精度で検証することも必要である。

② 歩行者が右から左に横断するケースへの対応、途中で一時停止時の対応

歩行者が車と同じ側から横断する場合や、横断前に一時停止する場合は歩行者の初速が 0 であり、今回用いた衝突判定アルゴリズムでは対応できない。この場合、初速を想定で補って衝突判定アルゴリズムで判定する等の工夫が必要なため、拡張した省と衝突判定アルゴリズムの検証が実用である。

③ 情報提供/警報への対応

ASV4 で規定されている運転手への支援には情報提供、注意喚起、警報の 3 種類が規定されており、今回の検証では注意喚起のみ実施したため、歩行者向け支援についても同様に情報提供、警報への対応が必要である。

④ 道路幅が異なる環境への対応

道路幅 7m の場合には今回のアルゴリズムでの道路横断前に歩行者に注意喚起することができたが、何車線もあるもっと道路幅がある場合等では、今回の注意喚起タイミングでは、注意喚起時点で他の車線に入ってしまう可能性があるため、道路の幅に応じた注意喚起タイミングの変更を加味する必要がある。

⑤ 不要支援対応

歩行者を車道に沿って歩かせ、車両がその脇を通過した場合に相互の位置誤差により衝突判定がされ、衝突していないのに注意喚起されることがないか等に不要支援について検証が必要である。

6.3.4.2. 交差点右折

交差点で車両が右折時に歩行者が同じ方向から横断する場合の評価シナリオを交通事故数が多い13m以上の道路幅、本評価では道路幅15mとし、高齢者を想定し、歩行速度が比較的遅めに1.0m/sに設定し、自転車を使った事前評価では自転車の速度を10km/hとして、衝突ポイントを右折後の車道の中央に設定した。

また、高齢者は認知が遅れることもあり、普通歩行者が衝突の5秒前に注意喚起を実施するのに対して、1秒早い衝突6秒前に注意喚起するように設定した。さらに右折判定時の後方からの車両の接近通知(情報提供)は右折後の車道へ入る手前、衝突ポイントから2.2mを目標とした。自転車については速度10km/hになるまで時間がかかるため助走期間を加え、自転車、歩行者が同時にスタートし衝突ポイントで衝突するようにそれぞれのスタート位置を決め、歩行者に道路横断前に注意喚起できるかの検証を実施した。

車両を使った実証実験では、実際の車両の速度は50km/hの一定速度で車道を通り、歩行者側は同じ条件で衝突ポイントまで移動する動作を実施した。評価シナリオとその実験の様子と検証結果はそれぞれ以下である。

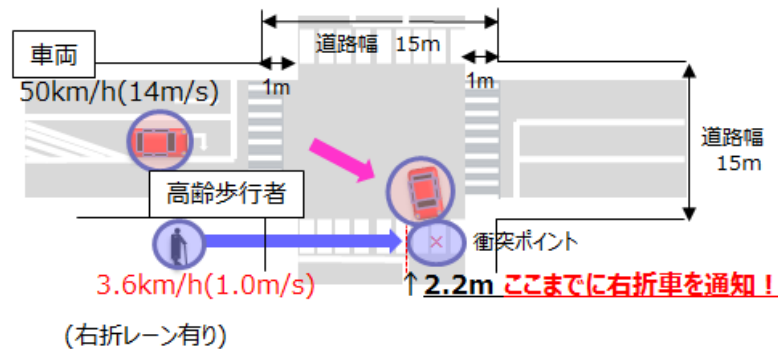


図 6.3-13 交差点 右折時シナリオ

当社構内での自転車を使った事前評価の様子は以下である。車の代わりに自転車を用いて、歩行者と自転車を同時にスタートし衝突地点に向かう評価を実施したが、自転車の速度を一定に10km/hに保つことが難しく、評価方法として自転車を一定速度で周回させて、それに合わせて歩行者が単路を横断する方法を用いた。

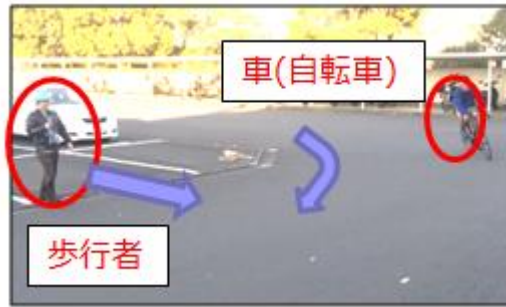


図 6.3-14 自転車を使った交差点での右折時横断実験

JARI での車両を使った実証実験では、50km/h で走行する車両が右折時には徐行し、それに合わせ歩行者が交差点を横断する方法で評価を実施した。以下がその様子である。



図 6.3-15 実車を使った交差点での右折時横断実験

また、今回評価した右折時の判定アルゴリズムについて概要を説明する。詳細は後述する危険判定アプリケーション仕様を参照。右折時の判定アルゴリズムは歩行者と車両の現在の位置、速度、方位と地図情報に基づき、交差点での領域 1~3 での位置関係で予測、領域 3 へ双方が入った場合に右折判定し、歩行者へ右折車両があることを情報提供するものである。

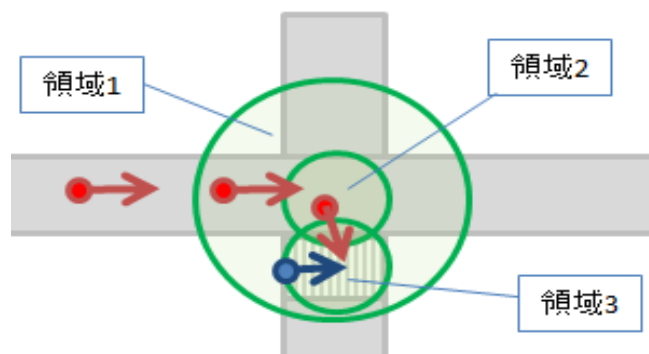


図 6.3-16 右折時の判定アルゴリズム概要

自転車を使った当社構内での交差点右折時横断の評価結果を以下に示す。

表 6.3-6 交差点での右折時 評価結果(事前評価)

歩行者(普通歩行者)			
	700MHz 圏内 (○/×)	右折判定注 意喚起 (○/-) ※-:実施せず	各地点(m)
1回目	○	○/-	1m
2回目	○	○/-	5m
3回目	○	○/-	1m
4回目	○	○/-	4m
5回目	○	○/-	4m
6回目	○	○/-	5m
7回目	○	○/-	4m
8回目	○	○/-	3.5m
9回目	○	○/-	4m
10回目	○	○/-	5m
平均			3.65m

JARI 実証実験での交差点右折時横断の評価結果を以下に示す。

表 6.3-7 交差点での右折時 評価結果(実証実験評価)

歩行者(高齢歩行者)			
	700MHz 圏内 (○/×)	右折判定注 意喚起 (○/×)	各地点(m)
1回目	○	○/○	5.3m/5.3m
2回目	○	○/○	6m/6m
3回目	○	○/○	5.3m/5.3m
4回目	○	○/○	5.3m/5.3m
5回目	○	○/×	6m/
6回目	○	○/○	5.3m/5.3m
7回目	○	○/×	6m/
8回目	○	○/○	6m/6m
9回目	○	○/○	6m/6m
10回目	○	○/○	6m/6m
平均			5.72m

事前評価では、歩行者が右折後の車道へ侵入する前、衝突ポイントから 2.2m より前である 3.65m で右折車の接近を情報提供できており、JARI 実証実験では、5.72m で情報提供できて

飛び出し時に急に加速した場合の評価結果を以下に示す。

表 6.3-8 単路での飛び出し(急な飛び出し)評価結果(事前評価)

	歩行者(普通歩行者)		
	700MHz圏内 (○/×)	飛び出し (○/×)	車両へ 飛び出し通知
1回目	○	○	○
2回目	○	×	×
3回目	○	×	×
4回目	○	×	×
5回目	○	×	×
6回目	○	×	×
7回目	○	○	○
8回目	○	○	○
9回目	○	○	○
10回目	○	×	×

飛び出し時の急な加速では、10回中、4回の飛び出しを検知できた。しかし、残りの6回については検知できなかった。検知できなかった場合について考えられる原因としては衝突の可能性の判定が、静止からの急な加速で歩行者の速度が出ておらず、衝突判定が間に合っていないことが考えられる、また、評価の方法として衝突しないように実験をしていることもあり、衝突可能性の判定ができていない可能性がある。

今後の課題としては以下が考えられる。

- ① 静止からの急な加速で衝突判定が遅れている場合、歩行者が急に加速した地点で歩行者の速度が出ておらず、車両との衝突の可能性を判定できていない可能性がある。その場合、想定で歩行者の初速を補い、衝突の可能性を判定する等、改善が必要である。

6.3.4.4. 不要支援対応(歩道橋上横断)

不要支援対応については、今回は歩道橋上で歩車間通信を停止し、歩道橋の下では歩車間通信を実施することを評価した。評価に当たっては典型的な歩道橋として横浜市小机の実際の歩道で評価を実施した。

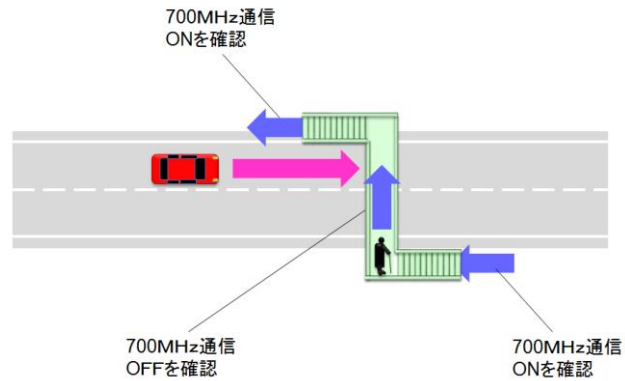


図 6.3-18 歩道橋上横断のシナリオ

歩道橋の横断に当たっては、車両に相当する車載端末(歩端末で代用)を持った試験者が歩道橋の歩道にいた状態で、歩行者が歩端末を持って歩道橋の上り下りを実施した。



図 6.3-19

また、今回評価した歩道橋上判定アルゴリズムについて概要を説明する。詳細は後述する危険判定アプリケーション仕様を参照。判定アルゴリズムでは、歩行者の位置、速度、方位と歩道橋の地図情報に基づき、歩道橋を中心とした2つの円での歩行者の位置関係と歩行者端末の気圧から歩道橋上を予測している。

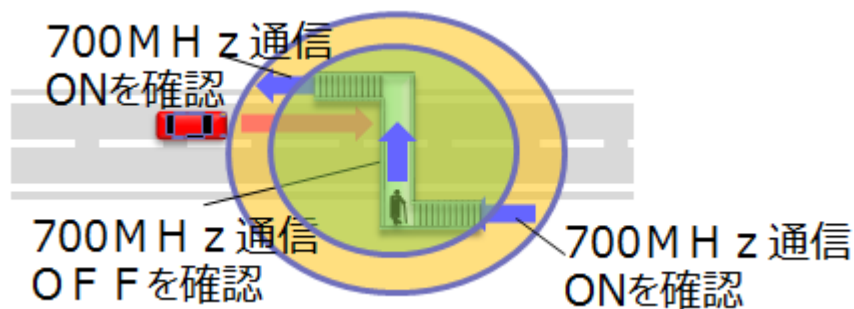
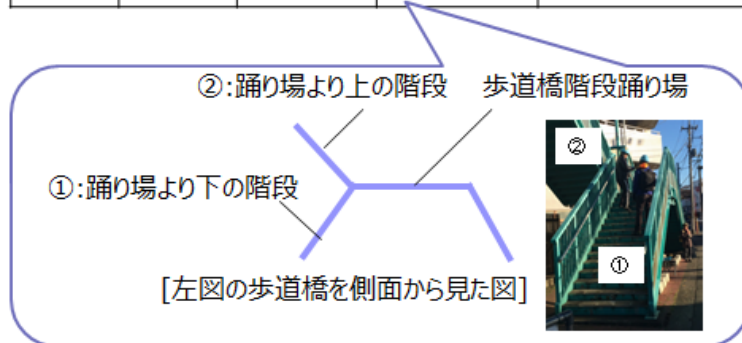


図 6.3-20 歩道橋上判定アルゴリズム

歩道橋上の横断についての評価結果を以下に示す。

表 6.3-9 歩道橋上横断 評価結果(事前評価)

	上り		下り	
	700MHz 圏内 (○/×)	歩道橋上 (○/×)	700MHz OFFの地点 下から×段目	700MHz ONの地点 下から×段目
1回目	○	○	②-8段目	②-0段目
2回目	○	○	②-8段目	①-12段目
3回目	○	○	②-6段目	①-15段目
4回目	○	○	②-8段目	①-12段目
5回目	○	○	②-9段目	②-3段目



歩道橋上判定では、歩道橋を登る前に歩車間通信(700MHz 通信 ON)をしていて、歩道橋を登った地点で歩車間通信が停止(700MHz 通信 OFF)となり、さらに歩道橋を下った時点で歩車間通信(700MHz 通信 ON)ができていることを確認した。歩道橋上での歩車間通信(700MHz 通信 ON/OFF)の位置は、図にあるように歩道橋の登りでは歩道橋階段の踊り場より上の②の地点の階段で下から 8 段目が多く、歩道橋の下りでは歩道橋階段の踊り場より下の①の地点で下から 12 段目の場合が多かった。歩車間通信(700MHz 通信 ON/OFF)の制御はうまく動作しているが、歩道橋の踊り場の上下の階段での切り替えとなっており、実際には歩道橋を登った最初の時点や歩道橋を降りた時点での切り替わりができるように精度を改善していけるとよいと考えられる。現在の判定アルゴリズムでは歩道橋を含む円と歩道橋上での高さを気圧計で計測して判定している。現在の歩行者の位置精度が 3m~5m であるので、本アルゴリズムで

の判定が妥当と考えている。しかし、位置精度が0.5m程度まで改善された場合には歩道橋と歩行者の位置関係での判定が可能となり、より精度が向上すると思われる。

今後の課題としては以下が考えられる。

① 様々な歩道橋形状への対応

エレベータ付きの歩道橋での検証や典型的な歩道橋以外の形状の歩道橋、例えば円形の歩道橋での検証、屋根がついていて位置測位に適さない歩道橋等、様々な歩道橋での検証の検討も必要である。

6.3.5. まとめと今後の技術課題

今年度は歩行者交通事故が多いシーンとして高齢者の単路横断、交差点での右折、子供の死傷者数が多い飛び出し、不要支援対策の一例として歩道橋上判定を実施した。その中でこれまでに述べた技術課題について以下に整理する。

表 6.3-10 今後の技術課題（本年度抽出分）

危険判定 アルゴリズム	課題	対策案	備考
共通	想定シーンとして歩行者が逆から横断してきたパターンでの検証が必要	想定シーンとして今年度は単路では高齢者の事故数が多い車両の進行方法とは反対側の歩道から横断してきたパターンを評価したが、その逆の車と同じ側の歩道から横断してきたパターンの対応が必要である。同様に交差点での右折、左折等も検討が必要である。	来年度の研究開発にて対応予定
共通	歩行者の一旦停止への対応	今年度は歩行者が止まらずに歩いてきた場合を想定し、歩行者の移動を線形予測したが、歩行者が途中で一旦停止した場合には、今年度の衝突判定アルゴリズムではそれまでの歩行者の速度から線形予測しているため、衝突判定が遅れる。本件への対応検討が必要である。	来年度の研究開発にて対応予定
共通	歩行者支援のための注意喚起以外の情報提供、警報への対応	ASV4 に運転手への支援方法として、情報提供、注意喚起、警報の3段階が規定されている。現在、歩行者支援に対しては規定されていないが、要件を規定する国土交	来年度の研究開発にて対応予定

		通省受託者から提示される規定にあわせ、情報提供と検討の実現検討が必要である。	
共通	車載端末対向評価	今年度は車と歩行者で共通な歩端末を使い、歩端末対向で評価を実施したが、車側のCANデータ等を使った実際の位置、方位、速度情報を使った車載端末対応の評価が必要である。	来年度の研究開発にて対応予定
共通	HMI 検討	今年度は歩行者の注意喚起手段としてスマートフォンへの表示と警告音を利用したが、歩行者の特性(年齢、性別、利用シーン)に応じた適切な通知方法の検討が必要である。	実用化フェーズで検討
共通	道路幅に応じた歩行者への注意喚起タイミングへの対応	今年度は典型的な道路幅について検証を実施したが、さまざまな道路幅に対応できる危険判定アルゴリズムの検討と注意喚起タイミングの検討が必要である。	実用化フェーズで検討
共通	歩行者の利用形態に応じた位置測位	歩行者が歩端末をポケットに入れたり、カバンに歩端末を入れた状態で歩端末を利用すると、現在の位置測位手段は衛星測位であるため、測位精度が悪く、水平測位誤差 3m 以上となる。 実用化を目指すためには本件の解決が必要である。 例えば、衛星アンテナと歩端末とを分離し、2 端末構成で実現する方法や、子供や女性のカバンにぶら下げる専用端末としての実現方法が考えられる。	実用化フェーズで検討
右折判定	右折時の歩行者への通知精度の向上	右折時の歩行者への通知を道路形状に依存せず、右折時の歩行者への通知をさらにはやく確実なものとするために車両のウinker情報を利用する等も検討する必要がある。	実用化フェーズで検討

		ある。	
右折判定	右折判定と衝突判定がほぼ同時	右折判定と注意喚起(衝突判定)がほぼ同時で、違いがわからない。 UIに工夫が必要と考えられる。また、右折時には衝突判定は遅れるため、衝突判定のアルゴリズムでウインカー情報を利用して方向を決め、方向を右折方向に予測して判定する等の改善も考えられる。	実用化フェーズで検討
飛び出し判定	歩行者の向き判定精度の向上	現在の歩行者の向きの判定精度が低く、センサーでの向き判定では感度は良く相対方位を求めるのに適しているが、周りの地磁気の影響や、絶対方位の計測には向いていない。また、衛星測位での向き判定は歩行者の軌跡より求め、絶対方位の計測には向いているが、衛星測位が難しい環境や、急な向きの変更には適していないため、双方の組み合わせた方法等で、歩行者の向き判定の精度向上が必要である。	来年度の研究開発にてどこまで改善するか検討が必要
飛び出し判定	衝突可能性判定の予測判定	①急な向きの変更で衝突判定が遅れている場合、歩行者が急に向きを変更した地点で歩行者の速度が出ておらず、車両との衝突の可能性を判定できていない可能性がある。その場合、想定で歩行者の初速を補い、衝突の可能性を判定する等、改善が必要である。 ②静止からの急な加速で衝突判定が遅れている場合、歩行者が急に加速した地点で歩行者の速度が出ておらず、車両との衝突の可能性を判定できていない可能性がある。その場合、想定で歩行者の初速を補い、衝突の可能性を判定す	来年度の研究開発にてどこまで改善するか検討が必要

		る等、改善が必要である。	
不要支援対応	さまざまな歩道橋での歩道橋判定の実現	エレベータ付きの歩道橋での検証や典型的な歩道橋以外の形状の歩道橋、例えば円形の歩道橋での検証、屋根がついていて位置測位に適さない歩道橋等、様々な歩道橋での検証の検討も必要である。	実用化フェーズで検討

表 6.3-11 今後の技術課題(これまでに抽出分)

危険判定 アルゴリズム	課題	対策案	備考
共通	想定シーンとして単路横断、交差点での右折以外の交差点での左折、直進、夜間等に対応した危険判定アルゴリズムの検討が必要	危険判定アルゴリズムを検討 ①交差点 左折判定 ⇒右折判定の改良で対応 ②交差点 直進判定 ⇒単路での衝突判定で対応 ③夜間 危険判定 ⇒それぞれの危険判定と注意喚起に加え、車両へ歩行者の存在を事前に知らせるための手段として、歩行者へ接近した場合に歩端末LEDの点灯等	来年度の研究開発にて対応予定
共通	位置精度改善	危険判定アルゴリズムの精度向上には歩行者のさらなる位置精度の向上が必要である。現状は道路のどちら側にいるかを判定できるレベル、水平測位誤差 3m で検討しているが、歩行者が歩道にいるか等まで判定するためには水平誤差 1m 以下の精度が必要である。	実用化フェーズで検討
共通	自転車への対応	歩端末を持って自転車に搭乗した自転車運転手への支援を実現する危険判定アルゴリズムの実現。自転車は歩行者と違い、道路の脇や路側帯を通行する。また、速度も出るため、自転車に応じた危険判定アルゴリズムの検討が必要である。	実用化フェーズで検討

不要支援対応	車/バス搭乗判定	車やバスに搭乗した場合には安全地帯とみなして、歩端末機能を停止し、不要支援へ対応する必要がある。	来年度の研究開発にて対応予定
不要支援対応	建物内判定	歩行者が建物内に入った場合には、安全地帯とみなして、歩端末機能を停止し、不要支援へ対応する必要がある。	実用化フェーズで検討
不要支援対応	ガードレールのある歩道判定	歩行者がガードレールのある歩道にいる場合は、安全とみなして、歩端末機能を停止し、不要支援へ対応する必要がある。	実用化フェーズで検討

7. 研究発表などの成果

(1) イ) 高度位置精度技術の開発に関わる研究発表等の成果

以下に本年度の成果を列記する。

その他の誌上発表リスト

- [1] 青山恭弘、南田智昭、坪谷寿一、平林立彦、「歩車間通信技術の開発」、『ITU ジャーナール 7月号』、平成 27 年 7 月 1 日
- [2] Yasuhiro Aoyama, Noriaki Minamida, Hisakazu Tsuboya, Tatsuhiko Hirabayashi, 「Development of Vehicle-to-Pedestrian Communication Technology」、『New Breeze 7月号』、平成 27 年 7 月 22 日
- [3] 山本康典、難波秀彰、青山恭弘、中川洋一、「ICT を活用した次世代 ITS の開発」、『自動車技術会会誌 12月号』、平成 27 年 12 月 1 日

口頭発表リスト

- [1] 青山恭弘 南田智昭、「[依頼講演] 総務省 SIP 自動走行 歩車間通信技術開発 中間報告」、電子情報通信学会 RCS 研究会、平成 27 年 4 月 16 日

出願特許リスト

- [1] 大久保 義行、上野 剛、須藤浩章、出願番号 2015-238651 歩行者端末装置、車載端末装置、歩車間通信システムおよび歩車間通信方法、日本
- [2] 大久保 義行、上野 剛、須藤 浩章 出願番号 2015-238655 歩行者端末装置、歩車間通信システムおよび歩行者情報送信方法、日本
- [3] 出願番号 PCT/JP16/001024 歩行者端末装置、車載端末装置、歩車間通信システム、ならびに歩車間通信方法、PCT 国際出願

報道発表実績

- [1] パナソニック、「ワイヤレス・テクノロジー・パーク 2015 展示」、平成 27 年 5 月 27 日
- [2] 青山恭弘、南田智昭、「課題Ⅱ 歩車間通信技術の開発（専用端末利用：直接通信）」、総務省一般公開講演会 情報通信が支える次世代の ITS（東京）、平成 28 年 2 月 25 日

表 7-1 研究成果一覧

	平成26年度	平成27年度	平成28年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 1件》	0件〈 0件〉 《 1件》
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 1件》	0件〈 0件〉 《 1件》
その他の誌上発表数	1件〈 0件〉 《 0件》	3件〈 0件〉 《 1件》	0件〈 0件〉 《 1件》	4件〈 0件〉 《 2件》
口頭発表数	0件〈 0件〉 《 0件》	1件〈 0件〉 《 1件》	0件〈 0件〉 《 1件》	1件〈 0件〉 《 2件》
特許出願数	7件〈 0件〉 《 2件》	2件〈 1件〉 《 2件》	0件〈 0件〉 《 1件》	9件〈 1件〉 《 5件》
特許取得数	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 0件》	0件〈 0件〉 《 0件》
国際標準提案数	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》
受賞数	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》
報道発表数	1件〈 0件〉 《 0件》	2件〈 0件〉 《 1件》	0件〈 0件〉 《 1件》	3件〈 0件〉 《 2件》
報道掲載数	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》	0件〈 0件〉 《 - 》

括弧内件数は海外における取組分の内数。《》内は計画件数。

(注 1) W3C、ISO 等での発表数含む。

(注 2) 報道発表には展示会での発表、総務省主催の成果発表も含む。

8. その他研究活動

8.1. 研究開発運営委員会

本年度は以下の3回の歩車通信開発 研究開発運営委員会を実施した。

- 【第一回】 2015年 7月31日 14～15時 パナソニック東京汐留ビル
- 【第二回】 2015年 12月3日 10～12時 NTTドコモ 国際赤坂ビル
- 【第三回】 2016年 2月15日 13～15時 株式会社 KDDI 総研 飯田橋 KDDI 本社ビル

各委員会での指摘事項と対応について以下に示す。

表 8-1 【第一回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応

指摘事項	対応状況
①検証での数値目標(TTC等)や課題目標(注意喚起手段等)を明確化 (Panasonic)	単路横断のケースにおいて車車間要件を参考に歩行者の場合に適用検討中
②想定シーンでの規模感(車線幅等)を明確化 (Panasonic)	単路横断のケースにおいて想定シーンの車線等の数値を明確化
③歩行者としての危険の定義を明確化する (Panasonic)	危険の定義を衝突5秒前と定義
④危険判定からの検討含め、間欠比率を明確化 (PSNRD)(Panasonic)	今年度は実証実験である領域を危険領域と設定し、低消費電力化への間欠比率の寄与度を検証
⑤事故データ収集については、メーカーや小竹先生等からのご協力を含めて検討する (NTTドコモ)	研究方針を変更したため、全体の変更として報告
⑥グローバルダイナミックマップとの連携について検討を推進進める。(KDDI総研)	SIP「地図構造化タスクフォース」に、9月よりオブザーバ参加。
⑦4社の役割を全体図としてまとめること(全社)	⇒次ページになります。

表 8-2 【第二回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応

指摘事項		対応状況
① 最適な手法、BLEビーコンの設置場所を検討	NTTドコモ	今年度、交差点の応用に関する基礎実験を実施し、検討のためのデータを収集いたしました。 これらを元に来年度、いただいたご指摘に関する検討を実施いたします。
② 想定システムのスペック、および貢献シナリオを明確化	NTTドコモ	
③ 事故発生環境と問題を明確にし、それを解決できる技術スペックを明確化	NTTドコモ	
④ グローバルダイナミックマップとの連携も含め、公共財として活用できるプローブデータの検討を進める	KDDI総研	ダイナミックマップとの連携については、内閣府地図構造化タスクフォースにオブザーバー参加し、継続し情報収集を行っている。
⑤ WebAPI、プライバシー保護など協調領域としての有効性を積極的にアピールしていく	KDDI総研	プライバシー保護の考え方については有識者委員会でも高く評価されており、自動車メーカ各社とも個別に意見交換し、有効性をアピールしている。プローブデータの利活用、WebAPIの有効性については、ハッカソンとも連携し、消費者にとって魅力的なアプリ、開発者にとって魅力的なビジネス領域、開発環境であることを積極的にアピールしている。 (2016/1/30-31 Webとクルマのハッカソン)
⑥ 実証実験を通じて装置内部遅延を精査し、システム動作タイミング条件を明確化	Panasonic	装置内部遅延の内、通信ログが多くあり、その部分を短縮することにより、遅延を1.9秒⇒1.5秒へ改善し、装置内部遅延を加味した注意喚起タイミングを実施した。
⑦ 事故発生シーンの想定を具体化し、歩端末と車載端末それぞれに必要な安全支援機能の検討	Panasonic	歩行者事故が多い、高齢者の単路横断、交差点での右折、子供の飛び出しシーンを具体化し、それぞれのシーンでの歩端末と車載端末支援方法を検討した。
⑧ SIP自動走行の体制俯瞰図を次回解説	Panasonic	⇒次ページになります。

表 8-3 【第三回】歩車通信開発 研究開発運営委員会 ご指摘事項と対応

ご指摘事項	対応	研究機関
① 情報に対する保護と活用をある程度想定して記載しておくべき	Web技術による活用シーン・ユースケースを明示するとともに、その際、課題となるプライバシー保護についても専門家の意見も十分反映させ開発を進めた。 また、W3CではAutomotive BG/WGにてSecurity and Privacy Task Forceを立ち上げ、プライバシーに配慮した標準化を推進している。	KDDI総研
② 700MHz通信の省電力化について、端末所有者の生活パターンや、GPS常時ONも鑑みて検討	端末所有者の生活パターンに応じて省電力化を検討する。 GPSの消費電流は700MHz帯通信状態に対して十分小さいため、主として700MHz通信の省電力化を検討する。	パナソニック/ PSNRD
③ 信号制御等、効果的なシナリオを絞りこむとともに、BLEの指向性の効果等も考慮し検討	適用交差点の見極めにおいては、BLEの技術的な特性、交差点規模、形状、コスト、およびシナリオを鑑みて検討を進める。	NTTドコモ

8.2. ビジネスプロデューサによる動向調査

ビジネスプロデューサ調査報告書は委託研究開発期間の3カ年に合わせ、以下のような計画で調査・報告を行う。平成27年度は事業化に向けた検討として普及課題、技術課題、標準化や規格化での課題検討を実施した。

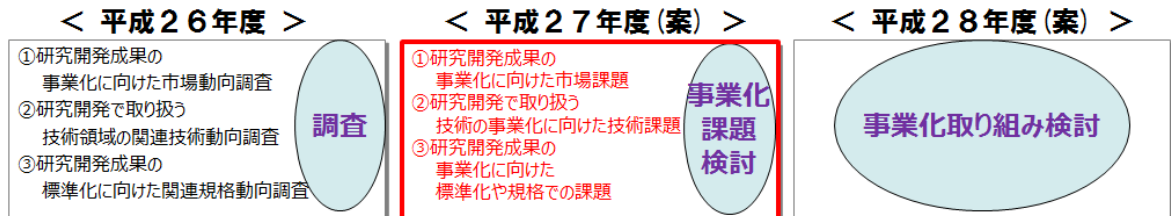


図 8.2-1 ビジネスプロデューサ調査報告 3カ年計画

・専用端末利用

1. 研究開発成果の事業化に向けた普及課題(ターゲット市場明確化)
2. 研究開発で取り扱う事業化に向けた技術課題
3. 研究開発成果の事業化に向けた標準化や規格での課題

9. 危険判定アプリケーション仕様

9.1. 危険判定アプリケーションのシステム構造設計

危険判定アプリケーションは、自端末の位置情報と他端末の位置情報を700MHz通信端末で送受信し、その位置情報を、アプリケーションの地図表示画面に表示する。

地図表示画面では、自端末と他端末の軌跡表示や、自端末と他端末の方向と速度を考慮して計算した未来の移動予測範囲の表示、移動予測から危険(衝突の可能性等)を検知して、バイブレーションや音で注意喚起する。



図 9.1-1 地図表示画面

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

9.2. ソフトウェア構成と機能概要

9.2.1. ソフトウェア構成

危険判定アプリケーションのソフトウェア構成を図 9.2-1 に記載する。

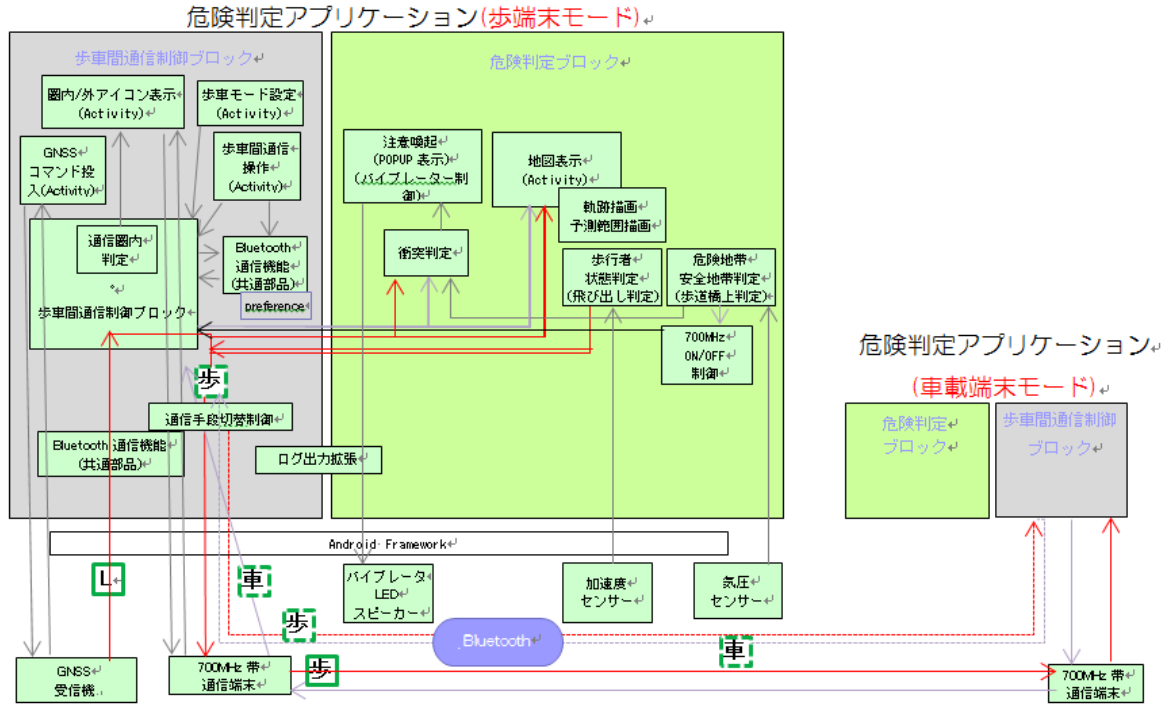


図 9.2-1 危険判定アプリケーションソフトウェア構成

9.2.2. 700MHz 帯通信端末との通信

本アプリケーションでは、自端末と他端末の通信に 700MHz 帯通信端末を使用する。

Android 端末と、700MHz 帯通信端末間は Bluetooth で通信を行う。

下記に、700MHz 帯通信端末のコマンド一覧と通信シーケンスについて記載する。

コマンド内容の詳細は別紙「歩車間通信_データフォーマット_r92.xlsx」に記載する。

表 9-1 コマンド一覧

コマンド	説明
POS	歩端末もしくは車端末の位置情報を送信する
P7_PWR	700MHz 帯通信端末の 700MHz 帯通信を ON/OFF 制御する
P7_CNF	P7_PWR コマンドに対する応答
DBG_P7_INFO_REQ	700MHz 帯通信端末の 700MHz 帯通信 ON/OFF 等、端末設定状態を取得する
DBG_P7_INFO_RES	DBG_P7_INFO_REQ に対する応答。700MHz 帯通信端末の 700MHz 帯通信 ON/OFF 等、端末設定状態を返却する
RTC_SET	700MHz 帯通信端末に時刻を設定する

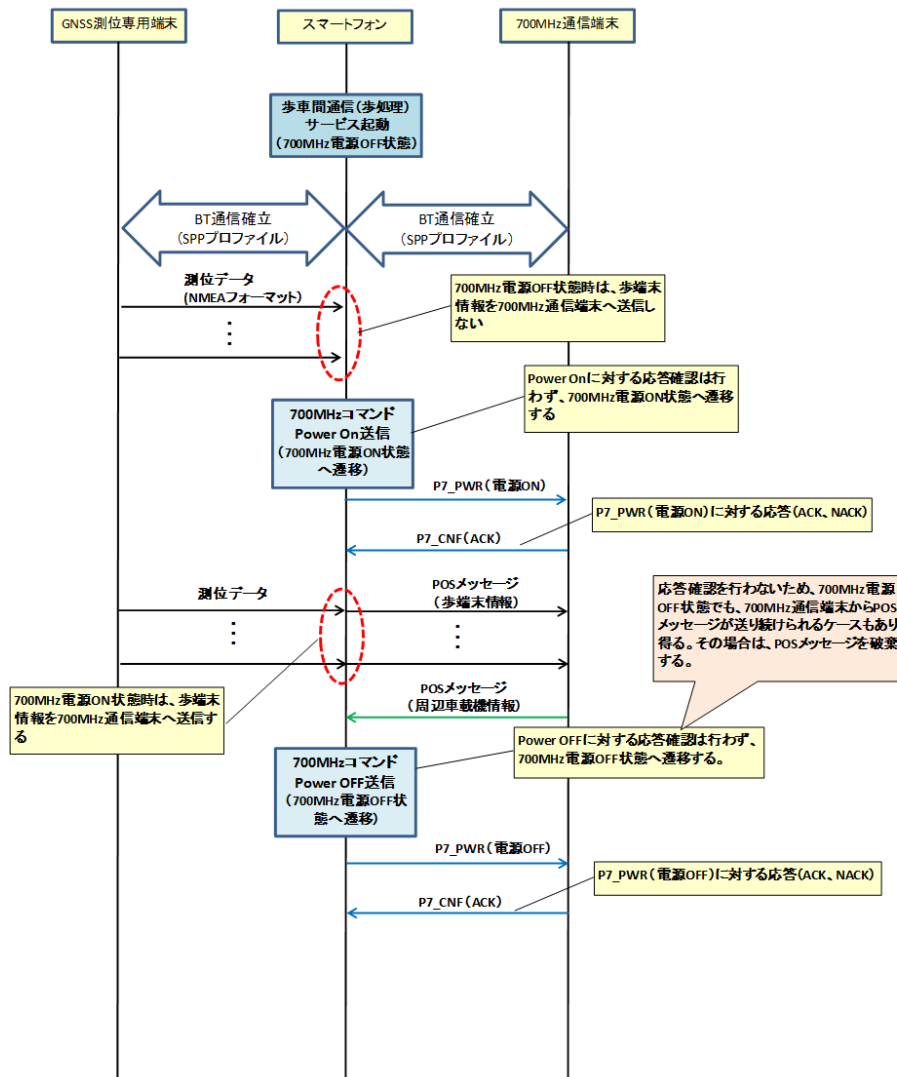


図 9.2-2 通信シーケンス

9.2.3. 機能概要

危険判定アプリケーションは、歩車間制御ブロック、危険判定ブロックおよび地図描画機能の3つの機能ブロックで構成する。

歩車間通信制御ブロックでは、送受信している位置情報の保持や管理を行う。危険判定ブロックでは、歩車間通信制御ブロックで保持や管理をしている最新の位置情報を取得し、危険判定を行う。地図描画機能は、軌跡、予測範囲、および危険判定ブロックの結果を地図表示画面への描画を行う。

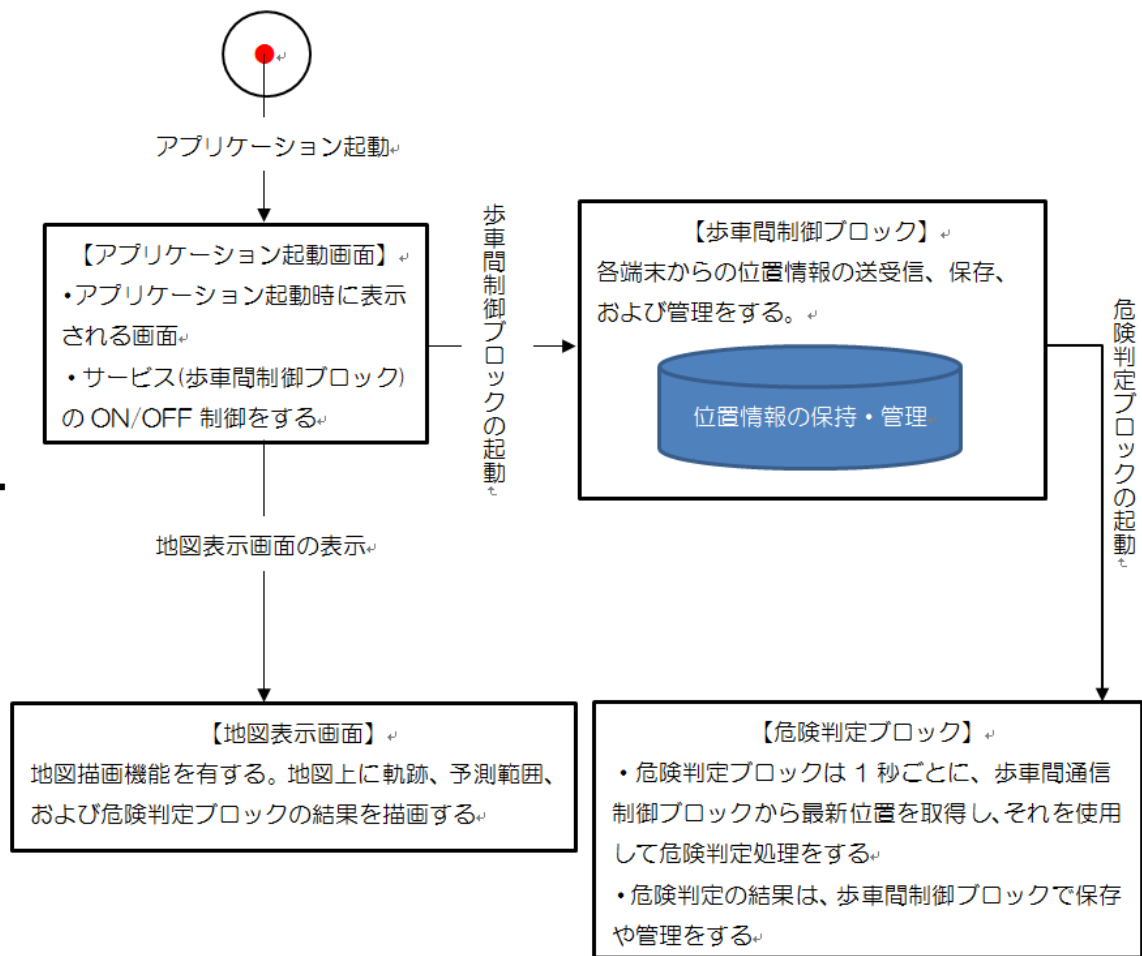


図 9.2-3 機能ブロックの構成

各端末(GNSS 受信機、Android 端末、700MHz 帯通信端末)から受信した位置情報を、地図表示画面に描画するまでの位置情報のデータフローを下図に記載する。

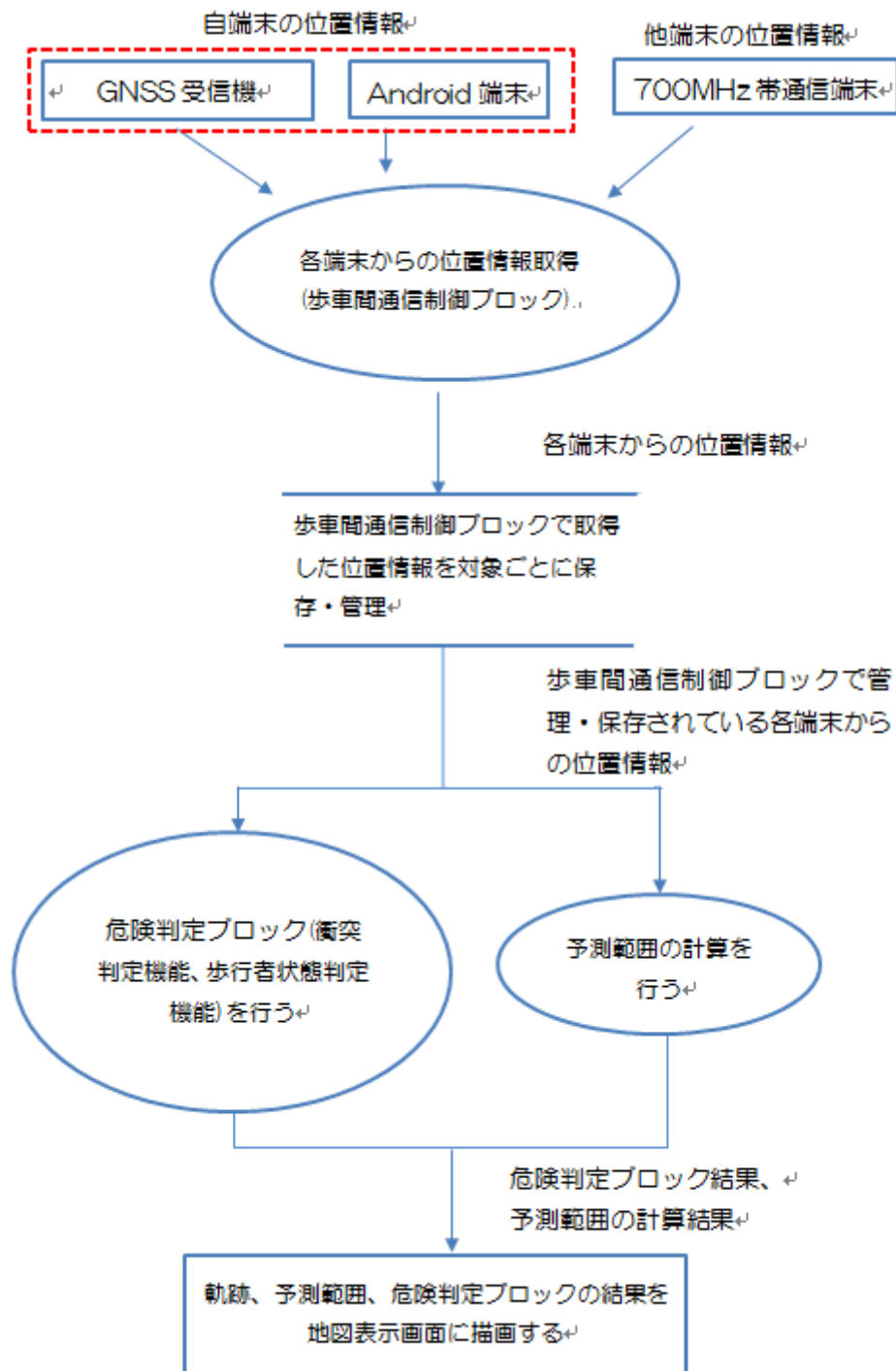


図 9.2-4 位置情報のデータフロー

9.2.3.1. 歩車モード設定機能

通常の歩行者用端末としてのモードで動作するか、対向試験用の車載モードで

動作するかの切り替えを行う。

9.2.3.2. 通信手段切り替え機能

本アプリケーションでは、700 MHz 帯通信端末を介して、アプリケーション同士を通信させるのが通常の通信手段である。

デバック用に 700 MHz 帯通信端末が無い状態でも、アプリケーション同士を通信させることで対向試験の実施を行えるようにする。

下図の赤い点線の丸の内に示すように、一方のアプリケーションの 700MHz 帯通信端末との Bluetooth 通信モードを、クライアントモードからサーバモードへ切り替えることで、アプリケーション同士の通信を可能とする。

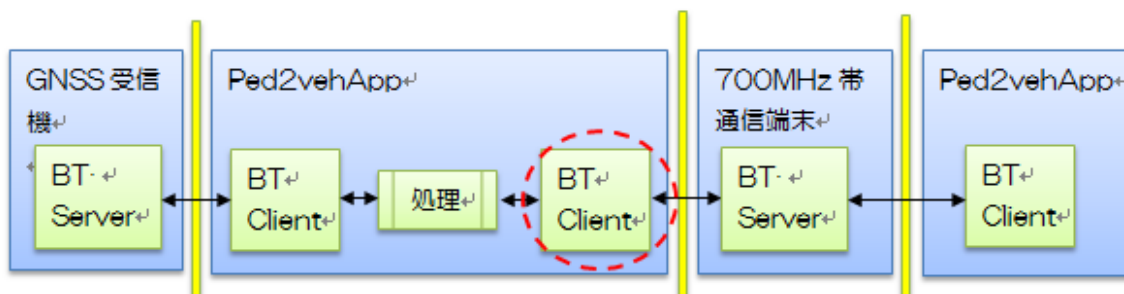


図 9.2-5 通常の通信手段

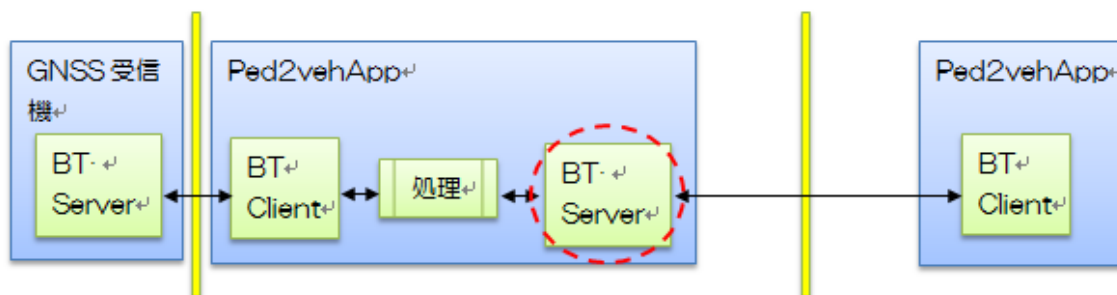


図 9.2-6 デバック用の通信手段

9.2.4. 歩車間通信制御ブロック

歩車間通信制御ブロックは、700MHz 帯通信端末や GNSS 受信機と、Bluetooth 通信して位置情報を送受信する。以下に歩車間通信制御ブロックの状態、状態遷移図、および機能の概要を説明する。

表 9-2 通信制御ブロック

No.	状態名	概要
1	初期状態	歩車間通信制御ブロックを起動した際、この状態となる。接続対象機器である 700MHz 帯通信端末、GNSS 受信機との接続確立や、Android 測位準備の必要な初期化処理を行う。
2	700MHz 電源 OFF 状態	700MHz 帯通信端末が 700MHz 帯通信機能を省エネのために電源 OFF している状態。700MHz 使用時点で接続が確立後、まず遷移する状態。
3	700MHz 電源 ON 状態	700MHz 帯通信端末が 700MHz 帯通信機能の電源 ON し、通信が可能な状態。この状態で位置情報が確定した際は、700MHz 帯通信端末へ送信する。
4	700MHz 未使用状態	700MHz 帯通信端末を使用しない状態。基本的には測位のみが動作している状態で、測位検証時の使用を想定。
5	終期状態	異常が発生してこれ以上の処理を実施しないと判断した際、もしくは歩車間通信制御ブロックが停止する際に遷移する状態。確立している 700MHz 帯通信端末、GNSS 受信機との接続の切断処理、Android 測位停止といった終期化処理を行う。

9.2.4.1. 700MHz 通信圏内外アイコン表示機能

700MHz 帯通信端末からの受信状態にしたがい、Notification エリアに通信圏内外アイコンを切り替え表示し、ログを出力する。700MHz 帯通信端末の受信状態の判定は歩車間制御ブロックが起動している間、判定し続ける。

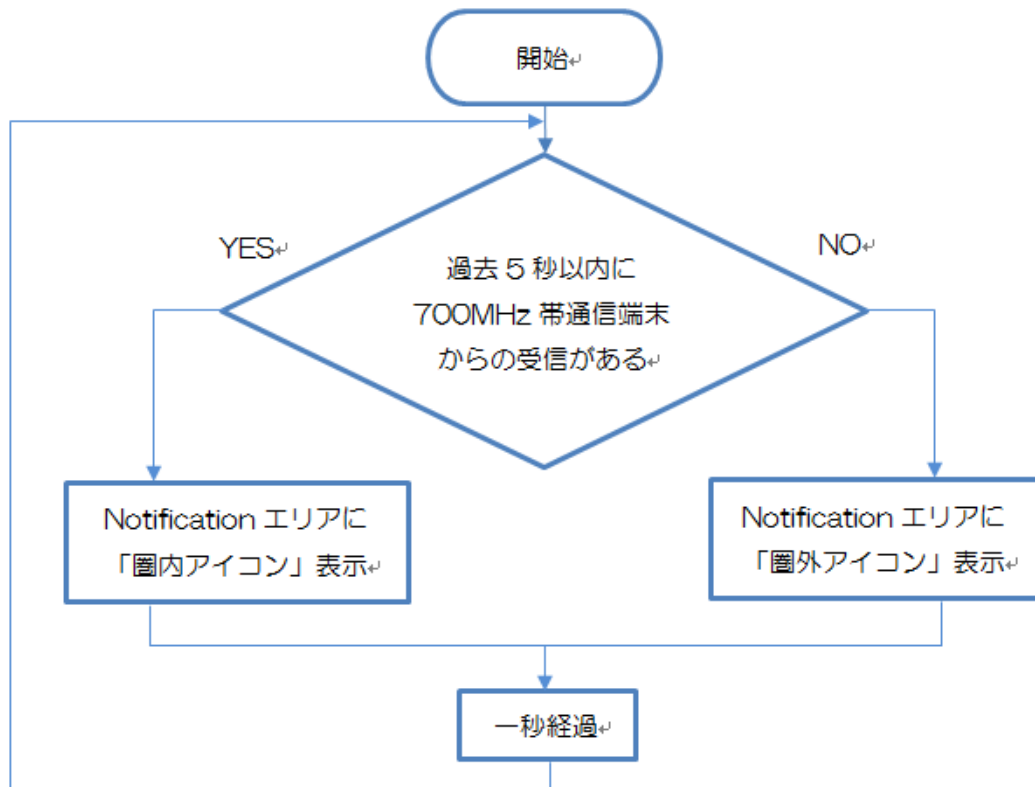


図 9.2-8 700MHz 通信圏内外アイコン表示機能

9.2.4.2. 位置情報の保存・管理機能

自端末、他端末から受信した位置情報の保存と管理を行う。

GNSS 受信機、Android 端末および 700MHz 帯通信端末、それぞれ最大 1000 個の位置情報を保持し、位置情報が 1000 個を超える場合は、最初に入れた位置情報から破棄を行い、後に受信したデータを保持する(FIFO)。

他端末に関しては 10 台分まで表示可能にするため、最大 1000 個の位置情報を 10 台分まで保持する。

他端末の位置情報は 200 台分/100ms 程度受信する可能性があるため、他端末

からの位置情報を受信する、または、自端末が移動するたびに自端末との距離を計算し、常に自端末に近いものから 10 台分を保持する。

9.2.5. 危険判定ブロック

危険判定ブロックは、歩車間通信制御ブロックから取得した位置情報をもとに、衝突判定、歩行者状態機能および危険地帯/安全地帯判定を行う。また、危険地帯/安全地帯判定の判定結果により、700MHz 帯通信端末の OFF/ON の切り替えも行う。以下に機能の概要について説明する。

9.2.5.1. 衝突判定機能

700MHz 帯通信端末から受信した他端末の位置情報および自端末の位置情報より、単路衝突判定、右折車判定を行う。単路衝突判定アルゴリズムは「9.6. 衝突判定アルゴリズム」に、右折車判定アルゴリズムは「9.7 交差点判定アルゴリズム」に記述する。

9.2.5.2. 歩行者状態判定機能

GPS の速度および方向の情報から飛び出し判定を行う。飛び出しを検出した場合には注意喚起機能に通知する。判定アルゴリズムは「9.9. 飛び出し判定アルゴリズム」に記述する。

9.2.5.3. 注意喚起機能

衝突判定機能で単路衝突もしくは右折車判定を検出した際、および歩行者状態判定機能により飛び出し判定を検出した際に、アイコンおよび Notification エリアにステータスを表示し、注意音を鳴らしてバイブレータを制御する。また、他の端末から「飛び出し検出通知」を受信した場合は、地図表示機能と連携してポップアップおよび Notification エリアにステータスを表示し、警告音を鳴らしてバイブレータを制御する。

9.2.5.4. 危険地帯/安全地帯判定機能

GNSS 受信機や GPS の位置情報から、自端末が歩道橋上にいるかを判定し、歩道橋上にいる場合には安全地帯、歩道橋上以外にいる場合には危険地帯と判定する。

歩道橋判定アルゴリズムは「9.8. 歩道橋判定アルゴリズム」に記述する。

9.2.5.5. 700MHz ON/OFF 機能

消費電力を抑えるため、安全地帯にいる場合には 700MHz 帯通信端末の通信を OFF にする。

9.2.6. 地図描画機能

地図描画機能では、地図表示画面に地図を表示し、歩車間通信制御ブロック、危険判定ブロックと連携し、各端末の軌跡や予測範囲、危険通知アイコン、安全地帯ラベルの描画を行う。

各描画は、地図描画面にてブロードキャスト Intent の受信を契機に行う。各描画のブロードキャスト Intent 名は下記とする。

表 9-3 ブロードキャスト Intent 名一覧

ブロードキャスト Intent 名	描画内容
com.panasonic.ped2veh.MAP_REFRESH	歩車間通信制御ブロックで保存・管理している位置情報から、自端末、他端末の軌跡（詳細は 9.2.6.2 軌跡、矢印、および丸印の表示機能参照）や予測範囲（詳細は 9.2.6.1 予測範囲描画機能参照）の描画を行う。
com.panasonic.ped2veh.MAP_MARKER_REFRESH	衝突判定、右折車判定、飛び出し判定の結果を、アイコンで地図に描画する。（詳細は 9.2.6.3 危険通知アイコン表示機能）
com.panasonic.ped2veh.CHANGE_AREA	歩行者が安全地帯にいる場合、安全地帯ラベルを地図表示画面に描画する。（詳細は 9.2.6.4 安全地帯ラベル表示機能）



9.2.6.1. 予測範囲描画機能

歩車間通信制御ブロックで保存・管理している位置情報から、最新の位置情報を取得し、自端末や他端末の方向と速度を考慮した、現在位置から 5 秒後までの予測位置の描画を行う。

9.2.6.2. 軌跡、矢印、および丸印の表示機能

地図上に軌跡、矢印、丸印、アイコンの表示を行う。内容を以下に示す。

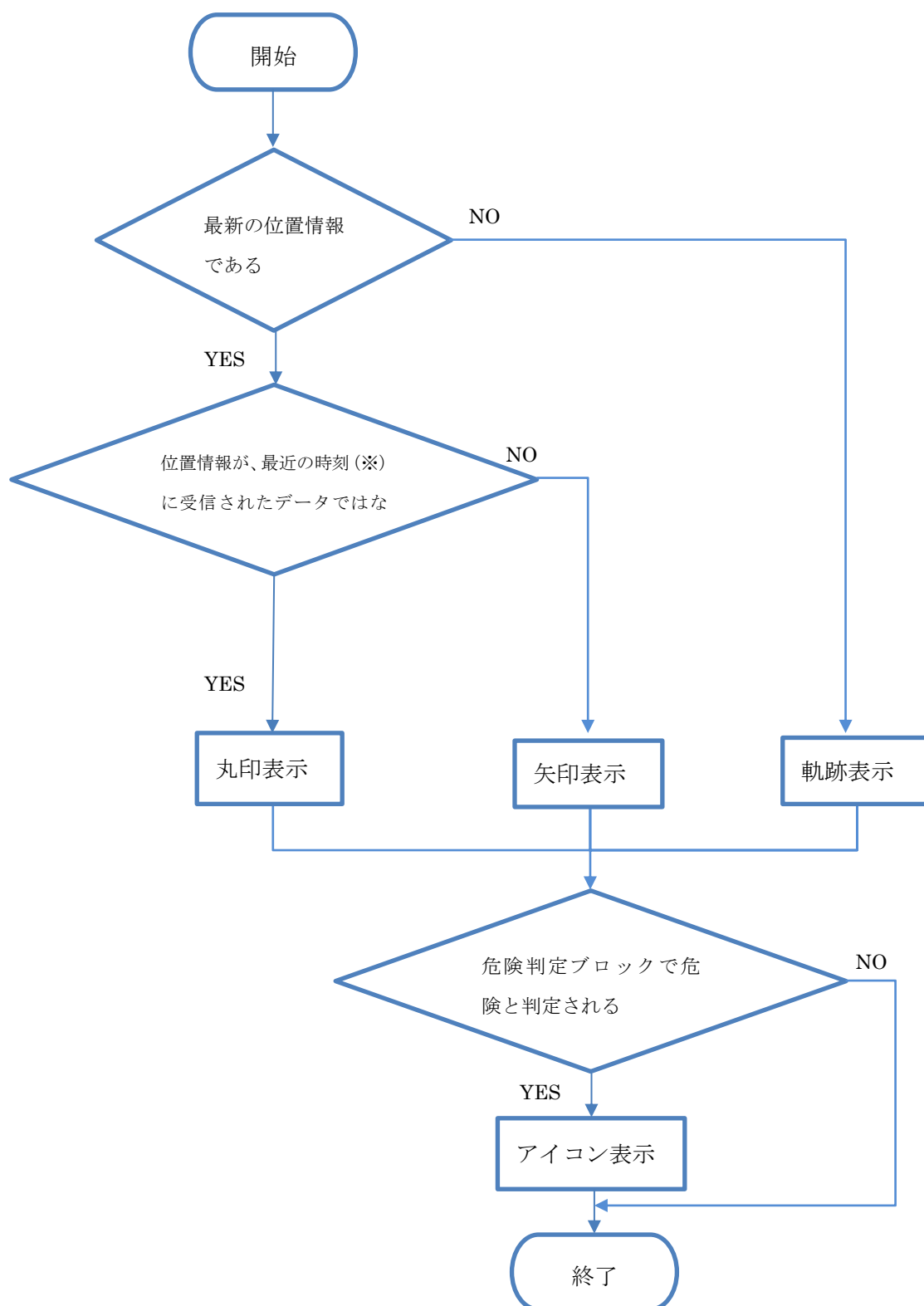
表 9-4 表示一覧

名称	画像	説明
軌跡	線	端末が移動した際に、移動前と移動後の間に線の描画をする。
矢印		最新位置に矢印を進行方向の向きで表示する。
丸印		2 秒以上位置情報の受信がない場合は、最新位置に丸印を表示する。

歩車間通信制御ブロックから取得した位置情報を、最新の位置情報から 1 つずつ地図上に描画していく。

下図は軌跡、矢印、丸印、アイコンの地図描画フローである。

他端末の位置情報に関しては、保持している台数分描画する。

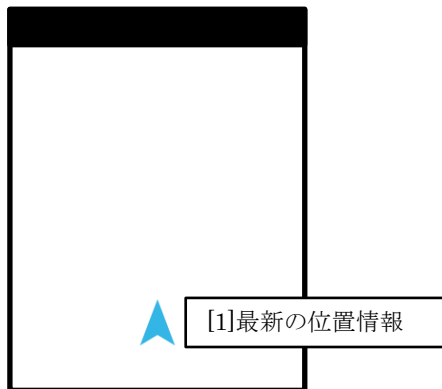


※最近の時刻とは、現在時刻から2秒前の間の時刻のことをさす。

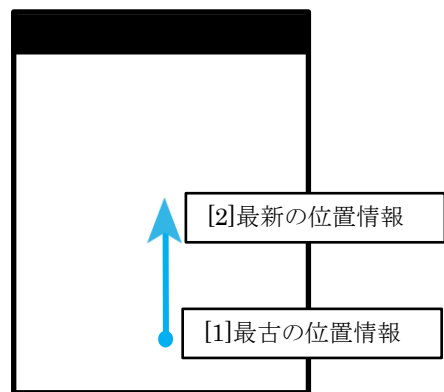
図 9.2-9 軌跡、矢印、丸印、アイコン表示フロー

以上の軌跡、矢印、丸印、アイコン表示フローを使用して、地図上に位置情報を描画する際の例を以下に記載する。

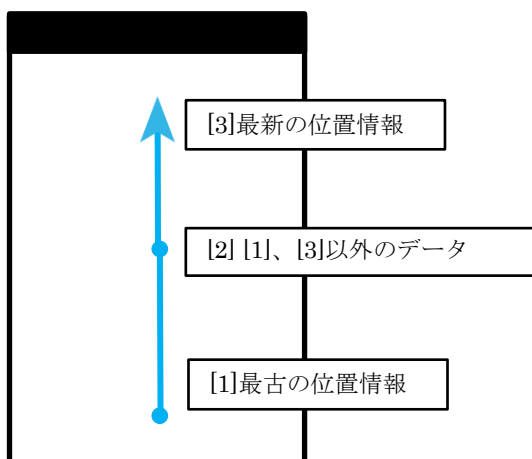
位置情報が 1 つの場合
[1]の描画



位置情報が 2 つの場合
[2]⇒[1]描画



位置情報が 3 つ以上の場合
[3]⇒[2]⇒[1]の描画



2 秒以上位置情報の受信がない場合
最新の位置に丸印を表示する

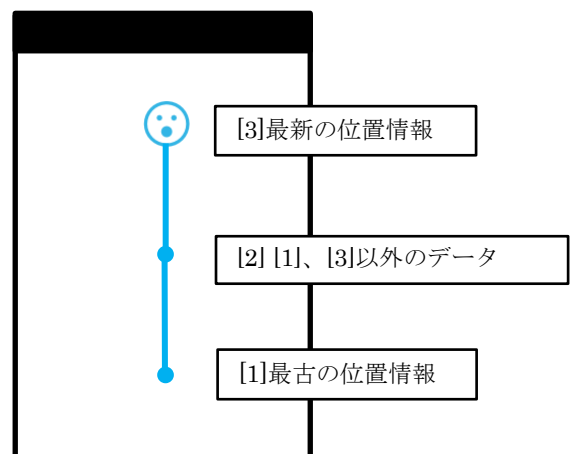


図 9.2-10 描画例

9.2.6.3. 危険通知アイコン表示機能

危険判定ブロックの結果を取得し、危険の種別ごとにアイコンを地図上へ描画する。表示したアイコンは、危険検知から一定時間(10秒)経過したタイミングで消去を行う。

9.2.6.4. 安全地帯ラベル表示機能

自端末が安全地帯にいる場合には、地図表示画面の画面下部に、安全地帯に
いることを示すラベルを表示する



図 9.2-11 安全地帯ラベル表示

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

9.3. 画面仕様

本アプリケーションは主に 2 つの画面で構成されており、ひとつはアプリケーション起動画面、もうひとつは地図表示画面である。アプリケーション起動画面では、歩車間通信制御ブロックの ON/OFF と、GNSS 受信機と 700MHz 帯通信端末との Bluetooth のペアリング設定を行い、地図表示画面では、軌跡、予測範囲および危険判定ブロック結果の表示を行う。

Bluetooth とのペアリング設定後、歩車間通信制御ブロックを ON にすると地図表示画面に遷移することが可能になる。

詳細は別紙「危険判定アプリケーション_ユーザインターフェース仕様書.xlsx」に記載する。

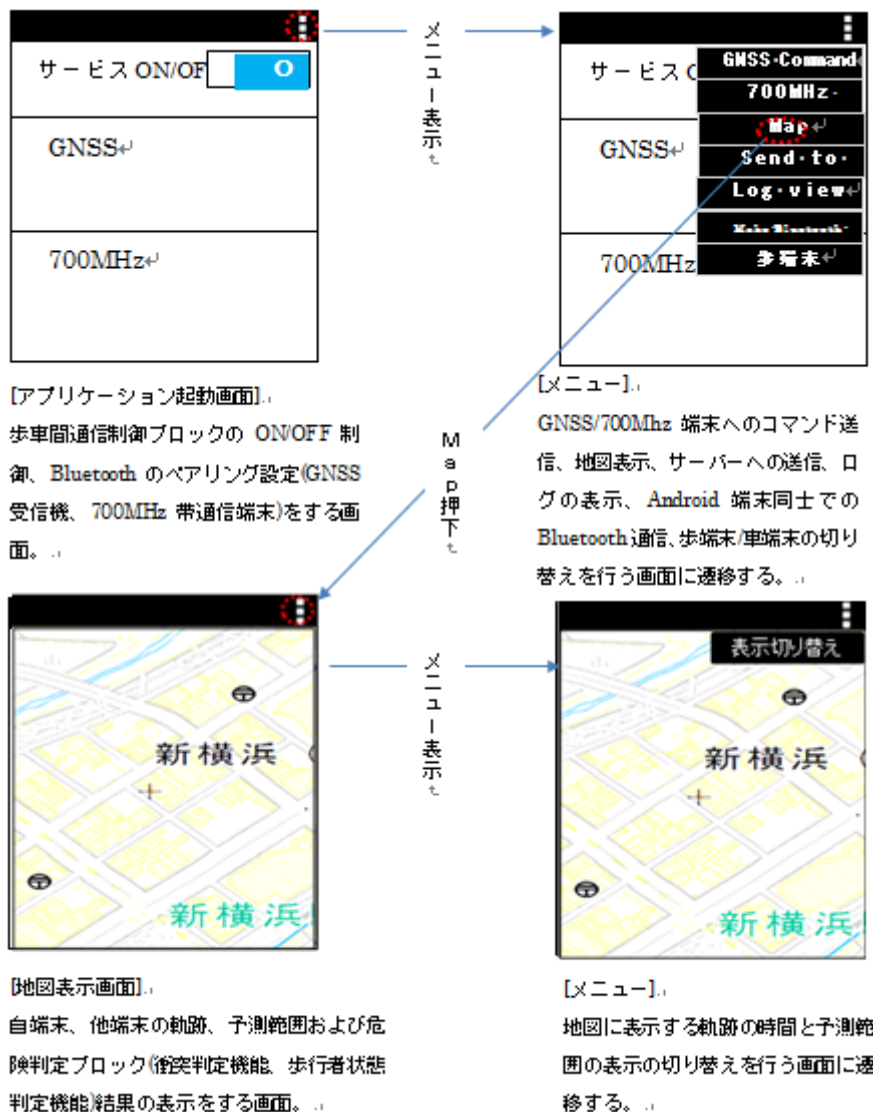


図 9.3-1 画面仕様

9.4. 緯度経度の座標変換

危険判定ブロック(衝突判定機能、歩行者状態判定機能、危険地帯/安全地帯判定機能)を行う際に、歩車間通信制御ブロックから取得した緯度経度の情報を座標(X,Y)に変換して危険判定を行う。

以下は、変換する際の計算式である。

$$\begin{aligned} X &= \alpha * \text{経度} \\ Y &= \beta * \text{緯度} \\ \alpha &= 90716.94018 \\ \beta &= 110951.6058 \end{aligned}$$

9.5. 位置情報の選択と設定

9.5.1. 位置情報のソースの選択設定

衝突判定アルゴリズム、交差点判定アルゴリズム、歩道橋判定アルゴリズム、飛び出し判定アルゴリズム、危険地帯判定アルゴリズムで用いる GNSS 受信機または Android 端末の位置情報について、下記モードで切り替えを行う。

モードの設定は UI で行い、`preference` で保持する。

表 9-5 モード名一覧

モード名	内容
VTG	GNSS 受信機の VTG センテンス受信時に位置情報・速度・方位を取り込む。
位置差分から算出	GNSS 受信機もしくは Android 端末の位置受信時に、前回の位置情報からの差分で、速度・方位を計算し、オリジナルの速度・方位ではなく計算値を用いる。
PSRMC	QZPOD の VTG センテンスの速度情報が、内部のフィルタの影響で、出力遅延が発生するため、フィルタ入力前の値を PSRMC センテンスから取得を行う。本モード時は GNSS 受信機の VTG の代わりに PSRMC 受信時に位置情報・速度・方位を取り込む。

9.5.2. 速度閾値以下の方位の固定設定

PSRMC 使用時にフィルタを通さないため、方位のばらつきが発生してしまう。

ばらつきは静止時に発生するため、ある閾値 (DIRECTION_FILTER_SPEED_THRESHOLD_MPS※) 以下の場合に、方位について前の状態を維持する。

モードの設定は UI で行い、`preference` で保持する。

パラメータは、以下のように定義する。

表 9-6 パラメータ定義

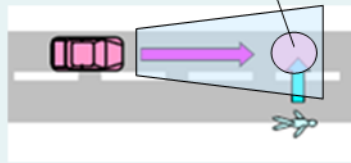
名称	説明
DIRECTION_FILTER_SPEED_THRESHOLD_MPS	停止判定速度閾値(=0.28 m/s)

9.6. 衝突判定アルゴリズム

衝突判定アルゴリズムについて、以下に記載する。

9.6.1. イメージ

表 9-7 衝突判定イメージ

想定シーン	シーン毎の衝突判定イメージ	だれが	何を検知	だれにどう支援
単路		車	・歩情報 ・車情報	運転手に注意喚起
		歩	・歩情報 ・車情報	歩行者に注意喚起

歩行者および車両の未来の位置を推定し、衝突の可能性を検出する。

歩情報は、自端末に接続された GNSS 受信機からの位置情報を示す。

車情報は、700MHz 帯通信端末から通知される他車両の位置情報を示す。

9.6.2. 前提条件

- 位置情報/速度/方位は、他の歩端末からの情報は約 1 秒毎(1 端末あたり)に受信、車載端末からの車情報は約 100m/s 毎(1 車載端末あたり)受信される (欠落・ブレあり)
- 位置情報/速度/方位に誤差がある
- 衝突判定時は、判定エリアが局所的なので、座標変換時に近似して X,Y 平面に投影する
- 高さ方向の衝突判定は対象外
- 速度の精度を加味する (最小速度*t, 最大速度*t でそれぞれ判定)
- 速度の加速度は考慮しない (未来の速度は固定)
- 衝突判定の速度推定は、速度を水平面の方向ベクトルだけに適用するため、坂道での速度に誤差がでる
- 方位の加速度は考慮しない (未来の進行方向は固定)
- 時刻は歩車で同期していない前提
- 車の位置情報は、受信した時刻でタイムスタンプをつけなおす
- 自端末の GNSS 受信機から受信した位置情報は、受信した時刻でタイムスタンプをつけなおす
- 計算に使用する位置精度、速度精度、方位精度は、自端末と他車両それぞれについて、規定の固定値を用いる

9.6.3. 検出手段

- GPS(GNSS)の位置情報
 - 位置：緯度・経度
 - 速度：Android:Location#getSpeed(), hasSpeed()==true, 単位:m/s
NMEA:VTG, 対地速度 km/h
 - 方位：Android:Location#getBearing(), hasBearing()==true, 単位:degrees
NMEA:VTG, 進行方向 度

- 他車両の位置情報(700MHz 帯通信端末経由の POS コマンド情報)
 - 位置：緯度経度
 - 速度
 - 方位

- 衝突判定で使用する位置情報

位置情報が規定時間の 10 秒を超える古いデータの場合に、判定から除外する。(自端末の位置情報が古い場合は、すべての衝突判定を行わない。)

9.6.4. 検出アルゴリズム

a) 計算式

タイムスタンプ T における、緯度経度高度を 2 次元座標系に変換する。(高度は無視)

「C) 座標変換」の係数 a, b を乗ずる

$$\begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \cdot \text{緯度} \\ \beta \cdot \text{経度} \end{pmatrix}$$

この時、方位 θ 、速度 v 、タイムスタンプ T の現在時刻からある時刻 t の中心位置を $L(t)$ とすると、

$$L(t) = v \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{pmatrix} (t - T) + \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$$

ただし、GPS の方位は、北が 0 度なので注意。

とあらわされる。

速度には、 $\pm V$ の速度誤差がある。

$$v - V \leq v \leq v + V$$

この速度の誤差を考慮して、

最大速度、最小速度が続いた場合の座標をそれぞれ $L_{min}(t), L_{max}(t)$ とすると、

$$L_{min}(t) = (v - V) \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{pmatrix} (t - T) + \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$$

$$L_{max}(t) = (v + V) \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{pmatrix} (t - T) + \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$$

また、方位に関しても $\pm M$ の誤差がある。

方位誤差を考慮した式は、 $\theta \rightarrow \theta + M, \theta - M$ と読み替える。

また、測位には測位精度による位置誤差があり、その中心点から、半径 R の誤差円 (2σ) の領域を考慮する必要がある。

以上を図 9.6-1 に示す。

図 9.6-2 方位誤差 $M=\pm 10$ 度のときの予測図

ここで、速度 $v_{\min} \sim v_{\max}$ 、方位 $-M \sim +M$ である軌跡がある時刻 t の誤差を含む推定位置になるため、図の赤線で囲われた領域内がその推定位置となる。

衝突判定においては、歩車それぞれについてこの領域を計算し、その重なる最小の時刻 t を求める必要があるが、この領域そのままでは複雑なため、円にて近似する。

近似円のパラメータは以下

中心点 $(p,0) =$ 平行移動、回転 $(-\theta) \cdot L(t)$

半径 $a(t)$

(中心 $(p,0)$ で赤点線を内接する円)

$a(t)$ は、中心点 $(p,0)$ から、 $\theta = \theta + M$ の時の $L_{\max}(t)$ の位置 $(B(t))$ とする)ま

での

距離に誤差円の半径を加えたものなので、

$$L(t) = v \begin{pmatrix} \cos\theta \\ \sin\theta \end{pmatrix} (t - T) + \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$$

$$p = v(t - T)$$

$$B(t) = (v + V) \begin{pmatrix} \cos(\theta + M) \\ \sin(\theta + M) \end{pmatrix} (t - T) + \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \end{pmatrix}$$

$$a(t) = |B(t) - L(t)| + R$$

となる。

$a(t)$ は、方位・位置に関係ないので、 $\theta = 0, x_T = y_T = 0$ とすると、

$$L(t) = v \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} (t - T)$$

$$B(t) = (v + V) \begin{pmatrix} \cos M \\ \sin M \end{pmatrix} (t - T)$$

$$a(t) = \left| \begin{pmatrix} (v + V)\cos M - v \\ (v + V)\sin M \end{pmatrix} (t - T) \right| + R$$

$$= \left| v \begin{pmatrix} (1 + V_{err})\cos M - 1 \\ (1 + V_{err})\sin M \end{pmatrix} (t - T) \right| + R$$

$$= v(t - T) \left| \begin{pmatrix} (1 + V_{err})\cos M - 1 \\ (1 + V_{err})\sin M \end{pmatrix} \right| + R$$

となる。

ここで、半径 a の近似円だと過剰な衝突円になってしまうため、有効範囲の割合を示す係数 C を定義する。

$$r(t) = a(t) * C$$

$0 < C \leq 1$, ただし、 $r(t)$ の最小値は R とする。

衝突判定は、自端末・他端末の現在時刻～5秒後(パラメータ)の範囲で0.1秒毎に上記 $r(t)$ を計算し、

円の衝突判定※で衝突と判定された最小の t を衝突時刻として処理を行う。

※ $L1(t), r1(t)$, $L2(t), r2(t)$ の円があったとすると、中心点間の距離が $r1(t) + r2(t)$ 以下なら衝突と判定する。

b) 予測範囲の描画座標

マップに現在時刻～5秒後までの予想範囲を表示するため、その座標の計算方法。

タイムスタンプ $t=T$ の値を用いて、現在時刻 $t=3+T$ ～未来の時刻 $t=5+(3+T)$ までの間に予測範囲を描画する場合、図 9.6-3 の $P0$ 、～、 $P9$ の10点の座標が必要になる。

時刻 t における座標は、

$$0 \text{ or } P1 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta + 90) \\ \sin(\theta + 90) \end{pmatrix}$$

$$P5 \text{ or } P6 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta - 90) \\ \sin(\theta - 90) \end{pmatrix}$$

$$P2 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta + 45) \\ \sin(\theta + 45) \end{pmatrix}$$

$$P3 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{pmatrix}$$

$$P4 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta - 45) \\ \sin(\theta - 45) \end{pmatrix}$$

$$P7 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta - 135) \\ \sin(\theta - 135) \end{pmatrix}$$

$$P8 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta - 180) \\ \sin(\theta - 180) \end{pmatrix}$$

$$P9 = L(t) + r(t) \begin{pmatrix} \cos(\theta + 135) \\ \sin(\theta + 135) \end{pmatrix}$$

とあらわされる。

描画時に緯度・経度が必要な場合は、座標変換の $\alpha \cdot \beta$ で除算して X,Y 座標系から経度・緯度に変換する。

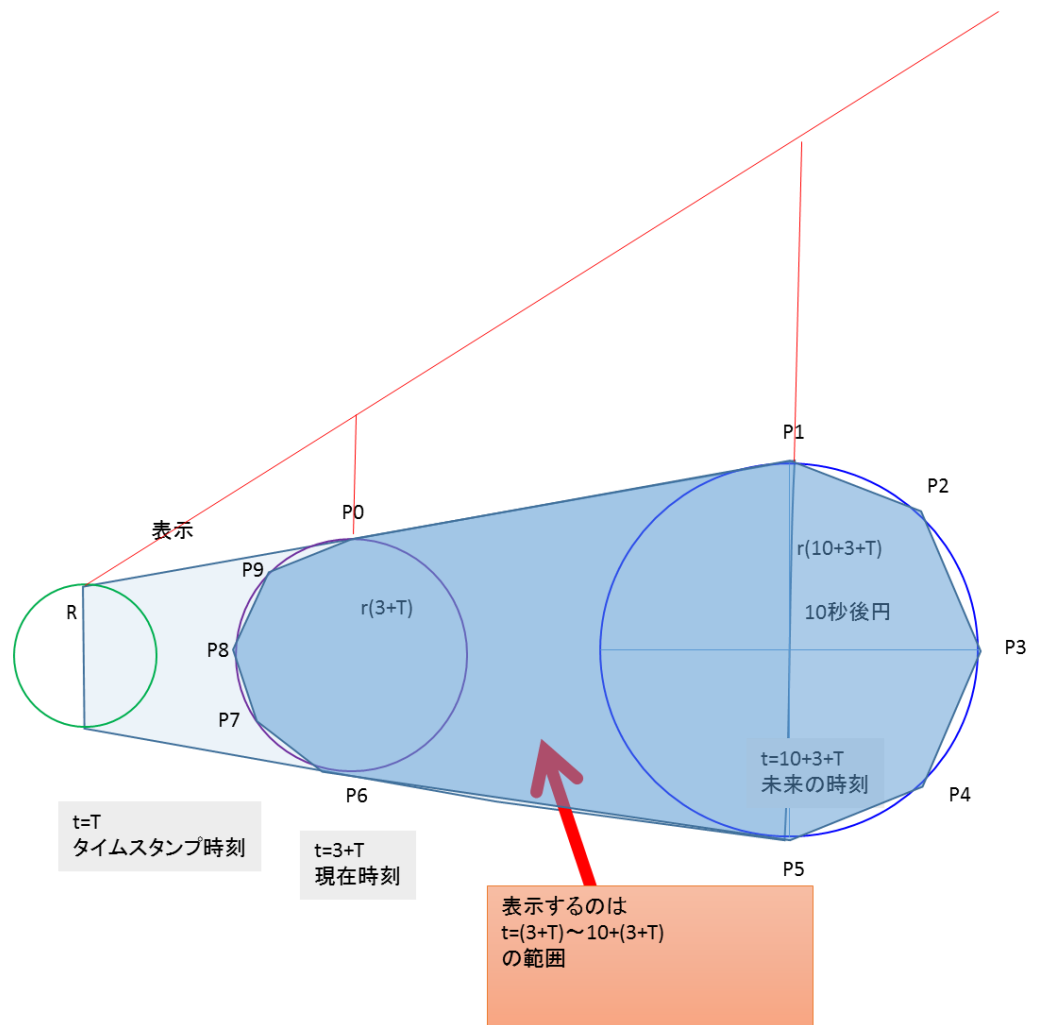


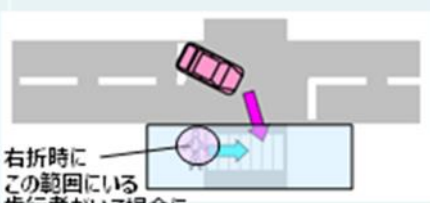
図 9.6-3 現在時刻～未来時刻 $t=5+(3+T)$ までの台形描画

9.7. 交差点判定アルゴリズム

交差点判定アルゴリズムについて、以下に記載する。

9.7.1. イメージ

表 9-8 衝突判定イメージ

想定シーン	シーン毎の衝突判定イメージ	だれが	何を検知	だれにどう支援
交差点右折	 <p>右折時にこの範囲にいる歩行者がいる場合にアクション</p>	車	-	-
		歩	・歩情報 ・車情報	・歩行者に注意喚起

歩行者および車両の未来の位置を推定し、衝突の可能性を検出する

9.7.2. 前提条件

- 歩行者は信号が青の時に横断歩道を渡る
 - ◇ 青～点滅・赤になっても歩行者は渡る
- 車は、信号が青または、右折専用時に右折する
- 右折レーンに並んでいる車および、右折している車を対象とする
- 右折車と交差する横断歩道を渡っている/渡ろうとしている歩行者が注意喚起される対象
- 判定は、最新の位置情報を用いる。衝突判定のように、タイムスタンプからの位置を予測しない
- 歩行者の方位は、GPS 情報を用いる(飛び出し判定の値は用いない)
- 位置情報が規定時間の 10 秒を超える古いデータの場合に、判定から除外する。(自端末の位置情報が古い場合は、すべて行わない。)
- 判定は $t(=1)$ 秒毎に行う

9.7.3. 注意喚起方法

a) 円近似

- 矩形領域の計算時間の短縮のため、円で近似する
- 交差点の右折シーンを図に示す
- 図の矢印で、青・紺・水色が車、赤・暗赤・緑が歩行者を示す
- 青と、赤の矢印が、右折時の注意喚起の対象外となる
- 交差点の中心を定義し、
 - ◇ 交差点内の距離 $r1$ 以内を交差点(area1)とする
 - ◇ 交差点内の距離 $r2$ 以内を交差点(area2)とする
- 判定対象の横断歩道の中心を定義し、横断歩道内の距離 $r3$ 以内を横断歩道(area3)とする
- 交差点への進入位置を定義し、交差点の中心への方向ベクトルを V_{cr} とする(V_{cr} は単位ベクトル)
- 交差点の中心から横断歩道の中心への方向ベクトルを V_{cw} とする(V_{cw} は単位ベクトル)

b) 右折監視対象の車の判定

- 車の位置から、交差点の中心への距離 d を計算し、車の位置が area1 内にいるとき($d \leq r1$)
 - ◇ 車の方向ベクトル dir と V_{cr} の内積が一定範囲内(DOT1)なら、監視対象の車とする(図中の紺の矢印)
 - ◇ 以降、ベクトルの内積が一定範囲外になっても area1 内にいるときは、監視対象として継続する
- 監視対象の車が area1 外になったとき($d > r1$)に、監視対象から外す。
- 監視対象の車の位置が area2 内にいるとき($d \leq r2$)、
 - ◇ 交差点の中心から車の位置への方向ベクトル V_{crc} とベクトル V_{cw} との内積が一定範囲内(DOT2)なら右折監視対象の車とする(図中の青の矢印)

c) 注意喚起対象の歩行者の判定

- 歩行者の位置から、横断歩道の中心への距離を計算し、歩行者の位置が area3 内にいるとき(図中の暗赤の矢印)
 - ◇ 歩行者の方向ベクトル dir と V_{cw} の内積が一定範囲内なら(DOT3,DOT4)注意喚起対象の歩行者とする(図 9.7-1 中の赤の矢印)

d) 注意喚起

- 歩行者は、右折監視対象の車が存在するとき注意喚起される
- 右折監視対象の車には、通知を送信する。なお、歩行者から近い順に通知を行い、通知可能な上限に達した場合は、そこまでとする

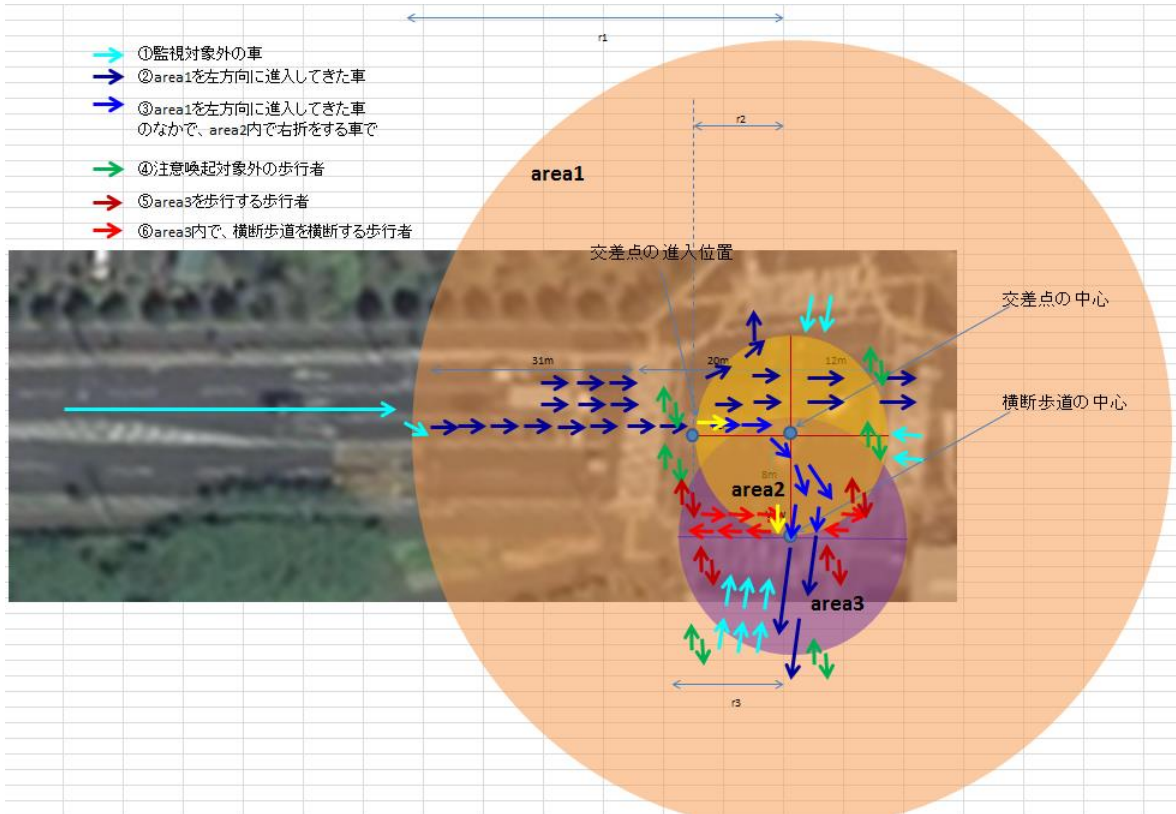


図 9.7-1 右折シーン

(地図データ出典：国土地理院ホームページ)

(Vcr : Vector of crossroads , Vcw : Vector of crosswalk ,
Vcrc : Vector of crossroads to car)

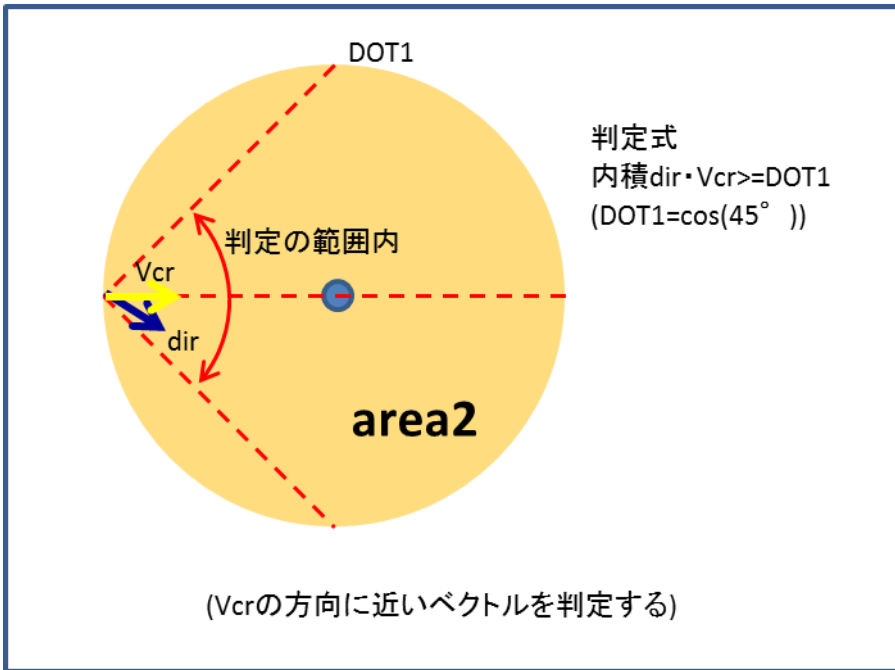


図 9.7-2 車の方向ベクトルと V_{cr} の判定範囲(DOT1)

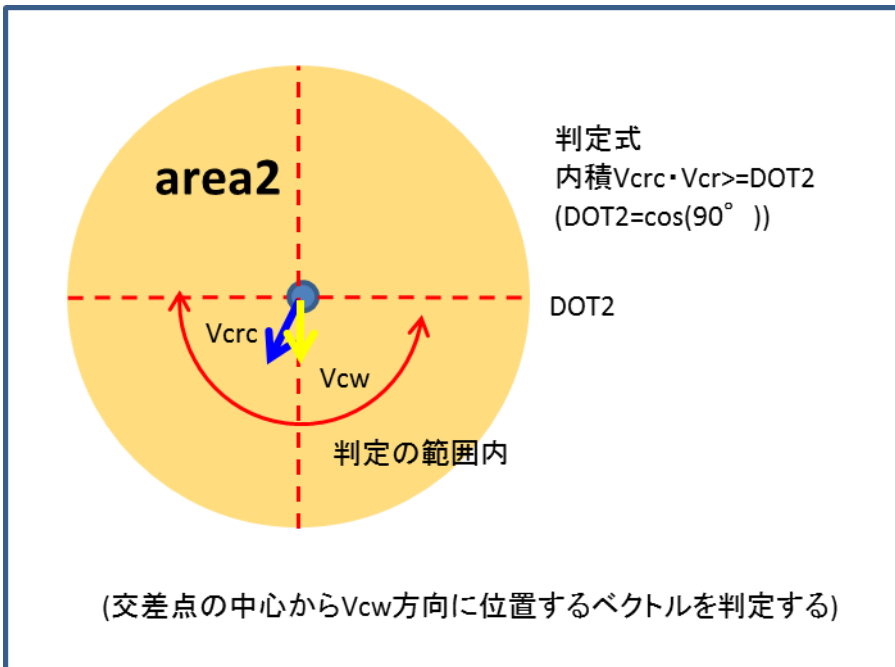


図 9.7-3 V_{cr} と V_{cw} の判定範囲(DOT2)

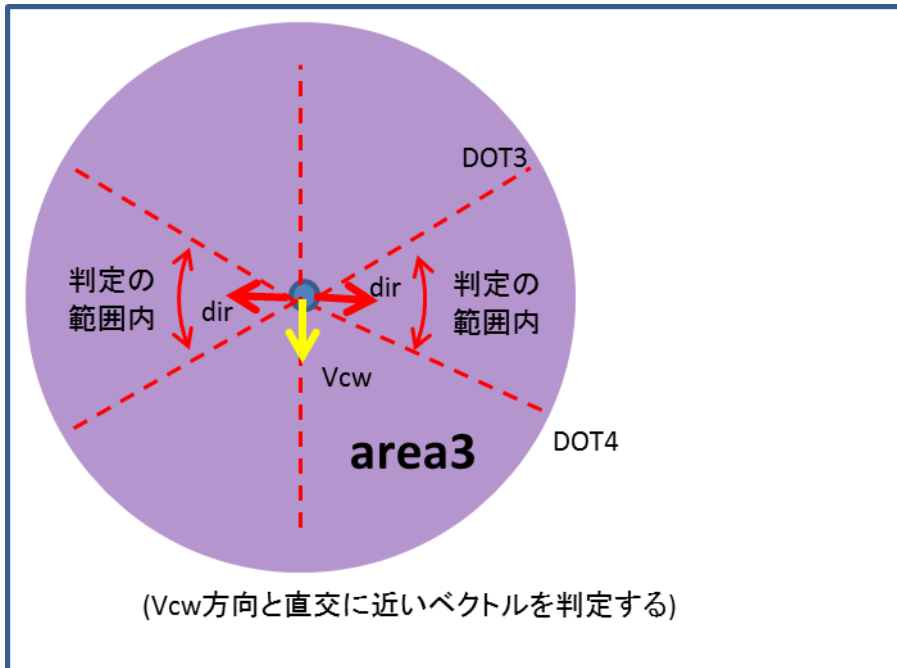


図 9.7-4 歩行者の方向ベクトルと Vcw の判定範囲(DOT3,DOT4)

9.7.4. データについて

交差点データは、あらかじめファイルに定義し、ストレージ内の決められたフォルダ配下に配置する。アプリケーションはそのファイルを参照する。

フォルダのパス : `getExternalStorageDirectory()`で取得できる端末ストレージパス/`ped2veh02/crossroad_data/`

なお、進入口が4つあれば、それぞれ別の定義になり、ひとつのファイル内に複数定義される。

表 9-9 交差点データのファイル定義パラメーター一覧

パラメータ名	値
交差点の中心位置	緯度、経度
交差点の進入位置	緯度、経度
横断歩道の中心位置	緯度、経度
area1 の半径	距離
area3 の半径	距離
判定範囲 DOT1	角度
判定範囲 DOT2	角度

判定範囲 DOT3	角度
判定範囲 DOT4	角度

※ area2 の半径は、交差点の中心位置・進入位置の距離を計算

※ 分かりにくいので、角度で定義して、内部で cos を計算する

データは CSV 形式で記載する。先頭に交差点 ID を付け、その後ろに「交差点の中心位置経度」、「交差点の中心位置緯度」、「交差点の進入位置経度」、「交差点の進入位置緯度」、「横断歩道の中心位置経度」、「横断歩道の中心位置緯度」、「area1 の半径」、「area3 の半径」、「判定範囲 DOT1」、「判定範囲 DOT2」、「判定範囲 DOT3」、「判定範囲 DOT4」の順で、記載する。

記載例を以下に示す。

記載例：

```
# Crossroad data.
1.139.706681.35.690037.139.706657.35.689942.139.706985.35.689894.53.063
58666.8.20073715.45.90.120.60.
```

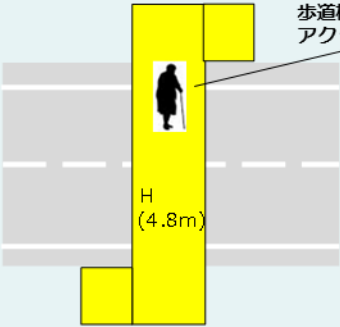
※#から始まる行はコメントアウトとする。

9.8. 歩道橋判定アルゴリズム

歩道橋判定アルゴリズムについて、以下に記載する。

9.8.1. イメージ

表 9-10 歩道橋判定イメージ

想定シーン	シーン毎の判定イメージ	だれが	何を検知	だれにどう支援
歩道橋		車	-	-
		歩	歩道橋上	歩情報を700MHz端末に送信しない

歩道橋判定を行い、歩行者が歩道橋の上にいることを検知する。
歩道橋の上にいる際は、衝突の可能性が無いため安全地帯となり、衝突判定機能、歩行者状態判定機能(飛び出し)、注意喚起機能、700Mhz 帯通信端末の通信を OFF にする。

9.8.2. 前提条件

- 法律上、歩道橋の高さは、最低 4.8m(wiki)となっている
- 歩道橋判定において、目的は、「歩道橋にいるときは、道路に出ることがないため、衝突判定をしない」ということなので、登りきったところだけでなく、接続部の階段・スロープ部分も歩道橋として含まれる
- 坂の一部に設置しているものは、坂と、歩道橋の区別がつかないため、対象外とする
- 道路が垂直方向でかさなっているようなところは、現状の衝突判定の対象外なので、対象外とする
- 実験から、気圧のブレは、0.1hPa 程度で、0.74m 相当なので、歩道橋の高さ 4.8m の半分 2.4m 以上(パラメータ)の高度が高いところを「歩道橋」と判定する

9.8.3. 判定式

それぞれの項を以下に定義する。

- ◇ 歩道橋の中心座標(緯度経度)から変換した座標(x1,y1)
- ◇ 歩行者の座標(x2,y2)
- ◇ 歩道橋の範囲円半径 R1
- ◇ 高さ基準に使用する範囲半径 R2
- ◇ 逐次更新される気圧の現在値 P

なお、歩行者の位置情報の誤差は加味しない(する場合は、R1,R2 に加算する)

距離 $d = \text{SQRT}((x2-x1)^2 + (y2-y1)^2)$ を計算。

【R1<d<=R2 の場合】

基準となる気圧 P を Pbase 保持する。

Pbase が無効値の場合

$$P_{\text{base}} = P$$

Pbase が有効値の場合

忘却係数付きのフィルタ出力値として計算した値を使用する

$$\text{(例 } P_{\text{base}} = P_{\text{base}} * k + P * (1-k) \text{ , } k=0.8)$$

【 $d \leq R2$ && Pbase が有効 && 歩道橋に登ったと判定していない場合】

$Hbase - H \geq Hth1$ (=2.4)

が成立した場合は、
歩道橋に登ったと判定する。

ここで、Hbase, H は、以下を用いて取得する。

$Hbase = \text{SensorManager\#getAltitude}(\text{SensorManager.PRESSURE_STANDARD_ATMOSPHERE}, Pbase)$

$H = \text{SensorManager\#getAltitude}(\text{SensorManager.PRESSURE_STANDARD_ATMOSPHERE}, P)$

【 $d \leq R2$ && Pbase が有効 && 歩道橋に登ったと判定している場合】

$Hbase - H \leq Hth2$ (=2.0)

が成立した場合は、
歩道橋から降りたと判定する。

(Hth1,2 はヒステリシスを作るために設定)

【 $R2 < d$ の場合】

歩道橋判定を終了する。

Pbase を無効値でクリアする。

歩道橋に登ったと判定している場合は、降りたと判定する。

登る・降りる判定を $d \leq R1$ としていない理由は、位置情報が安定しない可能性があるためである。気圧情報はある程度安定しているので、Pbase さえ一度取得できれば、位置情報によらず気圧だけで判断を行うことが可能である。

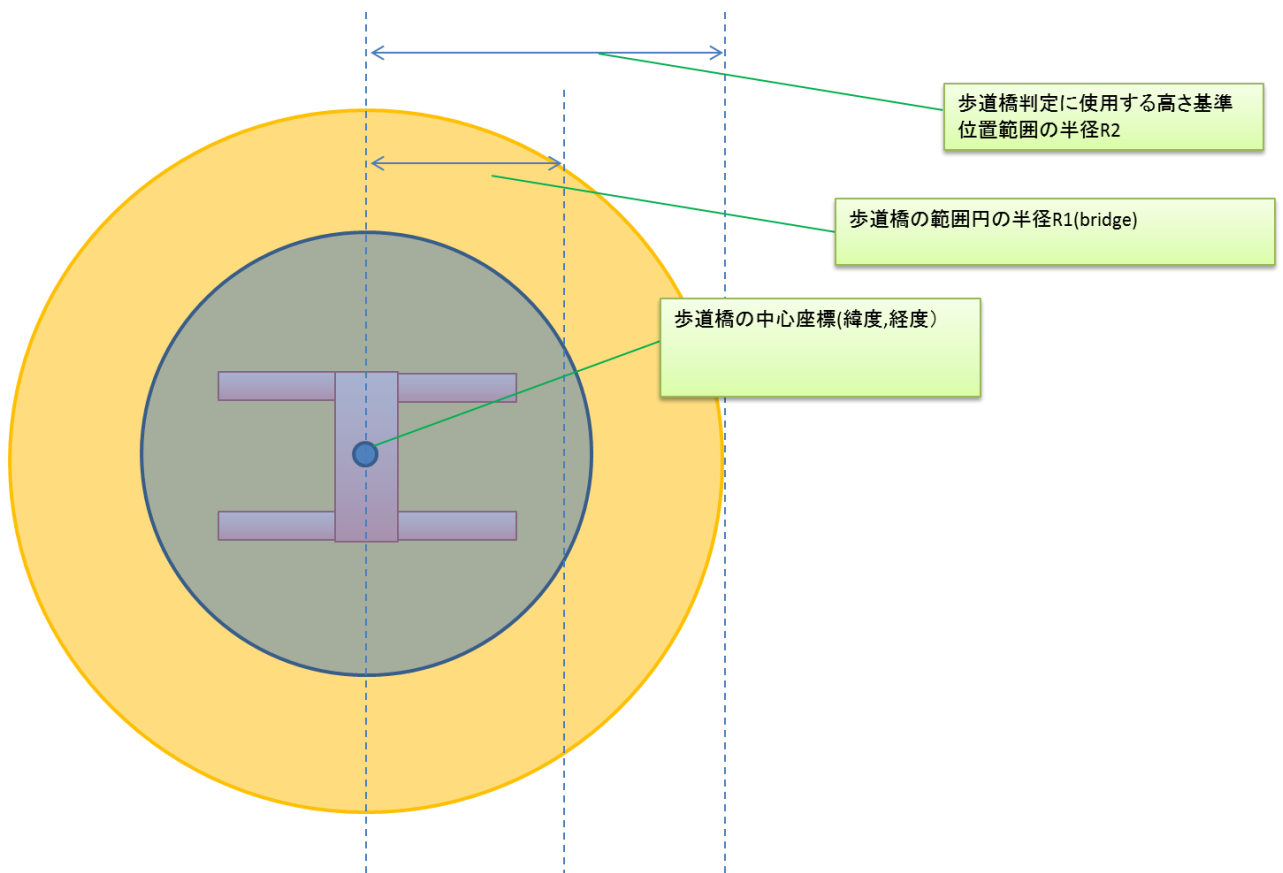


図 9.8-1 歩道橋の範囲円および高さ基準に使用する範囲

9.8.4. データについて

歩道橋データは、あらかじめファイルに定義し、ストレージ内の決められたフォルダ配下に配置する。アプリケーションはそのファイルを参照する。

フォルダのパス : `getExternalStorageDirectory()`で取得できる端末ストレージパス/`ped2veh02/pedestrian_bridge_data/`

表. 8-1 歩道橋データのファイル定義パラメーター一覧

パラメータ名	値
歩道橋の中心経度	経度
歩道橋の中心緯度	緯度
歩道橋の範囲円	距離
高さ基準の範囲円	距離

データは CSV 形式で記載する。先頭に歩道橋 ID を付け、その後ろに「歩道橋の中心経度」、「歩道橋の中心緯度」、「歩道橋の範囲円」、「高さ基準の範囲円」の順で、記載する。

記載例を以下に示す。

記載例：

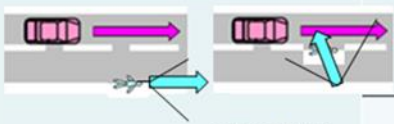
```
# Crossroad data.
1.139.711172.35.691446.22.32.
```

※#から始まる行はコメントアウトとする。

9.9. 飛び出し判定アルゴリズム

9.9.1. イメージ

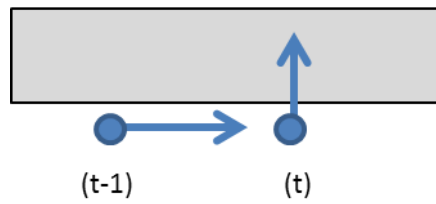
表 9-11 飛び出し判定イメージ

想定シーン	歩行者状態イメージ	だれが	何を検知	だれにどう支援	衝突判定(式)
飛び出し	 <p>①車両の向きに急加速した場合に ②車両の向きに急に向いた場合に注意喚起</p>	車	<ul style="list-style-type: none"> 歩情報 車情報 	運転手に注意喚起	対象外
		歩	<ul style="list-style-type: none"> 歩情報 急加速等(1秒より短く) 車情報 	<ul style="list-style-type: none"> 運転手に注意喚起するため歩情報として送信 車両接近 飛び出し注意 	

9.9.2. 検出する動き

時刻を t としたときの移動の仕方で、[A]と[B]に分類。移動・静止は、GPS の速度・方位を用いて判定する。

[A] 移動中の急な方向転換での飛び出し



[B] 静止からの飛び出し

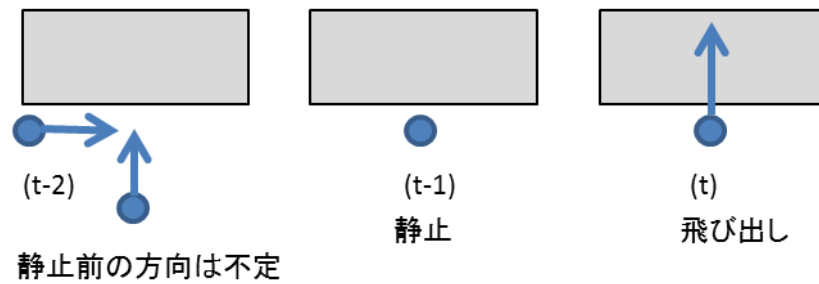


図 9.9-1 検出する飛び出しの動き

9.9.3. 検出手段

9.9.3.1. GPS(GNSS)の測位情報

(1) 速度

Android:Location#getSpeed(), hasSpeed()==true, 単位:m/s

NMEA:VTG, 対地速度 km/h

(2) 方位

Android:Location#getBearing(), hasBearing()==true, 単位:degrees

NMEA:VTG, 進行方向 度

9.9.3.2. センサー

表 9-12 センサー一覧

センサー名	センサー定義名	取得間隔 (ms)	要素数 (values[])	備考
線形加速度 センサー	TYPE_LINEAR_ ACCELERATION	50	3 x,y,z	本アルゴリズムで使用
回転ベクトル センサー	TYPE_ROTATION_ VECTOR	50	4 x,y,z,w	本アルゴリズムで使用
地磁気センサー	TYPE_MAGNETIC_ FIELD	50	3 x,y,z	使用しない※。キャリブレーション通知用
気圧センサー	TYPE_PRESSURE	100	1	歩道橋判定で使用

※取得不要だが、回転ベクトルセンサーが fusion センサーで内部的に地磁気/ジャイロ/加速度センサーを使用しており、精度情報が地磁気センサー単体で取得しないと通知されない

9.9.3.2.1. センサーの取得について

一部のセンサーだけバッチ処理されても取り扱いが難しいため、センサーバッチは使用しない。センサーのタイムスタンプが、機種によって異なる(Nexus5=システム時刻, GalaxyS5=端末起動からの経過時刻)ため、システム時刻の時は、タイムスタンプを通知受信時刻としてつけなおす。センサーデータの保持は、サービスでメモリ上のバッファ領域で管理を行い、予めバッファを確保しておいて、それを使うこととする。

9.9.3.2.2. センサー値の補間

センサー値の報告時刻は、別アプリケーションの使用状況などにより、指定取得間隔通りにはならない。計算に用いるときに、一定間隔の時系列でバッファに格納されている方が扱いやすいため、センサー値の補間を行う。

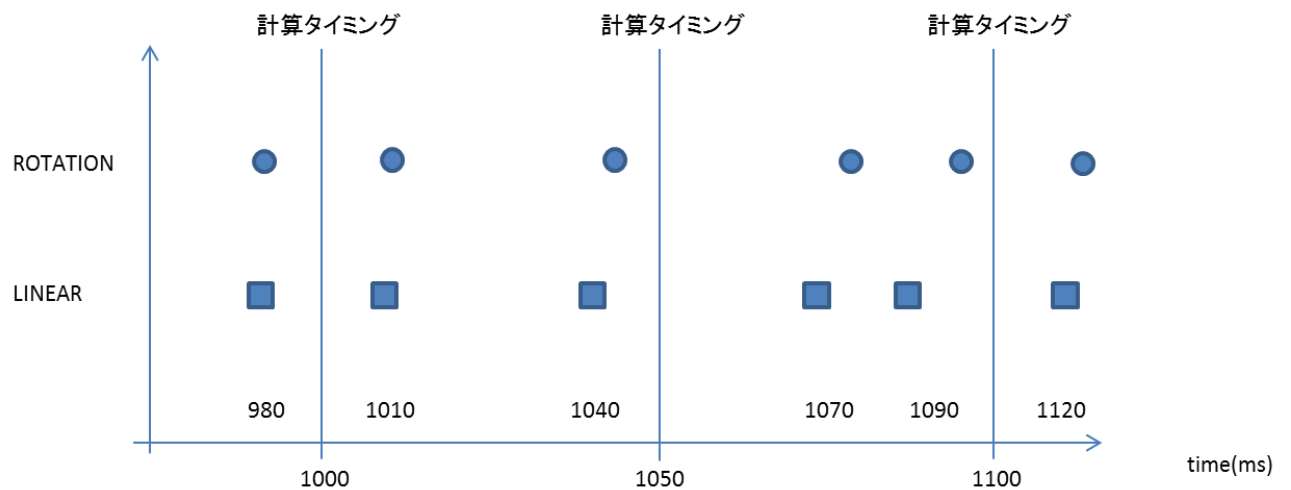


図 9.9-2 報告時刻

センサーのサンプリングは、指定したサンプリング間隔になるとは限らず、また、サンプリングタイミングもセンサー間で一致していないため、センサー値を用いて計算をしたいタイミング間隔での、センサー値を補完して求める。外挿は行わない。間隔は、任意に定義を行うが、サンプリングの指定取得間隔とする。時刻は、`SystemClock.elapsedRealtime()` のミリ秒をサンプリング間隔で MOD したサンプリング間隔の倍数の値とする。

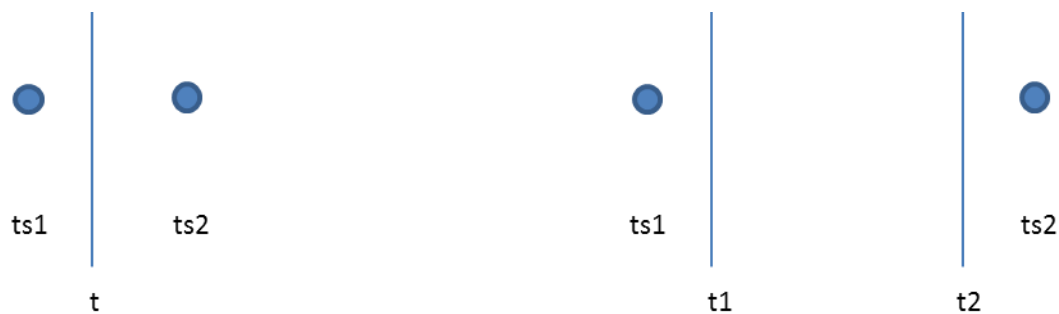


図 9.9-3 サンプリング

t1 と t2 の補間値を ts1 と ts2 から計算する

【手順】

①計算タイミング t について、前後のセンサーのサンプルを探す

→センサー生値は、前回値と今回の値だけ保持していればよい。

タイムスタンプが、計算したいタイミングと同じか判定を行い、超えていたら、計算を

行い、その後再度判定を行う※。

タイムスタンプが、計算したいタイミングと同じか超えていたら、計算を行い、再度判

定を行う。

②見つかった ts1,ts2 のサンプルに対して、ROTATION ベクトルは球面線形補間、それ以外

は線形補完とする。

線形補間

$$\text{lerp}(x,y,s) = x + s(y-x)$$

を定義すると、

$$x(t) = \text{lerp}(x(ts1),x(ts2),(t-ts1)/(ts2-ts1))$$

y,z も同様

球面補間

https://developer.android.com/guide/topics/renderscript/reference/rs_quaternion.html を参考にする

実装

http://tools.oesf.biz/android-4.4.4_r1.0/xref/frameworks/rs/scriptc/rs_quaternion.rsh#182 の quartenionSlerp を参考にする。

9.9.3.2.3. センサーのキャリブレーション

地磁気センサーについては、キャリブレーションが必要なため、onAccuracyChanged で SensorManager.SENSOR_STATUS_ACCURACY_LOW,MID の場合は、ユーザに通知

を行う。(実装済み)キャリブレーション後に、アプリケーションの動作を OFF-ON する想定。

9.9.3.3. 検出アルゴリズム

9.9.3.3.1. 概要

(1) 急に曲がる場合（直前の GNSS 方位が有効）

端末の持ち方は気にせず、過去 $t(=1)$ 秒間の azimuth の変化量が一定値より大きいときに、変化量を現在の GNSS 方位に足して、その方向で衝突する場合、飛び出しとする。

(2) 静止から飛び出す場合(静止時の GNSS 方位が無効)

過去 $t(=1)$ 秒間のステップ判定をして、静止→動作をしていた場合に、衝突する場合、飛び出しとする。

方位は、GNSS 方位が無効になるタイミングの最終有効な、GNSS 方位と azimuth を保持しておいて、動作判定時の azimuth との差分を、最終有効な GNSS 方位に加算したものをを使う。(手持ちの変化は無視)

→静止時に向いている方向を変える対応

静止は、GNSS の速度情報が規定値以下の場合とする。

9.9.3.3.2. 前準備

回転ベクトルセンサーの値 V から、`SensorManager#getRotationMatrixFromVector` を使用して回転行列 R を求める。

回転行列 R を用いて、`SensorManager#getOrientation` を使用して、`value[0]` の azimuth を求める。

回転ベクトル V から、`SensorManager#getQuaternionFromVector` を使用して、クォータニオン Q を求める。

線形加速度センサーの値 L を、クォータニオン Q で示される軸で回転したベクトル RL を求める。

RL の求め方

Q : 上記クォータニオン

L : 線形加速度を $\{0, x, y, z\}$ としてクォータニオンとした値

$QQ = \{Q[0], -Q[1], -Q[2], -Q[3]\}$ (Q の逆回転クォータニオン)

$tmp = Q * L * QQ$ (軸($Q[1], Q[2], Q[3]$)に対する時計回りの回転)

$RL[0] = tmp[1]$ (x 要素)

$RL[1] = tmp[2]$ (y 要素)

$RL[2] = tmp[3]$ (z 要素 鉛直方向の加速度要素)

9.9.3.3.3. 判定の計算式

(1) 使用データ

RL	ワールド座標系に変換した、時系列の線形加速度
azimuth	ワールド座標系での時系列の方位
lat,lng	測位した緯度、経度※
v	測位した速度
ori	測位した進行方向
last_valid_ori	(非時系列データ) v,ori を格納するときに、 $v > v_stop_threshold$ のときに、 $last_valid_ori = ori$ とする。
last_valid_ori_timestamp	(非時系列データ) 上記のタイムスタンプ
last_valid_ori_azimuth	(非時系列データ) 上記のときの azimuth 値

※衝突判定に用いる緯度経度は、最新値を使用する。(速度・方向を置き換える)

位置情報が規定時間の 10 秒を超える古いデータの場合に、判定から除外する。(自端末の位置情報が古い場合は、すべての判定を行わない。(飛び出し判定及びその後の衝突判定))

(2) 移動・静止状態判定

移動時 : $if(v(now) > v_stop_threshold)$

[A]急な方向転換での飛び出し判定

t=1

$delta = azimuth(now) - azimuth(now-t)$

閾値より変化量が大きき場合 : $if(delta > azimuth_out_threshold)$

$outDirection = ori(now) + delta$

outDirection と v(now)を用いて衝突判定を行い、衝突する場合は、飛び出しとしてアクションを行う。

静止時 : $if(v(now) < v_stop_threshold)$

[B]静止からの飛び出し判定

t=1

過去 t 秒間の RL[3](z 軸)の大きさが、 $abs(RL[2]) > step_threshold$ の場合が step_times_threshold 以上の回数カウントされた際に動き初めと判定して、

$outDirection = last_valid_ori + (azimuth(now) - last_valid_ori_azimuth)$

outDirection と、速度=v_out (=1.2m/s)を用いて衝突判定を行い、衝突する場合は、飛び出しとしてアクションを行う。

判定時に now のデータが無い場合、直近の値を用いる。

9.9.3.3.4. アクション

衝突判定でぶつかると判定した一番近い車（衝突時間が最も小さい車）の ID を指定して、700MHz 端末に対して、飛び出し通知を行う。また、歩端末ユーザに飛び出し通知を行う。

衝突判定は、通常の衝突判定と同様。

700MHz 端末に対しての飛び出し通知に関して、以下に記載する。

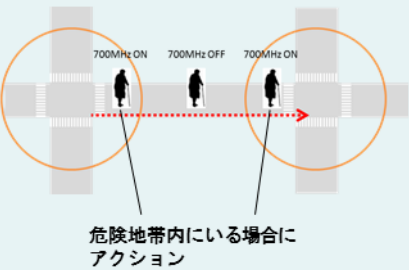
- ・飛び出し検出時に即時、POS の自由領域※を用いて通知を行う。
- ・POS の位置情報は、直近の位置情報を付与して送信し、自由領域を保持する。
- ・直後の GNSS 受信時の POS 送信リレーでも保持した自由領域の送信を行い、送信した場合に自由領域の解放を行う。
- ・その次の GNSS 受信時には、※の情報は解放済みのため送信しない。

9.10. 危険地帯判定アルゴリズム

危険地帯判定について、以下に記載する。

9.10.1. イメージ

表 9-13 危険地帯判定イメージ

想定シーン	シーン毎の判定イメージ	だれが	何を検知	だれに どう支援
危険地帯	 <p>危険地帯内にいる場合に アクション</p>	車	-	-
		歩	危険地帯内	歩情報を 700MHz端末に 送信する

危険地帯内で 700MHz 帯通信端末の通信を ON にする。
 危険地帯外で 700MHz 帯通信端末の通信を OFF にする。
 歩道橋上では、700MHz 帯通信端末を優先して OFF にする。

9.10.2. 前提条件

- 危険地帯判定エリアは複数ある
- パラメータの定義を以下に定義する
 - ◇ 危険地帯の中心座標(緯度,経度)
 - ◇ 危険判定の範囲円の半径 R1
 - ◇ 安全判定の範囲円の半径 R2
- ある危険地帯判定エリア A の初期判定結果は安全。以下、エリア A について記載。
 - ◇ 歩行者がエリアの中心からの距離が半径 R1 以内に入った場合に危険地帯と判定する
 - ◇ 歩行者がエリアの中心からの距離が半径 R2 より大きくなった場合に安全地帯と判定する
- 700MHz の ON/OFF 切り替えの複数判定結果(エリア A,B,...)について以下の順で判定する。なお、ON/OFF は、一つ前の総合判定状態が ON→

OFF、OFF→ON 遷移時に行うこと。

◇ (1)安全地帯判定（歩道橋）で 1 エリアでも安全と判定した場合は、700MHz を OFF にする（歩道橋の判定を優先する。）

◇ (2)危険地帯判定で 1 エリアでも危険と判定した場合は、700MHz を ON にする

➤ 危険地帯判定のタイミングは、衝突判定が行われる直前タイミングとする。
（安全と判定した場合は、衝突判定は行われぬ。別紙「歩車間_危険回避アプリケーション要求仕様書 r83.pdf」の「表 5 各機能の動作状態の関係」を参照。）

➤

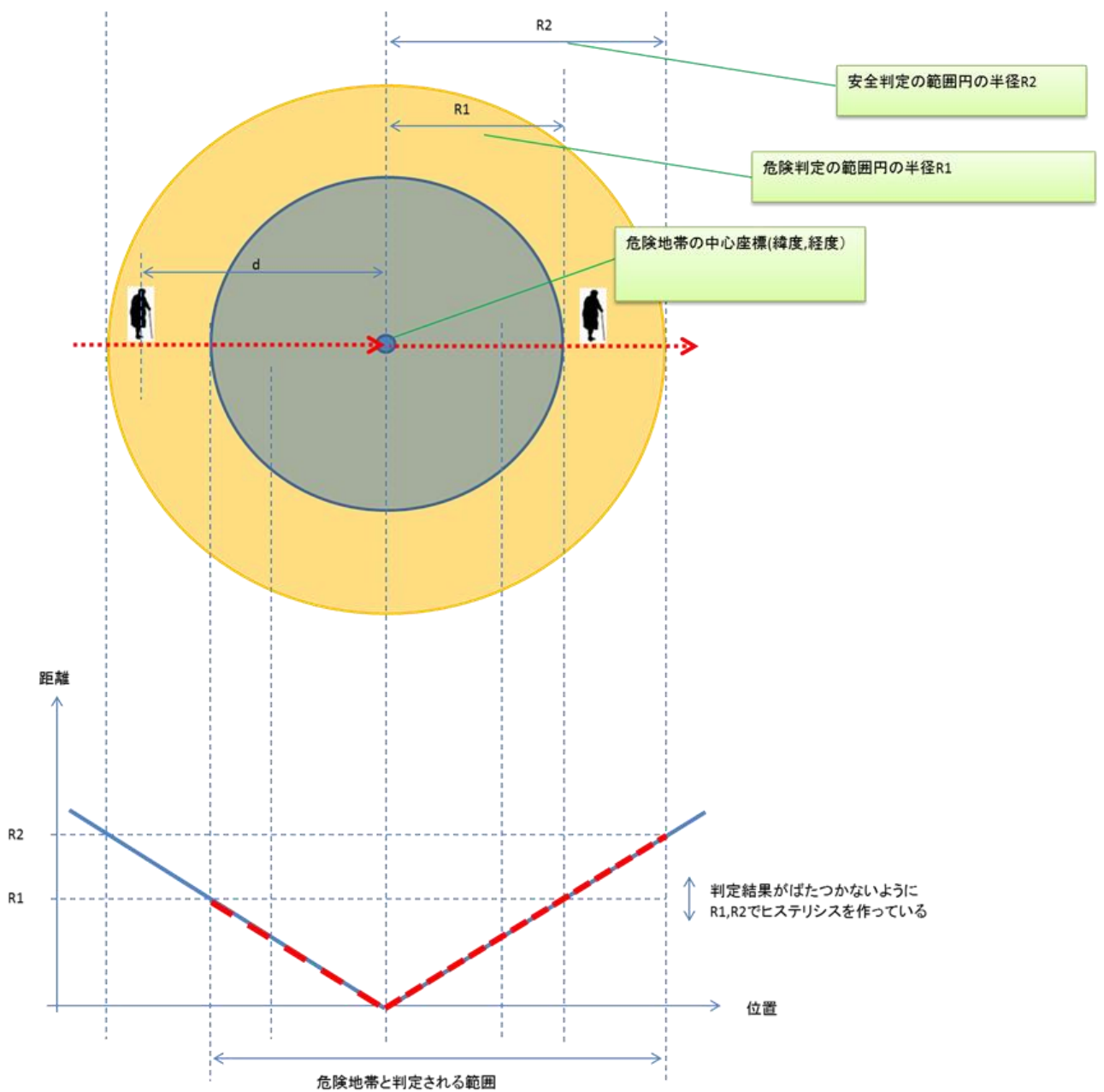


図 9.10-1 危険地帯の範囲円

9.10.3. データについて

危険地帯データは、あらかじめファイルに定義し、ストレージ内の決められたフォルダ配下に配置する。アプリケーションはそのファイルを参照する。

フォルダのパス：`getExternalStorageDirectory()`で取得できる端末ストレージパス/`ped2veh02/dangerzone_data/`

表 9-14 危険地帯データのファイル定義パラメーター一覧

パラメータ名	値
危険地帯の中心経度	経度
危険地帯の中心緯度	緯度
危険判定の範囲円	距離
安全判定の範囲円	距離

データは CSV 形式で記載する。先頭に危険地帯 ID を付け、その後ろに「危険地帯の中心経度」、「危険地帯の中心緯度」、「危険判定の範囲円」、「安全判定の範囲円」の順で、記載する。

記載例を以下に示す。

記載例：

※#から始まる行はコメントアウトとする。

```
# Dangerzone data
1,139.706999,35.690999,88.20073715,120.20073715
```

9.11. ログ出力フォーマット

ログファイルへの出力フォーマットを下表に示す。

ここで記載するログファイルは、以下のフォルダに「record_XXXXXXXXXXXX.txt」(xxxは日時)のファイル名で出力するものとする。

フォルダ : `getExternalStorageDirectory()`で取得できる端末ストレージパス/`ped2veh02/`

9.11.1. GNSS 受信機器情報

表 9-15 GNSS 受信機器情報

	GNSS 受信機情報(NMEA センテンス) ※1
年月日	年月日 (Android)
時刻	時刻 (Android)
データ種別	GNSS
ログ情報 1	GNSS 受信機からの受信データをそのまま出力 (データ数はセンテンス依存)
ログ情報 2	
ログ情報 3	
ログ情報 4	
ログ情報 5	
ログ情報 6	
ログ情報 7	
ログ情報 8	
ログ情報 9	
ログ情報 10	
ログ情報 11	
ログ情報 12	
ログ情報 13	
ログ情報 14	
ログ情報 15	
ログ情報 16	
ログ情報 17	
ログ情報 18	
ログ情報 19	

9.11.2. 700MHz 帯通信端末間通信データ

表 9-16 700MHz 帯通信端末間通信データ

	700MHz 帯通信端末間通信データ (スマホが送信する位置情報は除く)					
	受信位置情報	送信位置情報	電源制御コマンド	電源制御応答	状態取得コマンド	状態取得応答
年月日	年月日 (Android)					
時刻	時刻 (Android)					
データ種別	P2V					
ログ情報 1	受信したタイムスタンプ (ms) ※3	送信したタイムスタンプ (ms) ※3	受信したタイムスタンプ (ms) ※3	受信したタイムスタンプ (ms) ※3	受信したタイムスタンプ (ms) ※3	受信したタイムスタンプ (ms) ※3
ログ情報 2	POS	POSSEND	PWR	CNF	INFOREQ	INFORES
ログ情報 3	データサイズ	データサイズ 0 (送信時未確定)	データサイズ	データサイズ	データサイズ	データサイズ
ログ情報 4	シーケンス番号	シーケンス番号 0 (送信時未確定)	シーケンス番号	CNFを返すコマンドのシーケンス番号	シーケンス番号	応答を返すコマンドのシーケンス番号
ログ情報 5	車両 ID	車両 ID 0 (送信時未確定)	通信 ON/OFF	応答		端末状態
ログ情報 6	うるう秒補正情報	うるう秒補正情報				
ログ情報 7	タイムスタンプ	タイムスタンプ				
ログ情報 8	-1	-1				
ログ情報 9	-1	-1				
ログ情報 10	緯度	緯度				
ログ情報 11	経度	経度				
ログ情報 12	高度	高度				
ログ情報 13	位置取得情報	位置取得情報				

ログ情報 14	高度取得情報	高度取得情報				
ログ情報 15	速度	速度				
ログ情報 16	向き	向き				
ログ情報 17	加速度	加速度				
ログ情報 18	移動速度精度	移動速度精度				
ログ情報 19	向き精度	向き精度				
ログ情報 20	加速度精度	加速度精度				
ログ情報 21	シフトポジション	シフトポジション				
ログ情報 22	ステアリング角度	ステアリング角度				
ログ情報 23	プロバイダ情報	プロバイダ情報				
ログ情報 24	車両サイズ種別	車両サイズ種別				
ログ情報 25	車両用途種別	車両用途種別				
ログ情報 26	受信信号強度	受信信号強度				
ログ情報 27	自由領域データサイズ	自由領域データサイズ				
ログ情報 28	自由領域データ	自由領域データ				

9.11.3. GNSS 専用端末通信コマンド

表 9-17 GNSS 専用端末通信コマンド

	GNSS 専用端末コマンド ※1	GNSS 専用端末レスポンス ※1
年月日	年月日 (Android)	
時刻	時刻 (Android)	
データ種別	GNSS	
ログ情報 1	GNSS 専用端末への送信データ (コマンド) をそのまま出力 (データ数はコマンド依存)	GNSS 専用端末からのコマンド応答をそのまま出力 (データ数はセンテンス依存)
ログ情報 2		
ログ情報 3		
ログ情報 4		
ログ情報 5		
ログ情報 6		
ログ情報 7		
ログ情報 8		
ログ情報 9		
ログ情報 10		
ログ情報 11		
ログ情報 12		
ログ情報 13		
ログ情報 14		
ログ情報 15		
ログ情報 16		
ログ情報 17		
ログ情報 18		
ログ情報 19		
ログ情報 20		

9.11.4. 危険判定情報

表 9-18 危険判定情報

	衝突判定結果（衝突と判定した時）	危険地帯判定結果	歩行者状態判定結果（飛び出しと判定した時）	交差点右折車判定結果	センサー情報※2
年月日	年月日 (Android)				
時刻	時刻 (Android)				
データ種別	CRASH	SAFE	DASH	TURN RIGHT	センサー名
ログ情報 1	判定時のタイムスタンプ(ms) ※3	タイムスタンプ(ms) ※3	タイムスタンプ(ms) ※3	タイムスタンプ(ms) ※3	システム時刻(ms)
ログ情報 2	対象車両 ID	1: 歩道橋周辺 2: 歩道橋上		対象車両 ID	タイムスタンプ(ms)
ログ情報 3	衝突予測時間（現在からの予測時間）(ms)	基準気圧		0: 歩行者が注意喚起対象位置にいない 1: 歩行者が注意喚起対象位置にいる	values[0]
ログ情報 4	予測前の元データの自端末位置受信タイムスタンプ	現在気圧			values[1]
ログ情報 5	latitude				values[2]
ログ情報 6	longitude				values[3]
ログ情報 7	speed(m/s)				
ログ情報 8	heading(degree)				
ログ情報 9	予測前の元データの車両位置受信タイムスタンプ				

ログ情報 10	latitude				
ログ情報 11	longitude				
ログ情報 12	speed(m/s)				
ログ情報 13	heading(degree)				
ログ情報 14	衝突検出した自端 末位置 latitude				
ログ情報 15	衝突検出した自端 末位置 longitude				
ログ情報 16	衝突予測円の半径				
ログ情報 17	衝突検出した車両 位置 latitude				
ログ情報 18	衝突検出した車両 位置 longitude				
ログ情報 19	衝突予測円の半径				

9.11.5. 自端末位置情報

表 9-19 自端末位置情報

	Android 位置情報	Android 位置情報 (フィルタ後)	GNSS 位置情報	GNSS 位置情報(フィルタ後)
年月日	年月日(Android)			
時刻	時刻(Android)			
データ種別	Location	ModLocation	GnssLocation	GnssModLocation
ログ情報 1	[latitude]	[latitude]	[latitude]	[latitude]
ログ情報 2	[longitude]	[longitude]	[longitude]	[longitude]
ログ情報 3	[altitude]	[altitude]	[altitude]	[altitude]
ログ情報 4	[speed]	[speed]	[speed]	[speed]
ログ情報 5	[heading]	[heading]	[heading]	[heading]
ログ情報 6	[accuracy]	[accuracy]	PDOP	PDOP
ログ情報 7	タイムスタンプ (ms) ※3	位置情報のソース 設定	HDOP	HDOP
ログ情報 8		方位フィルタ設定	VDOP	VDOP
ログ情報 9		タイムスタンプ (ms) ※3	位置情報のソース 設定	位置情報のソース設 定
ログ情報 10			方位フィルタ設 定	方位フィルタ設定
ログ情報 11			タイムスタンプ (ms)※3	タイムスタンプ(ms) ※3

※1 : GNSS 受信機仕様書参照 (CXD5600GF_UsersManual_019_PSN 様.pdf)

※2 : サンプル実装済みの内容に従う。values[]の要素数は、センサー毎に異なる。

※3 : 起動からの経過時間 (ms)

10. 参考評価検証のデータ

本節では実験結果として、危険判定と測位評価でのその他の関連実験データを示す。

10.1. 危険判定実験データ

本実験データは今回の評価の対象外であったが、課題抽出のため、試行的に評価を実施した結果を以下に追記する

10.1.1. 単路横断（車両と同車線側からの横断：歩行者が左から右へ横断）

単路横断での評価シナリオを典型的な道路幅である道路幅 7m の道路、単路横断で事故が多い高齢者を想定し、歩行速度が比較的遅めに 1.0m/s に設定し、自転車を使った事前評価では自転車の速度を 10km/h として、衝突ポイントを車道の中央に設定した。また、高齢者は認知が遅れることもあり、普通歩行者が衝突の 5 秒前に注意喚起を実施するのに対して、1 秒早い衝突 6 秒前に注意喚起するように設定した。自転車については速度 10km/h になるまで時間がかかるため助走期間を加え、自転車、歩行者が同時にスタートし衝突ポイントで衝突するようにそれぞれのスタート位置を決め、歩行者に道路横断前に注意喚起できるかの検証を実施した。

歩行者は道路に沿って車両に向かって車両と同車線の歩道を歩き、衝突地点で道路側に向きを変え、衝突地点に向かって道路を横断するように移動した。



図 9-2 高齢者の単路横断シナリオ(車両と同車線側からの横断)

表 9-20 高齢者の単路横断評価結果(車両と同車線側からの横断) (事前評価)

	歩行者(普通歩行者)			
	700MMz圈内(O/x)	注意喚起(O/x)	注意喚起地点(m)	備考
1回目	○	○	1.5m	←車が先に通り過ぎる
2回目			同様な距離	←衝突
3回目			同様な距離	←衝突

本事前評価では、道路へ侵入し、衝突ポイントから 1.5m の注意喚起となったおり、道路横断前での注意喚起が出来ておらず、適切な注意喚起が出来なかった。歩行者が向きを道路側に

変える時点で歩行者の速度はほぼ0に近くなっており、さらに向きに変更に衝突判定が間に合っていないと考えられる。今年度開発した衝突判定アルゴリズムに向きと急な変更と歩行速度がほぼ0になった場合に横断時の歩行速度を補う等の改善が必要と思われる。来年度の課題として対応を検討予定である。

10.1.2. 交差点右折（歩行者が前方から横断）

交差点で車両が右折時に歩行者が車両の前方から横断する場合の評価シナリオを交通事故数が多い13m以上の道路幅、本評価では道路幅15mとし、高齢者を想定し、歩行速度が比較的遅めに1.0m/sに設定し、車を使った実証実験では車の速度を右折時の徐行速度10km/hとして、衝突ポイントを右折後の車道の中央に設定した。

また、高齢者は認知が遅れることもあり、普通歩行者が衝突の5秒前に注意喚起を実施するのに対して、1秒早い衝突6秒前に注意喚起するように設定した。さらに右折判定時の後方からの車両の接近通知(情報提供)は右折後の車道へ入る手前、衝突ポイントから2.2mを目標とした。

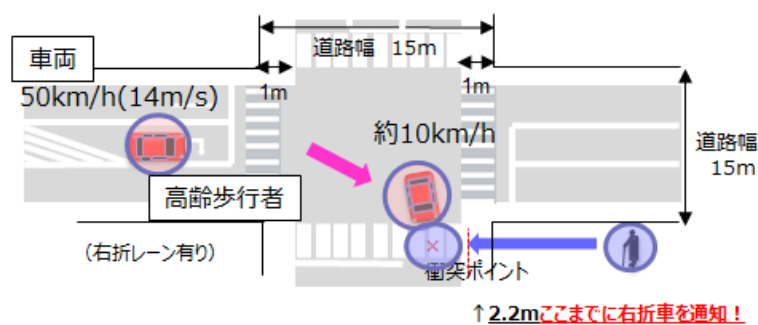


図 9-3 交差点 右折時シナリオ(歩行者が前方から横断)

表 9-21 交差点での右折時 評価結果(実証実験評価)(歩行者が前方から横断)

	歩行者(高齢歩行者)			
	700MMz圈内(O/x)	右折判定/注意喚起(O/x)	各地点(m)	備考
1回目	O	O/O	道路横断間際	←計測せず、2.2mと想定
2回目	O	O/O	道路横断間際	以上と同様

本評価は自転車での事前評価は実施せず、JARI 実証評価で実施した。歩行者が右折後の車道へ侵入する前、衝突ポイントから2.2mより前である道路横断前に3右折車の接近を情報提供できており、歩行者への情報提供タイミングとして妥当な値であった。実施回数が少なかったこともあり、来年度に回数を含め、再検証を実施したい。

10.1.3. 飛び出し(急な向きの変更)

子供の飛び出しについては一般的に多い車道幅6mとし、車道中心までの飛び出し時間を1

秒以内と想定し、歩道 1m と車道中央まで 1.5m から 2.5m/s の速度で子供が飛び出すとした。

そして子供の飛び出し時の急な向きの変更をセンサーで捉え、歩車間通信で飛び出し情報を車両に伝え、車両に飛び出しがあったことを通知できるかを検証した。

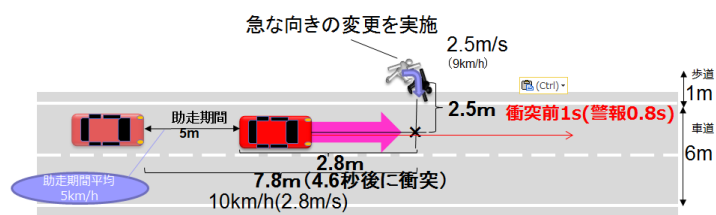


図 10.1-4 単路飛び出しシナリオ(急な向きの変更)

また、今回評価した飛び出しの判定アルゴリズム(急な向きの変更)について概要を説明する。詳細は後述する危険判定アプリケーション仕様を参照。判定アルゴリズムでは、大きく歩行者の向きが変化（センサー方位の変化量がある一定値以上）で、現在の方角（衛星測位で求めた方位）に向きの変化分（センサー方位の変化分）を加えて、車両と衝突の可能性がある（何秒後かの車両と歩行者の位置が重なる）場合に、飛び出し判定を実施している。

飛び出し時の急な向きの変更を行った場合の評価結果を以下に示す。

表 10.1-22 単路での飛び出し(急な向きの変更)評価結果(事前評価)

	歩行者(普通歩行者)		
	700MHz圏内(O/x)	飛び出し(O/x)	車両へ飛び出し通知
1回目	○	×	×
2回目	○	×	×
3回目	○	×	×
4回目	○	×	×
5回目	○	×	×
6回目	○	×	×
7回目	○	×	×

飛び出し時の急な向きの変更では、飛び出しを検知できなかった。考えられる原因としては歩行者の向きが正しく計測されていない、もしくは衝突の可能性の判定が、急な向きの変更に間に合っていないことが考えられる、また、評価の方法として衝突しないように実験をしていることもあり、衝突可能性の判定ができていない可能性がある。

今後の課題としては以下が考えられる。

① 歩行者の向き判定精度の向上

現在の歩行者の向きの判定精度が低く、センサーでの向き判定では感度は良く相対方位を求めるのに適しているが、周りの地磁気の影響や、絶対方位の計測には向いていない。また、衛星測位での向き判定は歩行者の軌跡より求め、絶対方位の計測には向いているが、衛星測位が難しい環境や、急な向きの変更には適していないため、双方の組み合わせた方法等で、歩行者の向き判定の精度向上が必要である。

② 衝突可能性判定の予測判定

急な向きの変更で衝突判定が遅れている場合、歩行者が急に向きを変更した地点で歩行者の速度が出ておらず、車両との衝突の可能性を判定できていない可能性がある。その場合、想定で歩行者の初速を補い、衝突の可能性を判定する等、改善が必要である。

11. 参考文献

- [1] 「2014 交通事故統計」 (警察庁)
- [2] 位置情報の基本と技術 (仕組みが見えるゼロからわかる) 谷口 功 著 (翔泳社)
- [3] 電子航法研究所 “L1-SAIF 補強信号の技術実証実験” QZSS ユーザーミーティング
- [4] H26 警察庁 交通白書
平成 26 年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について
- [5] 平成 24 年度 タカタ財団助成研究論文
「死傷事故低減に向けた高齢歩行者における行動特性の究明と対策について」
- [6] ITARDA INFORMATION No.95 「信号交差点における右折事故
- [7] 歩車間通信の要求条件に関する調査報告書
平成 27 年 3 月 独立行政法人 交通安全環境研究所
- [8] 国土地理院ホームページ