

平成 28 年度研究成果報告書

総 1. ICT を活用した次世代 ITS の確立

II 歩車間通信技術の開発

(2) 携帯電話利用型歩車間通信技術の開発

イ) 携帯電話ネットワーク利用型情報収集・配信技術の開発

「歩車間検知システムの実現」

平成 29 年 3 月

株式会社 N T T ドコモ

目次

1 はじめに	8
2 研究背景	10
3 研究開発目的及び目標	12
4 平成 27 年度の実績.....	14
4.1 背景.....	14
4.2 取組概要	15
4.3 動体接近検知システムの検証（実験内容）	17
4.4 動体接近検知システムの検証（実験結果）	18
4.5 動体接近検知システムの応用検討.....	19
4.6 マルチビーコンによる実験内容	21
4.7 マルチビーコンによる実験結果	22
4.8 考察および来年度研究の方向性	25
4.9 平成 28 年度の検討方針	27
5 研究開発体制.....	29
6 年次目標及び計画	30
7 研究成果要約.....	31
8 研究成果	32
8.1 適用ユースケースの検討	32
8.2 交差点エリアにおける歩行者検知.....	37
8.2.1 システム概要	37
8.2.2 システム構成図	38
8.2.3 サーバ構成.....	39
8.2.4 サーバ諸元.....	39

8.2.5	スマートフォン構成	40
8.2.6	スマートフォン性能諸元.....	40
8.2.7	高指向性 BLE ビーコンの仕様.....	43
8.3	実験装置のソフトウェア機能	44
8.3.1	サーバ用ソフトウェアの機能	44
8.3.2	スマートフォン用ソフトウェアの機能	45
8.4	サーバ・スマートフォン通信インタフェース仕様.....	46
8.5	実験指示機能	47
9	実験及び検証.....	48
9.1	実験目的	48
9.2	実験条件	49
9.3	実験項目	54
9.4	高指向性 BLE ビーコン設定値.....	54
9.5	実験方法	55
9.6	実験結果	63
9.7	歩行者検知手法	73
10	考察及びまとめ	102
11	研究開発成果の応用検討.....	104
12	参考文献.....	106

図表目次

図 1 交通事故発生状況の推移 [1]	10
図 2 状態別交通事故死者数 [2]	11
図 3 ターゲットとする交差点の規模パターンの例	12
図 4 交通事故死者数における高齢者比率について [3].....	14
図 5 道路形状別にみる交通死傷事故構成率 [4]	15
図 6 平成 27 年度の検討図.....	16
図 7 接近検知システムの実験イメージ.....	17
図 8 実験項目	18
図 9 行動条件	18
図 10 想定鳴動点の説明図	18
図 11 交差点における応用イメージ.....	20
図 12 実験概要図	21
図 13 実験の様子	22
図 14 BLE 電波到角と誤差の関係.....	23
図 15 実験の説明図.....	24
図 16 実験結果	25
図 17 パターンと歩行者検知エリアの概念図	26
図 18 交差点エリアにおける位置測位システムの構成図	27
図 19 研究開発体制図.....	29
図 20 年次目標	30
図 21 平成 27 年四輪車対歩行者の道路状態別右折事故件数(平成 27 年) [5]	32

図 22 平成 27 年四輪車対歩行者の右折事故における人的事故要因構成比率 [5]	33
図 23 平成 27 年交差点幅員別四輪車対歩行者の右折事故 [5]	35
図 24 ユースケースの概念図	36
図 25 システム概要図	37
図 26 シーケンス図	37
図 27 交差点エリアにおける歩行者位置検知システムの構成図	38
図 28 サーバ構成	39
図 29 スマートフォン構成	40
図 30 高指向性 BLE ビーコンの外観	43
図 31 実験装置シーケンス図	47
図 32 交差点エリアにおける歩行者検知イメージ	48
図 33 高指向性 BLE ビーコン設置高さの規定	49
図 34 ポールの外観	50
図 35 土台の外観	50
図 36 想定する実験場交差点の大きさ	51
図 37 歩行者用スマートフォンの所持位置	52
図 38 通過時の BLE ビーコンとの距離	53
図 39 実験歩行ルート	53
図 40 実験手順	55
図 41 グラフの色と高指向性 BLE ビーコンの配置関係	63
図 42 項番 1(1 回目)	64
図 43 項番 1(2 回目)	65
図 44 項番 1(3 回目)	66

図 45 項番 2(1 回目).....	67
図 46 項番 2(2 回目).....	68
図 47 項番 2(3 回目).....	69
図 48 項番 3(1 回目).....	70
図 49 項番 3(2 回目).....	71
図 50 項番 3(3 回目).....	72
図 51 歩行者検知手法のフローチャート.....	73
図 52 表の塗りつぶしと検知を行った高指向性 BLE ビーコンの配置関係	74
図 53 歩行者検知結果(閾値なし).....	102
図 54 歩行者検知結果(閾値-62[dBm]).....	103
図 55 歩車溜まりの検知.....	103
図 56 サービスイン判定への応用概要図.....	104
図 57 信号制御への応用概要図.....	105

表 1 想定鳴動点に対する精度	19
表 2 想定鳴動点に対する精度	20
表 3 BLE 電波到角と誤差の関係 誤差[m]= (受信強度算出距離) - (実際の距離)	23
表 4 検討方式一覧.....	28
表 5 方式の検討	28
表 6 研究成果要約	31
表 7 図 22 の凡例詳細 [5].....	34
表 8 交差点エリアにおける歩行者検知システムの構成品一覧	39
表 9 サーバ要求仕様	39
表 10 歩行者用スマートフォン仕様 [7].....	40
表 11 実験指示用スマートフォン仕様 [8].....	41
表 12 高指向性 BLE ビーコン仕様	43
表 13 サーバ用ソフトウェア機能一覧.....	44
表 14 スマート用ソフトウェアの機能一覧	45
表 15 取得データ一覧.....	46
表 16 通信インタフェース仕様	46
表 17 ポールの仕様.....	50
表 18 土台の仕様	51
表 19 実験項目	54
表 20 9.4 高指向性 BLE ビーコンの設定値(major,miner)	54
表 21 項番 1(1 回目).....	75
表 22 項番 1(2 回目).....	78
表 23 項番 1(3 回目).....	81

表 24 項番 2(1 回目).....	84
表 25 項番 2(2 回目).....	87
表 26 項番 2(3 回目).....	90
表 27 項番 3(1 回目).....	93
表 28 項番 3(2 回目).....	96
表 29 項番 3(3 回目).....	99

1 はじめに

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）において平成 26 年 6 月より取り組んできた自動走行システムについては、交通事故死者の低減や交通渋滞の緩和による環境負荷低減、また、高齢者をはじめ、交通制約者の移動支援や地方の活性化等の課題の抜本的な解決といった社会的意義と、自動車産業の競争力向上や関連市場の拡大等の産業的意義の両面から、国内外での期待は高まる一方であり、グローバル競争が激化している。欧州では平成 26 年 1 月より、EU の研究開発プログラムである Horizon2020 において各種プロジェクトが進められているほか、ドイツやイギリス等、各国でも戦略の策定、技術開発に取り組んでいる。また、米国においては、平成 26 年 12 月に連邦運輸省(USDOT)が、自動走行システム・ITS に関する国家戦略を策定した。ミシガン大学では、平成 27 年 7 月より、市街地を模したテストコース“M シティ”を拠点とし、日米欧の自動車メーカーを巻き込み、デトロイト近郊にて大規模な公道実証実験を進めている。このように欧米諸国では、開発の加速や普及に向けた環境整備が進んでおり、一方で、わが国においても、産学官が一体となって研究開発や制度検討、ロードマップの策定等を進めている状況である。

わが国における交通事故の現状は、これまで国、地方公共団体、関係民間団体並びに国民を挙げた長年にわたる努力の成果により、10 年以上にわたって交通事故死者数は減少してきたものの、近年減少率は鈍化、平成 27 年には、4,117 人と微増に転じた。2016 年 3 月に決定された「第 10 次交通安全基本計画」では「2020 年までに交通事故死者数を 2,500 人以下とし、世界一安全な道路交通を実現する。」との国家目標が掲げられたが、この実現は大変厳しい状況である。特に、交差点事故や歩行者事故、自転車・

二輪車事故は大きな課題であり、自動車のみならず交通環境の改善や人への啓発等を含めた統合的なアプローチで取り組む必要がある。一方、自動車の走行機能は、認知、判断、操作の3要素で構成される。車両に設置したレーダー等を通じて走路環境を認識する技術(自律型システム)と、車両同士または車両と車両外部の通信を利用して走路環境を認識する技術(協調型システム)がある。自動走行システムの実現には、この両者が統合され、前述の3要素が高度化される必要がある。交通事故死者を低減するためには、自律型システムのみでは前述の課題解決は難しく、協調型システムにて補完していく必要がある。

この国家目標を実現するために、内閣府におけるSIP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。

2 研究背景

交通事故は、図 1 に示す通り毎年減少傾向にある。しかしながら、図 2 に示す通り、歩行中の交通死者数が状態別交通事故死者数において最も高いことにより、歩行者への安全支援対策が望まれている。

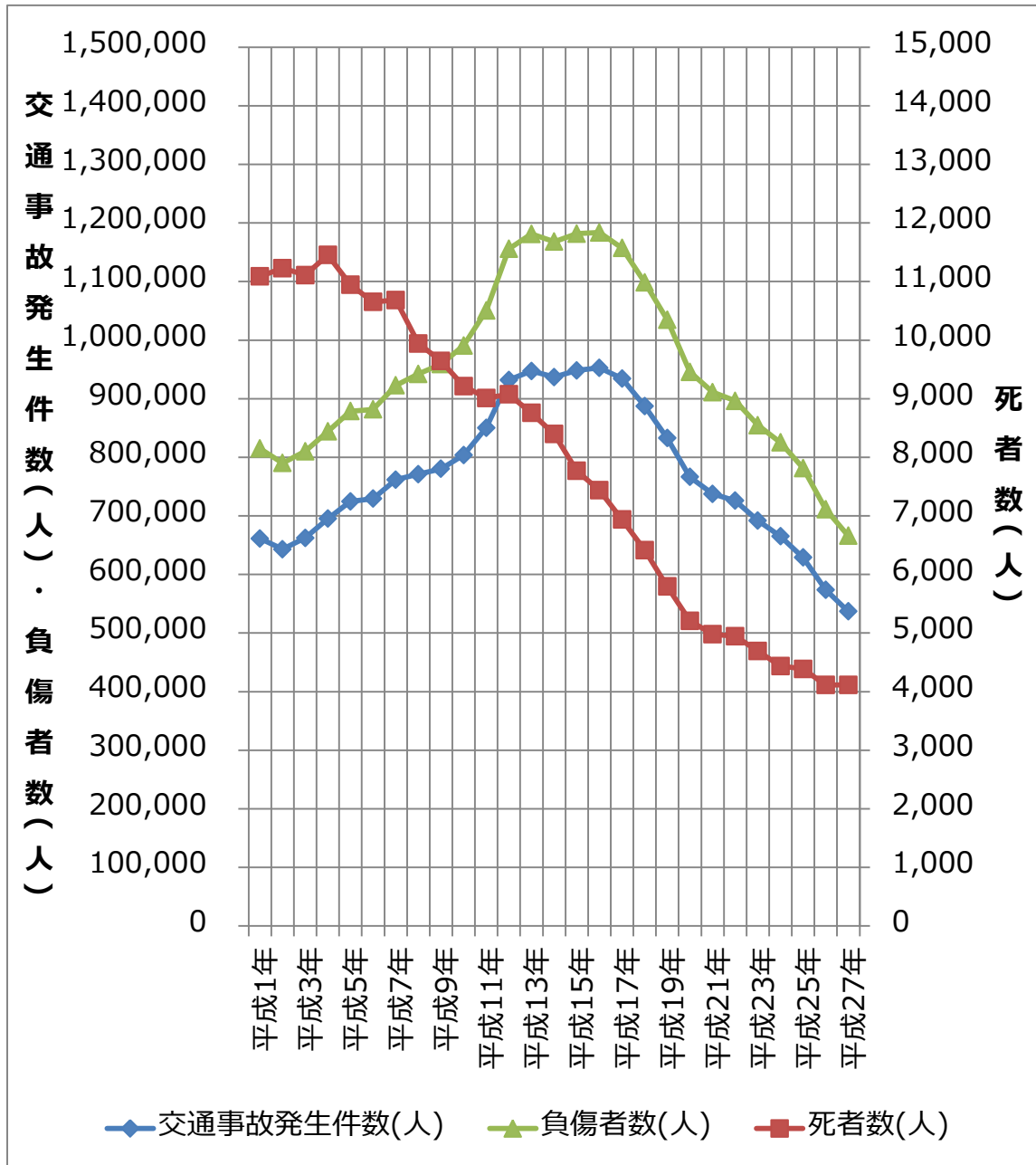


図 1 交通事故発生状況の推移 [1]

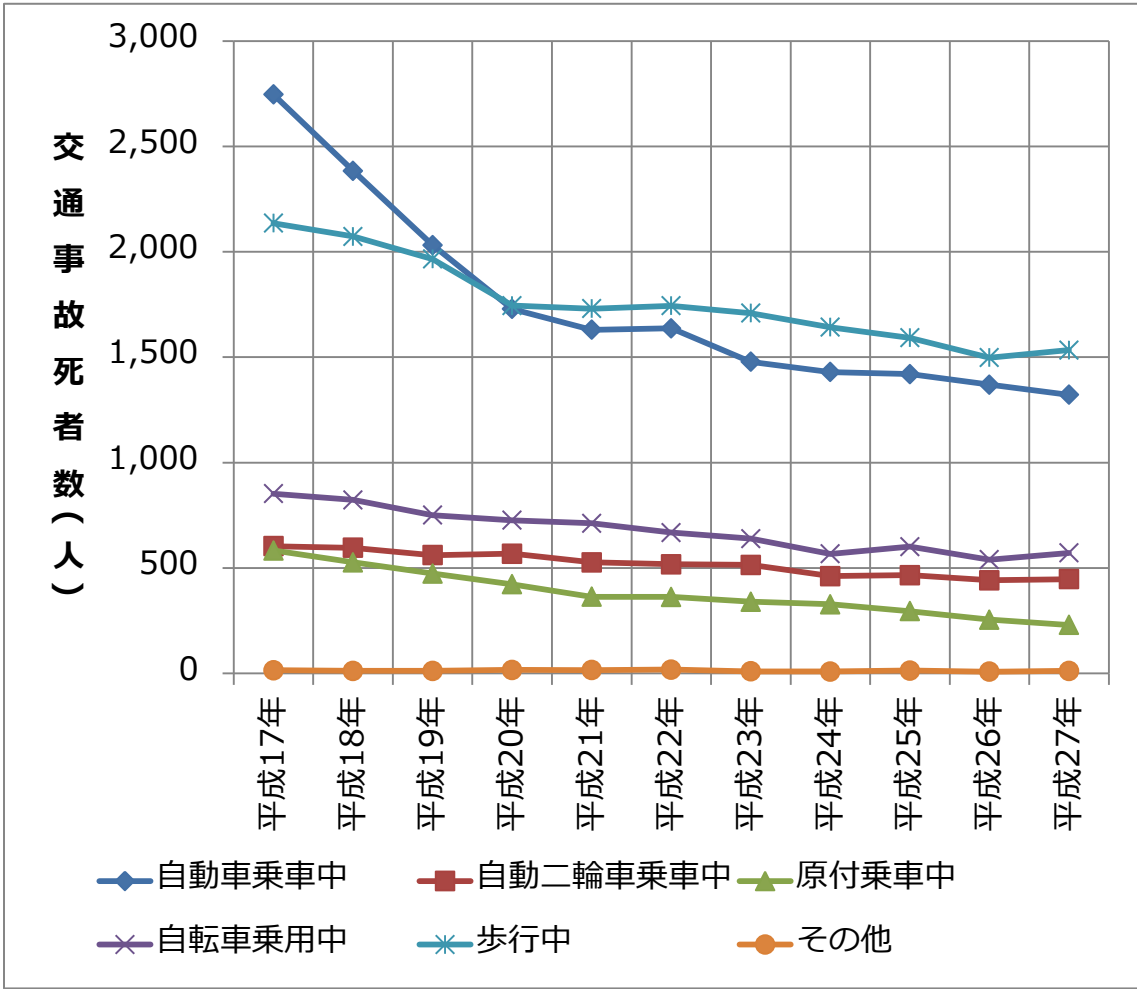


図 2 状態別交通事故死者数 [2]

3 研究開発目的及び目標

交差点エリアの歩行者の位置検知を行うことで、交通事故削減に貢献することを目的とする。上記より、平成 28 年度は交差点内における歩行者等の位置情報検知への応用として下記を実施する。

① 方式検討

- ・ 平成 27 年度に開発した接近検知システムにおける動体の一方を、固定した路側装置等とみなすことにより、もう一方の動体の位置検知に応用する。図 3 に示すイメージのように、BLE ビーコンの数や配置する間隔を変えることにより、様々なパターンの位置検知への応用可能性を検討する。
- ・ 本検討における BLE の技術的な特性から、ターゲットとする交差点の規模を絞っていくとともに、実用化に向けた提言においては他技術との棲み分けについても鑑み、検討を進める。

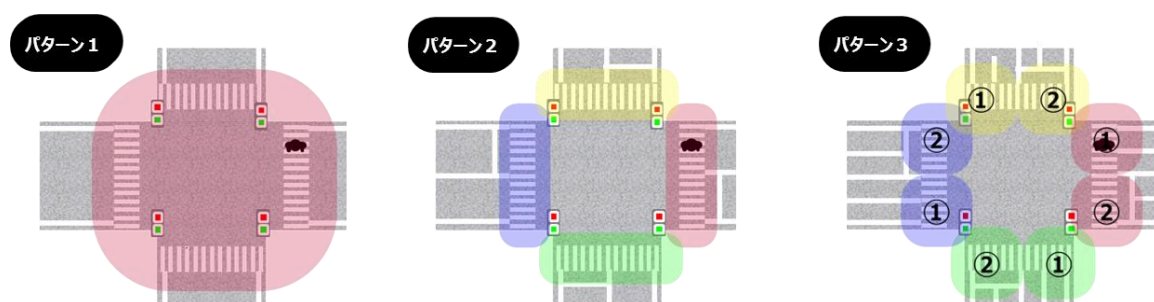


図 3 ターゲットとする交差点の規模パターンの例

② 実験装置の開発

- ・ 路側装置を模した BLE ビーコン
- ・ 歩行者用スマートフォン
- ・ 歩行者用スマートフォンで取得したデータを処理するクラウドサーバ

③実験および評価測定

交差点を模した環境において、①に述べた検討のためのデータ収集及び評価を実施する。

4 平成 27 年度の実績

4.1 背景

今後更なる高齢化が進む日本において、高齢者の移動手段としてシニアカー等の普及が拡大することが想定される。

これらに関わる事故を減少させるため、我々は電動車椅子をプラットフォームとした「接近検知システム」の研究開発を進めてきた。

また、交差点における交通事故の削減に対する期待も高く、本接近検知システムの研究開発で得た知見の応用検討は意義が高い。

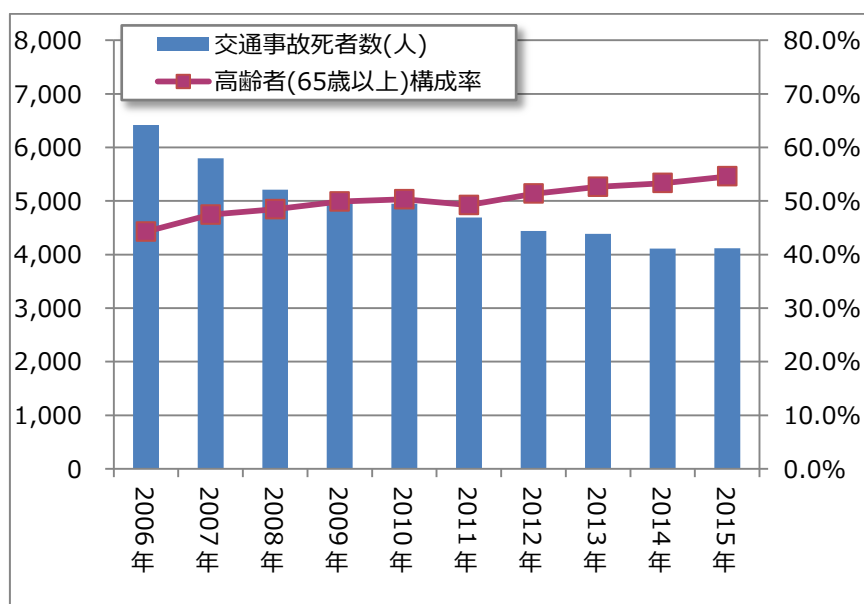


図 4 交通事故死者数における高齢者比率について [3]

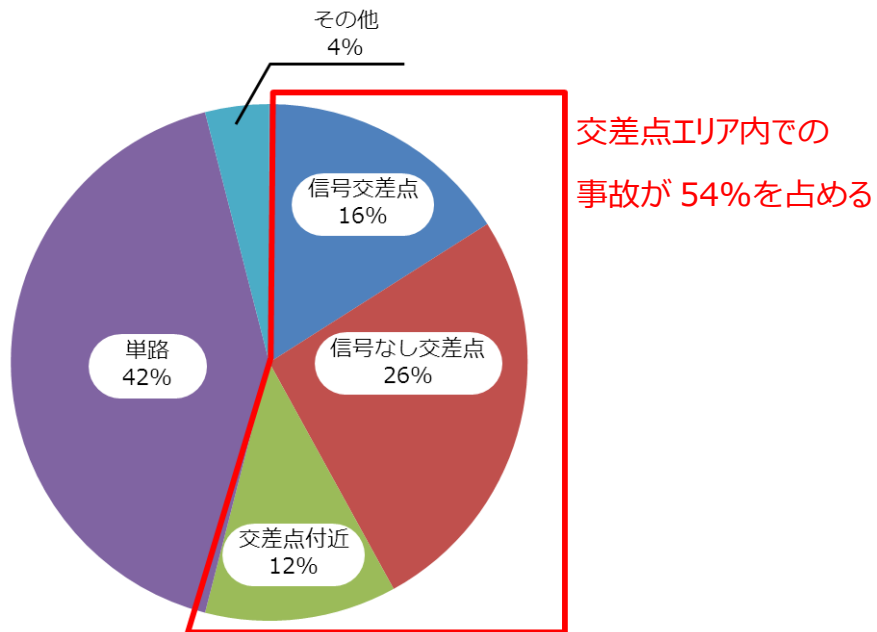


図 5 道路形状別にみる交通死傷事故構成率 [4]

4.2 取組概要

① 動体接近検知システムの構築(H26 年度継続)

車椅子と歩行者間の接近予測・危険通知を、以下を元に行うシステムを構築

- ・ BLE 受信強度の利用による二者間の相対位置情報
- ・ GPS による絶対位置情報

② 交差点における応用検討

①で開発したシステムの交差点における応用検討および基礎実験

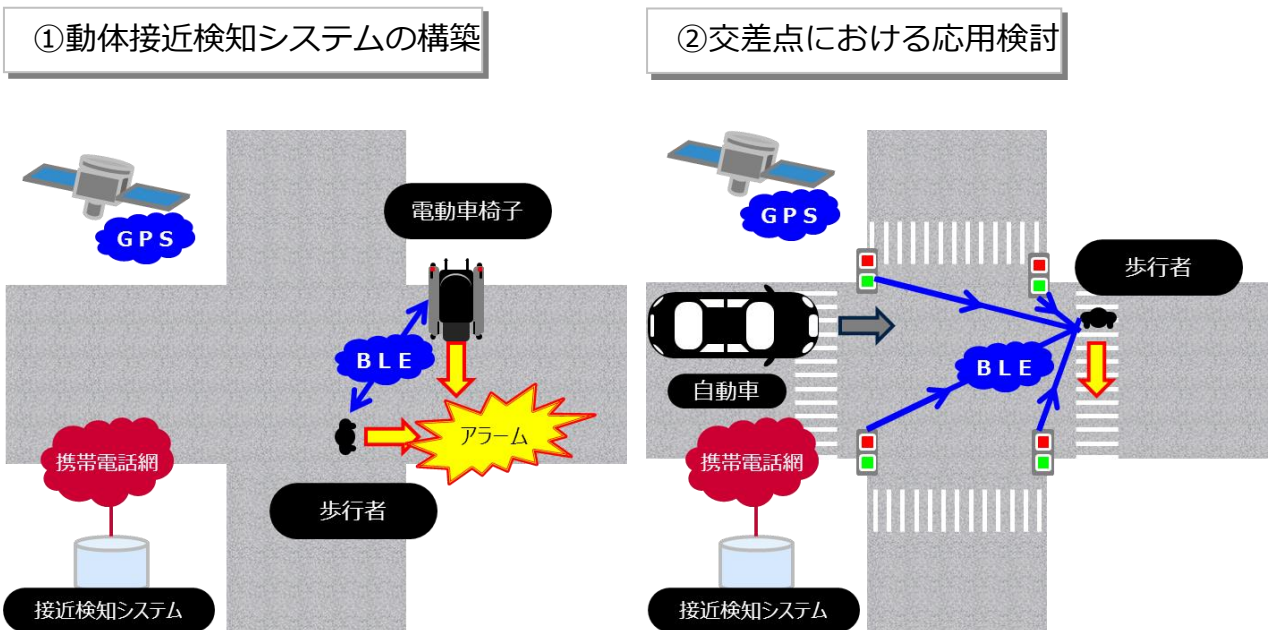


図 6 平成 27 年度の検討図

<平成 26 年度実施内容>

- ① 受信強度利用による相対位置測位、GPSによる絶対位置測位
- ② サーバシステム開発（データ格納機能の実装）
- ③ 実験の実施による基礎データ収集

<H27 年度実施内容>

- ④ 動体予測技術の実装および即時通知機能の実装
- ⑤ 交差点における応用に関する検討
- ⑥ 交差点応用に関する基礎実験の実施

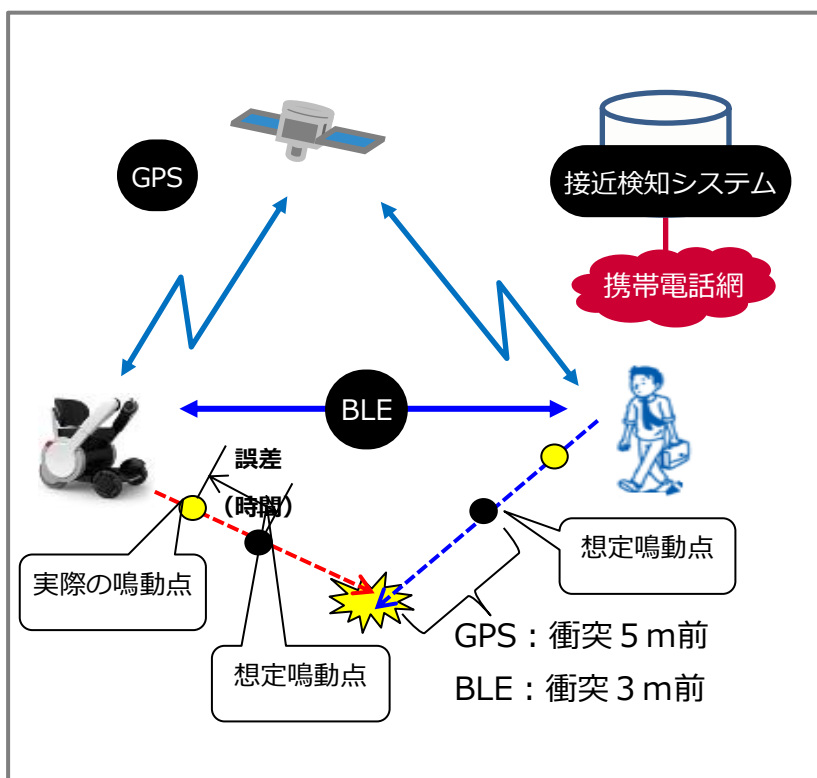
4.3 動体接近検知システムの検証（実験内容）

【実験内容】

接近検知アラートの精度（想定鳴動点との時間誤差）の確認を行う。

<システム仕様>

- ・ GPS 測位によるアラート鳴動：衝突 5 m前
- ・ BLE 受信強度測位によるアラート鳴動：衝突 3 m前



※GPS については、システム側で測位結果に動体位置予測を適用

図 7 接近検知システムの実験イメージ

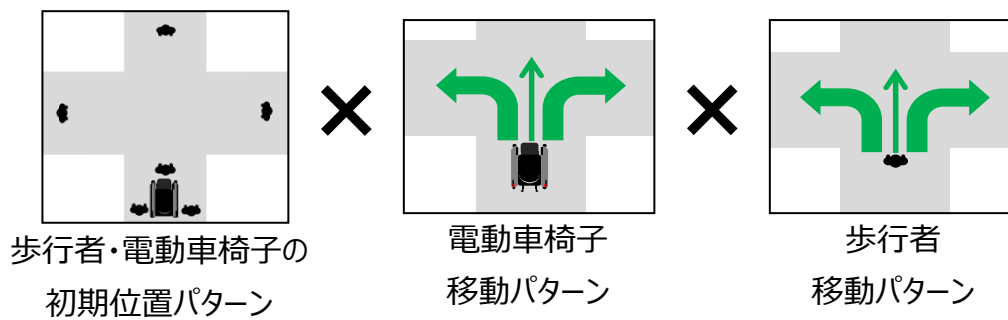


図 8 実験項目

項目	条件	
電動車椅子速度	1m/s	2m/s
歩行者速度	1m/s	
移動距離	10m~30m	



<実験の様子>

図 9 行動条件

4.4 動体接近検知システムの検証（実験結果）

想定鳴動点に対し、GPS、BLE の両方または何れかが ± 1 秒の範囲で鳴動：
約 70% \Rightarrow 実用に向けては個別要素の更なる精度向上が必要

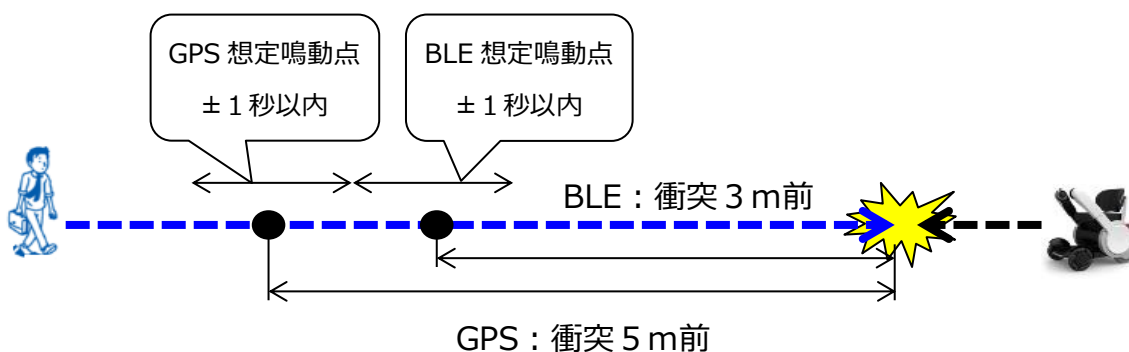


図 10 想定鳴動点の説明図

表 1 想定鳴動点に対する精度

想定鳴動点とのずれ ± 1 秒以内		該当実験数 (回)	全体に占める割合 (%)	全体に占める割合 (%)
GPS	BLE			
○	○	106	22.9%	73.4%
○	×	122	26.4%	
×	○	111	24.0%	
×	×	123	26.6%	26.6%
合計		462	100%	100%

4.5 動体接近検知システムの応用検討

動体接近検知システムにおいては、BLE の距離検知精度(3m)は 47%程度である。これを交差点へ応用する場合、歩行者と BLE ビーコン間の距離は長くなるため、さらに精度が悪くなることが想定される。そこで、BLE ビーコンを複数設置による位置推定への活用を検討する。

表 2 想定鳴動点に対する精度

想定鳴動点との ずれ±1秒以内		該当 実験数 (回)	割合 (%)
GPS	BLE		
○	○	106	22.9%
○	×	122	26.4%
×	○	111	24.0%
×	×	123	26.6%
合計		462	

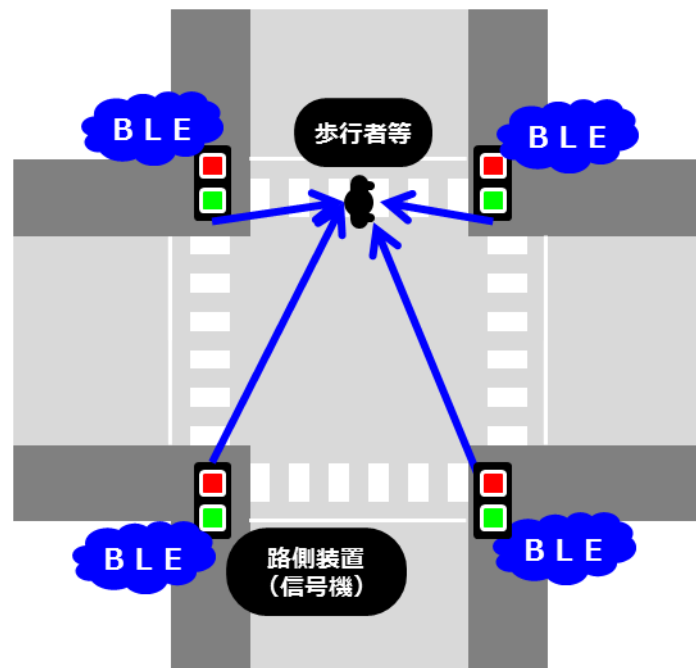


図 11 交差点における応用イメージ

4.6 マルチビーコンによる実験内容

交差点内の路側装置に BLE ビーコンを 4 カ所固定設置し、各測定ポイントにおける受信強度から推定される距離の精度の見極めを実施する。

【凡例】

- : ポール (4カ所)
- : 測定点 (15カ所)

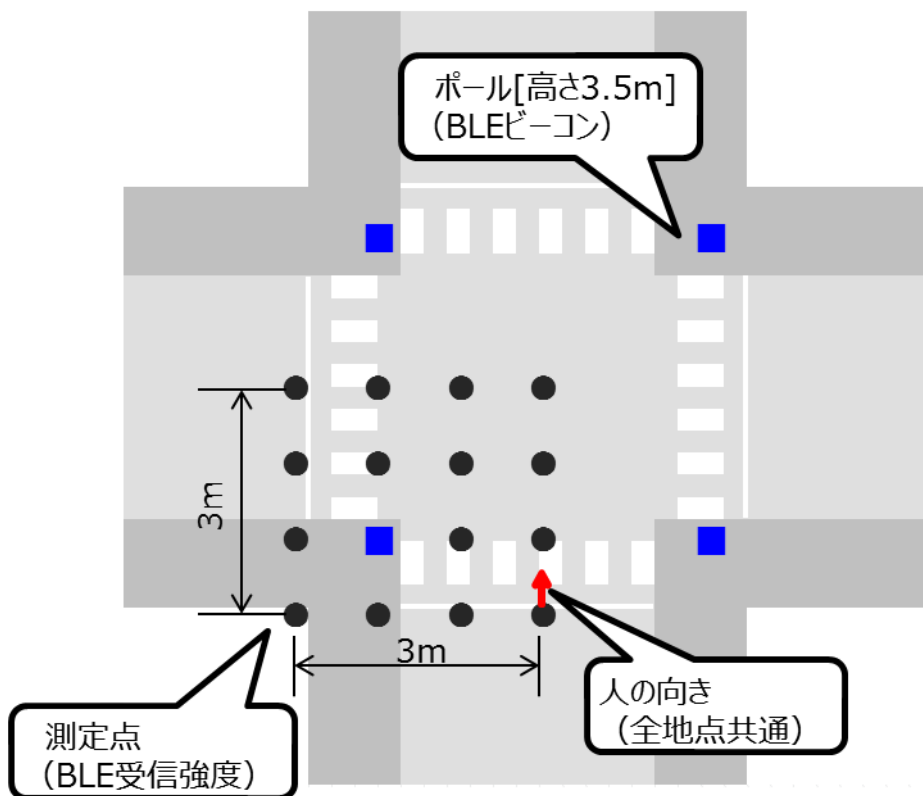


図 12 実験概要図

交差点を模した平地に、信号機を模したポールを4本立て、その上にBLE ビーコンを設置した。



図 13 実験の様子

4.7 マルチビーコンによる実験結果

【実験結果】

- ✓ 4点のビーコンのBLE受信強度測定による距離算出は誤差が大きく、交差点内における歩行者の位置推定は難しい。
- ✓ 特に人体が遮蔽となると受信強度が大きく減衰し、誤差が大きくなる。

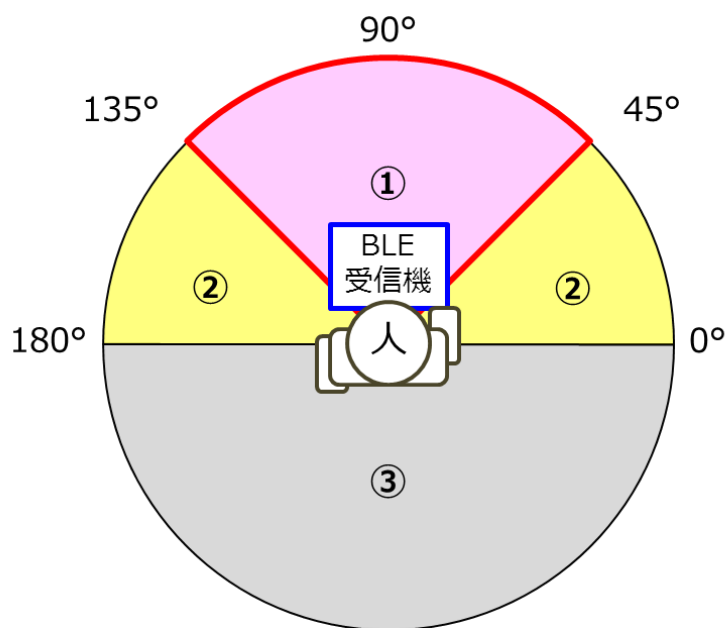


図 14 BLE 電波到角と誤差の関係

表 3 BLE 電波到角と誤差の関係

$$\text{誤差[m]} = (\text{受信強度算出距離}) - (\text{実際の距離})$$

区画	データ点数[個]	誤差平均[m]	実際の距離との誤差率平均 [%]
①	27	3.1	63.1%
②	17	8.1	224.6%
③	16	14.4	394.3%

- ✓ 前頁のとおり、BLE による距離算出誤差は大きく、特に人体遮蔽の影響が想定される。
- ✓ 一方、人体遮蔽による受信強度の変化を、位置推定に活用できる可能性がある。

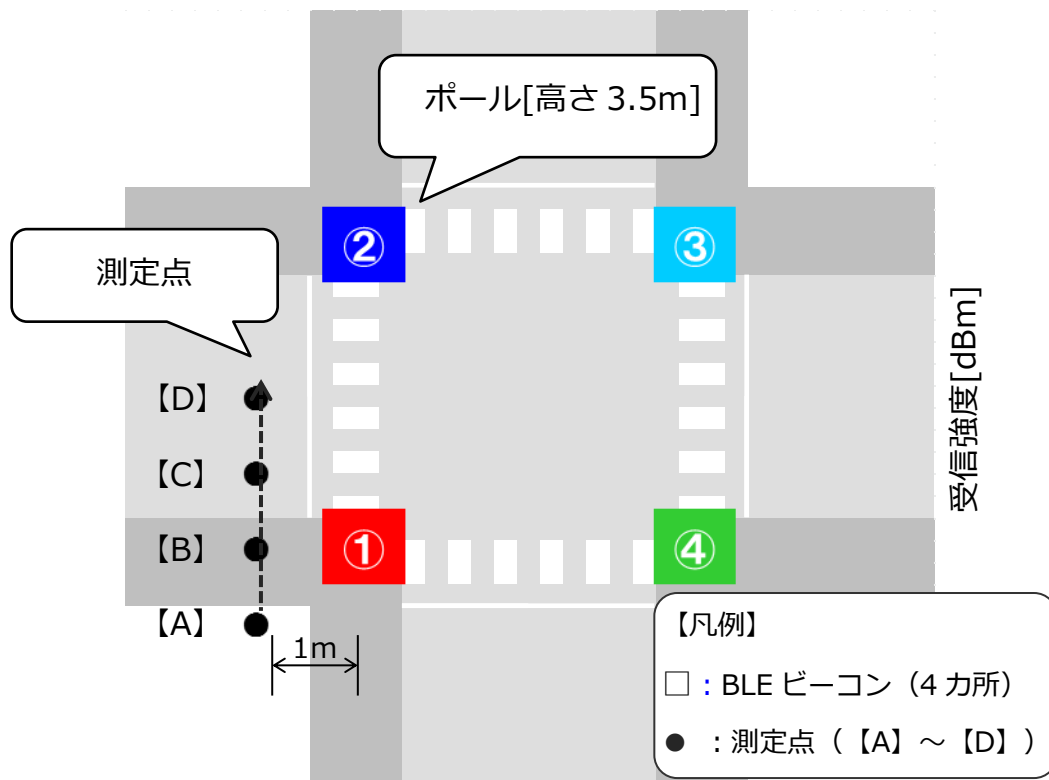


図 15 実験の説明図

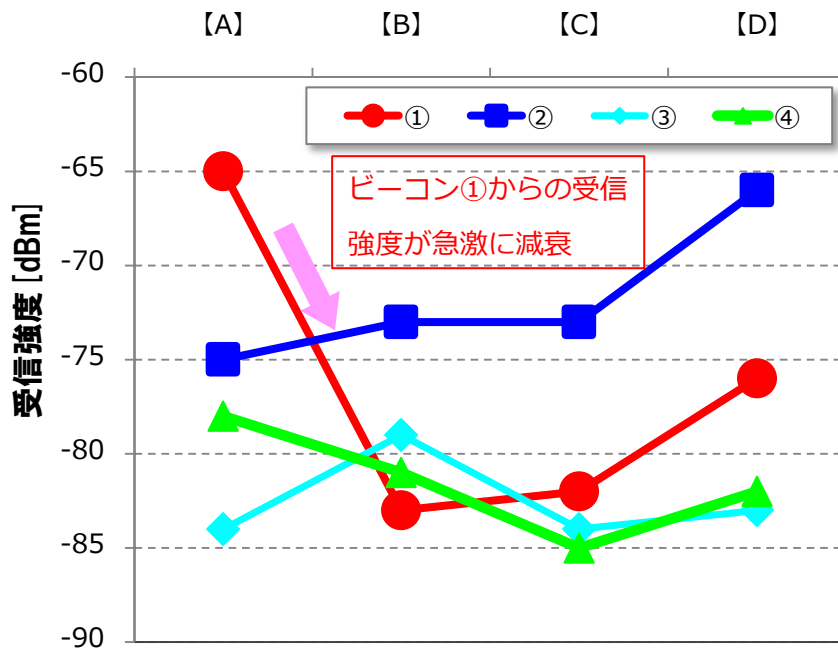


図 16 実験結果

4.8 考察および来年度研究の方向性

交差点における応用に向けた基礎実験の結果から、以下の通り考察する。

- ✓ BLE 受信強度測定による歩行者の位置推定は難しい。
- ✓ 特に、人体による遮蔽により、受信強度が大きく減衰し、推定距離の誤差が大きくなる。

以上より、下記の通り考察する。

- 人体の遮蔽になる際に受信強度が大きく減衰する傾向を利用し、ビーコン横の通過（横断歩道への入出のタイミング）を把握できる可能性がある。
- BLE ビーコンを配置する間隔および個数等により、様々なパターンの位置推定への応用も考えられる。

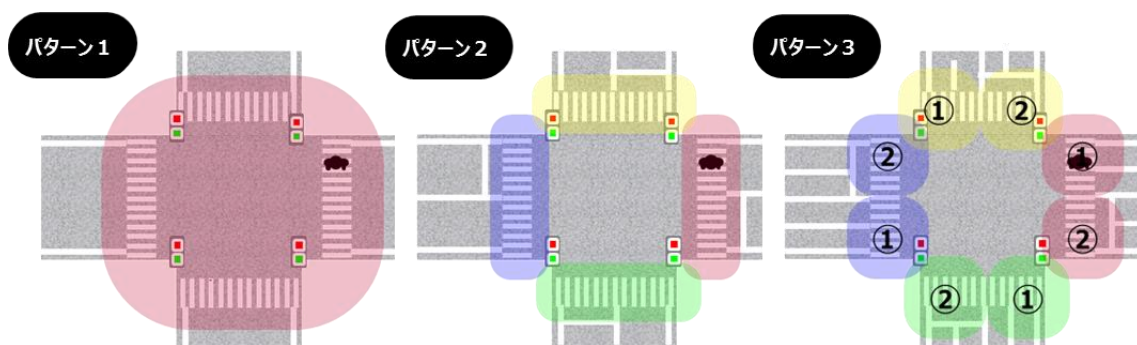


図 17 パターンと歩行者検知エリアの概念図

適用交差点の見極めにおいては、BLE の技術的な特性と交差点の規模・形状との組み合わせのみならず、他技術との棲み分けについても鑑み、検討を進める。

4.9 平成 28 年度の検討方針

今年度実施した実験結果より、適応するシチュエーションを絞り込み、交差点内を歩行する歩行者の位置測位を行う方式を検討した平成 28 年度は、より詳細な検討を行い、方式の策定及びシステムの構築を行う。

【基本構成】

平成 27 年度までの研究成果を利用した交差点エリアの位置測位の構成図を図 18 に示す。

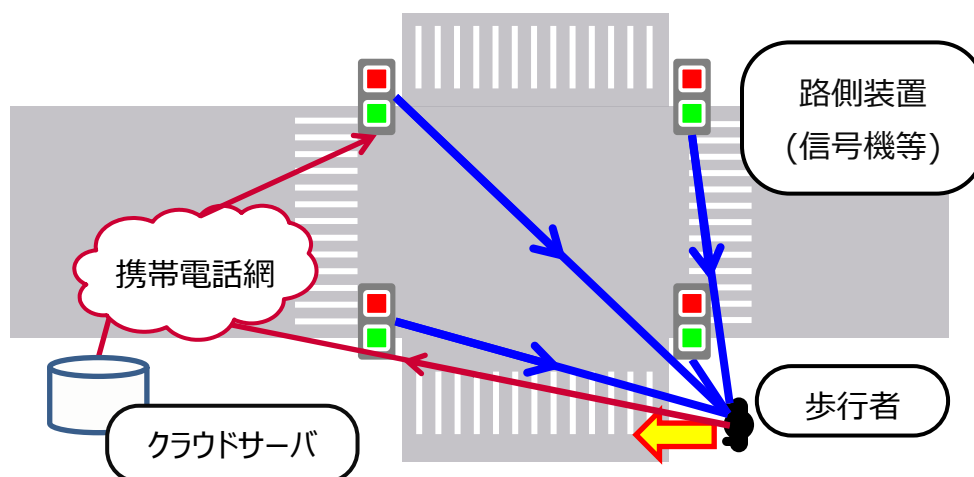


図 18 交差点エリアにおける位置測位システムの構成図

【方式検討】

平成 28 年度の研究開発内容は、表 4 及び表 5 に示す方式について検討した。セキュリティ及びプライバシーの観点から方式 1 を採用する見込みである。

表 4 検討方式一覧

方式	項目名	歩行者	路側装置	位置測位算出装置	位置情報送信媒体
方式 1	歩行者受信型	BLE 受信	BLE 送信	歩行者装置 又は、クラウド	携帯電話網
方式 2	歩行者送信型	BLE 送信	BLE 受信	路側装置	不要
方式 3	双方向通信型	BLE 送受信		歩行者装置 又は、路側装置	BLE

表 5 方式の検討

比較内容	方式 1	方式 2	方式 3	備考
測位精度・電波干渉	○	×	×	方式 2・方式 3 は、BLE の発信源がユーザ数に依存するので、干渉による測位精度の劣化が想定される。
セキュリティ	○	×	×	方式 1 では、セキュリティ及びプライバシーは携帯電話網を利用することで担保可能である。
通信パケット量	△	○	○	方式 1 では、携帯電話網を介するため方式 2・方式 3 に比べパケット量が増加する。
通知遅延時間	△	○	○	方式 1 では、システム構成により通知遅延時間が増加する。

5 研究開発体制

本研究開発に関わる実施体制を図 19 に示す。

【研究責任者】 熊谷 謙（株式会社 NTT ドコモ）
【経理責任者】 瀬戸口 純一（株式会社 NTT ドコモ）
【ビジネスプロデューサ】 村上 享司（株式会社 NTT ドコモ）

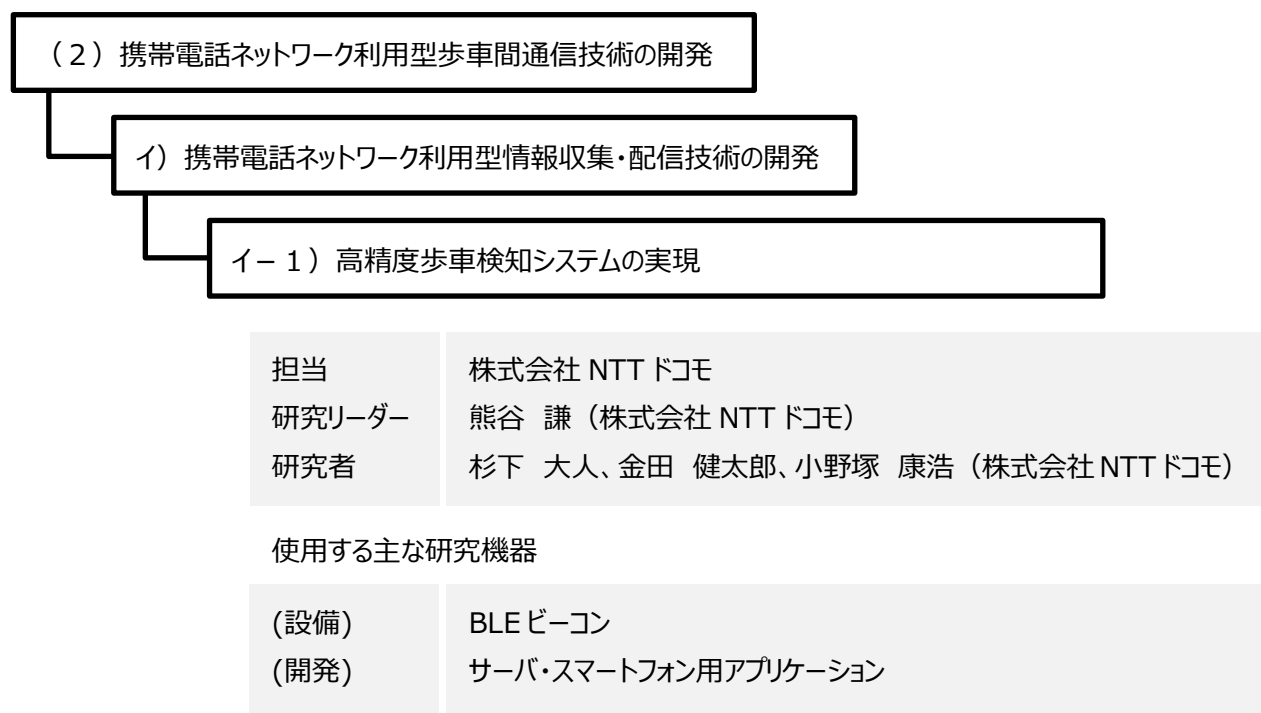


図 19 研究開発体制図

6 年次目標及び計画

交差点エリアにおける交通事故削減への貢献を目的とし、

図 20 の通り年次目標を設定する。

平成 26 年度	<ul style="list-style-type: none">■ 動体検知システムの構築<ul style="list-style-type: none">・ 電界強度利用による相対位置測位■ NW介在型システムの構築<ul style="list-style-type: none">・ GPS + 準天頂衛星による絶対位置測位■ データ格納機能の開発
平成 27 年度	<ul style="list-style-type: none">■ 接近検知システムの構築<ul style="list-style-type: none">・ 位置算出技術の実装・ 即時通知技術の構築・ 実験および評価測定による、事前設定秒数の適切な設定■ 交差点内における歩行者等の位置測位への応用<ul style="list-style-type: none">・ 方式検討・ 基礎実験の実施
平成 28 年度	<ul style="list-style-type: none">■ 交差点における位置測位への応用<ul style="list-style-type: none">・ 方式検討・ 実験装置の開発・ 実験および評価

図 20 年次目標

7 研究成果要約

平成 28 年度は、交差点内における歩行者等の位置測位システムの開発及び実験を実施し、表 6 に示す成果を達成している。

表 6 研究成果要約

目標	達成	説明
方式検討	完了	交差点エリアで右折する自動車へ歩行者検知の情報提供を行うユースケースの検討を実施した。BLE ビーコンの特性から中規模交差点(5.5m以上13m未満)への適用を設定する検討を実施した。
実験装置の開発	完了	歩行者用端末であるスマートフォン用アプリケーション及びクラウドサーバ用アプリケーションの開発を実施した。
実験および評価測定	完了	実験及び評価を実施した。

8 研究成果

8.1 適用ユースケースの検討

四輪車対歩行者の道路状態別右折事故件数は、図 21 に示すように交差点が 86%と最も多い。

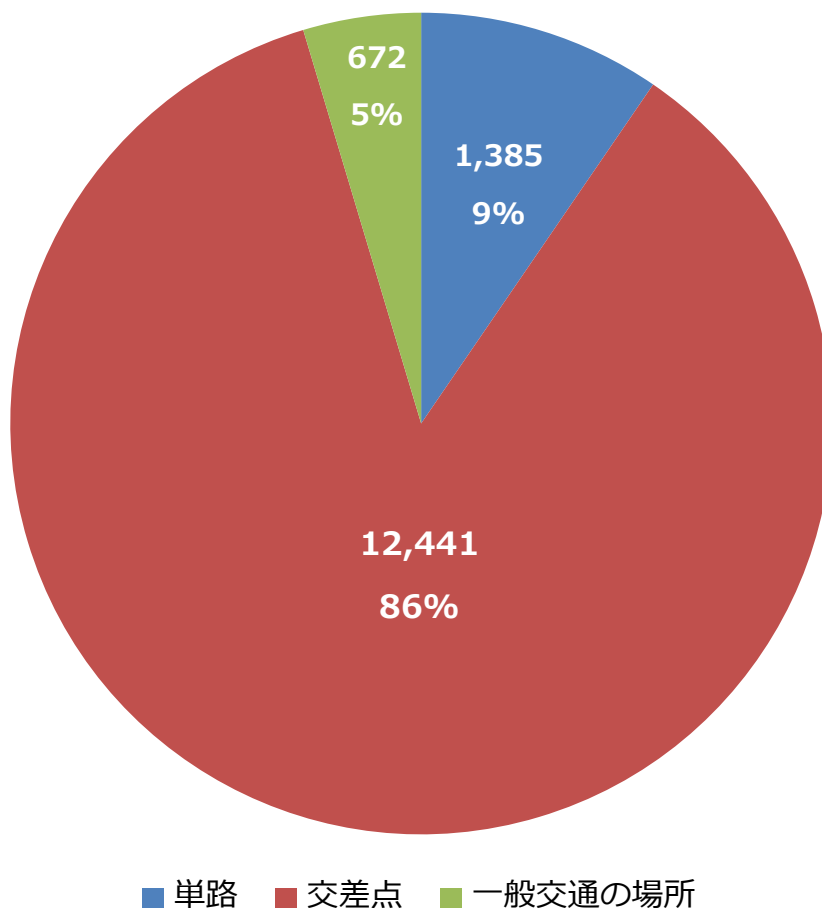


図 21 平成 27 年四輪車対歩行者の道路状態別右折事故件数(平成 27 年) [5]

また、四輪車対歩行者の右折時の人的事故要因構成率は図 22 に示すように安全不確認が 82%と最も多い。

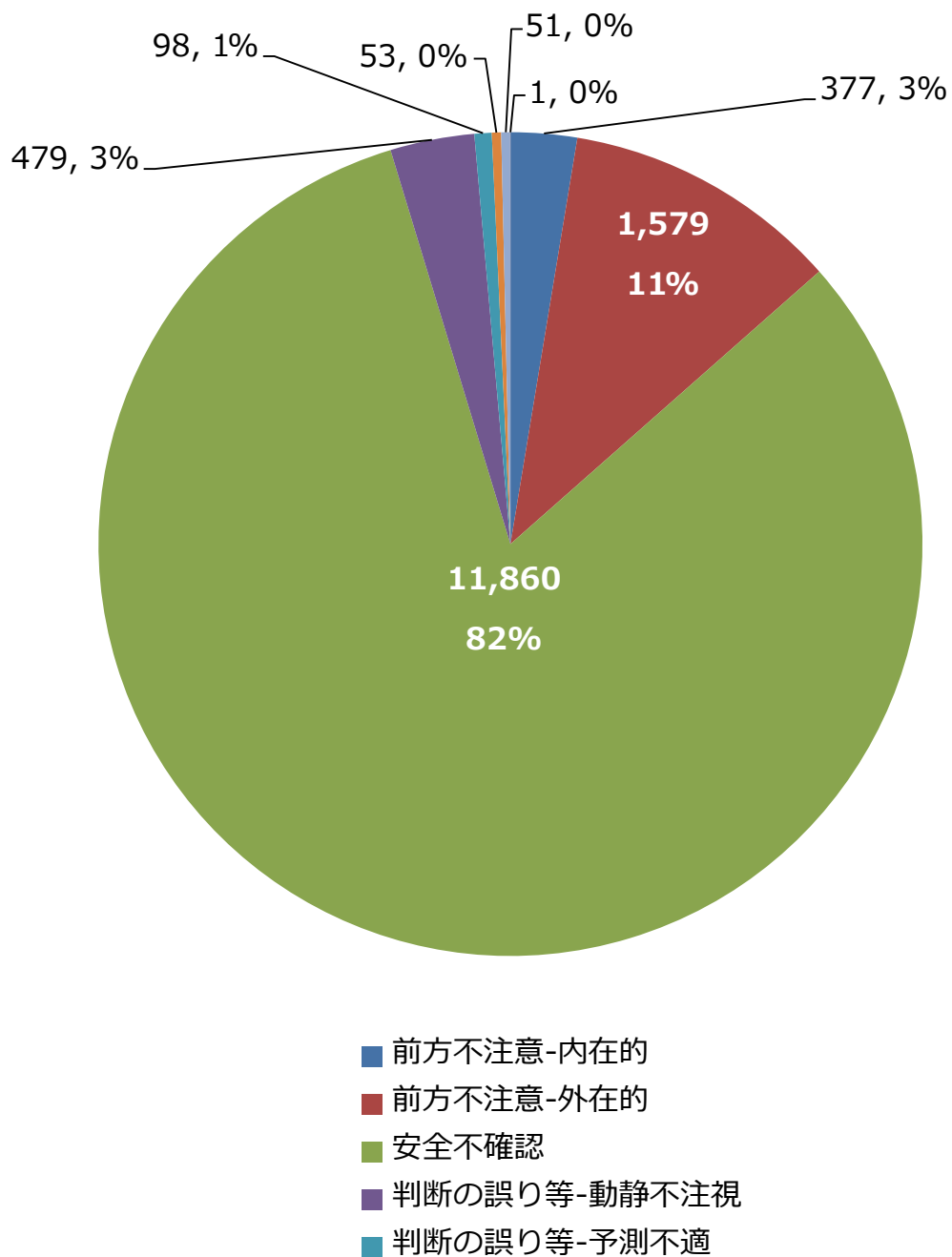


図 22 平成 27 年四輪車対歩行者の右折事故における人的事故要因構成比率 [5]

表 7 図 22 の凡例詳細 [5]

区分		詳細	
発見の遅れ	前方不注意	内在的	居眠り運転
			ラジオ・ステレオ等を聞いていた
			雑談や携帯電話等で話していた
			その他考え事等漫然運転
		外在的	物を落とした、物を取ろうとした
			同乗者、動物等と戯れていた
			カセットテープ、携帯電話等を操作していた
			テレビ、ナビゲーションを見ていた、操作していた
			雑誌、地図帳等を見ていた
			道、案内標識等を探して脇見
			風景、地形等に脇見
			他の車、歩行者に脇見
			バックミラーやドアミラーを見ていた
			その他の脇見
安全不確認	安全確認しなかった		
	安全確認が不十分だった		
判断の誤り等	動静不注視	相手が譲ってくれると思って注視を怠った	
		他の危険を避けようとして注視を怠った	
		その他まだ具体的危険性がないとして注視を怠った	
	予測不適	運転感覚(速度、車幅、距離等)を誤った	
		相手がルールを守ると思った	
		相手が譲ってくれる、停止してくれると思った	
		他の事故(危険)を避けようと思った	
		その他相手の行動予見等の判断を誤った	
	交通環境	道路形状、道路線形、道路環境に対する認識を誤った	
		道路環境(路面凍結や霧など)に対する認識を誤った	
		交通規制に対する認識を誤った	

		交通安全施設に対する認識を誤った
		障害物に対する認識を誤った
		その他の交通環境に対する認識を誤った
操作上の誤り	操作不適	ブレーキとアクセルの踏み違い
		ブレーキの踏みが弱い、踏み遅れ
		急ブレーキをかけた
		エンジン・ブレーキを使用しなかった
		ハンドルの操作不適
		ギヤの入れ違い
		ブレーキをかけながらハンドル操作
		オートスピードコントロール装置の操作不適
		その他の操作不適
		調査不能(運転者(自転車以外)で人的要因が不明の場合)

更に、図 23 に示すように交差点幅員別四輪車対歩行者の右折事故は中規模交差点の比率が 62%と最も多い。

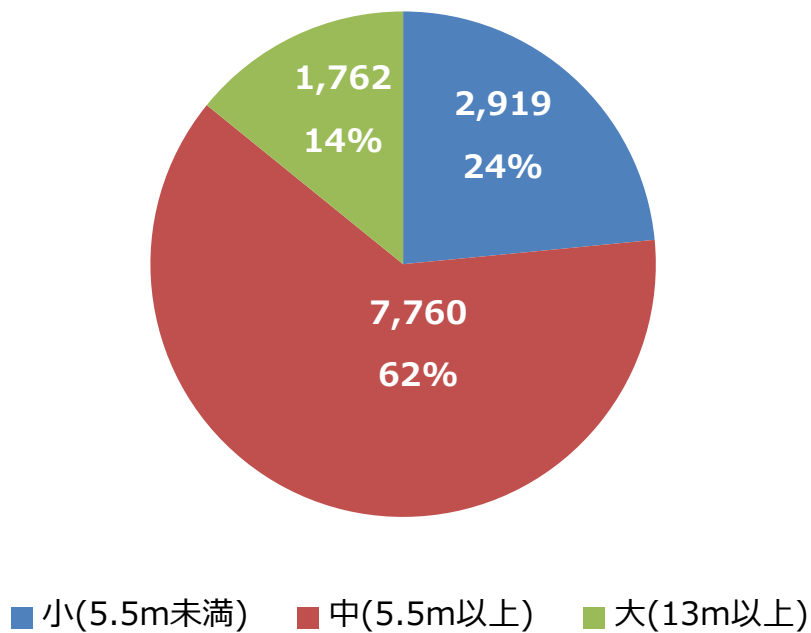


図 23 平成 27 年交差点幅員別四輪車対歩行者の右折事故 [5]

上記により、中規模交差点の右折車への情報提供 [6]をユースケースに設定した。また、平成 27 年度の実験より BLE ビーコンでは、電界強度から歩行者位置を検知するのは困難である。上記より、図 24 に示す通り高指向性 BLE ビーコンの複数設置による、歩行者検知エリアの細分化を行った。

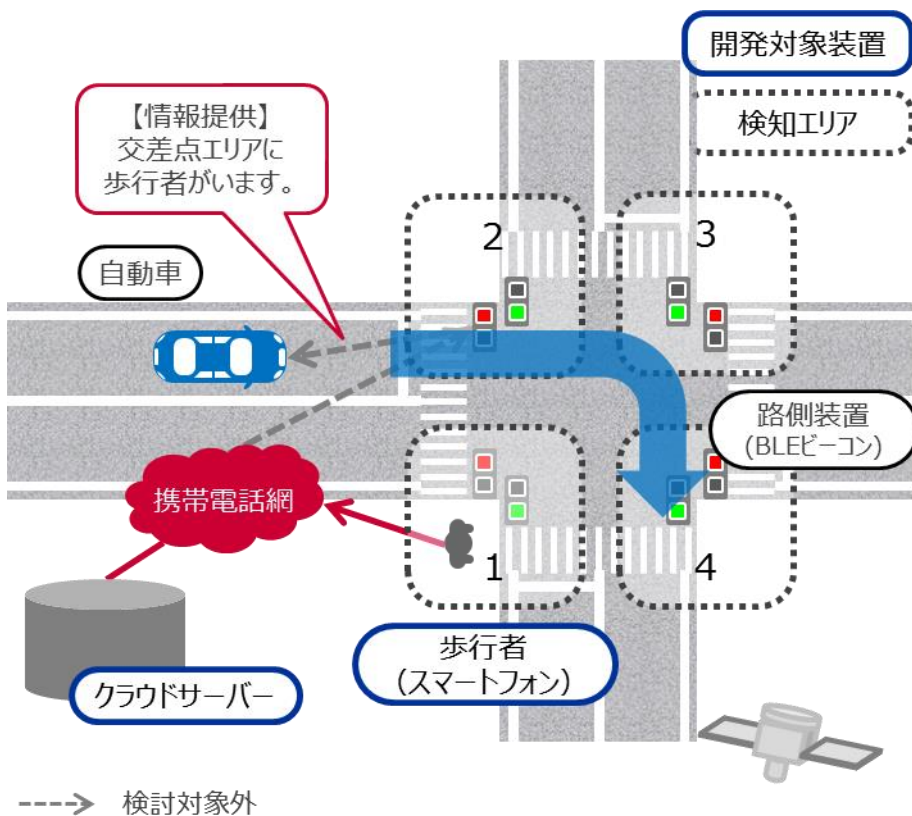


図 24 ユースケースの概念図

8.2 交差点エリアにおける歩行者検知

8.2.1 システム概要

交通事故削減に寄与する情報として、路側装置(BLE ビーコン)から歩行者(スマートフォン)が受信する受信信号により、交差点エリアでの歩行者を検知する。

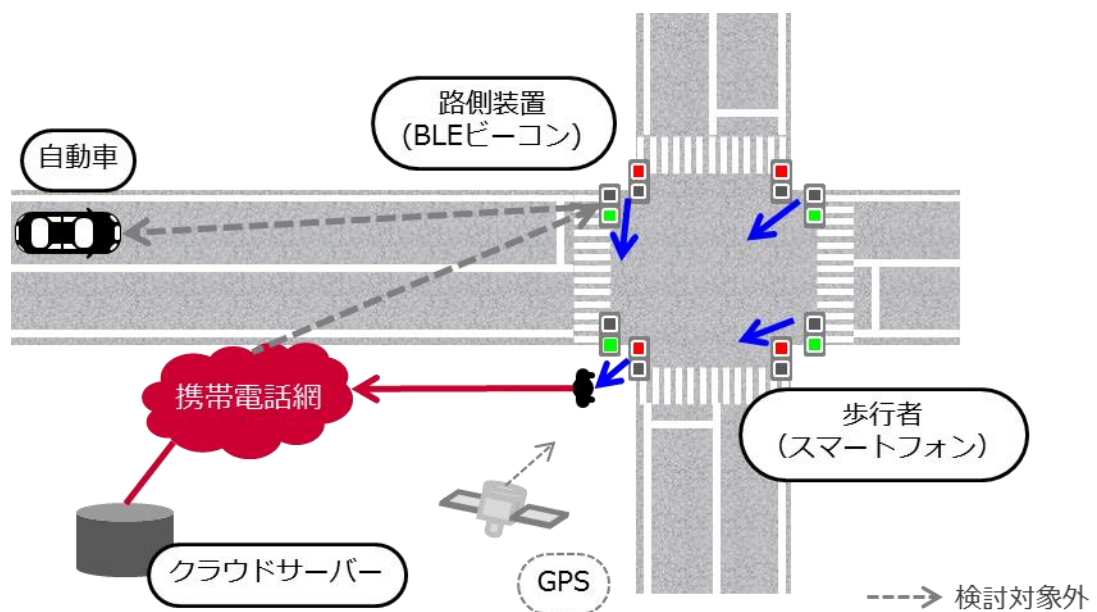


図 25 システム概要図

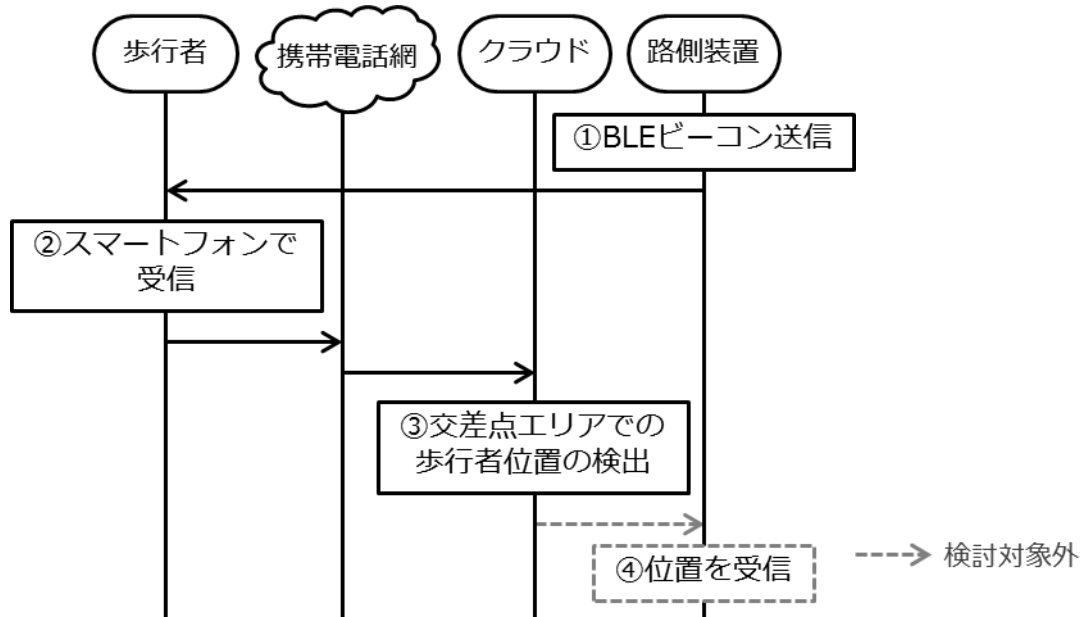


図 26 シーケンス図

8.2.2 システム構成図

システム構成図を図 27 に示す。

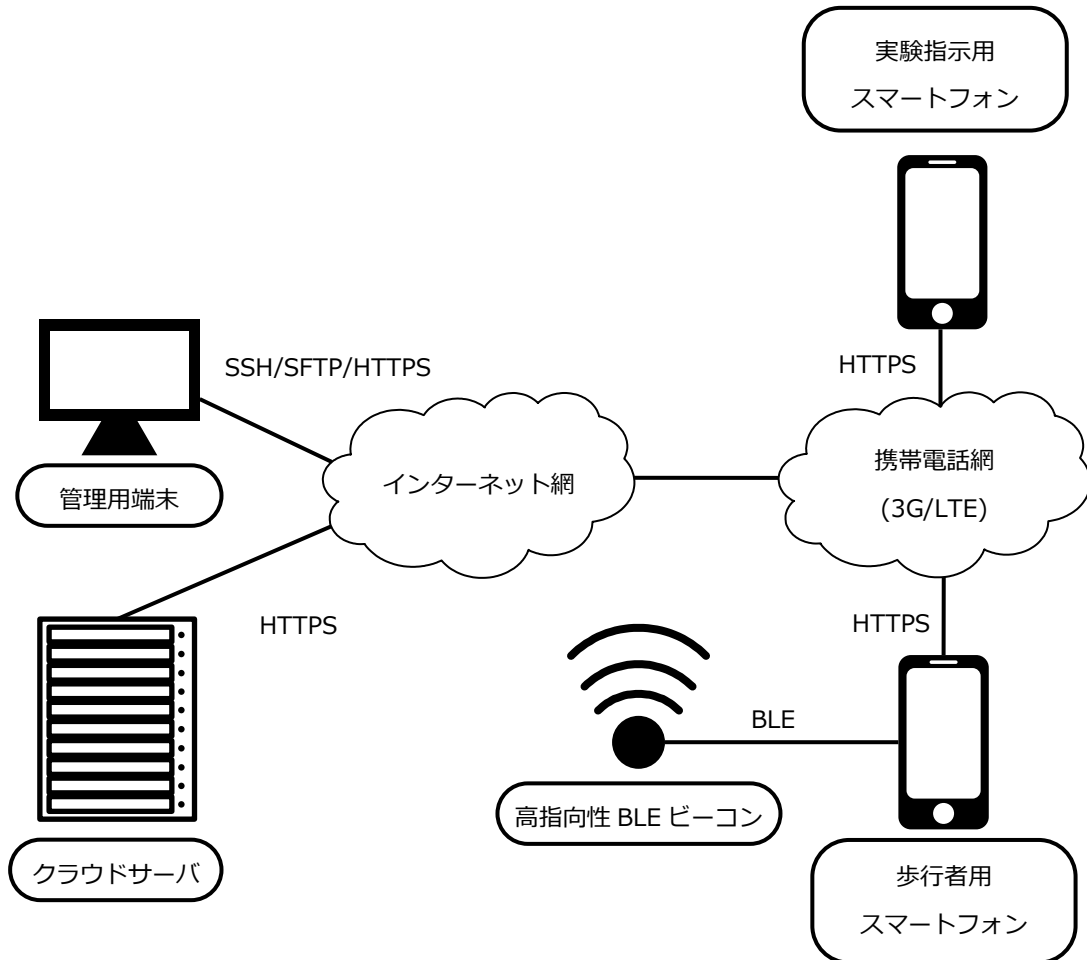


図 27 交差点エリアにおける歩行者位置検知システムの構成図

システムの構成品の説明は表 8 の通り。

表 8 交差点エリアにおける歩行者検知システムの構成品一覧

項番	項目名	説明
1	歩行者用スマートフォン	歩行者が所持するスマートフォン
2	実験指示用スマートフォン	実験指示者が所持するスマートフォン
3	管理用端末	クラウドサーバを管理する管理用端末
4	クラウドサーバ	歩行者位置検知のためのクラウドサーバ
5	高指向性 BLE ビーコン	指向性を持つ BLE ビーコン

8.2.3 サーバ構成

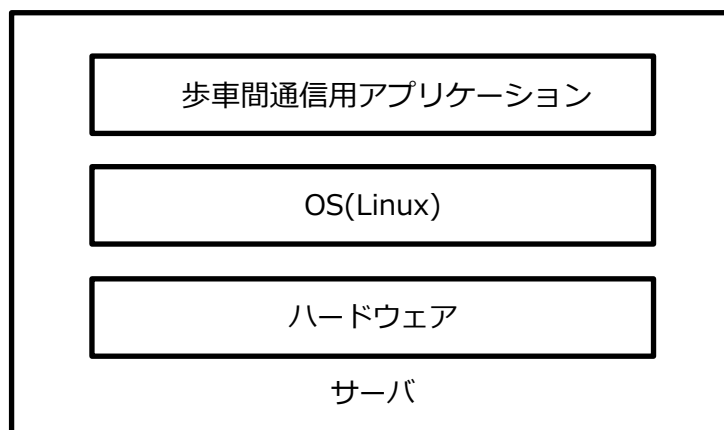


図 28 サーバ構成

8.2.4 サーバ諸元

表 9 サーバ要求仕様

項番	項目名	性能要件
1	CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2676 v3 @ 2.40GHz
2	メインメモリ	1Gbyte
3	HDD	30Gbyte

8.2.5 スマートフォン構成

スマートフォン構成を図 29 に示す。

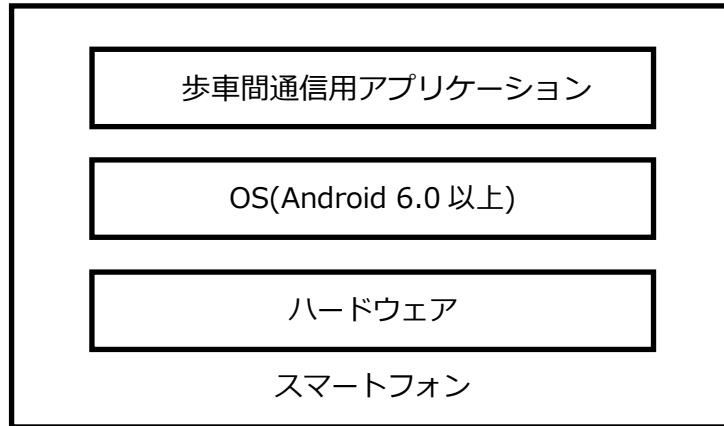


図 29 スマートフォン構成

8.2.6 スマートフォン性能諸元

実験に使用するスマートフォンは表 10 及び表 11 を利用した。

表 10 歩行者用スマートフォン仕様 [7]

項目	説明	
機種名	XPERIA XZ SO-01J	
サイズ (高さ×幅×厚さ)	約 146mm×約 72mm×約 8.1mm	
質量	約 161g	
ディスプレイ	サイズ	約 5.2 インチ
	解像度 (ドット数)	フル HD : 1080×1920
CPU	2.2GHz (デュアルコア) + 1.6GHz (デュアルコア) クアッドコア	
電池容量	2900mAh (内蔵電池)	
OS	Android™6.0	
外部メモリ	microSD/microSDHC/microSDXC (2GB/32GB/256GB)	
内蔵メモリ	RAM	3GB

	ROM	32GB
日本語変換エンジン	POBox Plus	
受信時最大速度/送信時最大速度	PREMIUM 4G	500Mbps * 6/50Mbps
VoLTE 対応	○ VoLTE (HD+)	
PREMIUM 4G	○	
赤外線通信	-	
ワンセグ/フルセグ	○/○	
おサイフケータイ	○	
テザリング同時接続数	Wi-Fi	10 台
	Bluetooth®	4 台
	USB	1 台
Bluetooth®	Bluetooth®4.2	
WORLD WING®	○	
エリアメール	○	
防水/防塵	防水 (IPX5/8) 、防塵 (IP6X)	
生体認証 (ログイン/決済)	○/○	
非常用節電機能	○	

表 11 実験指示用スマートフォン仕様 [8]

項目	説明	
機種名	XPERIA X Performance SO-04H	
サイズ (高さ×幅×厚さ)	約 144 mm×約 71 mm×約 8.6 mm	
質量	約 165g	
ディスプレイ	サイズ	約 5.0 インチ
	解像度 (ドット数)	フル HD : 1080×1920
CPU	2.2GHz (デュアルコア) + 1.6GHz (デュアルコア) クアッドコア	

電池容量	2570mAh (内蔵電池)	
OS	Android™6.0	
外部メモリ	microSD/microSDHC/microSDXC (2GB/32GB/200GB)	
内蔵メモリ	RAM	3GB
	ROM	32GB
日本語変換エンジン	POBox Plus 3.3	
受信時最大速度/送信時最大速度	PREMIUM 4G	375Mbps/50Mbps
VoLTE 対応	○	
PREMIUM 4G	○	
赤外線通信	-	
ワンセグ/フルセグ	○/○	
おサイフケータイ	○	
テザリング同時接続数	Wi-Fi	10台
	Bluetooth®	4台
	USB	1台
Bluetooth®	Bluetooth®4.2	
MirrorLink™	○	
WORLD WING®	○	
エリアメール	○	
防水/防塵	防水 (IPX5/8) 、防塵 (IP6X)	
生体認証 (ログイン/決済)	○/○	
非常用節電機能	○	

8.2.7 高指向性 BLE ビーコンの仕様

高指向性 BLE ビーコンの外観を図 30 に、仕様を表 12 に示す。



図 30 高指向性 BLE ビーコンの外観

表 12 高指向性 BLE ビーコン仕様

項番	項目名	性能
1	対応規格	iBeacon
2	送信間隔(実験)	100ms(変更可)
3	送信出力(実験)	0dBm(変更可)

8.3 実験装置のソフトウェア機能

8.3.1 サーバ用ソフトウェアの機能

サーバ用ソフトウェアの機能一覧を表 13 に示す。

表 13 サーバ用ソフトウェア機能一覧

項番	機能名	機能説明
1	HTTPS通信機能	HTTPSを利用してスマートフォン(同時接続数：最大10名)から送信される暗号化されたデータを受信する機能
2	データ蓄積機能	HTTPS通信機能で受信した暗号化されたデータを復号し、サーバ内にテキストデータとして蓄積する機能
3	管理用端末接続機能	管理用端末からSSH/HTTPSを利用して接続する機能(同時接続数：2台以上)
4	実験指示機能	実験指示機能(詳細は、8.5を参照)

8.3.2 スマートフォン用ソフトウェアの機能

スマートフォン用ソフトウェアの機能一覧を表 14 に示す。

表 14 スマート用ソフトウェアの機能一覧

項番	機能名	機能説明
1	HTTPS 通信機能	データ取得機能より複数回取得したデータを暗号化し、HTTPS を利用しサーバへ送信する機能 (取得したデータは、表 15 の項番ごとに,[カンマ]で区切る事)
2	データ取得機能	スマートフォンに搭載されたセンサー等から、データ(表 4 参照)を取得する機能
3	歩行者検知機能	BLE ビーコンの uuid・major・minor 及び、スマートフォンのセンサーを利用し、交差点エリアの歩行者(所持しているスマートフォン)を検知する機能
4	実験指示機能	実験指示機能(詳細は、8.5 を参照)

表 15 取得データ一覧

項番	データ名	説明
1	タイムスタンプ	yyyy/mm/dd hh:mm:ss.sss yyyy/mm/dd : 年月日、hh:mm:ss.sss:時分秒(ミリ秒)
2	端末識別	スマートフォンの識別 ID
3	実験 No	スマートフォンで入力した実験 No
4	UUID	BLE ビーコンの UUID
5	Major	BLE ビーコンの Major
6	Minor	BLE ビーコンの Minor
7	RSSI	BLE ビーコンの RSSI
8	MeasuredPower	BLE ビーコンの MeasuredPower
9	加速度センサー	X 軸、Y 軸、Z 軸の加速度データ
10	地磁気センサー	度数データ
11	GPS	緯度、経度の座標データ

8.4 サーバ・スマートフォン通信インタフェース仕様

通信インタフェース仕様を表 16 に記す。

表 16 通信インタフェース仕様

項番	区分	項目	仕様
1	サーバ～スマートフォン間	通信方式	HTTPS
		データ形式	テキストデータ(UTF-8)
		通信頻度	最短 1Hz
2	サーバ～管理用端末間	通信方式	SSH、HTTPS

8.5 実験指示機能

実験装置のシーケンス図を図 31 に示す。

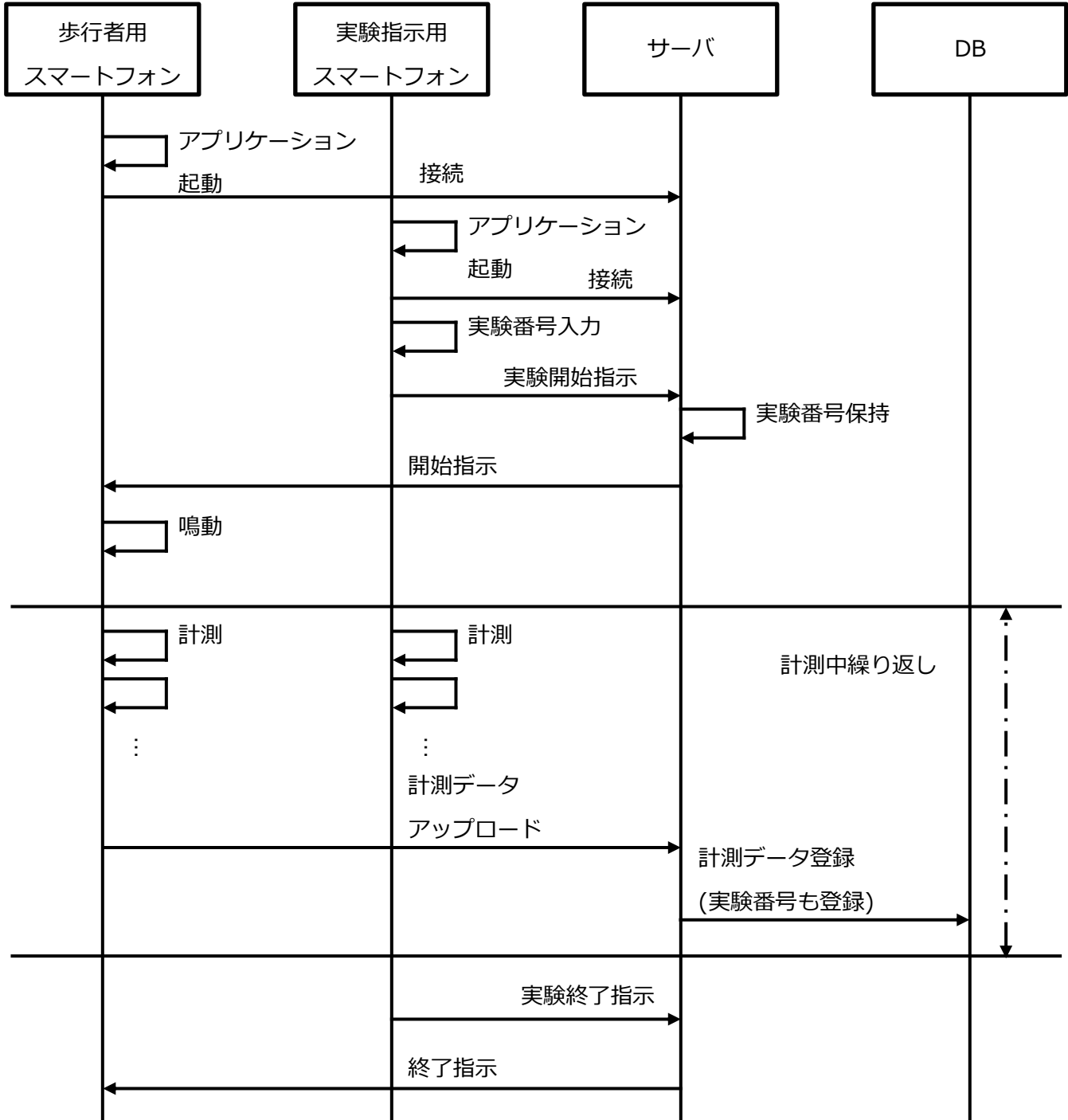


図 31 実験装置シーケンス図

9 実験及び検証

9.1 実験目的

交差点を模した環境で信号機付近に高指向性 BLE ビーコンを設置したと想定し実験を実施する。本実験により、図 32 に示す交差点エリアにおける歩行者検知エリアについて検証し明らかにすることを目的とする。

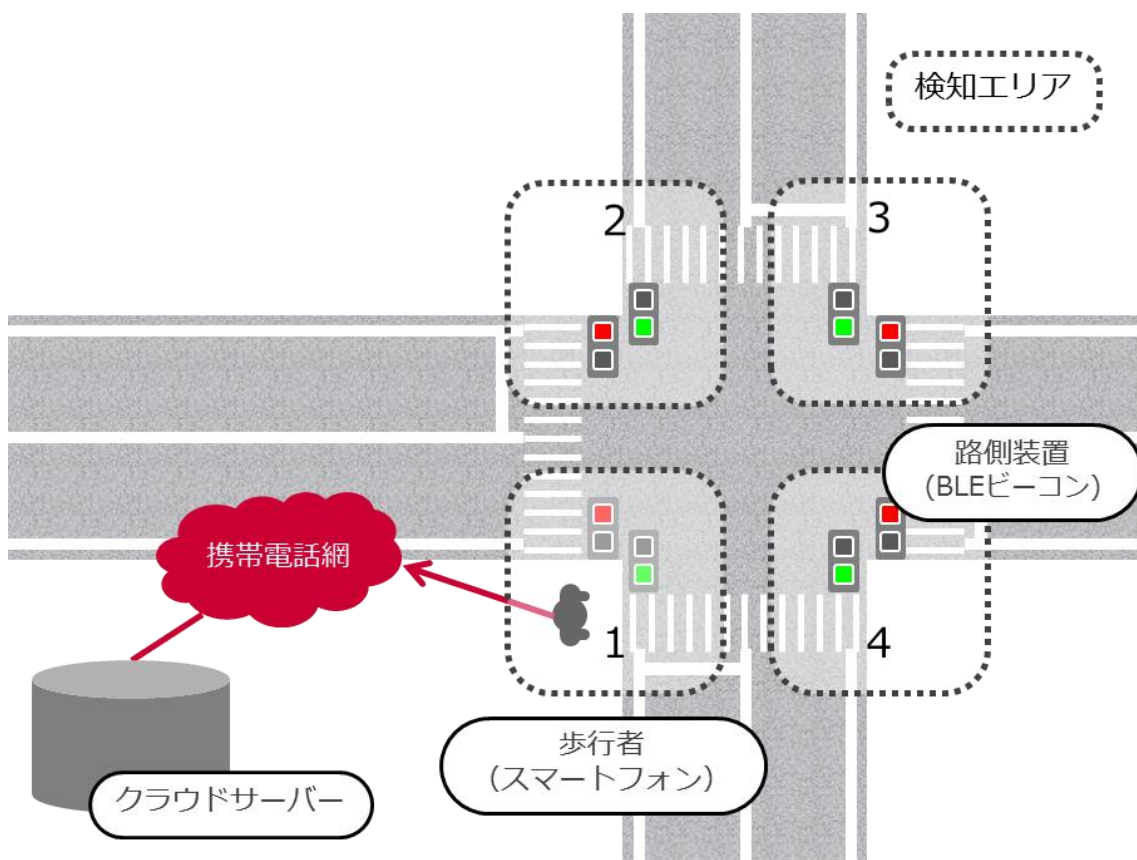


図 32 交差点エリアにおける歩行者検知イメージ

9.2 実験条件

高指向性BLEビーコンは、歩行者用信号機付近に設置することを想定し、下記に示す参考文献を元に設置高さの規定を実施した。

- 道路交通法施行規則 [9]
歩道上の構造物は 2.5m 以上
- 視覚障害者用付加装置に関する設置・運用指針の制定について [10]
音響装置のスピーカーは 3.3m 程度
- 交通制約者などの移動支援システムの開発に向けた基本設計報告書 [11]
歩行者用検知器(光センサー)は 3.5m

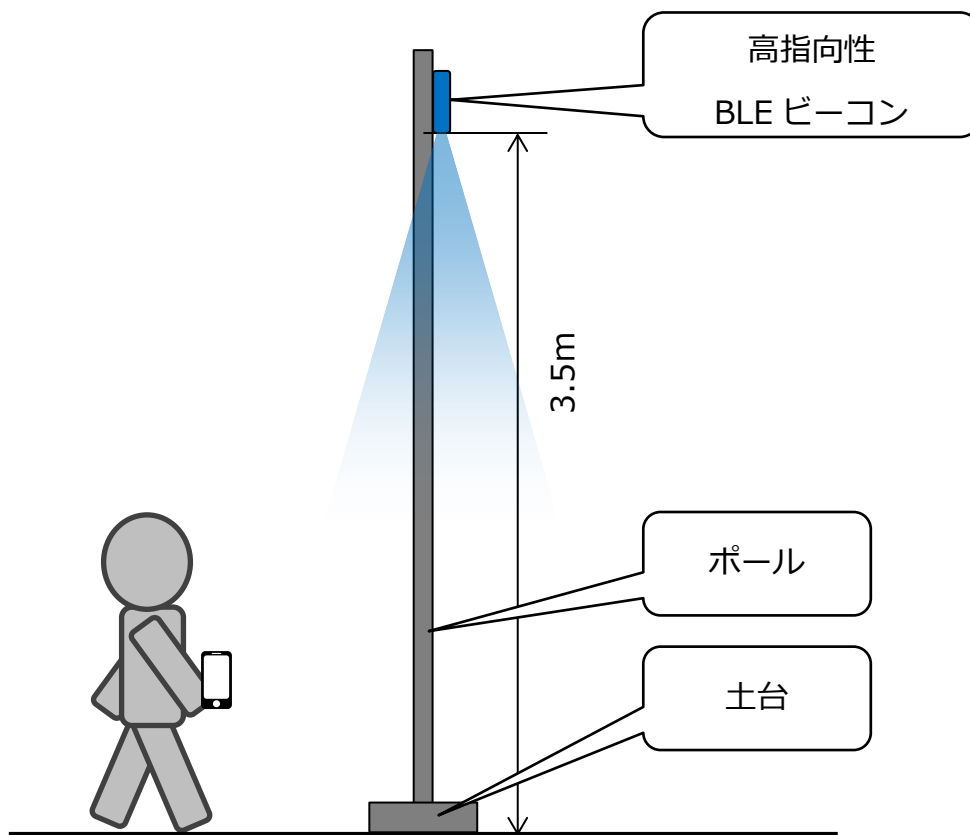


図 33 高指向性 BLE ビーコン設置高さの規定

ポールの外観を図 34 に、仕様を表 17 に示す。



図 34 ポールの外観

表 17 ポールの仕様

項番	項目名	仕様
1	品番	H-4000
2	材質	鉄(プラスチックコーティング)
3	太さ	φ28mm
4	長さ	4m

土台の外観を図 35 に、仕様を表 18 に示す。



図 35 土台の外観

表 18 土台の仕様

項番	項目名	仕様
1	品番	499
2	材質	ポリエチレン・ポリプロピレン
3	幅	350mm
4	奥行	350mm
5	高さ	260mm

実験場は、8.1 で述べたように中規模交差点の交通事故が多いため、中規模交差点を模した環境を想定し、図 36 に示すように規定した。

- ITARDA [4]
中規模交差点 5.5m~13m
- 道路構造令第十一条 [12]
歩行者交通量が多い道路は 3.5m以上、その他の道路は 2 m以上とする
- 路面標示設置の手引 [13]
「横断歩道の幅員は幹線道路相互の交差点では 4m、細道路相互の交差点では 3m を最小とし、必要に応じて 1m 単位で増減させる」

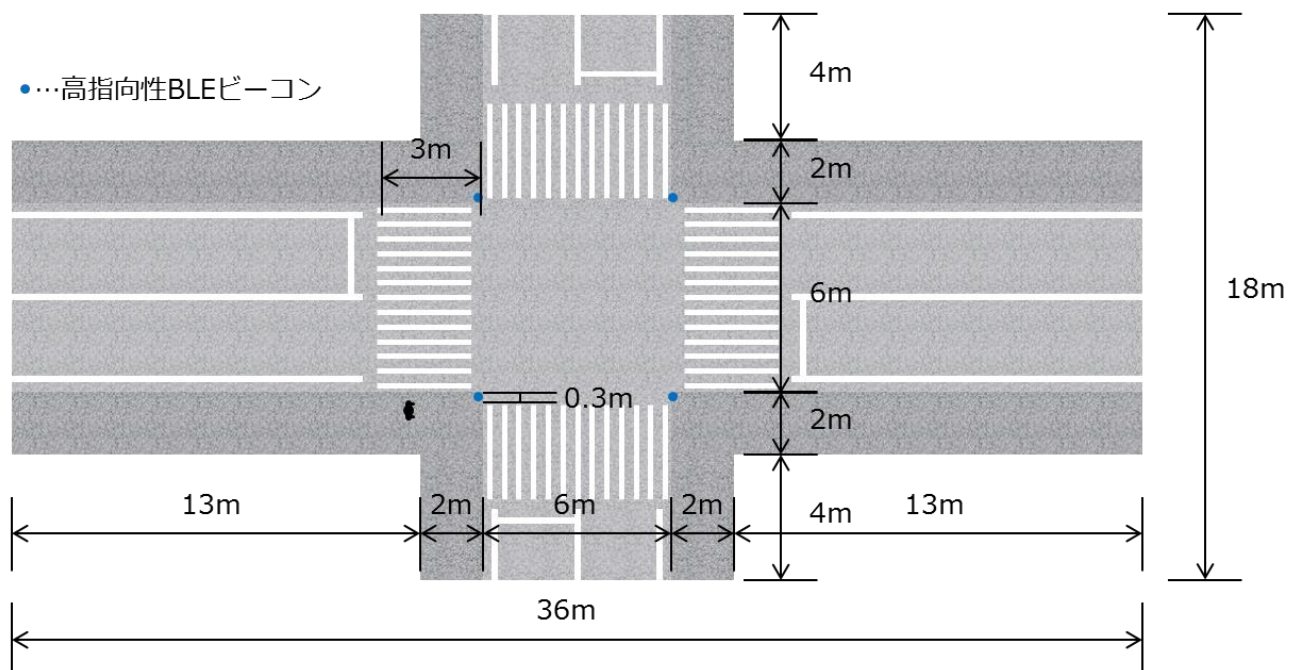


図 36 想定する実験場交差点の大きさ

歩行者用スマートフォンは、図 37 に示す通り地面から 1m の高さに歩行者が手持ちし実験を実施した。

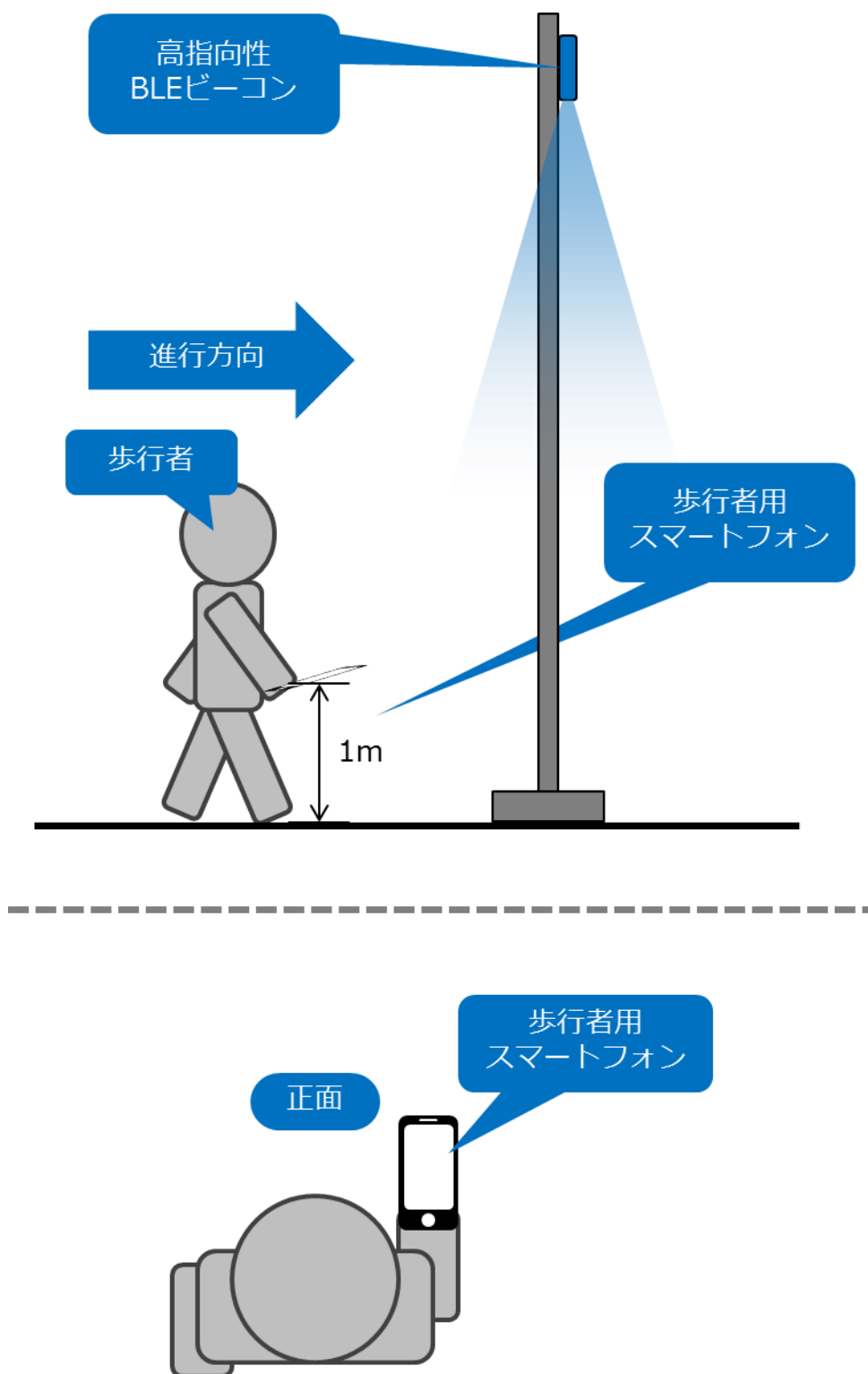


図 37 歩行者用スマートフォンの所持位置

歩行者が BLE ビーコンを通過する際の距離を図 38 に示す。

●…高指向性BLEビーコン

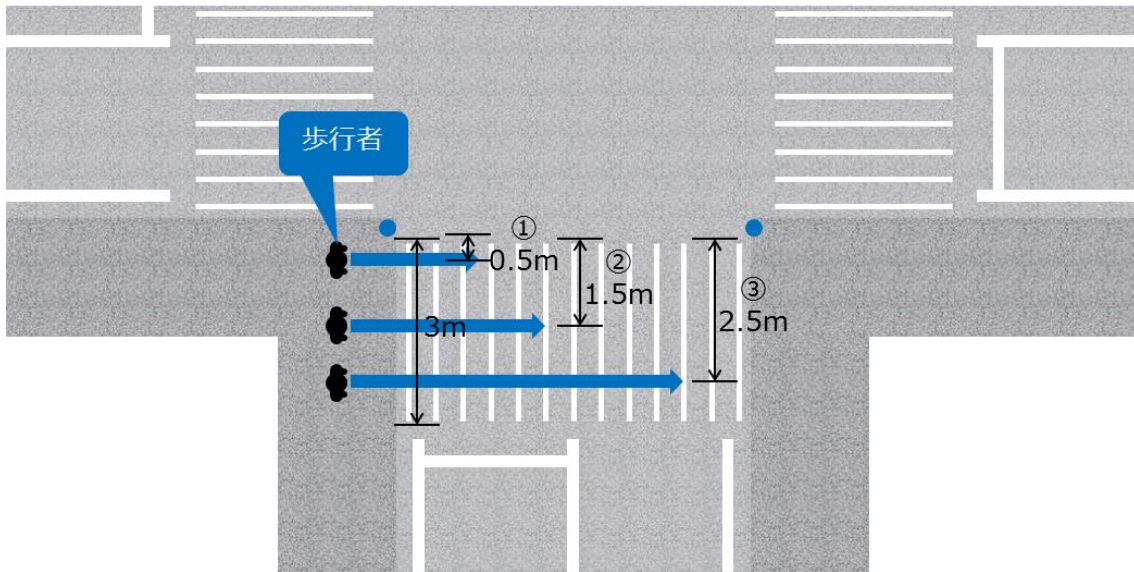


図 38 通過時の BLE ビーコンとの距離

歩行者の歩行ルートを図 39 に示す。

●…高指向性BLEビーコン

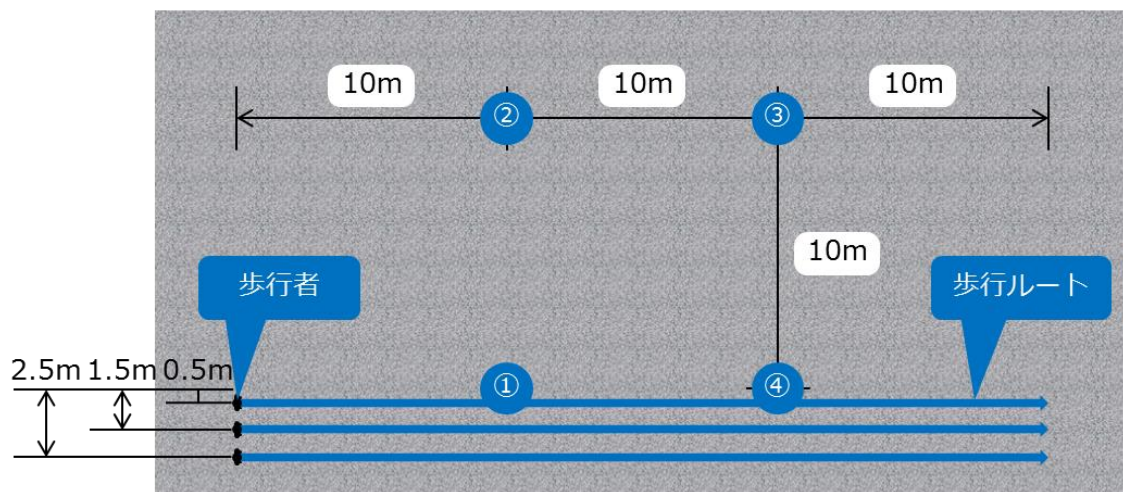


図 39 実験歩行ルート

9.3 実験項目

実験項目は、9.2 に記載する実験条件を元に、表 19 に示す項目を各 3 回実施した。

表 19 実験項目

項番	歩行速度	通過時の BLE ビーコンとの距離		
		0.5m	1.5m	2.5m
1	約 1m/s	○		
2			○	
3				○

9.4 高指向性 BLE ビーコン設定値

高指向性 BLE ビーコンの設定値を表 20 に示す。

表 20 9.4 高指向性 BLE ビーコンの設定値(major,miner)

項番	装置名	major	miner
1	BLE ビーコン 1	1	153
2	BLE ビーコン 2	1	154
3	BLE ビーコン 3	1	155
4	BLE ビーコン 4	1	156

9.5 実験方法

実験は実験指示機能を利用し、図 40 に記載する手順で実施する。

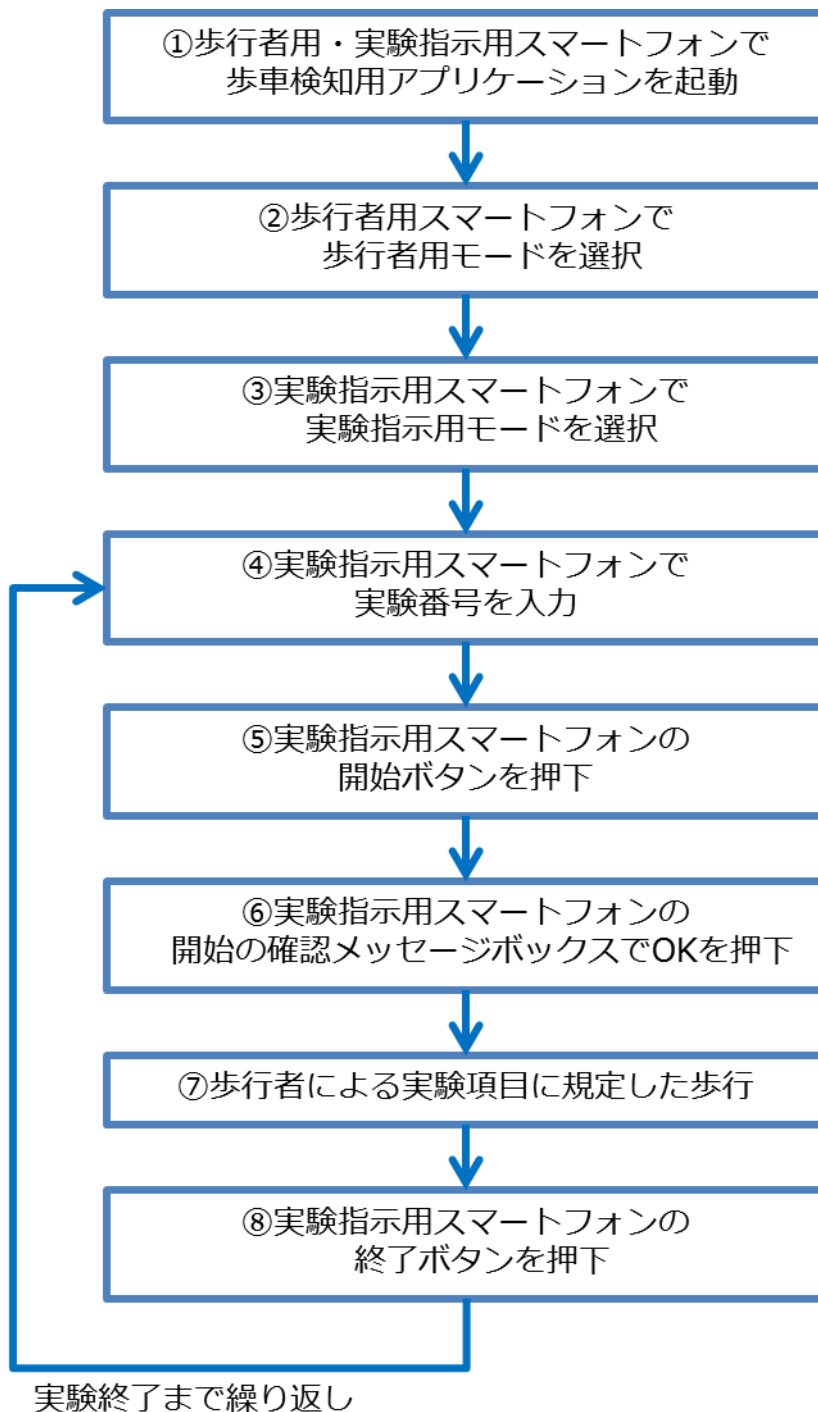


図 40 実験手順

①Android ホーム画面上の SIP アプリケーションを起動する。



②歩行者用スマートフォンで CLIENT タブを押下する。



③実験指示用スマートフォンで HOST タブを押下する。



④実験指示用端末の実験番号テキストボックスに 1 を入力する。



⑤実験指示用スマートフォンの開始ボタンを押下する。



⑥実験指示用スマートフォンに確認メッセージが表示されるのでOKボタンを押下する。



⑦歩行者による実験項目に規定した歩行完了後、実験指示用スマートフォンの終了ボタンを押下する。



実験結果

高指向性 BLE ビーコンによる実験結果を図 42～図 50 に示す。また、グラフの色と高指向性 BLE ビーコンの配置関係を図 41 に示す。

●…高指向性BLEビーコン

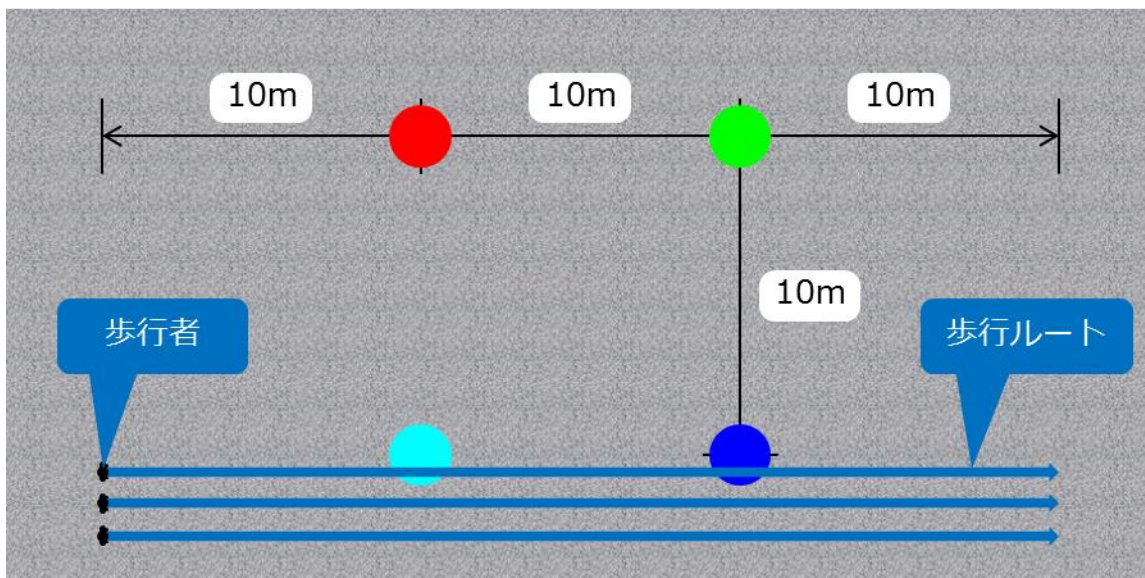


図 41 グラフの色と高指向性 BLE ビーコンの配置関係

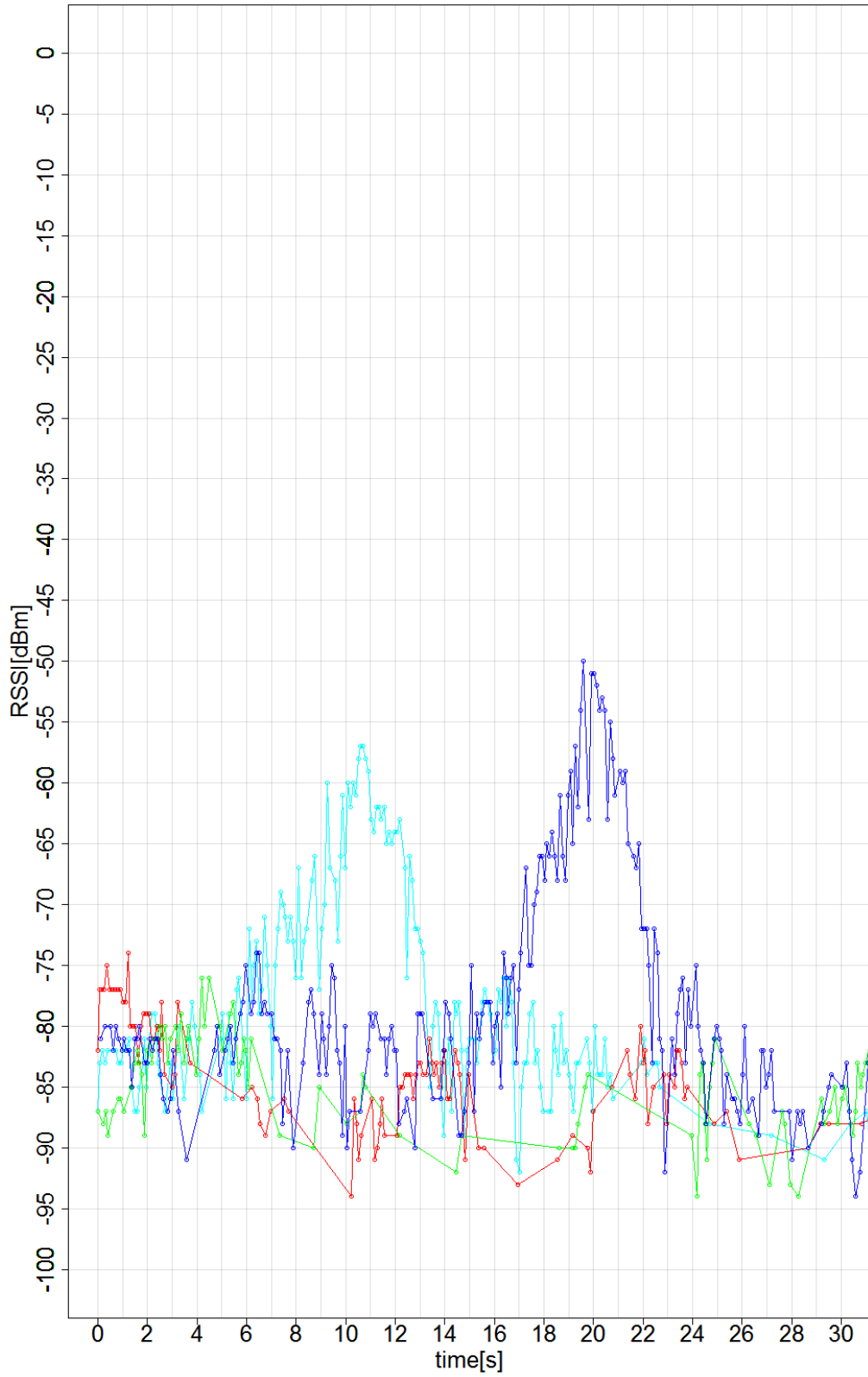


图 42 项番 1(1 回目)

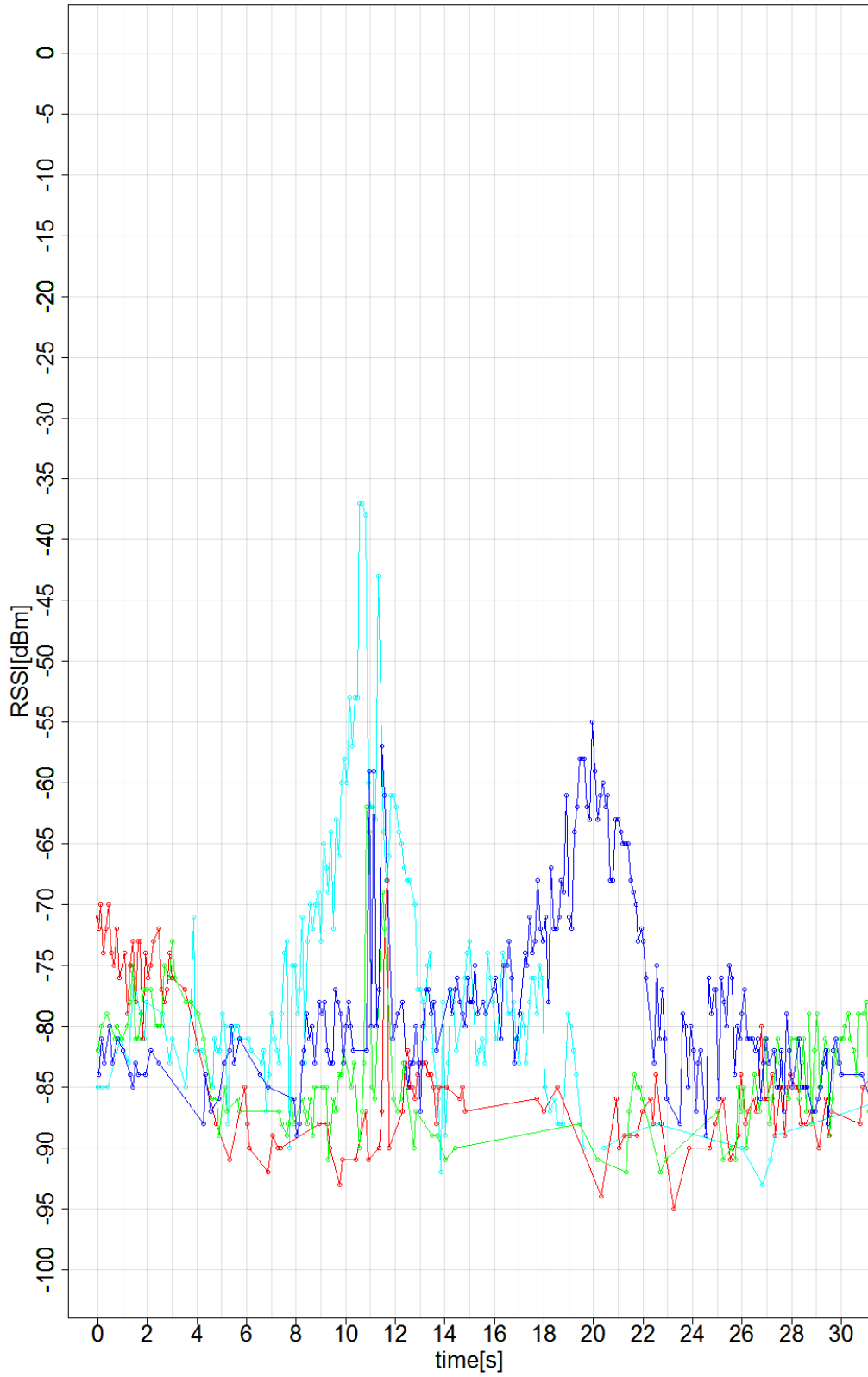


图 43 项番 1(2 回目)

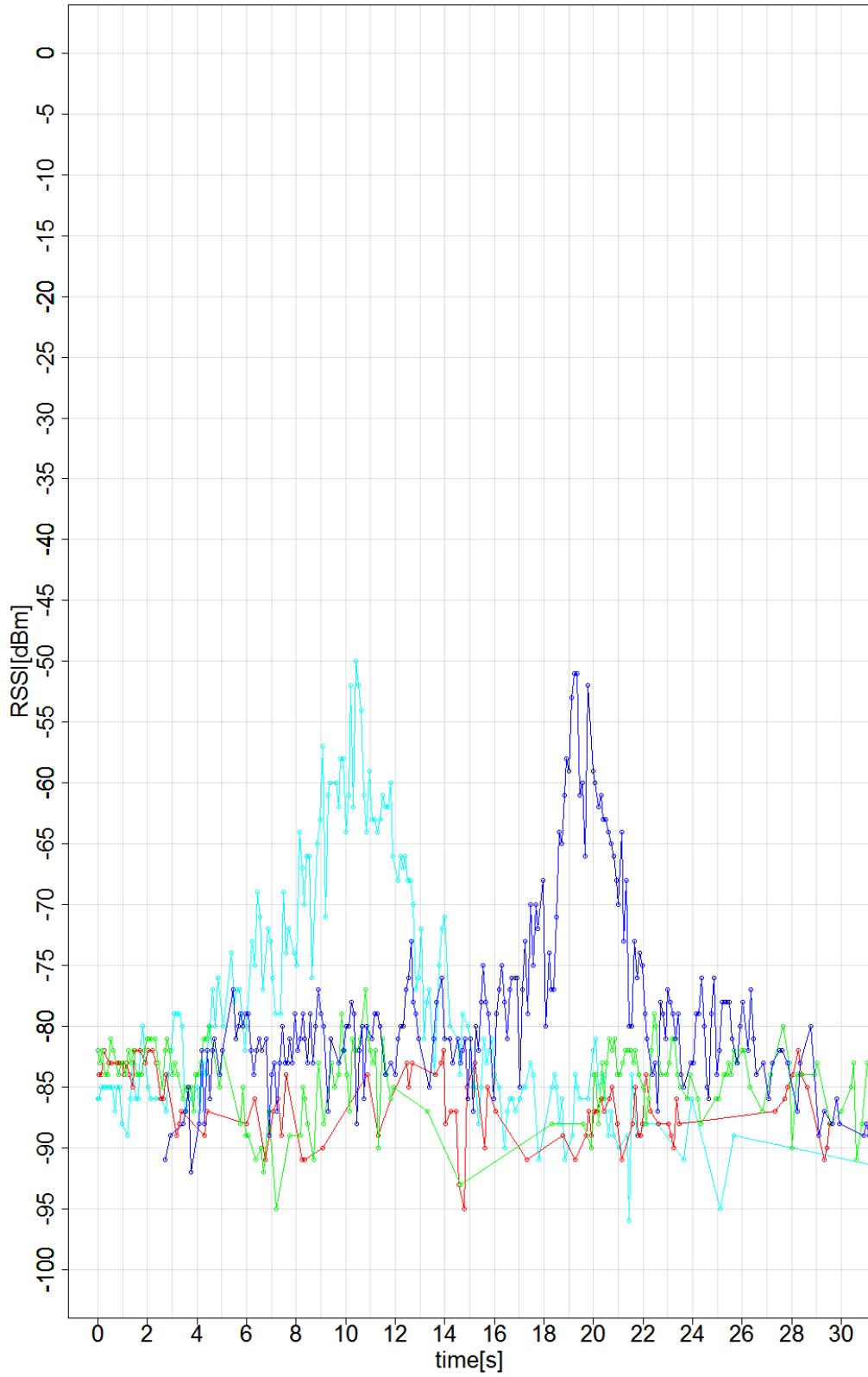


图 44 项番 1(3 回目)

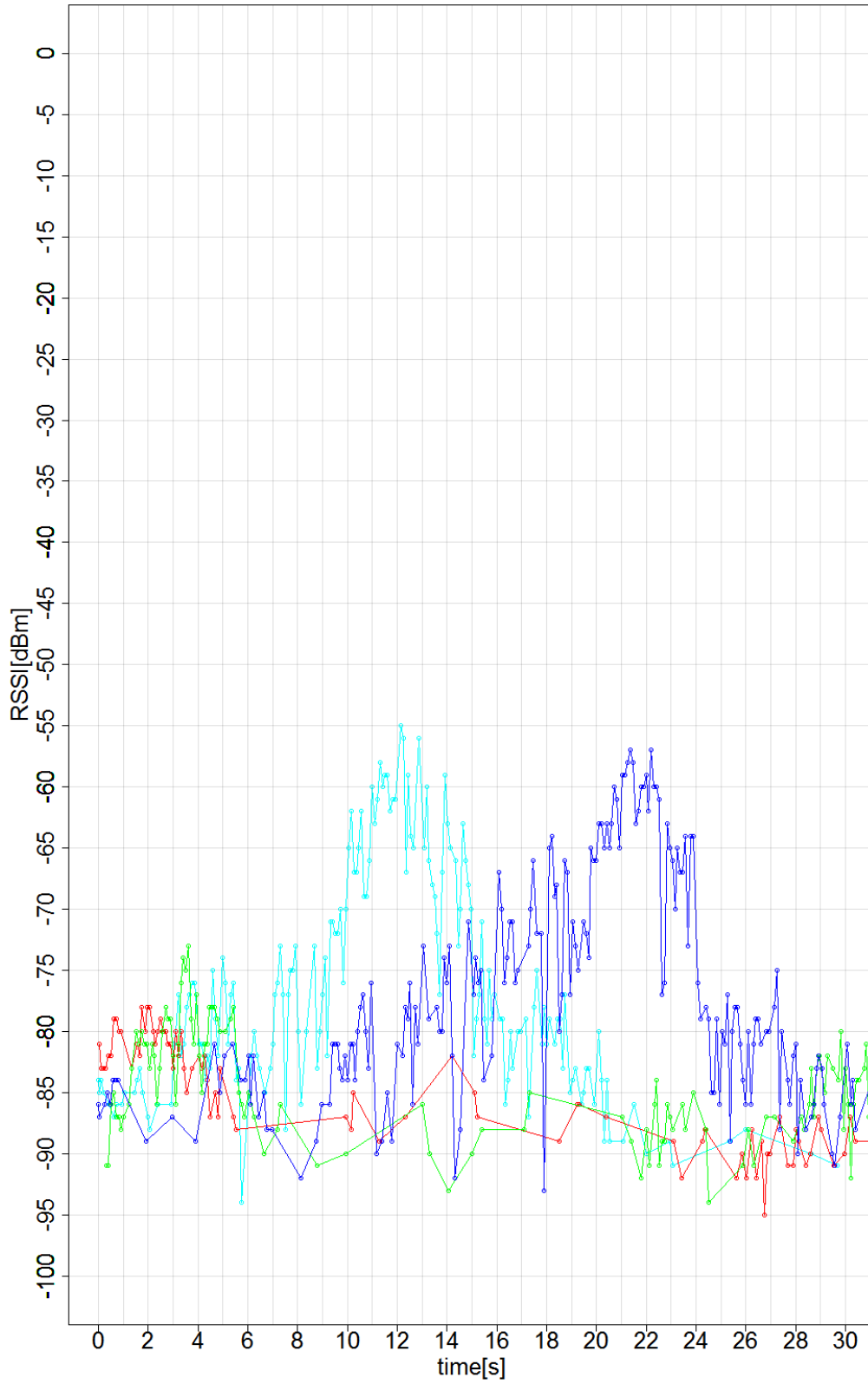


图 45 项番 2(1 回目)

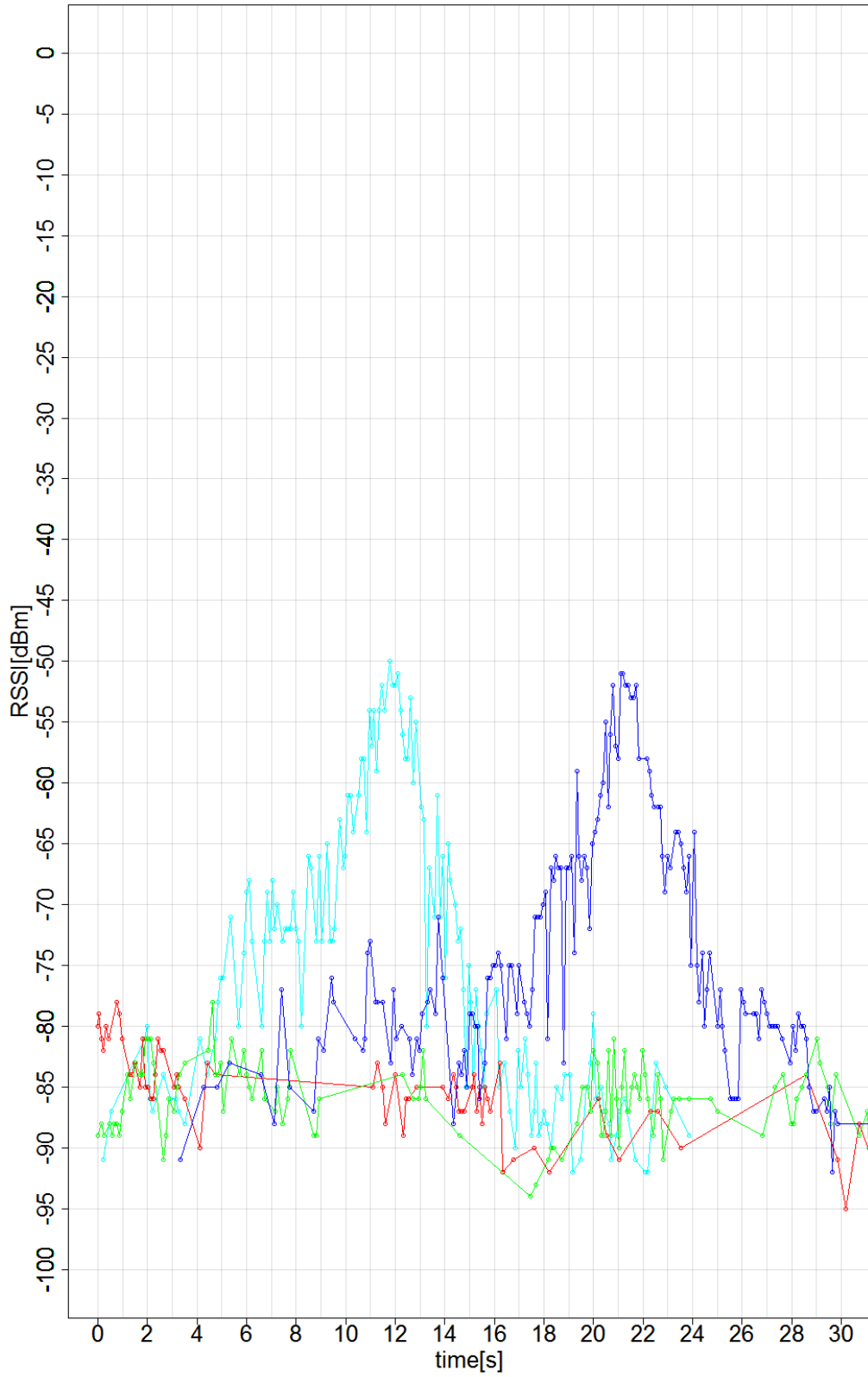


图 46 项番 2(2 回目)

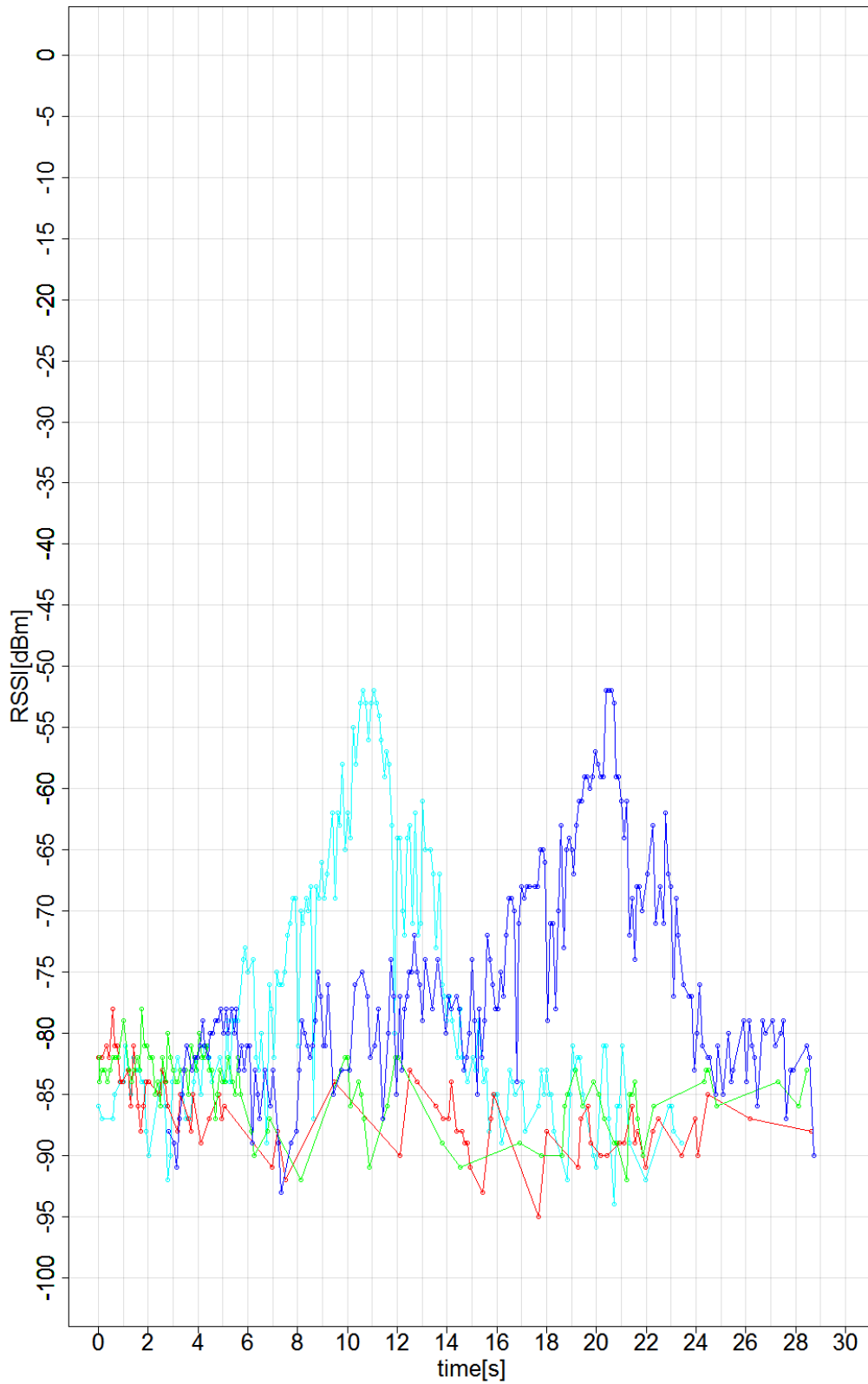


图 47 项番 2(3 回目)

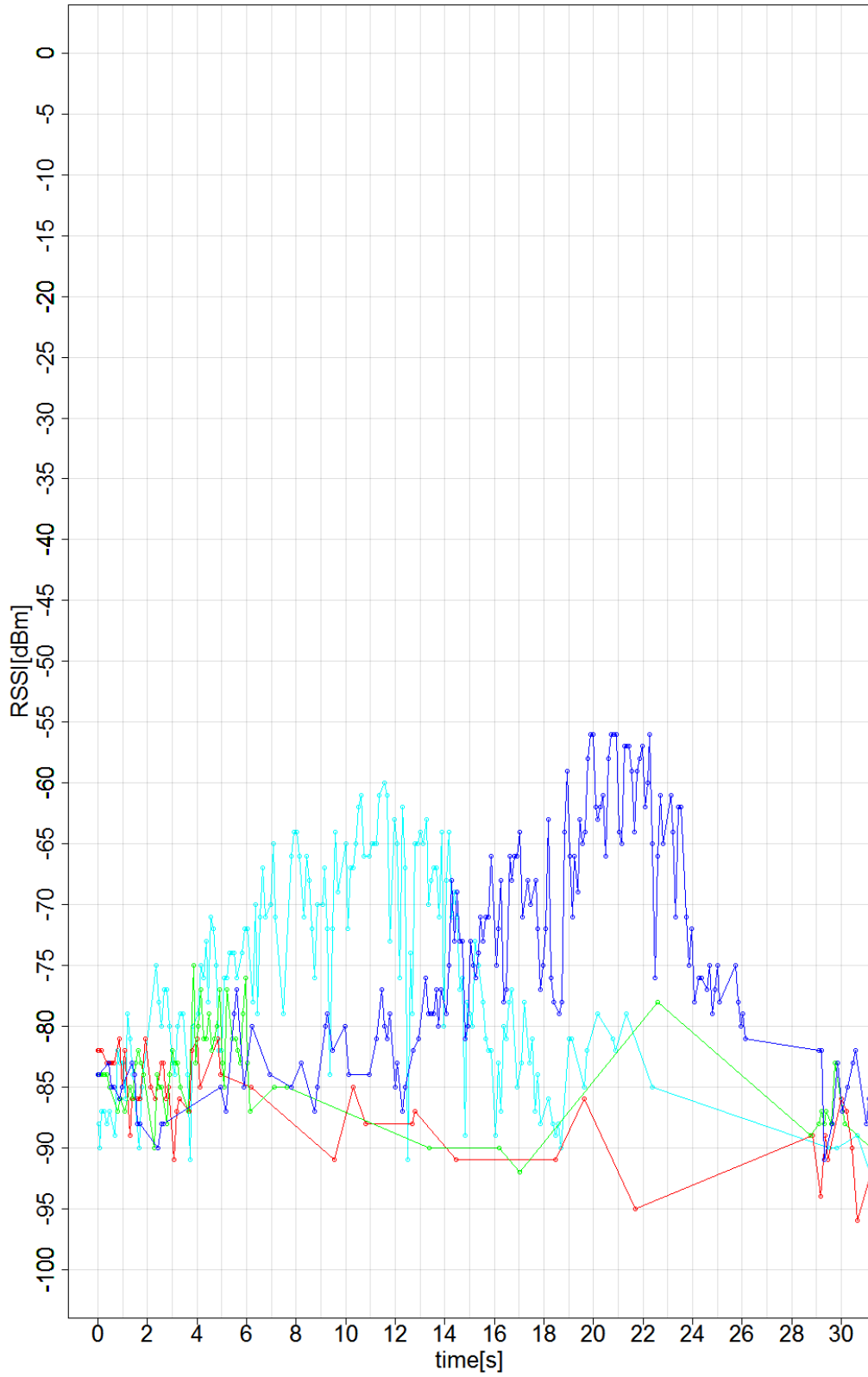


图 48 项番 3(1 回目)

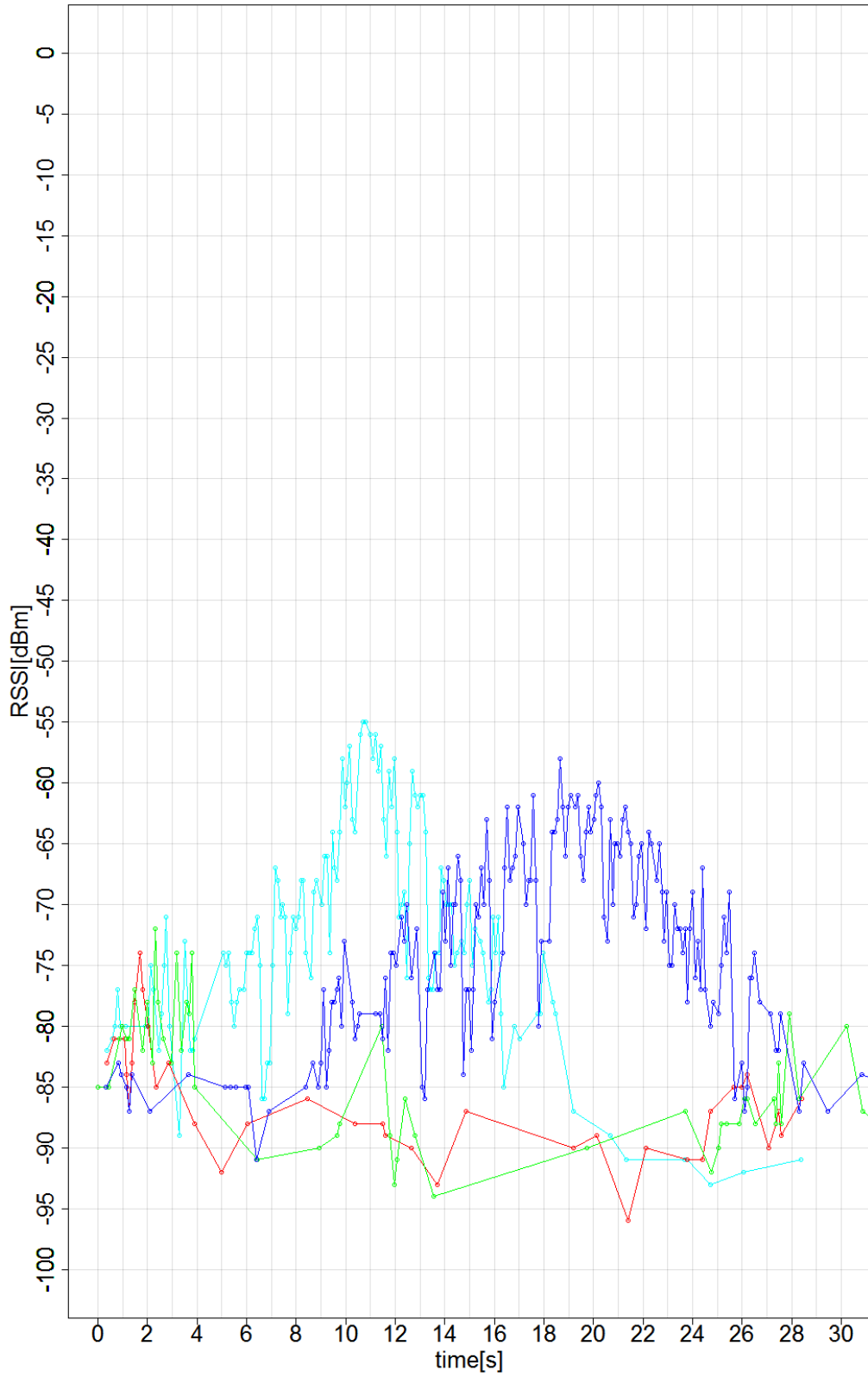


图 49 项番 3(2 回目)

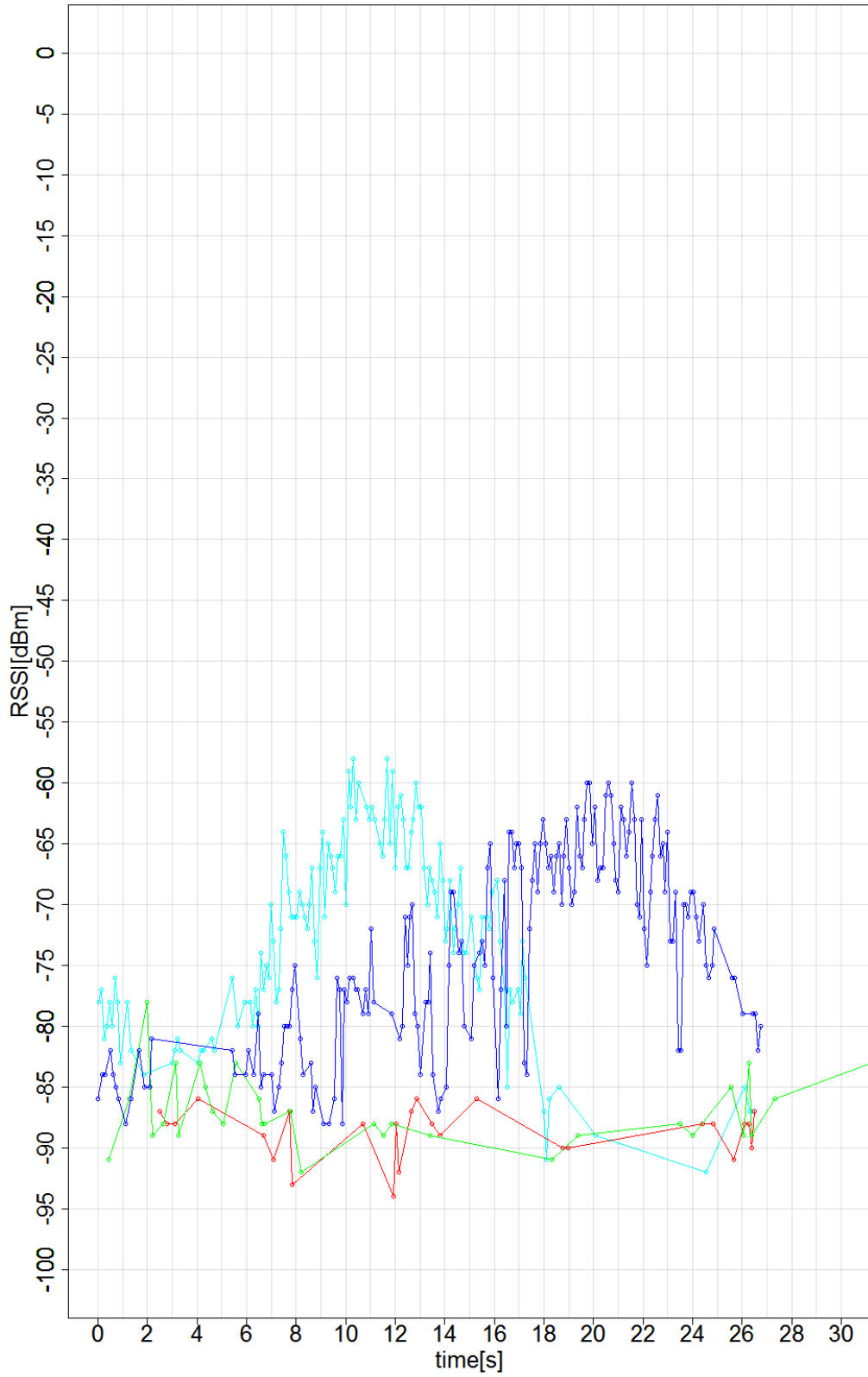


图 50 项番 3(3 回目)

9.6 歩行者検知手法

図 51 のフローチャートに示す歩行者検知手法にて、実験結果より歩行者位置の検知を行った。歩行者検知を行った結果を表 21～表 29 に示す。また、表の塗りつぶしと検知した高指向性 BLE ビーコンの配置関係については図 52 に示す。

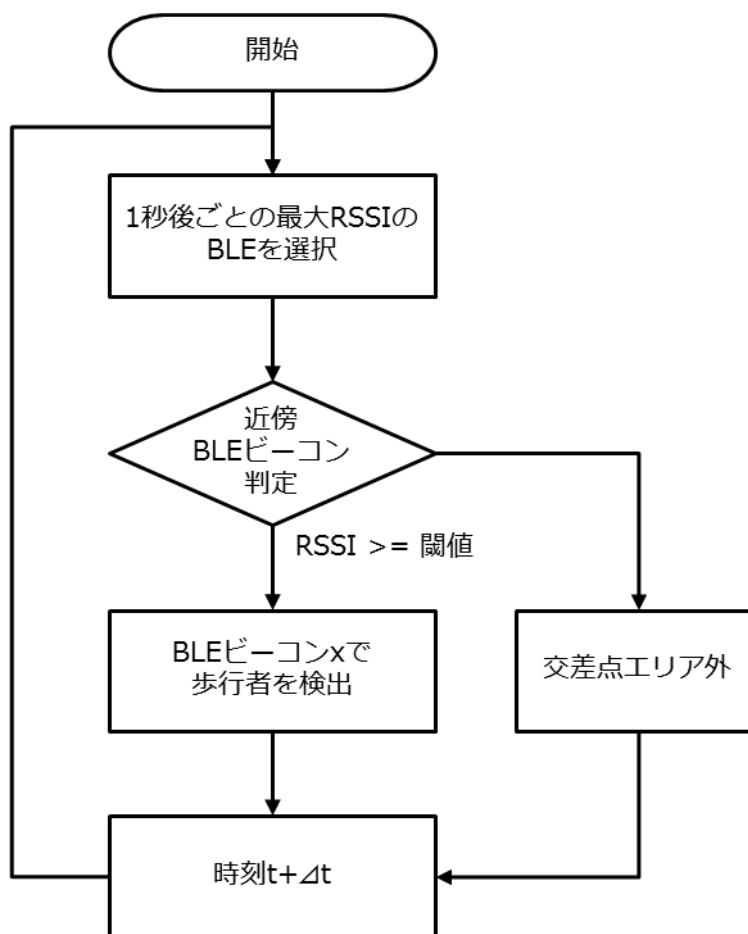


図 51 歩行者検知手法のフローチャート

図 52 のフローチャートで検知した実験結果を表 21～表 29 に示す。また、グラフの色と高指向性 BLE ビーコンの配置関係を図 52 に示す。

●…高指向性BLEビーコン

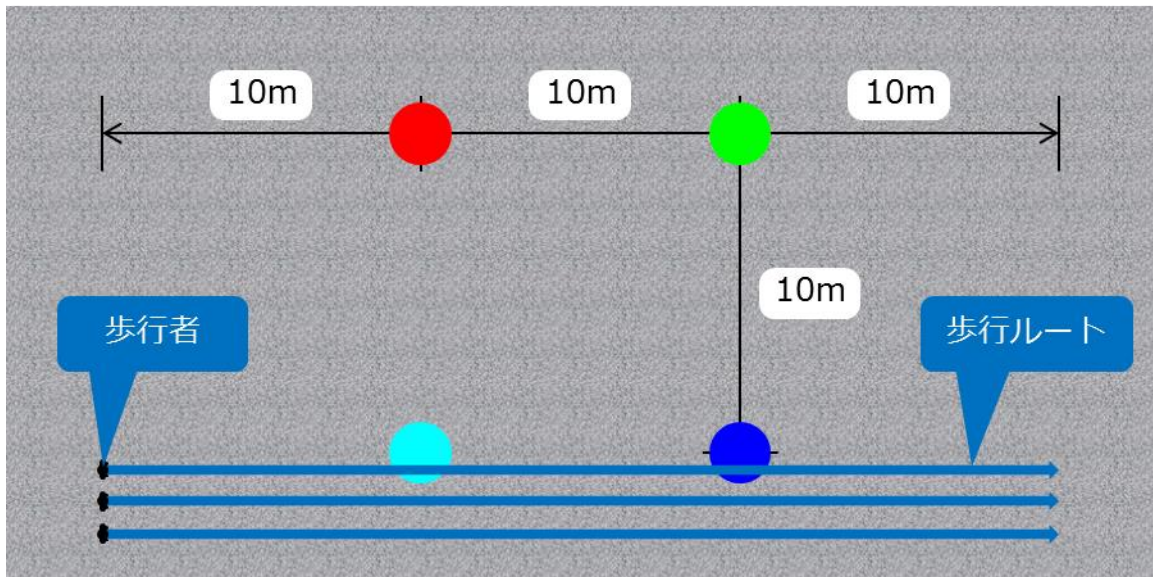
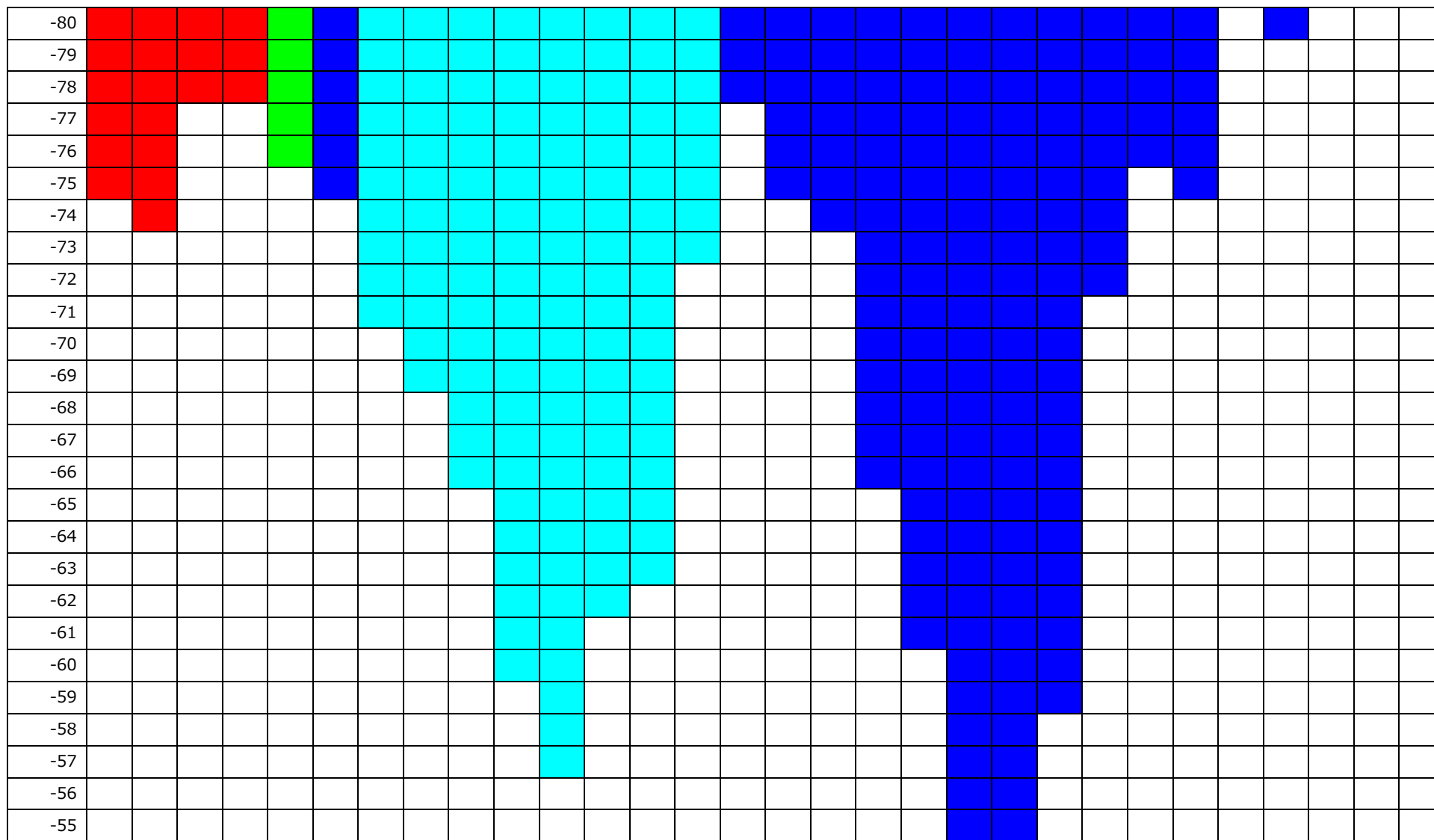
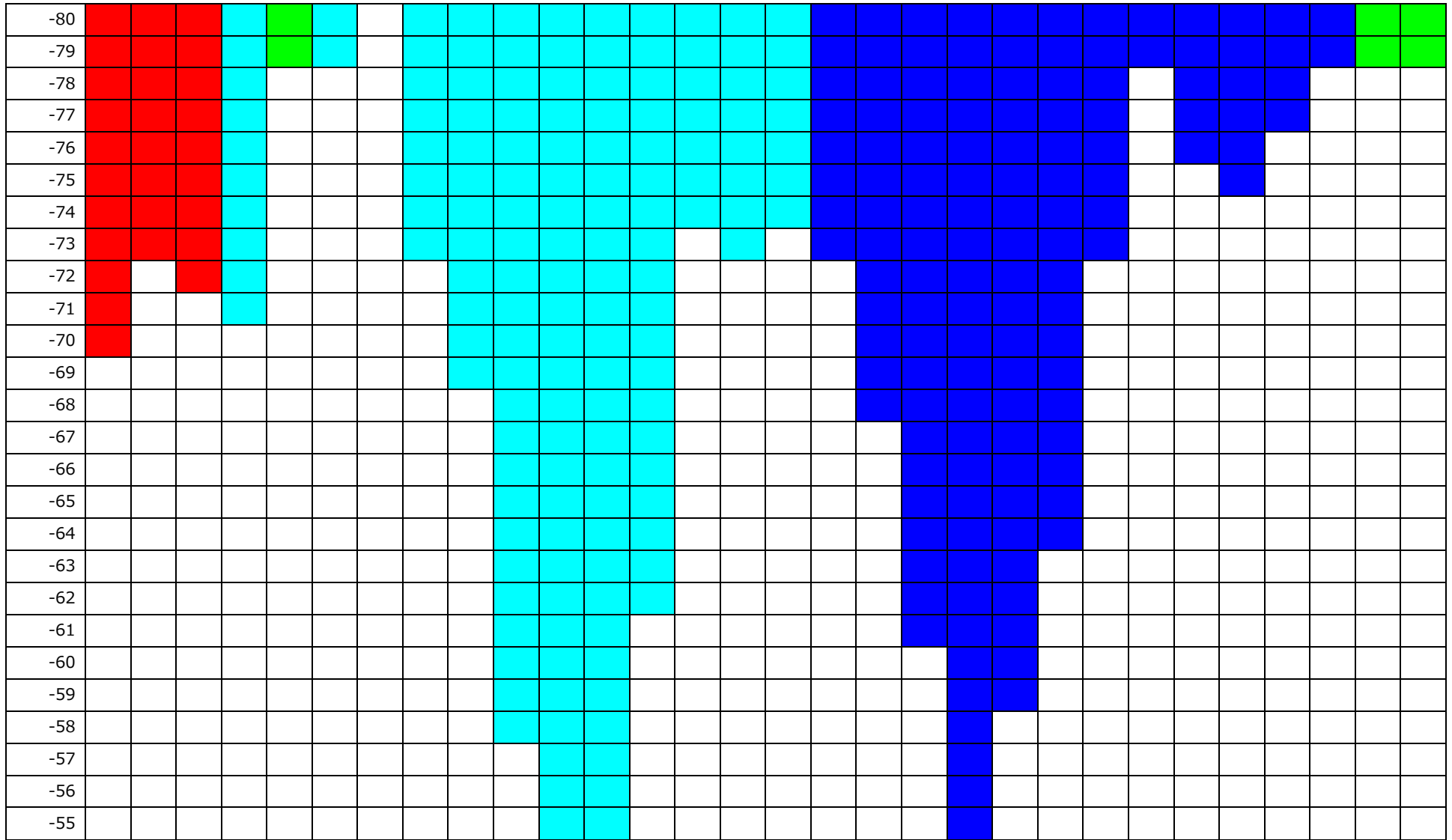
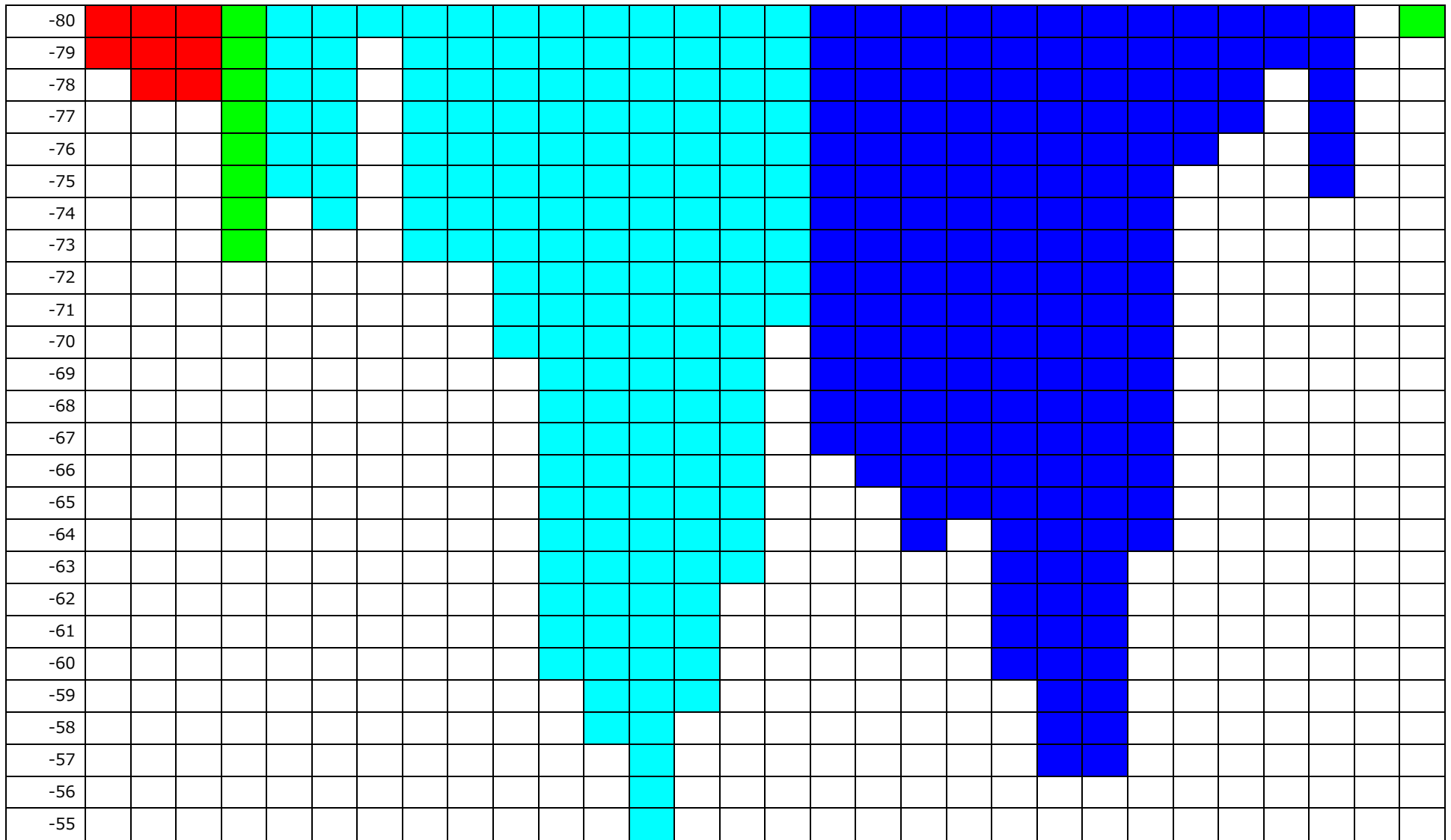
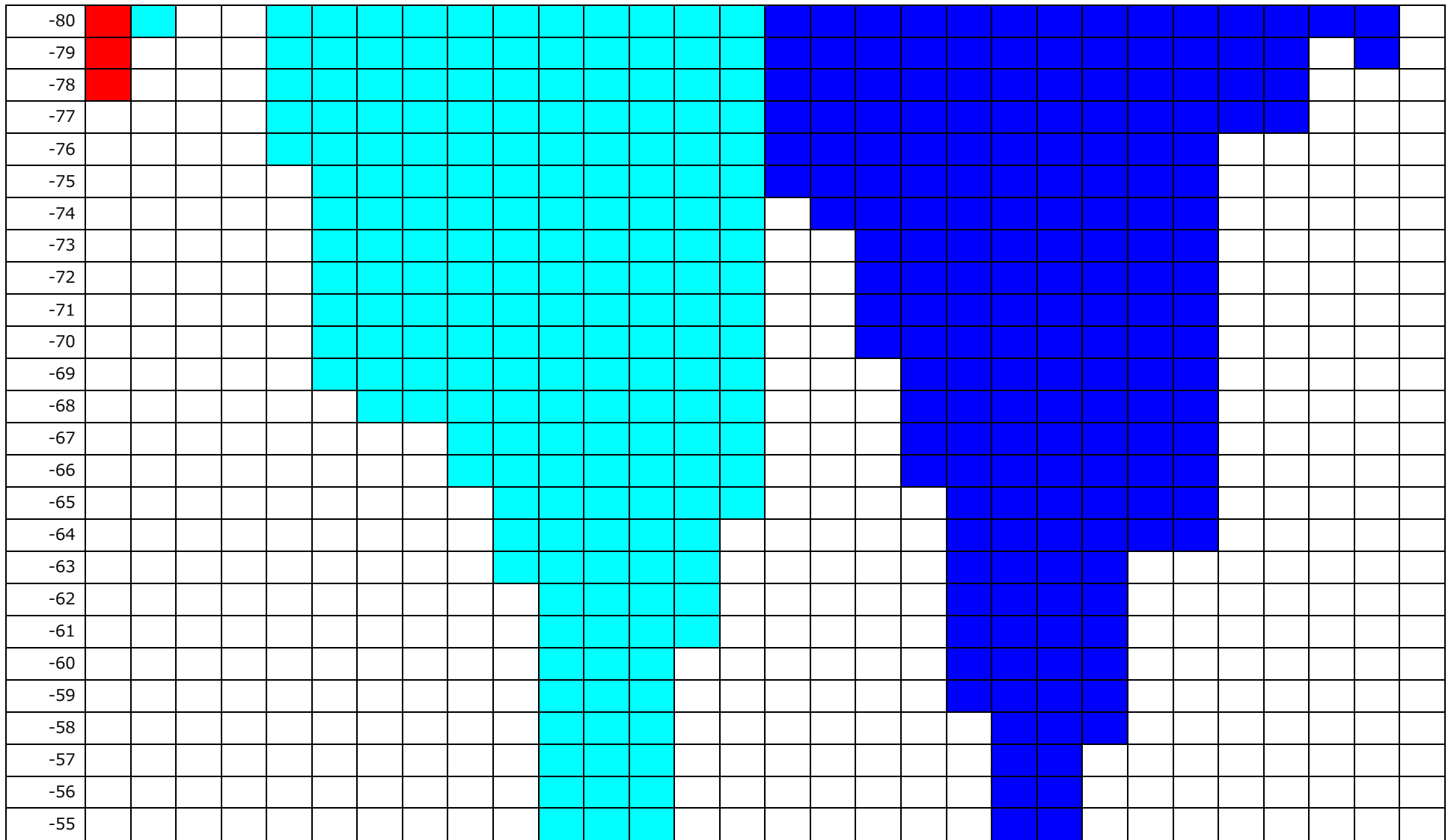


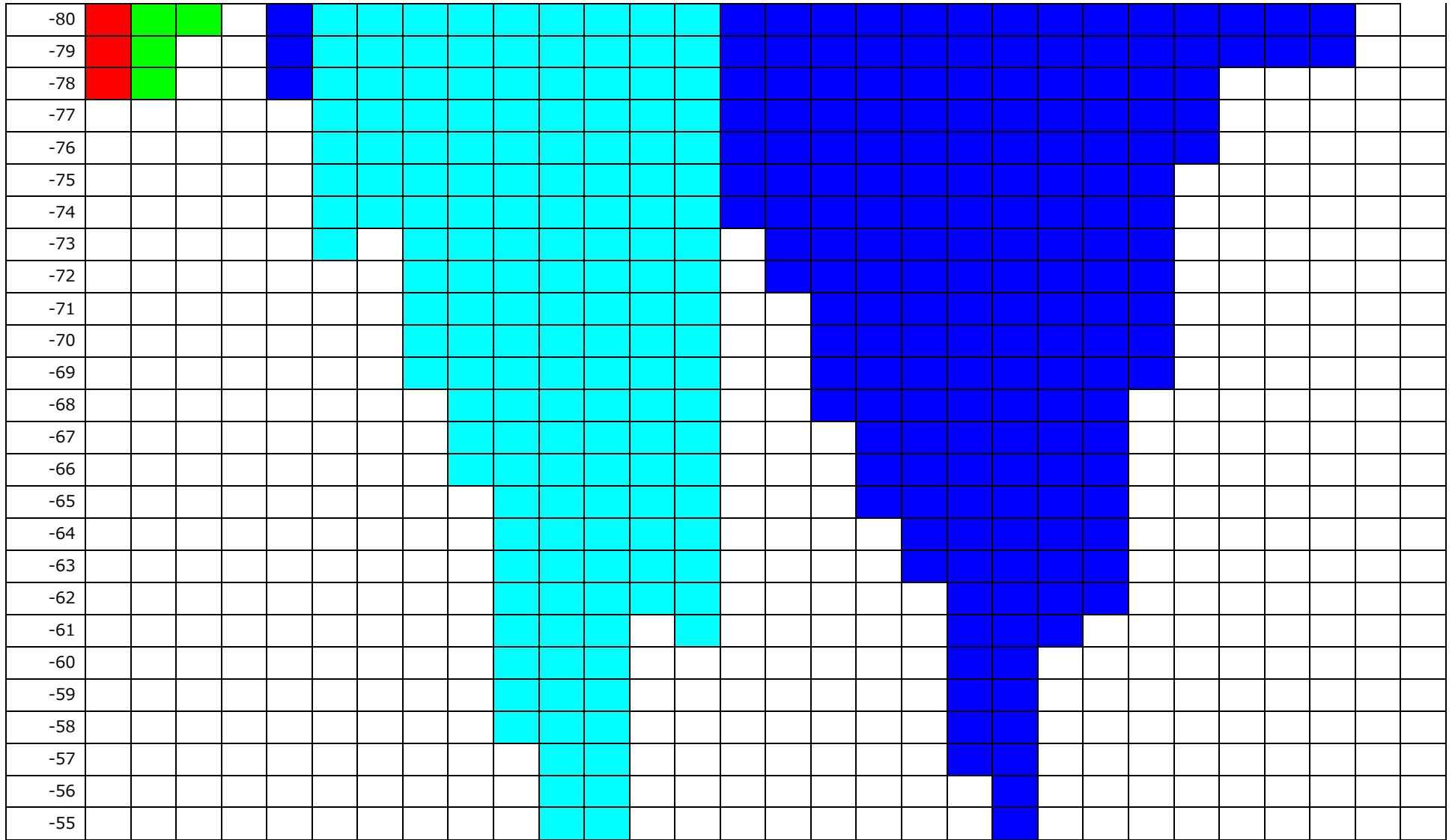
図 52 表の塗りつぶしと検知を行った高指向性 BLE ビーコンの配置関係











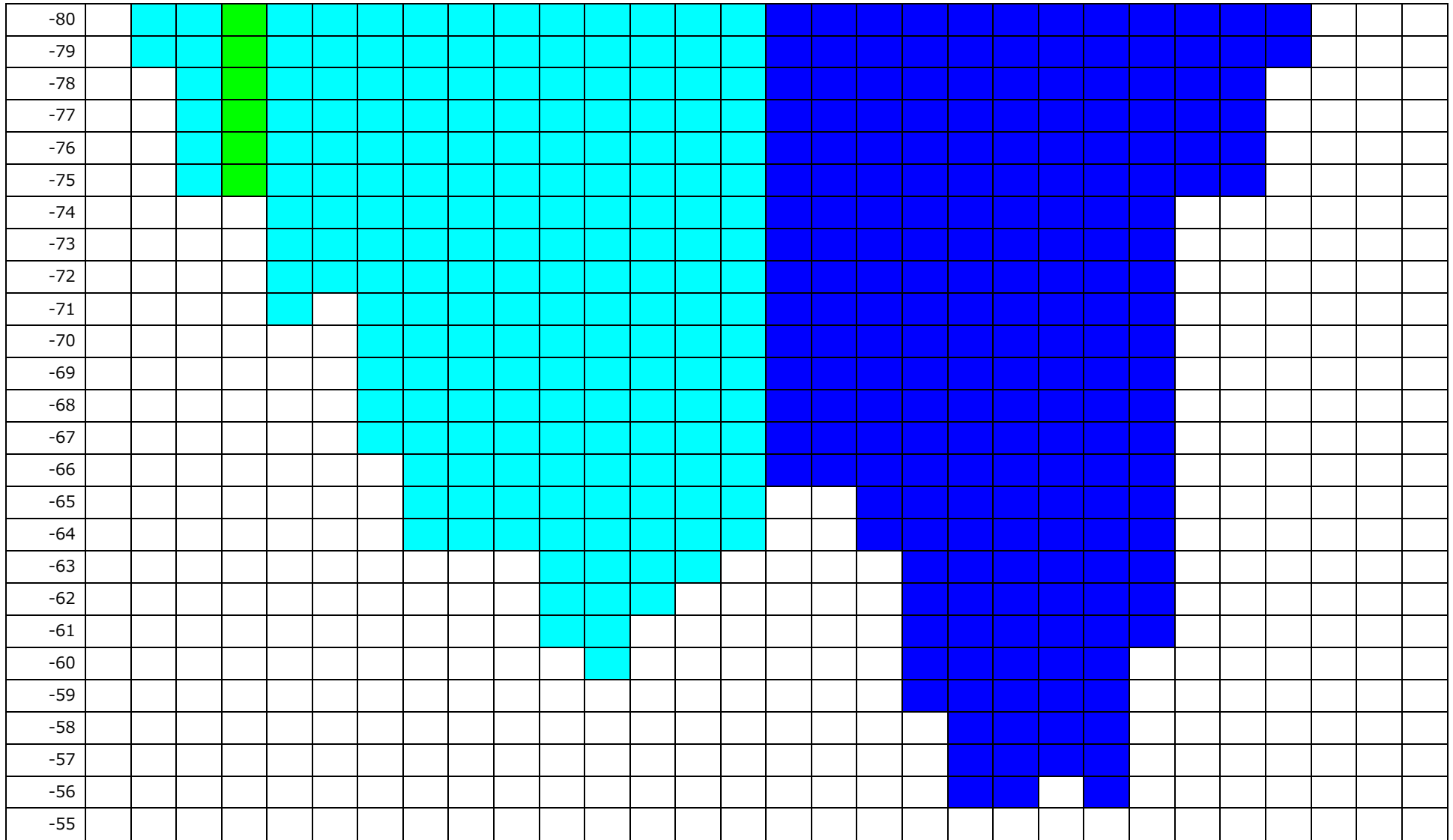


表 28 項番 3(2 回目)

閾値 [dBm]	時間[s]ごとの歩行者検知位置[m]																														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
-100																															
-99																															
-98																															
-97																															
-96																															
-95																															
-94																															
-93																															
-92																															
-91																															
-90																															
-89																															
-88																															
-87																															
-86																															
-85																															
-84																															
-83																															
-82																															
-81																															

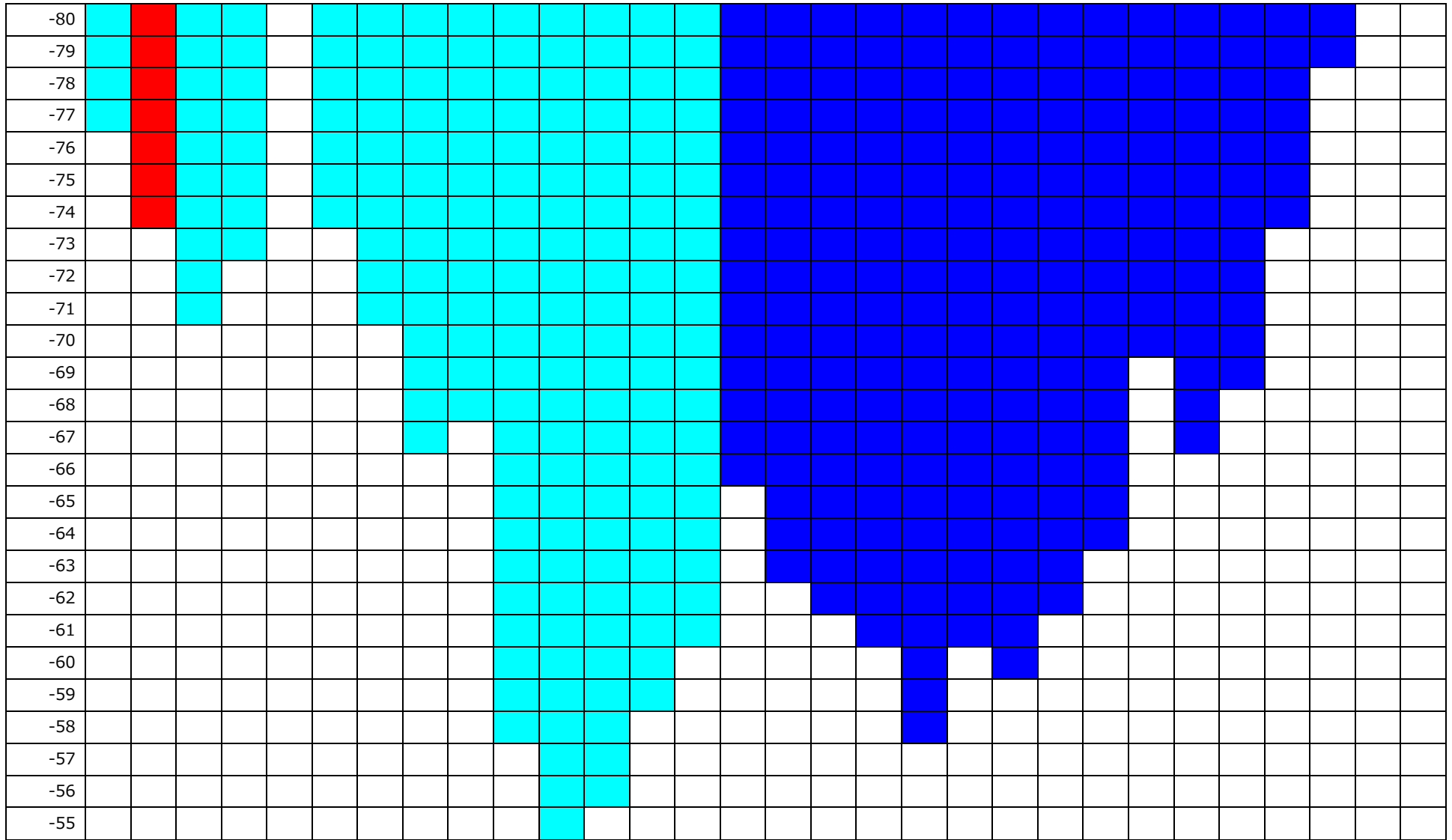


表 29 項番 3(3 回目)

閾値 [dBm]	時間[s]ごとの歩行者検知位置[m]																														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
-100																															
-99																															
-98																															
-97																															
-96																															
-95																															
-94																															
-93																															
-92																															
-91																															
-90																															
-89																															
-88																															
-87																															
-86																															
-85																															
-84																															
-83																															
-82																															
-81																															

10 考察及びまとめ

実験結果より、閾値なしの場合、図 53 に示すように BLE ビーコン 1 に近い場所においても、BLE ビーコン 2 で検知することがある。しかし、閾値を設定することで、図 54 のように近傍の BLE ビーコンのみ特定可能である。このことにより、図 55 に示すように交差点の歩車溜りにいる歩行者を検知することが可能である。

● …高指向性BLEビーコン

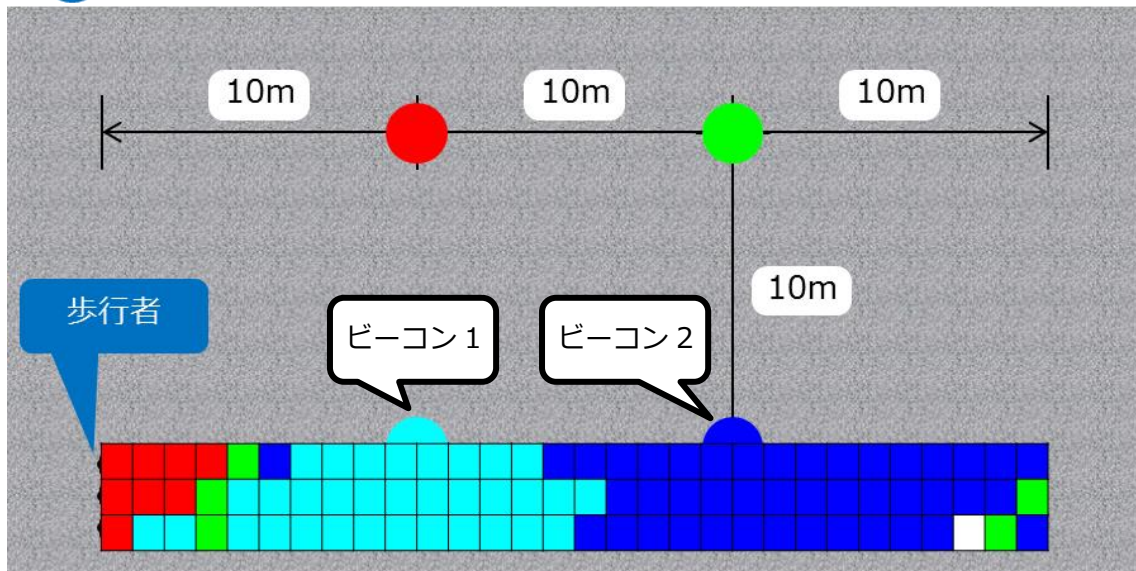


図 53 歩行者検知結果(閾値なし)

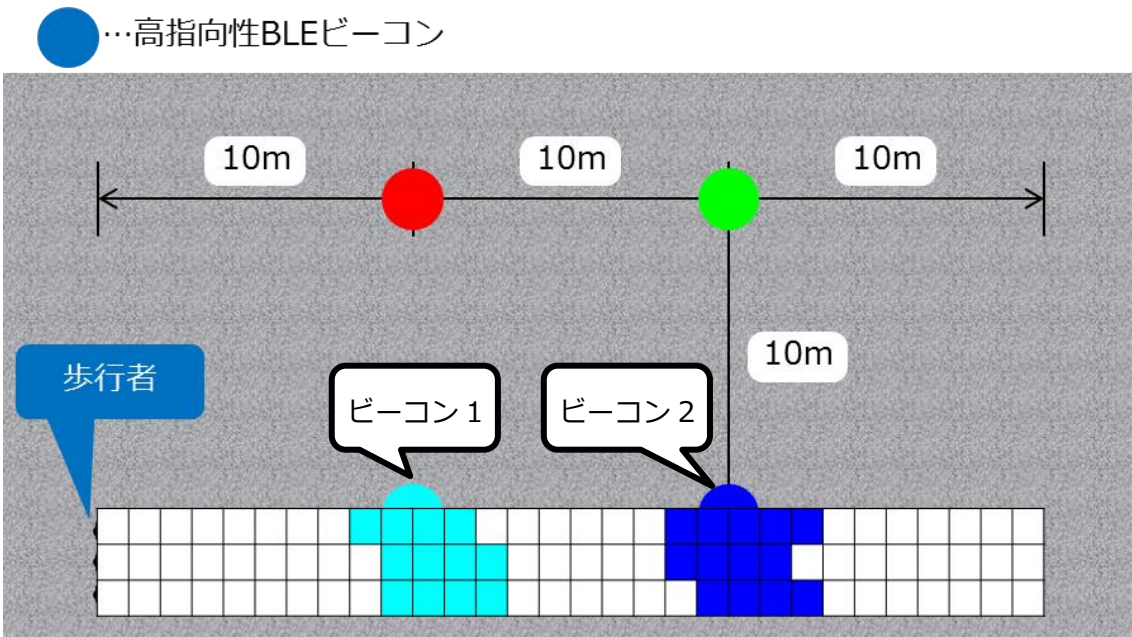


図 54 歩行者検知結果(閾値-62[dBm])

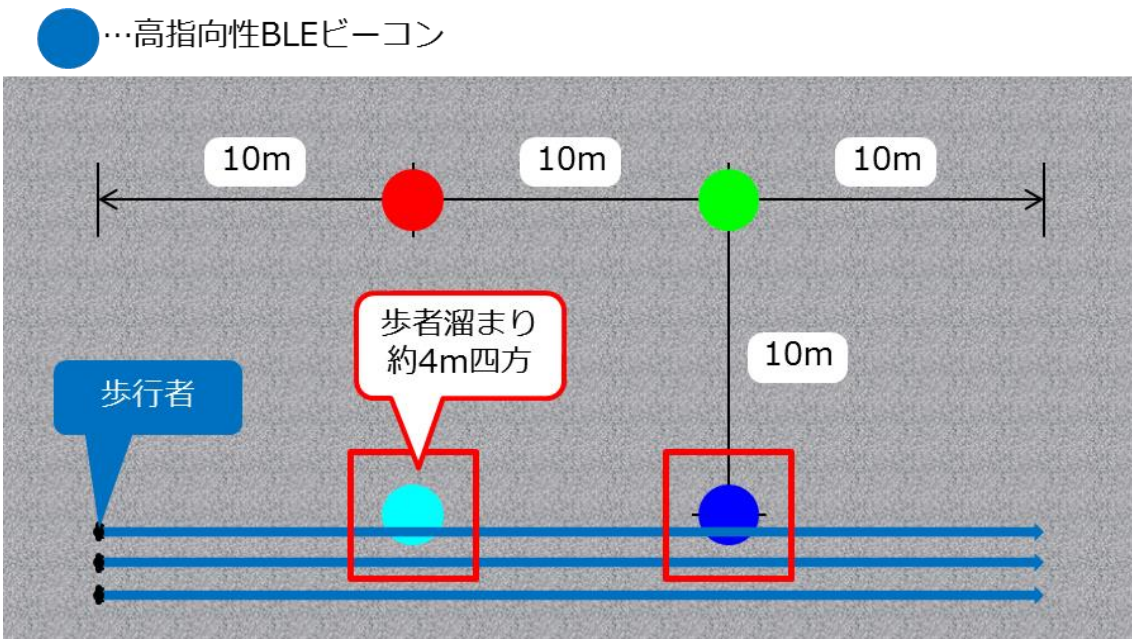


図 55 歩車溜まりの検知

11 研究開発成果の応用検討

平成 28 年度の研究成果を応用し、歩行者支援の可能性を検討した。

① サービスイン判定への応用

GPSのみでは精度が不十分なサービスイン判定について、高指向性BLEビーコンを併用することで精度向上が可能である。歩車溜まりへの進入を検知し音声案内等を行うことにより、歩行者支援対象者が交差点までの距離を認知し判断する情報として活用する応用の可能性がある。

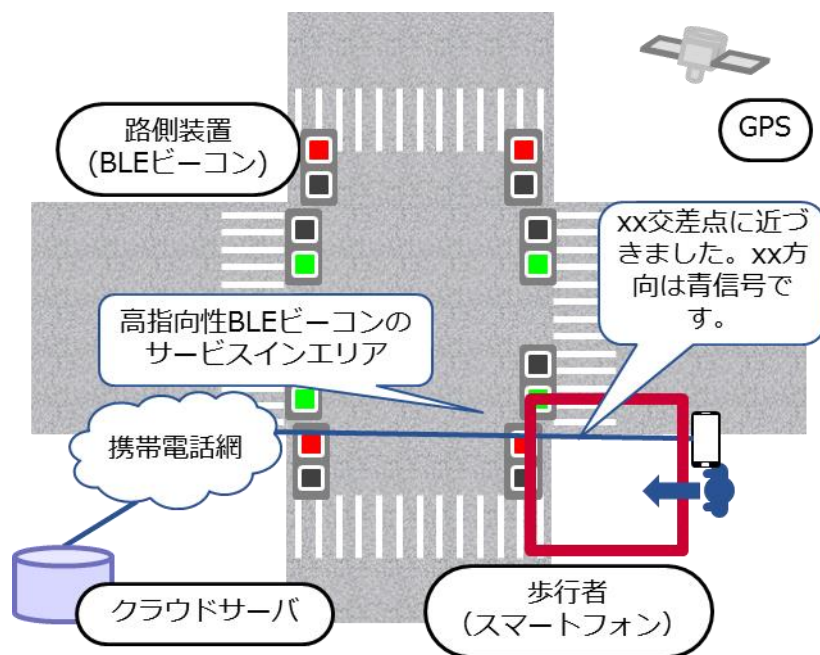


図 56 サービスイン判定への応用概要図

②信号制御への応用

歩者溜まりに歩行者支援対象者が存在する場合、自動で青信号を延長する等の応用が可能である。また、クラウドサーバに交差点における歩行者毎の横断歩道通過時間を格納することにより、横断所要時間の傾向把握や信号制御の設計への活用、及び歩行者支援対象者ごとの信号制御など更なる高度化が可能である。

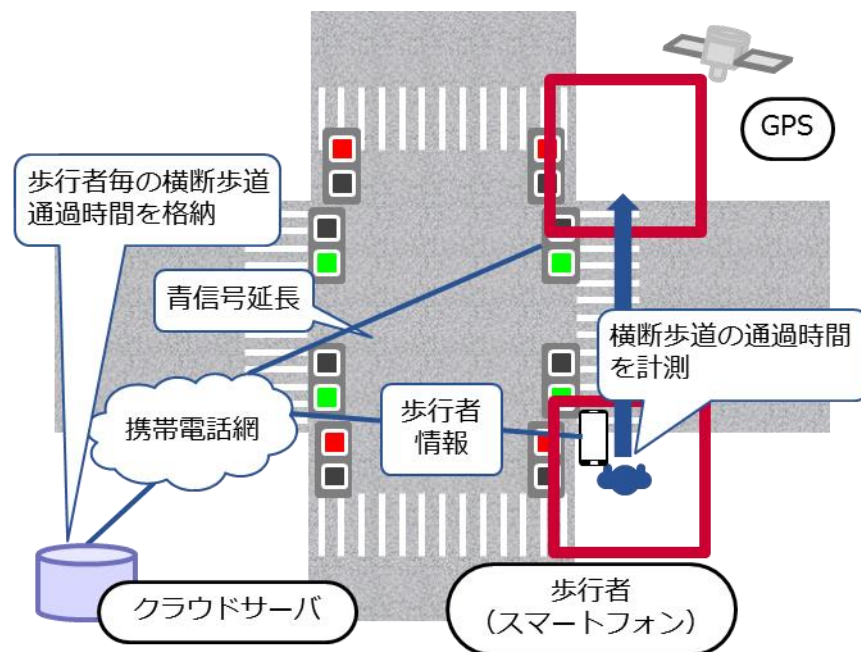


図 57 信号制御への応用概要図

12 参考文献

- [1] 警察庁, “平成 28 年警察白書,” [オンライン]. Available:
<https://www.npa.go.jp/hakusyo/h28/index.html>. [アクセス日: 30 3 2017].
- [2] 内閣府, “平成 28 年交通安全白書,” [オンライン]. Available:
http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h28kou_haku/zenbun/index.html. [アクセス日: 30 3 2017].
- [3] 警察庁, “平成 27 年における交通事故の発生状況,” [オンライン]. Available:
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Pdfdl.do?sinfid=000031400112>. [アクセス日: 30 3 2017].
- [4] 公益財団法人 交通事故総合分析センター, “イタルダ・インフォメーション No.95,” 7 2012. [オンライン].
- [5] 公益財団法人 交通事故総合分析センター, “平成 27 年受託集計,” [オンライン]. Available: <http://www.itarda.or.jp/>. [アクセス日: 30 3 2017].
- [6] 交通安全環境研究所, 歩車間通信の要求条件に関する調査報告書, 平成 28 年 3 月.
- [7] “Xperia XZ SO-01J | 主な仕様 | ソニーモバイルコミュニケーションズ,” [オンライン]. Available:
<http://www.sonymobile.co.jp/xperia/docomo/so-01j/spec.html>. [アクセス日: 30 3 2017].
- [8] “Xperia X Performance SO-04H | 主な仕様 | ソニーモバイルコミュニケーションズ,” [オンライン]. Available:

<http://www.sonymobile.co.jp/xperia/docomo/so-04h/spec.html>. [アクセス日: 30 3 2017].

[9] “道路交通法施行規則,” [オンライン]. Available:

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S35/S35F03101000060.html>. [アクセス日: 30 3 2017].

[10] “視覚障害者用付加装置に関する設置・運用指針の制定について,” 警察庁, 22 10 2003. [オンライン]. Available:

<https://www.npa.go.jp/pdc/notification/koutuu/kisei/kisei20031022.pdf>. [アクセス日: 30 3 2017].

[11] 一般社団法人 UTMS協会, “「交通制約者等の移動支援システムの開発に向けた基本設計」報告書,” 3 2016. [オンライン]. Available:

http://www.sip-adus.jp/wp/wp-content/uploads/npa_2015_5-1.pdf. [アクセス日: 30 3 2017].

[12] “道路構造令,” [オンライン]. Available:

<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S45/S45SE320.html>. [アクセス日: 30 3 2017].

[13] 社団法人 交通工学研究会, 路面標示設置の手引.

NTT
docomo

株式会社 NTT ドコモ

〒100-6117 東京都千代田区永田町 2-11-1

<https://www.nttdocomo.co.jp/>