

平成 27 年度研究成果報告書

I C Tを活用した次世代 I T S の確立

「電動車いすによる生活道路での 高精度歩車検知システムの実現」

平成 2 8 年 3 月 3 1 日

株式会社 N T T ドコモ

目次

1 はじめに.....	7
2 電動車いすによる生活道路での高精度歩車検知システム.....	8
2.1 研究背景.....	8
2.2 研究開発目的及び目標.....	10
2.3 平成26年度の実績.....	11
2.4 研究開発体制.....	12
2.5 年次目標及び計画.....	13
2.6 研究成果要約.....	14
2.7 研究成果.....	15
2.7.1 接近検知システム.....	15
2.7.2 システムの設計及び開発内容.....	17
2.7.3 動体予測の基礎実験.....	29
2.7.4 電動車いす・歩行者間の接近検知実験.....	33
2.8 まとめ及び考察.....	71
3 交差点内の位置測位に向けた検討.....	72
3.1 研究背景.....	72
3.2 研究開発目的及び目標.....	74
3.3 研究成果.....	75
3.4 まとめ及び考察.....	95
3.5 考察交差点における位置測位方式の検討.....	96
4 参考文献.....	100

図表目次

図 1 日本の年齢区分別将来人口推計（出典：内閣府平成 27 年版高齢社会白書）	8
図 2 電動車いすの累計出荷台数（出典：電動車いす安全普及協会 Web ページより）	9
図 3 接近検知システム	10
図 4 平成 26 年度の研究開発範囲	11
図 5 研究開発体制図	12
図 6 年次目標	13
図 7 システム全体構成	15
図 8 サーバによる接近検知のフローチャート（概要）	17
図 9 カルマンフィルタによる動体予測の問題設定	19
図 10 状態空間モデル	20
図 11 デバイセット（電動車いす用）写真	24
図 12 デバイセット（歩行者用）写真	24
図 13 デバイセットによる接近検知のフローチャート（概要）	25
図 14 加速度センサ情報送信機能の流れ	26
図 15 ローカル座標系とワールド座標系の変換について	27
図 16 電動車いすのデバイスセット・ビーコン設置位置の規定	28
図 17 歩行者のデバイスセット・ビーコン保持位置の規定	28
図 18 歩行者の行動パターン	29
図 19 実験結果①直進	30
図 20 実験結果②左折	31
図 21 実験結果③右折	32
図 22 実験風景	33
図 23 行動パターン	33
図 24 アラーム音が鳴る実験パターン	39
図 25 アラーム音が鳴らない実験パターン	40
図 26 アラーム音が開始時から鳴る実験パターン	41
図 27 実験項目図(項番 1~4)	42
図 28 実験項目図(項番 5~8)	43
図 29 実験項目図(項番 9~12)	44
図 30 実験項目図(項番 13~16)	45
図 31 実験項目図(項番 17~20)	46
図 32 実験項目図(項番 21~24)	47
図 33 実験項目図(項番 25~28)	48
図 34 実験項目図(項番 29~32)	49
図 35 実験項目図(項番 33~36)	50

図 36 実験項目図(項番 37~40)	51
図 37 実験項目図(項番 41~44)	52
図 38 実験項目図(項番 45~48)	53
図 39 実験項目図(項番 49~52)	54
図 40 実験項目図(項番 53~56)	55
図 41 実験項目図(項番 57~60)	56
図 42 実験項目図(項番 61~64)	57
図 43 実験項目図(項番 65~68)	58
図 44 実験項目図(項番 69~72)	59
図 45 実験項目図(項番 73~76)	60
図 46 実験項目図(項番 77~80)	61
図 47 実験項目図(項番 81~84)	62
図 48 実験項目図(項番 85~88)	63
図 49 実験項目図(項番 89~92)	64
図 50 実験項目図(項番 93~96)	65
図 51 実験項目図(項番 97~100)	66
図 52 実験項目図(項番 101~104)	67
図 53 実験項目図(項番 105~108)	68
図 54 評価項目の説明図	69
図 55 想定鳴動点とのずれ(GPS)	70
図 56 想定鳴動点とのずれ(BLE)	70
図 57 「高齢者及び高齢者以外の死者数の推移（平成 17~26 年）」 [4]	72
図 58 高齢者の状態別交通事故死者数の推移 [5]	73
図 59 道路形状別にみる交通死傷事故構成率 [6]	73
図 60 BLE 電界強度と距離の関係 [昨年度研究開発成果]	74
図 61 交差点エリア内への応用に向けた基礎実験の実験場	75
図 62 歩行者の規定	76
図 63 デバイセット・ビーコン高所実験装置規定図	76
図 64 実験場風景	77
図 65 A-1 実験結果（ヒストグラム）	79
図 66 A-2 実験結果（ヒストグラム）	80
図 67 A-3 実験結果（ヒストグラム）	81
図 68 A-4 実験結果（ヒストグラム）	82
図 69 B-1 実験結果（ヒストグラム）	83
図 70 B-3 実験結果（ヒストグラム）	84
図 71 B-4 実験結果（ヒストグラム）	85

図 72 C-1 実験結果 (ヒストグラム)	86
図 73 C-2 実験結果 (ヒストグラム)	87
図 74 C-3 実験結果 (ヒストグラム)	88
図 75 C-4 実験結果 (ヒストグラム)	89
図 76 D-1 実験結果 (ヒストグラム)	90
図 77 D-2 実験結果 (ヒストグラム)	91
図 78 D-3 実験結果 (ヒストグラム)	92
図 79 D-4 実験結果 (ヒストグラム)	93
図 80 BLE 電波到来方向の区画分け	94
図 81 交差点エリア内における位置測位システムの構成図	96
図 82 交差点エリア内における位置測位システムのシーケンス図	97
図 83 注力交差点パターン	99

表 1 システム構成図の用語解説.....	16
表 2 初期値一覧.....	18
表 3 取得情報	18
表 4 取得条件	19
表 5 各文字が表す意味の説明.....	22
表 6 電動車いすと歩行者の相対距離算出式	23
表 7 実験項目	28
表 8 行動条件	34
表 9 事前通知秒数の設定	34
表 10 実験パターン表(項番 1~30)	35
表 11 実験パターン表(項番 31~60)	36
表 12 実験パターン表(項番 61~90)	37
表 13 実験パターン表(項番 91~108).....	38
表 14 想定鳴動点とのずれ.....	69
表 15 BLE ビーコンに設定したタグ ID 一覧.....	75
表 16 評価項目一覧.....	78
表 17 BLE 電波到来方向毎の誤差	94
表 18 研究内容の応用	97
表 19 検討方式一覧.....	98
表 20 方式の検討	98

数式目次

数式 1 状態空間モデル	20
数式 2 状態量	20
数式 3 状態方程式	20
数式 4 各文字の説明（状態方程式）	21
数式 5 観測方程式	21
数式 6 各文字の説明（観測方程式）	21
数式 7 カルマンフィルタルゴリズム	21
数式 8 電動車いすの運動方程式	22
数式 9 歩行者の運動方程式	22
数式 10 加速度情報の単位系変換式	27

1 はじめに

自動走行システムには①交通事故の低減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減、④高齢者等の移動支援、⑤運転の快適性の向上という効果が期待され、国内外での関心が急速に高まってきている。

また、日本における交通事故の現状は、交通事故死者は減少してきてはいるものの、近年減少率は鈍化してきており、平成 25 年 6 月に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」で掲げられている「2018 年を目途に交通事故死者数を 2500 人以下とし、2020 年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現するとともに、交通渋滞を大幅に削減する。」という国家目標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が必要である。

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。

2 電動車いすによる生活道路での高精度歩車検知システム

2.1 研究背景

少子高齢化が進む日本において、65 歳以上の高齢者比率は 2020 年には 29.1%に増加する（図 1）。これに伴い、自動車や自転車等をモビリティとして利用していた高齢者が、車いすやシニアカーなど小型モビリティへの乗り換えを進めることが予測される（図 2）。これら小型モビリティの利用に伴う交通事故件数は、高齢者の増加に伴い増加する事が想定される。[1] [2]

一方で電動車いすは法律上歩行者として扱われており、事故対象が対人あるいは対自転車といった場合は、交通事故として扱われない。このことより、電動車いすにおける実際の事故発生件数は潜在的に多いと推測される。このような背景から、電動車いすの事故削減のための接近検知技術が期待されている。

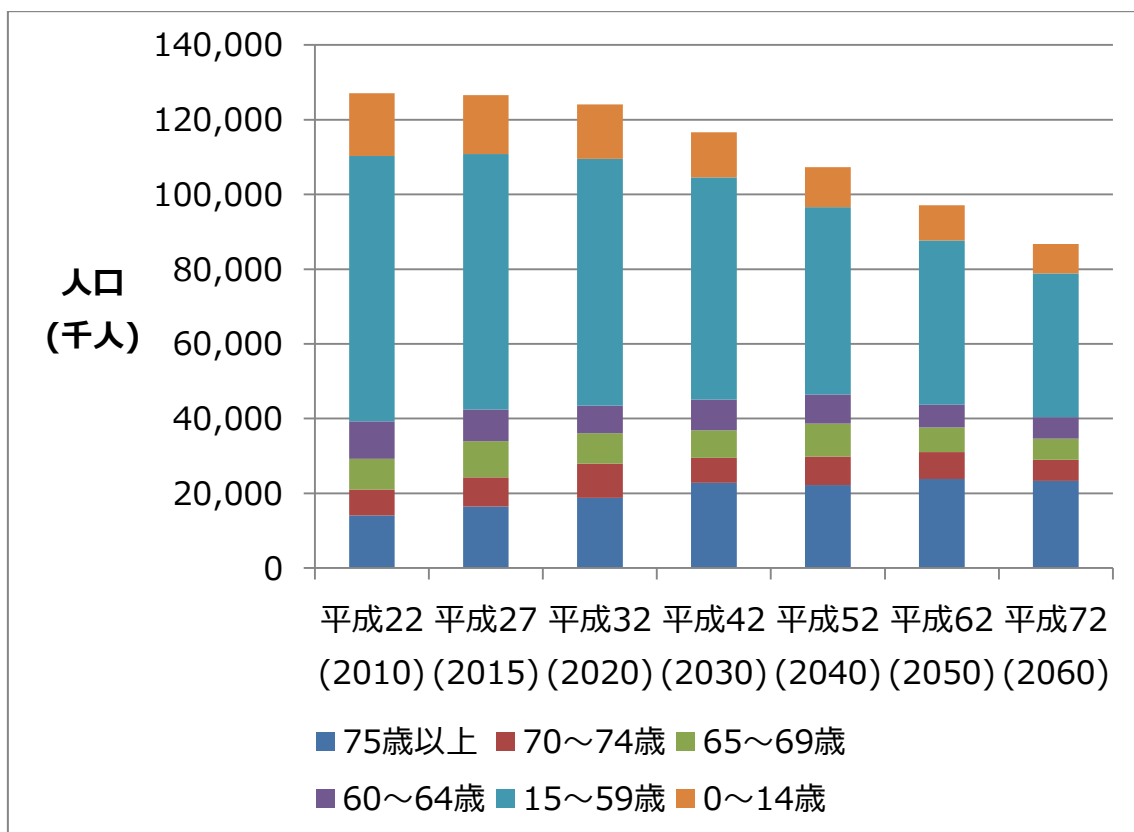


図 1 日本の年齢区分別将来人口推計
(出典：内閣府平成 27 年版高齢社会白書)

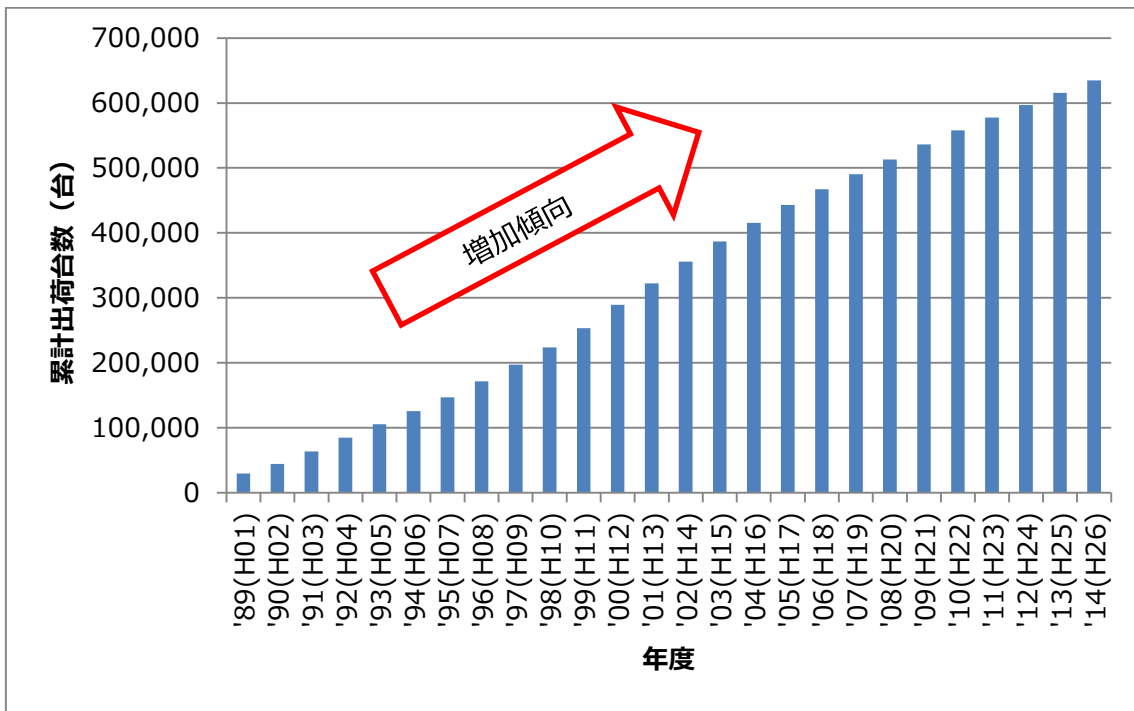


図 2 電動車いすの累計出荷台数
 (出典：電動車いす安全普及協会 Web ページより)

2.2 研究開発目的及び目標

少子高齢化社会において導入が加速・拡大する電動車いすを主体に、歩行者の接近度合いを速やかに検知、両者に認知させることにより接触事故を未然に防ぐことを目的とする。

電動車いすの利用者の目線は、歩行者や自転車に乗っている人に比べて低く、視界も狭くなりやすいため危険の発見が遅れる可能性がある。また、利用者には高齢者が多く反射速度も若年者と比較すると遅くなるうえに、電動車いすの操作という手間がかかるため、危険回避行動をとるのに時間を要することが想定される。こうした交通弱者のため、利用者の気づきにより危険回避を行うだけでなく、危険を事前に通知し、注意を促すシステムを実現することにより、電動車いすによる交通事故を削減することが目的である。

なお、危険回避のための警告や事前の注意喚起を実施するためには、接近予測に必要な複雑な計算等が必要である。本研究では携帯電話ネットワークを利用することで、サーバでこれらの処理を行い、歩行者への警告や注意喚起を行うシステム（図 3）の構築を目標とする。

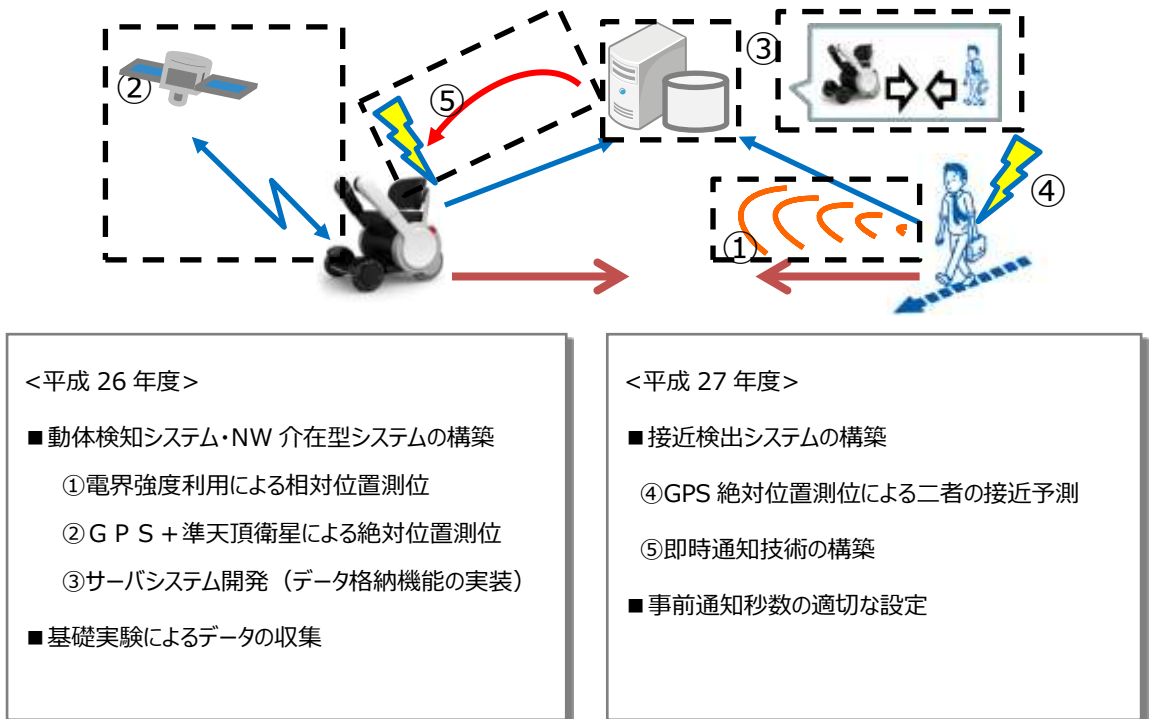


図 3 接近検知システム

2.3 平成26年度の実績

平成26年度は、図4に示す①動体検知システム、②NW介在型システムを開発した。これらを用いて実験を行った結果、各システムの基本動作を確認するとともに、GPSの精度が実用に耐え得る事やBLEの電界強度の特性（接近によって電界強度が増す、人体等遮蔽物の影響が大きい）を明らかにした。

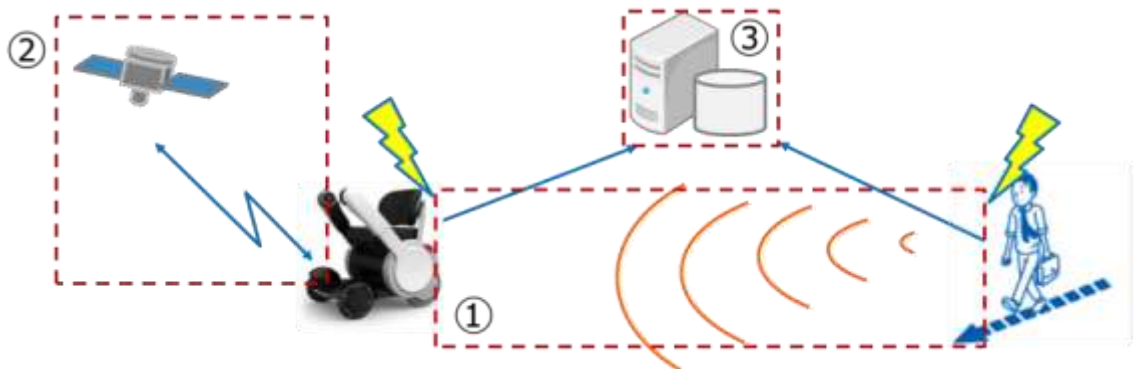


図4 平成26年度の研究開発範囲

①動体検知システムの開発

他動体（歩行者など）がBLEビーコンを持って近づく際のBLEの電界強度の変化から、相対的な距離の検知を行える機能開発を行った。

②NW介在型システムの開発

電動車いすと他動体（歩行者など）がそれぞれ保持するデバイスセットから、GPS（準天頂衛星含む）の信号より算出した位置情報をサーバシステムへ通知する機能開発を行った。

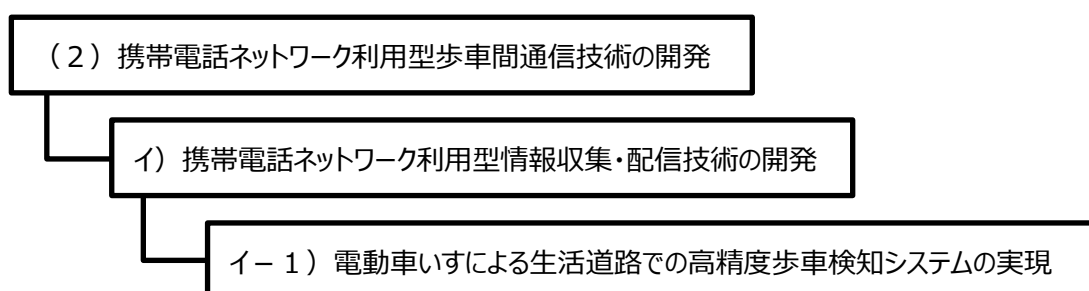
③データ格納機能の開発

①②の機能で取得した情報を、サーバのデータベースへ格納する機能開発を行った。

2.4 研究開発体制

本研究開発に関わる実施体制を（図 5）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）



担当	株式会社 NTT ドコモ
研究リーダー	熊谷 謙（株式会社 NTT ドコモ）
研究者	片山 みずほ、泉 圭佑、小野塚 康浩（株式会社 NTT ドコモ）

使用する主な研究機器

(購入設備)	電動車いす
(開発)	ビーコン
	電動車いす/歩行者用デバイスセット
	サーバ(ソフト/開発ハード/社内設備の利用)

図 5 研究開発体制図

2.5 年次目標及び計画

接近検知システムの確立及び、交差点内における応用を目的とし、
図 6 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■ N W 介在型システムの構築<ul style="list-style-type: none">・ G P S + 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 6 年次目標

2.6 研究成果要約

平成 27 年度は、動体検知システムの開発及び交差点内における歩行者等の位置測位への応用検討を実施し、下記の成果を達成している。

目標	達成	説明
位置算出技術の確立	完了	位置算出のためのアルゴリズムを検討し、サーバに実装した。
即時通知技術の確立	完了	設定した閾値にしたがってアラームを鳴らす仕組みをサーバおよびデバイスに実装した。
事前通知秒数の適切な設定	完了	実験を通して本システムにおける BLE、GPS の精度を見極め、本システムに適した秒数を設定した。
交差点内における歩行者等の位置情報検出への応用	完了	交差点内における位置情報検出のための方式を検討し、その基礎実験を実施した。

2.7 研究成果

2.7.1 接近検知システム

接近検知システムを開発し実証することを目的として、図 7 及び表 1 に示すサーバ及びデバイスセット・ビーコンの開発を行った。

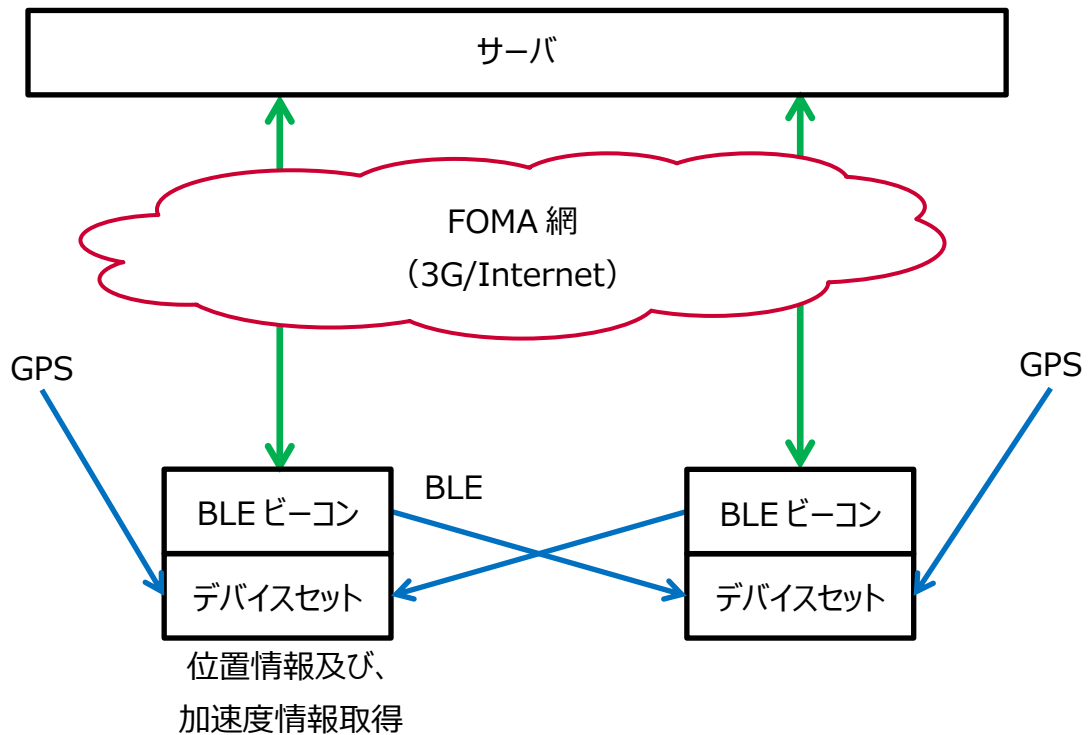


図 7 システム全体構成

表 1 システム構成図の用語解説

項番	用語	解説
1	サーバ	<p>以下の機能を有するサーバである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・デバイスセットで取得した電動車いす及び歩行者の位置情報（GPS）・加速度情報・BLE 電界強度情報等を、FOMA 網を利用してデータベースへ格納する。 ・データベースに格納した位置情報（GPS）・加速度情報を利用して、電動車いすと歩行者の接近検知を行いデバイスセットへ通知する。
2	デバイスセット	<p>電動車いす及び歩行者に保持させる、以下の機能を有するデバイスである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・取得した電動車いす及び歩行者の位置情報（GPS）・加速度情報を、FOMA 網を利用して、サーバへ通知する。 ・サーバからの通知を元に電動車いす及び歩行者へアラーム音にて警告する。 ・BLE ビーコンの電界強度から互いの距離を算出し、それが閾値を下回った際に電動車いす及び歩行者へアラーム音にて警告する。
3	BLE ビーコン	<p>以下の機能を有するビーコンである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・BLE の電波を一定間隔で送信する。

2.7.2 システムの設計及び開発内容

2.7.2.1 サーバ

サーバが行う接近検知のフローチャート（概要）について、図 8 に示す。

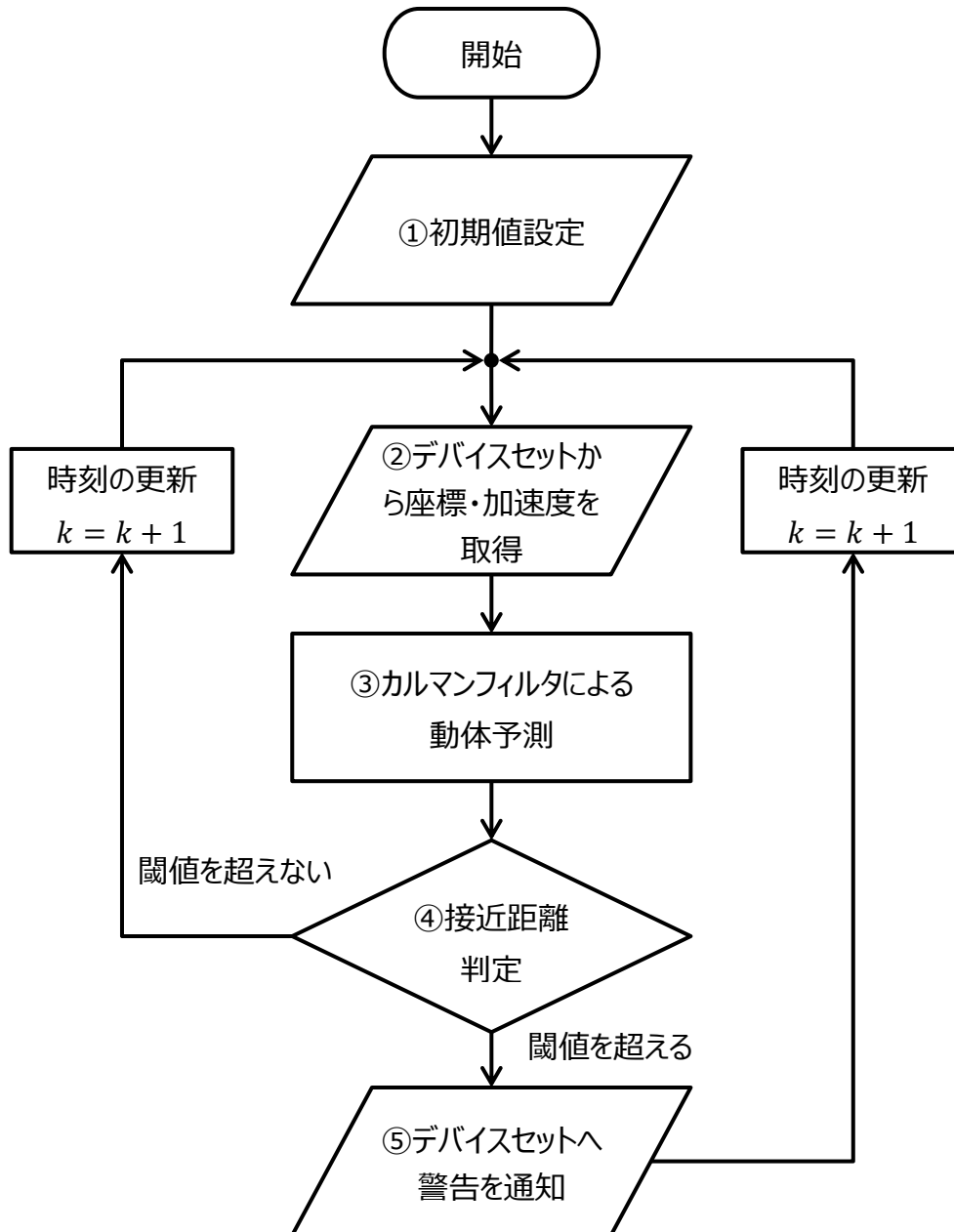


図 8 サーバによる接近検知のフローチャート（概要）

① 初期値設定

接近検知に使用する初期値は表 2 の通りである。

表 2 初期値一覧

項番	初期値名	説明
1	$\hat{x}_{0 0}$	推定値の初期値
2	$P_{0 0}$	共分散行列の初期値
3	R	観測ノイズの分散行列
4	Q	システムノイズの分散行列
5	Δt	サンプリング時刻の間隔
6	d_{th}	接近検知距離の閾値

② デバイスセットからの位置情報（GPS）・加速度情報取得

デバイスセットから取得する情報を表 3 に取得条件を表 4 に示す。

表 3 取得情報

項番	取得情報	説明	
1	座標情報	経度	デバイスセットが取得する電動車いす及び歩行者の経度情報
		緯度	デバイスセットが取得する電動車いす及び歩行者の緯度情報
2	加速度	x 軸	デバイスセットが取得する電動車いす及び歩行者の x 軸加速度
		y 軸	デバイスセットが取得する電動車いす及び歩行者の y 軸加速度

表 4 取得条件

項番	取得条件	説明
1	取得間隔	デバイスセットは 0.5[s]ごと加速度情報と座標情報を取得する。
2	通信間隔	デバイスセットはサーバへ 1[s]ごと座標情報と加速度情報を取得する。

③ カルマンフィルタによる動体予測

カルマンフィルタ [3]による動体予測を行う際に下記問題設定を行う。初期値が 0 (実験条件) で、加速度が与えられている電動車いす (または、歩行者) を Δt ごとに位置 (x_k, y_k) と加速度 (\ddot{x}_k, \ddot{y}_k) を観測する。また、位置 (x_k, y_k) 及び加速度 (\ddot{x}_k, \ddot{y}_k) の観測には誤差 v_k があるものとする。上記説明を図 9 で示す。

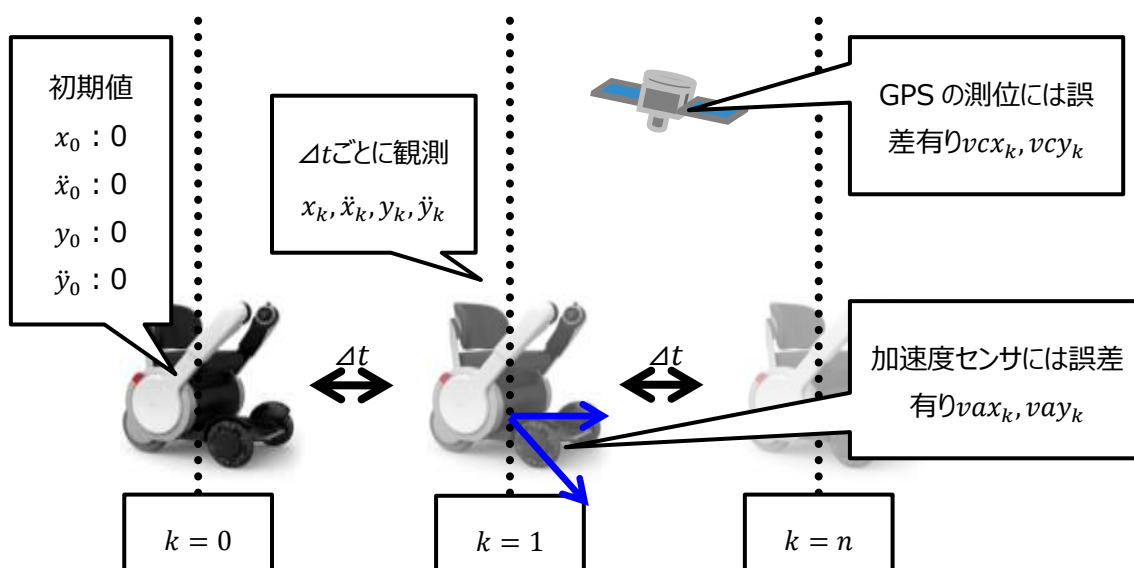


図 9 カルマンフィルタによる動体予測の問題設定

カルマンフィルタによる動体予測で使用する状態空間モデルを数式 1 及び図 10 で示す。本研究開発における動体予測は、サーバで多数の動体の計算を行う必要があるため、状態空間モデルの単純化を行った。

数式 1 状態空間モデル

$$\text{状態方程式： } \boldsymbol{x}_{k+1} = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{G}\boldsymbol{\omega}_k$$

$$\text{観測方程式： } z_k = \boldsymbol{H}\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{v}_k$$

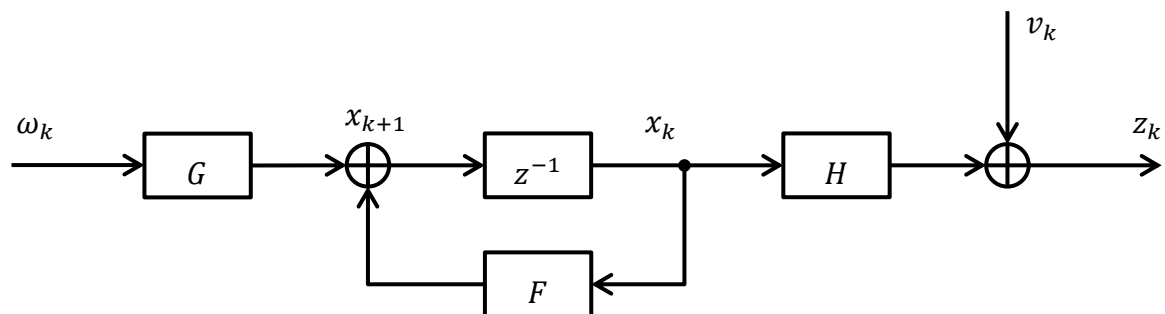


図 10 状態空間モデル

電動車いすの座標を (x, y) 、速度を (\dot{x}, \dot{y}) 、加速度を (\ddot{x}, \ddot{y}) とする状態量 \boldsymbol{x}_k を数式 2 で示す。

数式 2 状態量

$$\boldsymbol{x}_k = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \\ y \\ \dot{y} \\ \ddot{y} \end{bmatrix}$$

時刻 k と時刻 $k + 1$ の間に加速度 (\ddot{x}, \ddot{y}) が電動車いすに与えられた状態方程式を数式 3 に示す。

数式 3 状態方程式

$$\boldsymbol{x}_{k+1} = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{G}\boldsymbol{\omega}_k$$

また、各文字は数式 4 に示すとおりである。

数式 4 各文字の説明 (状態方程式)

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t & \frac{\Delta t^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \omega_k = [0]$$

デバイスセットに搭載された GPS で取得した座標と、加速度センサによる加速度を観測する観測方程式を数式 5 で示す。

数式 5 観測方程式

$$z_k = Hx_k + v_k$$

また、各文字は数式 6 に示すとおりである。

数式 6 各文字の説明 (観測方程式)

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad v_k = \begin{bmatrix} v_{cx_k} \\ v_{ax_k} \\ v_{cy_k} \\ v_{ay_k} \end{bmatrix}, \quad R_k = \begin{bmatrix} \sigma c_k^2 & 0 \\ 0 & \sigma a_k^2 \end{bmatrix}$$

設計した数式 3 状態方程式と数式 5 観測方程式からなる数式 1 状態空間モデルをもとに、数式 1 に示すカルマンフィルタルゴリズムを利用して電動車いす及び歩行者の動体予測を行う。

数式 7 カルマンフィルタルゴリズム

【予測】

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1}$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + F_k Q_k F_k^T$$

【更新】

$$e_k = z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}$$

$$S_k = R_k + H_k P_{k|k-1} H_k^T$$

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1}$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k e_k$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}$$

<補足>

各文字が表す意味は表 5 に記す。

表 5 各文字が表す意味の説明

項番	文字	意味
1	$\hat{x}_{k k-1}$	現時刻における予測推定値
2	$P_{k k-1}$	現時刻における予測誤差行列
3	e_k	観測残差
4	S_k	観測残差の共分散
5	K_k	カルマンゲイン
6	$\hat{x}_{k k}$	更新された状態の予測推定値
7	$P_{k k}$	更新された誤差の共分散

④ 接近検知

カルマンフィルタを使用して、電動車いすと歩行者の運動方程式を算出する。

ただし、

ew, p : 電動車いす、 p : 歩行者、 x, y : 座標、 v_x, v_y : 速度、 a_x, a_t : 加速度、 t_0, t_1 : 時刻とする。電動車いすと歩行者の運動方程式を数式 8 と数式 9 に示す。

数式 8 電動車いすの運動方程式

$$ewx(t_1) = ewx(t_0) + ewv_x(t_0) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{1}{2} \cdot ewa_x(t_0) \cdot (t_1 - t_0)^2$$
$$ewy(t_1) = ewy(t_0) + ewv_y(t_0) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{1}{2} \cdot ewa_y(t_0) \cdot (t_1 - t_0)^2$$

数式 9 歩行者の運動方程式

$$px(t_1) = px(t_0) + pv_x(t_0) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{1}{2} \cdot pa_x(t_0) \cdot (t_1 - t_0)^2$$
$$py(t_1) = py(t_0) + pv_y(t_0) \cdot (t_1 - t_0) + \frac{1}{2} \cdot pa_y(t_0) \cdot (t_1 - t_0)^2$$

カルマンフィルタの推定結果を利用した運動方程式を使用し、下記の通り接近検知を行う。

- ① 表 6 に示す算出式を利用し、0～3 秒後の電動車いすと歩行者の座標間の距離を求める。

表 6 電動車いすと歩行者の相対距離算出式

時刻 t_n [s]	電動車いすと歩行者の距離[m]
$t_1 = t_0 + 0$	$\sqrt{(ewx(t_n) - px(t_n))^2 + (ewy(t_n) - py(t_n))^2}$
$t_2 = t_0 + 1$	
$t_3 = t_0 + 2$	
$t_4 = t_0 + 3$	

- ② 0~3 秒後の電動車いすと歩行者の距離が設定した閾値 d_{th} 以下であれば、接近とし検知する。

2.7.2.2 デバイスセット

デバイスセット（図 11、図 12 参照）については、昨年度開発を行ったデバイスセットに対して以下の機能を追加した。



図 11 デバイスセット（電動車いす用）写真



図 12 デバイスセット（歩行者用）写真

【BLEによる接近検知機能】

他動体（歩行者など）からの BLE 電波を受信することで、近距離における相対的な位置算出を行う。算出の結果、閾値を下回る場合はアラームを鳴らす機能である。本機能のフローチャートを図 13 デバイスセットによる接近検知のフローチャート（概要）に示す。

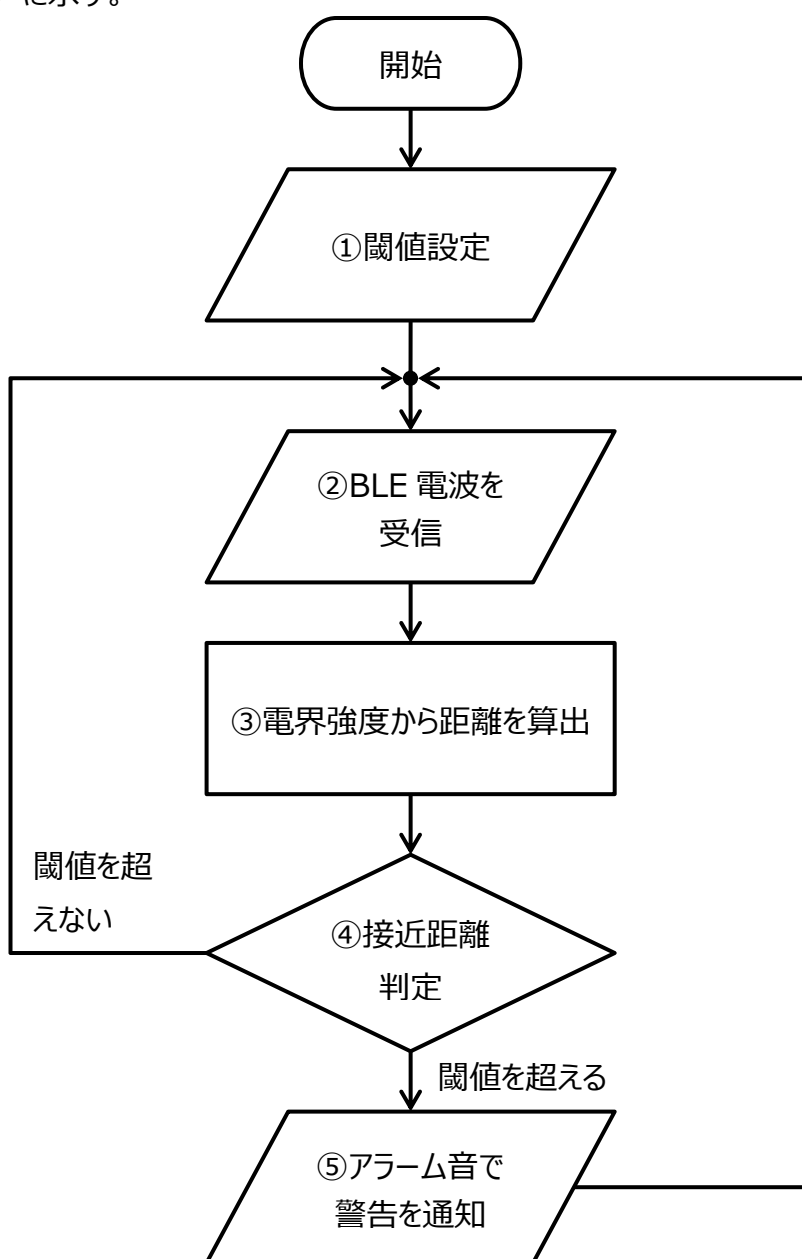


図 13 デバイスセットによる接近検知のフローチャート（概要）

【加速度センサ情報送信機能】

GPS 接近検知に用いる加速度センサの情報を取得し、位置情報（GPS）と合わせてサーバへ送信する機能である。図 14 に処理の流れを説明する。

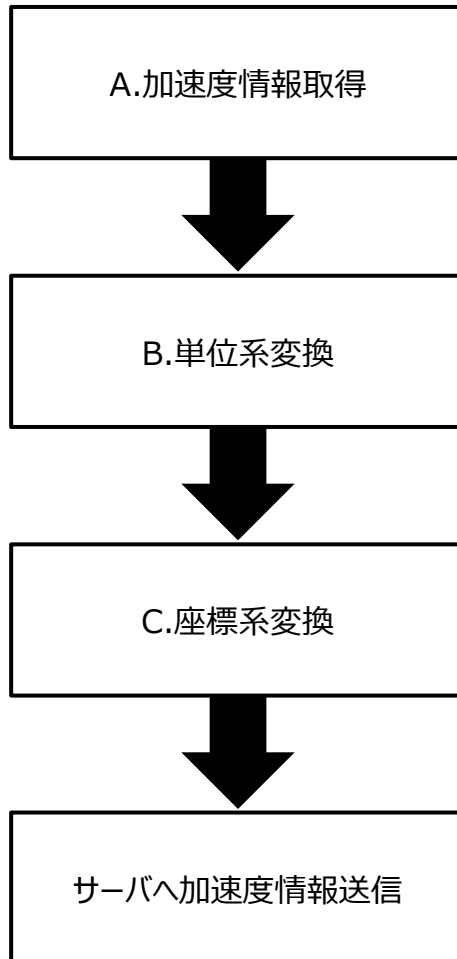


図 14 加速度センサ情報送信機能の流れ

A. 加速度情報取得

加速度センサから、加速度情報を取得する。

B. 単位系変換

A で取得した加速度情報の単位はG[g(重力加速度)]である。接近検知システムで使用する動体予測機能は、加速度情報の単位が $a[m/s^2]$ であることを前提に設計しているため、数式 10 を利用して単位の変換を行う。

数式 10 加速度情報の単位系変換式

$$a[m/s^2] = 9.80665 \times G[g]$$

C. 座標系変換

接近検知システムで使用する動体予測機能は、加速度情報がワールド座標系で表されることを前提に設計している。しかし、加速度センサから得られる加速度情報は、ローカル座標系であるので、ワールド座標系へ変換を行う。(図 15 参照) ここで言うローカル座標系とは、動体の中心を原点とした座標系である。またワールド座標系とは、動体以外を原点(接近検知システムでは、緯度・経度が0度を原点とした。)とした座標系である。

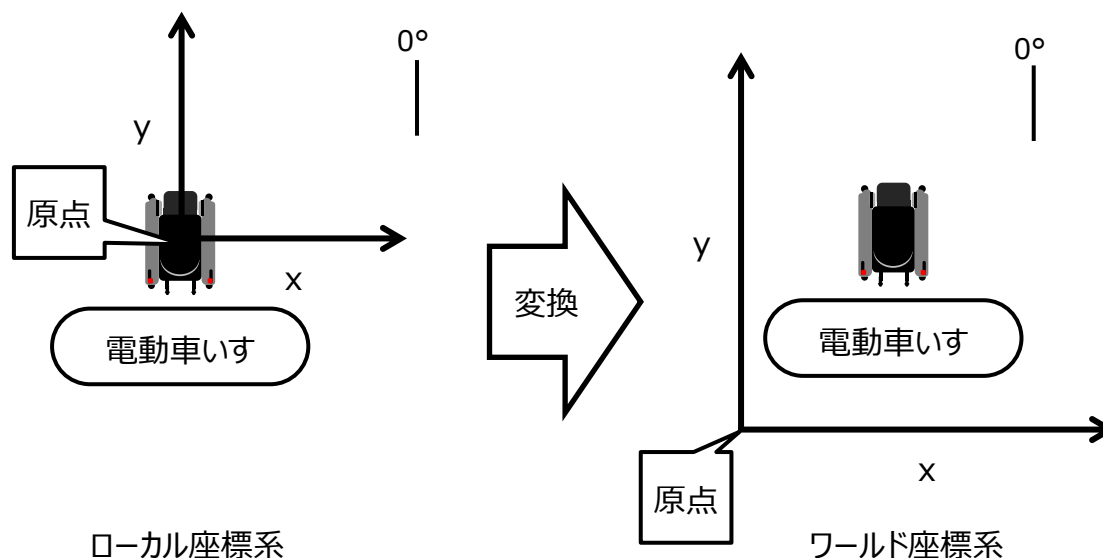


図 15 ローカル座標系とワールド座標系の変換について

2.7.2.3 実験条件

本研究では、表 7 に示す実験を行った。

表 7 実験項目

項番	実験項目	説明
1	動体予測の基礎実験	接近検知システムに具備した動体予測機能の有効性を確認する基礎実験
2	電動車いす・歩行者間の接近検知実験	接近検知システムを利用した、電動車いす・歩行者間の接近検知の有効性を確認する実験

また、実験の前提条件を図 16 及び図 17 に示す。

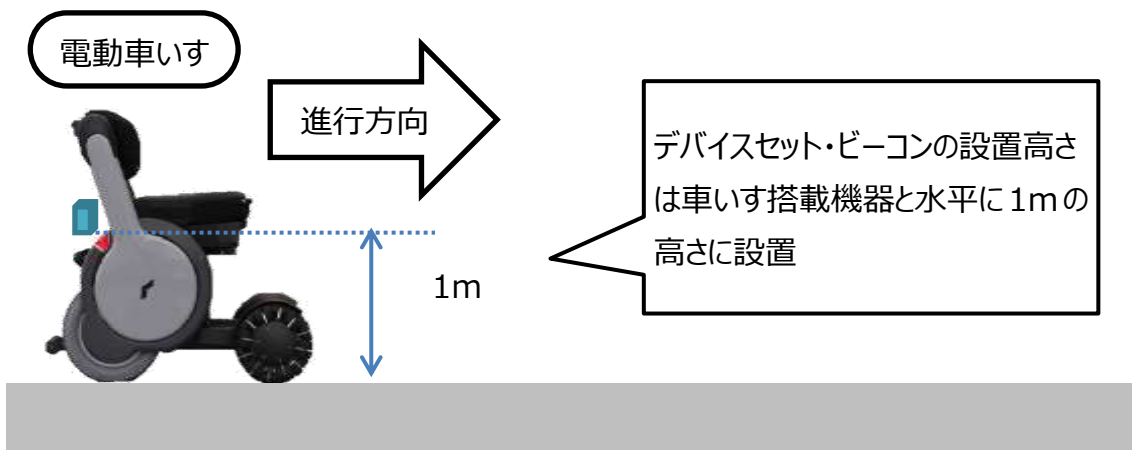


図 16 電動車いすのデバイスセット・ビーコン設置位置の規定

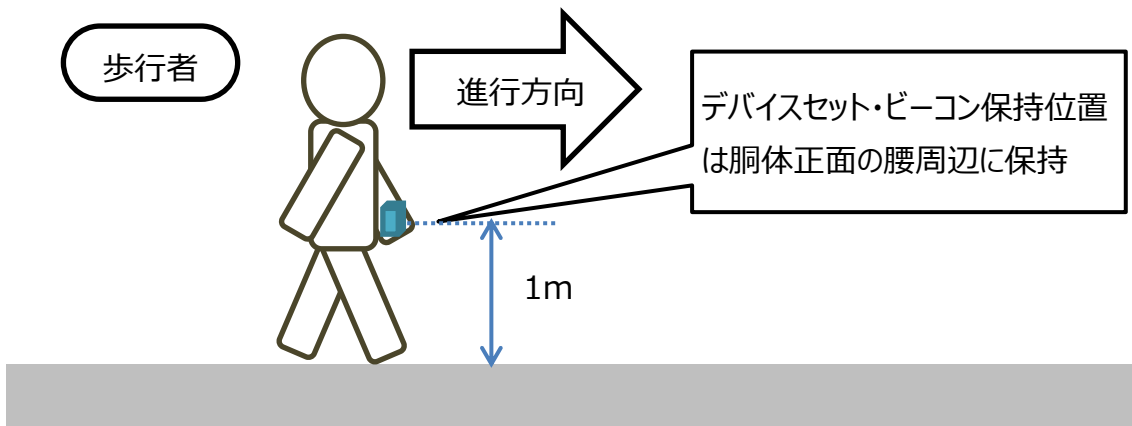


図 17 歩行者のデバイスセット・ビーコン保持位置の規定

2.7.3 動体予測の基礎実験

【実験目的】

今年度開発を行った動体予測機能の課題を確認するために基礎実験を実施する。

【実験条件】

実験条件は、図 18 に示すとおりである。歩行者の実験パターンは、基本的な歩行パターンにおける動体予測機能を確認する観点で 3 パターンの抽出を行った。また、各パターンにつき 3 回実験を実施した。

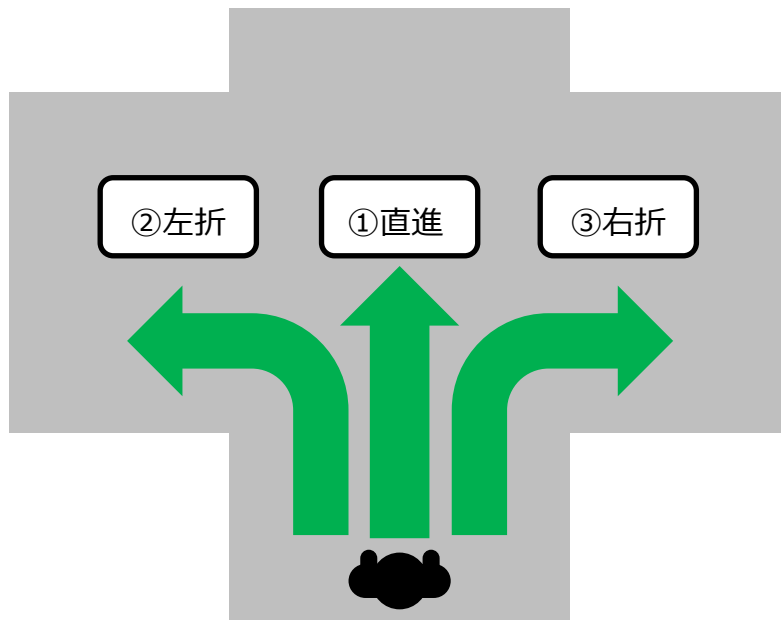


図 18 歩行者の行動パターン

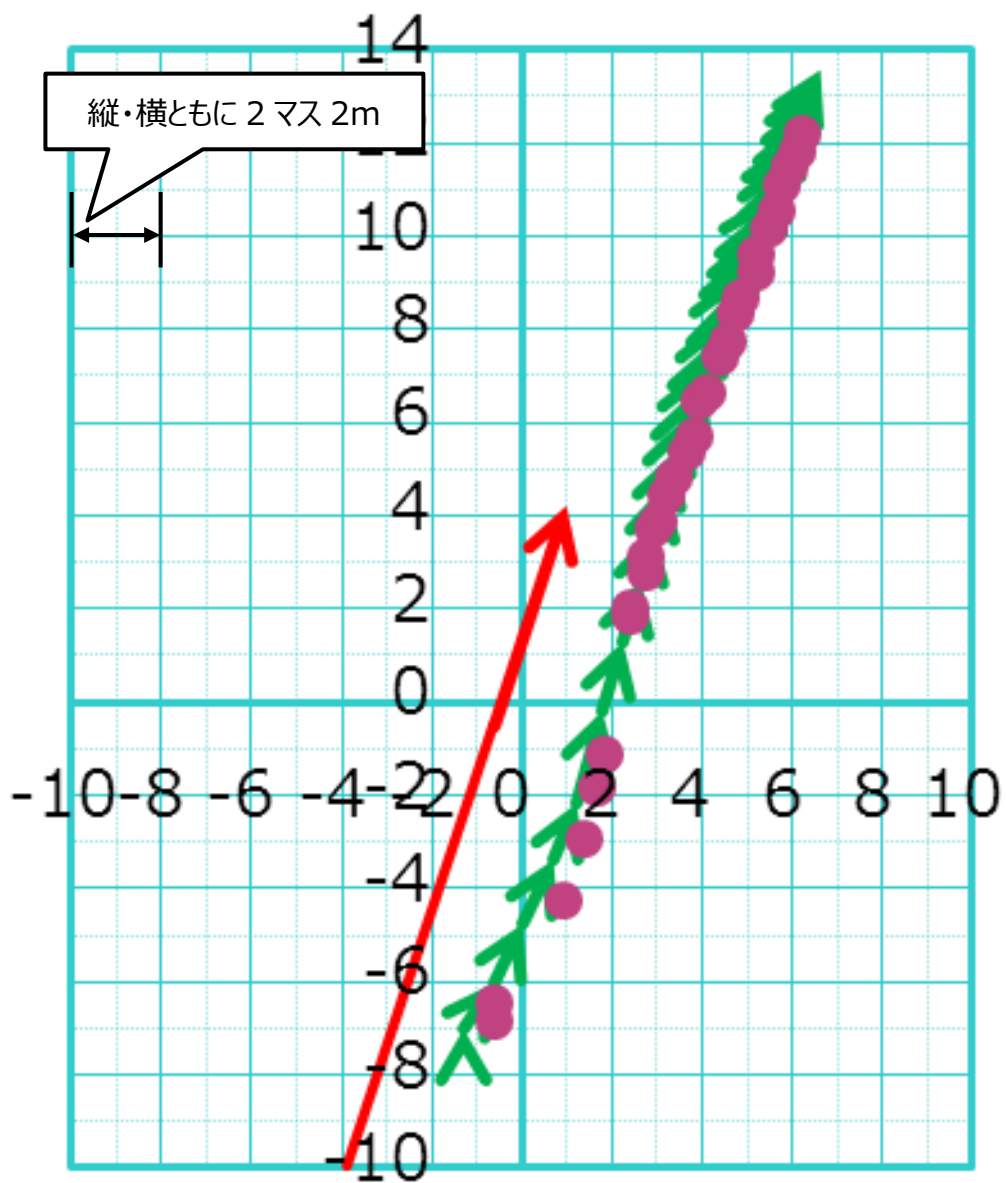
【評価項目】

GPS から取得した位置情報の誤差や欠測を、予測出来ることを確認する。また、動体予測による歩行者の移動方向予測の有効性を確認する。

【実験結果】

実験結果の詳細については、図 19、図 20、図 21 に示す。実験結果より、動体位置予測で GPS 測位結果を補正することによる測位座標の欠測が緩和可能であることを確認した。また、初期位置のズレ影響はあるが、歩行者の移動方向の予測に有効であることを確認した。

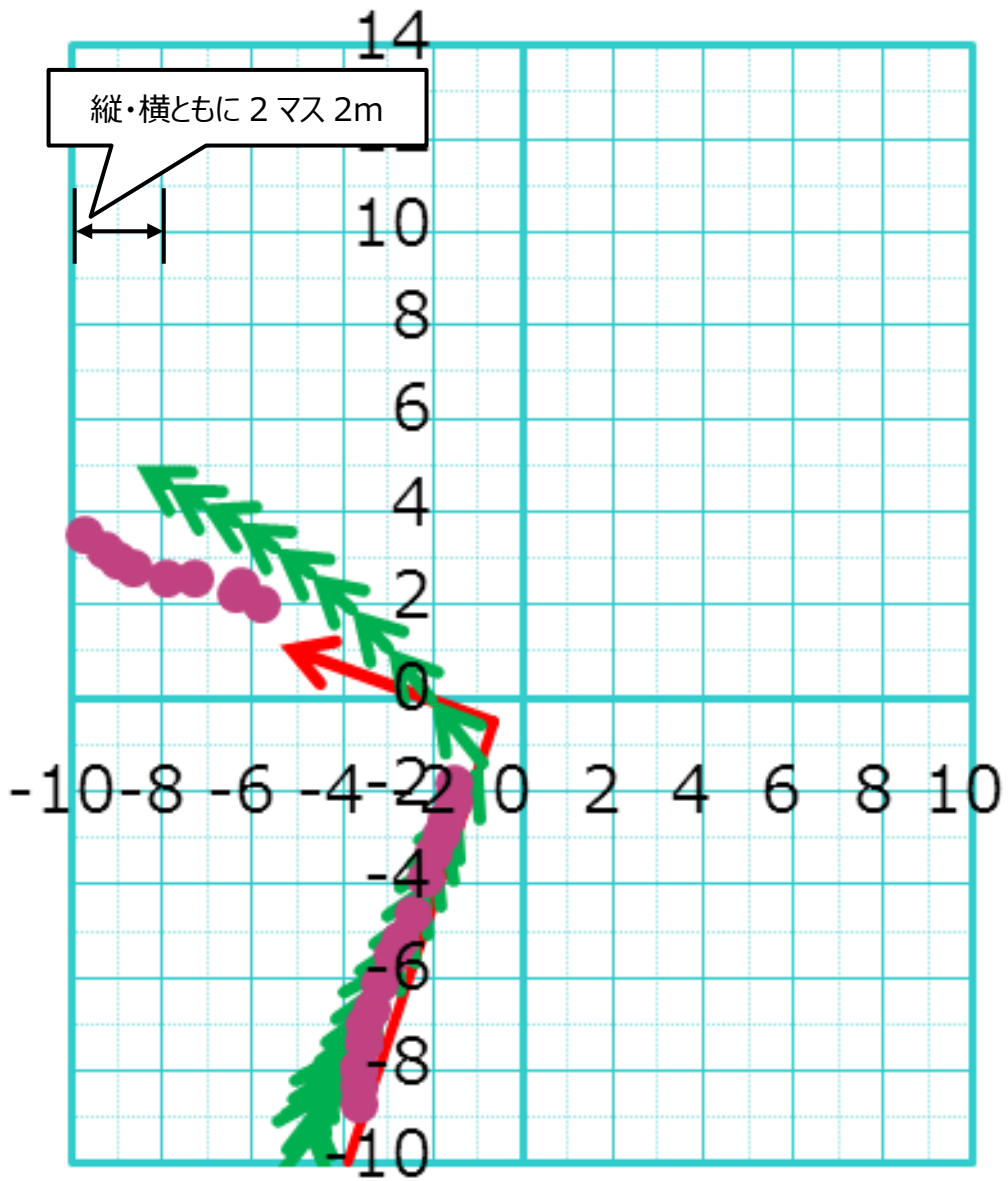
【実験結果①直進】



【凡例】→:移動経路、→:動体予測、●:GPS

図 19 実験結果①直進

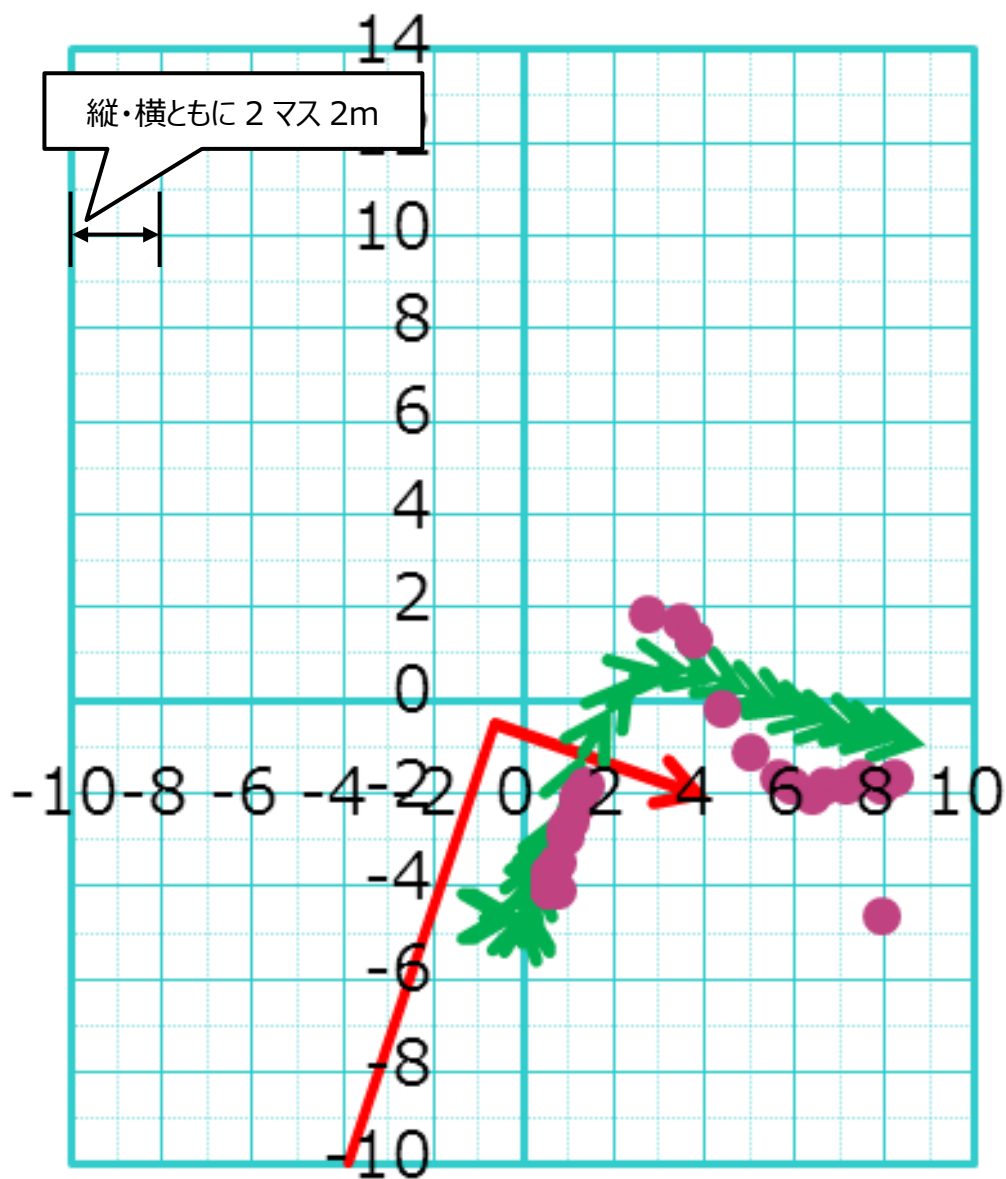
【実験結果②左折】



【凡例】→:移動経路、→:動体予測、●:GPS

図 20 実験結果②左折

【実験結果③右折】



【凡例】→:移動経路、→:動体予測、●:GPS

図 21 実験結果③右折

2.7.4 電動車いす・歩行者間の接近検知実験

【実験目的】

接近検知システムを利用した、電動車いす・歩行者間の接近検知の有効性を確認する実験を実施する。



図 22 実験風景

【実験条件】

電動車いす・歩行者間の接近検知実験は、接近検知パターンの抽出を観点に

図 23 及び表 8 行動条件に示す条件の組み合わせで 77 パターンを 3 回ずつ実施した。また、事前通知秒数はシステムの有効性を確認する観点で表 9 に示す値で設定した。

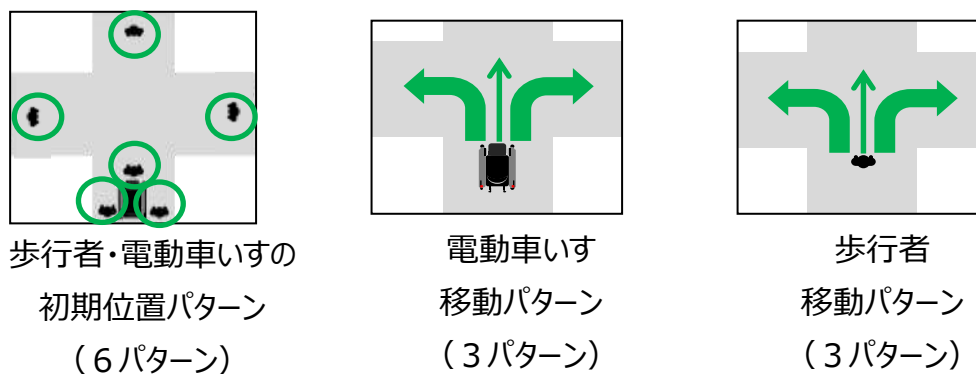


図 23 行動パターン

表 8 行動条件

項目	条件	
電動車いす速度	1m/s	2m/s
歩行者速度	1m/s	
移動距離	10m~30m	

表 9 事前通知秒数の設定

項目	事前通知の条件
GPS	電動車いすと歩行者の距離が 5m 以下で事前通知
BLE	電動車いすと歩行者の距離が 3m 以下で事前通知

実験パターンの詳細について、表 10～表 13 に示す。また、図示した実験パターンについては、図 27～図 53 に示す。なお、網掛けを行っている実験項目は、衝突するパターンであることが明らかであるため、安全を優先し未実施とした。

表 10 実験パターン表(項番 1~30)

項番	速度[m/s]			行動パターン						初期位置パターン					
	電動車いす		歩行者	電動車いす			歩行者			歩行者					
	1	2	1	直進	右折	左折	直進	右折	左折	右側並走	左側並走	追走	正面	右側交差	左側横切
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	○		○		○			○							○

表 11 実験パターン表(項番 31~60)

項番	速度[m/s]		行動パターン						初期位置パターン						
	電動車いす		歩行者	電動車いす			歩行者			歩行者					
	1	2	1	直進	右折	左折	直進	右折	左折	右側並走	左側並走	追走	正面	右側交差	左側横切
31	○		○		○				○	○					
32	○		○		○				○		○				
33	○		○		○				○			○			
34	○		○		○				○				○		
35	○		○		○				○					○	
36	○		○		○				○						○
37	○		○			○	○			○					
38	○		○			○	○				○				
39	○		○			○	○					○			
40	○		○			○	○						○		
41	○		○			○	○							○	
42	○		○			○	○								○
43	○		○			○		○		○					
44	○		○			○		○			○				
45	○		○			○		○				○			
46	○		○			○		○					○		
47	○		○			○		○						○	
48	○		○			○		○							○
49	○		○			○			○	○					
50	○		○			○			○		○				
51	○		○			○			○			○			
52	○		○			○			○				○		
53	○		○			○			○					○	
54	○		○			○			○						○
55		○	○	○			○			○					
56		○	○	○			○				○				
57		○	○	○			○					○			
58		○	○	○			○						○		
59		○	○	○			○							○	
60		○	○	○			○								○

表 12 実験パターン表(項番 61~90)

項番	速度[m/s]		行動パターン						初期位置パターン							
	電動車いす		歩行者	電動車いす			歩行者			歩行者						
	1	2		1	直進	右折	左折	直進	右折	左折	右側並走	左側並走	追走	正面	右側交差	左側横切
61		○	○	○				○			○					
62		○	○	○				○				○				
63		○	○	○				○					○			
64		○	○	○				○					○			
65		○	○	○				○						○		
66		○	○	○				○								○
67		○	○	○					○	○						
68		○	○	○					○		○					
69		○	○	○					○			○				
70		○	○	○					○				○			
71		○	○	○					○					○		
72		○	○	○					○							○
73		○	○		○		○			○						
74		○	○		○		○				○					
75		○	○		○		○					○				
76		○	○		○		○						○			
77		○	○		○		○							○		
78		○	○		○		○									○
79		○	○		○			○		○						
80		○	○		○			○			○					
81		○	○		○			○				○				
82		○	○		○			○					○			
83		○	○		○			○							○	
84		○	○		○			○								○
85		○	○		○				○	○						
86		○	○		○				○		○					
87		○	○		○				○			○				
88		○	○		○				○				○			
89		○	○		○				○					○		
90		○	○		○				○							○

表 13 実験パターン表(項番 91~108)

項番	速度[m/s]			行動パターン						初期位置パターン					
	電動車いす		歩行者	電動車いす			歩行者			歩行者					
	1	2	1	直進	右折	左折	直進	右折	左折	右側並走	左側並走	追走	正面	右側交差	左側横切
91		○	○			○	○			○					
92		○	○			○	○				○				
93		○	○			○	○					○			
94		○	○			○	○						○		
95		○	○			○	○							○	
96		○	○			○	○								○
97		○	○			○		○		○					
98		○	○			○		○			○				
99		○	○			○		○				○			
100		○	○			○		○					○		
101		○	○			○		○						○	
102		○	○			○		○							○
103		○	○			○			○	○					
104		○	○			○			○		○				
105		○	○			○			○			○			
106		○	○			○			○				○		
107		○	○			○			○					○	
108		○	○			○			○						○

【実験パターン図説明】

図 27～図 53 に示す実験パターン図の説明を、図 24～図 26 に示す。

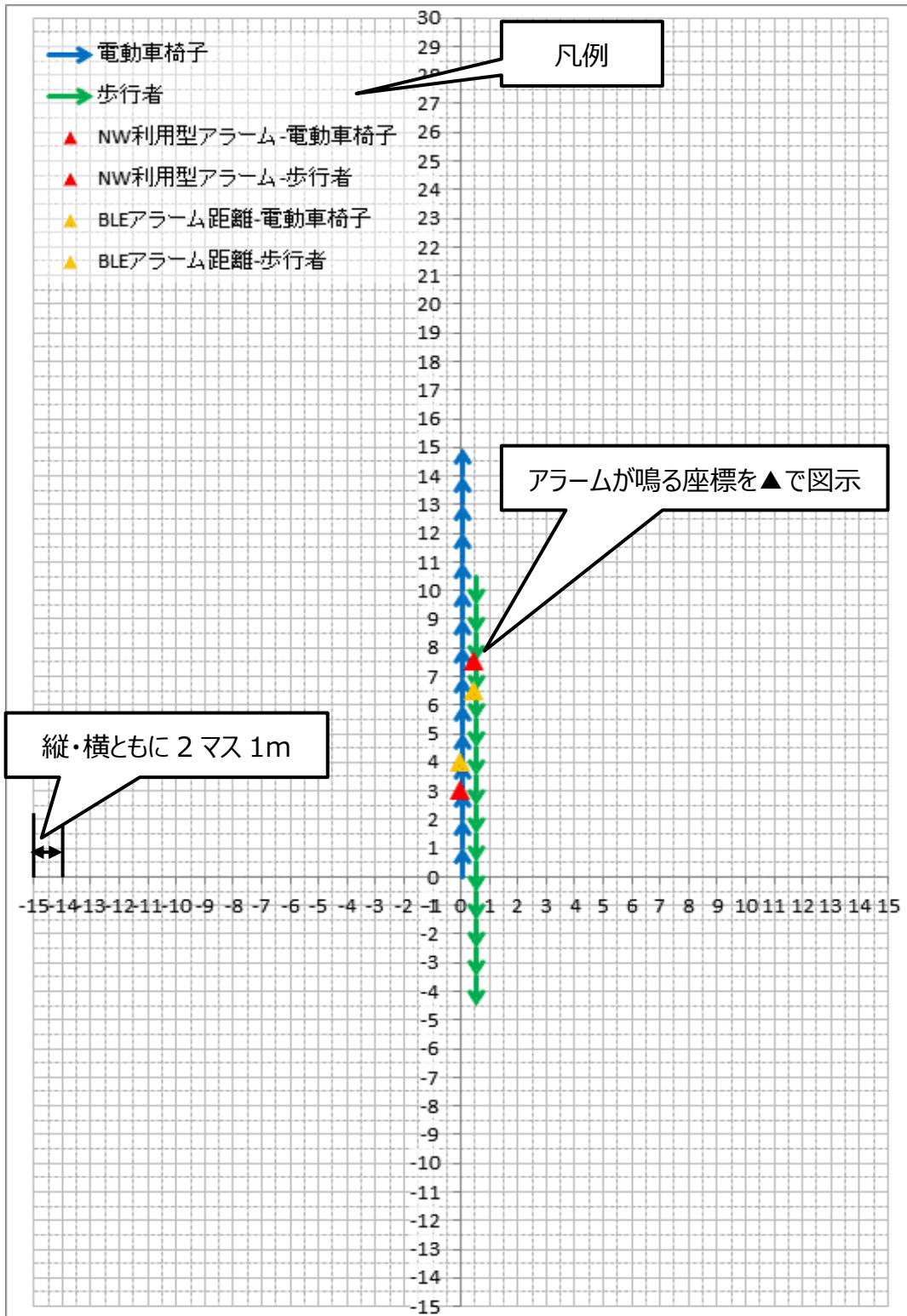


図 24 アラーム音が鳴る実験パターン

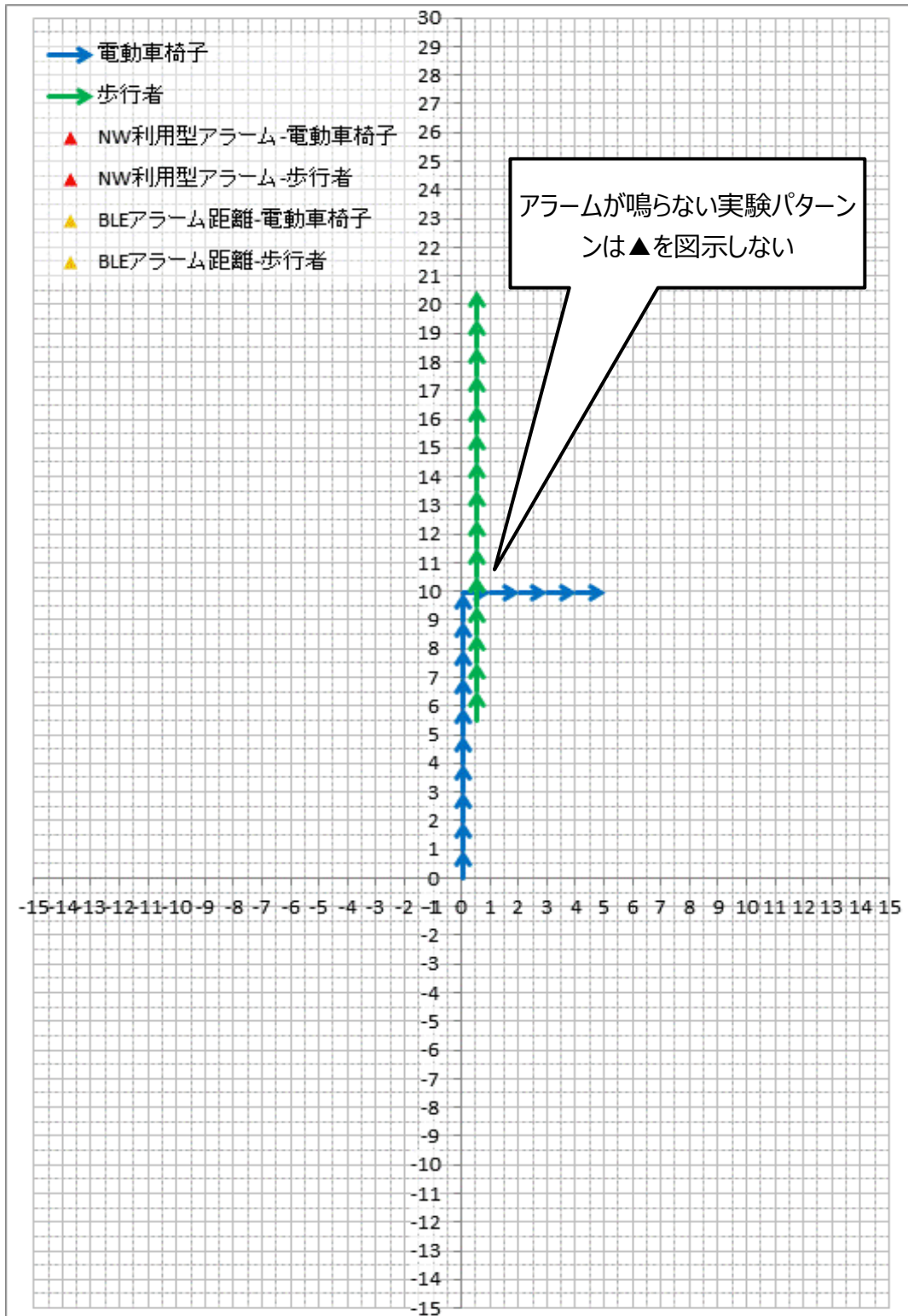


図 25 アラーム音が鳴らない実験パターン

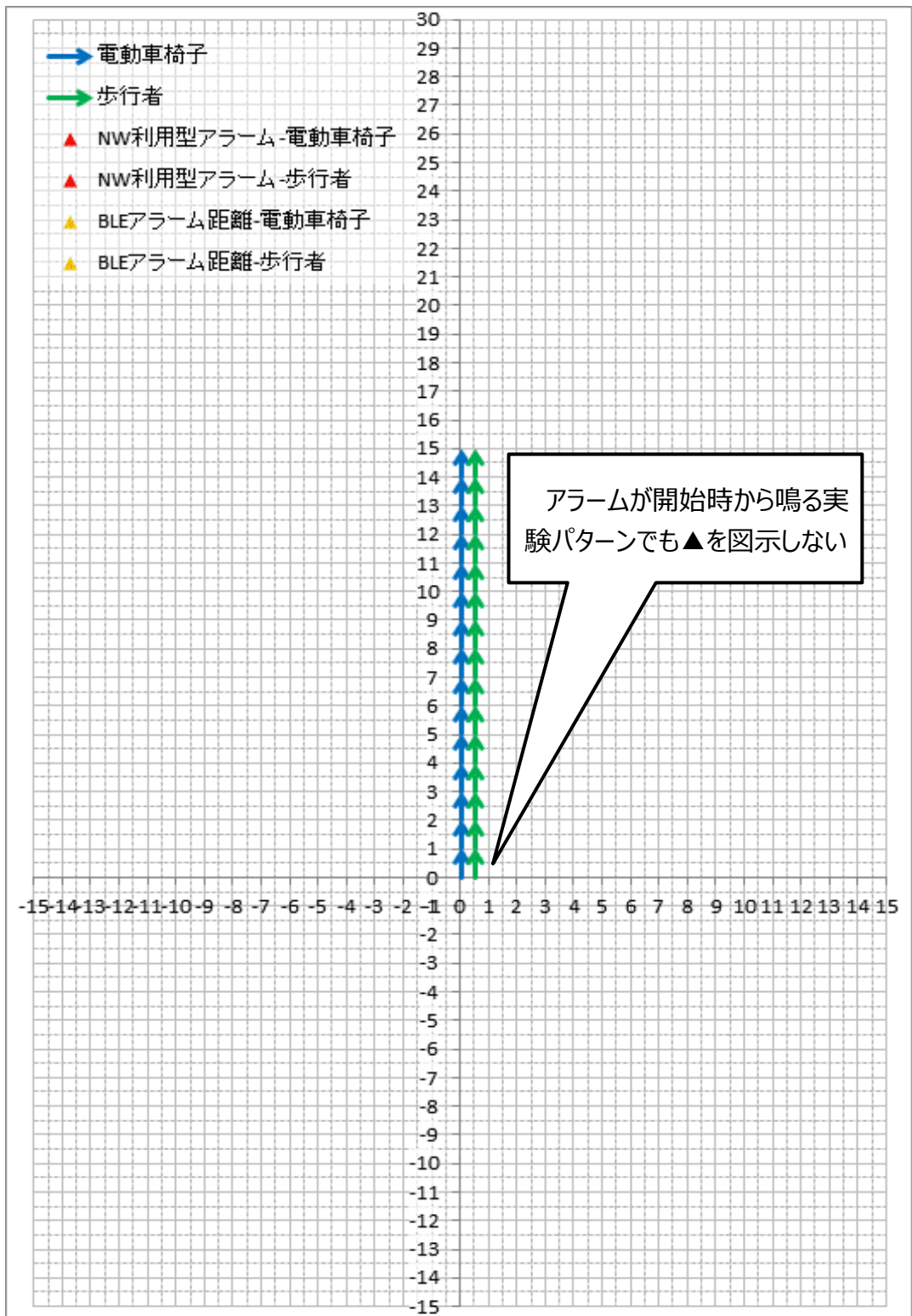
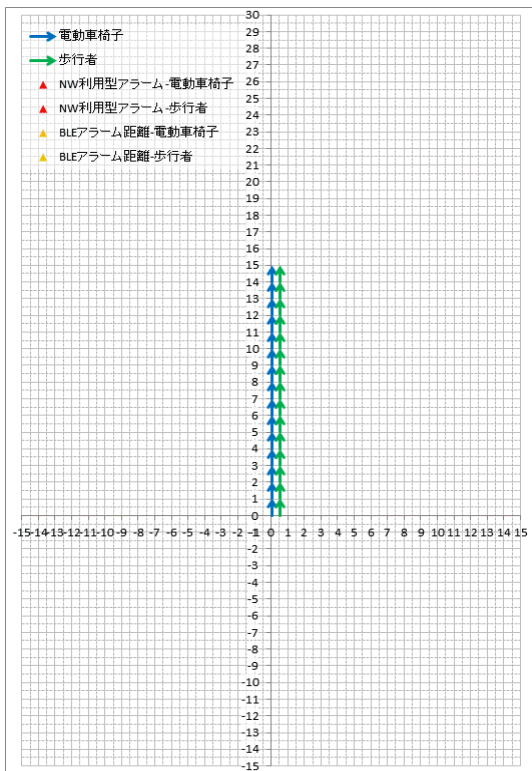
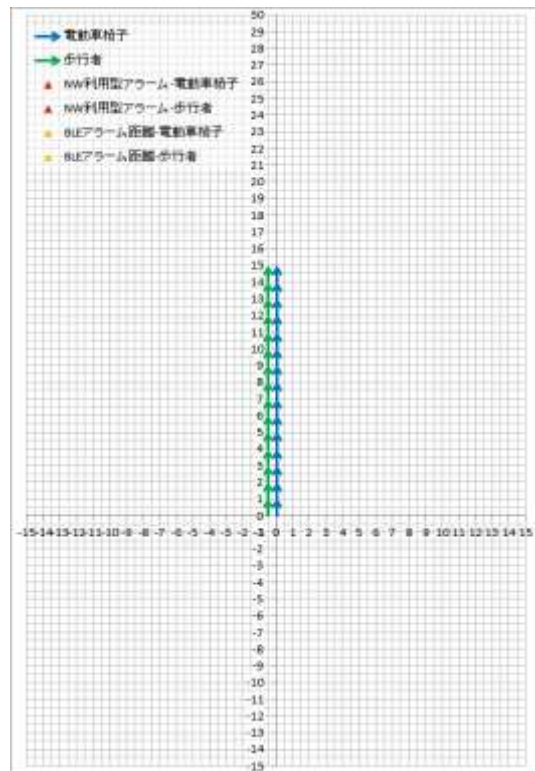


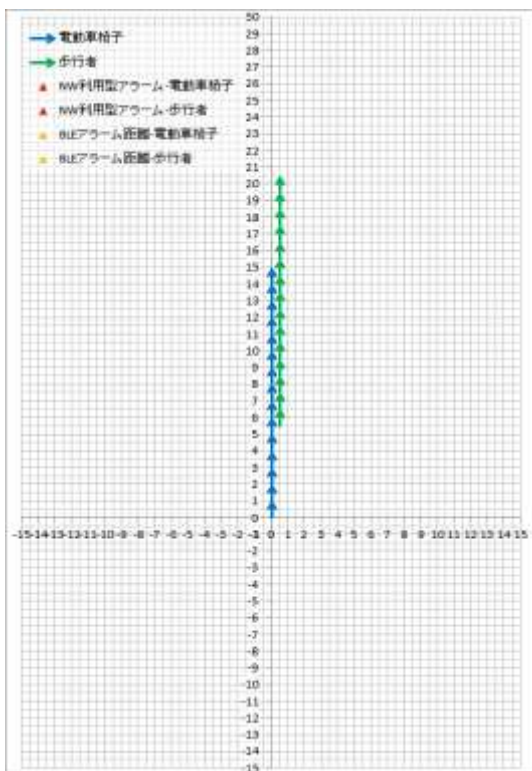
図 26 アラーム音が開始時から鳴る実験パターン



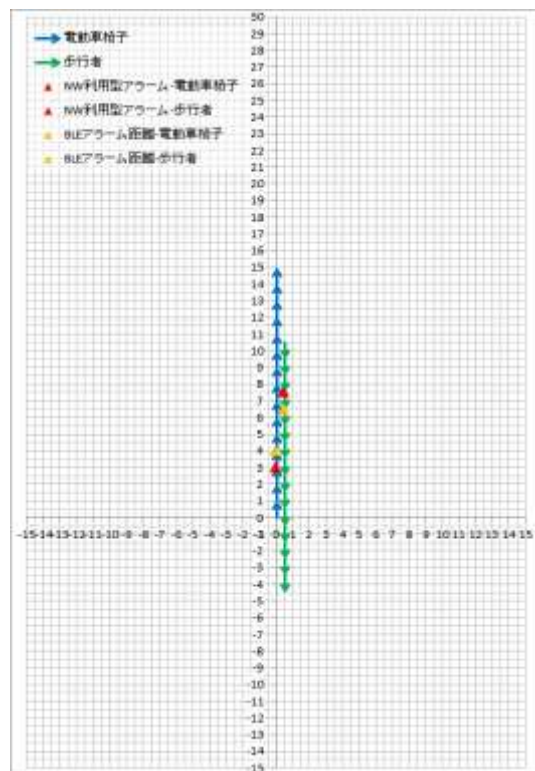
項番 1



項番 2

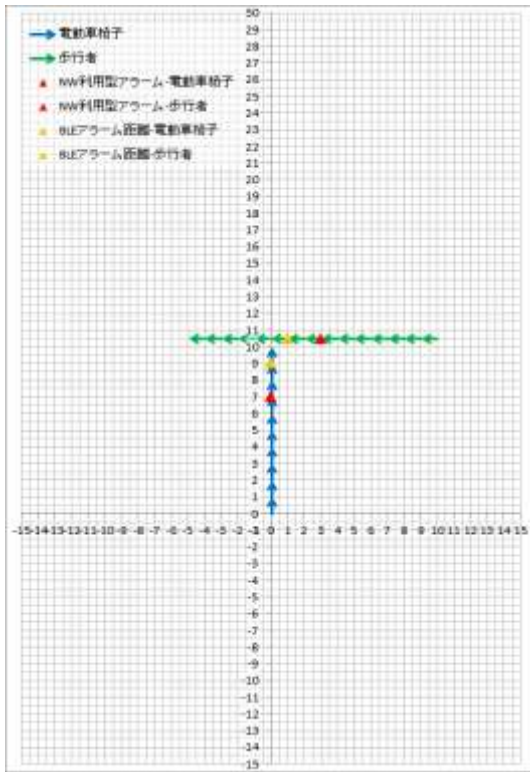


項番 3

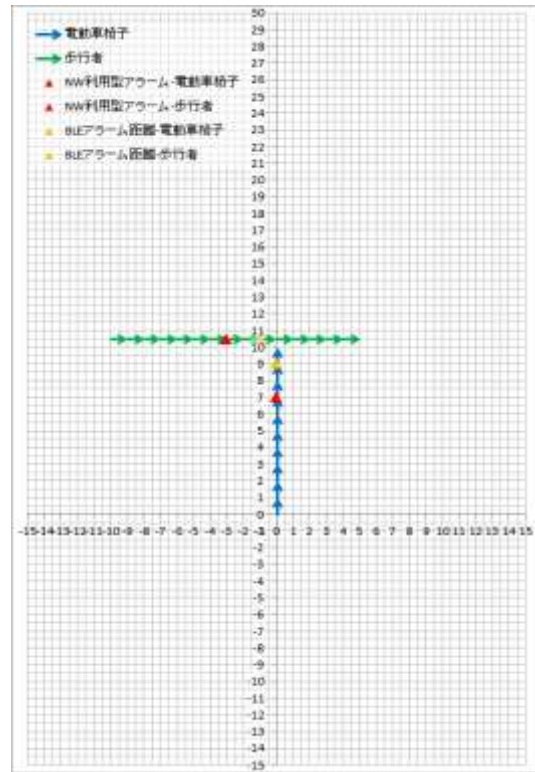


項番 4

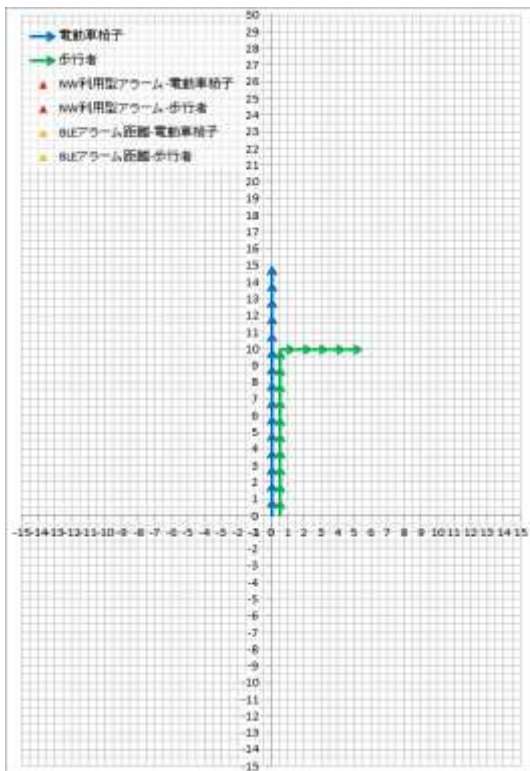
図 27 実験項目図(項番 1~4)



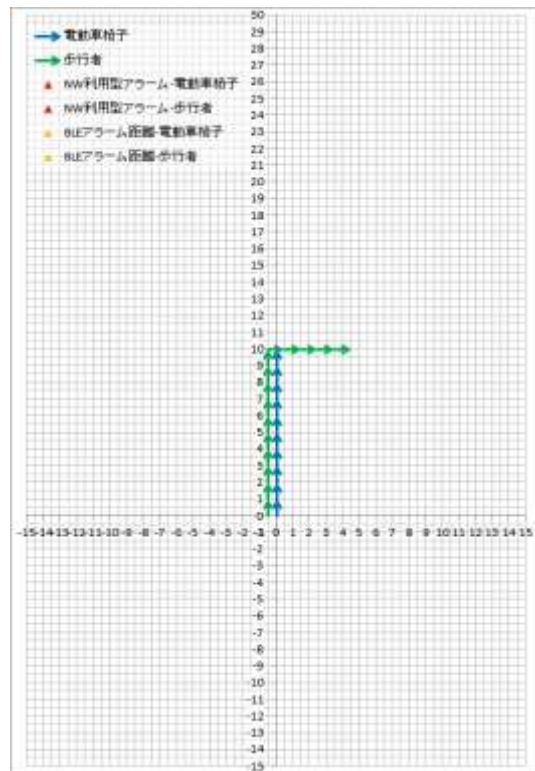
項番 5



項番 6

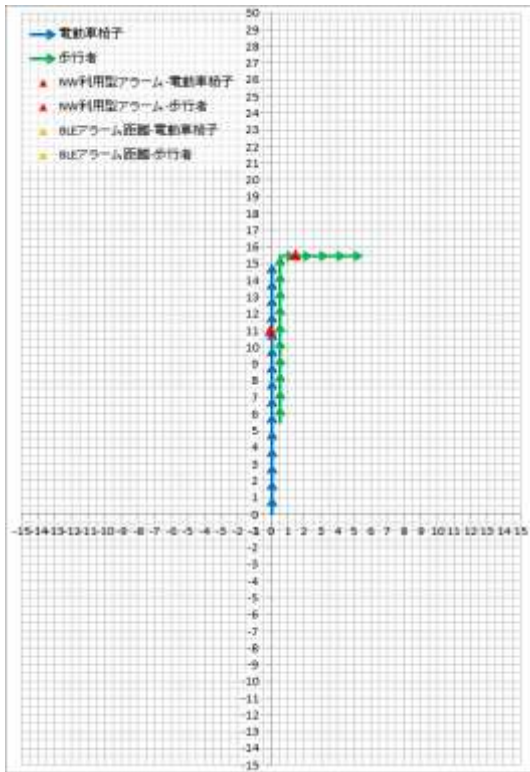


項番 7

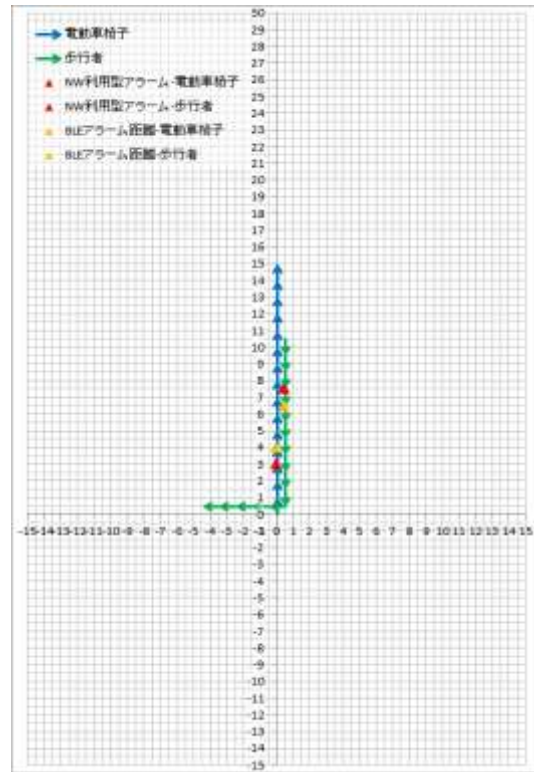


項番 8

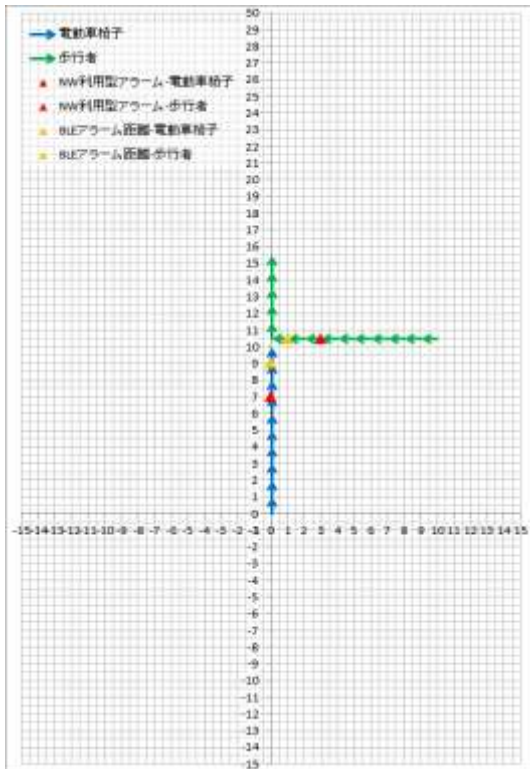
図 28 実験項目図(項番 5~8)



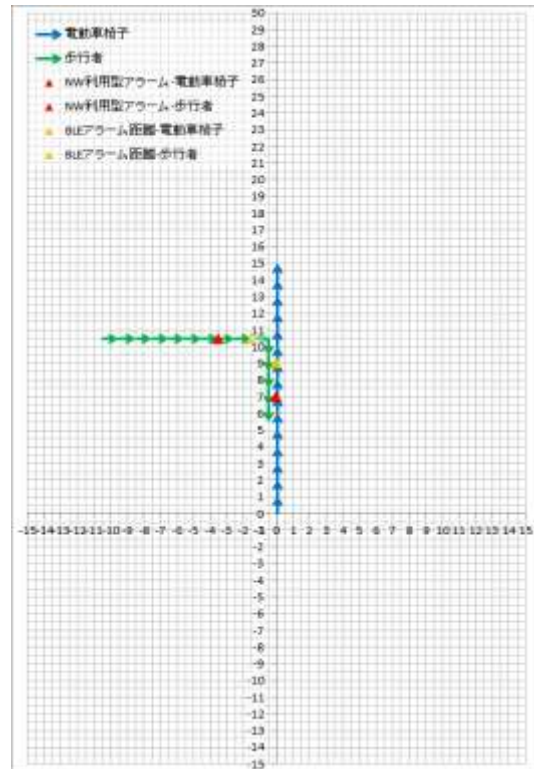
項番 9



項番 10

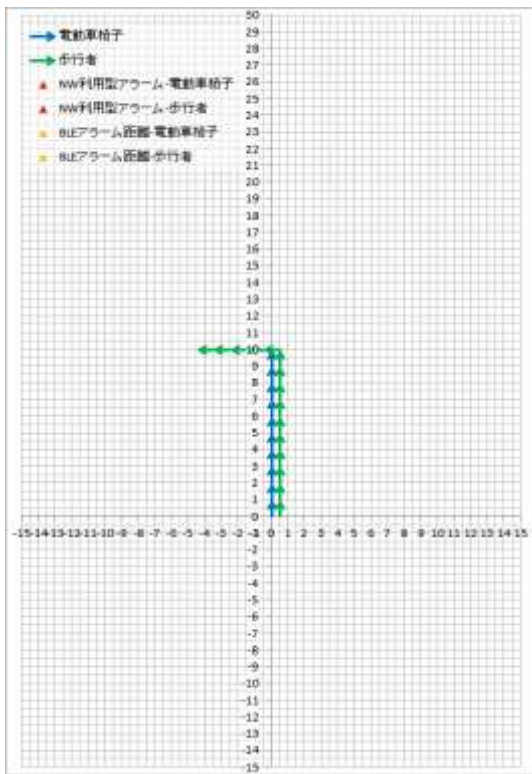


項番 11

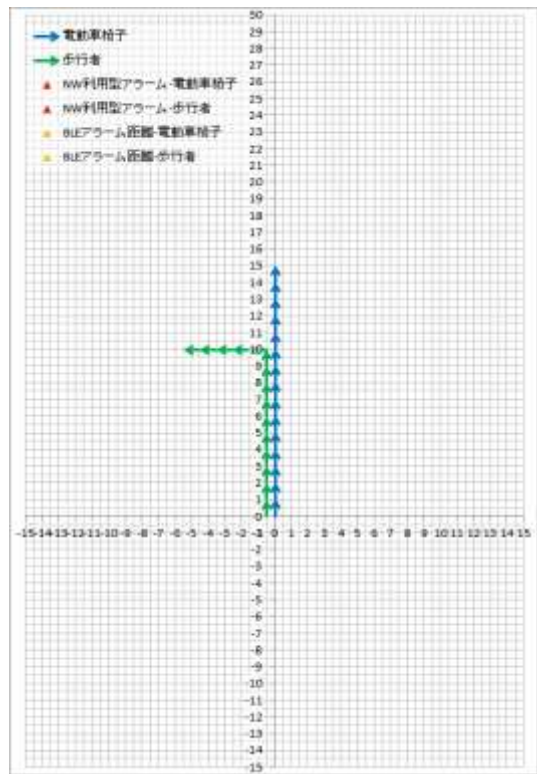


項番 12

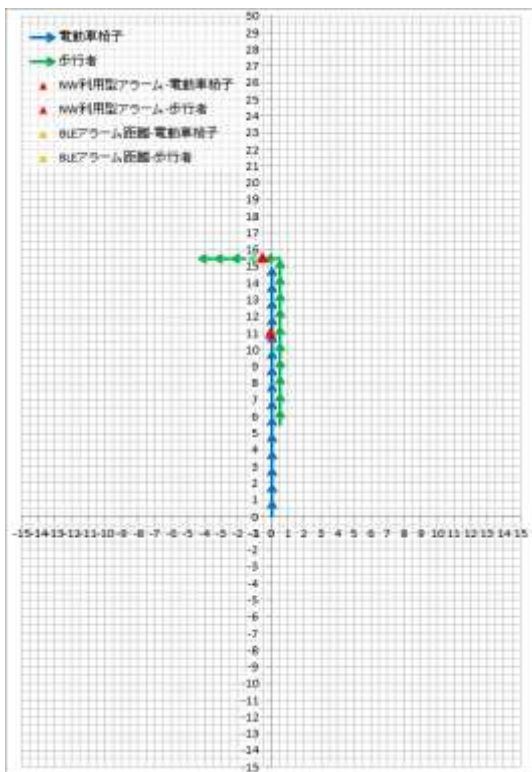
図 29 実験項目図(項番 9~12)



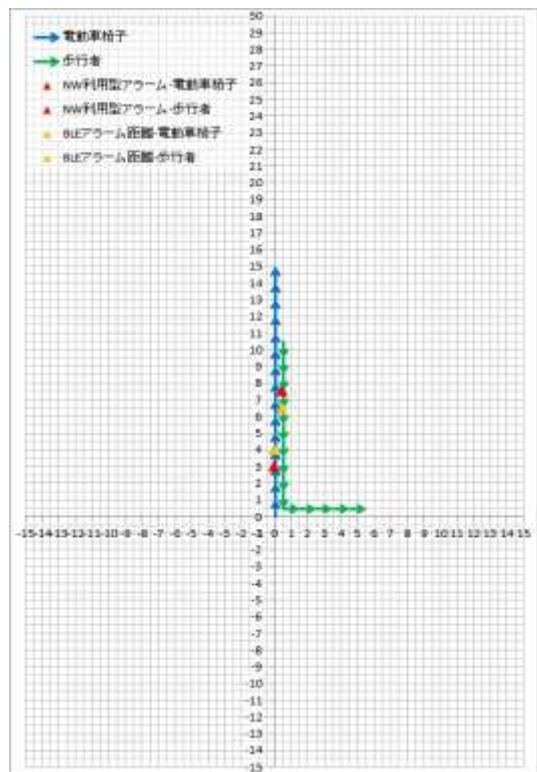
項番 13



項番 14

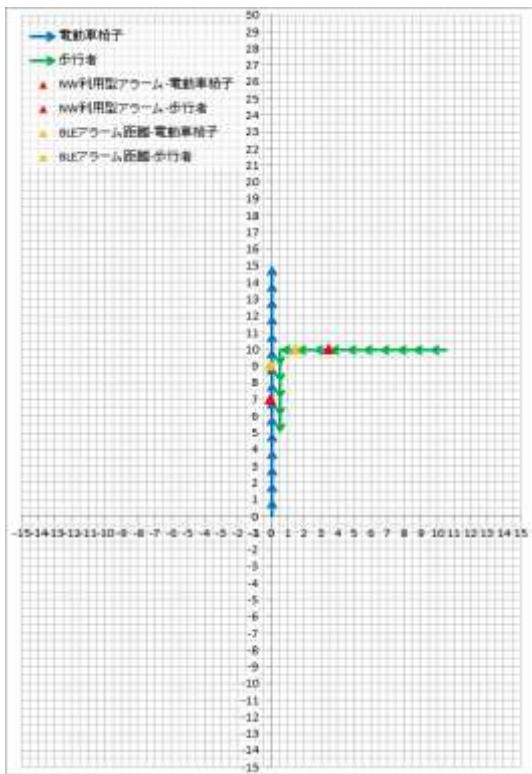


項番 15

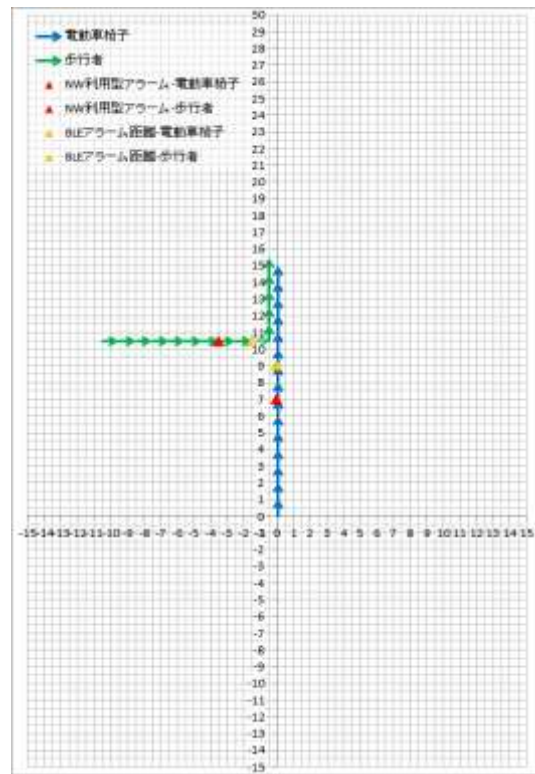


項番 16

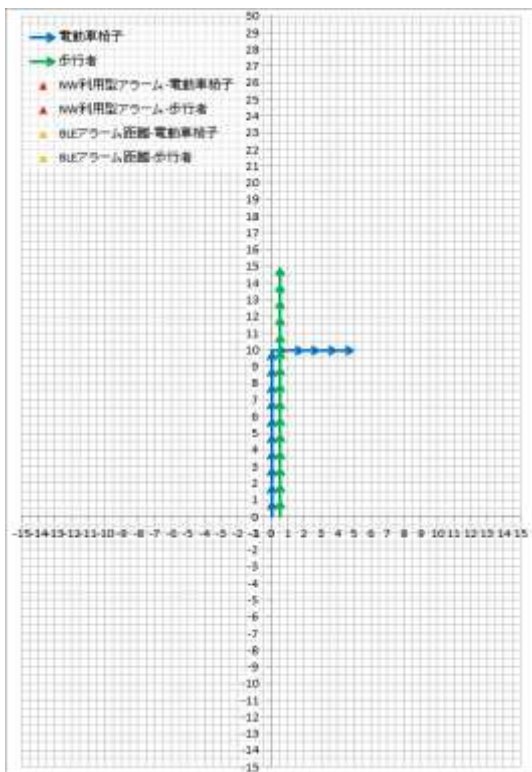
図 30 実験項目図(項番 13~16)



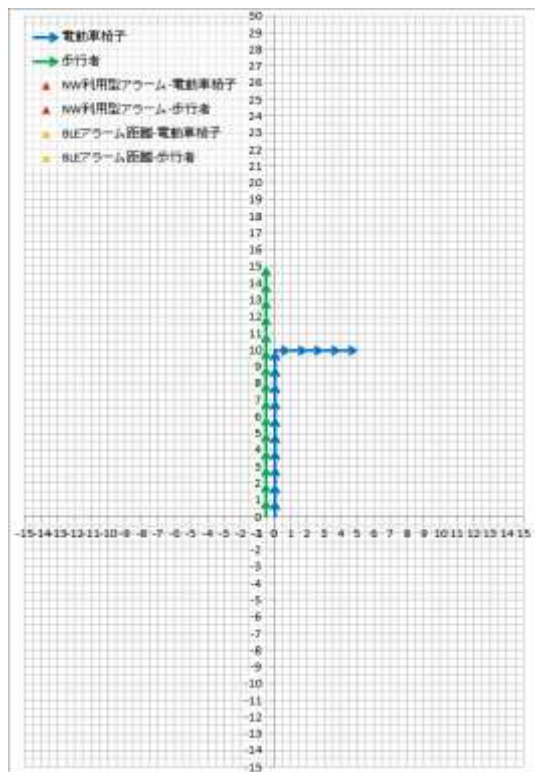
項番 17



項番 18

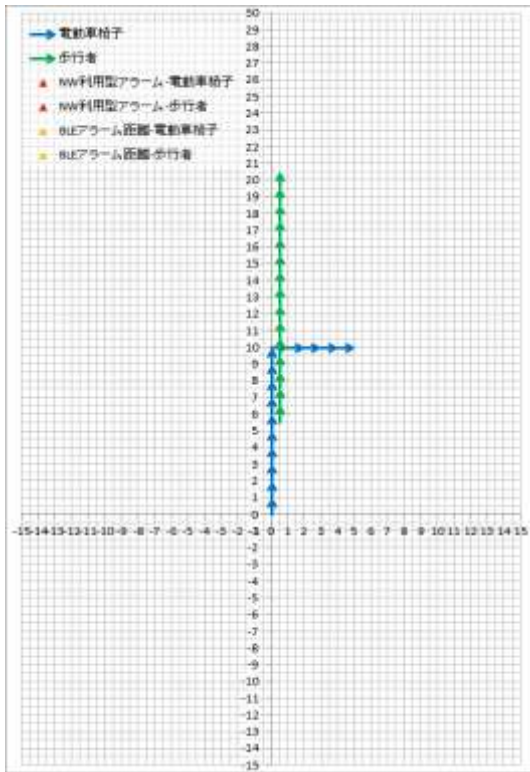


項番 19

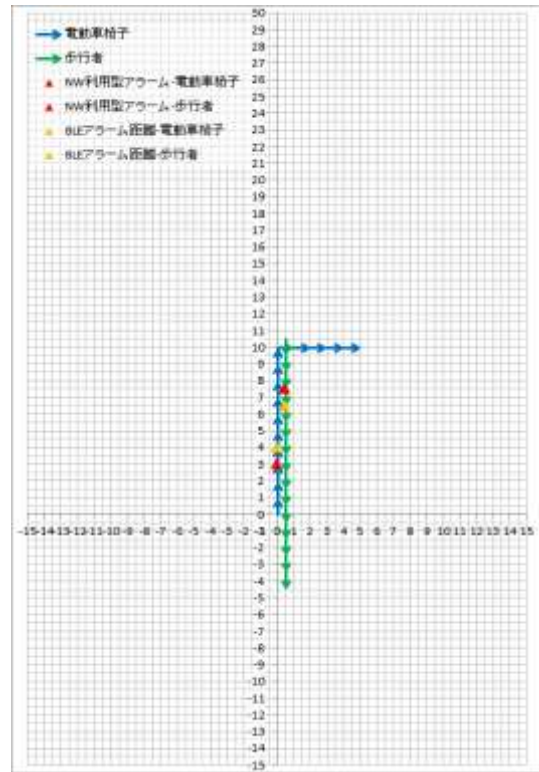


項番 20

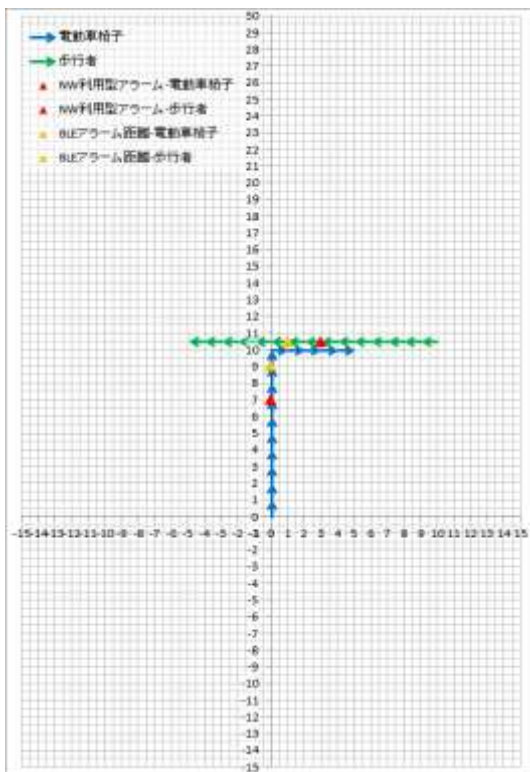
図 31 実験項目図(項番 17~20)



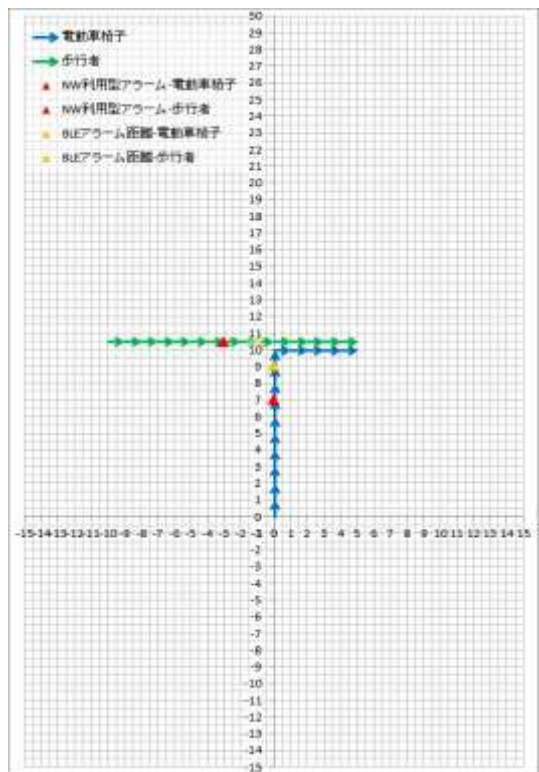
項番 21



項番 22

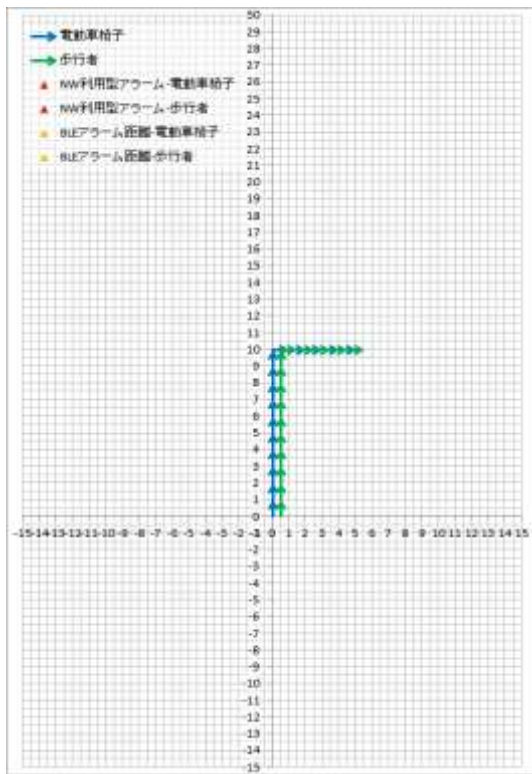


項番 23

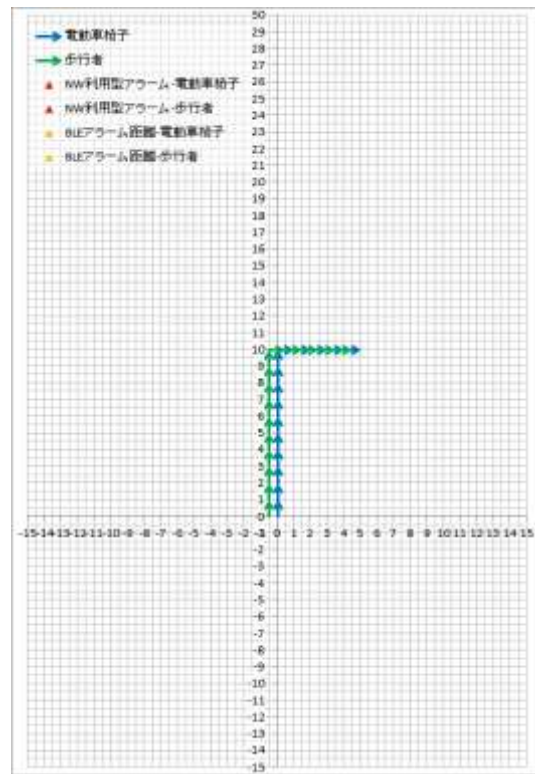


項番 24

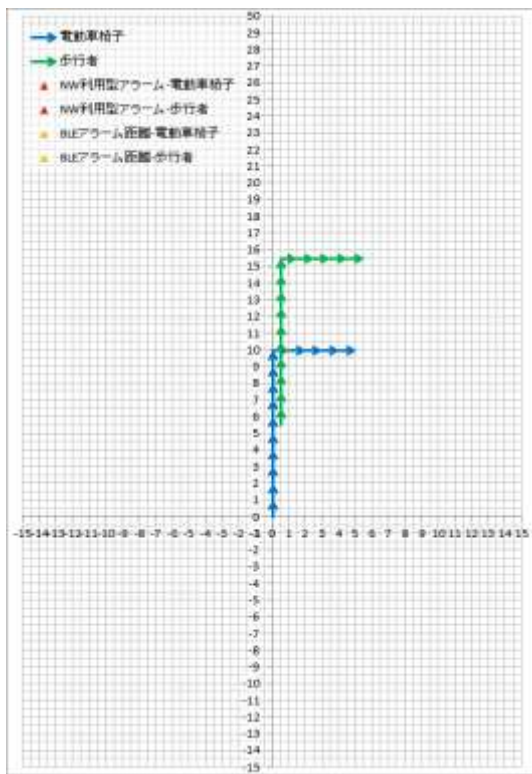
図 32 実験項目図(項番 21~24)



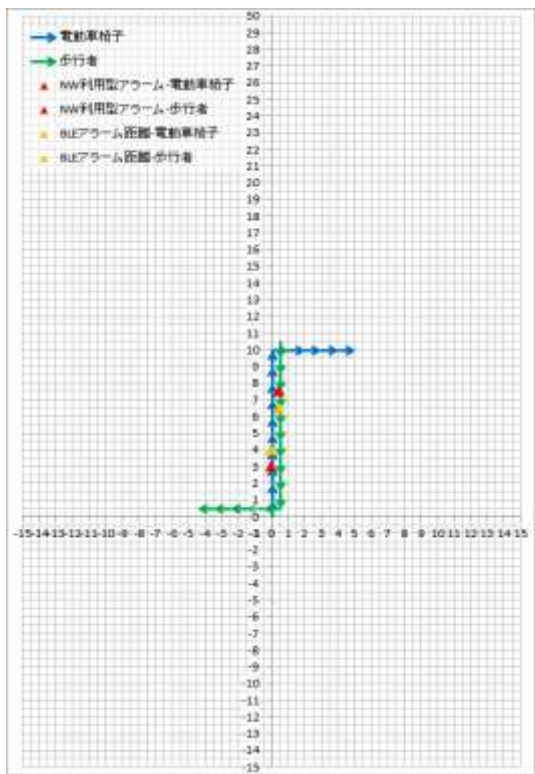
項番 25



項番 26

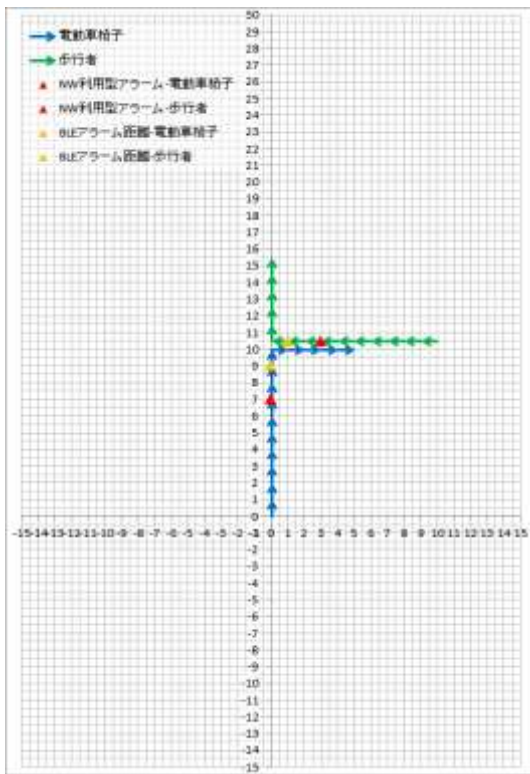


項番 27

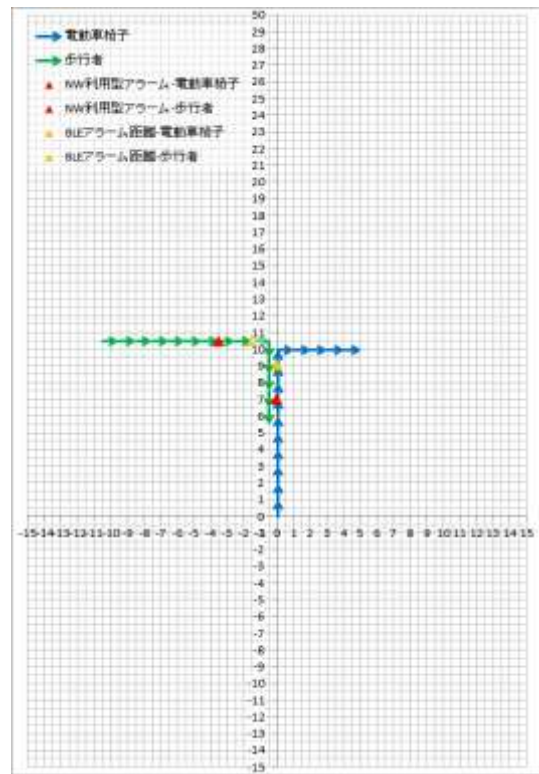


項番 28

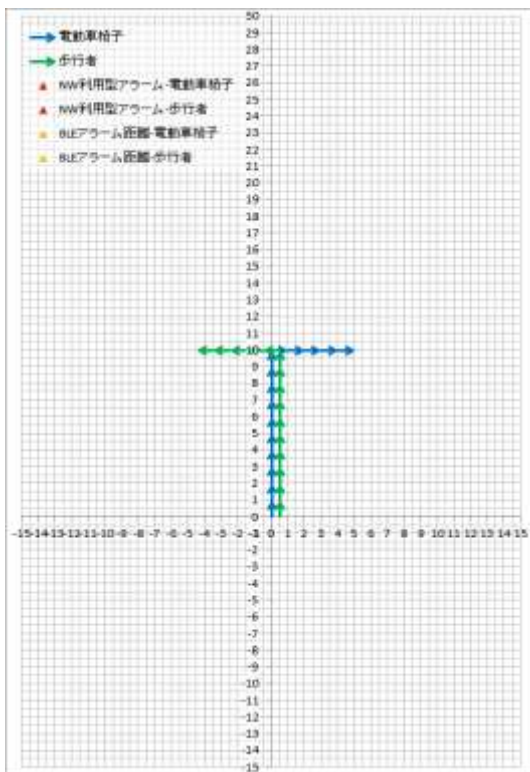
図 33 実験項目図(項番 25~28)



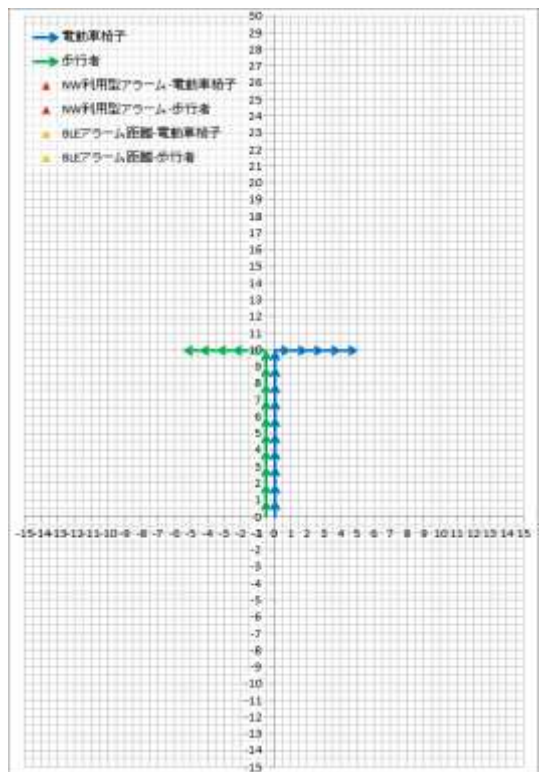
項番 29



項番 30

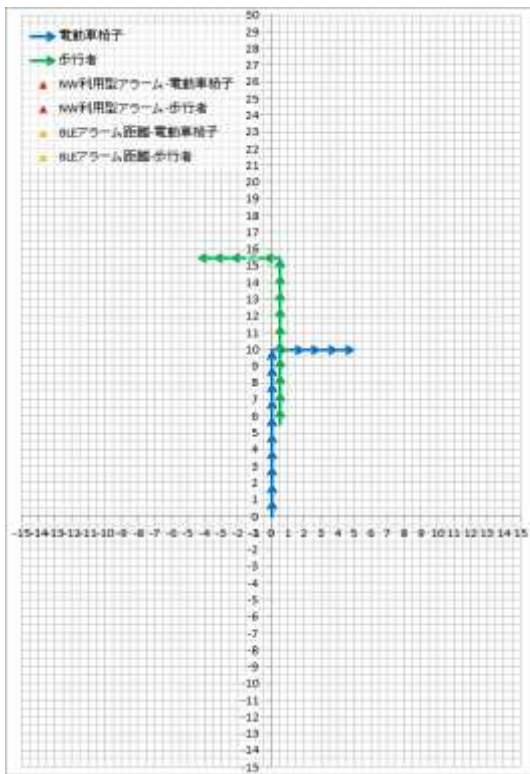


項番 31

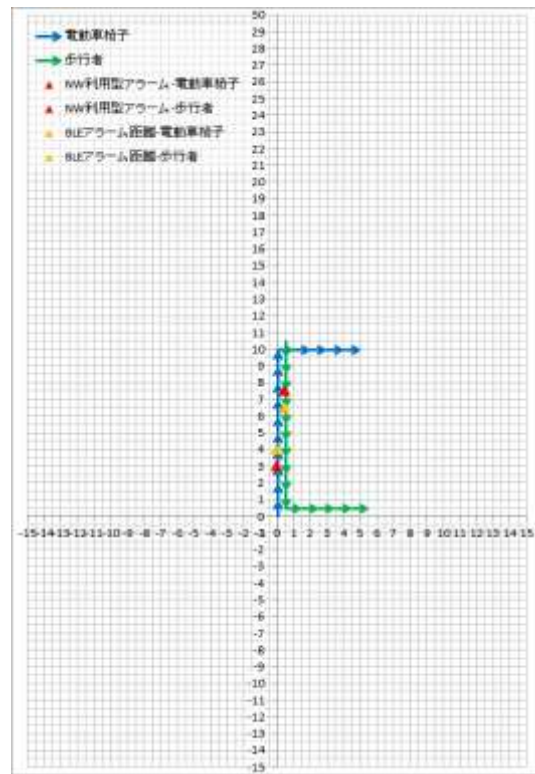


項番 32

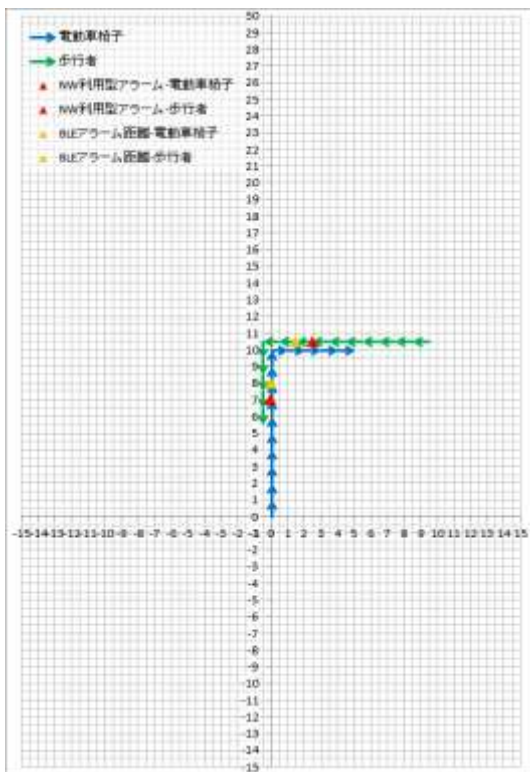
図 34 実験項目図(項番 29~32)



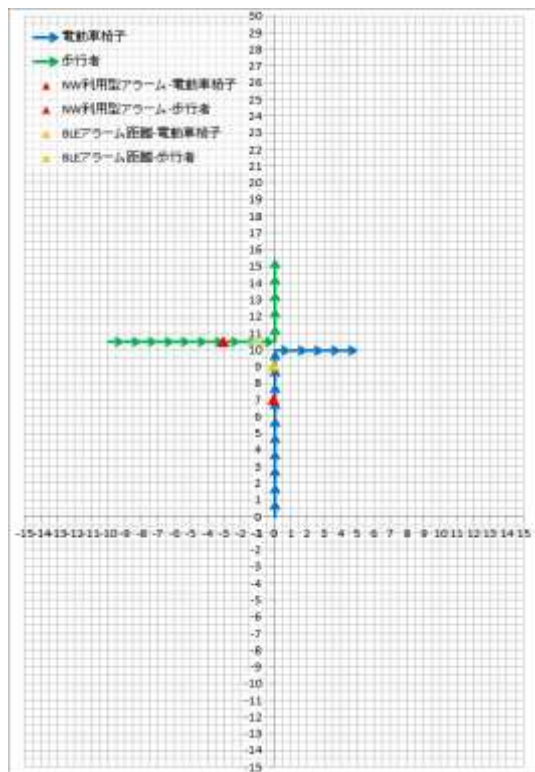
項番 33



項番 34

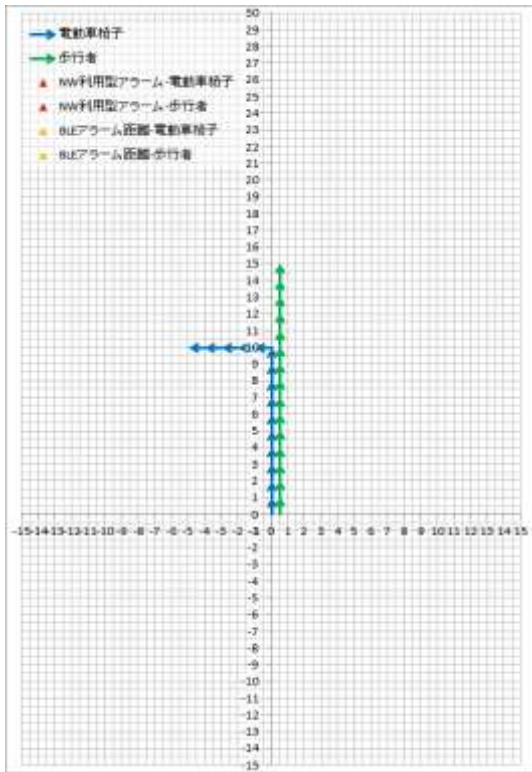


項番 35

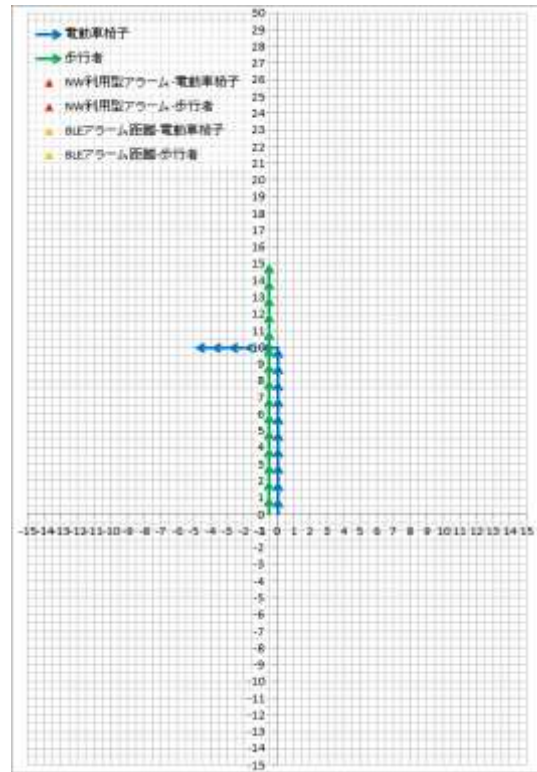


項番 36

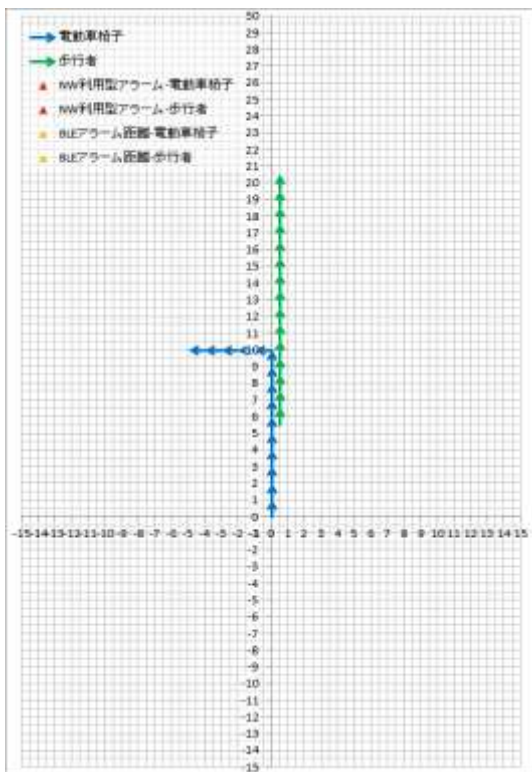
図 35 実験項目図(項番 33~36)



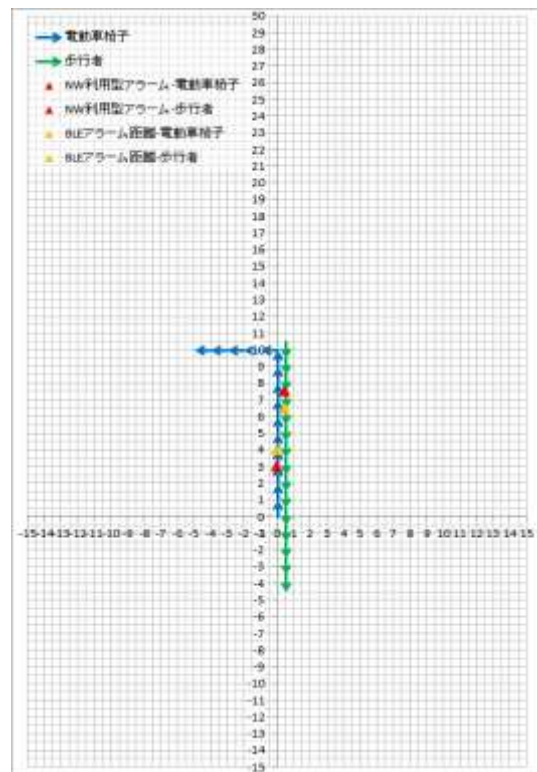
項番 37



項番 38

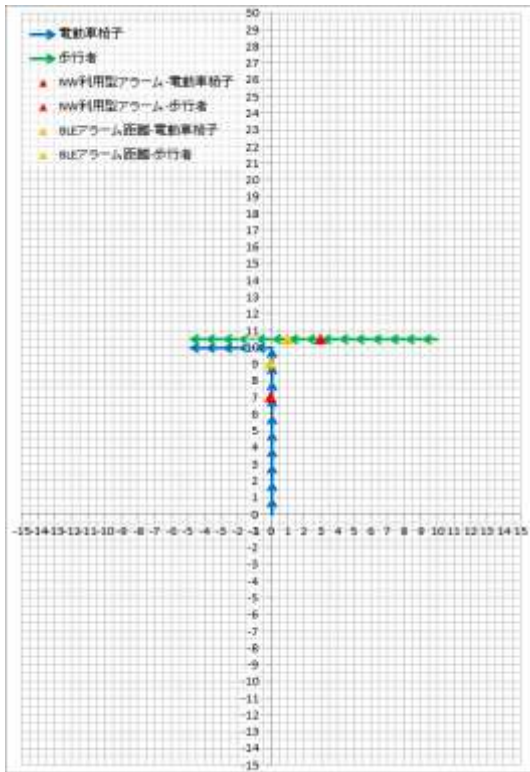


項番 39

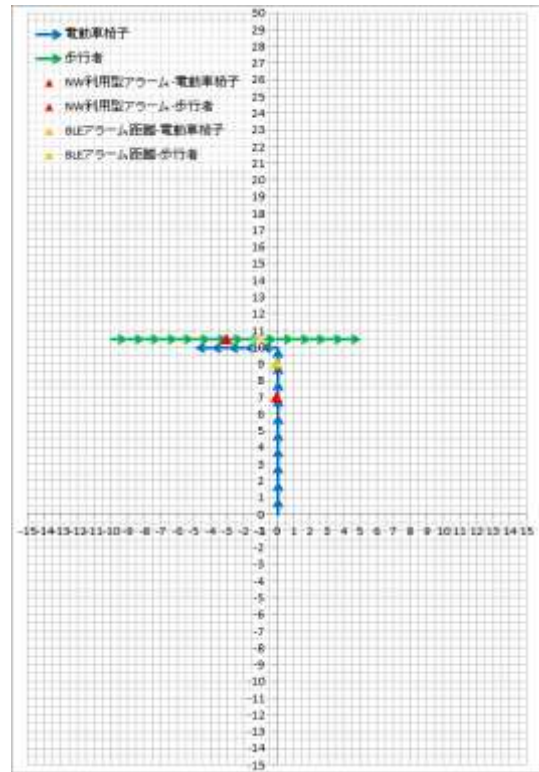


項番 40

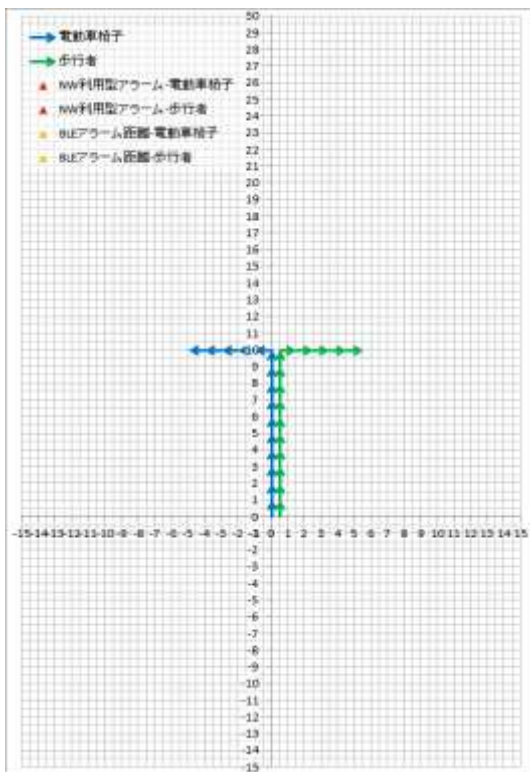
図 36 実験項目図(項番 37~40)



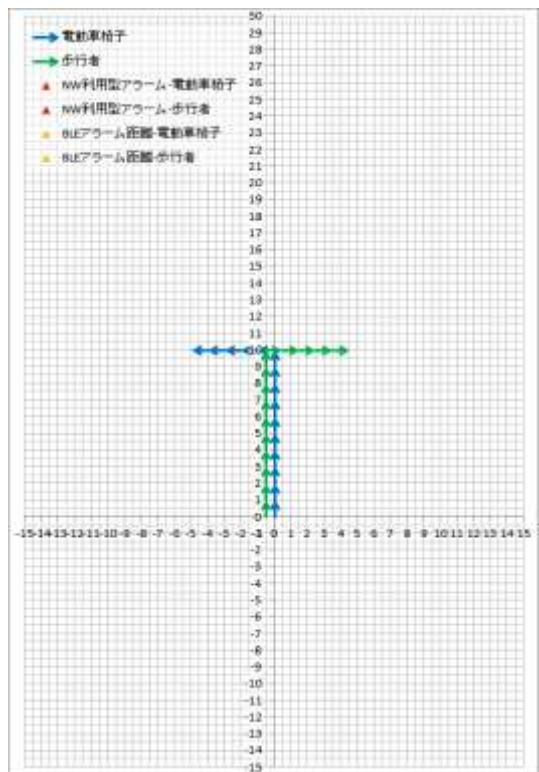
項番 41



項番 42

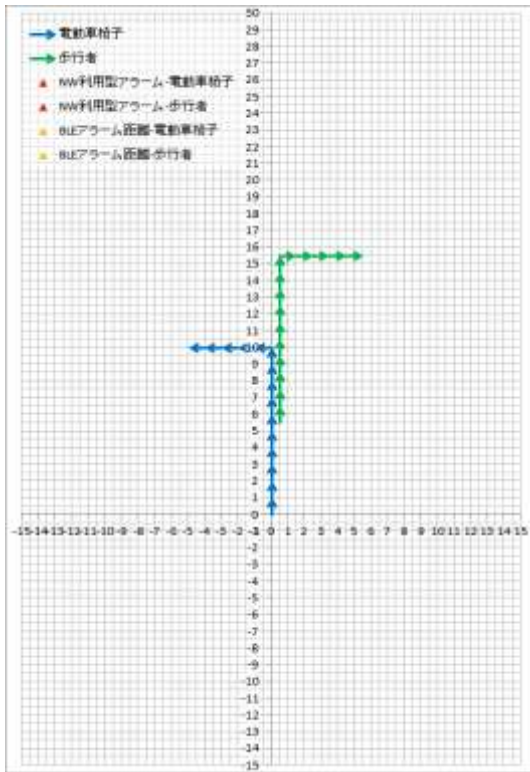


項番 43

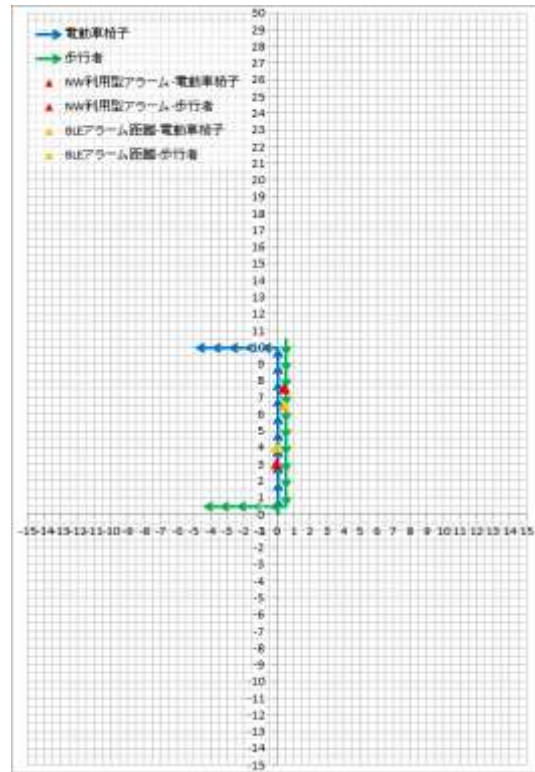


項番 44

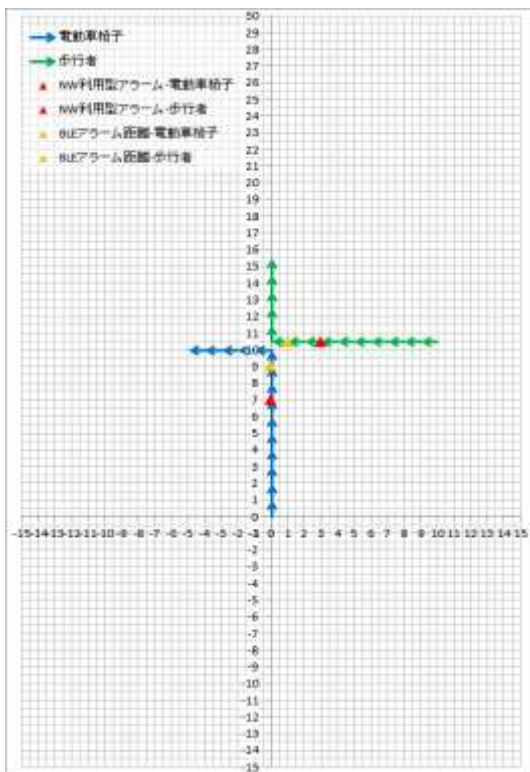
図 37 実験項目図(項番 41~44)



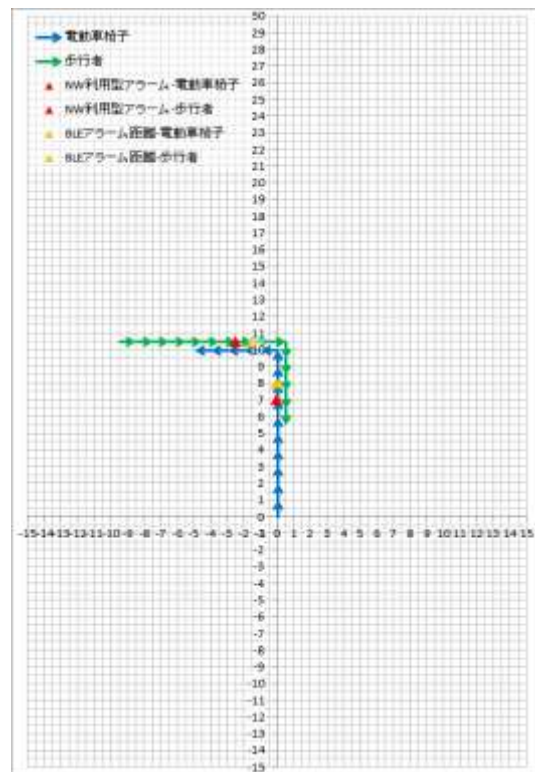
項番 45



項番 46

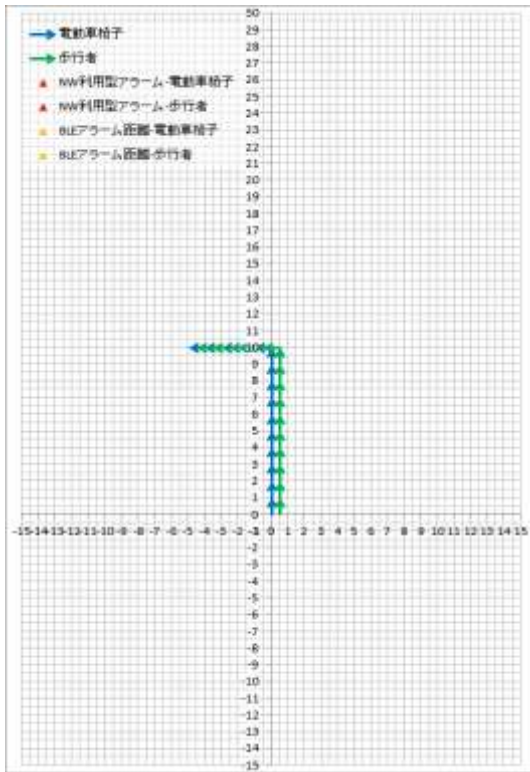


項番 47

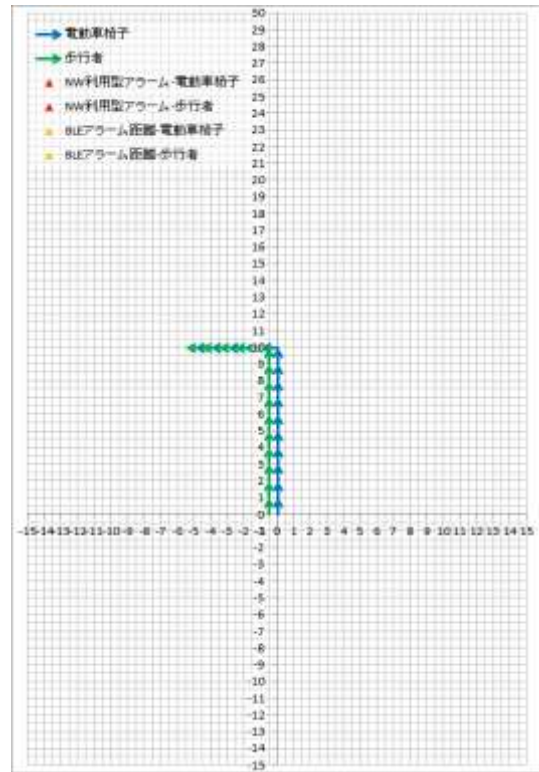


項番 48

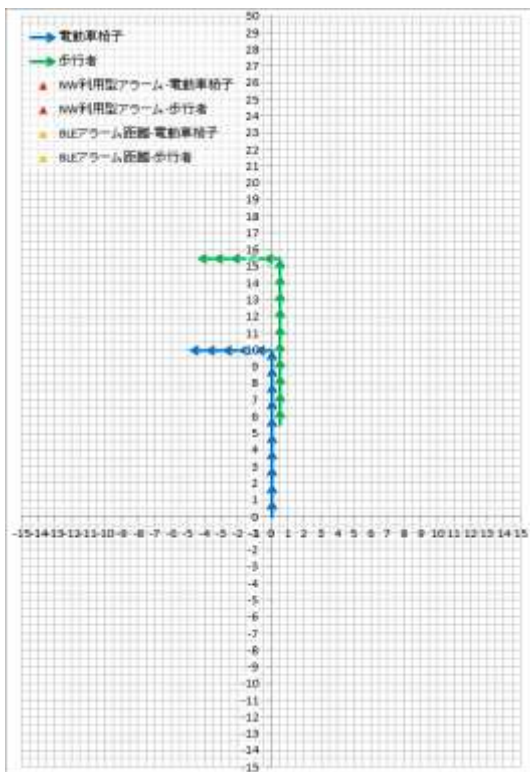
図 38 実験項目図(項番 45~48)



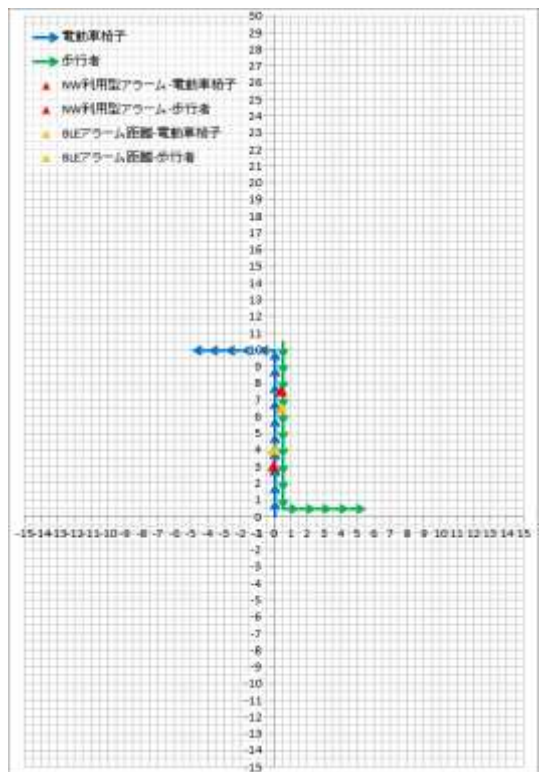
項番 49



項番 50

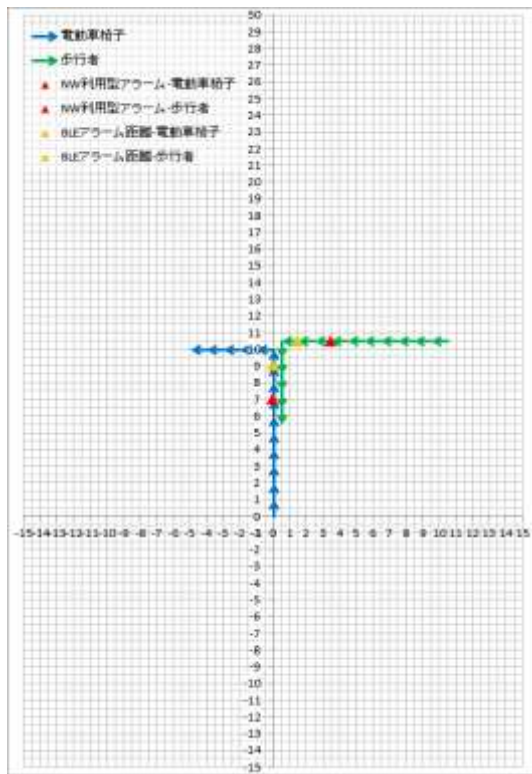


項番 51

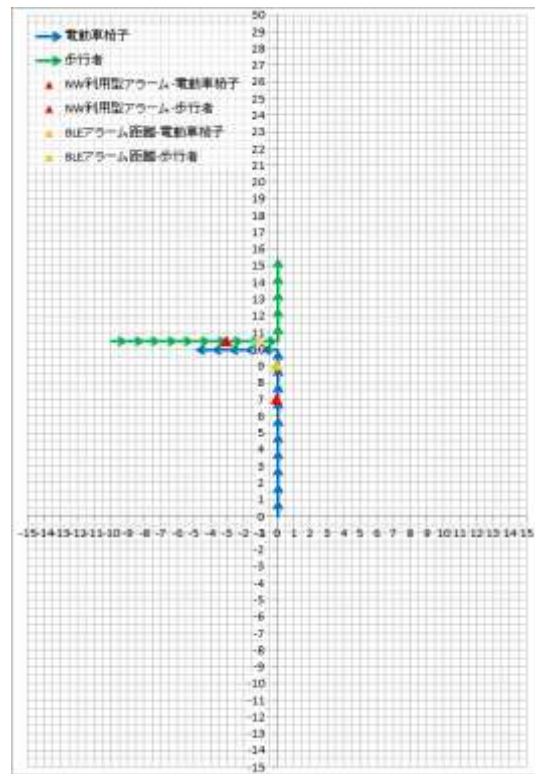


項番 52

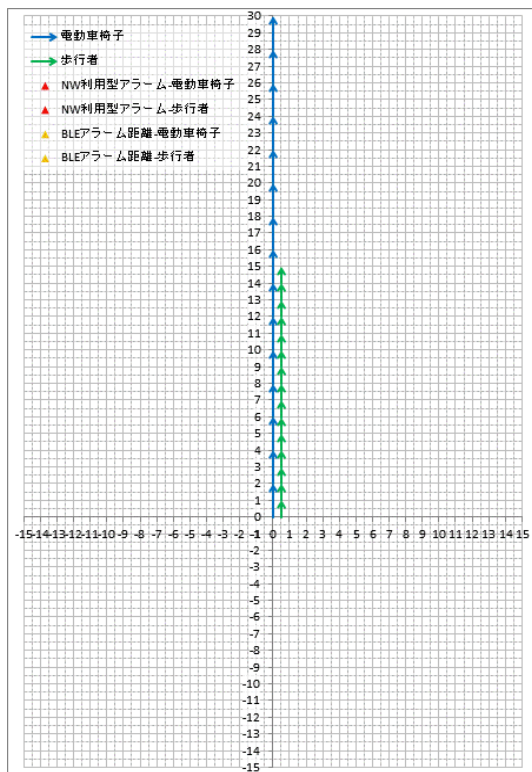
図 39 実験項目図(項番 49~52)



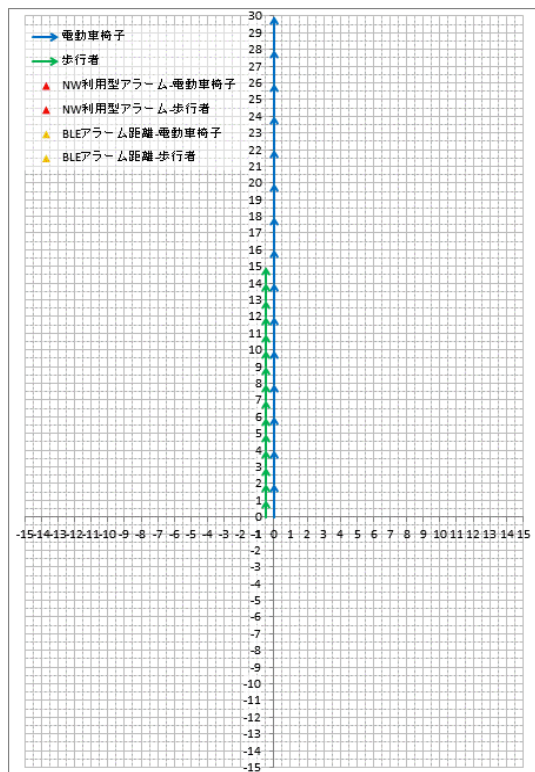
項番 53



項番 54

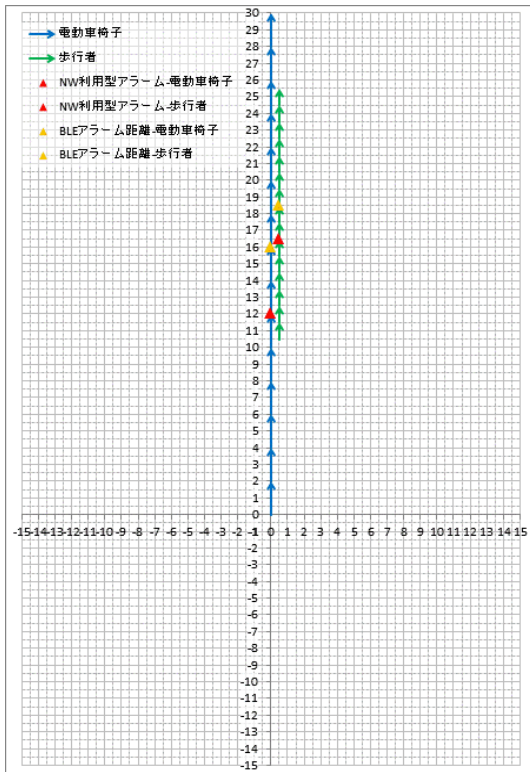


項番 55

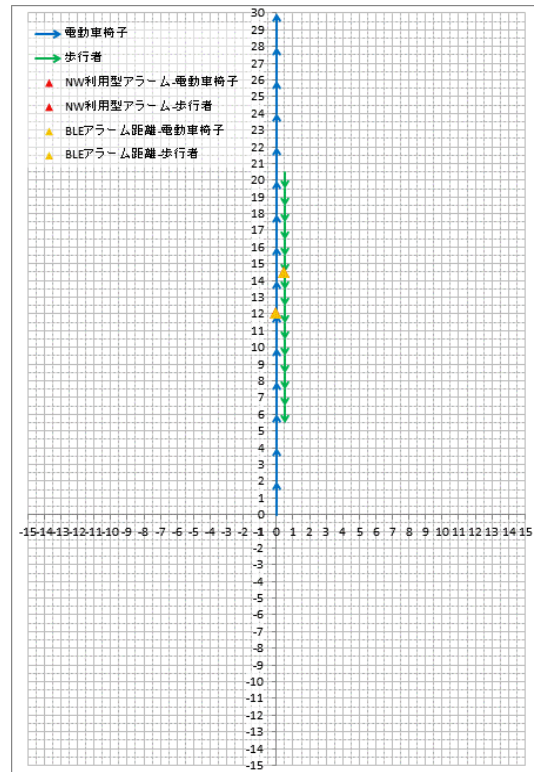


項番 56

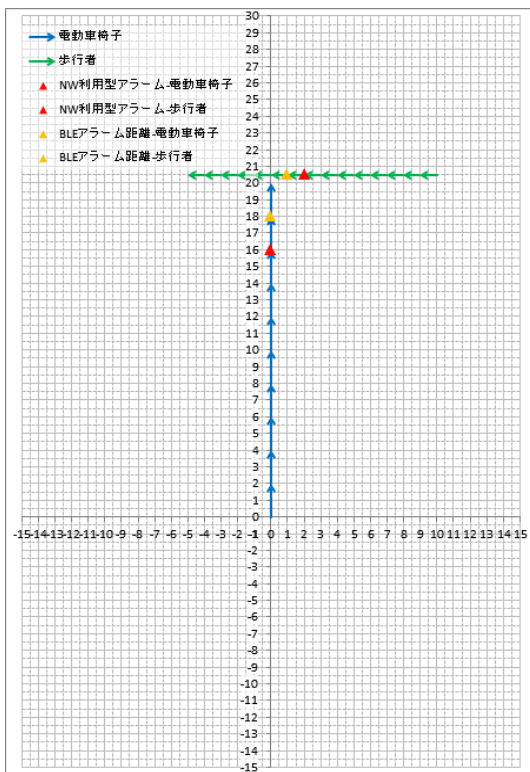
図 40 実験項目図(項番 53~56)



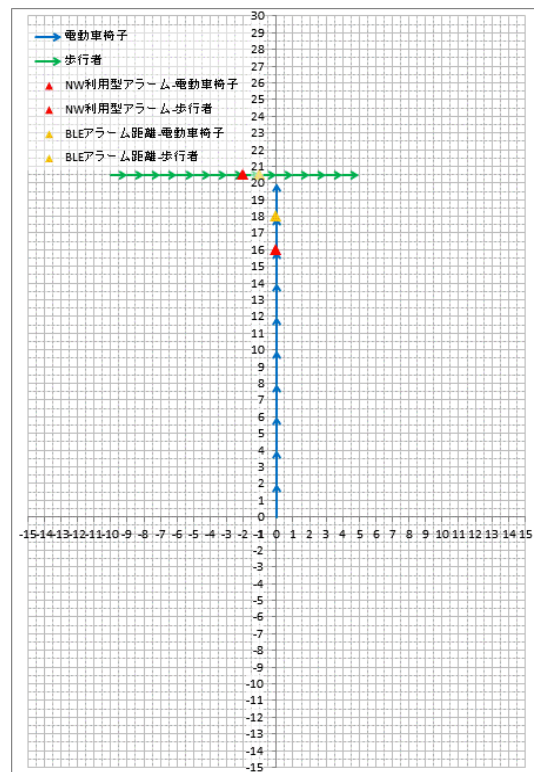
項番 57



項番 58

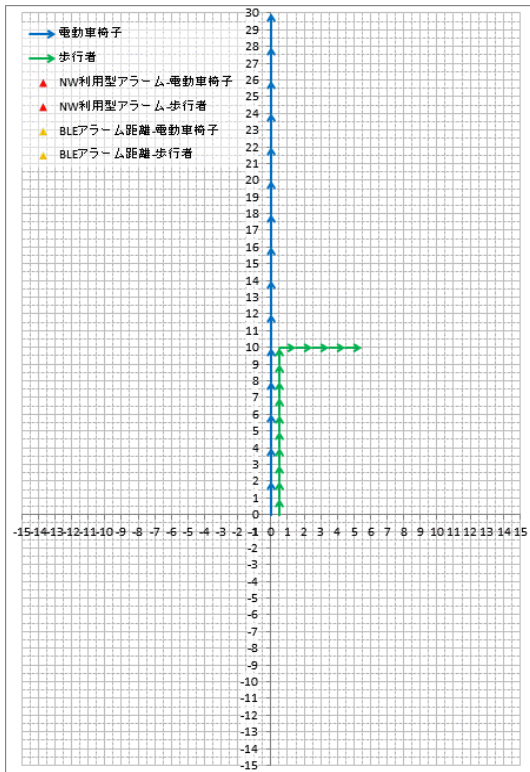


項番 59

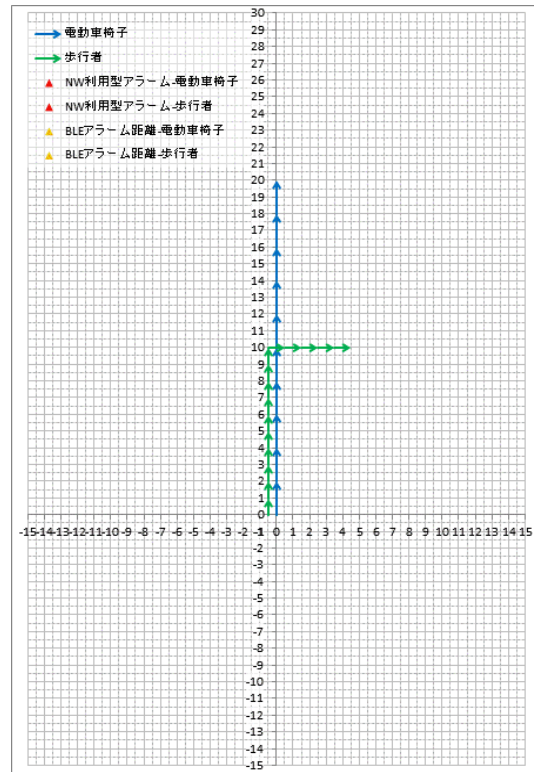


項番 60

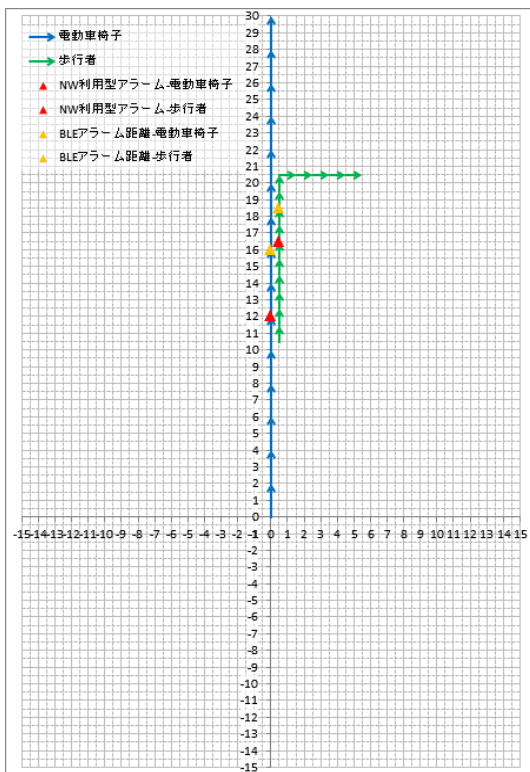
図 41 実験項目図(項番 57~60)



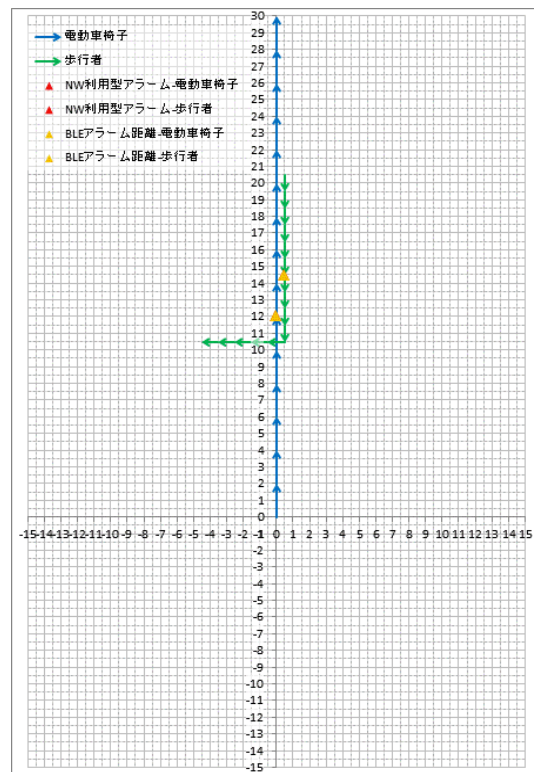
項番 61



項番 62

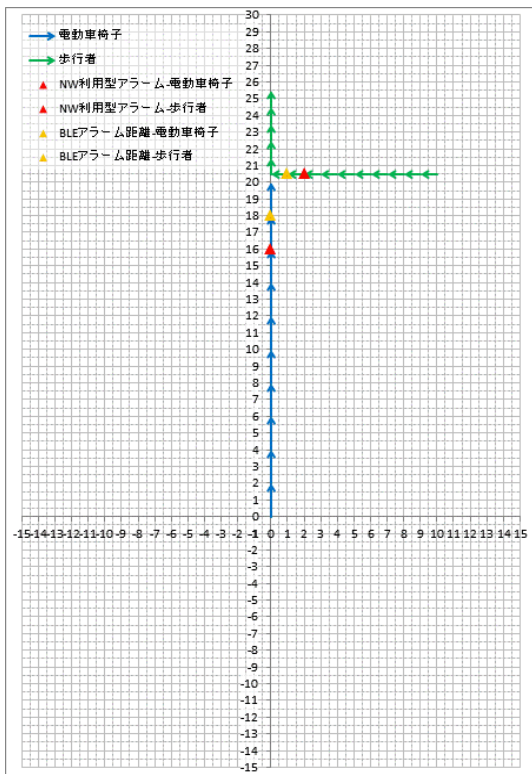


項番 63

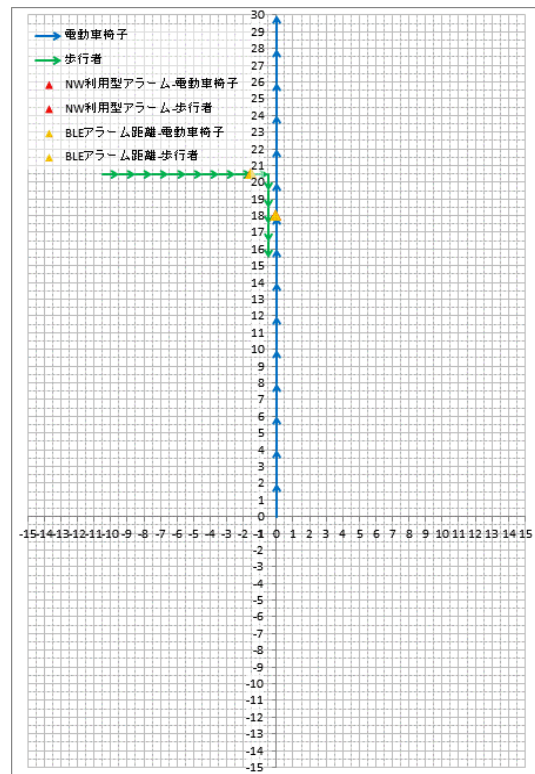


項番 64

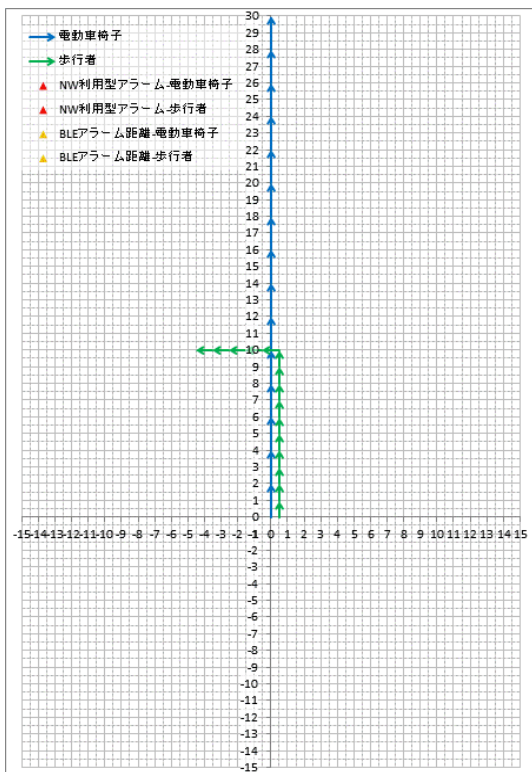
図 42 実験項目図(項番 61~64)



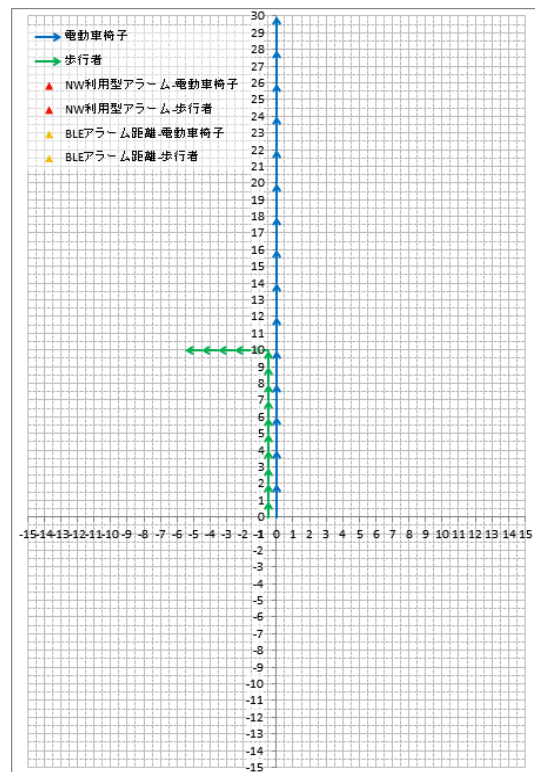
項番 65



項番 66

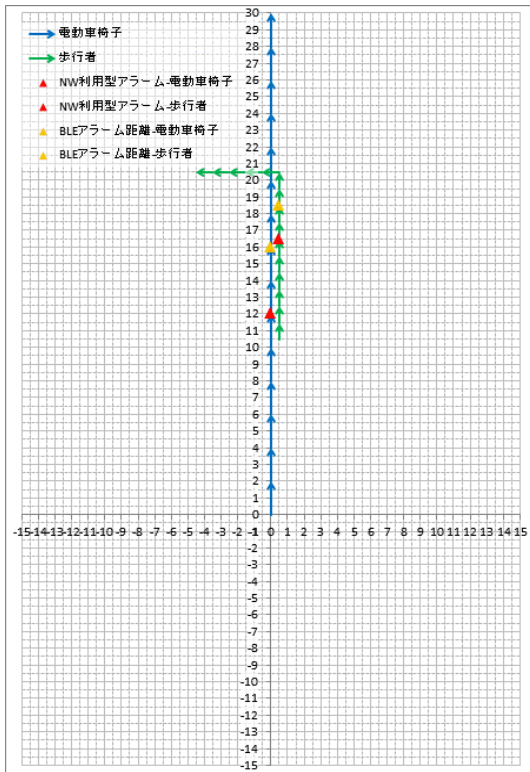


項番 67

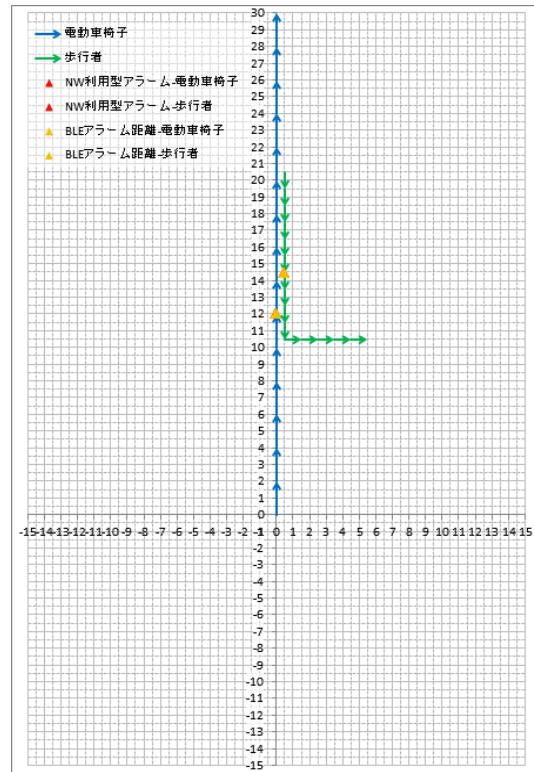


項番 68

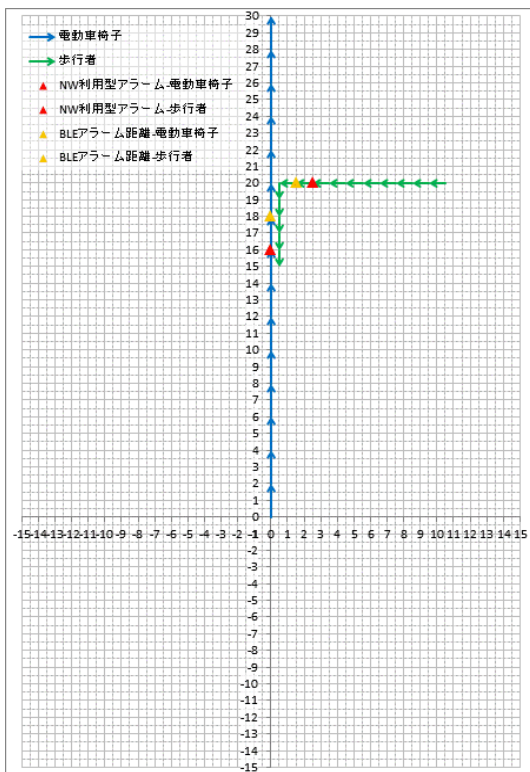
図 43 実験項目図(項番 65~68)



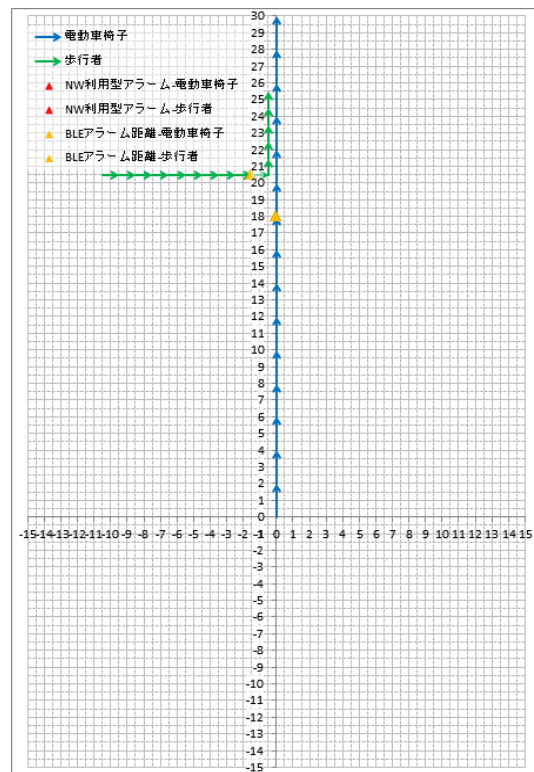
項番 69



項番 70

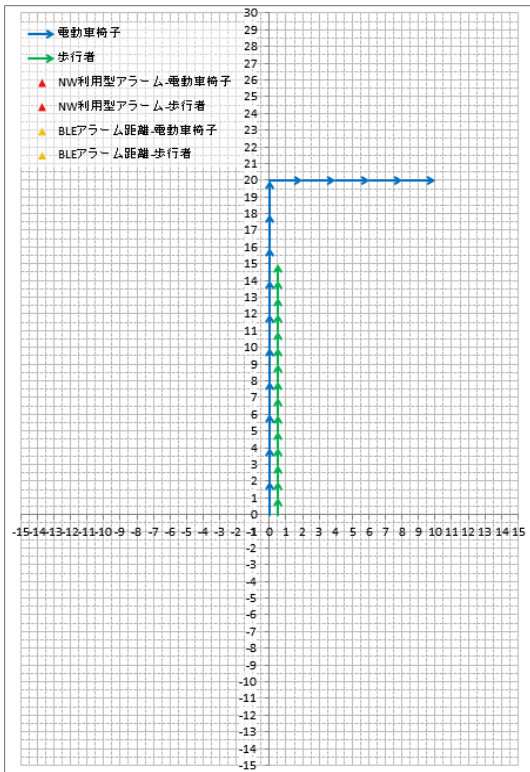


項番 71

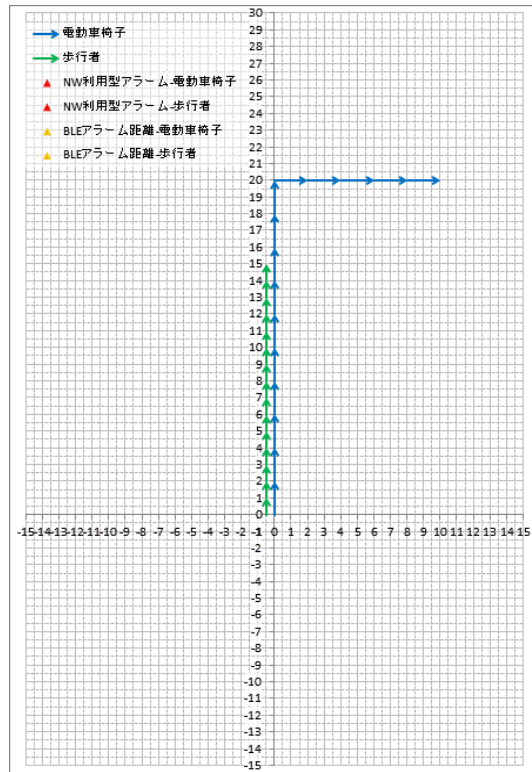


項番 72

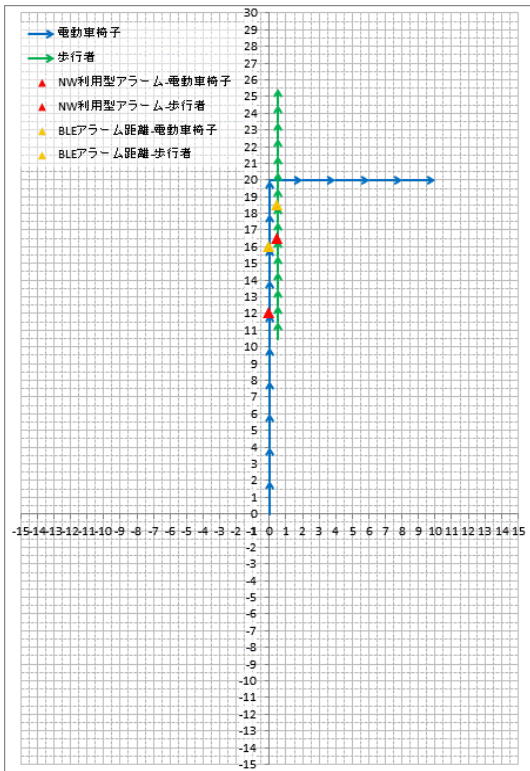
図 44 実験項目図(項番 69~72)



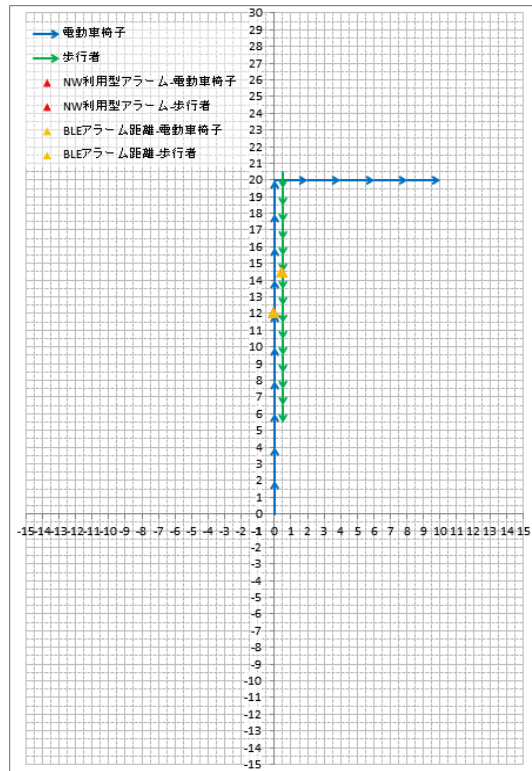
項番 73



項番 74

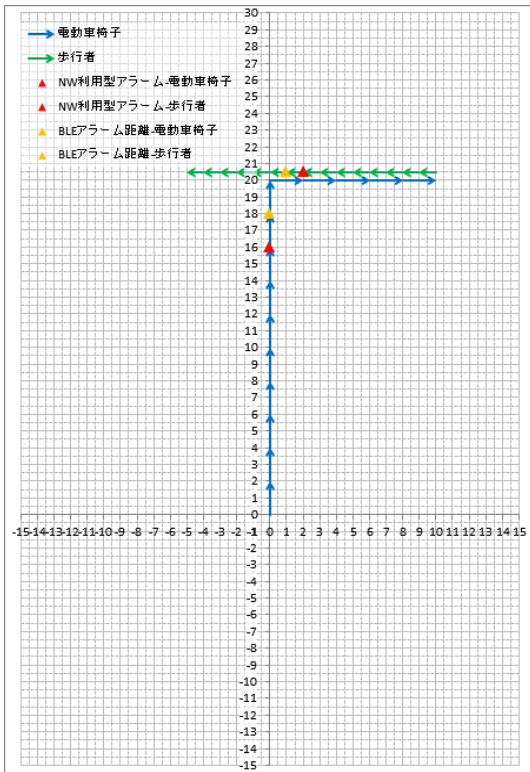


項番 75

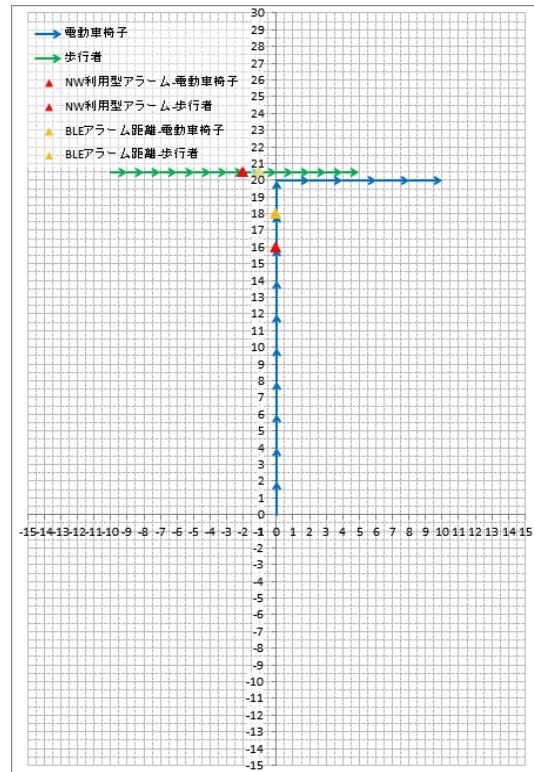


項番 76

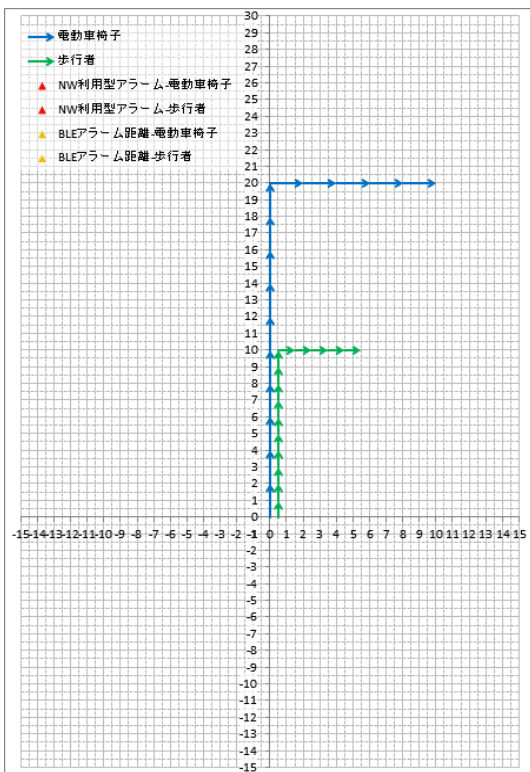
図 45 実験項目図(項番 73~76)



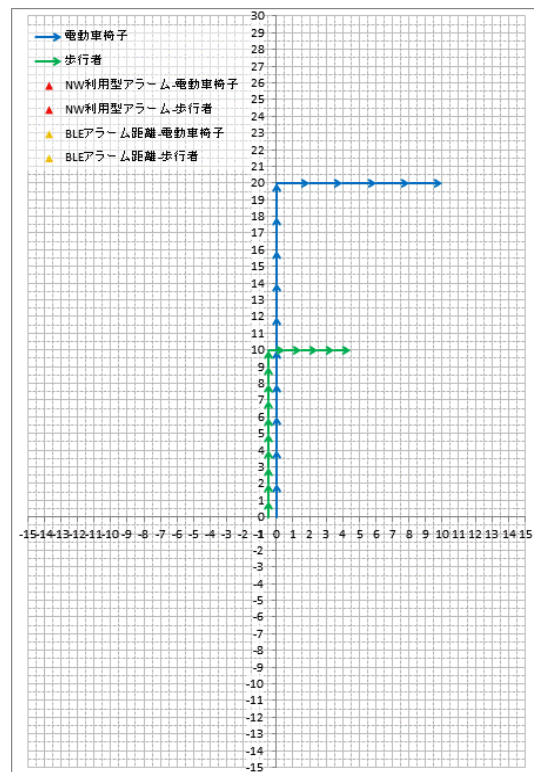
項番 77



項番 78

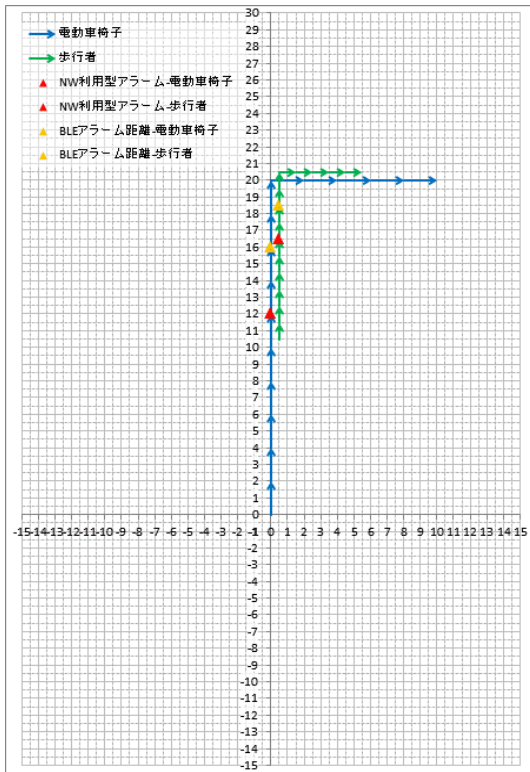


項番 79

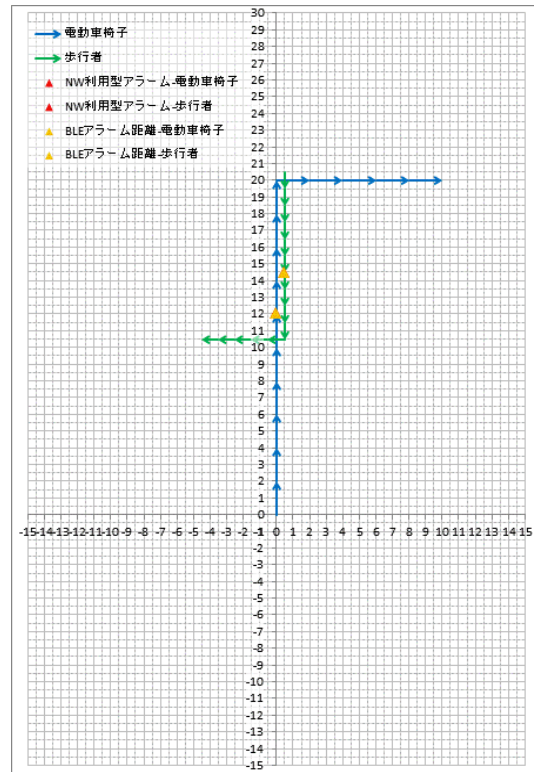


項番 80

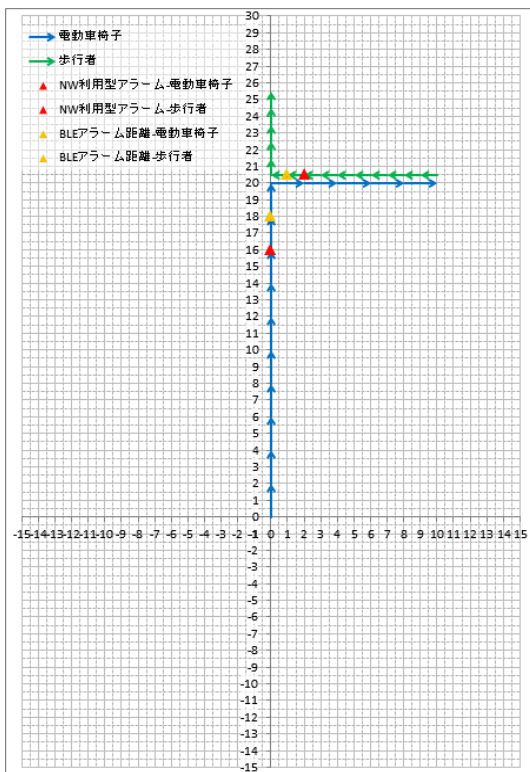
図 46 実験項目図(項番 77~80)



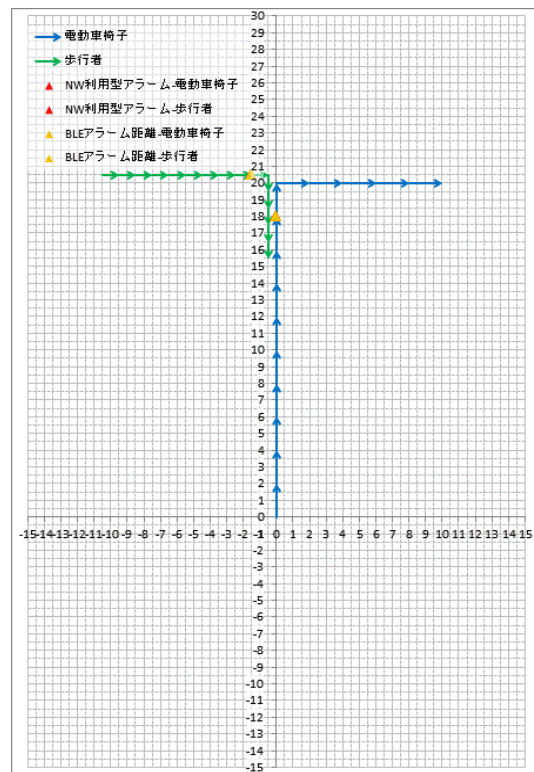
項番 81



項番 82

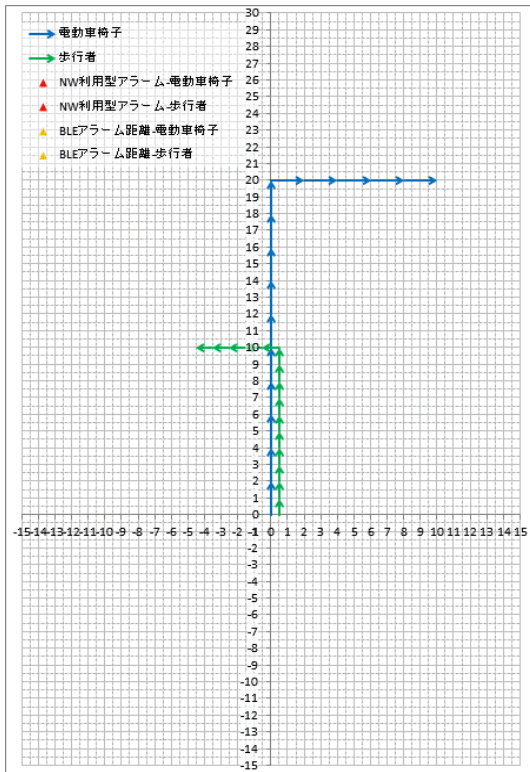


項番 83

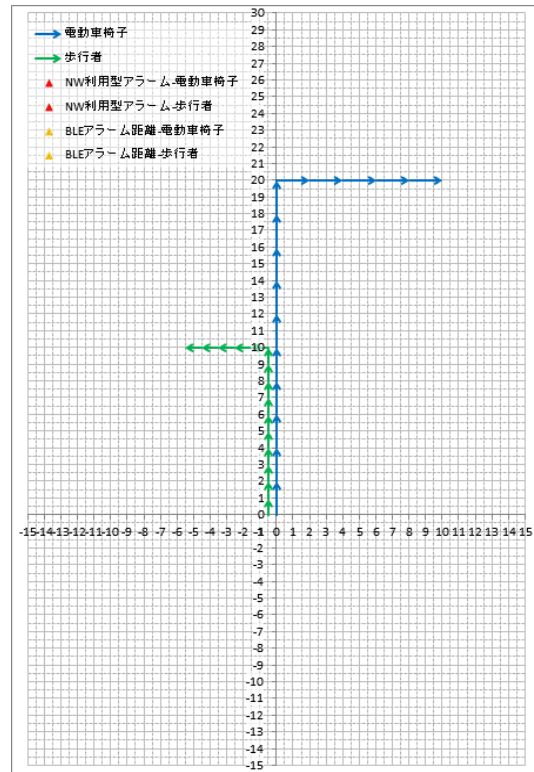


項番 84

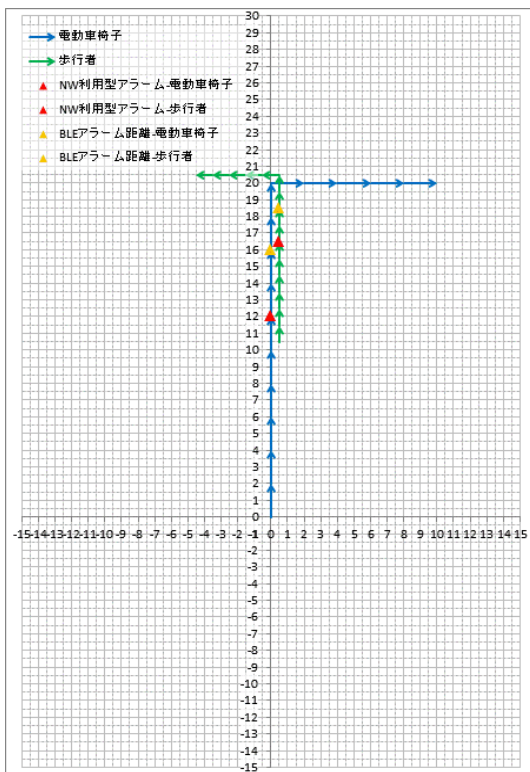
図 47 実験項目図(項番 81~84)



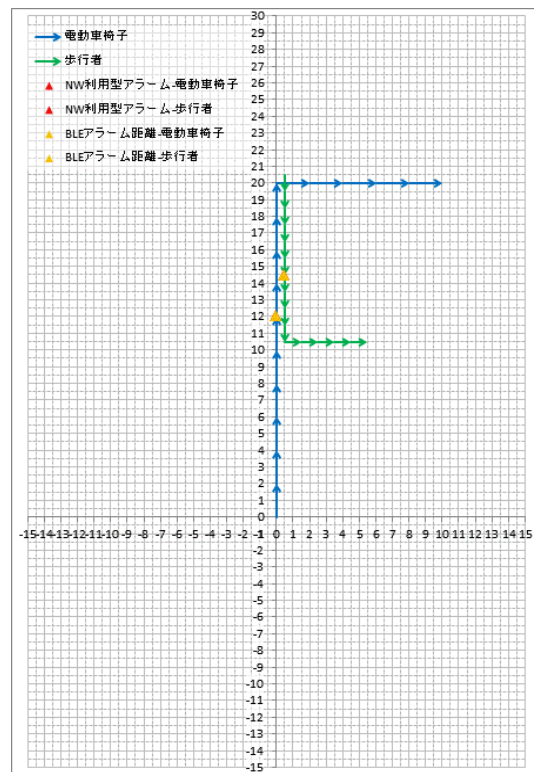
項番 85



項番 86

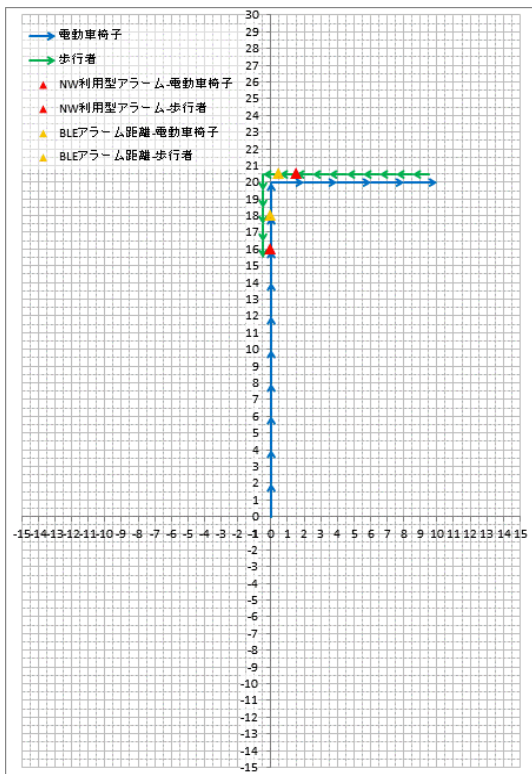


項番 87

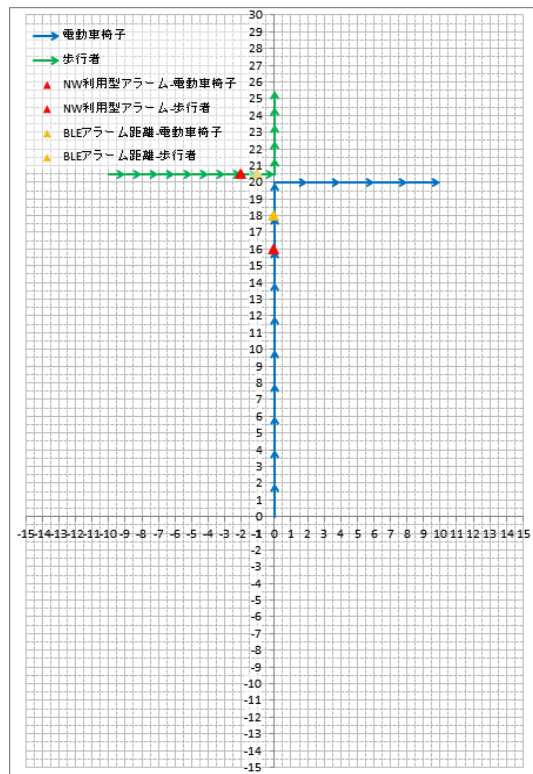


項番 88

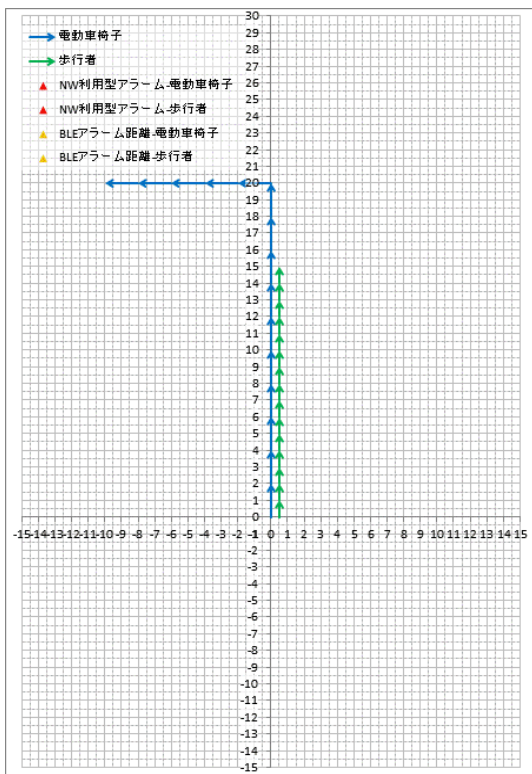
図 48 実験項目図(項番 85~88)



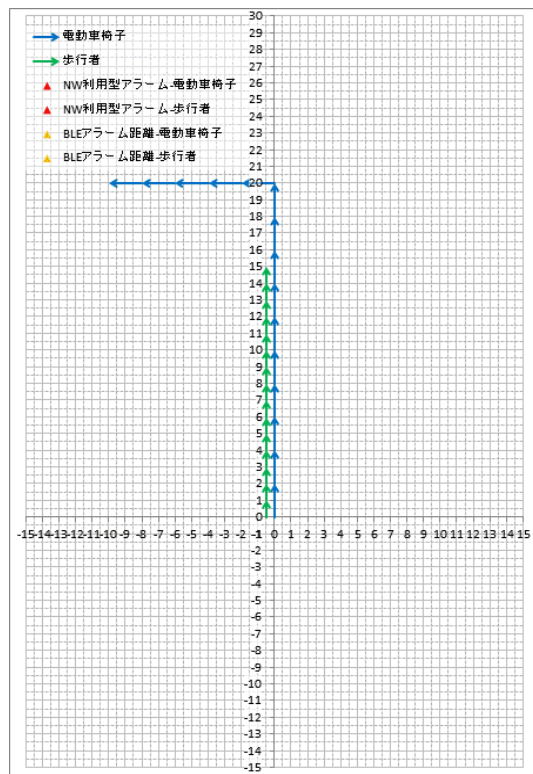
項番 89



項番 90

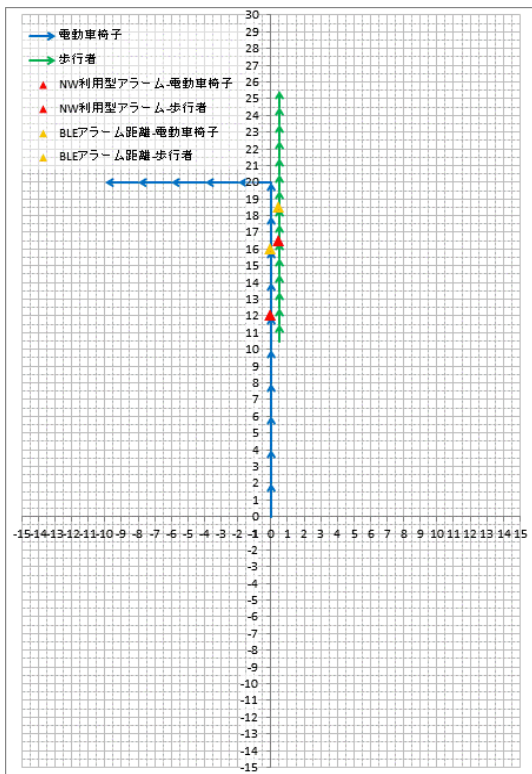


項番 91

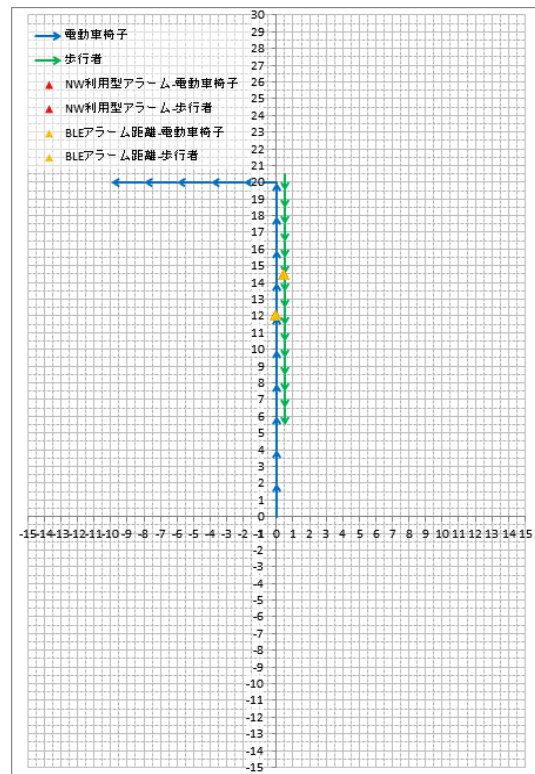


項番 92

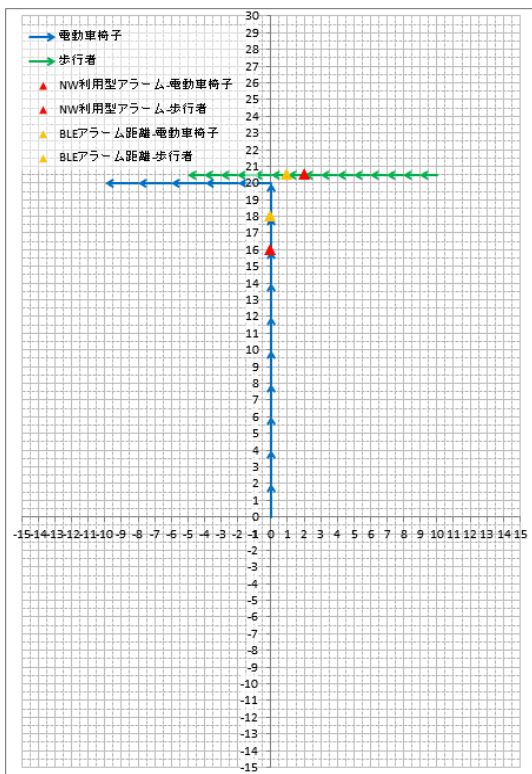
図 49 実験項目図(項番 89~92)



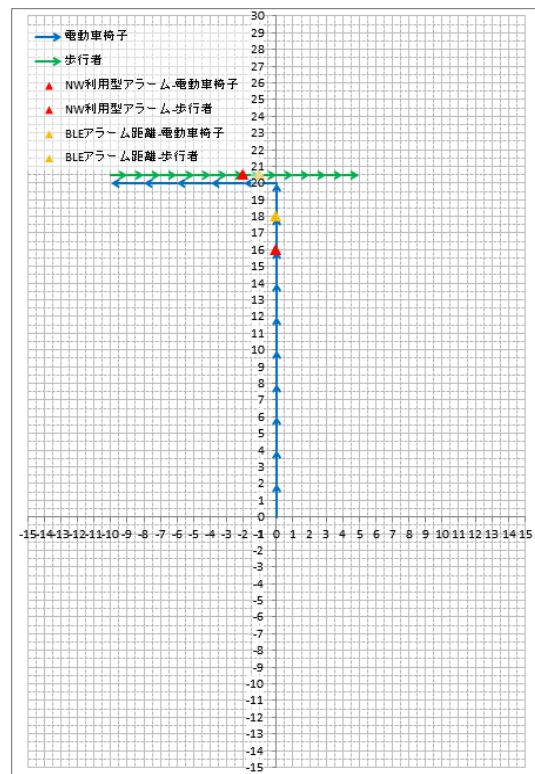
項番 93



項番 94

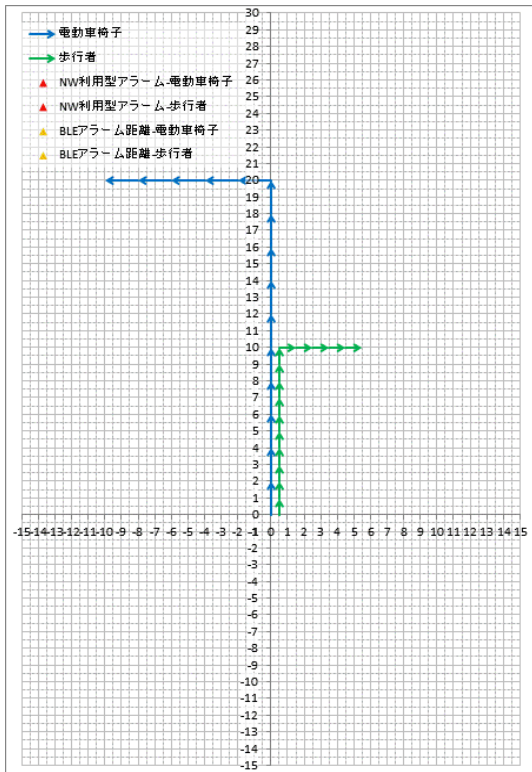


項番 95

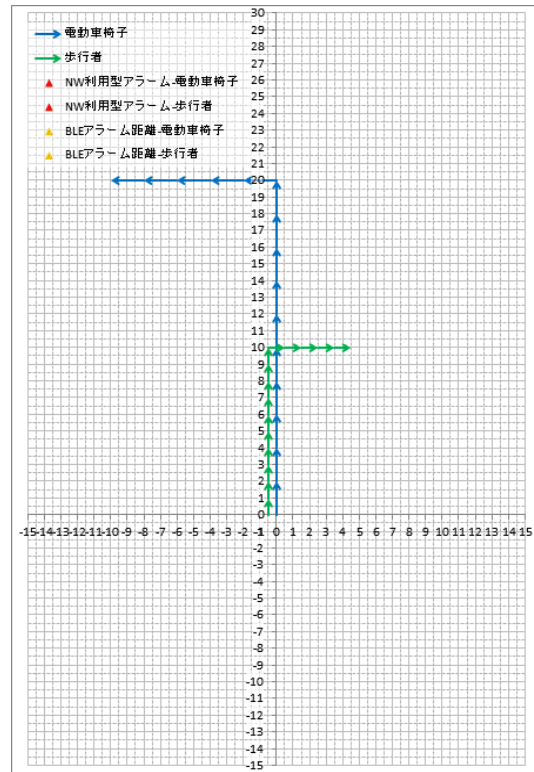


項番 96

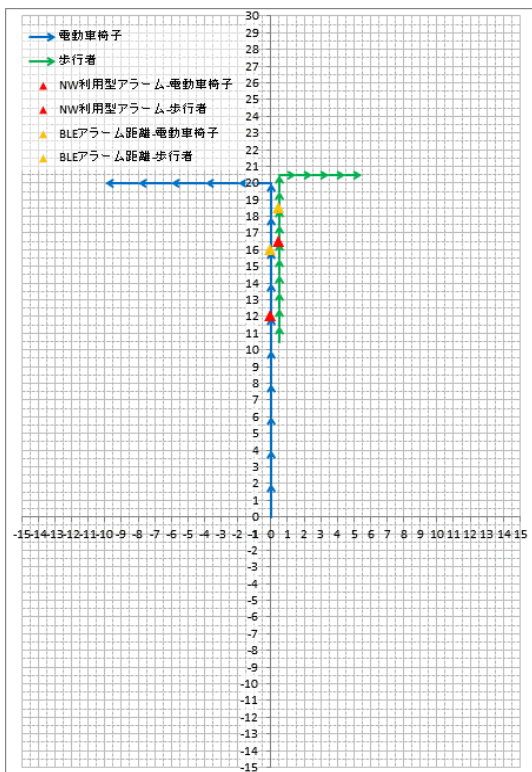
図 50 実験項目図(項番 93~96)



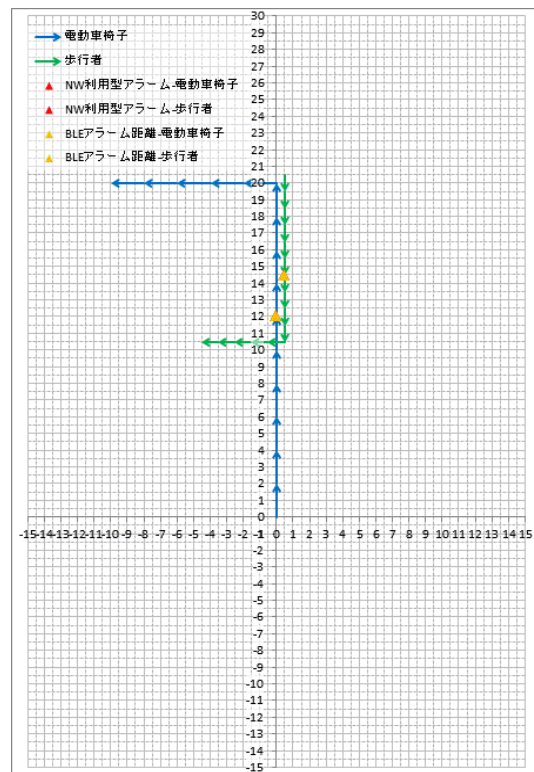
項番 97



項番 98

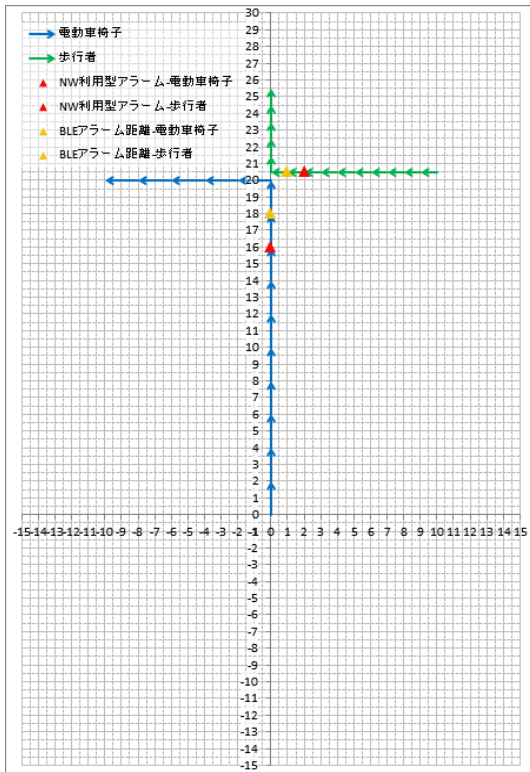


項番 99

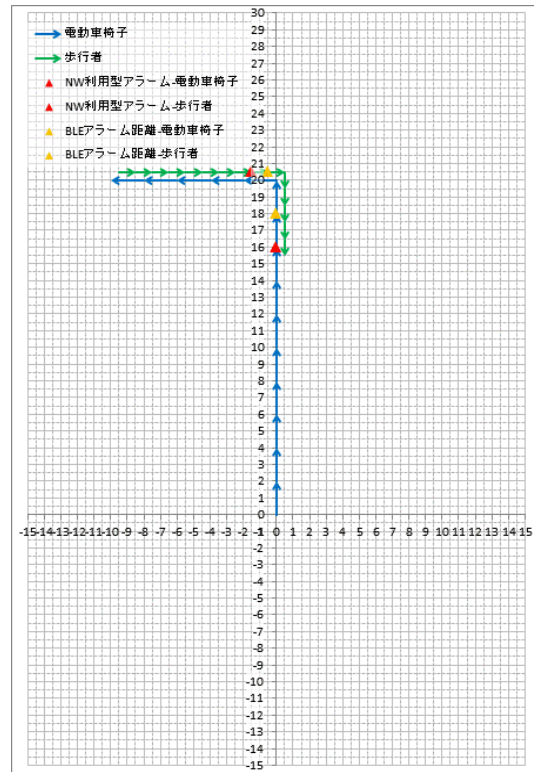


項番 100

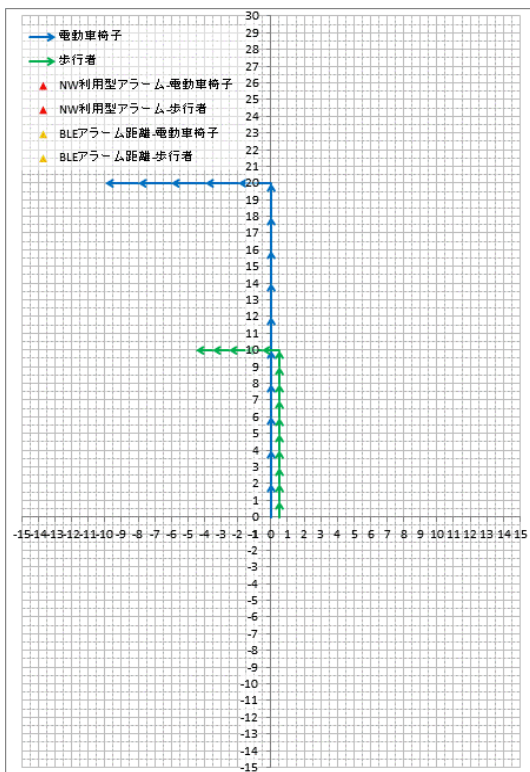
図 51 実験項目図(項番 97~100)



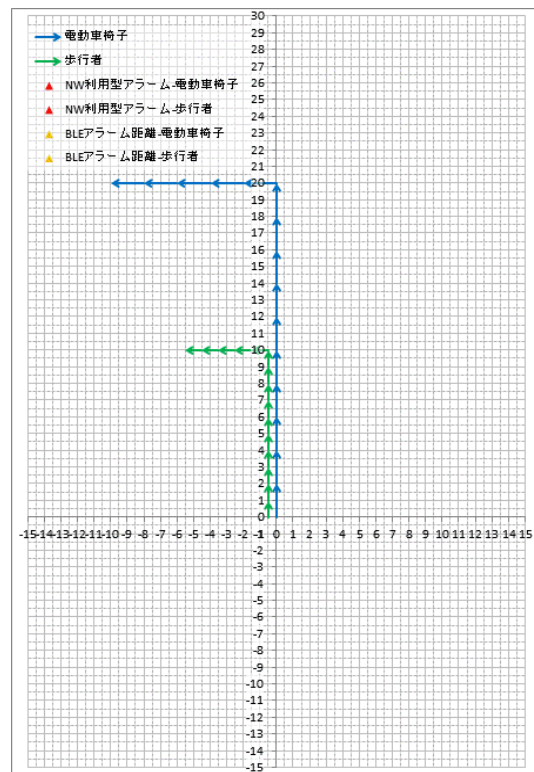
項番 101



項番 102

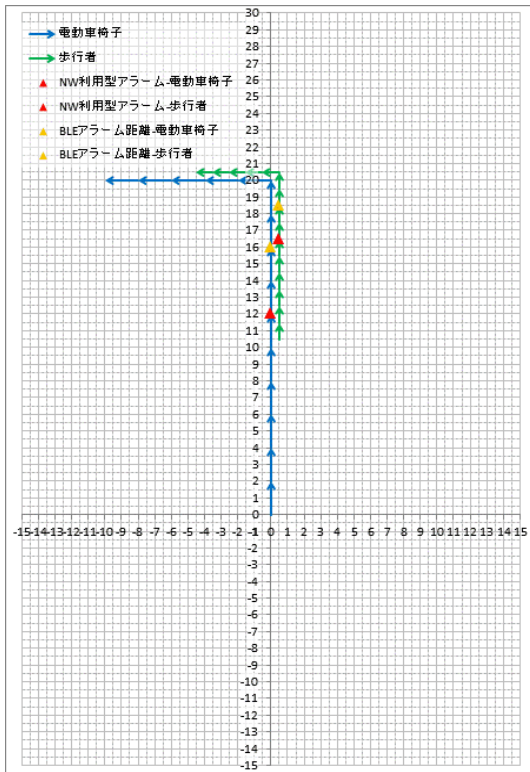


項番 103

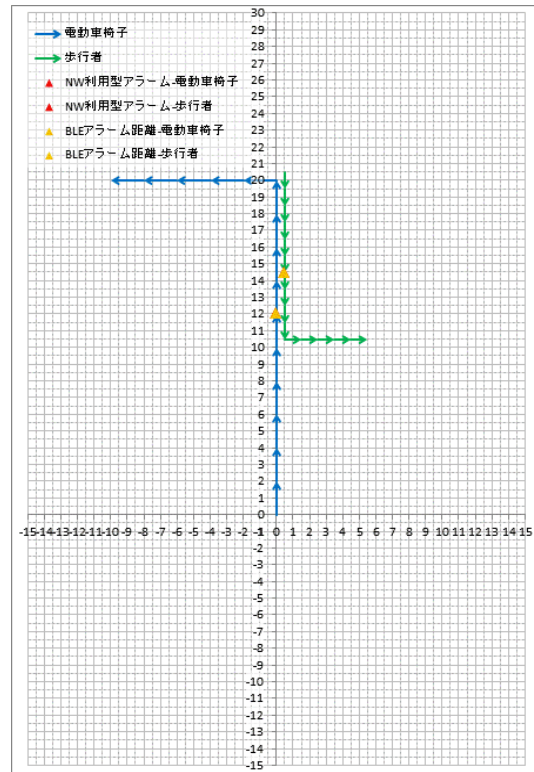


項番 104

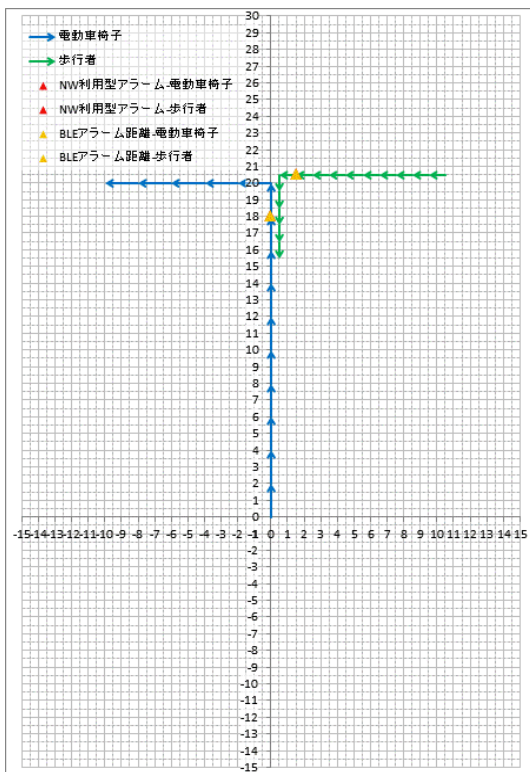
図 52 実験項目図(項番 101~104)



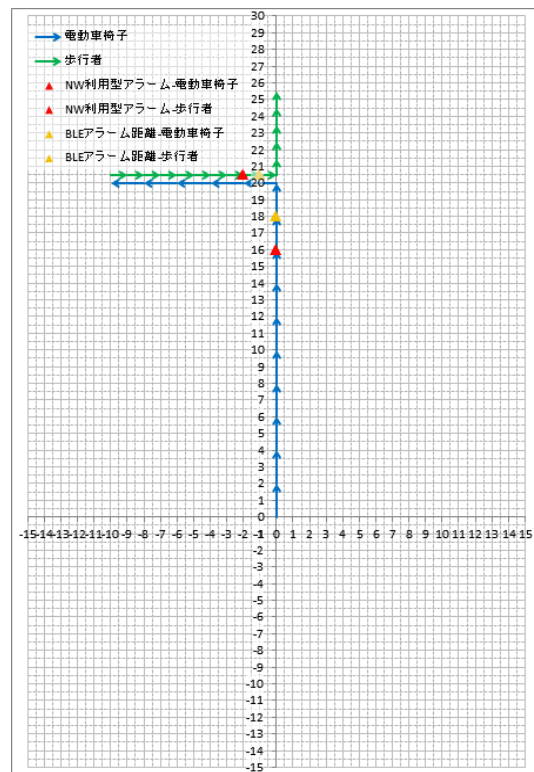
項番 105



項番 106



項番 107



項番 108

図 53 実験項目図(項番 105~108)

【評価項目】

本実験の評価項目は、接近検知システムにおける GPS の位置情報と各動体の移動傾向による接近検知（以下、GPS と呼ぶ）及び、BLE 電界強度による接近検知（以下、BLE と呼ぶ）、それぞれの想定鳴動点が±1 秒の範囲で鳴動した場合、正常に動作を行ったと判断する。上記について、図 54 に示す。

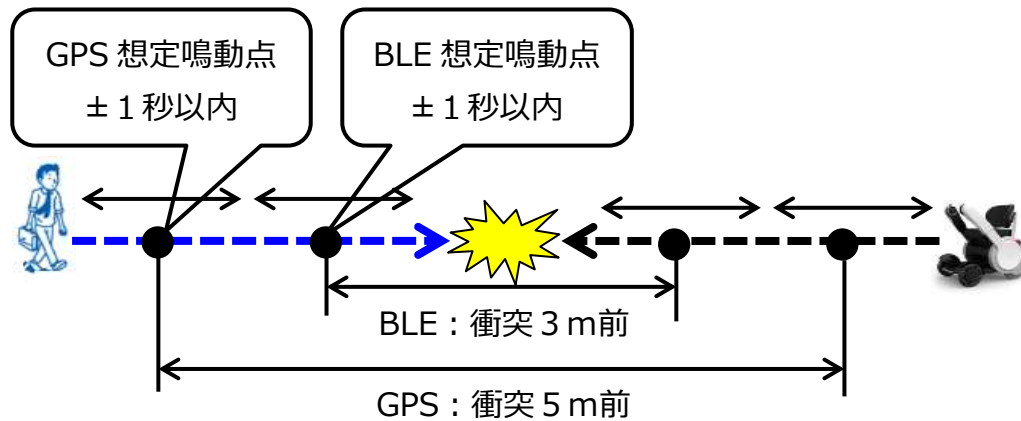


図 54 評価項目の説明図

【実験結果】

実験結果を表 14 及び図 55、図 56 に示す。正常に動作を行った割合は、GPS が 49.3%であり BLE が 46.9%であることを確認した。

表 14 想定鳴動点とのずれ

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%

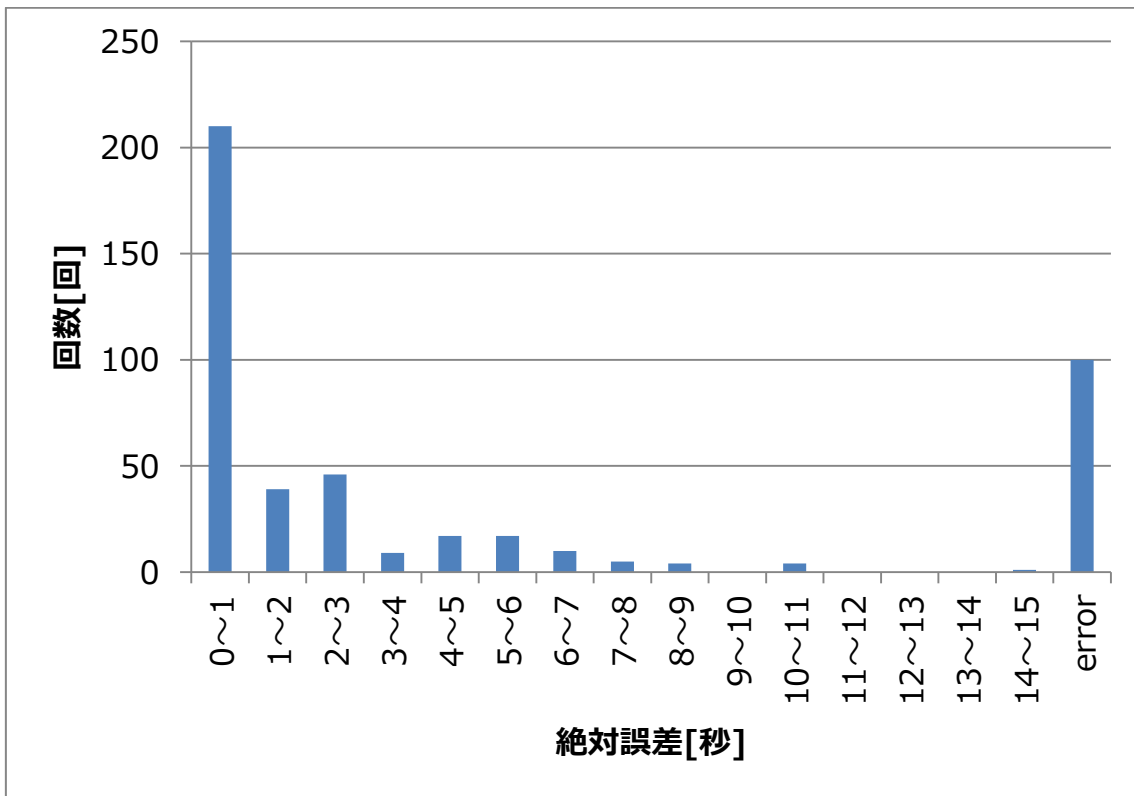


図 55 想定鳴動点とのずれ(GPS)

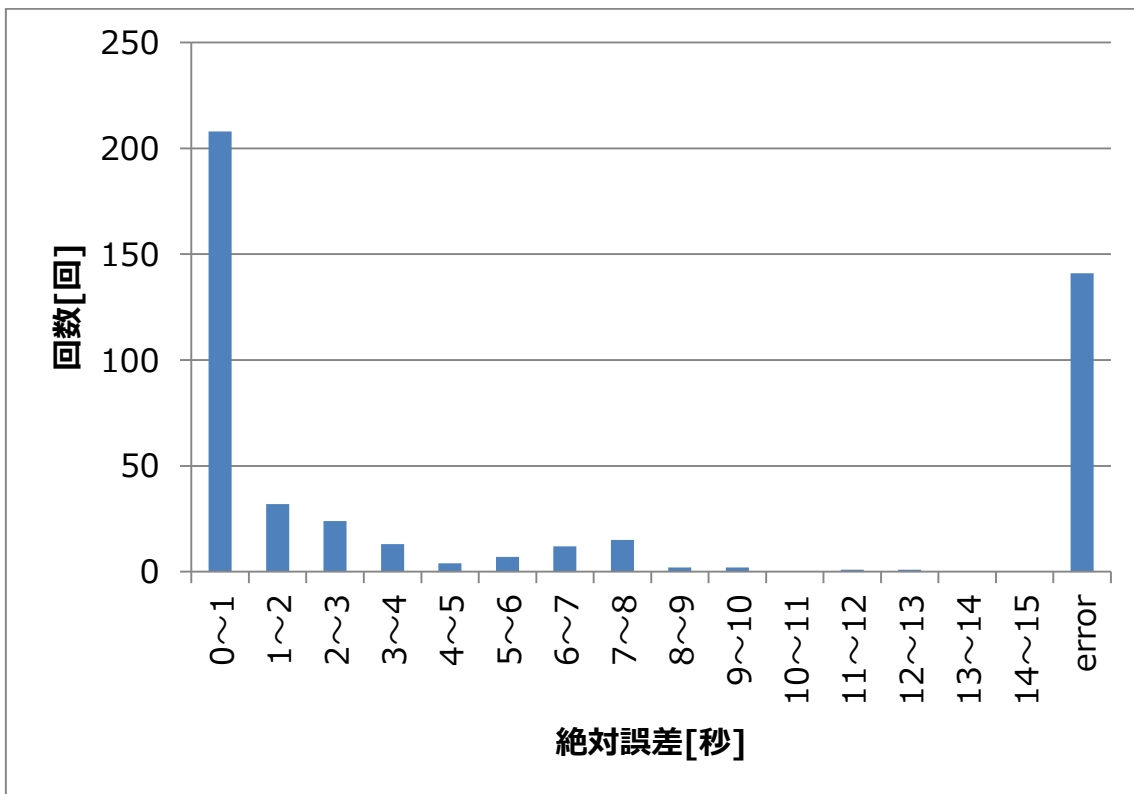


図 56 想定鳴動点とのずれ(BLE)

2.8 まとめ及び考察

平成 26 年度から取り組んでいる接近検知システムの構築を完了させ実験を行った。

2.7.3 動体予測の基礎実験の結果については、初期位置に誤差が生じる問題はあるが、歩行者の移動方向の予測に有効であることを確認した。

2.7.4 電動車いす・歩行者間の接近検知実験の結果については、想定鳴動点に対し、GPS、BLE の両方または何れかが± 1 秒の範囲で鳴動する確率は約 70%であることを確認した。

以上より、実用化に向けては個別要素の更なる精度向上が必要であると考えている。

3 交差点内の位置測位に向けた検討

3.1 研究背景

本研究は、高齢化が進む日本において利用が増加すると想定される電動車いすによる衝突事故削減が目標であり、そのための接近検知システムの構築を目的として研究開発を行った。しかしながら、国家目標である「2018 年を目途に交通事故死者数を 2,500 人以下とし、2020 年までに世界で最も安全な道路交通社会を実現する」を達成する上での貢献は限定的である。また、近年減少傾向である交通事故死者数において、高齢者の占める割合が増加傾向（図 57）であり、特に歩行中の割合が約 48%と半数を占める（図 58）。

これらのことを踏まえると、電動車いすがターゲットである本研究で構築した接近検知システムを、歩行者の交通事故死者削減のためのシステムへ拡大することが、国家目標を達成する上で効果的であると考えられる。特に、交差点エリア内における交通事故が全体の約 54%（図 58）を占めることを踏まえると、交差点エリア内の交通事故を削減するシステムの構築が望まれている。

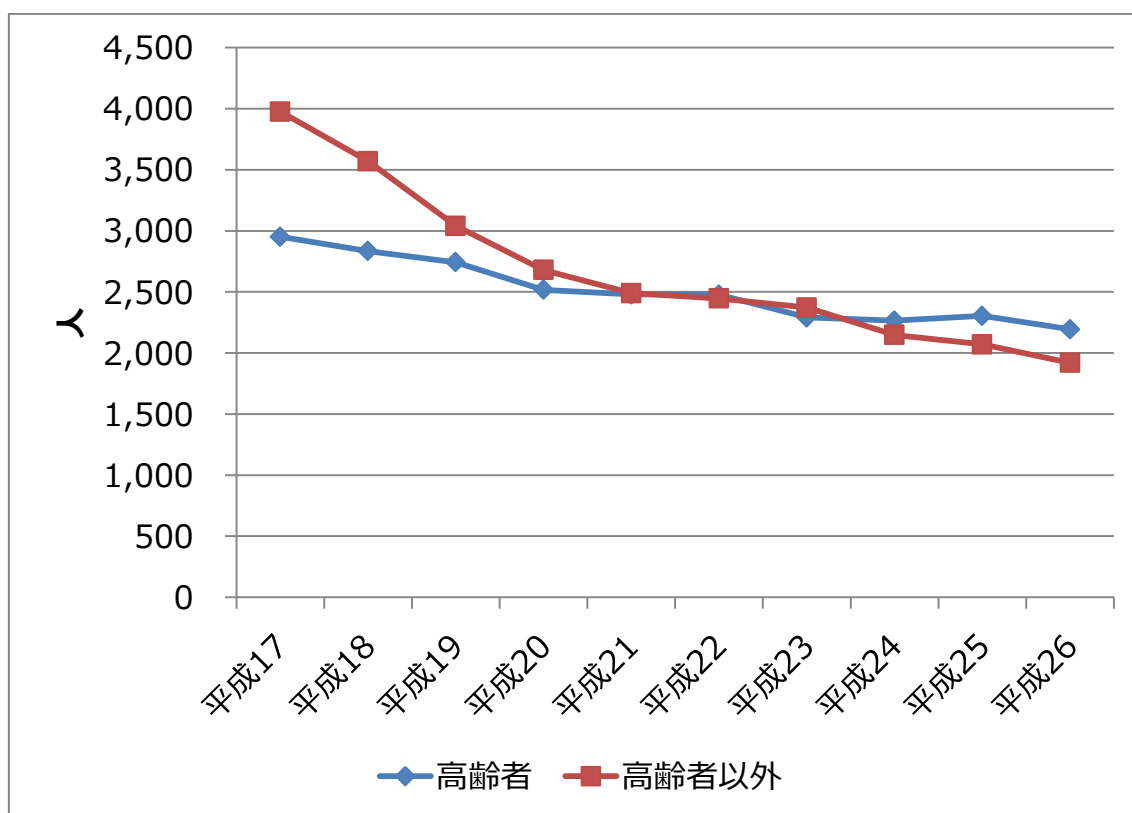


図 57 「高齢者及び高齢者以外の死者数の推移（平成 17～26 年）」 [4]

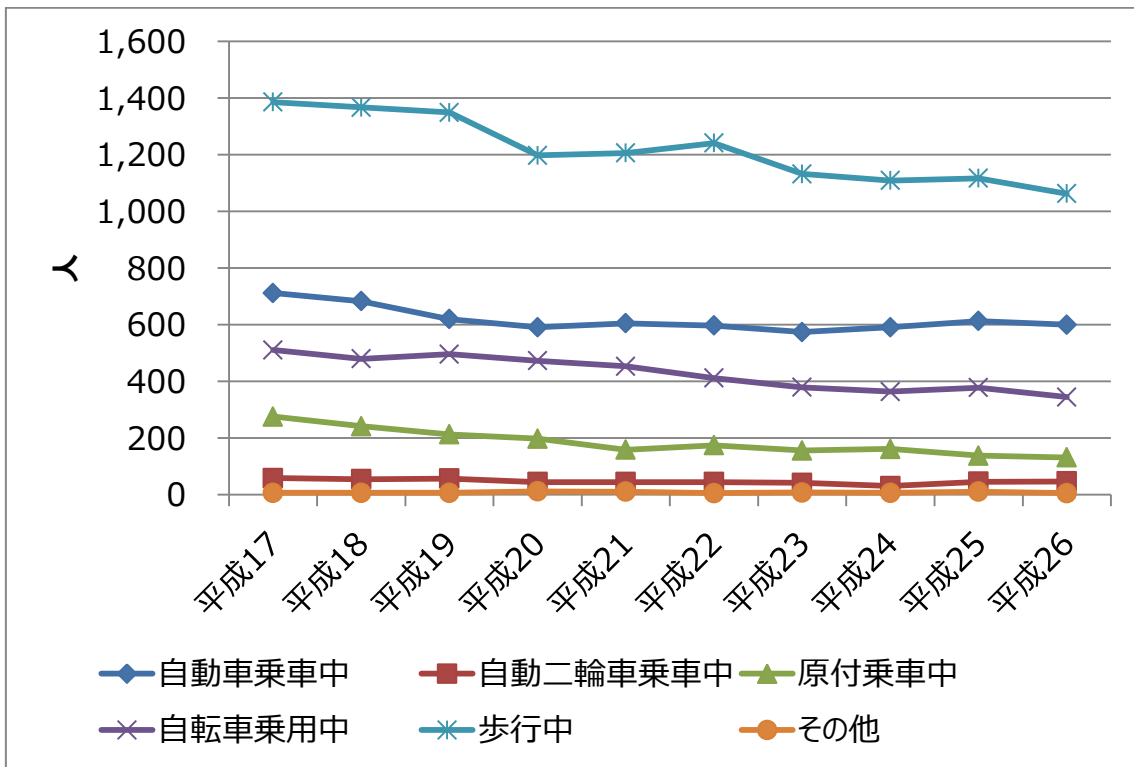


図 58 高齢者の状態別交通事故死者数の推移 [5]

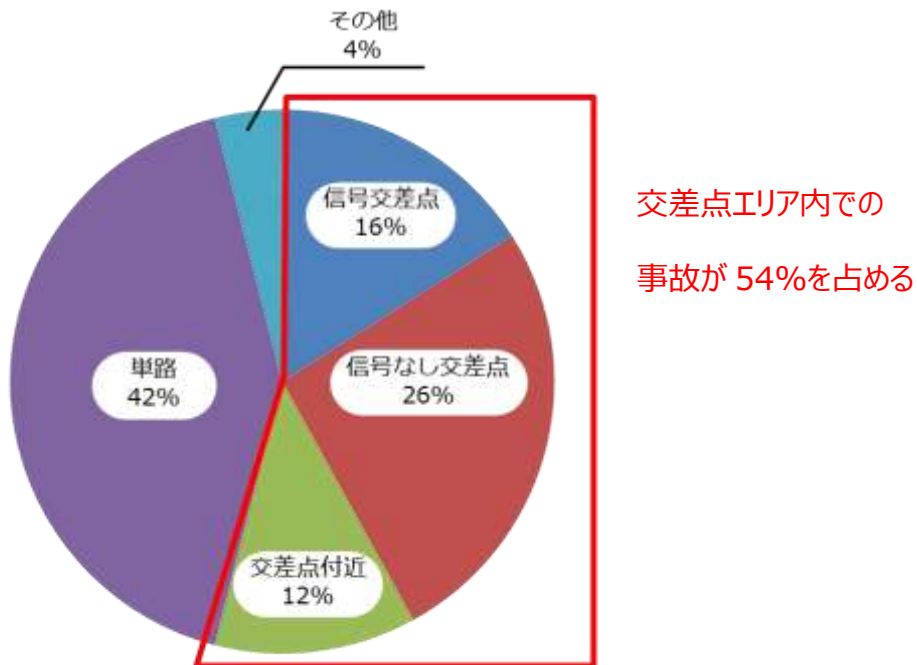


図 59 道路形状別にみる交通死傷事故構成率 [6]

3.2 研究開発目的及び目標

今年度の基礎実験及び方式検討は、平成 27 年度までの研究成果を用いて交差点エリア内における応用可能性を確認することが目的である。具体的には、GPS の応用では歩行者の位置測位と動体予測を利用した交差点エリア内への進入予測を、BLE の応用では近距離ほど電界強度の変化量が大きい特性（図 60）を想定している。特に、BLE ビーコンを複数設置することで本領域を活用できる範囲を広げ、交差点においても応用が可能であることが期待できる。

本研究の目標については、今年度実施した基礎実験及び方式検討の結果を鑑み平成 28 年度に設定する。

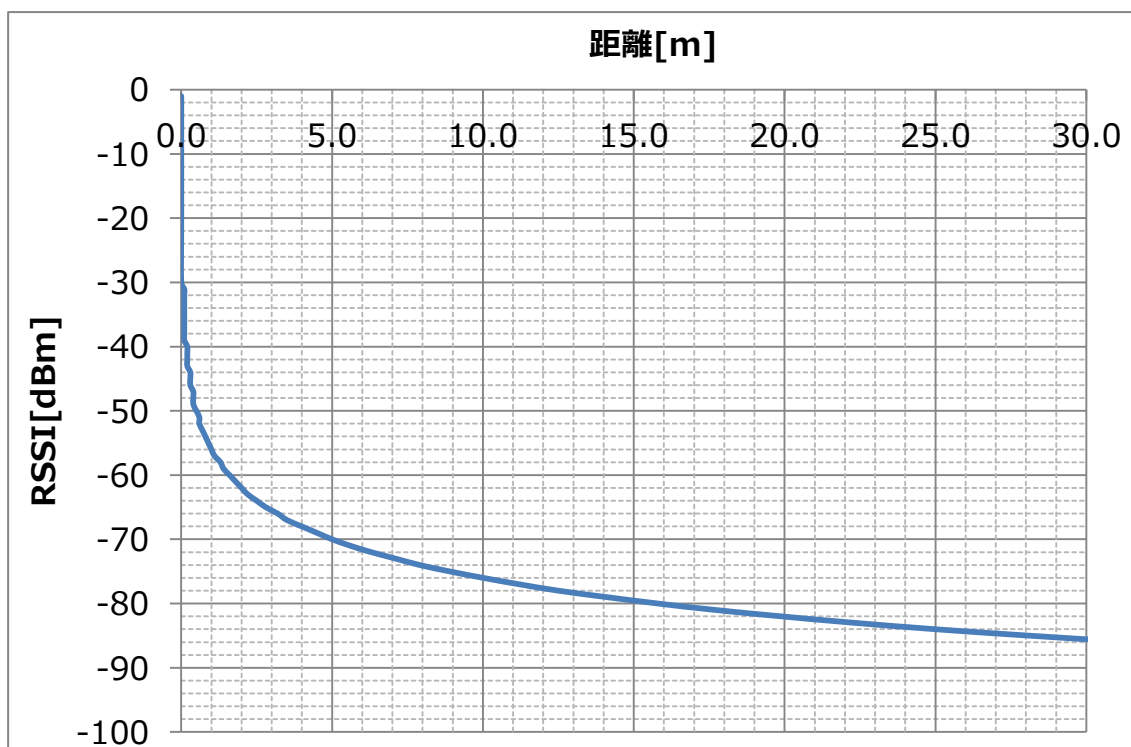
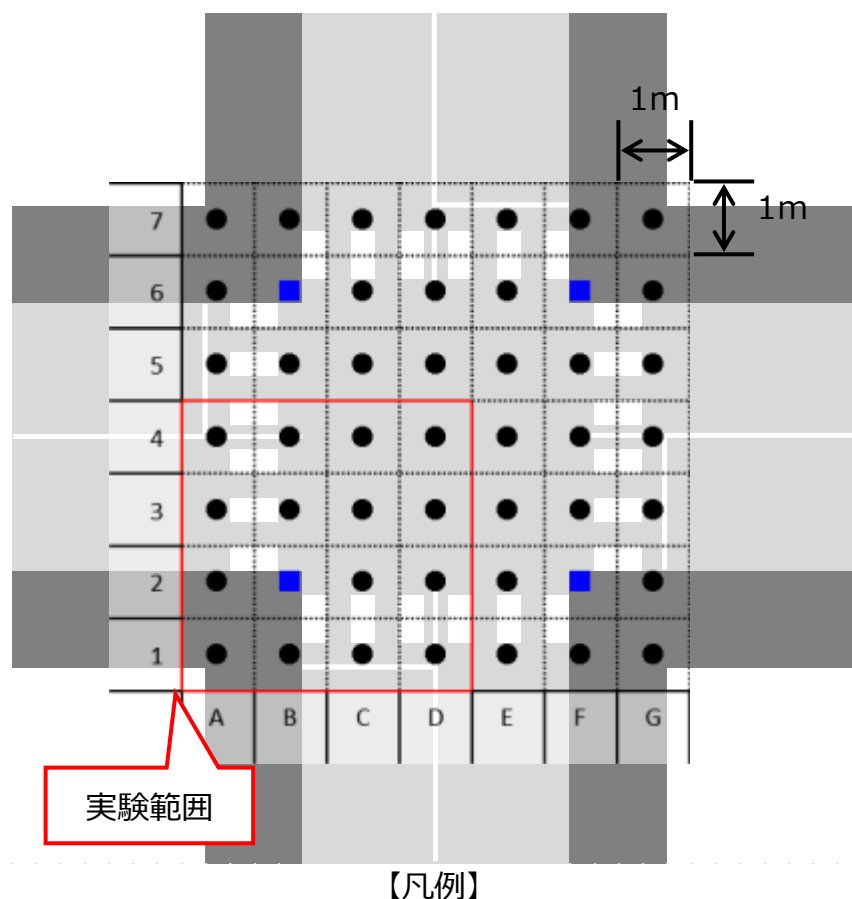


図 60 BLE 電界強度と距離の関係
[昨年度研究開発成果]

3.3 研究成果

【実験条件】

2章で行った実験の交差点内における歩行者等の位置測位への応用として BLE ビーコンを交差点に見立てたエリアに 4 個設置する。実験環境及び測定ポイントは図 61 に BLE ビーコンに設定したタグ ID は表 15 に示す。また、測定点における測定方法の規定を図 62 に示す。



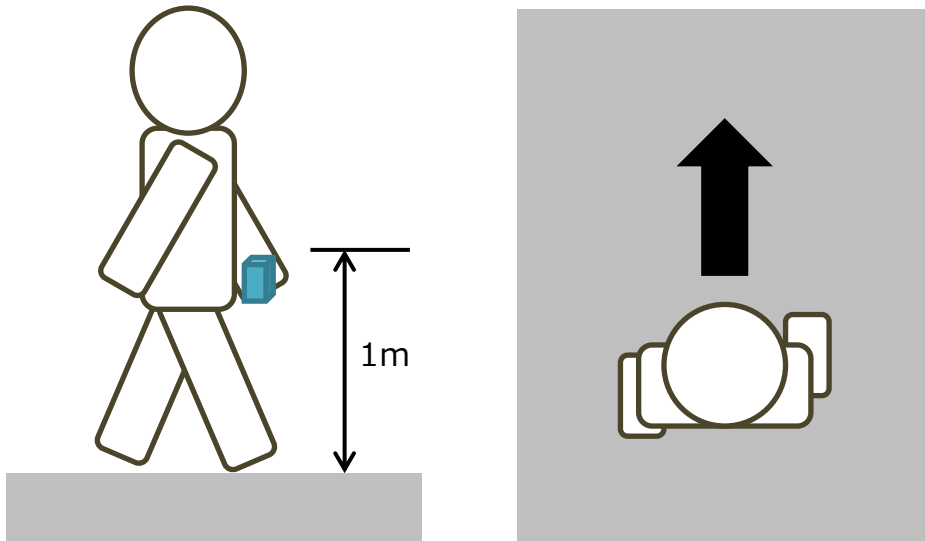
【凡例】

■ : デバイセット・ビーコン高所実験装置 (4 カ所) ● : 測定点 (15 カ所)

図 61 交差点エリア内への応用に向けた基礎実験の実験場

表 15 BLE ビーコンに設定したタグ ID 一覧

項番	設置場所	タグ ID
1	B-2	0000000007
2	F-2	0000000008
3	F-6	0000000009
4	B-6	0000000010



デバイスセット・ビーコン保持位置
は胴体正面、腰周辺に保持

歩行者の基準点は前面の胸とする。ま
た、測定時には前方を向くこととする。

図 62 歩行者の規定

また、デバイスセット・ビーコン高所実験装置は図 63 に規定する。

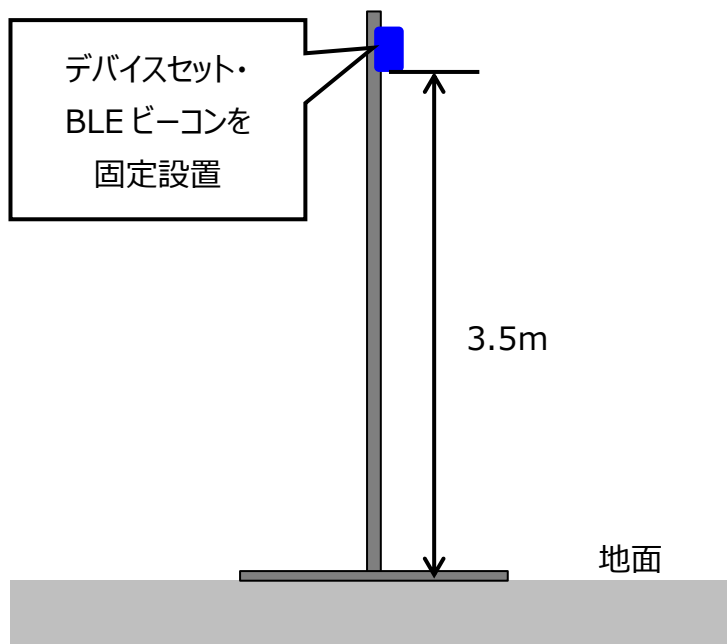


図 63 デバイスセット・ビーコン高所実験装置規定図



图 64 実験場風景

【評価項目】

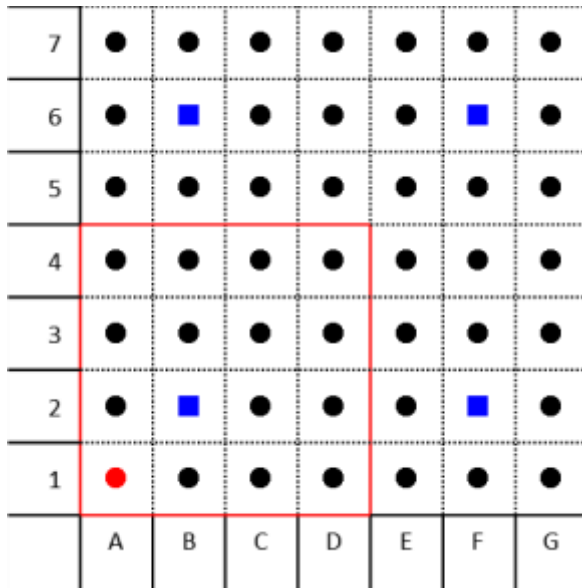
表 16 に示す測定点ごとに、歩行者を静止させた状態で 3 分間電界強度を測定した。電波到来角毎の取得した電界強度から変換した距離の中央値と計算値を比較し評価した。

表 16 評価項目一覧

項番	測定点	項番	測定点
1	A-1	8	C-1
2	A-2	9	C-2
3	A-3	10	C-3
4	A-4	11	C-4
5	B-1	12	D-1
6	B-3	13	D-2
7	B-4	14	D-3
		15	D-4

【実験結果】

測定点ごとの電界強度から変換した距離のヒストグラムを、図 65～図 79 に示す。



【凡例】

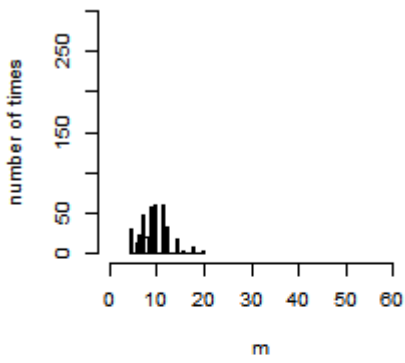
■ : デバイスセット・
ビーコン高所実験装置 (4カ所)

● : 測定点(A-1)

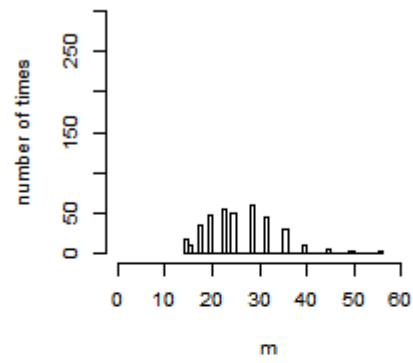
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

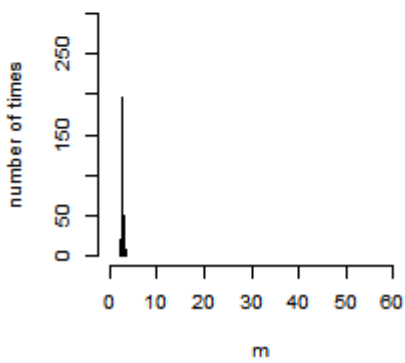
A.1_0000000010



A.1_0000000009



A.1_0000000007



A.1_0000000008

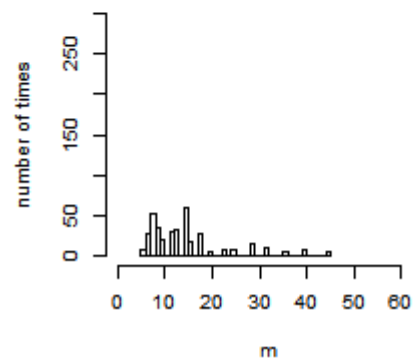
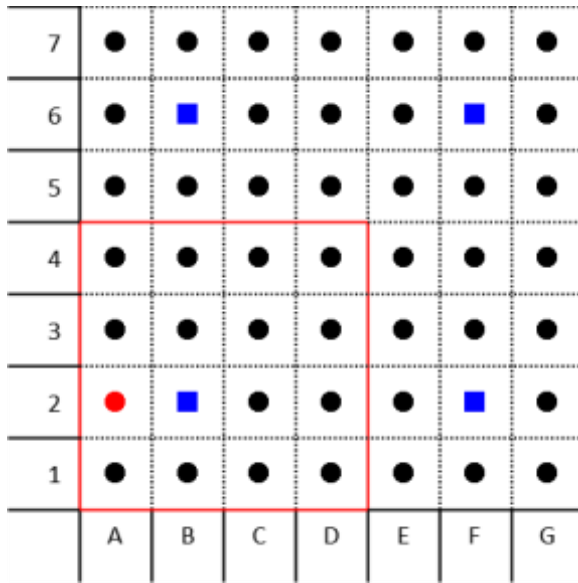


図 65 A-1 実験結果 (ヒストグラム)



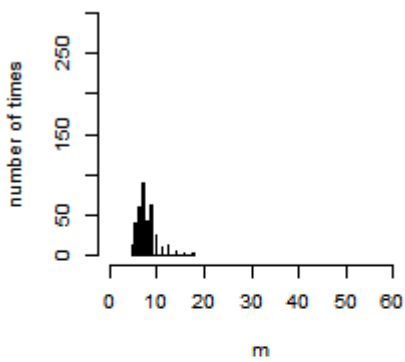
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(A-2)

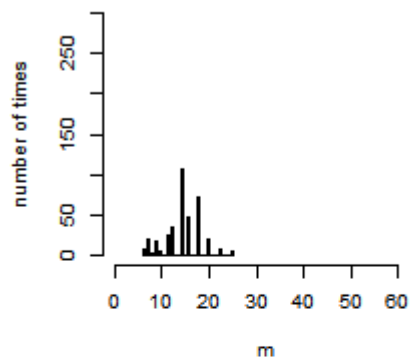
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

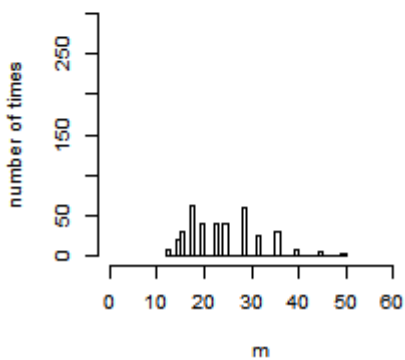
A.2_000000010



A.2_000000009



A.2_000000007



A.2_000000008

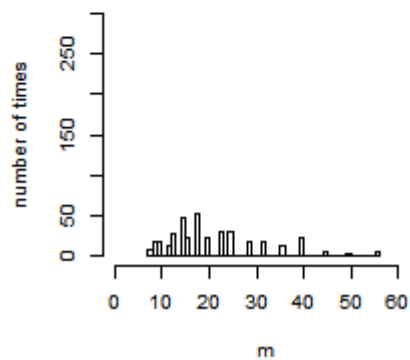
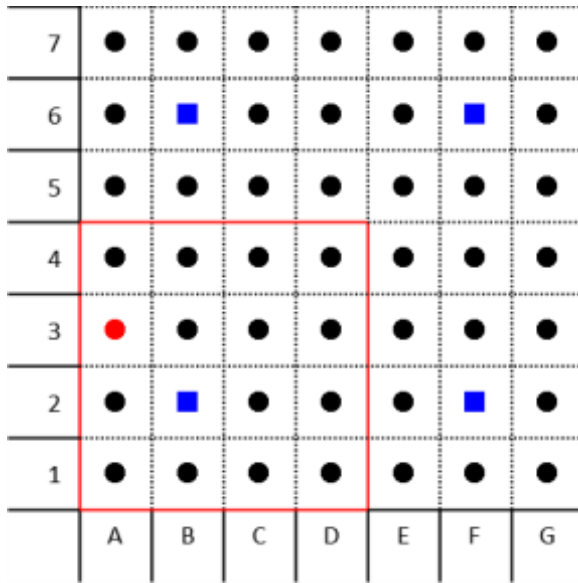


図 66 A-2 実験結果 (ヒストグラム)



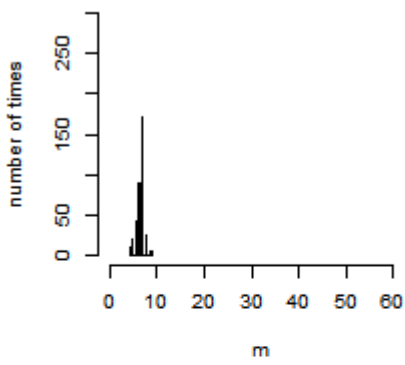
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(A-3)

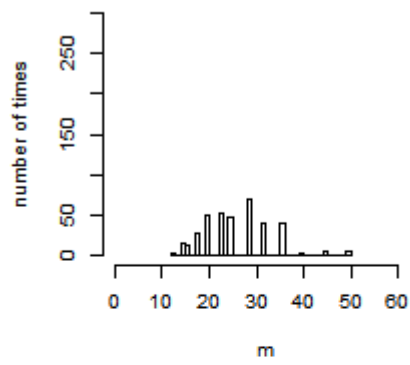
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

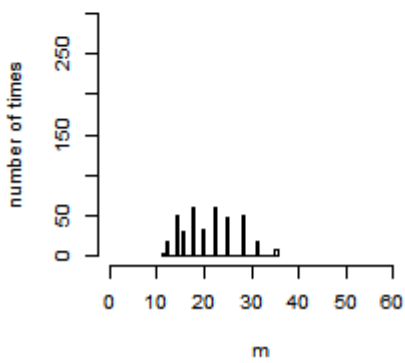
A.3_000000010



A.3_000000009



A.3_000000007



A.3_000000008

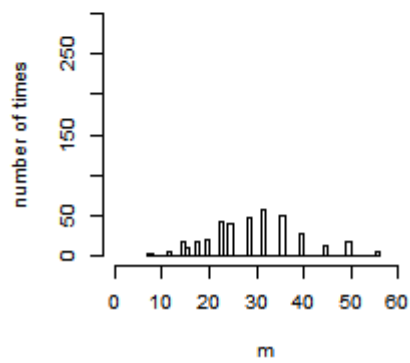
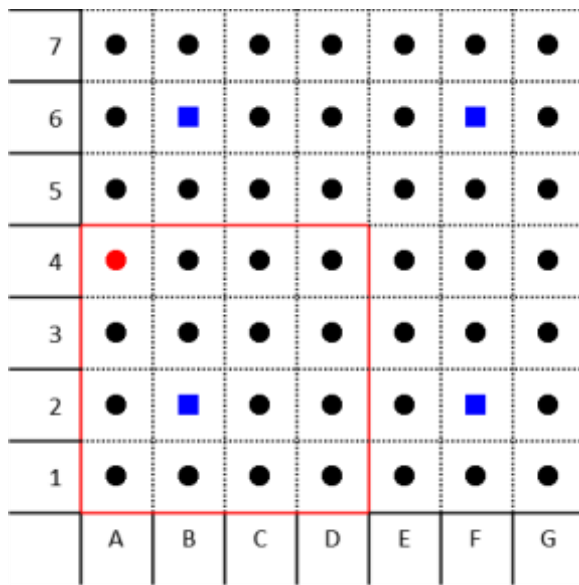


図 67 A-3 実験結果 (ヒストグラム)



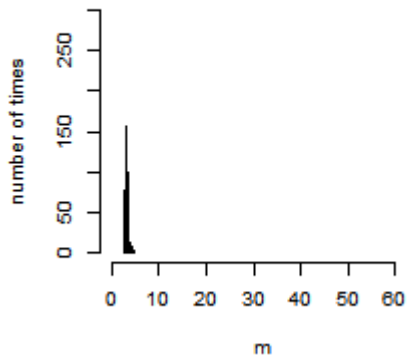
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(A-4)

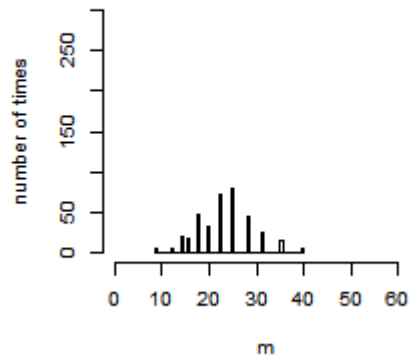
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

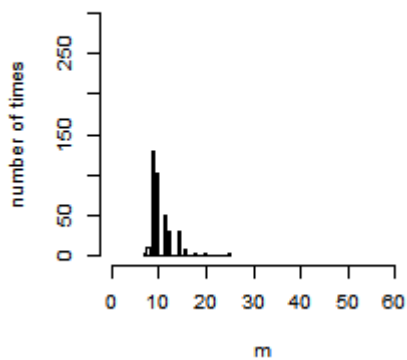
A.4_000000010



A.4_000000009



A.4_000000007



A.4_000000008

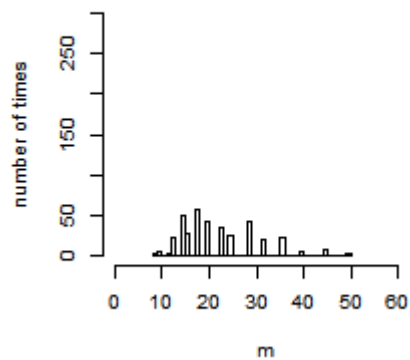
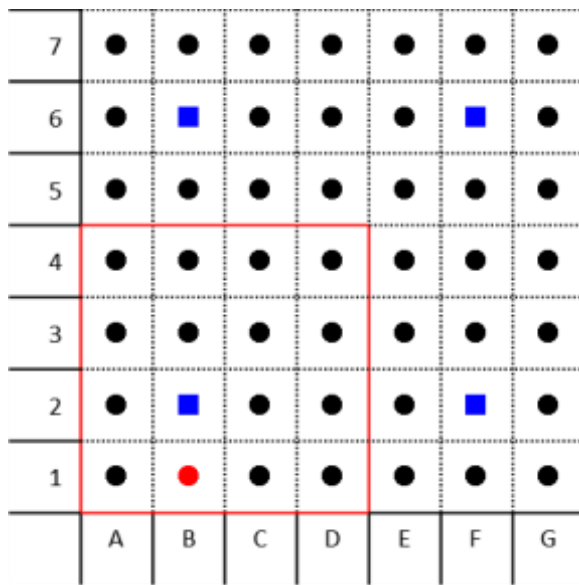


図 68 A-4 実験結果 (ヒストグラム)



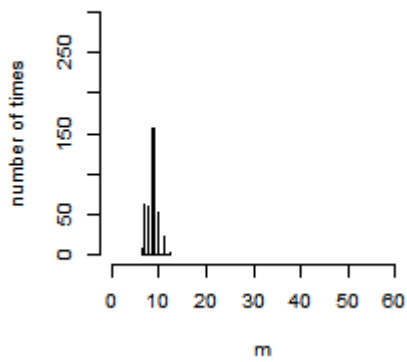
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(B-1)

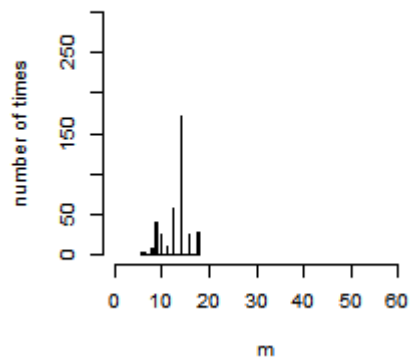
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

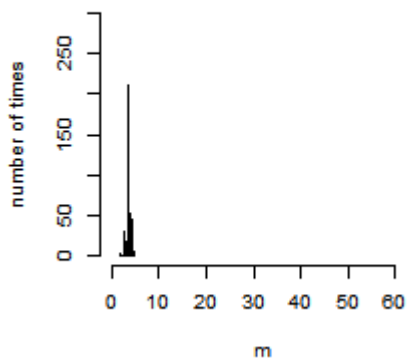
B.1_0000000010



B.1_0000000009



B.1_0000000007



B.1_0000000008

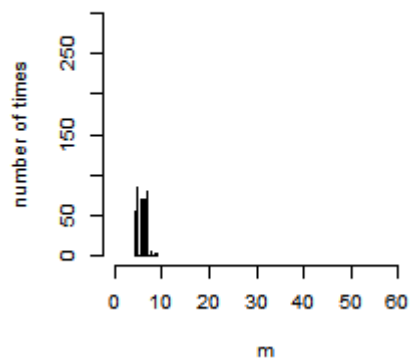
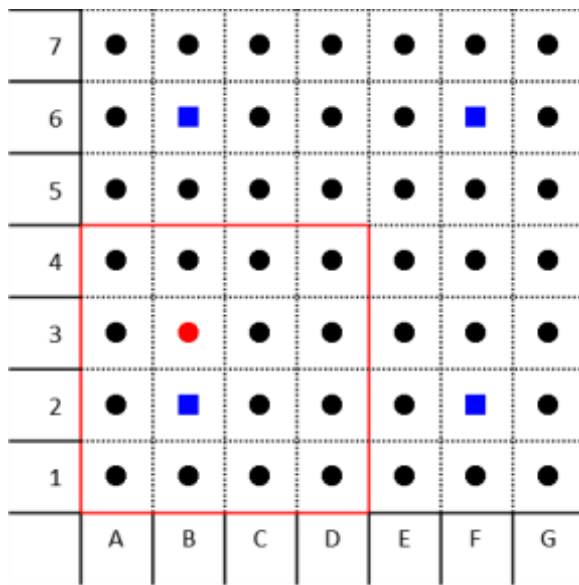


図 69 B-1 実験結果 (ヒストグラム)



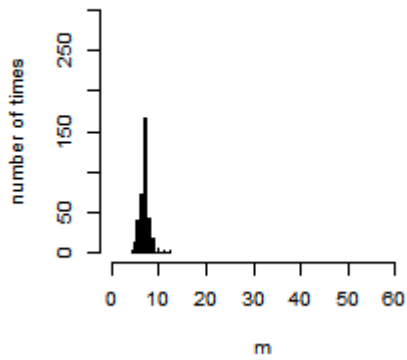
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(B-3)

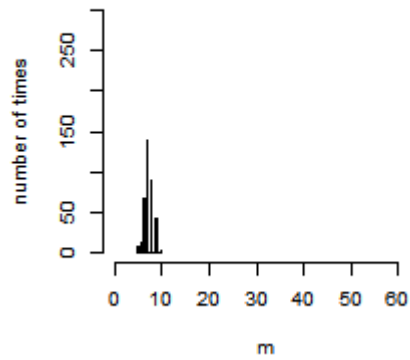
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

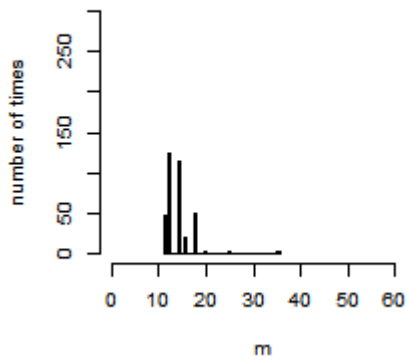
B.3_000000010



B.3_000000009



B.3_000000007



B.3_000000008

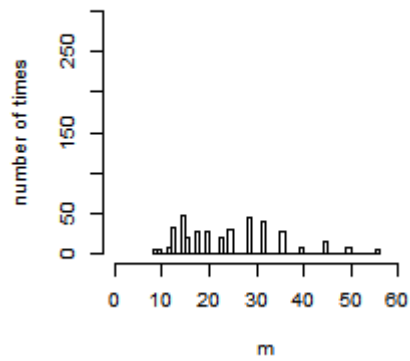
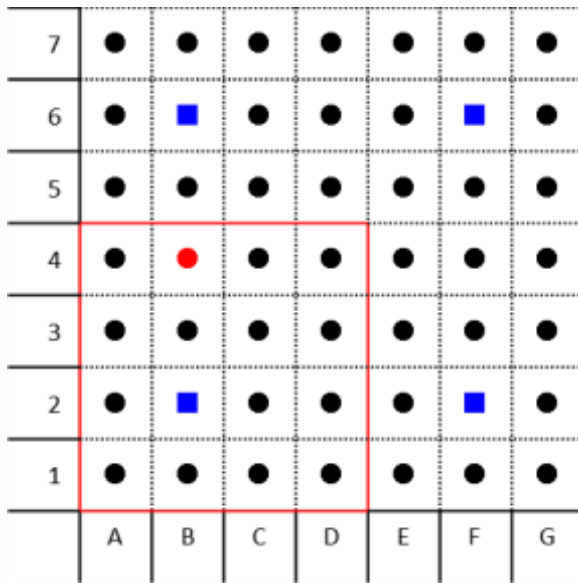


図 70 B-3 実験結果 (ヒストグラム)



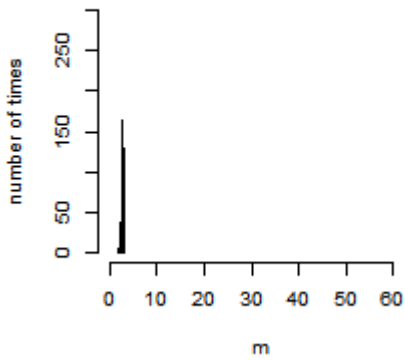
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(B-4)

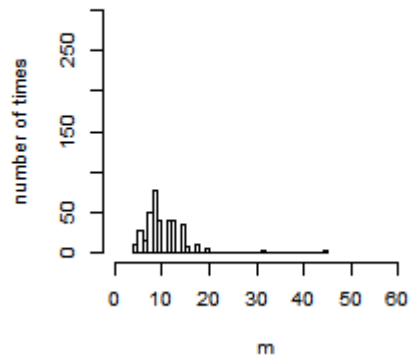
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

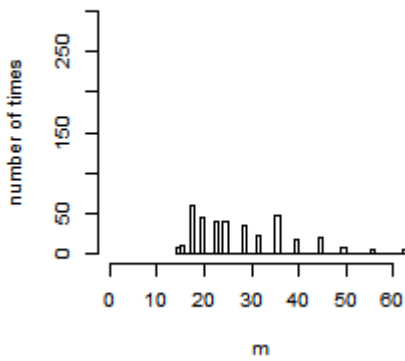
B.4_000000010



B.4_000000009



B.4_000000007



B.4_000000008

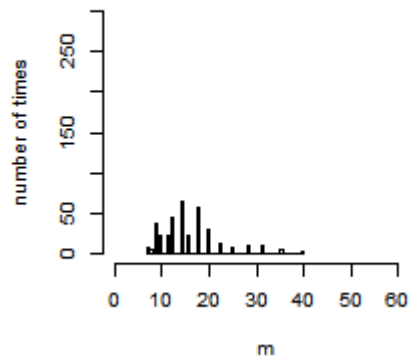
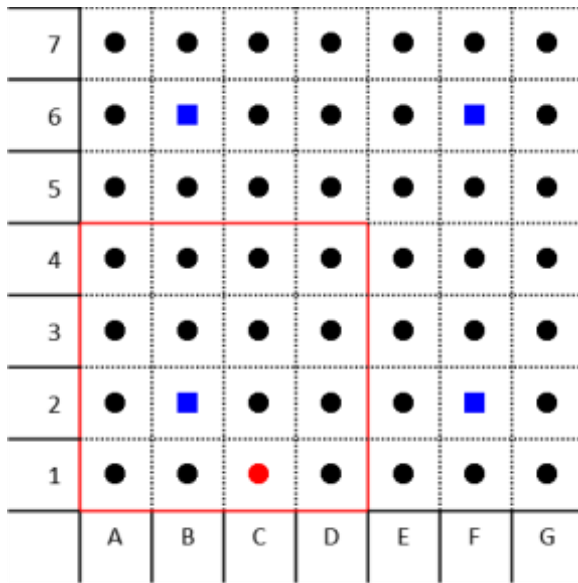


図 71 B-4 実験結果 (ヒストグラム)



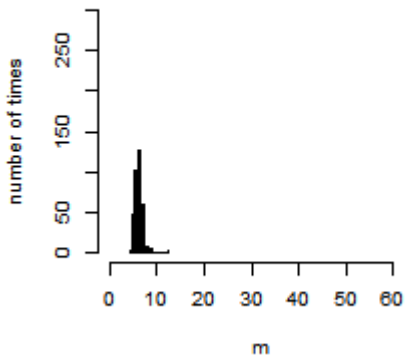
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(C-1)

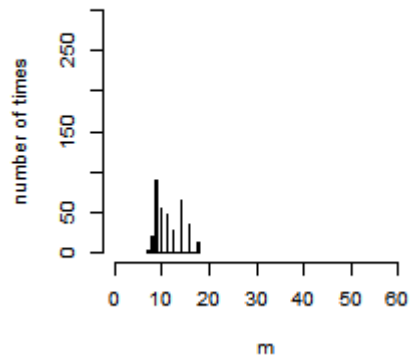
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

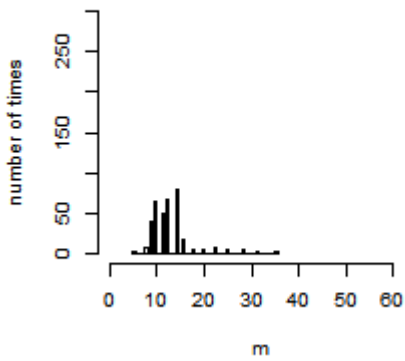
C.1_0000000010



C.1_0000000009



C.1_0000000007



C.1_0000000008

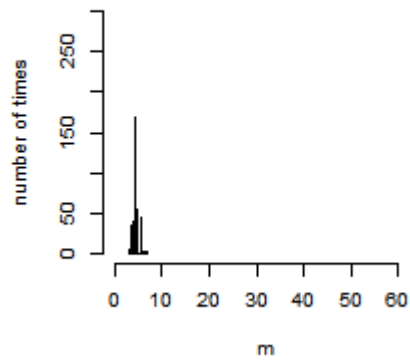
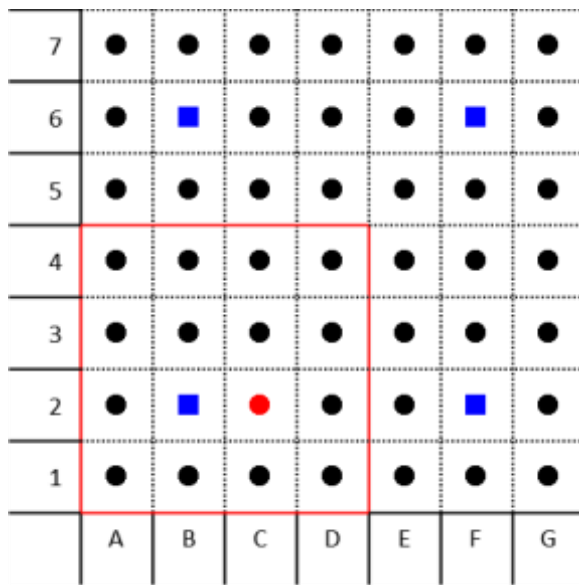


図 72 C-1 実験結果 (ヒストグラム)



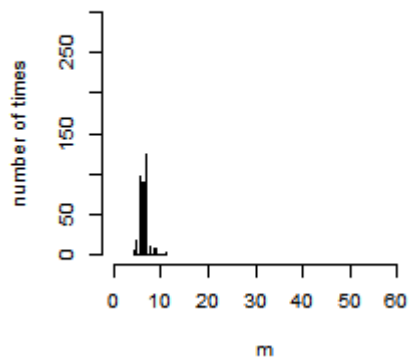
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(C-2)

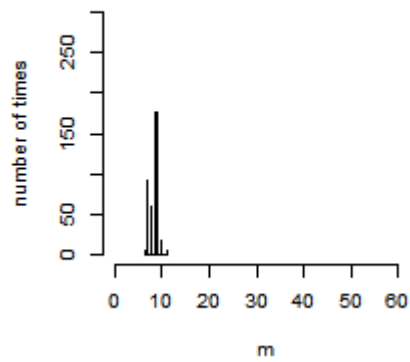
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

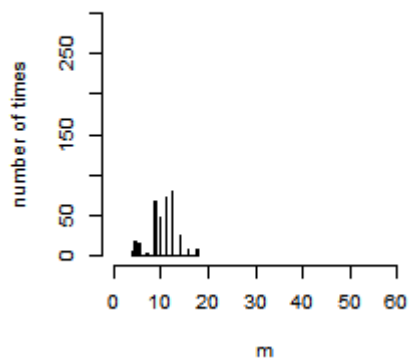
C.2_0000000010



C.2_0000000009



C.2_0000000007



C.2_0000000008

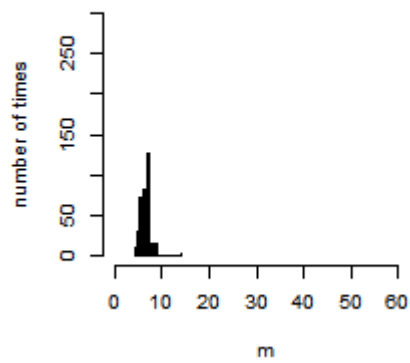
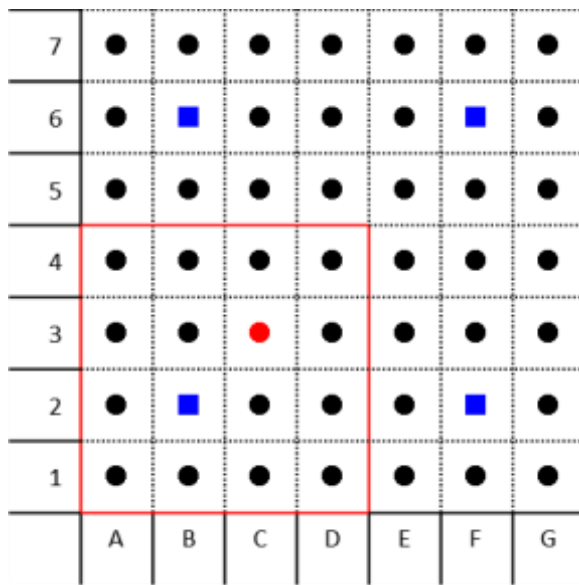


図 73 C-2 実験結果 (ヒストグラム)



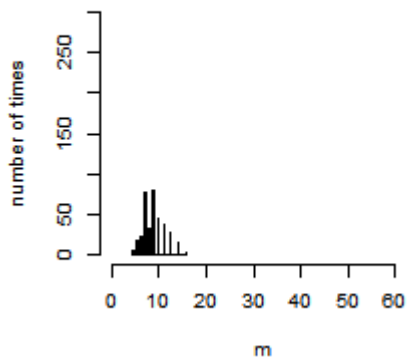
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(C-3)

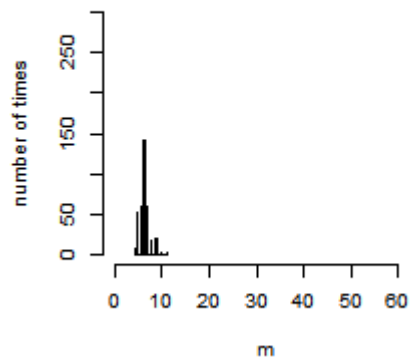
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

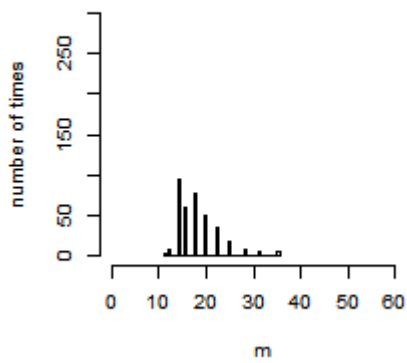
C.3_000000010



C.3_000000009



C.3_000000007



C.3_000000008

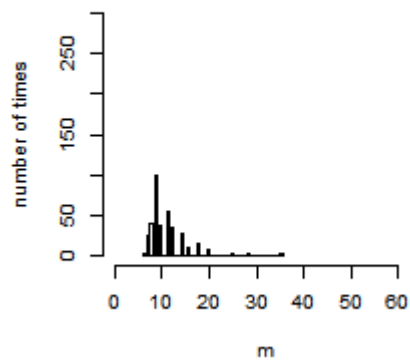
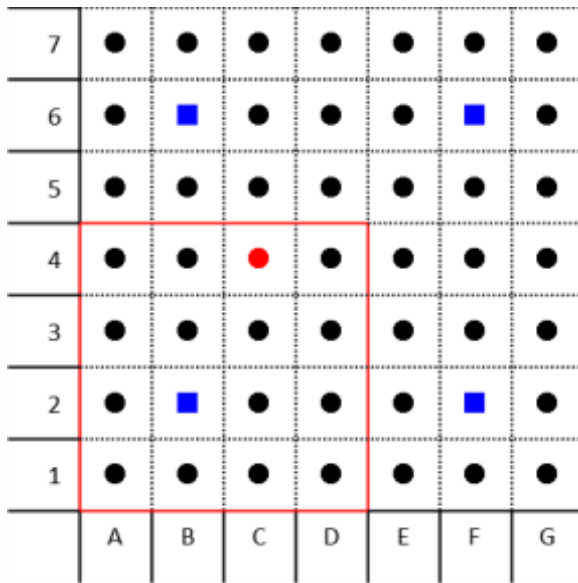


図 74 C-3 実験結果 (ヒストグラム)



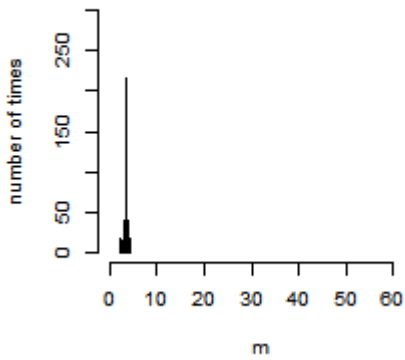
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(C-4)

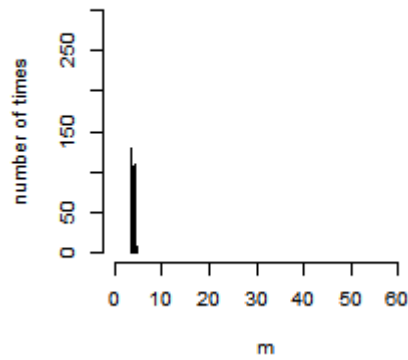
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

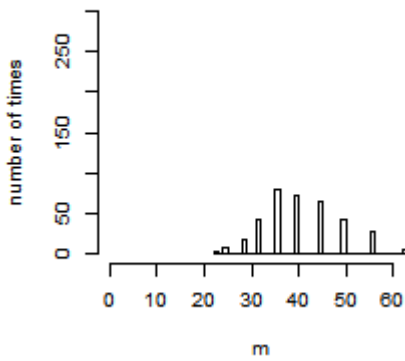
C.4_000000010



C.4_000000009



C.4_000000007



C.4_000000008

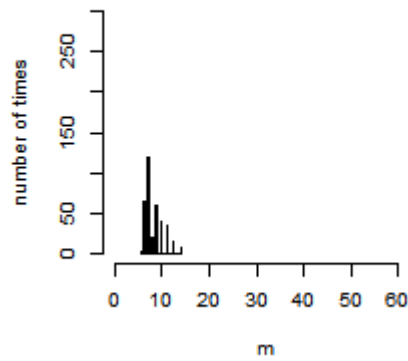
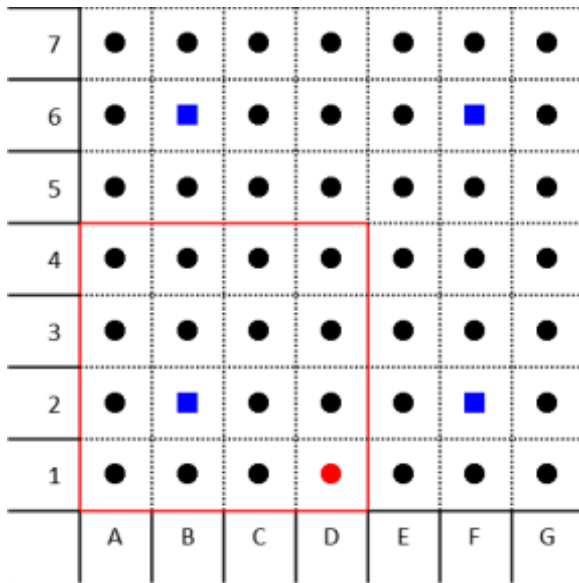


図 75 C-4 実験結果 (ヒストグラム)



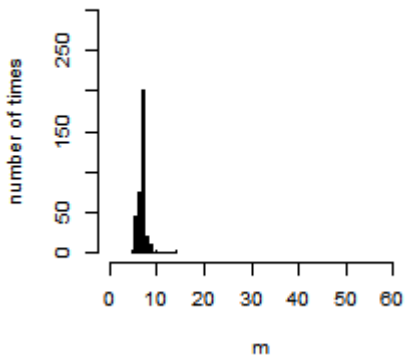
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(D-1)

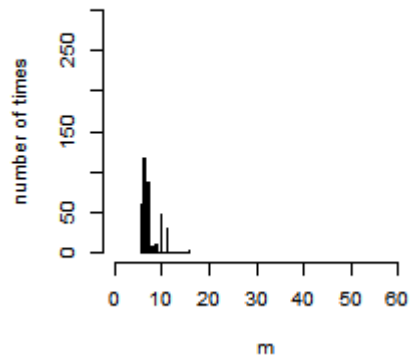
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

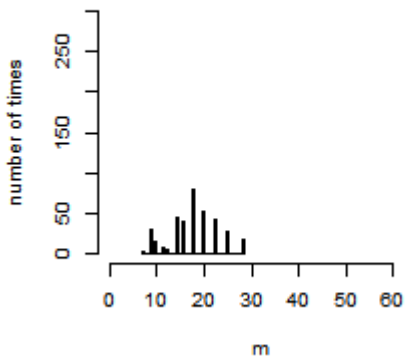
D.1_0000000010



D.1_0000000009



D.1_0000000007



D.1_0000000008

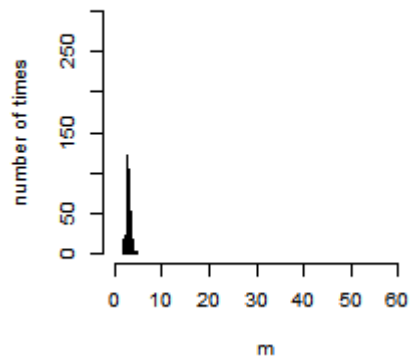
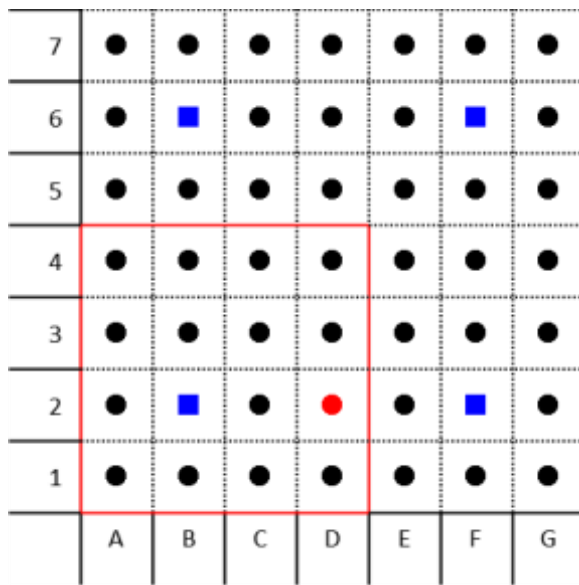


図 76 D-1 実験結果 (ヒストグラム)



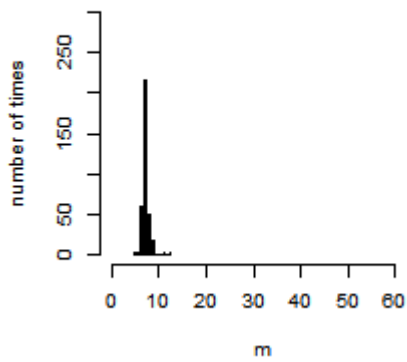
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(D-2)

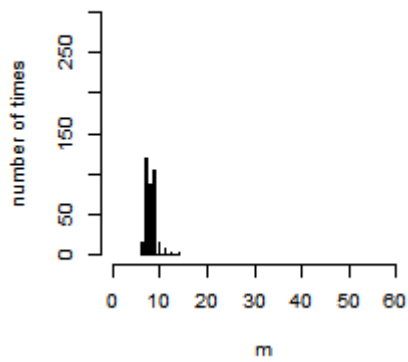
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

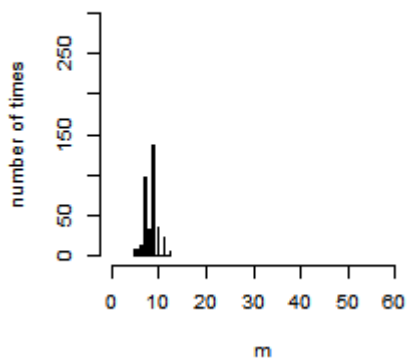
D.2_0000000010



D.2_0000000009



D.2_0000000007



D.2_0000000008

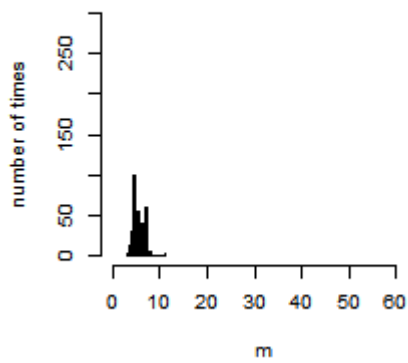
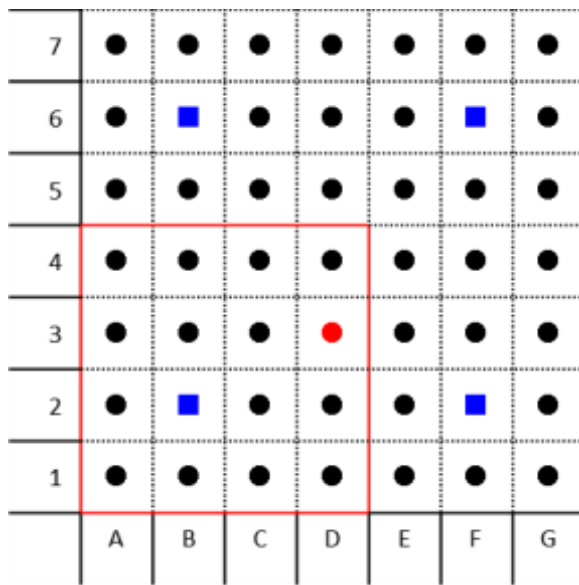


図 77 D-2 実験結果 (ヒストグラム)



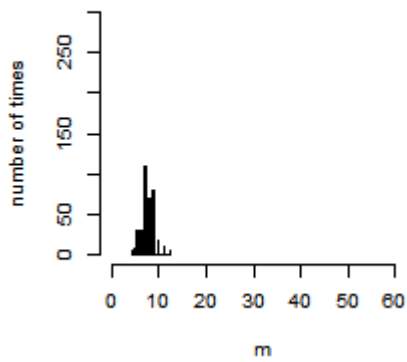
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(D-3)

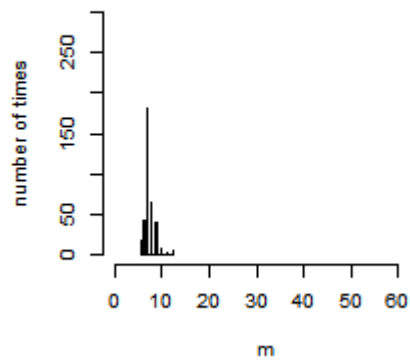
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

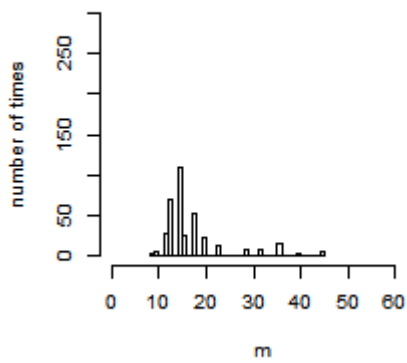
D.3_000000010



D.3_000000009



D.3_000000007



D.3_000000008

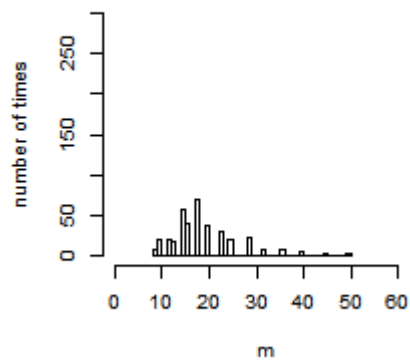
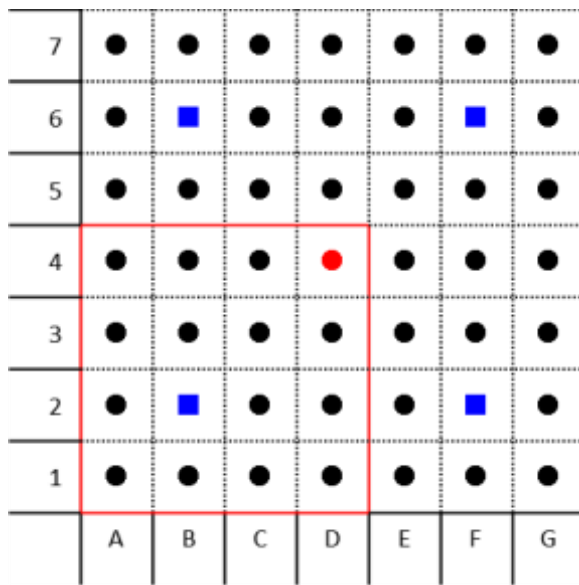


図 78 D-3 実験結果 (ヒストグラム)



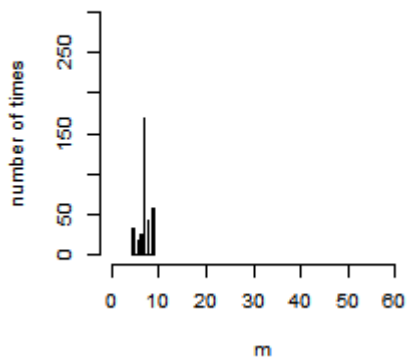
【凡例】

- : デバイスセット・ビーコン高所実験装置 (4カ所)
- : 測定点(D-4)

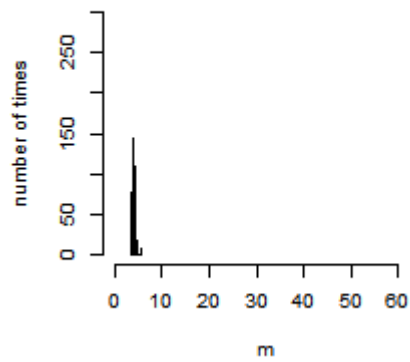
【グラフタイトル凡例】

測定点_BLEビーコンタグ ID

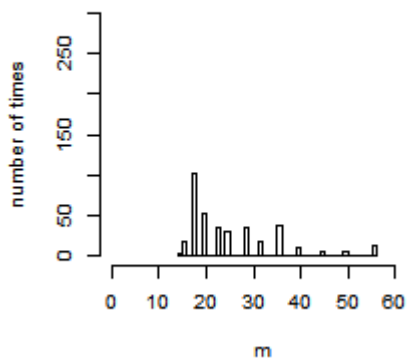
D.4_000000010



D.4_000000009



D.4_000000007



D.4_000000008

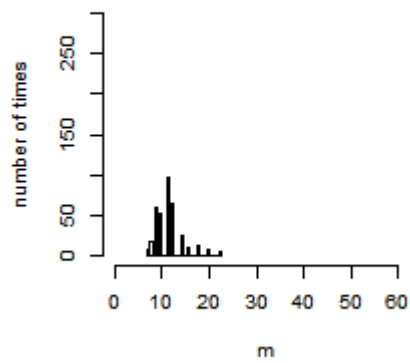


図 79 D-4 実験結果 (ヒストグラム)

BLE 電波到来角と誤差の関係を図 80、表 17 に示す。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(図 65~図 79 の中央値と実際の距離より算出)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。

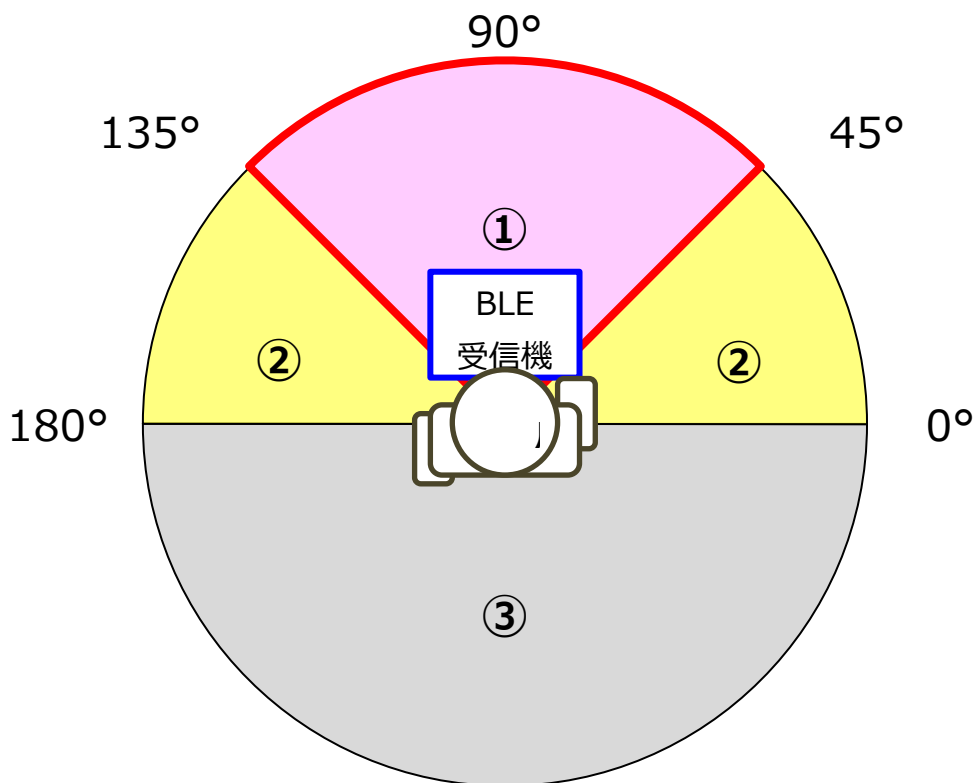


図 80 BLE 電波到来方向の区画分け

表 17 BLE 電波到来方向毎の誤差

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%

3.4 まとめ及び考察

実験結果から、歩行者の前面である④（45°～135°）区画以外は誤差が大きく、BLE ビーコンの電界強度で位置を測位する事は困難であると考えられる。これは、人体が遮蔽物とな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事が原因である。しかしながら、この人体が遮蔽になる際に受信強度が大きく減衰する事や、図 60 に示す変化量が多い領域を利用し、ビーコン横の通過を検知する事が出来る可能性がある。これが可能であれば、ビーコンを横断歩道の入り口などに設置する事により、横断歩道への出入りを把握することが可能になると考えている。

3.5 交差点における位置測位方式の検討

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。来年度は、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内の位置測位の構成図及び、動作シーケンスを図 82 に示す。

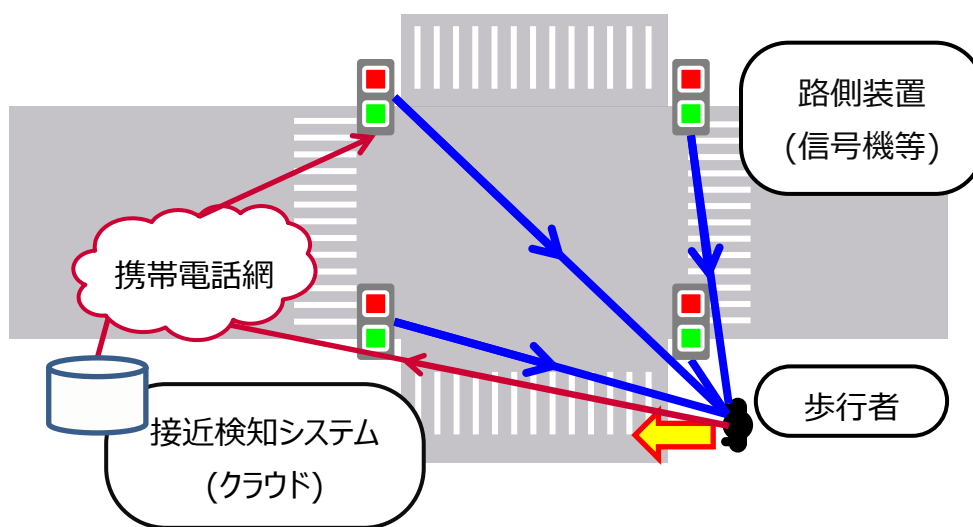


図 81 交差点エリア内における位置測位システムの構成図

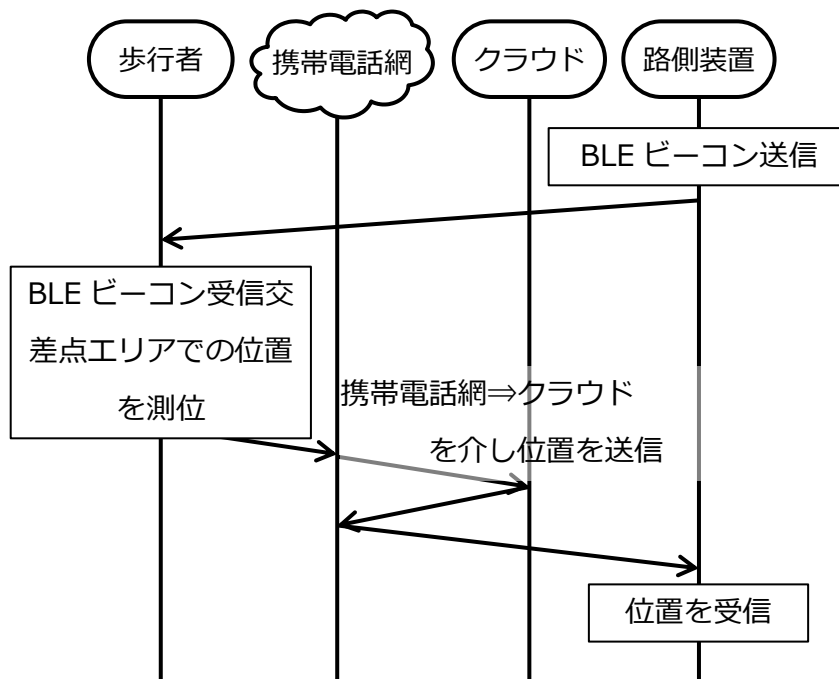


図 82 交差点エリア内における位置測位システムのシーケンス図

また、研究内容の応用を表 18 に示す。

表 18 研究内容の応用

要素技術	H27 年度までの研究開発内容	H28 年度の研究開発内容
GPS	歩行者の位置測位	同左
BLE	歩行者対歩行者の相対位置測位および衝突検知	信号機エリアでの歩行者位置測位
動体推定	歩行者対歩行者の移動予測による衝突検知	信号機エリアへの進入方向の推定
通知機能	危険判定後の警告音	—

【方式検討】

平成 28 年度に向け、交差点内の位置測位の方式を検討した（表 19）。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 20）。

表 19 検討方式一覧

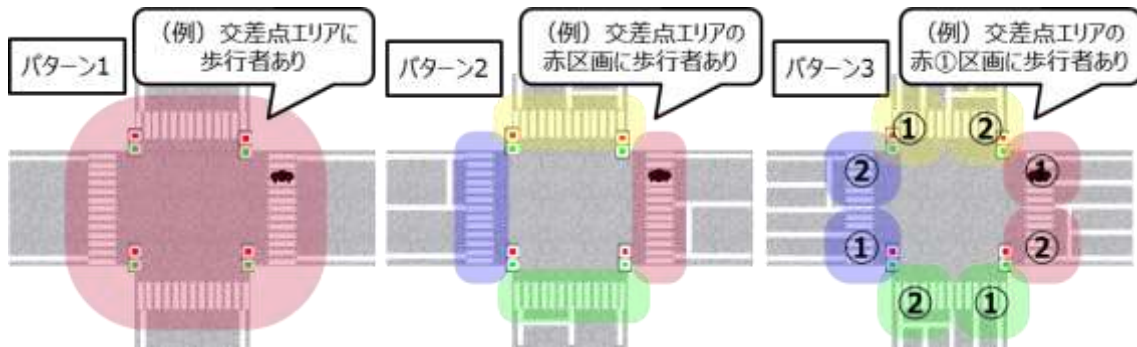
方式	項目名	歩行者	路側装置	位置測位算出装置	位置情報送信媒体
方式 1	歩行者受信型	BLE 受信	BLE 送信	歩行者装置 又は、クラウド	携帯電話網
方式 2	歩行者送信型	BLE 送信	BLE 受信	路側装置	不要
方式 3	双方向通信型	BLE 送受信		歩行者装置 又は、路側装置	BLE

表 20 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・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。

【交差点パターンの見極め】

交差点の大きさおよび位置測位レベル（交差点のどのエリアか）の組み合わせ、各パターンにおける交通事故削減の寄与率等を鑑み、対象パターンの見極めを行う。



分類名	メッシュの大きさ	想定している交差点の大きさ	交通事故件数 [6]
パターン 1	1 分割	小(5.5m 未満)	10% (15,019)
パターン 2	4 分割		
パターン 3	8 分割	中(5.5m~13m)	57% (81,911)
		大(13m 以上)	33% (46,886)

図 83 交差点パターン

4 参考文献

- [1] 消費者庁, “電動車いすを使用中に死亡事故が発生しています!” 27 11 2012. [オンライン]. Available: <https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/45093.pdf>.
- [2] 警察庁, “最近の交通事故の実態,” 1 4 2015. [オンライン]. Available: http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku12/shi_04jikojittai.pdf.
- [3] R.E.Kalman, “A new approach to Linear Filtering and Prediction Problems,” Trans.ASME-journal of Basic Engineering, Vol.82,no.series-D, 1960.
- [4] 警察庁, “平成 27 年版 警察白書,” 9 2 2016. [オンライン]. Available: <https://www.npa.go.jp/hakusyo/h27/index.html>.
- [5] 内閣府, “平成 27 年交通安全白書,” 6 2015. [オンライン]. Available: http://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/h27kou_haku/zenbun/index.html.
- [6] 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].

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/>