

卒業論文 2003年度(平成15年度)

インターネット環境下における
RFID タグを用いた 位置情報取得に関する研究

指導教員

慶應義塾大学 環境情報学部

村井 純

徳田 英幸

楠本 博之

中村 修

南 政樹

慶應義塾大学 環境情報学部

金子 紘子

t00247hk@sfc.keio.ac.jp

平成16年1月15日

インターネット環境下における RFID タグを用いた 位置情報取得に関する研究

論文要旨

位置情報取得に関するシステムには GPS や Pseudolite など様々なものが挙げられるが、それぞれに検出範囲や精度、コストなどの点で一長一短が存在する。また、現在の位置情報取得システムは、自動車や船などの移動体をナビゲーションすることがターゲットとなっており、歩行者が利用できる位置情報取得システムは限られている。

そこで本研究では、歩行者を対象とした安価で移動速度・測定範囲に対して許容性の高い位置検出手法として、RFID タグを用いたシステムを提案した。従来の RFID タグはリーダーと呼ばれる識別装置を設置し、その検出範囲内のタグの存在を確認するという利用法が主である。しかし、本研究では、RFID タグを空間に設置し、歩行者が RFID リーダーを持って移動することで、周辺に存在する RFID タグを検出し、その RFID タグの情報をインターネット上の位置情報データベースと照合することによって位置を検出する利用法を提案した。

本研究では、RFID による位置情報取得システムの実現可能性を検証するための実証実験を行った。まず、RFID による位置情報取得システムのパラメータを整理し、歩行者の位置検出に適した RFID タグおよびリーダーを選定した。その後、想定する移動速度毎に、RFID タグを設置する際の間隔について複数の実験を行った。

実証実験によって、一般的な歩行者の移動速度下においては、RFID タグによって十分な精度での位置取得が可能であることが検証できた。

キーワード

- 1 . 移動体支援
- 2 . RFID システム
- 3 . RFID タグの配置間隔
- 4 . 移動体速度
- 5 . インターネット

慶應義塾大学 環境情報学部

金子 紘子

A Research of Positioning by Using Radio-Frequency ID Tags on the Internet

Summary

GPS and Pseudolite are two of the many positioning systems currently being developed. However, each system has drawbacks and advantages in the measuring range, the accuracy and the cost. Moreover, since the proposed systems are targeted to be used for navigation in vehicles and ships, very few systems are available for use by pedestrians.

In this research, we propose a positioning system using RFID tags as an inexpensive method to measuring, and also sufficient measurable range both to moving objects. RFID is commonly used by setting the tag reader, and detecting the tags within the area of the reader. In this research, we propose to distribute RFID tags, and then detect the tags by having the pedestrians carry the RFID reader. The information of the detected tags are sent and mapped with the database server on the Internet, to provide location information.

As an evaluational experiment, the average detection rate of the RFID tags was measured under an experimental environment to see the possibility for use as a positioning system. The RFID reader was carried by pedestrians and vehicles at an assumed speed, and detected RFID tags placed at certain intervals.

From this research, it was verified that RFID tags, assumed to be embedded in mobile terminals and wearable devices, can be used as a sufficient position system and its output level. In the future, if the RFID reader were miniaturized and equipped on PDA or wearable devices, this system will become a useful detecting device.

Keywords

- 1 . Mobility Support
- 2 . RFID system
- 3 . The Arrangement of RFID Tags
- 4 . The Speed of the Mobility
- 5 . Internet

Faculty of Environmental Information, Keio University

Hiroko Kaneko

目次

第 1 章 序論

- 1.1 本研究の背景
- 1.2 本研究の目的
- 1.3 本論文の構成

第 2 章 位置情報取得に関するシステム

- 2.1 本研究が想定する位置情報測位システム
- 2.2 位置情報取得システムの整理
- 2.3 位置測位衛星を用いた測位
 - 2.2.1 GPS (Global Positioning System)
 - 2.2.2 Pseudolite
- 2.4 位置測位衛星を用いた測位
- 2.5 RFID システムを用いた位置測位
 - 2.4.1 韓国 ROTIS
 - 2.4.2 NaviGeta
- 2.6 位置情報取得システムのまとめ

第 3 章 RFID タグを用いた位置情報取得システム

- 3.1 システム概要
- 3.2 本研究で用いる RFID システム
 - 3.2.1 RFID タグ
 - 3.2.2 RFID リーダー

第 4 章 実験環境の設計及び構築

- 4.1 実験環境の設計
 - 4.1.1 RFID タグの配置間隔
 - 4.1.2 RFID リーダーの移動速度
- 4.2 実験環境の構築
 - 4.2.1 プレ実験
 - 4.2.2 RFID タグを用いた位置情報取得に関する実験

第 5 章 実験の結果及び評価

- 5.1 実験の結果

第 6 章 実験の結果及び評価

6.1 RFID タグの検出回数の評価

6.2 誤差の評価

第 7 章 結論

7.1 まとめ

7.2 今後の課題と展望

目次

- 1.1 RFID タグによる位置検出「自動車への応用例」
- 1.2 RFID タグによる位置検出「歩行者や自転車への応用例」

- 2.1 GPS の位置情報取得方法
- 2.2 Pseudolite の位置情報取得方法
- 2.3 携帯電話や PHS の公衆基地局を用いた位置情報取得方法
- 2.4 ROTIS の MBS システム
- 2.5 実験で使用された円盤型 RFID タグ(右)とその内部(左)
- 2.6 RFID を裏に取り付けたID カーペット(左)と、その配置(右)。
- 2.7 RFID リーダーを取り付けた履物, NaviGeta

- 3.1 RFCode 社のスパイダー・システム RFID タグ(左)と RFID リーダー(右)

- 4.1 実験の内容
- 4.2 RFID リーダーの検出結果
- 4.4 実験風景 (RFID タグを 2m 間隔で配置し, 時速 4km で移動した時の様子)

- 5.1 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 1
- 5.2 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 2
- 5.3 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 3
- 5.4 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 4.8km 全試行
- 5.5 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 1
- 5.6 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 1
- 5.7 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 1
- 5.8 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 4.8km 試行 1
- 5.9 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.10 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.11 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.12 タグ配置間隔:2m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.13 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.14 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.15 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1
- 5.16 タグ配置間隔:4m リーダー移動速度: 時速 9.6km 試行 1

表目次

- 2.1 位置情報取得システムの整理
- 2.2 位置情報取得システムの汎用性の議論
- 2.3 位置情報取得システムの汎用性のまとめ

- 5.1 RFID タグ 2m 間隔, RFID リーダー 時速 4km 移動
- 5.2 RFID タグ 10m 間隔, RFID リーダー 時速 4km 移動
- 5.3 RFID タグ 50m 間隔, RFID リーダー 時速 4km 移動
- 5.4 RFID タグ 2m 間隔, RFID リーダー 時速 20km 移動
- 5.5 RFID タグ 10m 間隔, RFID リーダー 時速 20km 移動
- 5.6 RFID タグ 50m 間隔, RFID リーダー 時速 20km 移動
- 5.7 RFID タグ 2m 間隔, RFID リーダー 時速 40km 移動
- 5.8 RFID タグ 10m 間隔, RFID リーダー 時速 40km 移動
- 5.9 RFID タグ 50m 間隔, RFID リーダー 時速 40km 移動
- 5.10 実験結果 タグの検出

第 1 章 序論

本章では、本研究の背景と目的を述べる。また、本論文の構成について述べる。

1.1 本研究の背景

現在、位置情報を提供することにより移動体を支援するシステムには、GPS(Global Positioning System)を利用したカーナビや、ビーコンとの通信を利用した車体の運転補助システム、RFID タグを利用した電子白杖や車椅子用の道案内などがある。こうした移動体支援システムは、日常生活における効率的な物流や高齢者や障害者のバリアフリーな生活を支える重要な基盤である。そのため、精確で手軽に利用できる位置情報取得システムの開発が求められる。

その位置情報取得システムには様々な物があり、代表例としては、GPSやPseudolite(擬似衛星)[13]、携帯電話やPHS(Personal Handy phone System)の公衆基地局との通信システムなどが挙げられる。しかし、これらは精度や位置取得範囲、コストの面で一長一短の性質を持つ。例えばGPSは、衛星から送られてくる電波をもとに測位計算を行うため、トンネルの中やビルの谷間、木陰や建物の中など、衛星との間に遮蔽物がある環境では機能しない。また、発信された電波は大気圏を通過するため、天候によっても精度が左右し、測定値は多少の誤差を含む。Pseudoliteは、GPSの捕捉衛星数が減少する場所に設置することで、位置特定領域を拡大する機能を持つが、システム設置作業が大掛かりなものとなり技術的コストも高くなる。また、携帯電話やPHSの公衆基地局との通信で位置情報を得るシステムも、地下鉄やビル内などGPSが使えない環境で位置情報を取得できるという利点はあるが、40m程の誤差を生じ、精確な位置の特定は困難となる。

今後の社会基盤として注目されているITS(Intelligent Transport System)[2]では、こうした複数の位置情報取得システムをニーズや用途に合わせて選択、あるいは柔軟に組み合わせ合わせて相互に補完し合ったり、ジャイロと呼ばれる測定航法で補ったりする形で解決している。しかし、これらのシステムはそれぞれが独自の規格で作られており、システムごと、アプリケーションごとにそれぞれの受信機を保有する必要がある。また、現在は自動車の運転支援に特化した形となっているため、歩行者や自転車など全ての移動体支援を行うまでに至っていない。

そこで、安価で移動速度・測定範囲に対して許容性の高い位置検出の実現のため、本研究ではRFID(Radio Frequency IDentification)タグを用いたシステムを提案し、実証実験を行って位置情報取得システムとしての評価を行うことにする。

1.2 本研究の目的

本研究では、歩行者を対象とした安価で移動速度・測定範囲に対して許容性の高い位置検出の手法として、RFID タグを用いたシステムの実現を目指す。

現在、歩行者が利用できる位置情報取得システムには、利用目的を絞らない測位情報を利用するものと、電子白杖システムなどの利用目的を特化したものがある。利用目的を絞らない測位情報としてはGPSなどが挙げられるが、これらは歩行者が利用することを想定すると、誤差が大きく必要な精度が得られなかったり、ビルの陰や地下等では利用できなかったりといった問題がある。一方、電子白杖システムなどに関しては、利用に際して制限が多く、容易に利用できるシステムとは言い難い。

そこで、本研究では、RFID タグを空間に設置して歩行者を対象とした汎用性のある位置測位基盤を構築することを提案し、その実現可能性を検証する。従来のRFID タグはリーダーと呼ばれる識別装置を設置し、その検出範囲内のタグの存在を確認するという利用法が主である。しかし、本研究では、RFID タグを空間に設置し、歩行者がRFID リーダーを持って移動することで、周辺に存在するRFID タグを検出し、そのRFID タグの情報をインターネット上の位置情報データベースと照合することによって位置を検出することを想定し、その際のRFID タグの設置手法に関して検証を行う。

そこで、本研究では、RFID タグを空間に設置して歩行者を対象とした汎用性のある位置測位基盤を構築することを提案し、その実現可能性を検証する。従来のRFID タグはリーダーと呼ばれる識別装置を設置し、その検出範囲内のタグの存在を確認するという利用法が主である。しかし、本研究では、RFID タグを空間に設置し、歩行者がRFID リーダーを持って移動することで、周辺に存在するRFID タグを検出し、そのRFID タグの情報をインターネット上の位置情報データベースと照合することによって位置を検出する手法をとる。具体には、本研究では歩行者の現在位置・移動軌跡の検出や目的地までのナビゲーションを行うアプリケーションを想定し、RFID タグを実空間に配置し、位置情報取得システム構築の実現可能性を検証する。

1.3 本論文の構成

本論文は、次のように構成されている。第2章で、位置情報取得に関する様々なシステムについて概観し、その後第3章で本研究で使用するRFID タグの技術の特徴を述べる。次に第4章では、本研究で設計、構築した実験環境について示し、第5章で、その実験の結果と評価を示す。最後に第6章において、本研究のまとめと今後の課題と展望について述べる。

第2章 位置情報取得に関するシステム

本章では、まず、本研究が想定する RFID タグによる汎用的な位置情報取得システムについて述べる。次に、現在使われている代表的な位置情報取得システムについて概観し、その特徴をまとめる。

2.1 本研究が想定する位置情報取得システム環境

RFID タグは、個を識別可能な個別 ID を持つ。そこで、RFID タグを特定の場所に設置し、その個別 ID を位置情報と対応させれば、移動体の位置が検出できる。また、前述の GPS 等の機器に比べて安価であるため、必要に応じて路上や信号機、建築物等に RFID タグを多数設置して利用することも容易となる。

RFID タグを用いた位置検出を車社会へ応用させると、図 2.1 のように自動車に RFID リーダーを搭載することによって、GPS では位置が検出できないトンネルの中やビルの谷間、木陰や地下駐車場でもシームレスに位置情報が検出できるようになる。

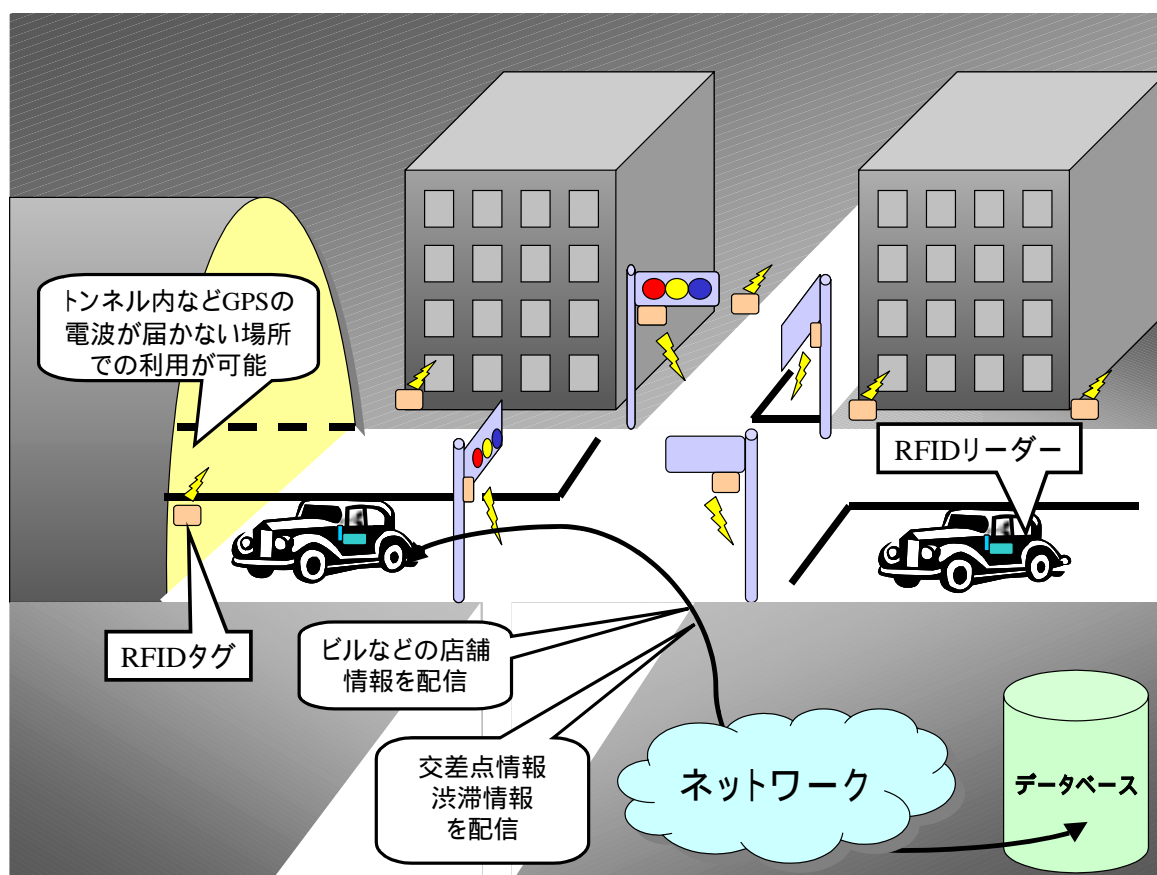


図 2.1： RFID タグによる位置検出「自動車への応用例」

歩行者や自転車への応用例としては、図 2.2 のように、RFID タグの配置間隔を調節することで精確な位置を検出する、あるいは、室内において一階と二階といった Z 軸表現が可能となるといった利点が挙げられる。また、自転車レースやマラソン競技など[11]で、大規模なシステムを使わずに RFID タグをレースごとに任意に配置して、競技者の位置をリアルタイムに検出することも可能となる。

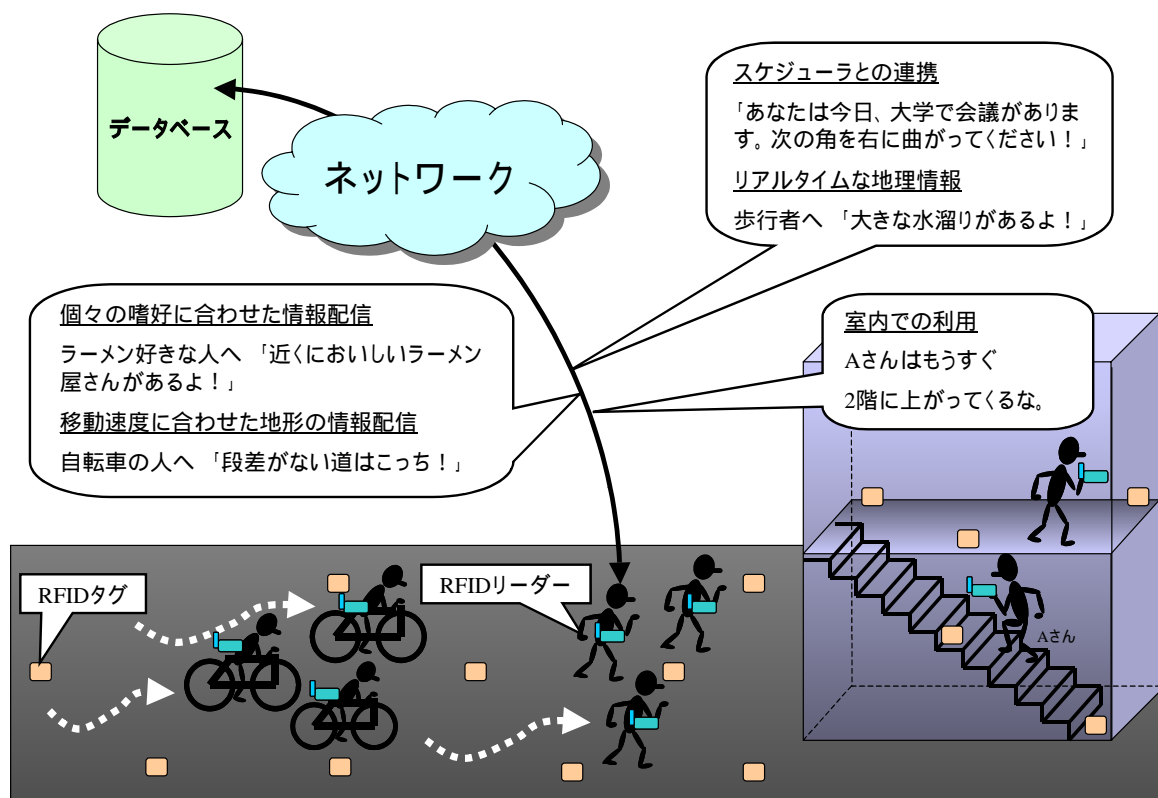


図 2.2： RFID タグによる位置検出「歩行者や自転車への応用例」

また、将来 RFID リーダーが小型化し、携帯電話やウェアラブル機器などに組み込まれれば、応用例は更に広がる。RFID タグから読み取られた位置情報を、インターネット等のネットワークを介してサーバ内の個別なスケジュールなどのデータベースと連携させれば、個々の日時における移動先の指定や移動方法が提示でき、個々の嗜好に合わせた情報の配信や、移動体の速度に合わせた情報の配信も実現できる。

このように、RFID タグを配置して RFID リーダーで読み取る手法により、移動速度も測定範囲も容易に拡張できる位置情報取得システムが実現できる。そして今後インターネット ITS における移動体通信環境において活用されれば、より実用性の高い移動体支援も可能となる。

2.2 位置情報取得システムの整理

現在使われている位置情報取得システムには様々な種類がある．代表的なものを表 2.1 に挙げる．

表 2.1： 位置情報取得システムの整理

位置測位衛星を用いた測位	GPS
	Pseudolite
通信基地局を用いた測位	携帯電話
	PHS
RFID システムを用いた位置測位	NaviGeta
	韓国 ROTIS

代表的なものとして，位置測位衛星を用いた測位，通信基地局を用いた測位，RFID システムを用いた測位を挙げたが，これらは精度や位置取得範囲，コストの面で一長一短の性質を持つ．そこで，これらのシステムについて概観した後，それらの汎用性を表 2.2 に挙げる 3 点を中心に議論し，まとめていくことにする．

表 2.2： 位置情報取得システムの汎用性の議論

位置情報取得範囲	位置情報が取得できる範囲（屋内・屋外）
精度	精確に位置を通知できるか
コスト	システム設置・運用にかかるコスト
スケーラビリティ	システムの規模性

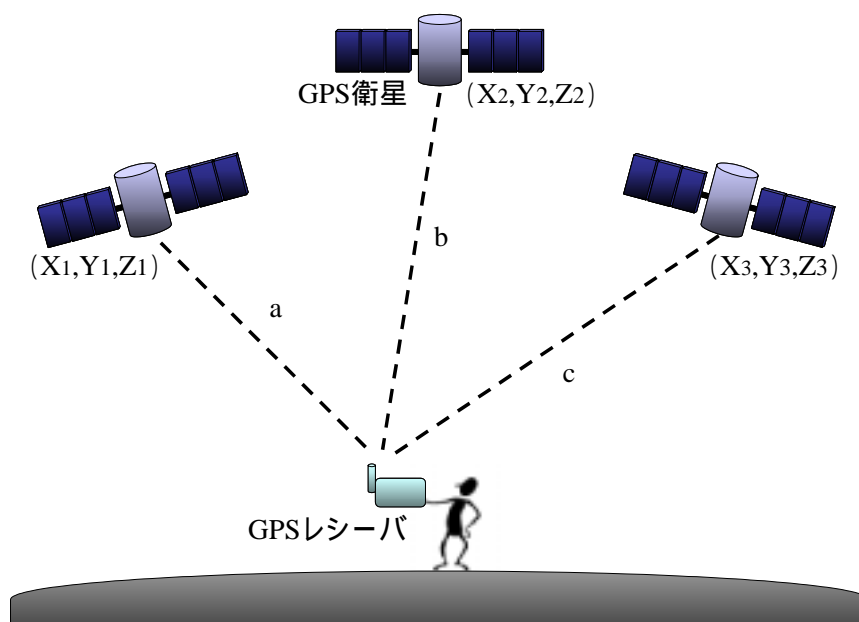
2.3 位置測位衛星を用いた測位

本節では，衛星からの電波を用いて測位する GPS と，GPS と同電波を発することにより GPS を補完する働きを持つ Pseudolite について述べる．

2.3.1 GPS (Global Positioning System)

GPS (Global Positioning System)とは、地球の軌道を周回する 24 個の衛星から地上に向けて放射される電波を利用して、受信機の位置情報（緯度・経度・高度）を取得するための大規模なシステムである。このシステムの概要を図 2.3 に示す。GPS 衛星は米国国防総省が開発・運営しており、地上約 20,000km 上空の決められた位置を周回しながらその位置や時刻などの情報を送信している。GPS 衛星から電波が送信されて受信機に到達するまでに要した時間を測り、GPS 衛星との距離に変換する。その際、少なくとも同時に 3 個以上の GPS 衛星を捉えることが要求される。

そのため、トンネルの中やビルの谷間、木陰や建物の中など、GPS 衛星との間に遮蔽物がある環境ではこのシステムは機能しない。また、衛星から発信された電波は大気圏を通過するため、天候によっても精度が左右し、測定値は 10m 程度の誤差を含む場合がある。



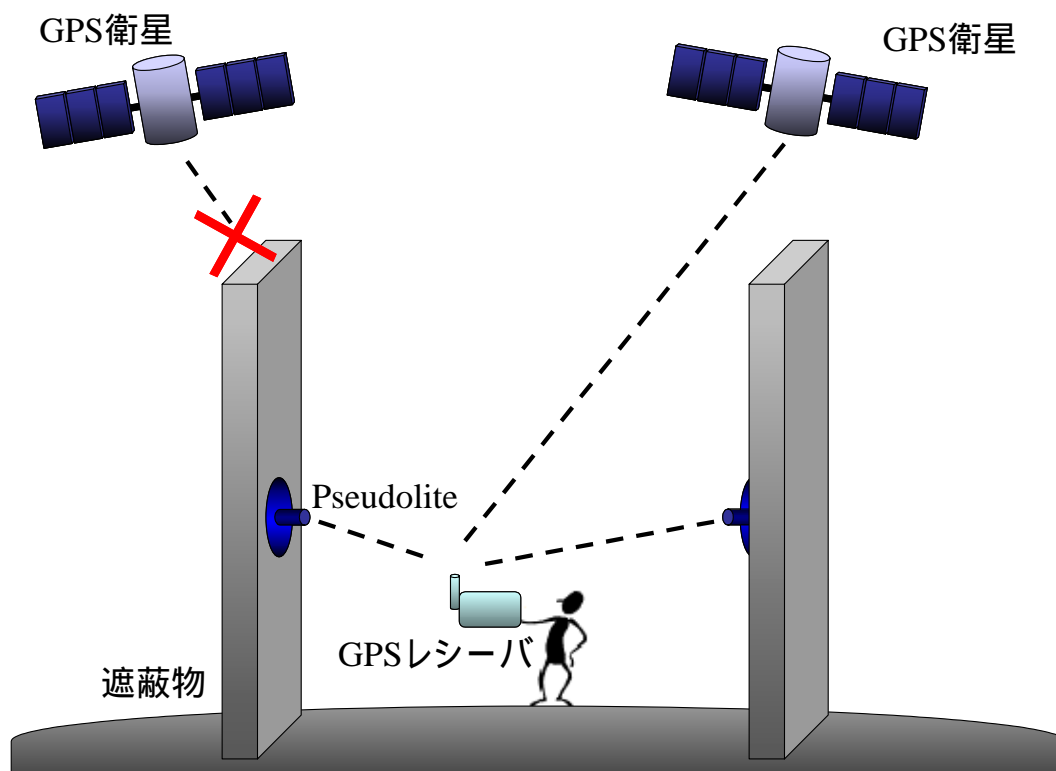
既知である GPS 衛星の位置(X,Y,Z)と受信機との距離を求め、位置情報を算出する。

図 2.3 : GPS の位置情報取得方法

2.3.2 Pseudolite

Pseudoliteは、GPS衛星と同じ電波を発信し、GPSの捕捉衛星数が減少する場所に設置することで、遮蔽物によって遮断されたGPS信号を補完し、位置特定領域を拡大する機能を持つ。GPS衛星からの電波が遮断された場合におけるPseudoliteの動作概要を図2.4に示す。GPSの受信機が高速度の移動を伴うと、位置特定演算が収束する前にPseudoliteのシステム前を通過することになってしまうため、位置特定が困難になるという課題はある

が、Pseudoliteの測位誤差は40cm以下となっており、高精度な測位が実現できる。現在では、自動車のカーナビ(Car Navigation System)の位置検出として利用されるだけでなく、歩行者がビル街や屋内などでシームレスに利用できるよう研究が進められている。しかし、システム設置作業が大掛かりなものとなり、多数設置する場合には技術的コストが高くなるという問題点がある。



GPS 衛星からの電波が受信できない場合、Pseudolite を設置することにより遮断された GPS 信号を補完する役割を担う

図 2.4 : Pseudolite の位置情報取得方法

2.4 携帯電話や PHS の通信基地局を用いた測位

携帯電話や PHS の公衆基地局との通信により位置情報を取得するシステムは、1 台の公衆基地局がカバーするエリアが小さいという特徴を活かして携帯電話や PHS 受信機の所在位置情報を提供するものである。そのシステムの概要を図 2.5 に示す。受信機がどの公衆基地局と通信しているかで大まかに位置を把握する方法や受信機の電波の強さに

よって公衆基地局との距離を算出する方法が採られている。携帯電話や PHS の公衆基地局は地下鉄やビル内などにも多数設置されており、GPS が使えない環境でも位置情報を取得できるという利点はあるが、最大 40m の誤差を生じ、精確な位置の特定は困難となる。

そこで現在では主に、宅配業や運輸業、社外で活動する従業員や車両の移動状況を把握する必要のある業種、介護の必要な障害者や高齢者等の探索など、PHS を持つユーザの位置を他の人が確認するという形で利用されている。

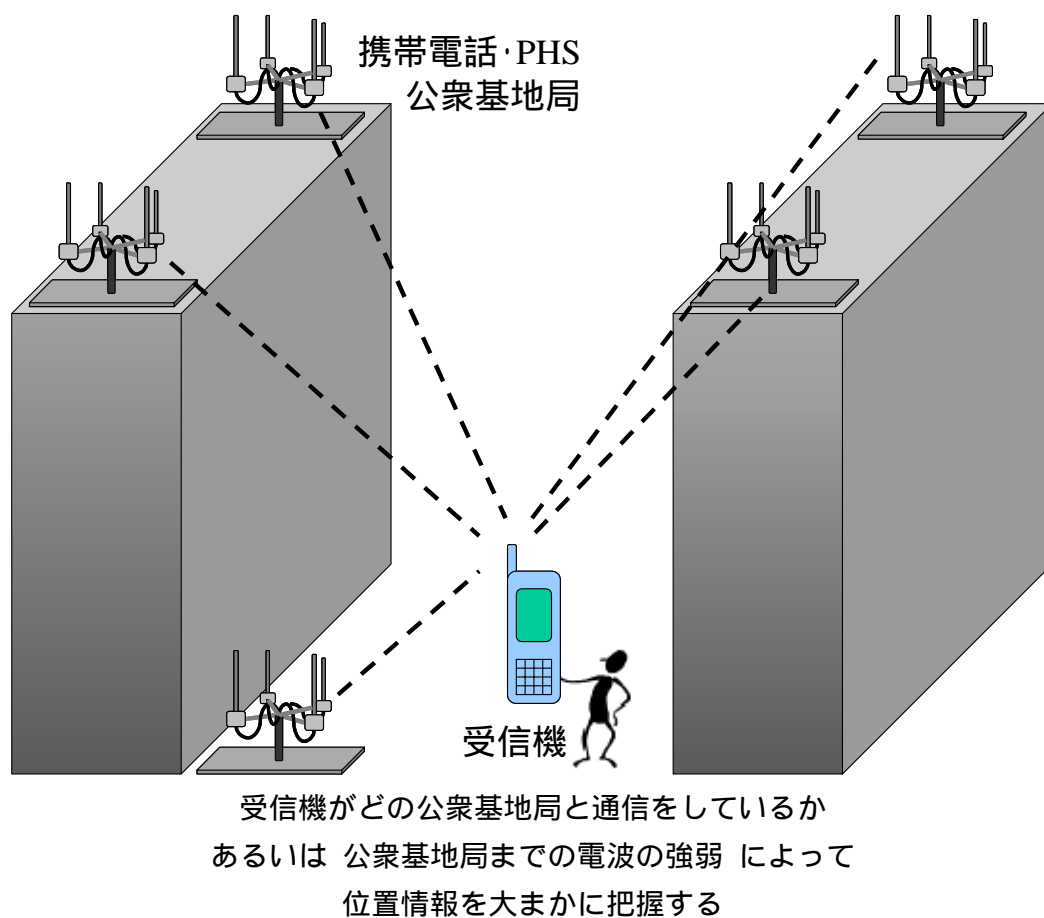


図 2.5： 携帯電話や PHS の公衆基地局を用いた位置情報取得方法

2.5 RFID システムを用いた位置測位

本節では、RFID システムを用いた位置測位として、現在韓国で実用化されている ROTIS 社[7][8]の MBS と呼ばれるシステムと、日本でソニーコンピュータサイエンス研究所を中心に行われた位置測位実験 NaviGeta について述べる。

2.5.1 韓国 ROTIS

韓国の ROTIS (Road Traffic Information Systems) は、韓国の交通情報提供システムの開発を進めている。図2.6にシステムの概要を示す。各交差点の一箇所にロケーションビーコンと呼ばれる送信機を設置しておき、車載器を積んだ車がロケーションビーコンの通信エリアに入ってくると、そのロケーションビーコンから進入した交差点の識別情報が送られる。そしてその情報と情報取得時刻が、MBS (Mini Base Station) という複数の交差点を管理している中継基地アンテナに送られる。MBS は随時車の位置情報と時刻を取得して中央センターに送り、交差点間の通過時間を算出する。

路上に設置されているビーコンは $5 \times 5 \times 10\text{cm}$ 程度、車載機は $10 \times 10 \times 5\text{cm}$ 程度、MBS アンテナは $30 \times 30 \times 5\text{cm}$ 程度の大きさとなっており、比較的大規模なシステムであるものの、現在はソウル市内の数千箇所をカバーするに至っている。そして、このシステムからの情報をもとに位置検索をはじめ、バスの情報提供やタクシーのコールサービス、盗難車のトラッキングなど様々なアプリケーションが提供されている。

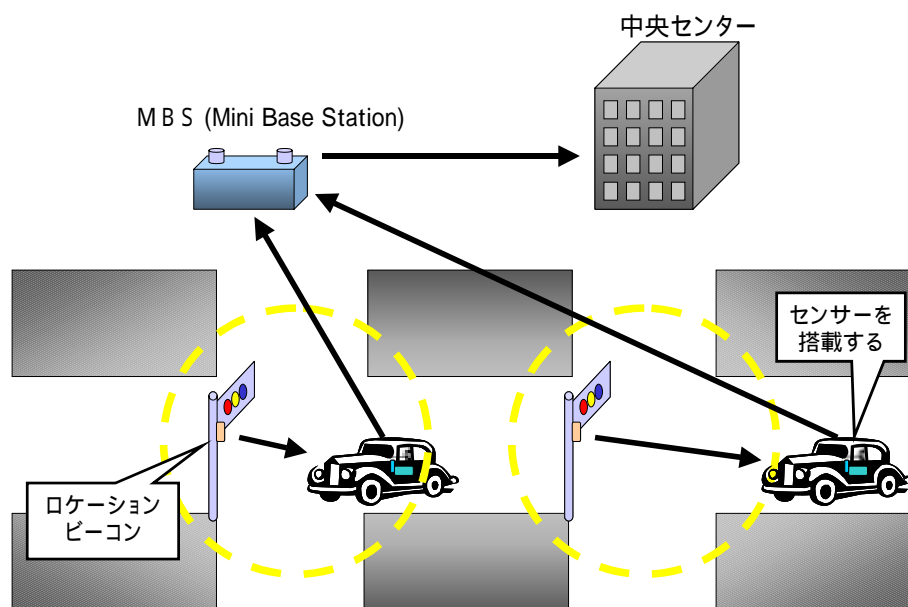


図 2.6 : ROTIS の MBS システム

2.5.2 NaviGeta

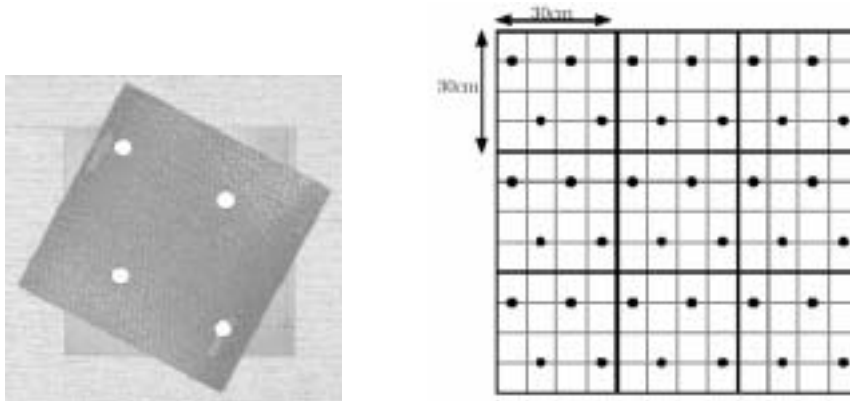
NaviGeta[14]は、日本のソニーコンピュータサイエンス研究所と玉川大学工学部で研究が成された、人の履物にRFIDリーダーを取り付け、床に複数貼付されたRFIDタグを読み取ってユーザの位置を検出する実験用試作システムである。この研究では、試作されたNaviGetaを履いて歩行した際の、床のRFIDタグの検出率を測る実験と評価が成されている。実験の結果としては、RFIDタグの密度を上げれば位置測定解像度が上げられるという、コストと精度のトレードオフはあるものの、様々な方面の位置検出に応用可能な実用的な方式であることが示されている。

NaviGetaの実験では、図2.7に示す円盤形の無電源RFIDタグ(直径23mm, 厚さ1.2mm)と、RFIDリーダー(40×53×23mm)が使用されている。通信可能な範囲は、RFIDリーダーの前面、直径と高さがほぼ40mmの円柱の範囲であり、通信に必要な時間は、電力供給に66ms、データ読み出しに8Byteあたり48msかかるので、この範囲にRFIDタグが114ms以上留まっていれば、8Byteの情報を読み出せる、となっている。



図2.7: 実験で使用された円盤型RFIDタグ(右)とその内部(左)

人の位置を検出できる床面を作る目的で、一辺が30cmの正方形のカーペットに一枚あたり4個のRFIDタグを取り付けたIDカーペットを試作して、1.5×1.5mの床に敷設している。タグにはそれぞれ個別のIDを書き込んでおき、RFIDリーダーで読み取れば、カーペット上のリーダーの位置を15cmの解像度で求めることができるようになっている。そのRFIDタグは、正方形格子状ではなく図2.8のように交互にずらして配置することにより、円形の検出範囲を持つRFIDタグ同士の干渉を低減する効果を持たせている。



RFIDタグ(黒丸)は干渉を減らす効果を狙って交互に配置してある。

図2.8： RFIDを裏に取りつけたIDカーペット(左)と、その配置(右)。

次に、IDカーペット上でのユーザの位置を検出するウェアラブルなデバイスとして、図2.9に示すRFIDリーダー組み込み履物、NaviGeta を試作している。RFIDリーダーのアンテナ面が床面から1 mm程度の高さになるよう、下駄の歯の間にRFIDリーダーが取り付けられている。このRFIDの検出範囲は、RFIDタグ一つにつき、半径20mmの範囲、約13 平方cmの領域であり、IDカーペット上を歩行すると5.6%の確率でRFIDの読み取り範囲に足を降ろすことになり、そのうちの約50%以上にわたって靴裏と床の高さがRFIDタグの読み取り範囲に収まるという。

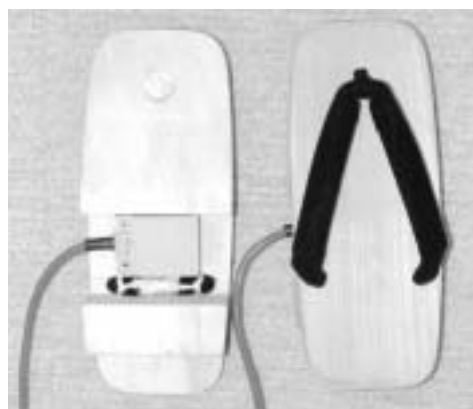


図2.9： RFID リーダーを取りつけた履物，NaviGeta

そして実際にNaviGeta を装着した被験者にIDカーペットの上を歩行してもらい、RFIDタグの読み取り回数を測定したところ、100 歩の歩行のうち1/3 以上の頻度でRFIDタグを読み取れたという。途中、読み取り距離内での十分な停滞時間が得られなかった場合に、RFIDタグが検出されないことがあったが、これはRFIDタグの密度を上げて位置測定解像度を上げることで、検出回数も増加させられるとしている。また、RFIDリーダーの検知範囲を広げることによって、位置精度は低下するが、検出回数を増加させることもできるという。

以上の実験から、RFID タグの密度を上げれば位置測定解像度が上げられるという、コストと精度のトレードオフはあるものの、安価で測定範囲を容易に拡張できる位置検出手法として、RFID タグを利用した方式を提案することができる、と示されている。

2.6 位置情報取得システムのまとめ

以上の位置情報取得システムの汎用性を、表 2.3 に挙げた論点をもとに表 2.3 にまとめる。

表 2.3： 位置情報取得システムの汎用性のまとめ

システム		衛星関連		公衆基地局	RFID 関連	
		GPS	Pseudolite	携帯電話・PHS	ROTIS	NaviGeta
位置情報取得範囲	屋外	取得可	取得可	取得可	取得可	取得可
	屋内	取得不可	取得可	取得可	取得可	取得可
精度		高	高	低	低	高
コスト		高	高	低	高	低
スケーラビリティ		高	高	高	高	低

このように、位置情報取得システムには様々な原理と種類があるが、それぞれに一長一短があり、ニーズや用途によってこれらのシステムを選択あるいは柔軟に組み合わせる必要がある。

第3章 RFID タグを用いた 歩行者位置情報取得システム

本章では、本研究で設計する RFID タグを用いた歩行者向け位置情報取得システムの概要と、実験に使用する RFID タグの技術について述べる。

3.1 システム概要

前章で述べたように、既存の位置情報取得システムにはそれぞれに一長一短がある。これらの中で、精度・コスト・スケーラビリティの全てをカバーするシステムは存在しない。また、測位対象となる移動体に大きな機材を搭載する必要がある物が多く、現在のところ歩行者が積極的に測位情報を取得し、活用できているとは言い難い。

そこで本研究では RFID タグを用いた歩行者向けの位置情報取得システムを提案する。

本章で提案するシステムは、複数の安価な RFID タグを地表に配置し、歩行者に RFID リーダーを持たせる手法を採る。歩行者は位置情報が地表の RFID タグを検出することで自身の位置を把握する。実際には、RFID タグに結び付けられた位置情報はデータベースに蓄積されており、インターネットなどのネットワークを介して検出したタグに対応する測位情報とそれに付随する情報を取得する。つまり、RFID タグ自体に位置情報そのものを書き込むわけではないので、本システムをイベント的に用いる場合も、利用の都度データベースに用いるタグに対応した位置情報を入力すればよく、RFID タグ自体への情報の登録は不要である。

既存の RFID リーダーは現在のところまだ大きく、歩行者にとっては便利とは言い難い大きさであるが小型計量化が期待でき、PDA などと組み合わせることで歩行者が無理なく使える測位情報取得システムを実現することが望める。

---絵を入れる---

3.2 本研究で用いる RFID システム

RFID システムは、RFID タグの持つ情報を RFID リーダーからの電磁誘導により非接触で読み書きするシステムであり、バーコードなどと同様、物流、製造、販売、人員管理の場面で利用されている。こうした場面で使われている RFID タグの多くは、RFID リーダーから電磁誘導により供給される電力により、無電源（電池を搭載しない）で動作す

るパッシブタイプの物である。しかしパッシブタイプの RFID システムはタグの検出距離が数十 cm 程度と短く、今回想定するシステムの目的に合致しない。故に今回は以下に示すアクティブタイプの RFID システムを用いる。これは RFID タグ自体に電源を持ちリーダーの給電を待たずに自ら ID 信号を含んだ電波を発するものである。アクティブタイプは一般的に数 m から数十 m のタグ検出距離を期待できる。



図 3.1: RF Code 社のスパイダー・システム RFID タグ(左)と RFID リーダー(右)

出典: RF Code 社 ホームページ

本研究で使用した RF Code 社[4]のスパイダー・システム(図 3.1)はそれぞれ専用の RFID タグと RFID リーダーよりなる。

スパイダー・システムはリーダーの読み取り可能範囲内にある電波を発信しているタグの情報を、システムに通知するように設計されている。RFID タグは、自らの識別情報である ID をあらかじめ設定された周期で電波を利用して通知する。RFID リーダーは、デュアル・チャンネル RF 受信機で、RFID タグの電波発信の周波数に合わせて ID データを受信するよう設定されている。RFID タグが発信すると、RFID リーダーはその ID データを受信し解読する。その後、RFID リーダーは検出した情報を RS-232 シリアル通信でコンピュータに送る、というシステムとなっている。以下に RFID タグと RFID リーダーそれぞれについて見ていく。

3.2.1 RFID タグ

本システムは歩行者をターゲットとする物であり、数秒程度、また 2,3m 程度と高い精度を持つことが望まれる。そのため、タグの発信間隔は小さくある(頻繁に ID を発信する)ことが望まれる。その一方で、発信間隔の小さいタグは当然のことながら電池寿命が短く、コスト高につながる。よって、必要な精度が確保される範囲で可能な限り発信間隔の大きいタグを使う必要がある。

そのバランス点を算出し、今回の実験では以下のような 1.0 秒間隔で発信するタグを用

いることにした。

タグには工場出荷時において ID がすでに焼き込まれており、ユーザ側で使用可能な記憶領域などはない。

タイプ	アクティブ
送信周波数	303.825MHz
発信間隔	1.0 秒
電源	CR2032 リチウムバッテリー
電池寿命	1.9 年 (25 において)

3.2.2 RFID リーダー

スパイダー・システムのリーダーは同時に最大 450 個までのタグを読み取り可能である。

後述する実験では同時に検出されるタグはたかだか数個のはずであり、リーダーの読み取り性能が実験のボトルネックになることは考えにくいといえる。

本実験で RFID リーダーのアンテナは歩行者の歩行の妨げにならない大きさの標準ホイップアンテナを使用した。

リーダーは検出したタグの情報を RS-232C 経由で出力する。

本実験ではそれをノートパソコンで取得した。

今回用いた通信設定は以下の通り。

通信スピード	19200 bps
データビット	8bit
ストップビット	1bit
パリティ	None

第4章 実験環境の設計及び構築

本章では、本研究で行った RFID タグを用いた位置情報取得に関する実験について述べる。

4.1 実験環境の設計

以下に、本研究で行った RFID タグを用いた位置情報取得に関する実験の内容をまとめる。

実験内容

場所：慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス

実験方法：30 個の RFID タグを一定間隔に配置し、RFID リーダーを持って移動してタグの検出される様子を記録する。

RFID タグの配置間隔を 2m、4m の 2 通り、またそれぞれに速度を 4.8km/h と 9.6km/h の 2 通り、計 4 通りの条件で実験を行った。

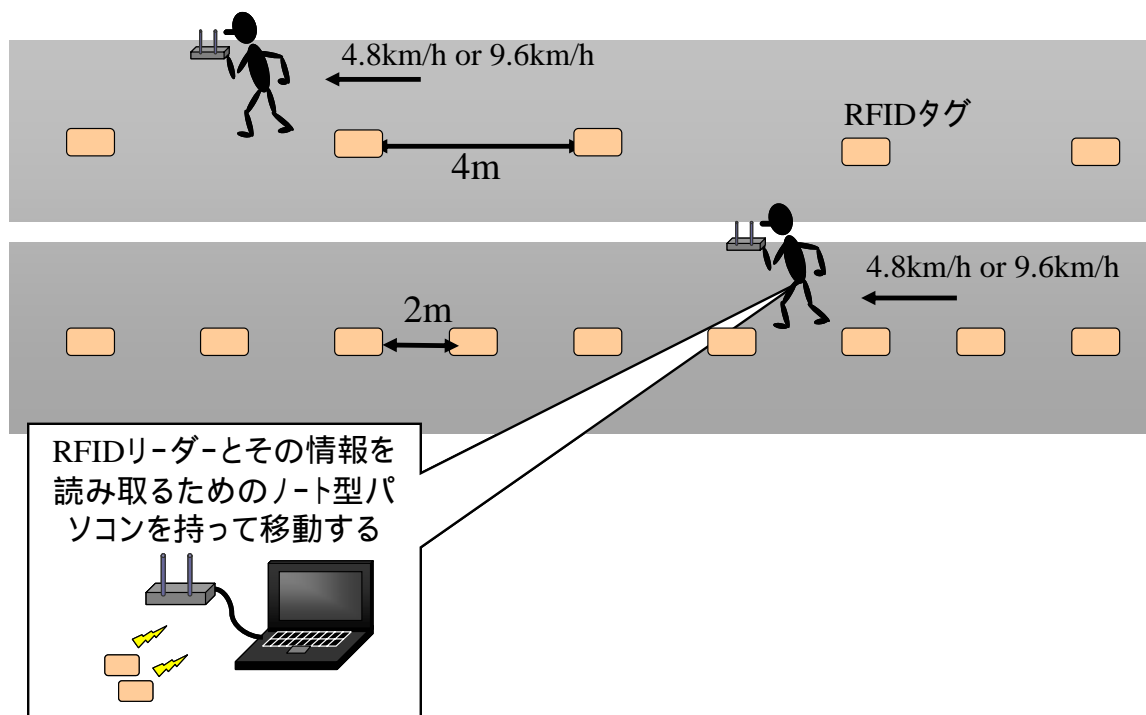


図 4.1： 実験の内容

4.1.1 RFID タグの配置間隔

位置を検出するためには常に1つ以上のRFIDタグを検出できる必要があるが、検出範囲にRFIDタグが多すぎるとRFIDリーダーの読み取り性能がボトルネックになること、また高コストの要因となるので、過密なタグの配置は避けるべきである。

本実験において、RFIDタグの配置間隔は2m、4mの2通りとした。これは、後述の時速4.8km、時速9.6km、それぞれの速度と、用いたRFIDタグの発信間隔から最適値を算出し設定したものである。

4.1.2 RFID リーダーの移動速度

本研究は歩行者を対象とした物であるので、RFIDリーダーの移動速度はあらかじめ被験者の歩行速度を計測し、その速度である4.8km/hと小走りを想定した9.6km/hの2通りで実験した。

4.2 実験環境の構築

以下に、実験環境を構築した際に行ったプレ実験の内容と、本実験の様子をまとめる。

4.2.1 プレ実験

本実験で使用したRFIDタグは、通常のRFIDシステムのようにRFIDリーダーからの電磁誘導により電力が供給される設計が成されていない。そのため、搭載されている電池の残量が少なくなると発信電波が弱くなり、やがては発信をしなくなってしまう。そこで、RFIDタグの精度が電池の残量に影響されることの無いよう、本実験をする前に電池を新しいものに入れ替え、実験機材の性能確認を行った。

次に、RFIDリーダーのアンテナの検出範囲を調べるための実験を行った。RFIDリーダーのアンテナの前面に40cm間隔で1秒間隔発信のRFIDタグを配置し、どのRFIDタグまで検出できるかを調査した。図4.2にその結果を示す。

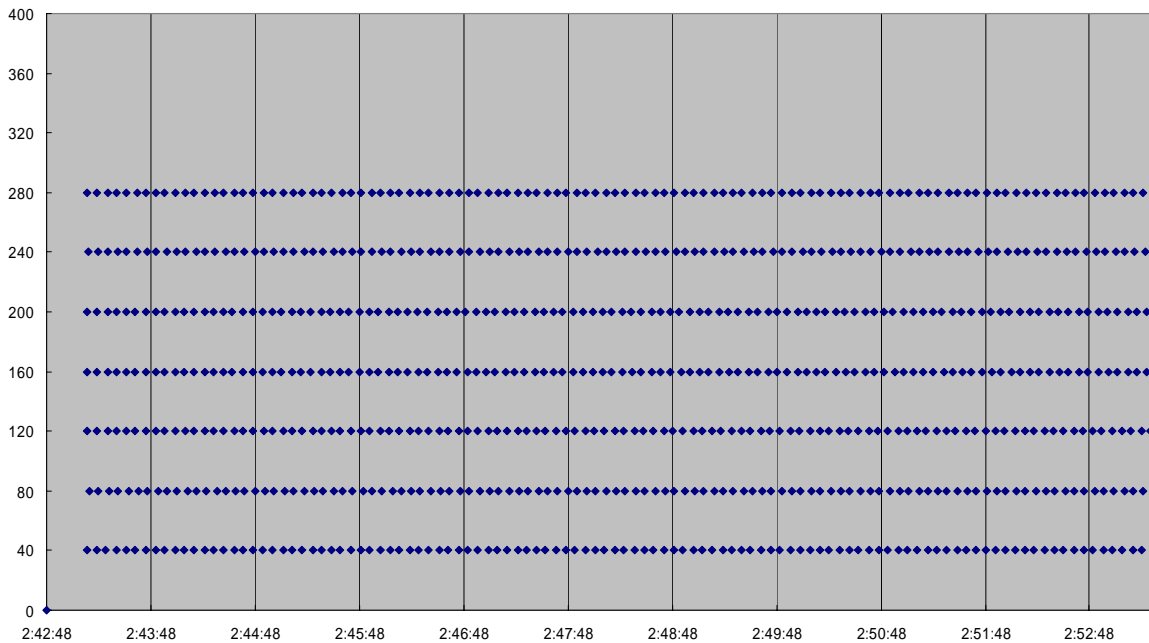


図 4.2 : RFID リーダーの検出結果

縦軸に RFID リーダーからの距離を採り，横軸に時間を示してある．検出された結果を，グラフ上にプロットした．同様に様々な方向で実験を行った結果，リーダーの斜め前方・後方が最も検出距離が長く、2.8m までカバーできることがわかった。本実験ではこの方向が進行方向と平行になるようにリーダーを動かす。

4.2.2 RFID タグを用いた位置情報取得に関する実験

30 個の RFID タグを SFC メビウスリング上に配置し、その上を RFID リーダーとその情報を読み取るノート型パソコンを持って移動した．実験区間は 60m である。この際、できる限り規定の速度を等速で歩くことを心がけたがやむを得ず速度が前後してしまうため、実験区間を通過するのに要した時間を計測し、実際の実験の際の平均速度を算出した。以降、リーダーの移動はその平均速度での等速移動と近似する。



図 4.1： 実験風景 (RFID タグを 2m 間隔で配置し，時速 4km で移動した時の様子)

このようにして，RFID タグの配置間隔と RFID リーダーの移動速度をそれぞれ変えて 4 種類の実験を行った．そして，同一の実験に対し 3 回の試行(試行 1～3)を行った．実験日は 2004 年 1 月 13，14 日の 2 日間で，慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス近辺の天候は晴れであった．それぞれの試行において収集したデータを，次章にまとめる．

第5章 実験の結果

本章では、本研究で行った実験の結果をまとめ、RFID タグの検出率の評価を行う。

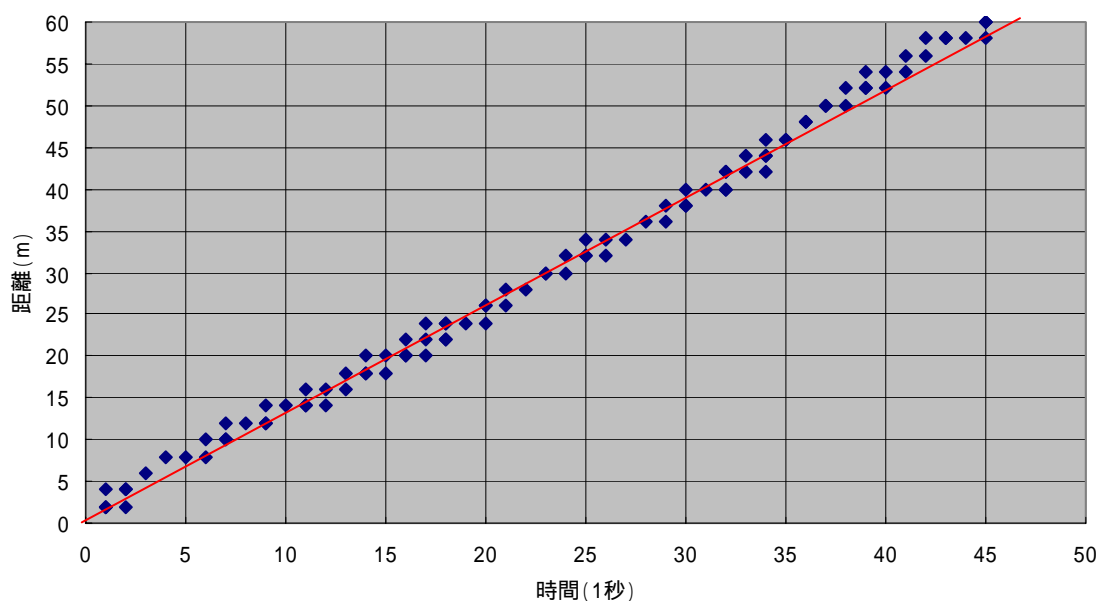
5.1 実験の結果

今回の実験で取得したデータを以下、表 5.1 ~ 5.9 にまとめる。

図 5.1 ~ 5.12 の説明

以下、ある試行の結果を例にとり、結果グラフの読み取り方を説明する

時速4km, 2m間隔, 試行1



実験範囲において、最も端のタグの位置を原点とする。
横軸に原点を出発してからの時間、縦に原点からの距離をとる。
各点はその時間に読み取られたタグの位置を示している。

直線はリーダーの移動した軌跡を示す。

5.1.1 タグ配置間隔: 2m

リーダー移動速度: 時速 4.8km

図 5-1 試行 1

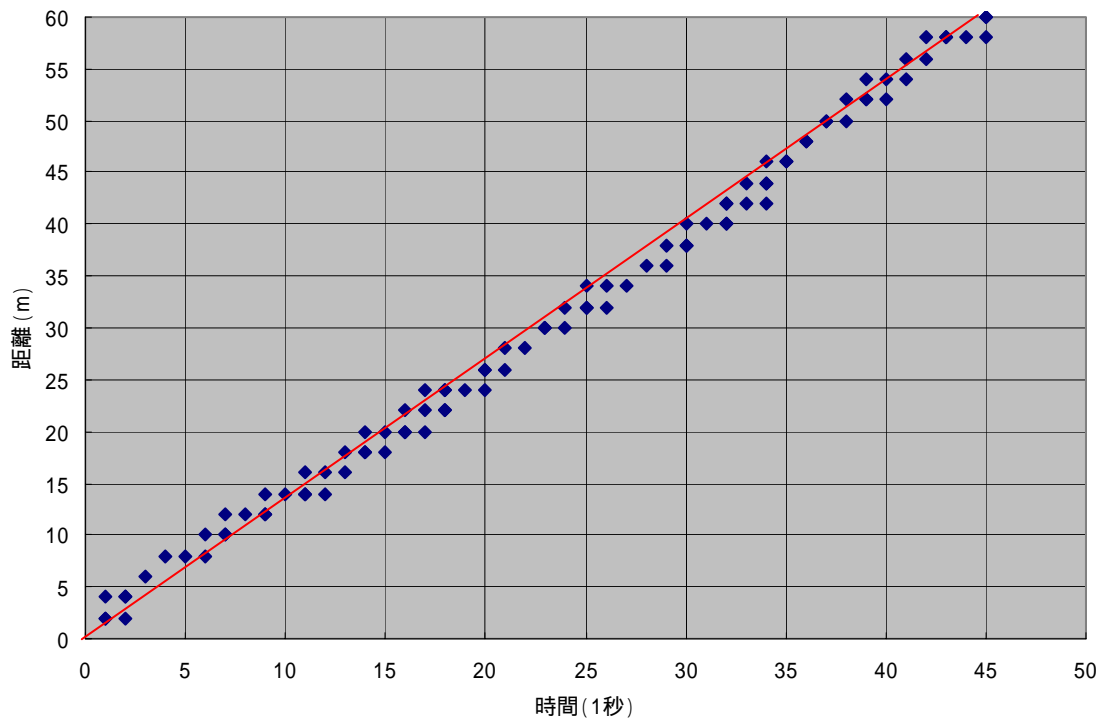


図 5-2 試行 2

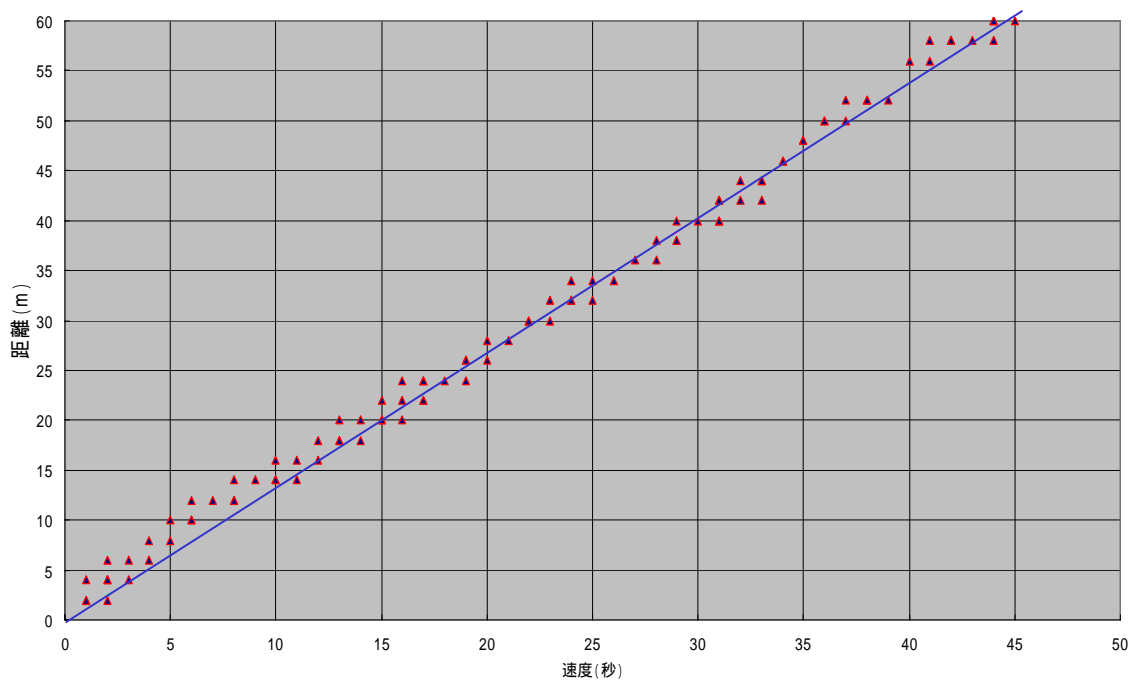


図 5-3 試行 3

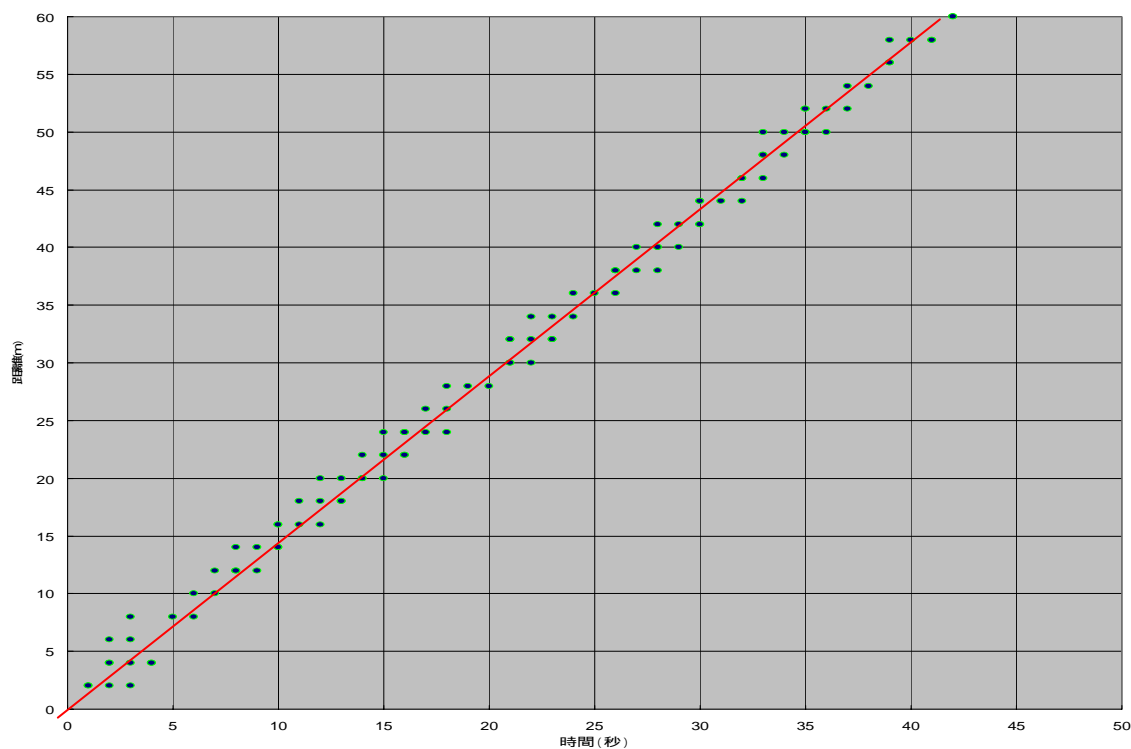
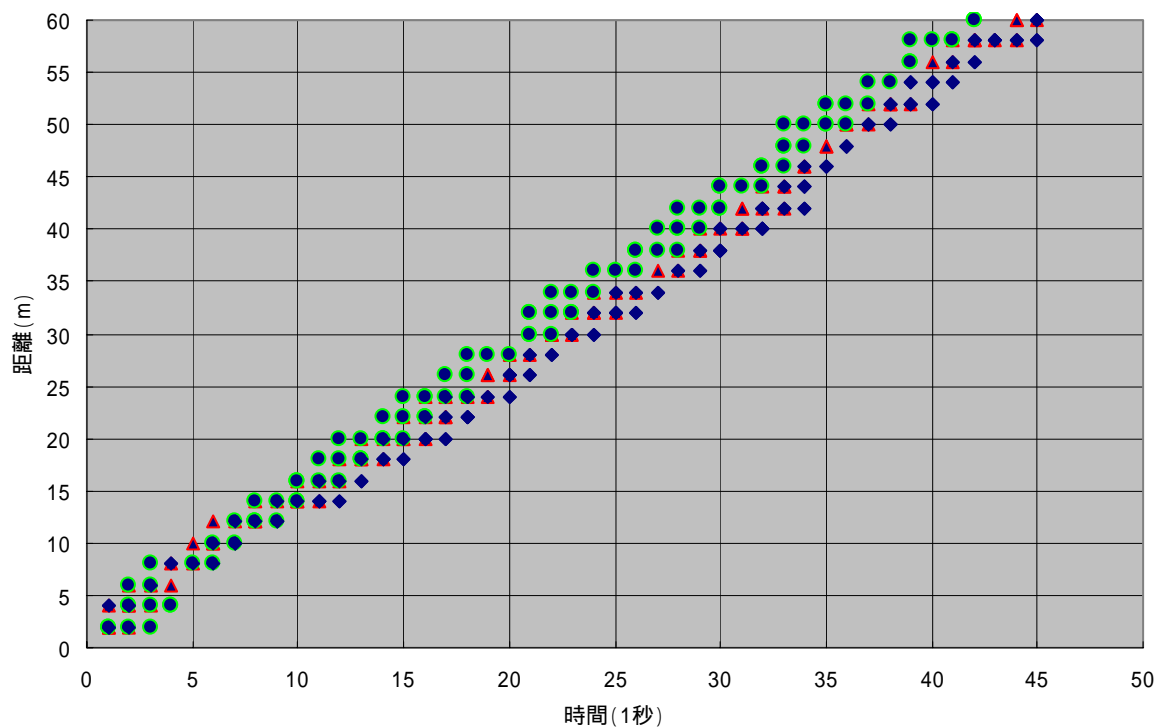


図 5-4 全試行



5.1.2 タグ配置間隔: 4m

リーダー移動速度: 時速 4.8km

図 5-5 試行 1

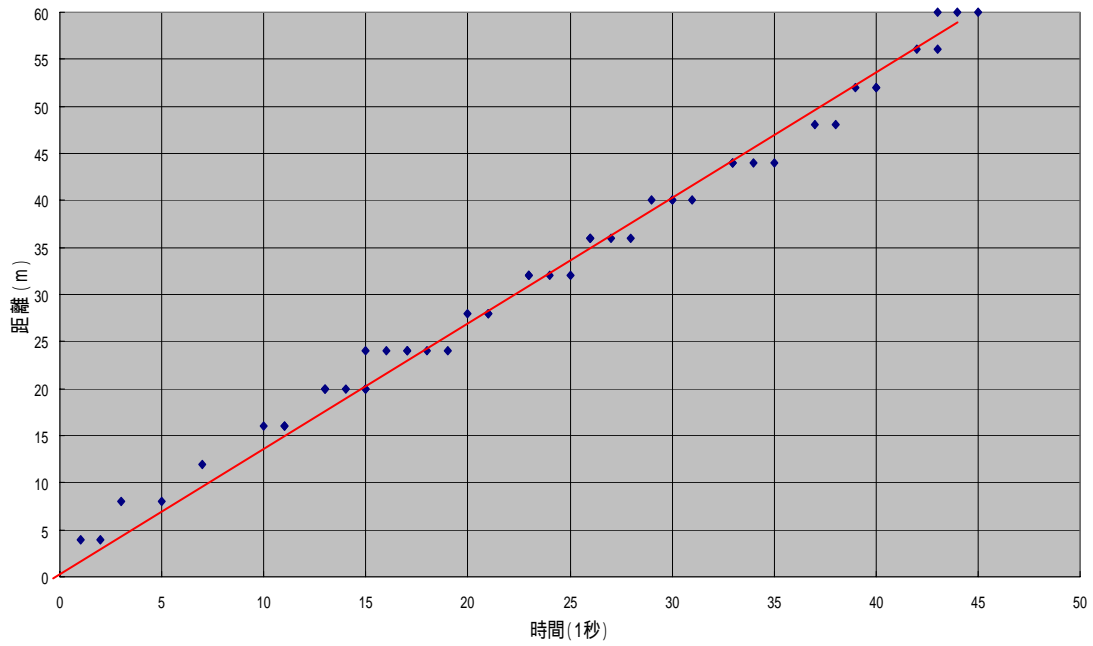


図 5-6 試行 2

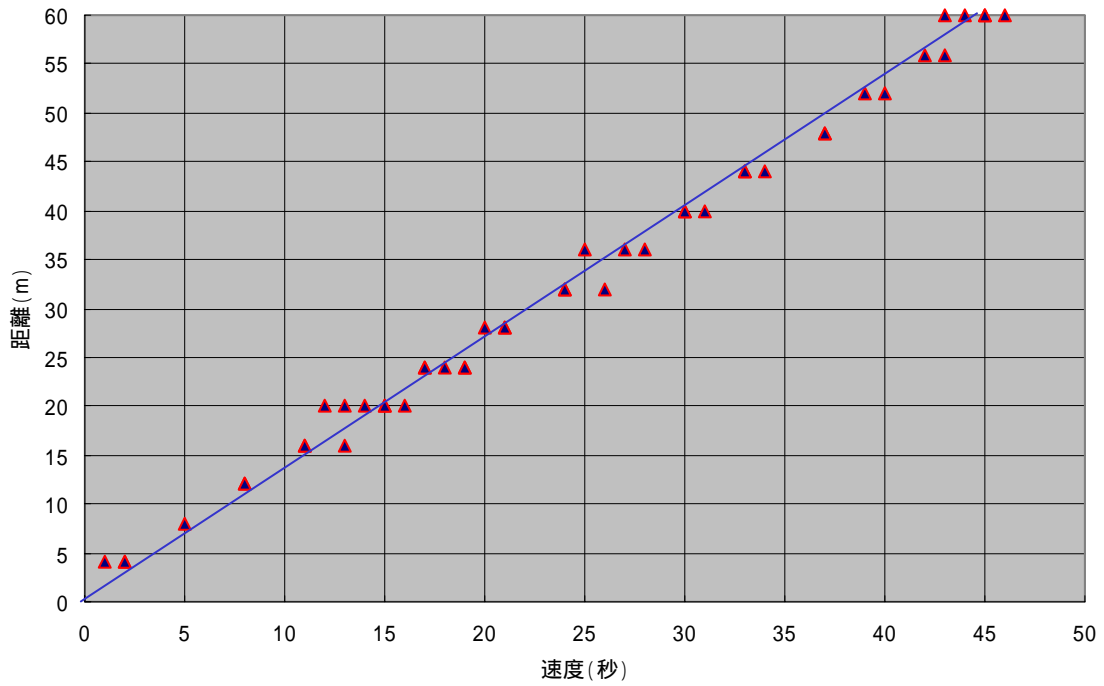


図 5-7 試行 3

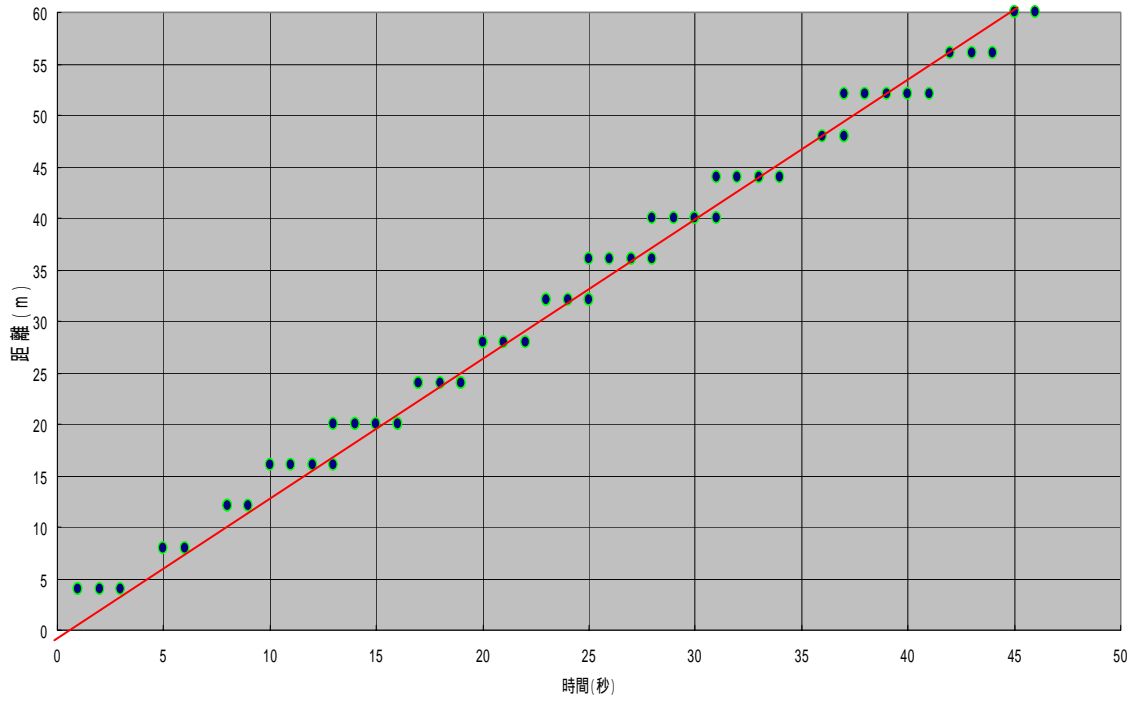
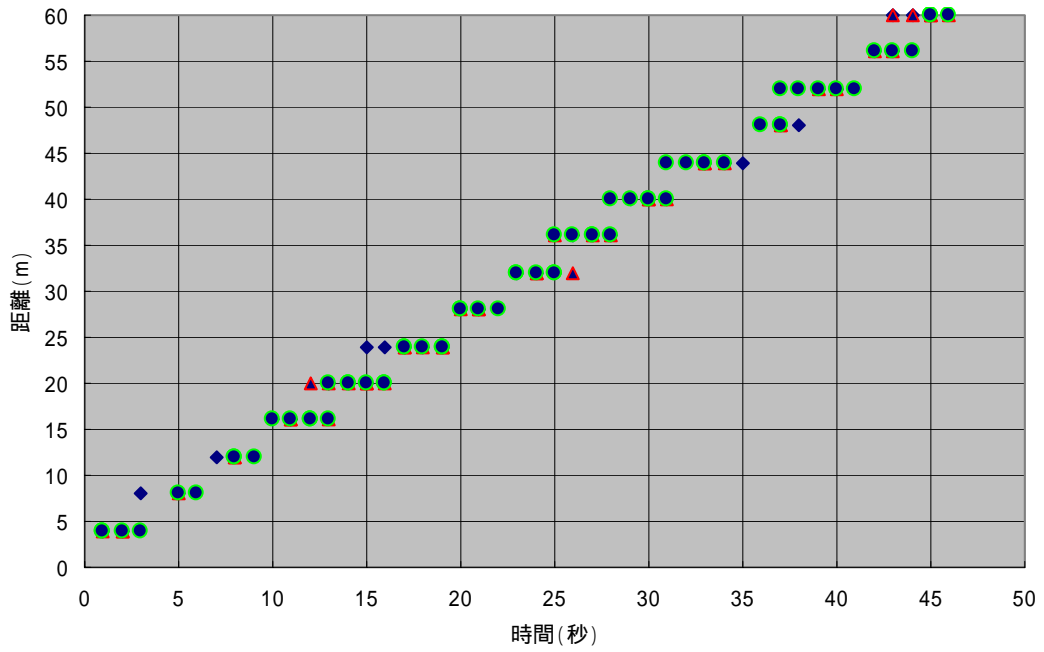


図 5-8 全試行



5.1.3 タグ配置間隔: 2m

リーダー移動速度: 時速 9.6km

図 5-9 試行 1

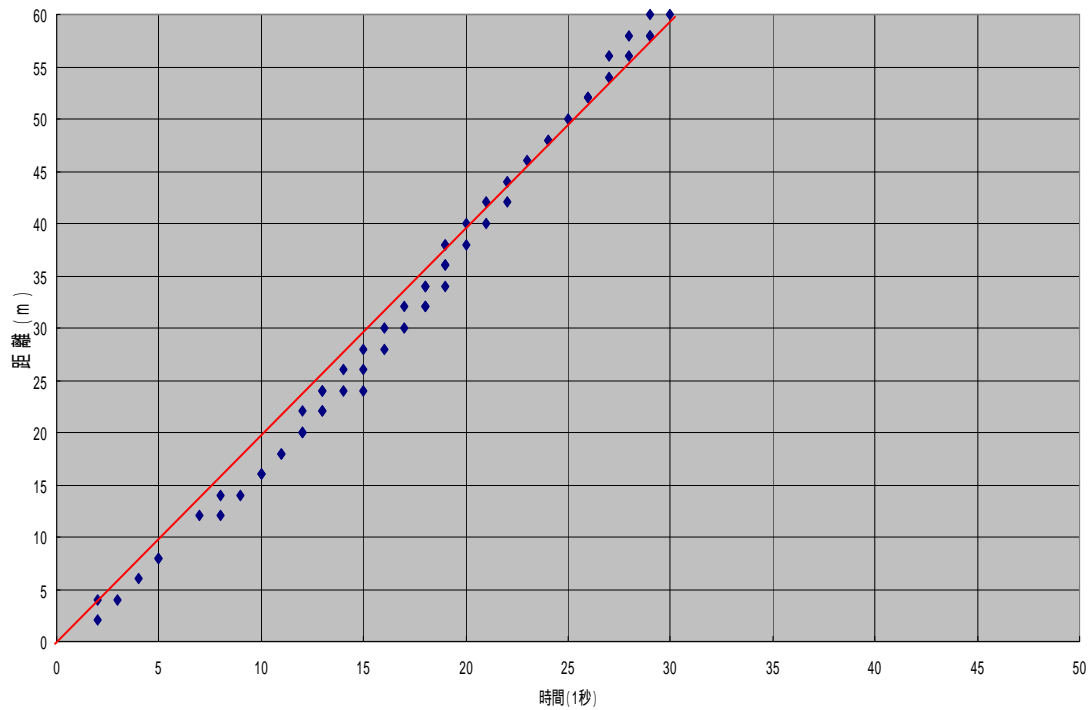


図 5-10 試行 2

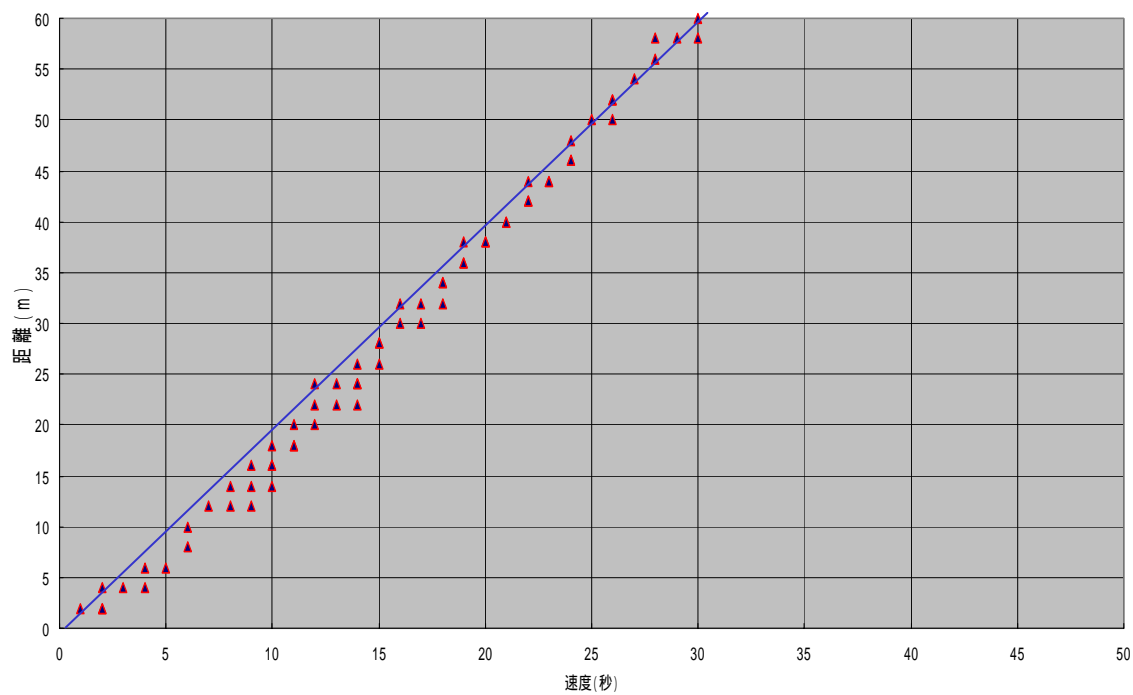


図 5-11 試行 3

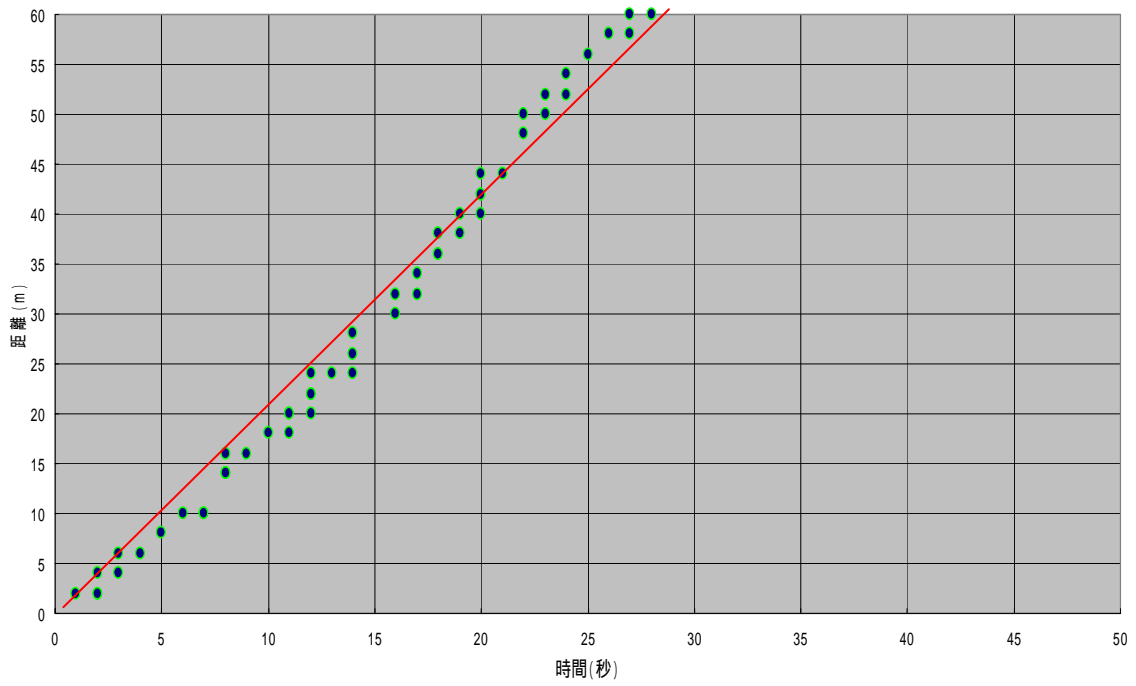
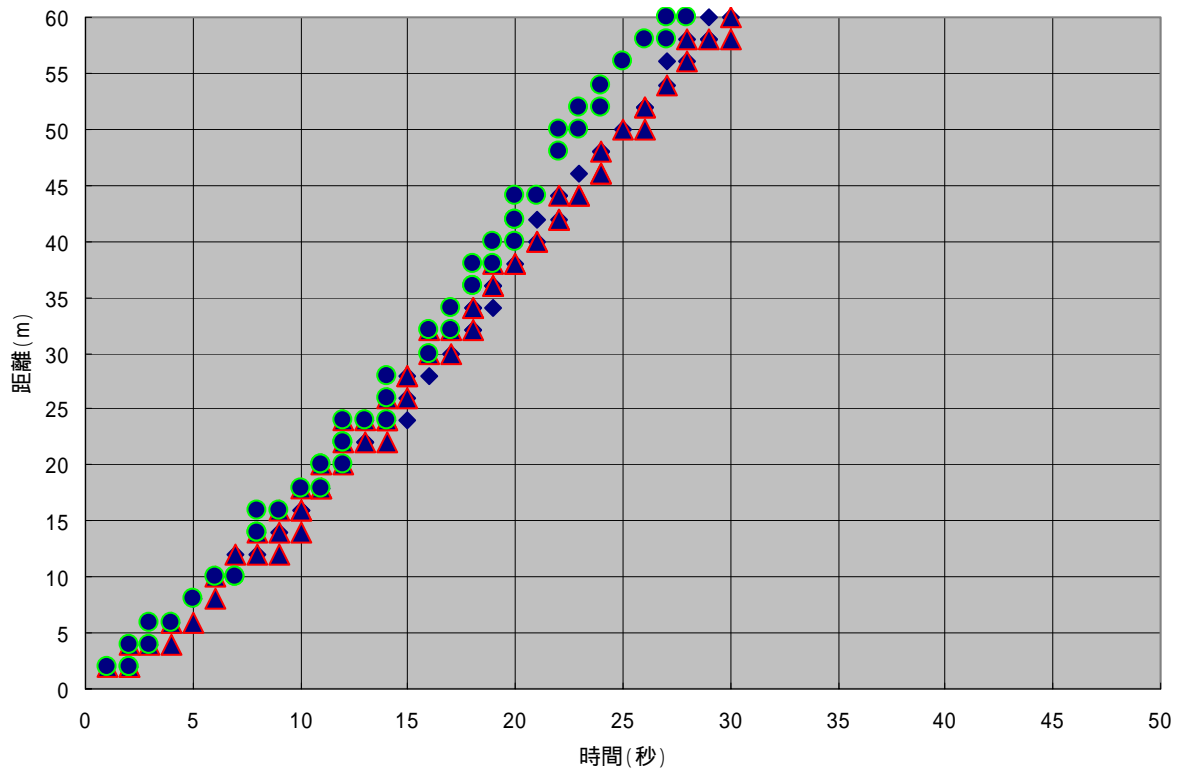


図 5-12 全試行



5.1.1 タグ配置間隔: 4m

リーダー移動速度: 時速 9.6km

図 5-13 試行 1

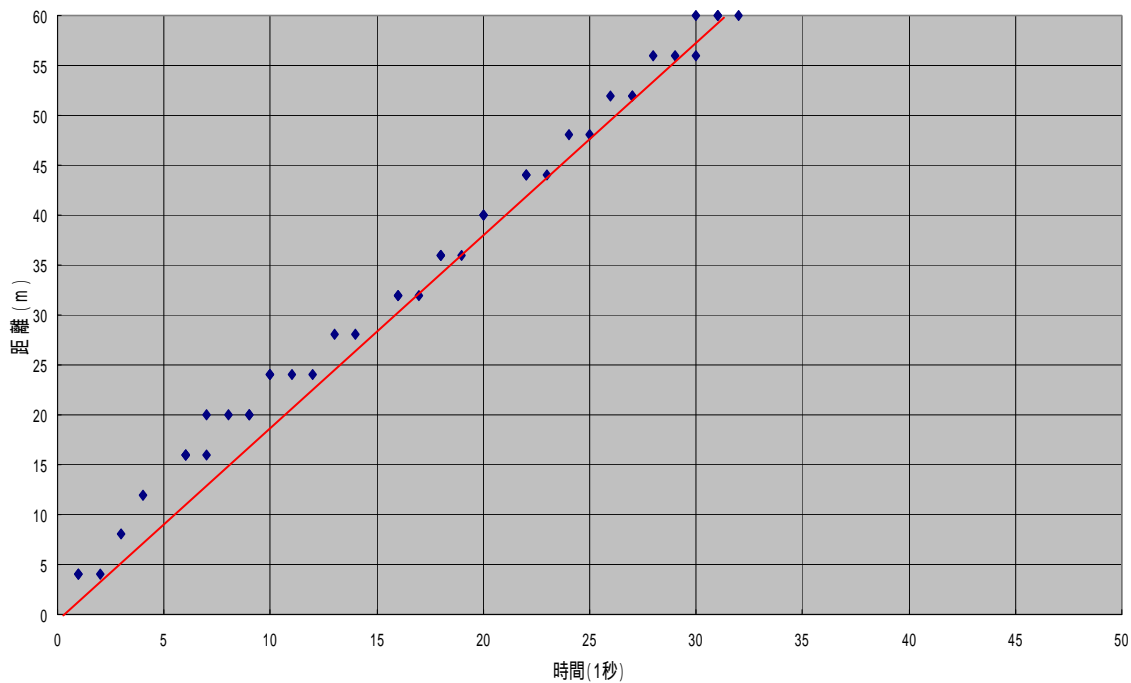


図 5-14 試行 2

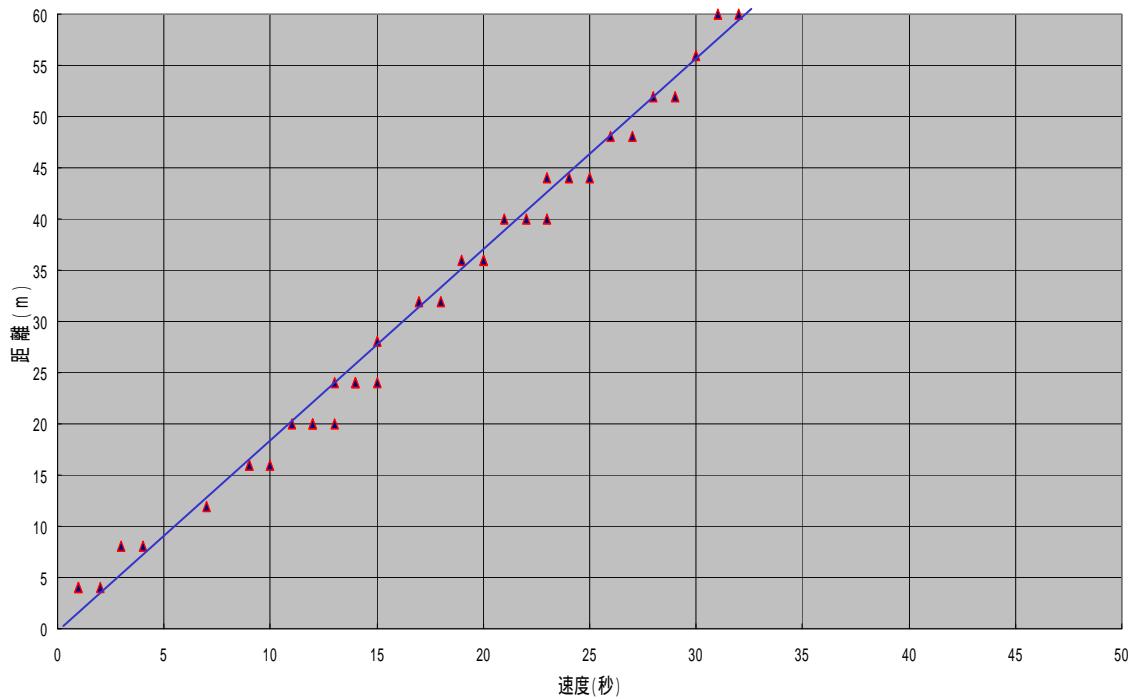


図 5-15 試行 3

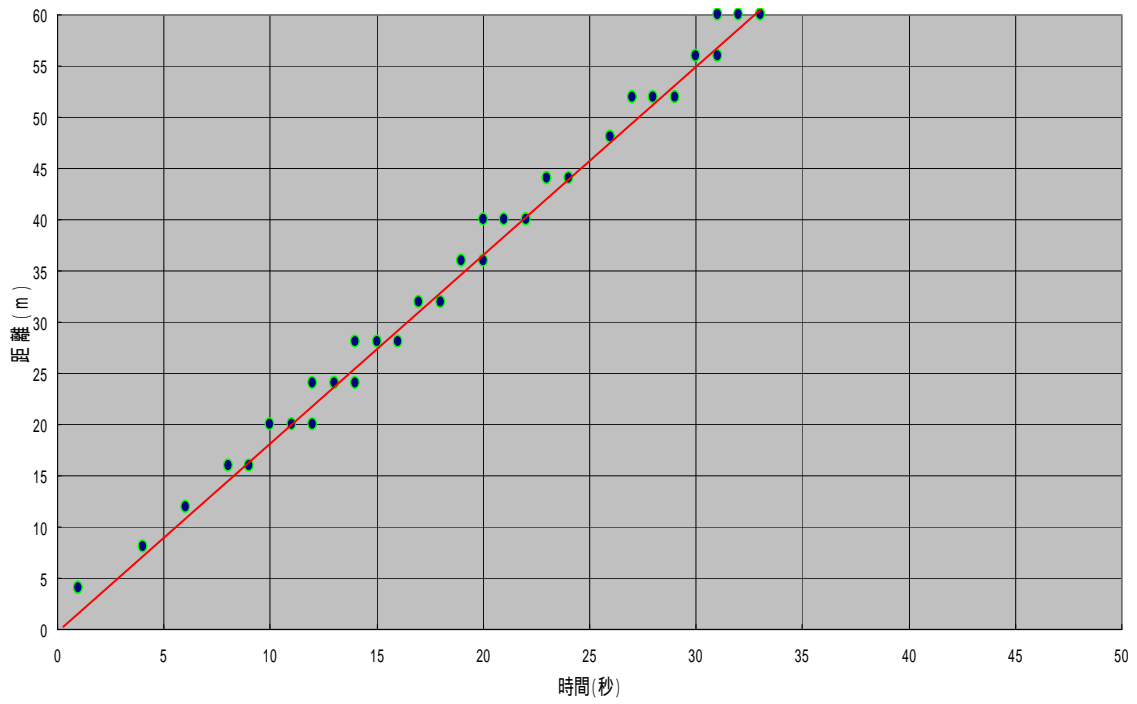
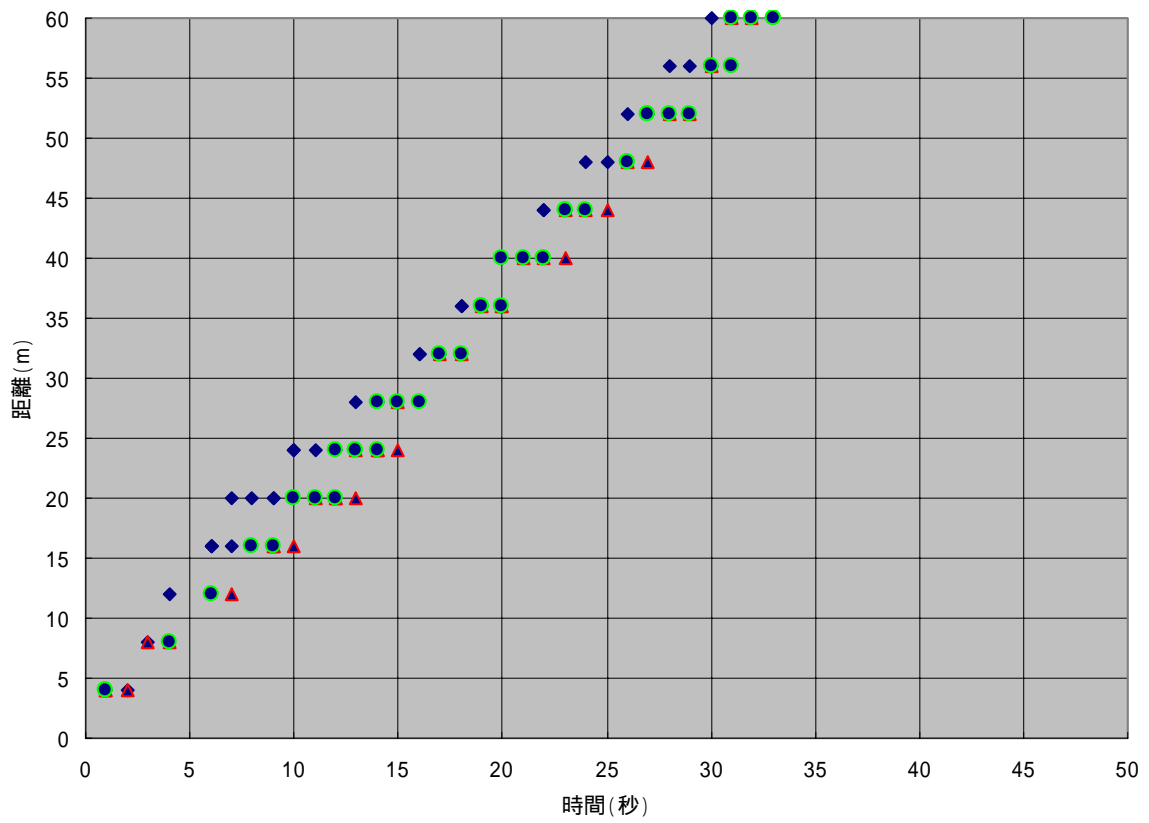


図 5-15 全試行



第6章 評価と考察

本章では、前章の実験結果をふまえ、評価する。

6.1 RFID タグの検出回数の評価

RFID タグを 2m ごとに配置した場合は、RFID リーダーの移動速度にかかわらずほぼ 100%の確率で少なくとも1つの RFID タグを検出することができた。

RFID タグを 4m ごとに配置した場合は、RFID リーダーの移動速度にかかわらず、約 85%の確率で少なくとも1つの RFID タグを検出した。

また、各条件下での1回の検出におけるタグの平均取得個数は以下の通り。

条件	時速 4km/ 2m 間隔	時速 4km/ 4m 間隔	時速 8km/ 2m 間隔	時速 8km/ 4m 間隔
平均取得個数	2.30	1.15	1.93	1.21

表 6.1: タグの平均取得

RFID が1つも検出されなかった場合は、それまでのデータ（事後的な場合は前後のデータ）などからその時点での位置を推測するように補正をすることが考えられるので、歩行者に対しては概ね十分な数と頻度を確保できたといえる。

6.2 誤差の評価

1度の検出で複数のタグが検出された場合は、それらの平均をとってその検出のデータとする。

これと、その時点での RFID リーダーの位置との残差平均をとり、誤差を検討する。

以下の表にまとめた。

条件	4.8km/h 2m 間隔	4.8km/h 4m 間隔	9.6km/h 2m 間隔	9.6km/h 4m 間隔
誤差の平均(m)	1.01	1.21	2.53	1.50

表 6.2: 誤差の平均

通常の歩行においては 2m 間隔の場合の方が誤差が小さいのに対し、小走りの時には 4m 間隔の場合の方が誤差が小さくなった。

また、通常の歩行時には誤差を 1m 強に押さえることができていることがわかる。小走りの際には誤差が 2m 強と、歩行時に比べて誤差が大きくなる。

以上 2 点を勘案すると時間的にはほぼ 1 秒単位で、また距離的には歩行時で約 1m、小走りの時で約 2m の誤差で測位することが可能であることが見いだせた。

これは 1 章で想定した歩行者ナビゲーションシステムのインフラストラクチャとして十分な値であるといえる。

第7章 結論

本章では、本研究のまとめと、本研究を踏まえた上での今後の課題と展望について述べる。

7.1 まとめ

本研究では、安価で実現できる歩行者を対象とした位置測位システム手法として、RFID タグを用いたシステムを提案した。これは RFID リーダーを持った歩行者が、あらかじめ緯度経度情報がデータベース化され地表に配置された RFID タグを検出し、ネットワークを介してデータベースと照合することによりその位置を検出するものである。

そこで、タグの配置間隔と歩行速度を変えて RFID タグを検出し、その位置を取得する実証実験を行った。

その結果、平均的な速度の歩行者に対して 1 秒単位で 1m 程度の誤差の位置情報を、小走りの歩行者に対して 1 秒単位で 2m 程度の誤差の位置情報を提供することができることがわかった。

これは本研究が目指す歩行者ナビゲーションのシステムの実現のためのインフラストラクチャとして十分な精度を持っていると言える。

7.2 今後の課題と展望

本研究では、特定の RFID タグを用いて実証実験を行った。今後の課題としては、より精細に RFID タグの種類や発信間隔・電波強度などを調整し、歩行者の位置情報取得に最適な RFID タグの性質を探ることなどが挙げられる。

また、今回は歩行者を対象としたシステムを提案したが、同様のシステムで自転車や自動車など、歩行者以外の移動体への位置測位情報の提供の可能性についても検討したい。

今後 RFID システムの開発が進み、RFID リーダーが小型化されて携帯端末やウェアラブル機器などに組み込まれるようになれば、様々な移動体から有用な位置情報を取得できる。加えて、取得した情報をインターネット等のネットワークを介して様々なアプリケーションと連携させることによって、移動体支援のシステムの応用範囲を拡大させることも可能になると考える。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂きました慶應義塾大学環境情報学部教授村井純博士、並びに同学部教授徳田英幸博士、同学部助教授楠本博之博士、同学部助教授中村修博士、同学部専任講師南政樹氏に感謝致します。

また本論文の作成にあたり、絶えずご指導とご助言を頂きました慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特別研究助手佐藤雅明氏、同大学院政策・メディア研究科修士課程久松慎一氏に深く感謝致します。

そして常日頃よりご指導を頂き、研究を見守ってくださった慶應義塾大学院政策・メディア研究科講師植原啓介博士、慶應義塾大学大学院SFC研究所研究員渡辺恭人博士、慶應義塾大学院政策・メディア研究科専任講師羽田久一博士、慶應義塾大学院政策・メディア研究科博士課程湧川隆次氏、同大学院政策・メディア研究科修士課程西原サヤ子氏、日野哲志氏、三屋光史朗氏、岡田耕司氏、小柴晋氏、渡里雅史氏に感謝致します。

さらに、絶えず励まし支えてくださった慶應義塾大学院政策・メディア研究科修士課程鈴木貴晶氏、日々切磋琢磨し合いながら楽しい研究生生活を送った慶應義塾大学環境情報学部廣瀬峻氏、成瀬大亮氏、松谷宏紀氏、同大学総合政策学部堀岡大輔氏をはじめとするNACMグループの皆様、また本研究における実験に際し惜しまず多大な協力をしてくれた慶應義塾大学環境情報学部谷隆三郎氏に感謝致します。

そして最後まで研究・論文執筆を温かく見守ってくれた両親、妹に心から感謝致します。

最後に、慶應義塾大学徳田・村井・楠本・中村・南合同研究室の皆様、心より感謝の念を表し、謝辞とさせていただきます。

参考文献

- [1] Internet Car Project
<http://www.sfc.wide.ad.jp/InternetCAR/>, December 2003

- [2] インターネット ITS 協議会
<http://www.internetits.org/>, December 2003

- [3] RF-CODE
<http://www.rfcode.com/>, December 2003

- [4] Auto-ID Center
<http://www.autoidcenter.org/>, December 2003

- [5] JARI 日本自動車研究所
<http://www.jari.or.jp/>, December 2003

- [6] JSK 通信 第 8 回 ITS 世界会議「韓国 ROTIS」
<http://www.jari.jp/pdf/jsktsu/01its.pdf>

- [7] 韓国 交通情報提供システム ROTISについて
<http://www.resona-fdn.or.jp/download/its030123d.pdf>

- [8] 3次元 GIS ショーケース
<http://www.3dgis.jp/>, December 2003

- [9] 日立ハイテクノロジーズ RFID システム
<http://www.hitachi-hitec.com/products/rf-id/>, December 2003

- [10] 「Pseudolite(擬似衛星)基礎評価実験報告」東京大学空間情報科学研究センター 小西勇介
<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/~konishi/res/200205-jingps.pdf>

- [11] 情報処理学会研究会報告00-HI-88, 2000.5.12, pp.45-50.
Ichiro Siio, Faculty of Engineering Tamagawa University “ User Position Detection using RFID Tags ” ,<http://siio.ele.eng.tamagawa.ac.jp/projects/idcarpet/SigHI88.pdf>