

第2007-07号

地理空間情報活用のためのGIS・GPS・IC タグを用いた高精度位置情報参照システム に関する調査研究

金沢工業大学(環境・建築学部)
教授 鹿田 正昭

平成20年9月

目次

第 1 章 序論	- 3 -
1.1 研究の背景	- 3 -
1.2 本研究の目的	- 4 -
第 2 章 地理空間情報技術	- 5 -
2.1 地理空間情報活用推進基本法と基盤地図情報	- 5 -
2.2 汎地球測位システム (GPS)	- 7 -
2.2.1 GPS の原理	- 7 -
2.2.2 GPS による測位方式の種類	- 10 -
2.2.3 GPS の利用と現状	- 14 -
2.2.4 GPS の動向	- 17 -
2.3 IC タグ技術	- 19 -
2.3.1 IC タグ技術の特徴	- 19 -
2.3.2 IC タグ技術の現状	- 20 -
2.3.3 IC タグ技術の利用と動向	- 22 -
第 3 章 リアルタイム GIS	- 24 -
3.1 リアルタイム GIS の概念	- 24 -
3.2 リアルタイム GIS の特徴	- 25 -
第 4 章 GPS 精度検証実験	- 27 -
4.1 実験の目的	- 27 -
4.2 実験概要	- 27 -
4.3 実験結果	- 29 -

4.4 考察.....	- 32 -
第5章 IC タグ動作確認実験	- 33 -
5.1 IC タグを採用した新しい概念	- 33 -
5.2 調査概要および実験目的.....	- 34 -
5.3 IC タグ予備実験.....	- 39 -
5.4 IC タグ動作確認実験	- 44 -
5.5 IC タグ設置によるシミュレーション実験.....	- 52 -
第6章 結論	- 55 -
謝 辞	- 57 -
参考文献.....	- 57 -
本報告書に関連した発表論文等.....	- 58 -

第1章 序論

1.1 研究の背景 [1] [2] [3] [4]

我が国は高齢化社会にあることから、すべての人々が安心・安全で快適な生活を営むことができる社会形成が求められている。政府はすでに政策として高齢者や障害者のためのバリアフリー設備の設置を急いでいるが、設備が整ったとしても人々が安心かつ安全に目的地まで到達する経路を容易に知ることは難しい。そこで、現在のみならず将来においても国民が上述のように快適な生活を営むことができる社会を実現するためには、地理空間情報を高度に活用することが極めて重要な課題となってきた。換言すれば「いつでも、どこでも、だれでもが高精度な位置を容易に知るができるユビキタス社会」、「位置情報を他の情報と合わせて共有できる社会環境」が従来の社会基盤（インフラ）と同等に整備される「高度空間情報社会」が望まれるようになった。

平成19年度の通常国会において「地理空間情報活用推進基本法」（以下、「基本法」と記述）が5月23日に成立し、同年8月29日に施行された。これには、平成17年度から地理空間情報推進合同部会の前身となる「測位・地理情報システムに関する合同部会」が議論やヒアリングを重ね、平成18年度秋の臨時国会において、「高度空間情報社会」を構築するための「地理空間情報活用推進基本法（案）」が提出された経緯がある。「基本法」は、地理空間情報の活用の推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進することを目的としており、地理空間情報の基本理念、国及び地方公共団体の責務、基本計画・施策の基本となる事項、衛星測位・地理情報システムに係る施策などが定められている。以上のことより、今後「高度空間情報社会」が到来することは間違いない。

国土交通省国土地理院（以下、国土地理院と記述）は、電子基準点の整備を1991年より始め、2008年1月現在、全国に約20km間隔で1200点以上の設置がなされ、GPS連続観測網としては世界で最も高密度のものになっている。2002年からは一部地域で電子基準点データのリアルタイム配信が始まり、2004年にはリアルタイムにGPS連続観測システム（GEONET）の運用が開始された。これによりリアルタイムに高精度なGPS測位データを取得でき、電子地図を活用することであらゆる業務やサービスは、一層の効率化、合理化が図られ、GPSとGISはより密接な関係を深めている。「基本法」の制定を契機に、今後の電子基準点網と衛星測位の活用は、全国レベルで一元的に推進していくことが求められている。

現在、衛星測位の利用性を高めるための様々な補完、測位技術、システムが検討されている。例えば、現在広く利用されているGPSの機能を補強・補完すること、あるいは衛星測位のみならず、通信放送の機能を併せ持つ日本独自の準天頂衛星の打ち上げ、利活用の試みが行われようとしている。しかしながら、衛星測位には限界があり、それだけではユビキタスかつ、高精度に位置情報を取得することは困難である。従って、今後の国土空間基盤として利用される技術については、ICタグ（RFID）や無線通信などのセンサネットワーク技術の開発、実用化の促進が急務である。

本研究課題の1つである安心かつ安全な社会を実現するためには、シームレス測位技術とユビキタスネットワーク技術の整備がなされ利用されていくことが極めて重要である。

国土地理院は平成18年8月に国土地理院長の私的諮問機関として測量行政懇談会（委員長：中村英夫 武蔵工業大学学長）を設置し、平成19年3月に「測量新時代に対応した測量行政のあるべき姿について」を報告した。この報告では昭和24年に制定された「測量法」の見直しを含めた法制度の改革について言及し、早急に取り組むべき今後の測量制度のあり方について提言している。加えて、平成19年3月22日に「測位・地理情報システム等推進会議」（議長：内閣官房副長官補）は、2006年度から概ね5ヵ年の政府のGISに関する計画として【GISアクションプログラム2010】を決定した。これは【GISアクションプログラム2002-2005】をさらに強力に推進するために策定されたものであり、前述の「高度空間情報社会」を構築するために不可欠な政策である。計画策定の目的は「基盤地図情報が高度に活用される社会を目指し、その前提となる基盤地図情報を位置の基準として相応しい整備水準にまで高め、地理空間情報の流通を促進するための基準・ルールを構成し、産学官連携の体制を構築する等を目的とする」としている。さらに具体的な施策を5項目について挙げているが（詳細は国土地理院ホームページ等参照）これまで以上に産学官連携の体制が求められている。

本研究は「地理空間情報活用のためのGIS・GPS・ICタグを用いた高精度位置情報参照システム」に関する調査、実験を行うものである。著者らは、上述の社会的な流れに鑑み、地理空間情報技術とICタグ技術の融合により、いつでも、どこでも、誰でもが安全、安心、快適な高度空間情報社会の実現を目指すことを目的として、今後の地理空間情報の整備に関わるGPS・ICタグ関連の基礎的実験を実施した。

1.2 研究の目的 ^[1] [6]

近年、いつでも、どこでも、誰でもが必要な情報を自由に発信・共有できる社会基盤の実現に向けて調査・研究開発が進められ、各分野の最新技術や機器の融合による実証実験の技術確立が不可欠とされている。GPSによる位置情報の取得が容易になり、携帯電話によるナビゲーションも徐々に実用化されているが、市街地での使用は制限を受け、誤差も含んでいることで普及に至っていないのが現状である。そこで、本研究ではGIS・GPS・ICタグの技術を利用することで高精度位置情報を取得し、いつでも、どこでも、誰でもが必要な空間情報を入手できるシステム構築に向け、必要機器の検証と構成、精度確認を行ったものである。

上述の目標のためにリアルタイムキネマティック測位によるGPS精度検証実験を行った。また、ICタグ・リーダー/ライターを用いてICタグからどのように空間情報を取得・表示できるか動作確認検証試験を行った。さらに、多数のシミュレーション実験によりICタグがどのように利活用できるか検証した。

第2章 地理空間情報技術 [2]

2.1 地理空間情報活用推進基本法と基盤地図情報

序論でも述べたように、平成18年6月に「地理空間情報活用推進基本法（案）」が国会に提出され、衆参両議院で審議の上、平成19年5月に施行され、続いて同年8月29日に「地理空間情報活用推進基本法第2条第3項の基盤地図情報に係る項目及び基盤地図情報が満たすべき基準」（省令）が公布された。本法案は骨格的な電子地図情報である基盤地図情報の整備・促進に関連するものであり、基盤地図情報を効率的・効果的に活用するために測量法の改正および「地理空間情報活用推進基本法第16条第1項の規定に基づく地理空間情報活用推進基本法第2条第3項の基盤地図情報の整備に係る技術上の基準」（告示）により、公共測量作業規定の改定作業も進められた。第2章では上述の流れを踏まえた上で、本研究で使用する地理空間情報技術としての、GIS、GPSの概念などについて説明する。また、最近のGPS技術動向として新しい概念に基づくハイブリッド測位、A-GPSなどについての調査結果も紹介する。さらに、ユニバーサルマップの実現に向けて欠かすことのできないICタグについても詳述した。これらの位置情報技術を基にして様々な情報を統合することで、高度空間情報社会において新しい技術価値を生み出すことが期待されている。

基本法では高度地理空間情報社会の実現に向けて国や自治体に基盤地図情報の活用を推奨している。さらに、同法では地理情報システムの普及を図るために基盤地図における技術上の基準も定めている。加えて、省令では項目として基準点や海岸線を定めるとともに、精度などの満たすべき基準を定めている。また、告示では基盤地図情報の整備のための規格などを定めている。図2.1は基盤地図のイメージを示している。

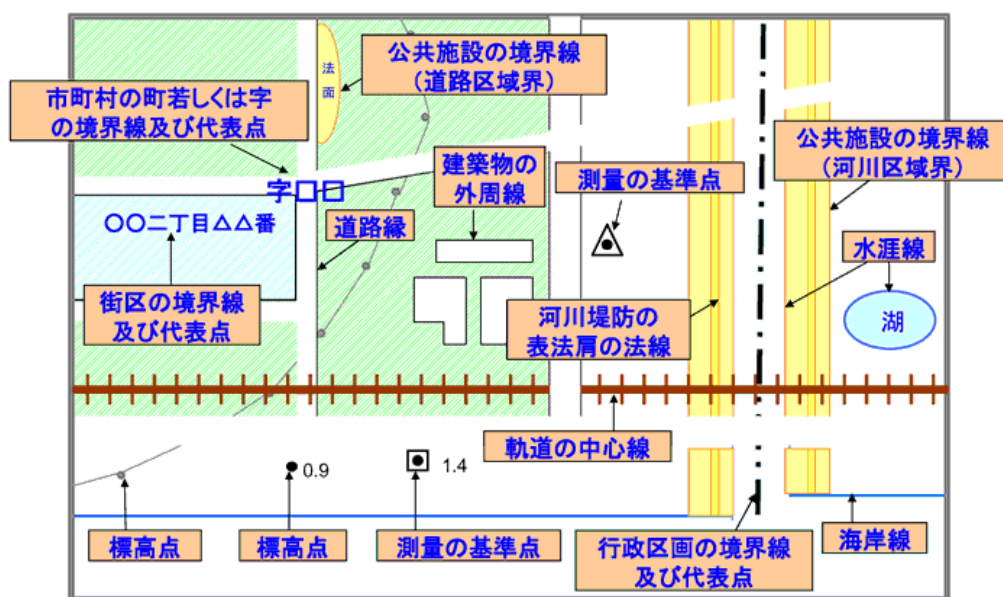


図 2.1 基盤地図のイメージ

(出展：国土地理院、地理空間情報活用推進基本法に基づく省令（概要）)

基本法が定める基盤地図情報の項目を以下に示す。

①座標値の基準

- ・測量の基準点

②地表の高さの基準

- ・標高点

③面的・線的に画する基礎的なもの

- ・海岸線
- ・公共施設の境界線（道路区域界）
- ・公共施設の境界線（河川区域界）
- ・行政区画の境界線及び代表点
- ・道路縁
- ・河川堤防の表法肩の法線
- ・軌道の中心線
- ・水涯線
- ・建築物の外周線

④地理識別子

- ・行政区画の境界線及び代表点（再掲）
- ・市町村の町若しくは字の境界線及び代表点
- ・街区の境界線及び代表点

また、満たすべき基準を以下に示す。

①基本測量（測量法第4条）

②公共測量（測量法第5条）及び公共測量として指定された測量（測量法第47条）

→ 国土地理院の長が十分な精度を有すると認めたものに限る。（測量法第41条第2項）

③水路測量（水路業務法第9条第1項に規定する政令で定める測量の基準による）

平面位置の誤差

- ・都市計画区域内：2.5メートル以内
- ・都市計画区域外：25メートル以内

高さの誤差

- ・都市計画区域内：1.0メートル以内
- ・都市計画区域外：5.0メートル以内

基盤地図情報の整備については、平成19年度より3ヵ年計画で線引き都市計画区域内を重点的に整備し、必要な施策を国や自治体が講ずることとしているほか、国が保有する基盤地図情報などを原則としてインターネットを利用して無償で提供することが基本法に盛り込まれている。従って、整備・作成されたデータについては随時配信されるものと思われる。線引き区域内とは、都市計画における市街化区域に定められている地域である。この他、基盤

地図情報の整備と提供、地理情報システムや衛星測位の利用推進、人材育成、関係機関の連携強化等を一体的に行っていく必要がある。基盤地図情報の整備方法について以下に示す。

- ・既存の公共測量成果（特に都市計画基本図）をベースに作成を行う。
- ・品質（位置の整合性、精度の公証性）を可能な限り確保する。
- ・更新の仕組みを検討し、位置制度に加えて、時間精度にも配慮する。

今後は基本法の制定により、基盤地図情報の整備と提供、地理情報システムや衛星測位の利用推進、人材育成、関係機関の連携強化等を一体的に行っていく必要がある。

2.2 汎地球測位システム (GPS) [8] [9]

2.2.1 GPS の原理

GPS (Global Positioning System) は全地球測地システムあるいは汎地球測位システムと呼ばれる人工衛星を用いた測位システムである。地球を周回する衛星から送られてくる電波を地上の受信機で受信することにより、衛星から受信機までの距離を算出し、同時に衛星から送られてくる衛星の位置情報をもとに受信機の三次元位置（緯度、経度、高さ）を計算するシステムである。

GPS はアメリカ合衆国により 1970 年代に開発が始まり、1993 年に正式に運用開始が宣言された。本来、軍用に開発されたシステムであるが、民間用にも利用が開放されていて現在ではカーナビゲーションや携帯電話等で多数のユーザーに利用されている。人工衛星からの電波が届くところであれば利用できる時間に制限はなく、GPS 受信機さえ用意すれば無料で利用することができる。

GPS 衛星は図 2.3 に示すように、20200km 上空を周期約 11 時間 58 分 2 秒で周回する衛星である。6 つの軌道面に 4 機ずつ計 24 機配備され、地球上のどこからでも常時 4 機以上の衛星が良好な幾何学的配置のもとで観測できるように運用されている。GPS 衛星はルビジウム (Rb) やセシウム (Cs) を用いた原子時計を搭載しており、きわめて正確な周期で電波と信号を地上に向けて送信している。仰角 15 度以上の天空では 4~8 個の衛星が常時観測できる。GPS の主な諸元を表 2.6 に示す。

最近では、米国の GPS だけでなく、ロシアの GLONASS や欧州の Galileo 計画においても、全地球を対象とした衛星測位システムが進展してきている。GLONASS の衛星の軌道傾斜角は 64.8 度と GPS 衛星よりも傾斜角が大きいため、GPS との併用が可能になれば中高緯度地域における獲得衛星数が飛躍的に増大すると考えられている。また、Galileo 計画のシステムは、GPS や GLONASS とは独立したものであるが、相互に互換性があり、相互運用を目指している（実運用 2009 年予定）。Galileo の衛星の配置は、それぞれ 56 度の傾斜角を有する軌道面に 30 機（うち 3 機は予備）の衛星が等間隔で配置されることになっている。Galileo 計画の衛星は、最低仰角を 15 度とした場合、最大可視数は 9 機である。GPS 衛星の最大可視数は 8 機であるため、Galileo 計画の衛星と合わせると、最大 17 機の測位衛星を利用する

ことが可能になる。このことより、都市部においては、GPSを補完するものとして期待されている。さらに、準天頂衛星システムは3個の衛星を一組として運用し、日本および同一経度帯のアジア・オセアニアの天頂付近に常時1機以上の衛星が存在するようにしたシステムで、GPS衛星と同じ周波数、コードを用いることになっている。天頂にGPS衛星が確保できるため、都市部や山間部での測位精度の向上が見込まれる（実運用2011年予定）。

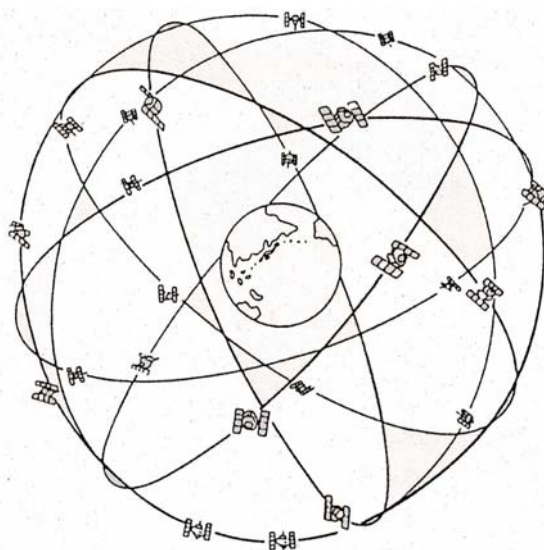


図 2.3 GPS 衛星群

(出展：村井俊治、改訂版空間情報工学、2002)

表 2.6 GPS 衛星の諸元

衛星個数	24 個 (4 機×6 軌道面)
軌道半径	26561.7 k m (上空約 20200km)
周回周期	約 11 時間 58 分 2 秒
軌道傾斜角	55°
搭載原子時計	ルビジウム、セシウム

(出展：村井俊治、改訂版空間情報工学、2002)

(1) GPS の電波と信号

GPS から送信される電波は L1 波 (中心周波数: 1575.42MHz)、L2 波 (中心周波数: 1227.6MHz) という 2 種類の搬送波である。これらの搬送波に乗せて 2 種類のデジタル信号が変調して送信されている。これらは C/A コード (Clear and Acquisition)、P コード (Precision) と呼ばれる。

これらのコードは不規則な 0 と 1 の系列であり、1 周期毎に同じパターンを繰り返す。こ

れをコードパターンと呼び衛星毎に異なるパターンで信号を送信しているため、受信機では衛星毎に電波信号を認識できるようになっている。また、コードは時刻の印の役割を果たしていて、これを目印にして衛星から受信機までの電波到達所要時間を測定する。

さらに L1 波、L2 波には航法メッセージ (navigation message) と呼ばれるデータが C/A コードに重畳されて送信されている。内容は衛星軌道情報や衛星時計の補正情報等のデータである。表 2.7 に GPS の電波の信号についてまとめる。

表 2.7 GPS の電波と信号

搬送波	L1 波 (1575.42MHz)	L2 波 (1227.6MHz)
変調信号	C/A コード、P (Y) コード	P (Y) コード
情報	航法メッセージ	

(出展：佐田達典、GPS 測量技術、2003)

(2) 航法メッセージ

航法メッセージは GPS 受信機で衛星位置を計算するためのデータ等を含んでいる。ビット率 50bps、全ビット数 1500 ビットを主フレーム (main frame) とするデータであり、25 個の主フレームがマスターフレームを構成している。マスターフレームは繰り返し送信されていて、航法メッセージを全て読むにはマスターフレームが一巡する 12.5 分の受信時間が必要である。航法メッセージに含まれる主な内容は次の通りである。

①軌道情報

任意の時刻における GPS 衛星の位置を利用者が計算するための情報であり、ケプラーの軌道要素のパラメータで構成される。各衛星の軌道は地上の追跡局によって常時モニタリングされていて、軌道情報は定期的に更新されて衛星から送信されている。衛星ごとの詳細な軌道情報をエフェメリス (ephemeris)、前衛星の概略の軌道情報をアルマナック (almanac) と呼ぶ。

②衛星時計補正パラメータ

衛星時計はルビジウムやセシウムという原子時計であり極めて安定度が高いが、ドリフトなどの若干の誤差を持つ。地上の追跡局では全ての衛星の軌道と時計を監視しており、衛星時計の誤差を補正するデータを生成している。この補正データが衛星から航法メッセージとして送信され、受信機では補正データを用いて衛星時計の時刻を補正している。衛星時計補正パラメータは航法メッセージの中では 30 秒ごとに繰り返し放送されている。

③電離相補性データ

衛星からの電波が電離層を通過する際の遅延量を推定するモデルを用いて計算された補正データが放送されており、受信機で遅延量を補正する。

④GPS 時

衛星上の原子時計が刻む時刻を GPS 時 (GPS time) という。1980 年 1 月 6 日 0 時 UTC

(Universal Time Coordinate : 協定世界時) を同じ日の 0 時 GPS 時としてスタートしている。GPS 時は UTC で行う閏秒の挿入を行わないため、年によって整数秒の差が生じる。2005 年現在、GPS 時は UTC より正確に 13 秒進んでいる。航法メッセージでは GPS 週番号と GPS 時で時刻を放送している。GPS 週番号は 1980 年 1 月 6 日の週を第 0 週として開始した週番号である。一方、GPS 時は週始めからの経過時間で表される。

2.2.2 GPS による測位方式の種類

GPS による測位方式には GPS 受信機を 1 台用いる単独測位と GPS 受信機を 2 台以上用いて誤差を取り除く相対測位がある。単独測位は、測位しようとする地点で同時に 4 個の GPS 衛星の電波を受信し、各衛星までの距離を測定することによって行う。衛星と受信機との距離は、衛星から受信機までの伝播時間を観測し、光速をかけて求める。一般には L1 波の C/A コードしか利用できないので、得られる精度は 20~50m 程度と低い。一方、相対測位では受信機 1 台を既知点に設置し、もう 1 台を測定点に設置して、基線ベクトルを精度良く求める方式である。各種測位方式を図 2.4 に、干渉測位の詳細を表 2.8 に示す。また、本研究で使用したディファレンシャル GPS(以下、DGPS と称する)、RTK-GPS 測位、仮想基準点方式について詳しく述べる。

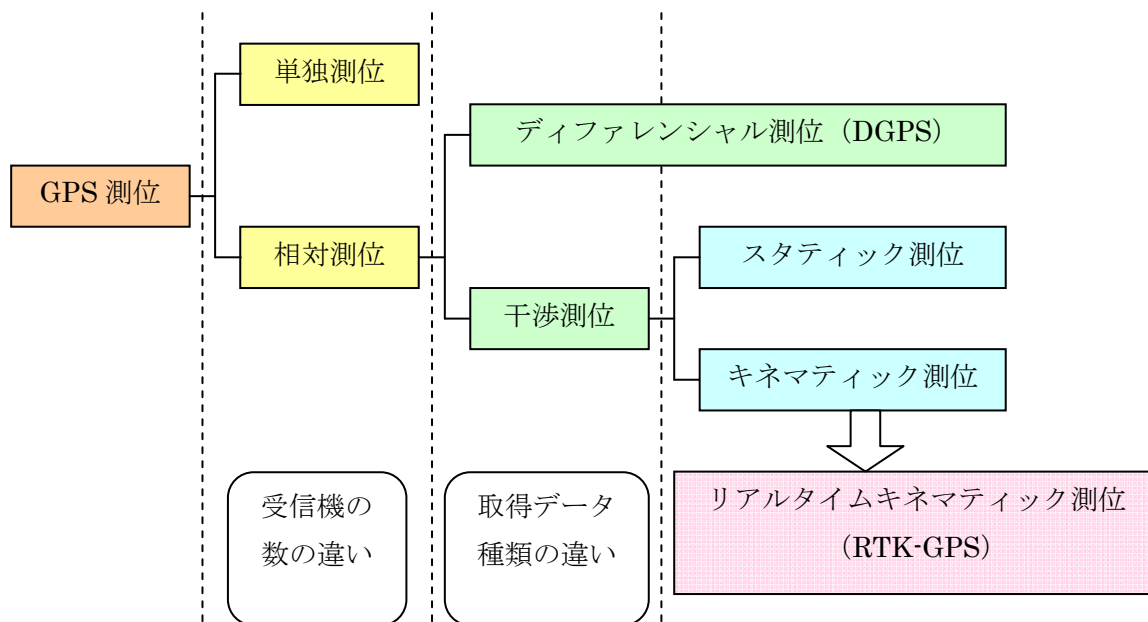


図 2.4 GPS 測位の種類

(出展：近津博文、熊谷樹一郎、佐田達典、鹿田正昭、淵本正隆、空間情報工学概論、2005)

表 2.8 干渉測位の詳細

項目 \ 方式	スタティック測位	キネマティック測位	リアルタイム キネマティック測位
処理方式	後処理	後処理	実時間処理
観測時間	20分～数時間	1秒（標準）	1秒（標準）
受信機種別	1周波受信機 2周波受信機	1周波受信機 2周波受信機	2周波受信機
基線計測精度	5mm + 1ppm · D	20mm + 2ppm · D	20mm + 2ppm · D
整数値バイアス 決定方法 (初期化方法)	衛星移動利用	既知点法 アンテナスワッピング法	既知点法 オンザフライ法

(出展：土屋淳、辻宏道：新・やさしいGPS測量、2001)

(1) D-GPS 測位

DGPSは、単独測位に含まれる次に示す誤差要因を、2台のGPS受信機の観測方式の差を取ることで、主に伝搬路誤差に起因する共通誤差成分を相殺しようとする測位方式である。単独測位に含まれる誤差要因は次のものがある。

- ①衛星の軌道情報（衛星位置誤差）
- ②衛星の天空における配置
- ③電離層、対流圏の影響（電波速度誤差）
- ④受信機による擬似距離
- ⑤米海軍のコード操作に伴う劣化

①の誤差は約10m、②のうち電離層によるものが約3m、対流圏によるものが約3mの誤差、④によるものは⑤と組み合わされて約30m近くある。②の衛星の配置は、4個以上の衛星が適当に離れていれば、図形の強さが高くなるので位置精度はよくなる。一方衛星が近い位置に偏在すると精度は低下する。衛星の位置による精度への影響はPDOP（Position Dillution of Precision：精度低下率）という指標で示されている。4個の衛星の配置が正四面体の頂点にあれば、PDOPは最小値となる。普通PDOPは5以下が望ましい。

(2) RTK-GPS 測位

RTK-GPS（Real-time Kinematic GPS：リアルタイムキネマティック法）はリアルタイムに干渉測位を実施し、移動しながらの高精度測位を実現する技術である。GPS受信機はL1波、L2波の両派を受信できる2周波型受信機を用いている。座標既知点に設置する基準局受信機と未知点の計測用である移動局受信機の2台を基本構成としている。基準局から移動局に対して搬送波位相データや基準局座標データを送信する通信システムを両局に備えている。移動局は、基準局からのデータ送信を受けて基準局から移動局までの基線ベクトルの計算をリアルタイムに連続して行い、測位結果（緯度、経度、楕円体高）を連続して出力する。出

力結果は、ハンディターミナルや携帯パソコンで平面直角座標に換算して表示・記録される。測位結果の精度は 20mm とされるが、平面誤差よりも鉛直方向の誤差が大きい。

(3) 仮想基準点方式

国土地理院は、平成 14 年 5 月より電子基準点の 1 秒ごとのリアルタイムデータを公開した。このデータを用いて RTK-GPS 測量を行うことにより、リアルタイムでかつ正確な位置を容易に求めることが可能になった。平成 15 年度には、「仮想基準点方式による RTK-GPS 測量の標準化に関する調査研究作業」を行い、平成 17 年度は、「ネットワーク型 RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル(案)ー基準点測量ー」を作成した。

ネットワーク型 RTK-GPS 測量とは、電子基準点の観測データ等によって算出された補正データ等または面補正パラメータと、移動局に設置した GPS 測量機で観測したデータを用い、リアルタイムに基線解析または補間処理を行い、移動局の位置を決定する測量をいう。「ネットワーク型 RTK-GPS を利用する公共測量作業マニュアル(案)ー基準点測量ー」では、VRS 方式と FKP 方式の 2 種類の仮想基準点方式が採用されている。以下にそれぞれの方式について述べる。

① VRS 方式

VRS 方式は、GPS 測量機で移動局の概略位置の解析を行い、その情報を配信事業者に送信する。配信事業者では移動局周辺 3 点以上の電子基準点での観測値を利用して、概略位置に仮想点を作り、この位置における補正值や観測予定の位相データ等の計算を行う。この位相データ等を配信事業者から携帯電話により移動局で受け、仮想点をベースに RTK-GPS 測量を行って、移動局情報と位相データ等を解析処理し移動局の位置を求める方式である。なお、VRS 方式は、VRS 方式とサーバー型 VRS 方式に区分される。VRS 方式の概念図を図 2.5 に示す。

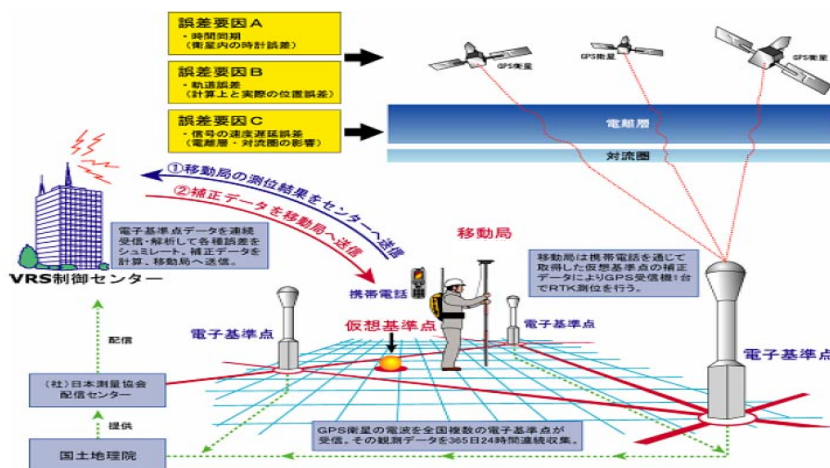


図 2.5 VRS 方式の概念図

(出展：(社) 日本測量協会、新技術習得の研修会 記者発表資料、2005)

② FKP 方式

FKP 方式は、電子基準点の観測量から電離層等の状態空間モデルを生成した後、このモデルから補正情報を計算し、各電子基準点に対応した移動局周辺の誤差量を面補正パラメータとして算出する。移動局で受信した面補正パラメータと概略位置における補正量を計算して移動局の位置を求める方式である。図 2.6 に FKP 方式の概念図を示す。

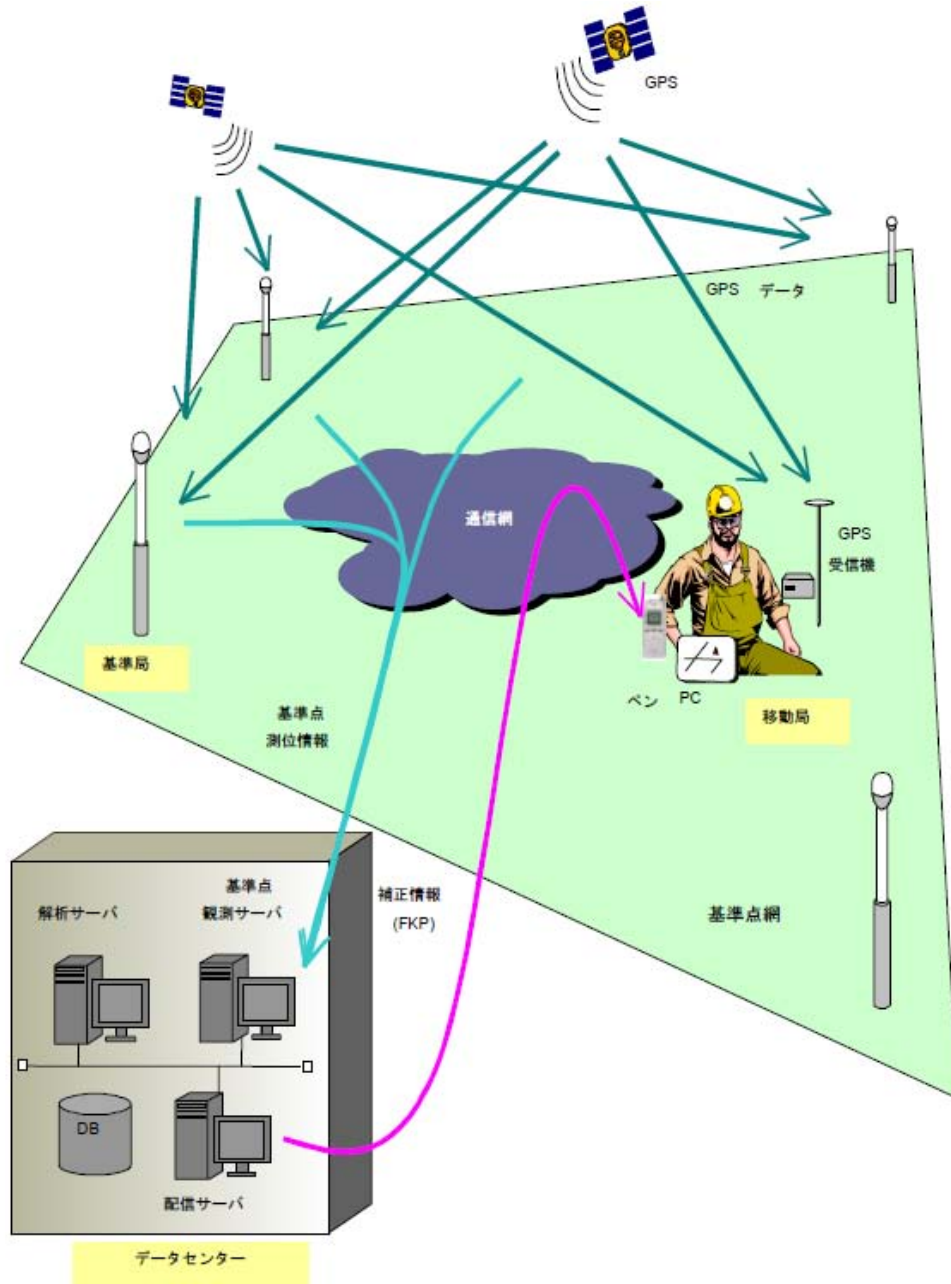


図 2.6 FKP 方式の概念図

(出展：(社) 日本測量協会、新技術習得の研修会 記者発表資料、2005)

2.2.3 GPSの利用と現状 ^[8]

GPSは、高精度に位置情報を取得することができ、公共測量や広域測量のほかにも様々な分野で利用されている。

民間利用においては、船舶や飛行機の位置把握には早い時期からGPSが利用されてきており、現在はバス、タクシー、運送会社車両、およびメンテナンス車両などにも用いられ、位置を管理するシステムが多く見られてきた。GPS技術を応用したカーナビゲーションシステムは民間最大のマーケットになっている。

最近では、自然保護の観点から動物の行動パターンを知る目的にも利用されてきており、小型・軽量のGPS受信機を動物につけて、その位置を追跡することにも応用されている。さらに消費者マーケットでは、カーナビ以外にも多種多様な位置情報サービスが実現されてきており、農業機械、飛行場滑走路の凹凸監視など構造物の監視、GPS搭載型の携帯電話機も普及しつつある。そのほか様々な分野におけるGPSサービス利用例を表2.9に示す。

表 2.9 様々な分野におけるGPSサービス利用例

分野	主な利用例
軍事	航空機、艦船、車両、人間などへの正確な航法支援
測量	測量基準点としての電子基準点、基準点測量
防災	電子基準点による日本列島の地殻変動観測、火山活動観測、地崩れ監視
自然保護、環境	動物の行動追跡、廃棄物処理車両の走行ルートトレース
自動車	カーナビ、車両の動態管理、＜自動運転＞
船舶	海上での自己位置把握（これまでは航海士の重要業務） 船の接岸時の誘導（船の前後に高精度GPSを置く） 海底テーブル敷設船
航空	航路上での自己位置把握＜自動着陸誘導＞
介護・福祉	徘徊老人などの位置把握＜歩行者誘導＞
生活	GPS携帯電話による自己位置通知、自己位置に関連した生活情報の取得、盗難車両の追跡
観光	修学旅行での生徒位置把握、旅行者位置近辺の観光情報
農業	飛行機による農薬散布、＜自動農業機械＞
建設・建築	構造物請構築時の位置決め、構造物（飛行場、ダム、ビルほか）の変形監視、建機位置把握、＜建機の自動運転＞
鉱業	工業機械の位置把握、掘削量の把握
倉庫	コンテナ位置把握

＜ ＞内は今後期待されるサービスを示す。

（出展：ITS情報通信システム推進会議、図解これでわかったGPS（ユビキタス情報通信時代の位置情報）、2006）

以上、GPS の効果的な利用例を示してきたが、GPS は受信の際にいくつかの問題点が生じる場合がある。

(1) マルチパス

GPS 衛星からアンテナに届く電波のうち、水平線に近い低高度角衛星の電波は、地球の大気の中を長距離的に通過してくるので、伝搬誤差が多くなることがある。そのため、電波が地物にあたって反射したものが直接届いた電波と一緒に受信されてしまい、それが衛星とアンテナとの距離測定の誤差要因となる。その仕組みを図 2.7 に示す。

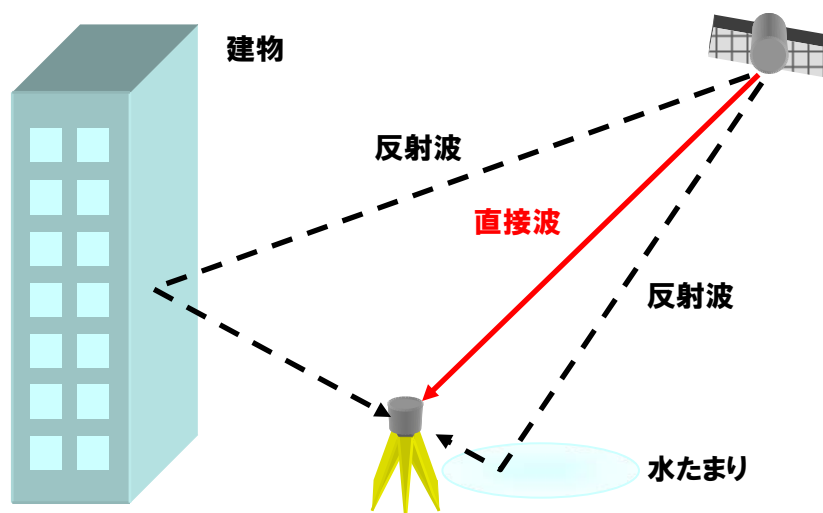


図 2.7 マルチパスの仕組み

(2) サイクルスリップ

衛星からの電波が障害物などで遮断されると位相測定が中断され、値が整数分ずれて記録される。これは整数値バイアス決定の障害となる。本研究で考えられるサイクルスリップは屋根の下を通るときや木々に囲まれた場所、建物付近を通るときに起こりやすい。

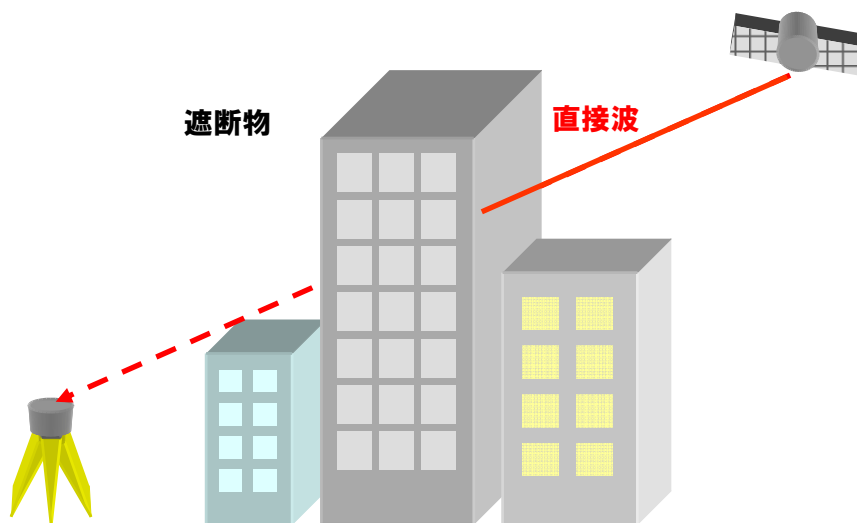


図 2.8 サイクルスリップの仕組み

(3) その他

GPS の受信に関する問題は、マルチパスやサイクルスリップ以外にもある。例えば、RTK-GPS は基準局と移動局の 2 点が測位を行う際に必要となる。そのとき、RTK-GPS はその 2 点間を繋ぐ無線機が必要にある。これら無線機は距離が離れ過ぎると電波がうまく受信できなくなることがある。また、GPS 測位機器は、ケーブルやアンテナにくぼみやくびれが起きること、ケーブルやコネクタの接続不良でデータに誤差が入ることもある。

GPS 測位による誤差は、さまざまな要因が挙げられる。その中でも特に、斜面や山地、建物付近では、GPS 測位の上空視通状態が悪く、測位精度が極めて劣ることがある。そこで(1)、(2)以外に起こる誤差要因を以下に (a) 電波伝送問題に関して、(b) ノイズに関して、と分類してまとめた。

(a) 電波伝送問題に関して

- ・ 電離層の影響（電子密度は昼前後に極大になり深夜は極小となる。また夏至に高くなり冬至は低くなる。）
- ・ 水蒸気の影響（夏と冬、昼と夜で水蒸気量が周期的に変化するので影響する。）
- ・ 気圧の影響（気圧 5mb 変化することで伝搬 1cm 遅延する。）
- ・ 衛星配置（低角度の場合や衛星数が少ない場合に影響する。）

(b) ノイズに関して

- ・ 上空視通の問題（データ数が少ないため）
- ・ 基線長が長くなる（伝送効率が下がるため）
- ・ 超高压送電線や雷（高電波が混入するため）
- ・ アンテナケーブルのくびれやくぼみ（データ伝送率が劣化するため）
- ・ ケーブルとコネクタの接続不良（データ伝送率が劣化するため）

このように GPS の受信に関する問題がいくつか挙げられた。しかしながら、GPS は高精度に位置情報を取得することは確かであり、高度空間情報社会を構築していくためにはこの有効な技術を応用することは不可欠である。従って、これらの問題点を改善・支援し、高精度位置情報を取得する新たな技術・開発が求められている。

2.2.4 GPSの動向 [9]

GPS や関連する測位システムはこの数年間で飛躍的に進展し、応用技術が示されてきた。この背景としては、米国連邦通信委員会の E911（携帯電話緊急通信時規定）の動きが大きく影響していると考えられる。これは米国における緊急連絡をよりの確に行うため携帯電話機に GPS を搭載するなどして、自己位置を把握できるようにするための法律である。日本では 2006 年 1 月に「事業用電気通信設備規則」の改正・公布され、2007 年 4 月からは「日本版 e911」が施行された。従って、施行後に発売される携帯電話端末は、原則として GPS モジュール内蔵が義務付けられる。また、対応端末からの緊急通報時に通報者の位置情報を警察・消防・海上保安本部に自動通知するシステムなどが行われる予定である。

このように、これらの技術は工事測量、地籍測量、地形測量、環境調査など、測量・調査への実利用に向けてだけでなく、従来の測量技術を超えたより広い概念としてポジショニング技術というものが確立されようとしている。ここでは、人々の生活や経済の環境を大きく変える可能性を持つ最先端の測量技術ついていくつか紹介する。

(1) ハイブリッド測位

多くの測位方式は、GPS 信号を利用して位置計算を行うことを前提としている。しかしながら、GPS 信号の届きにくいビル内や地下街における位置情報サービスの需要の高まりなどを受けて、GPS 信号でない電波を利用した測位方式が注目されている。特に携帯電話の電波を利用した測位システムが近年実用化されている。携帯電話の電波は 800MHz 帯や 2GHz 帯などの帯域を主に使用し、また基地局はサービスエリアを網羅するように設置されており、ビル内や地下街などでも支障なく電波が届くように回線設計が施されている。

ハイブリッド測位とは、GPS 信号を利用した測位方式とこれら GPS 以外の信号を利用した測位方式とを組み合わせた測位である。最近では、IC タグ、ジャイロセンサ、スードライト（擬似衛星）などを用いた測位技術の開発などが進められている（図 2.9 参照）。

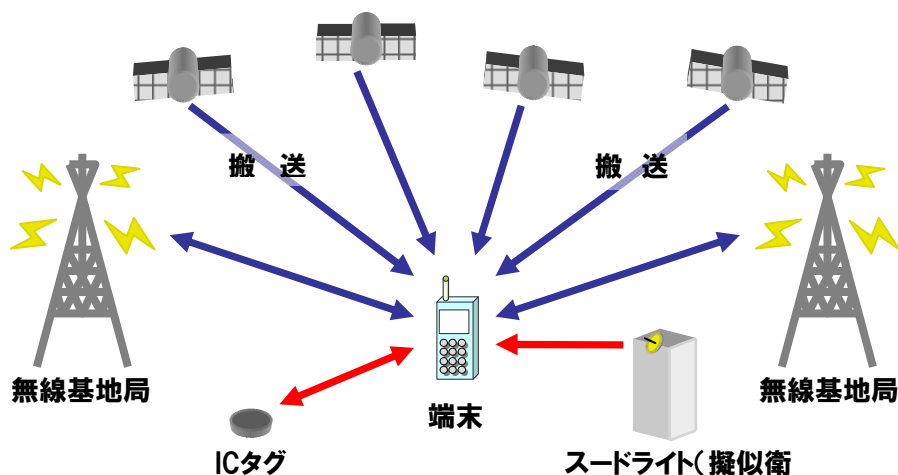


図 2.9 ハイブリッド測位システム

(2) A-GPS

最近、GPS アプリケーションは屋外だけではなく屋内でも利用されてきている。例えば、携帯電話へ GPS 受信機を組み込んだものなど、モバイルナビゲーションシステムが普及してきている。しかし、GPS 信号は建物内や都市部では大幅に減衰してしまうため、GPS 携帯電話は屋内においてほとんど利用できない。このため、新たな GPS 測位技術が要求されている。

そこでこれらの問題を解決する手段の一つに、A-GPS (Assisted-GPS : アシスト型 GPS) がある。A-GPS は米国 SnapTrack 社固有名称であり、携帯電話の無線ネットワークなどを通してサーバーから支援情報 (エフェメリス、アルマナック、ドップラーシフトなど) をもらうことにより、約-150dBm の高感度を実現し、屋内のある範囲まででは位置情報を取得することが可能となる。測位精度は D-GPS レベルに近い。A-GPS 測位システムはネットワーク内に設置されている支援サーバー (位置計算サーバー)、無線ネットワーク端末から構成されている。A-GPS 測位システムのプロセスを図 2.10 に示す。また、これらの機器で処理されている内容および各機器間の通信内容、順序を表 2.10 に示す。

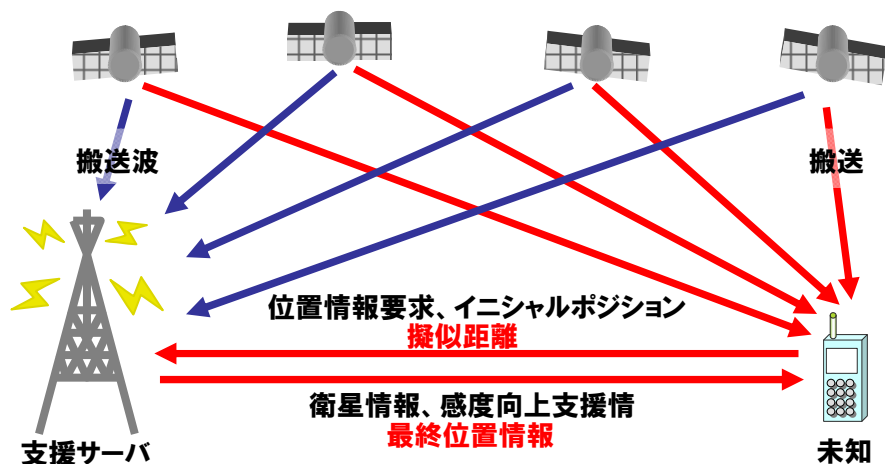


図 2.10 A-GPS 測位システムのプロセス

表 2.10 A-GPS 測位のシーケンス例

順序	ユーザー側 (携帯電話端末)	サーバー側 (支援サーバー)
①	• 測位要求をシステム側に通知する	
②		• 端末に支援情報を送信する
③	• GPS データを受信し、支援情報を元に実際に測位計算する • 測位データ (擬似距離) を支援サーバーに送信する	
④		• 最終計算処理を行う
⑤		• 得られた情報を端末に送信する

2.3 IC タグ技術 [10] [11]

高度空間情報社会の実現には、あらゆるヒトとモノの位置や属性を情報化し、ネットワークにより情報の共有化を図ることのできる社会基盤を整備することが必要である。そこで注目されているユビキタス技術が IC タグである。序論でも述べたように、平成 19 年 3 月に発表された、「GIS アクションプログラム 2010」によれば、今後具体的展開に必要な施策事項として「屋内外シームレス測位技術の開発」を挙げ、「GPS、無線 LAN、IC タグ等を活用して、屋内外のシームレス測位が容易に行える技術を開発する」（担当府省国土交通省）とし、「2010 年度までに屋内外ともにメートルレベルの精度で移動体の位置を決定できる技術を開発する」と明記されている。

2.3.1 IC タグ技術の特徴 [10] [11] [12]

IC タグ (Integrated Circuit Tag) は、小型の情報チップのひとつである。その仕組みは IC タグに専用ライターで情報を書き込み、リーダを所有しているユーザーがユビキタスに情報を読み込み利用するものである。これはユビキタス社会において必要不可欠なものであり、必然的に生まれてきたものである。IC タグがあらゆるところに設置してあれば、あらゆる情報の共有化を図り、ユビキタス社会が実現できると考える。

IC タグの仕組みは、IC タグの情報を交信するリーダとライターがあり、それらがネットワークにつながり、管理システムであるサーバーによって情報が管理・照合されるシステムで成り立っている。IC タグは IC タグとリーダ間の通信方法の違いからアクティブ方式とパッシブ方式の 2 種類に大きく分けられる。これら 2 種類の説明を以下に示す。

- ・ アクティブ方式：タグ自体にバッテリーを内蔵したもので、数秒間隔で電波を発信し、リーダでその電波信号を読み取るもの。信頼性も高く、通信距離は長い。ただし、バッテリーを搭載するため高価になる。(数年しかバッテリーが持たないため)
- ・ パッシブ方式：周波数により通信方法および特性が異なり、その用途も違う。

パッシブ方式で主に使用されている IC カードと IC タグの違いは、ヒト用かモノ用かである。IC カードは金銭が絡むようなセキュリティの厳しいところに多く使用されていて、形状や周波数帯 (13.56MHz) 等の仕様がほぼ決まっている。一方、IC タグは形状や周波数の特定もなく、ユーザーのニーズに合うように自由に利用できるように作られている。IC タグの特徴を以下にまとめる。

- ・ 非接触で情報の送受信ができること
- ・ 複数タグの情報を瞬時に読み書きできること
- ・ タグの情報を容易に追加・更新できること
- ・ 記憶できる情報量が膨大であること
- ・ 情報を暗号化でき、複製されにくいこと
- ・ 薄く、小さく、形状を用途に合わせられること

2.3.2 IC タグ技術の現状 [10] [11] [13]

IC タグはモノのすべてを情報化することができ、非常に便利なものであるが多くの課題もある。IC タグが持つ課題や現状を以下に示す。

① 読み取り率

IC タグの情報は、タグとリーダ間の通信環境が大きく影響し、必ずしも読み込まれるわけでない。要求される読み取り率は 99.9～99.99%と極めて 100%に近く設定されているが、実際に運用されている IC タグの読み取り率は 60～98%と不安定である。このような結果に至った誤差要因を以下に示す。

- ・ 電波の出力の関係で到達距離外である
- ・ 電波の到達距離内でも、リーダのアンテナの向きが悪く通信できない
- ・ IC タグの設置場所を利用者などが手で覆いやすい位置にあり、通信できない
- ・ IC タグの表面に水がついていて電波を遮ってしまい通信できない
- ・ IC タグをつけた荷物の周囲に金属製の物体や構造物があつて電波が遮られる

② 周波数帯

IC タグは様々な用途に合わせて周波数を変えながら利用されている。周波数帯の特徴などについて以下に示す。

- ・ 135kHz 未満：波長が長いので水や金属の影響が非常に小さく、動物への埋め込みや回転寿司の自動勘定システムにも利用されている。ただし、アンテナにコイルを使用するのでタグが厚くなることもある。
- ・ 13.56MHz：薄くしやすく、安価であり、最も使いやすい周波数帯である。電磁誘導方式で通信を行い、タグとリーダ間の通信距離は数cm程度であるので、学生証のようなカード型にほとんど利用されている。
- ・ UHF 帯：通信距離は 3～8m と長く、これから在庫・物流管理の主力になると予想される。ただ、電波法の規制があるため利用に制限がある。
- ・ 2.45GHz：タグの小型化が容易である。ただし、無線 LAN、電子レンジに干渉してしまう。また、周波数が高いために指向性（直進性）が高く、また水分に吸収されやすい。

このように、IC タグは周波数を変えることで様々な用途に用いることが可能である。しかし、現在の IC タグは、コストが高いため図書館、レンタル品の管理など、複数回の利用の中でコストを回収するような用途が多く用いられている。これらの傾向から考えると、IC タグはバーコードでは実現不可能であった点で多くのメリットを発揮する。周波数帯による指向性と通信距離については図 2.11 に示す。

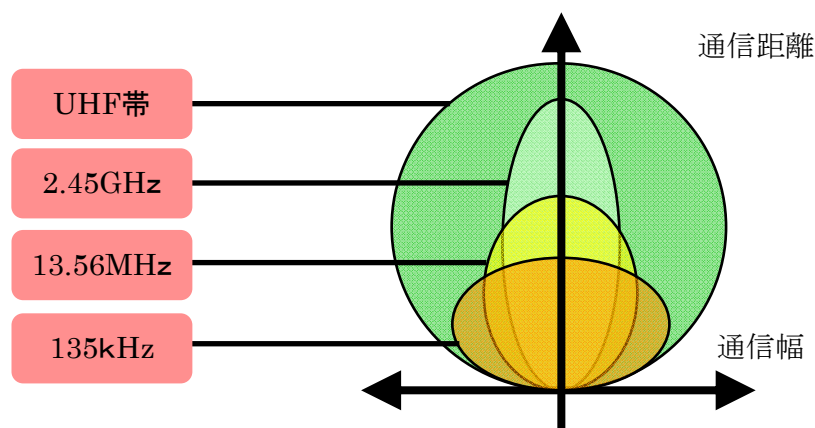


図 2.11 周波数帯による指向性と通信距離

③ その他の問題点

IC タグは、将来性は高く、さまざまな分野で実証実験が行われているが、多くの課題もある。その一つは上述した識別率（読み取り精度）である。実際の現場では、読み取れないことが多々あり、現状では 100%の識別率には至っていない。電波の出力については、電波法の定めがあり、免許なしで使用できる周波数帯の電波は 10 ミリワット以下と弱く、電波が到達できないことがある。

一方、IC タグは半導体を使用しているため、コストが高いことも難点である。バーコードは印刷で作成できるためコストはほとんどかからない。IC タグは、現在のところ、まだ 1 個数十円から数百円である。将来に向けては、その価格を最低でも 5 円以下にする必要がある。また、すべてのモノに IC タグを設置するためには、1 個 1 円くらいにしなければ広範囲でのインフラは実現できないと考える。従って、コストを決める要素であるメモリー容量や CPU を用途にあったものにすることや製造方法の見直しが求められる。

その他の問題点としては、規格に関する問題がある。どの範囲の周波数帯の電波を使用しても、どんな種類や方式の IC タグとリーダーやライターを利用しても今後は、標準化が必要不可欠である。国際標準化機構（ISO、International Organization for Standardization）と国際電気標準会議（IEC、International Electrotechnical Commission）が合同で標準化を進めているが、細部でさまざまな問題が出ている。一つは、各国の電波事情によって、使用できない周波数帯があるということである。例えば、日本では 430MHz から 440MHz の周波数は、アマチュア無線の関係で使用することができないが、アメリカやヨーロッパでは限られた条件で使用されている。また、ハードウェアの規格とは別にソフトウェアおよびシステムとしても規格の問題がある。この規格とは、IC タグに書き込まれる情報の形式、かつ情報をいかにネットワーク化し、顧客情報などのデータベースに結び付けていくかという方法である。これらの標準化は急速に求められ、この問題が解決しなければユビキタス社会は実現できないと考える。

2.3.3 IC タグ技術の利用と動向 [10] [14]

高度空間情報社会を実現させるためには、情報処理技術や管理システムなどが重要になってくる。現代社会では、モノと情報が大量に増大し続け、既存のバーコードだけで管理を行うには不十分であり、情報の書き換えを行うことは困難であった。そこで注目されるのが IC タグである。IC タグはバーコードに代わり、実現することのできなかつた様々なことを実現しようとしている。IC タグとバーコード、QR コードの違いについては表 2.11 に示す。

表 2.11 IC タグとバーコード、QR コードの違い

	IC タグ	バーコード	QR コード
情報量	～32kb 以上	数字 13 桁	数字最大 7089 文字
情報の書き換え	○	×	×
遠隔読み取り	○	×	×
複数同時読み取り	○	×	×
表示位置	裏面でも内部でも可	裏面	表面
トレーサビリティ	○	△	△
セキュリティ	○	×	×
コスト	高い	低い	低い

表 2.11 で示すように、バーコードや QR コードは情報量が少なく、書き換えができない。IC タグは膨大な情報量を記憶することができる。IC タグはその他にもメリットがあり、特に遠隔に読み取り可能、かつ複数同時に読み取り可能であることはコンテナのような大きな貨物を扱う物流分野では、荷物のハンドリング効率が極めて向上することが考えられる。また、データの追記機能やトレーサビリティ（追跡可能性）の特徴を活かし、多分野でも開発や研究が進められている。

近年、IC タグビジネスは急速に加速し、多方面での利用が検討されている。例えば、小学生に IC タグを持たせて安全・安心に登下校ができるようにチェックを行うシステム、書店や CD ショップにおける万引き防止システム、運転免許書やパスポート、自動車のナンバープレートを管理するシステムなどがある。また、歩行者を支援する視覚障害者誘導用ブロック経路誘導システム（神戸プレ実証実験）では IC タグを用いての実験が行われ成果もまとまっている。これらのシステムはネットワークと繋がることで情報の管理や共有化を図り、IC タグのメリットが初めて活かされてくる。

現在、設置が進んでいる道路基準点（キロポスト）には、IC タグが埋め込まれており、それぞれの場所に関連する情報が記憶されている。2006 年 12 月に国土交通省が「道路基準点の整備方針（案）」を示した以降、設置方法は場所によってさまざまであるが急ピッチで進められている。図 2.12 はその道路基準点の整備イメージを示す。IC タグ付き道路基準点には日本全国どこへ行っても同一の形式でデータが書き込まれており、その中には、道路の種別に関する情報に加えて、測量によって計算した緯度・経度・標高の情報も含まれている。こ

れにより、IC タグリーダ利用者が現地で直接、座標情報を取得できるだけでなく、それを参照しながら現在地を中心とした地図や航空写真をリアルタイムに閲覧することが可能になる社会が将来到来すると考えられる（図 2.13 参照）。

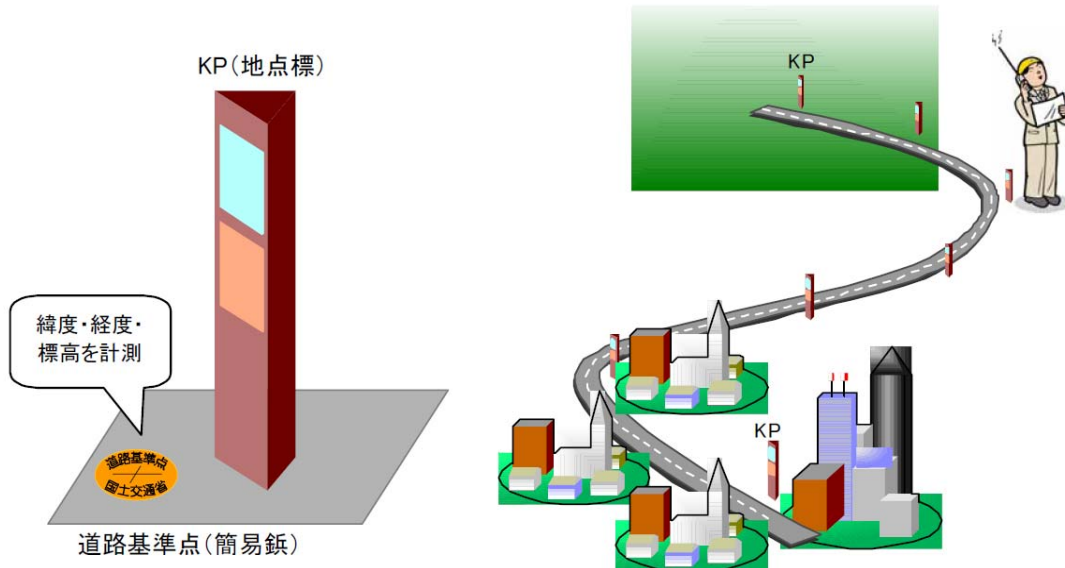


図 2.12 道路基準点の整備イメージ

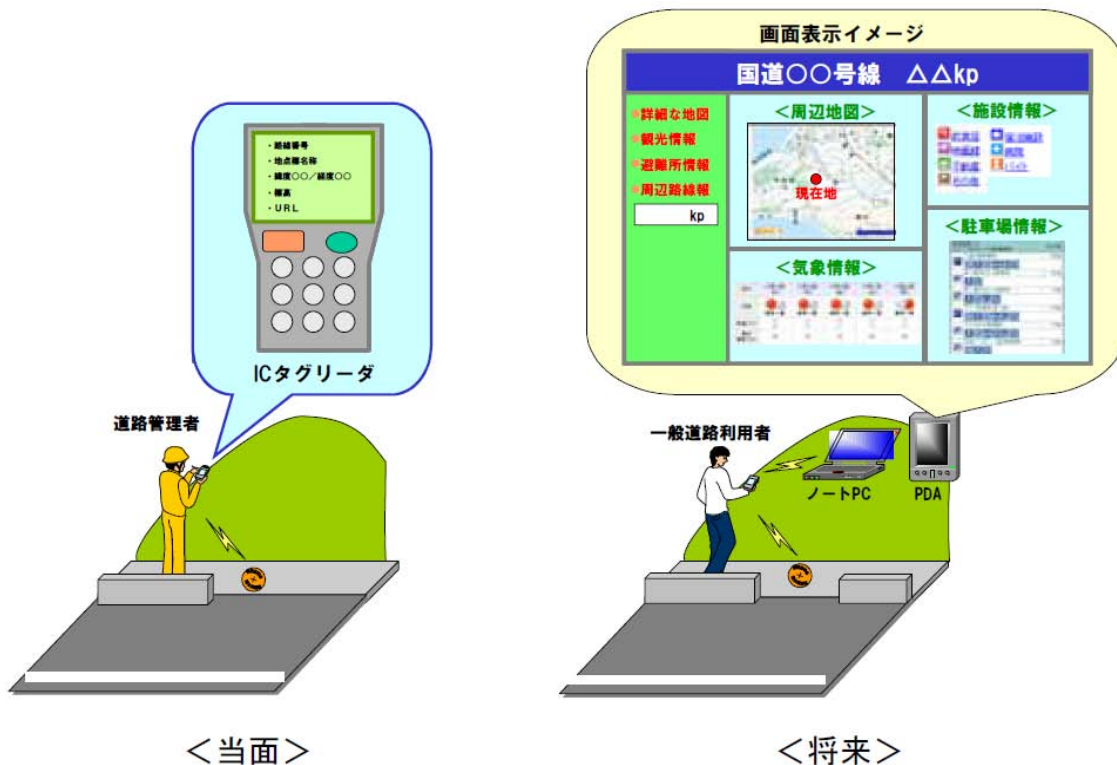


図 2.13 IC タグの利用イメージ

(出展：国土交通省、「道路基準点の整備方針（案）」，2006）

第3章 リアルタイム GIS [1]

この章では本研究と密接に関係する「リアルタイム GIS」の概念と特徴について述べる。

3.1 リアルタイム GIS の概念

本研究室では、高精度な RTK-GPS 測位を用いて取得した絶対位置座標（緯度、経度）を、携帯電話やインターネット等の通信手段を用いて即時に自治体の保有する地図（ベースマップ）に反映させ、地図の即時作成・更新を可能にする技術を「リアルタイム GIS」と定義した。

RTK-GPS は位置情報に加え、時間情報も得ることができるため、時系列で地図管理が可能になる。「リアルタイム GIS」による地図更新の概念を図 4.1 に示す。ここでは車椅子を利用した測位を例に挙げて説明する。

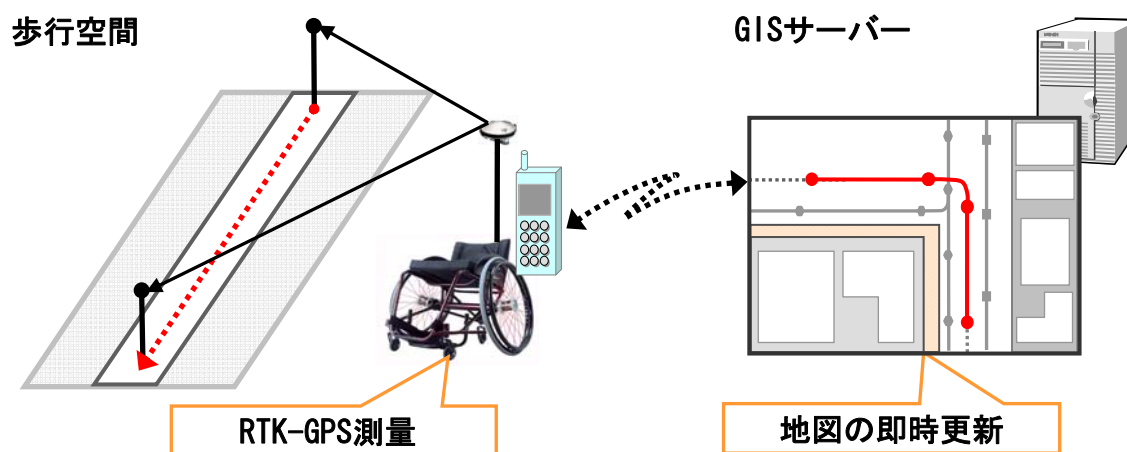


図 4.1 リアルタイム GIS の概念

- ① RTK-GPS 測位を用いて得られた高精度位置情報は、通信手段（携帯電話など）を用いて地図サーバーへ送信される。
- ② 地図サーバーから自治体のサーバーへの送信は、インターネットを介して行う。
- ③ 主題図、基本図（今後、「地理空間情報活用推進基本法（案）」が国会で成立されることにより整備されていく基盤地図を含む）が即時更新される。
- ④ 歩行者は PDA 端末や携帯電話を用いて、最新地図データを表示・利活用できる。

更新に要する時間は、RTK-GPS 測位実施時間と携帯電話で測位データを送信するわずかな時間である。また、図 4.1 に示すように歩行者や車椅子利用者は現在位置だけでなく、その他の情報（工事現場の有無、バリアフリー設備の有無など）を地図更新サーバーに送信することで、リアルタイムに GIS の地図更新ができ、安全で安心、快適な地図作成が可能となる。

3.2 リアルタイム GIS の特徴

従来からの研究および本研究で提案する「リアルタイム GIS」の特徴について下記のようなものが挙げられる。

① 最新地図の構築

全庁型 GIS（統合型 GIS）の運用において、最大の問題となる地図更新をリアルタイム化することができる。これにより、常時最新の地図を利用することができる。

② 絶対位置管理

地元自治体における調査等から、現在埋設物等の位置は全て道路境界・縁石等の目標物から「何メートル」といったように、オフセット値により管理されている。当然のことながら、図面と現実でのずれが生じており、業務に支障をきたしている。

しかし、RTK-GPS を用いた測位では、緯度・経度の絶対値で管理することにより、施設の正確な位置を把握することが可能である。従って、現実の施設の位置と図面上での位置とのずれが生じない。また、喪失した座標点を探すこともできる。ただし、RTK-GPS 測位結果と従来方法による測量で新旧座標系の違いにより図面上における位置のずれが生じる可能性がある。

③ 時系列による地図の管理

RTK-GPS 測位は、緯度・経度の情報と共に測位時間も入手することができる。これにより、時間をキーとした時間断面での図面管理ができる。更に測位データが時系列に蓄積されることで、いつ、どこにいたか記録することが可能である。

④ 地図作成コストの低減

測位結果を即時に地図サーバーに反映することによって、竣工図等の書き込みの段階でデータを台帳へ反映することができ、コストの低減が図れる。また、従来行われていた数回の測量（調査測量、認定測量など）が、絶対値測位によりかなり低減できるため、測量に要するコストも削減できる。

⑤ 高精度測位

仮想基準局方式により、広域において数 cm レベルの高精度測位が可能である。これにより、都市の正確な状況を把握することができる。

リアルタイム GIS の実用例について、車椅子利用者が外出する際に、安全、安心、快適に利用可能であるリアルタイムバリアフリー地図更新システムのイメージを図 4.2 に示す。また、リアルタイム GIS のシステム概要をまとめたものを表 4.1 に示す。

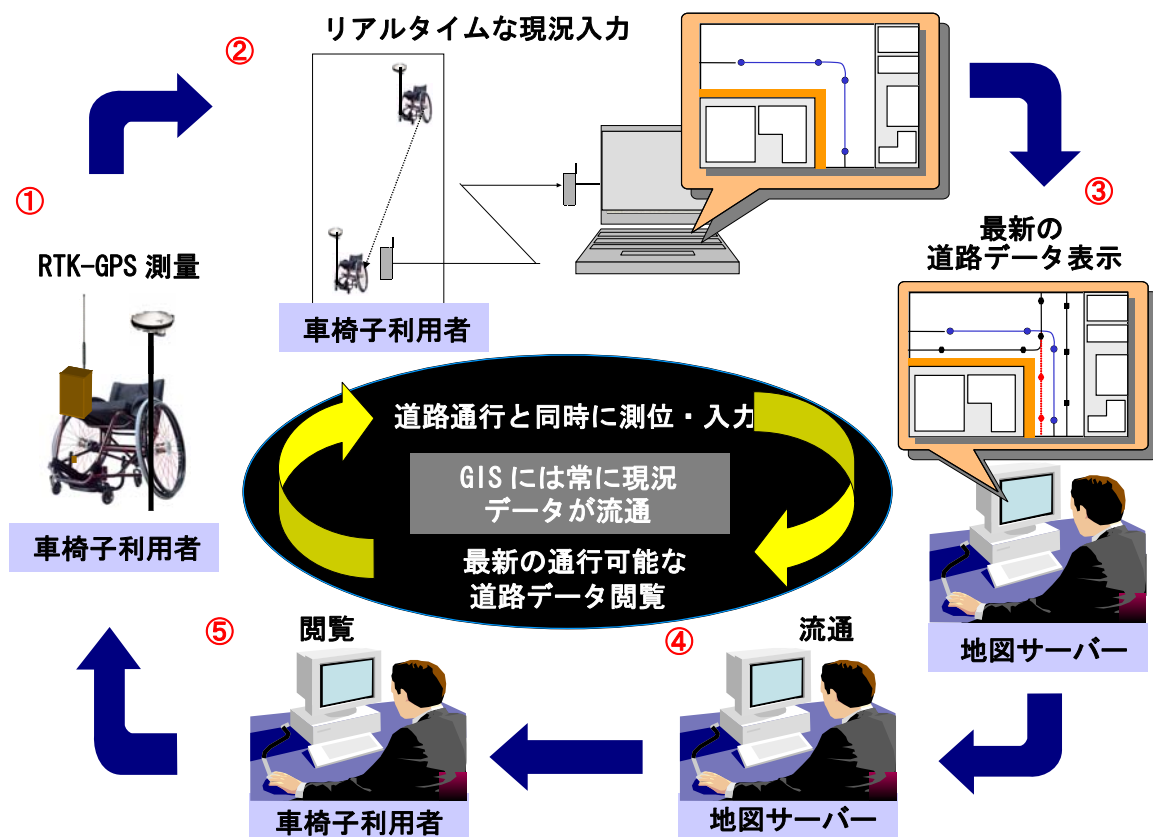


図 4.2 車椅子利用者を対象としたバリアフリー地図更新システムのイメージ

表 4.1 システムの概要

手順	ユーザー（車椅子利用者）	管理者（地図サーバー）
①	<ul style="list-style-type: none"> 車椅子に RTK-GPS (VRS-GPS) 機器、携帯電話、モバイル型 PC を装着 車椅子で道路を移動(RTK-GPS 測位) 	
②	<ul style="list-style-type: none"> RTK-GPS 測位データ、その他の情報を管理者にリアルタイム送信 	
③		<ul style="list-style-type: none"> 複数の RTK-GPS 測位データの一括管理 車椅子利用者の通行可能な最新道路データの表示 属性情報追加（通行不可能個所の原因等）
④		<ul style="list-style-type: none"> 基盤地図データの流通
⑤	<ul style="list-style-type: none"> 基盤地図データの閲覧 	
↓	<ul style="list-style-type: none"> 最新の道路状況を把握 	
①	<ul style="list-style-type: none"> 安全、安心、快適に外出可能 	

第4章 GPS 精度検証実験^[1]

この章では VRS-GPS 測位、D-GPS 測位を用いての精度検証実験結果について述べる。

4.1 実験の目的

本実験は、小範囲なエリア（例として金沢工業大学キャンパス）に限定して、①高精度に絶対位置データを取得すること、②精度の劣る場所はどのような特徴があるか把握すること、③ VRS-GPS 測位、D-GPS 測位による取得データにどの程度の誤差があるか比較し把握することなどについて検証する。また、著者らは今後の高度空間情報社会において GPS 測位が有効に利活用されていくことを視野に入れて検証実験を実施した。

4.2 実験概要

検証実験は2回（平成18年10月20日、11月2日）行われ、検証場所は金沢工業大学キャンパス内である。測位方法は、VRS-GPS、D-GPS 受信機を車椅子に取り付けたものを移動局として、あらかじめ決めたルート（キャンパス内1周）を一定の速度で移動した。この測位方法を用いた理由は、衛星状況やその他の環境をほぼ同じ状態にし、測位データを比較しやすくするためである。GPS 測位実験ルート、エリアを図4.1に示す。

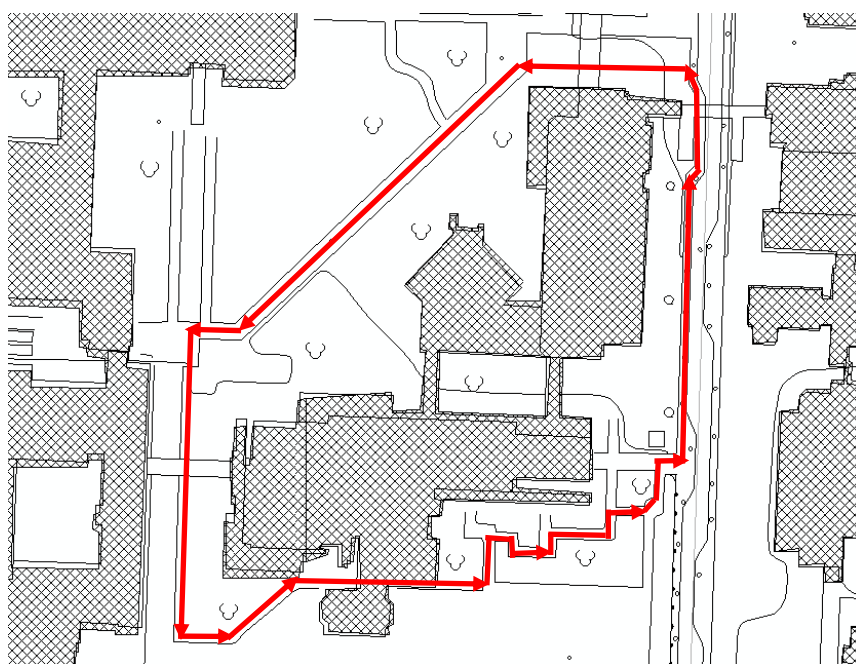


図 4.1 GPS 測位実験ルート、エリア（金沢工業大学キャンパス内）

実験概要を以下に詳しく示す。

実験日：平成 18 年 10 月 20 日、平成 18 年 11 月 2 日

実験場所：金沢工業大学キャンパス内（小範囲エリア）

天候：晴れ（D-GPS、VRS-GPS 測位）

使用機器：車椅子、D-GPS、VRS-GPS

また、使用機器等は以下に示す通りである。

(1) VRS-GPS

移動局のみで位置情報取得が可能であり、補正データは携帯電話を用いて受信する。実験は GPS 受信機を車椅子に取り付けて実施した（図 4.2 参照）。

1) 使用機材：

a) GPS アンテナ：ライカジオシステムズ(株)製 AX1202

b) GPS 受信機：ライカジオシステムズ(株)製 GX1230

c) VRS 配信会社：日本 GPS データサービス(株)

d) 通信機器：携帯電話（NTT DoCoMo N253i）

2) 機器概要：

VRS-GPS 方式では、電子基準点により仮想基準点が作成されるので基準局を設置する必要はない。仮想基準点は移動局の周辺約 3~5m 位に作成される。したがって、RTK-GPS に比べて、労力が軽減され時間を短縮できる。

(2) D-GPS

1) 使用機材：

a) GPS アンテナ：日本 GPS ソリューションズ(株)製 MicroPulse 1372FW

b) GPS 受信機：日本 GPS ソリューションズ(株) P4-GPS

c) VRS 配信会社：日本 GPS データサービス(株)

d) 通信機器：通信カード（NTT DoCoMo FOMA P2402）

2) 機器概要：

D-GPS 方式では、電子基準点を用いるので基準局を設置する必要はない。測位精度は約 0.5~2m とやや劣るが移動局のみでの測位が可能である。また、D-GPS はコスト面においてハードウェア、ソフトウェアの両者共に VRS-GPS より安価である。

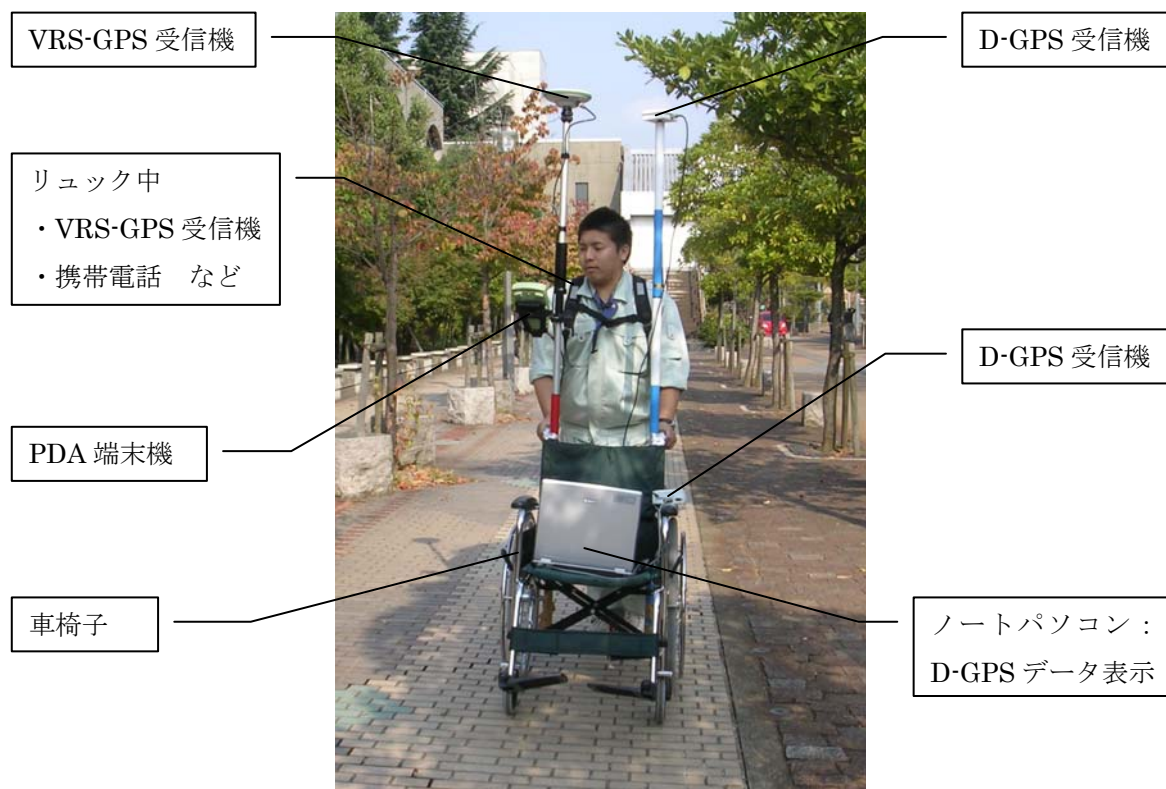


図 4.2 VRS-GPS、D-GPS 測位実験の様子

4.3 実験結果

GPS 測位結果は、ArcGIS9.1 (GIS ソフトウェア) を用いて電子地図上に表示した。また実験結果は、地図データや航空写真を重ね合わせるにより詳細に分析された。図 4.3 は、VRS-GPS、D-GPS 測位で取得した測位データ、基本図等の地図データ、航空写真を重ね合わせた結果である。重ね合わせに使用されたデータ、使用機器については以下に示す。

- ・ ArcGIS9.1 (GIS ソフトウェア)
- ・ 航空写真 (金沢工業大学周辺)
- ・ 数値地図 2500 (空間データ基盤)
- ・ 野々市町都市計画基本図 (縮尺 1/500、1/2500)

野々市町都市計画基本図に関して、この地図は野々市町長の承認を得て、同町作成の都市計画図 (縮尺 1/2500) 及び道路台帳図 (縮尺 1/500) を使用して作成したものである。【平成 18 年 4 月 11 日承認 都第 7 号】

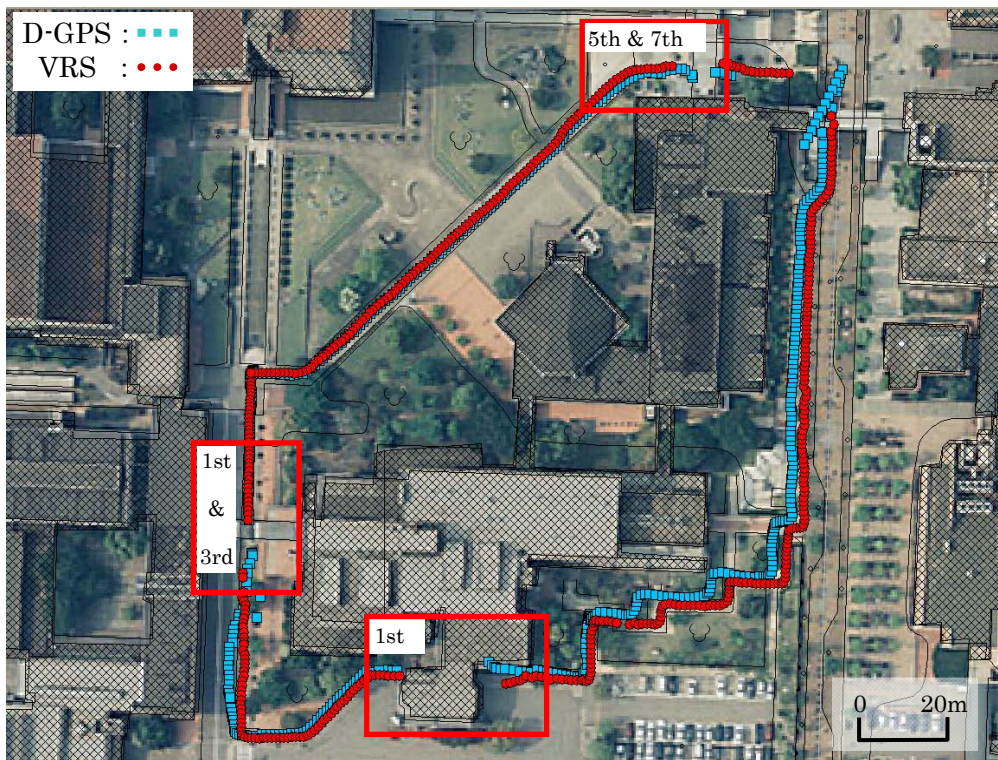


図 4.3 GPS 測位データの重ね合わせ

重ね合わせ結果により、連続的に観測できた箇所と連続性が保てない箇所が明確になった。また、連続性が保てない箇所は大きく分けて3箇所あり、それらの箇所では許容範囲外の測定誤差が生じていた。図 4.4 は、その一部であるデータの不連続となった軌跡の距離を測定した結果である。連続性が保てなかった3箇所においては図 4.4 と同様の測定を行い、D-GPS と VRS-GPS 測位データの軌跡がどの程度の不連続性があるか検証を行った。

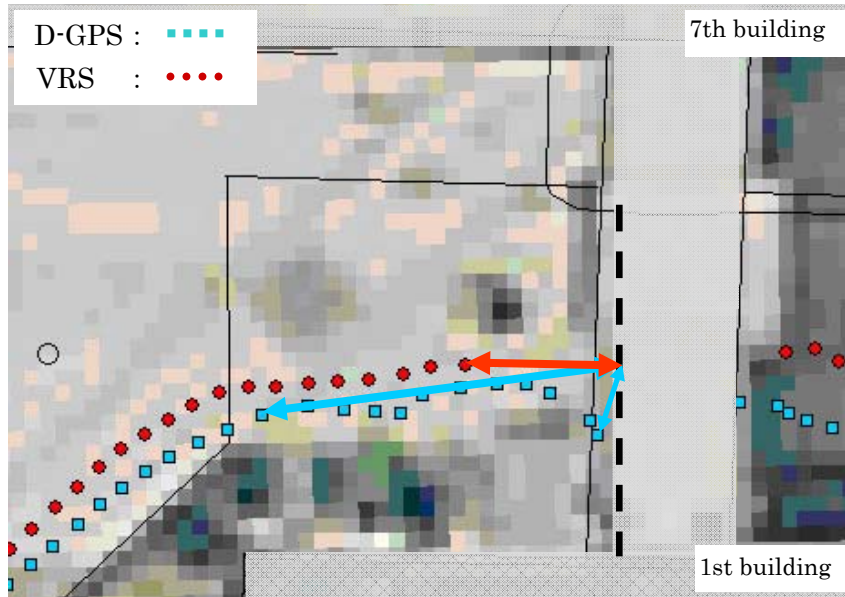


図 4.4 途切れた軌跡の検証 (1st & 7th)



図 4.5 1号館・3号館間付近、5号館・7号館間付近の実験様子

表 4.1 GIS 表示による軌跡

Building No.	途切れた軌跡の長さ(m)	
	D-GPS	VRS-GPS
1st	4.624	7.908
1st & 3rd	5.119	7.396
5th & 7th	2.374	5.419

表 4.2 位置精度等を考慮した軌跡

Building No.	途切れた軌跡の長さ(m)	
	D-GPS	VRS-GPS
1st	15.313	12.574
1st & 3rd	-	12.130
5th & 7th	12.952	5.419

表 4.1 は GIS 上に重ね合わせ表示された途切れた軌跡 (生データ) を測定した結果である。表 4.2 は DOP 値や衛星数、緯度、経度、高さの標準偏差を考慮して途切れた軌跡を測定した結果である。

図 4.3 などのデータの重ね合わせ結果より、D-GPS 測位データは、木々の生い茂る場所や建物付近では約 2~5m 程度の誤差があった。DOP 値や衛星数、緯度、経度、高さの標準偏差を考慮すると誤差は 10m 以上になった（表 4.1、4.2 参照）。VRS-GPS 測位データは、取得・表示されたデータのほとんどは高精度であった。しかし、図 4.3 で示すように GIS 表示による結果では D-GPS 測位よりも途切れている軌跡は長くなった。

4.4 考察

GPS 測位を行う際には、上空視界が開けていること、受信衛星数が 4 機以上であることが必須である。データが不連続となった場所は、図 5.9 に示すように屋根がある箇所であった。また同様に、建物付近や木々が生い茂る場所でも連続してデータを取得できないか精度の劣るデータが取得されていた。このような場所では、GPS 衛星からのデータ受信や無線機からの補正情報が受信することができない場合が考えられる。たとえば、サイクルスリップやマルチパスが GPS 受信状態に影響することも要因の 1 つである。建物付近で観測を行う場合には、観測日時の衛星状況をあらかじめ把握して測位実験計画を立て、サイクルスリップやマルチパスを考慮する必要がある。

次に、D-GPS は木々が生い茂る場所では約 1.0~5.0m の誤差が生じたが、VRS-GPS よりも途切れている軌跡の長さは短く、早く測位に復帰する結果が分かった（図 5.8 参照）。一方、VRS-GPS は位置精度等を考慮して途切れた軌跡の長さを測定しても誤差は大きく変わらず、高精度に取得されていることが分かる（表 5.1、5.2 参照）。D-GPS と VRS-GPS の測位復帰に差が生じたのは、再初期化の影響がある。再初期化には数秒から数十秒かかるため、単純な測位システムである D-GPS は早く復帰したと考えられる。従って、受信状況が悪い場所を通過した後の復帰過程では、D-GPS 測位の軌跡は位置精度が劣るが連続性は高いことが分かり、VRS-GPS 測位の軌跡は位置精度が高く、位置データのばらつきは少ないことが分かり、両者に違いが見られた。

以上のような GPS 測位実験結果から、現状の GPS 測位技術のみでは、絶対位置やその他の情報が定常的に受信されないと考えられる。しかしながら、将来の GPS 測位は GLONASS や Galileo などの衛星を併用することにより初期化に要する時間が短縮され、加えて A-GPS 技術の進展などさらに高感度な GPS を用いることにより広範囲な測位が可能になると考える。本研究はコスト面や位置精度を考慮して高度空間情報社会におけるマンナビゲーションに最適な GPS 測位手法とシームレス測位の実現に向けて今後検証していくことが望まれる。

第5章 ICタグ動作確認実験^{[1][15]}

前章で述べたように、現状のGPS測位技術のみでは絶対位置やその他の情報を定常的に受信することは困難である。本章ではこれらの問題を解決するために、ICタグを採用した新しい概念を提案する。また、本研究では提案する概念の実現に向けてICタグ動作確認実験、市場調査、ICタグ機器の選定および基礎的な実験を行った。

5.1 ICタグを採用した新しい概念

本研究では、上述のように空間情報社会で有効に成り得るICタグと空間情報工学を活用すればいつでも、どこでも、だれもが位置情報を受信することができる新しい概念を提案する。図6.1は、GPS測位とICタグを用いて歩行者支援システムを示したものである。

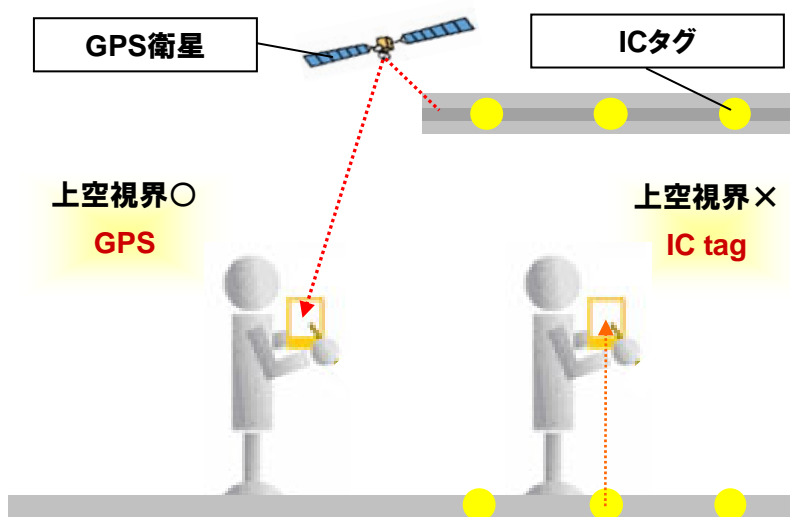


図 5.1 GPS 測位と IC タグ用いた歩行者支援システム

例えば、上空視界が開けている場所では高精度なGPS測位技術を利用し、GPS衛星からの信号を受信できない場所ではICタグを用いて位置情報を受信する方法を利用すれば、連続的な歩行空間経路を確保することができる(図5.1参照)。以上のことから、空間情報工学とICタグを用いた歩行者支援(マンナビゲーション)システムを提案する。

ICタグに入力する絶対位置情報は、GPS測位では取得困難な場所である。したがって、上空視界が確保された近傍の地点におけるVRS-GPSを用いたスタティック測位とトータルステーション(TS)を併用して、タグ設置点上の絶対位置情報を求める方法が考えられる。具体的にはタグ設置点に近く、かつ上空視界の開けた場所でスタティック測位を行い、その地点からTSを用いた地上測量(三辺測量など)を行い、高精度な位置情報を取得する方法である。また、タグ設置点の近くに既存の基準点や都市再生街区基準点などがある場所では、それらの点を用いることができる。さらに最近のTSでは機器に計算プログラムが内蔵されているので、GPS信号を受信できない位置情報も容易に求めることができる。

5.2 調査概要および実験目的

本研究では GPS 測位と IC タグを用いてシームレスに位置情報を取得することが可能な歩行空間の実現に向けて、IC タグ関連の基礎資料を得ることを目的とした実証実験を行った。調査は、基礎実験を行うための IC タグ関連調査、ハードウェアやソフトウェアの選定などを行い、IC タグ動作確認実験により基礎資料を得ることを目的とした。調査概要について以下に述べる。

(1) IC タグ関連調査

本研究における IC タグおよびリーダ/ライタの市場調査は、東京国際展示場で開催された第 8 回自動認識総合展（2006 年 9 月 13 日～9 月 15 日）、IC CARD WORLD 2007（2007 年 3 月 6 日～3 月 9 日）で行った。調査方法は、フォーラムや学会等でのヒアリング調査および IC タグ関連の文献調査である。

第 8 回自動認識総合展は、バーコード、2 次元シンボル、RFID、IC カードなどの先端自動認識技術や、流通、倉庫、店舗、公共分野、トレーサビリティ、セキュリティなどで利用が期待される自動認識ソリューションを網羅する IC タグ関連のシンポジウムである。IC CARD WORLD 2007 は、IC チップやアンテナなどの構成部品から、各種の IC カードや IC タグ、各分野のサービスやソリューションまで、その最新技術と製品の紹介を関連企業が行う展示会である。これらの展示会では、凸版印刷株式会社エレクトロニクス事業本部の福森滋氏に協力を依頼し、IC タグに関しての最新情報を収集した。

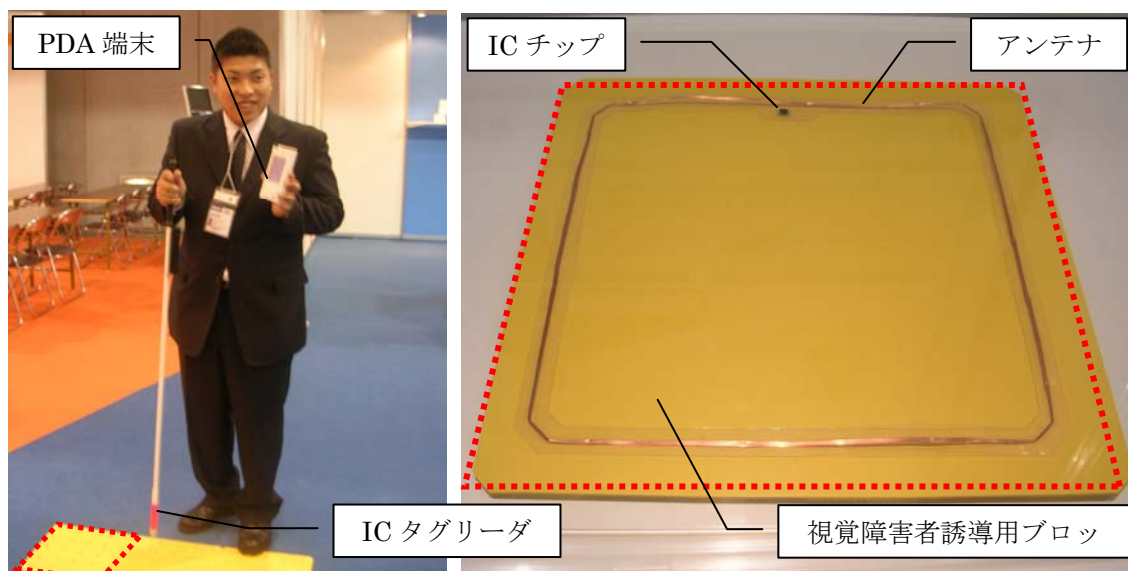


図 5.2 視覚障害者誘導用ブロック経路誘導システム（歩行者 ITS）

「お財布携帯」など電子マネーやクレジットの携帯電話への搭載、定期券やパスポートの IC カード化、さらには公共分野での利用も進み、IC カードはより生活に密着した存在となってきた。IC カードの活躍の場はカードの形状からユビキタスに利用可能な IC タグへと更

なる広がりを見せており、ネットワークとの接続やアプリケーションの多様化とともに普及が進んでいることが調査から分かった。図 5.2 は視覚障害者誘導用ブロック経路誘導システムであり、凸版印刷株式会社の了解を得て掲載した。

IC タグ分野の市場予測としては、2010 年までには物流や生産履歴管理などの分野で増加が見込まれるなど実用化段階に入り、マーケットを拡大しつつある。また、利用周波数帯は一般的に多く使用されていた 13.56MHz から UHF 帯や 135KHz など使用され始め、IC タグはさまざまな分野に利用されていくだろう。特に 13.56MHz は世界共通で利用されており国際的汎用性が高く、かつ「いつでも、どこでも、だれでも」が利用しやすいことから、今回の実験では 13.56MHz を利用することにした。

(2) IC タグ使用機器の選定

a) IC タグの調査および選定

本実験では、形状、大きさ、材質などが異なる IC タグが数多く必要である。しかし、通常は IC タグを購入する際、数万枚単位で購入すれば安価となるが、少量の IC タグにおいては単価が高く、数種類のタグやリーダー/ライターを用意するだけで相当なコストとなってしまう。

上述のようなコスト等の問題があったため、今回の実験では凸版印刷株式会社エレクトロニクス事業本部を通じてサンプルタグを提供いただいた。提供されたサンプル IC タグ等 (HF 帯 ISO/IEC 15693 準拠) について以下に示す (図 5.3 参照)。

- ・ペーパー型サンプル (周波数 : 13.56MHz、枚数 : 約 80 枚)
- ・シール型サンプル (周波数 : 13.56MHz、枚数 : 約 20 枚)



図 5.3 使用する IC タグ

IC タグは多湿高温の場所や油や薬品、水のかかるような場所などを扱う場所では電波に影響を及ぼすため利用することが難しいとされている。しかし、最近ではそのような劣悪な環境でも利用できるセラミック型 IC タグ、金属対応タグなどが研究、開発されてきた。特に

注目するのがセラミックス型 IC タグである。これは無機質であるセラミックスの特長を活かして、耐熱、耐水、耐薬品と IC タグの利用範囲を確実にかつ大幅に広げること成功したものである。また、このセラミックス型 IC タグは都市再生街区基準点の IC タグにも利用されており、効果を発揮していくものとする。図 5.4 は KRD コーポレーション株式会社製のセラミックス IC タグを示したものである。

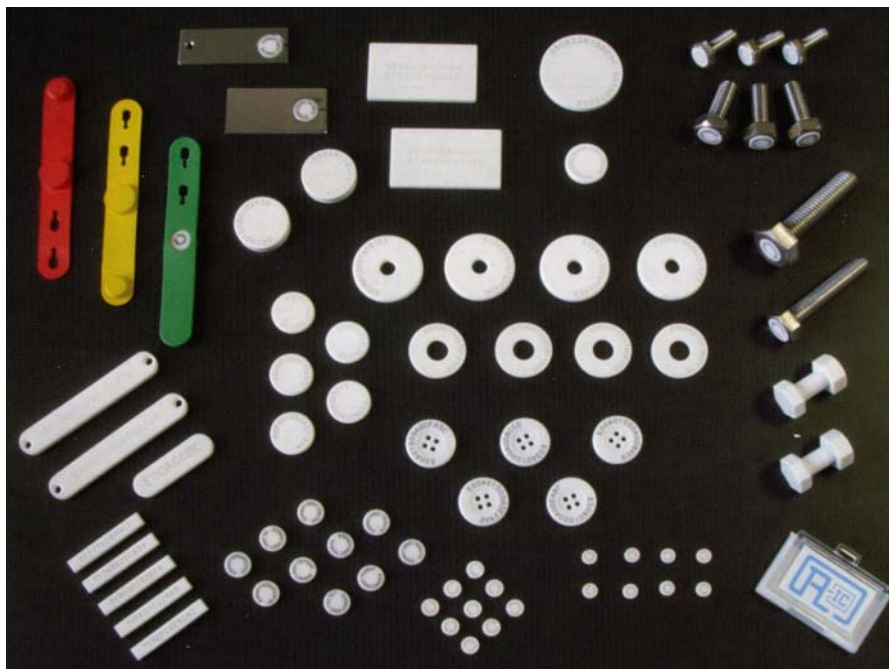


図 5.4 セラミックス型 IC タグの種類

(出展：KRD コーポレーション株式会社パンフレット)

市場調査および文献調査等をもとに購入した IC タグを以下に示す。

- ・カード型 (Texas Instruments 社製、周波数：13.56MHz、枚数：200)
- ・セラミックス型 (KRD コーポレーション株製、周波数：13.56MHz、枚数：200)

本研究では、図 5.3 に示したペーパー型、シール型 IC タグに加え、カード型 IC タグ、図 5.4 のセラミックス型 (コイン型) IC タグを用いて IC タグ動作確認実験を行うことにした。また、本実験で使用する IC タグは全て円偏波方式である。

b) IC タグリーダ/ライタの調査および選定

IC タグを利用するには情報を読み書きするためのリーダ/ライタ端末が必要である。しかし、リーダ/ライタは市場に多くの種類が出回っており、簡単に判断することが難しい。そこで本研究ではフォーラムや学会でのヒアリング調査などから表 5.1 に示すリーダ/ライタに絞り込み比較した。

表 5.1 IC タグリーダー/ライタの比較

メーカー名	凸版印刷株	NEC株	株ウエルキャット
製品名	TesStar	Pocket@iEX	EFG-400-01
写真			
特徴	通信距離：～20 cm サイズ：21×9.7×5cm 電源：USB より供給 対応 OS： Windows 2000/XP	通信距離：～15 cm サイズ：79×157×25 cm 電源：充電電池 対応 OS： Windows 2000/XP	通信距離：～40 cm サイズ：12×14.6×3.8 cm 電源：AC100V アダプタ 対応 OS： Windows 98/2000/XP
	PC 接続タイプで周波数帯は 2.56GHz を使用しており、アンチコリジョン機能を持っている。	ハンディタイプで周波数帯は 13.56MHz を使用しており、アンチコリジョン機能を持たない。バーコードを認識するなど、その他 PDA 端末としての利用が可能である。	リーダー/ライタと別にアンテナ設置タイプで周波数帯は 13.56MHz を使用しており、アンチコリジョン機能を持っている。中距離用リーダー/ライタで他のものに比べて通信距離が長い。
検証済タグ	Tag-it HF-I、 I-CODE SLI、my-d MB89R116/118	Tag-it HF-I、 I-CODE SLI、my-d MB89R116/118	Tag-it HF-I、 I-CODE SLI、my-d MB89R116/118
製造元	http://www.toppan.co.jp/	http://www.necinfrontia.co.jp/	http://www.welcat.co.jp/

表 5.1 に示す TesStar は、シンガポール科学技術庁と凸版印刷株式会社の共同開発によるオリジナルの IC タグリーダー/ライタで、IC タグ 1 個あたりの読み取り時間は 0.02 秒と高速であり、かつシンプルな使用と操作ができる製品であった。しかし、納品直前になって機器に問題が発生するなどのトラブルがあったため購入を見送ることにした。Pocket@iEX は、市場調査を行っていくと物流の分野に限らず、都市再生街区基準点の管理など幅広く利用されていることが分かった。本研究では、Pocket@iEX で利用できるようにリーダー/ライタのプログラムを開発することにした。プログラム構成は、IC タグに登録されている UID の読み書きを可能にするものである。本プログラムは NEC インフロンティア株式会社提供による RFID デモのテキストファイルを基に、金沢工業大学情報フロンティア学部メディア情報学科の日下研究室に内部委託した。開発されたプログラム画面を図 6.6 に示す。これらのプロ

グラムは VisualStudioNET2005 を利用しており、VC++ (MFC) を利用して作成している。しかし、Pocket@iEX はハンディタイプであるため、IC タグを読み込む際に毎回向きを変え
る必要があり、IC タグ動作確認実験に不向きであった。

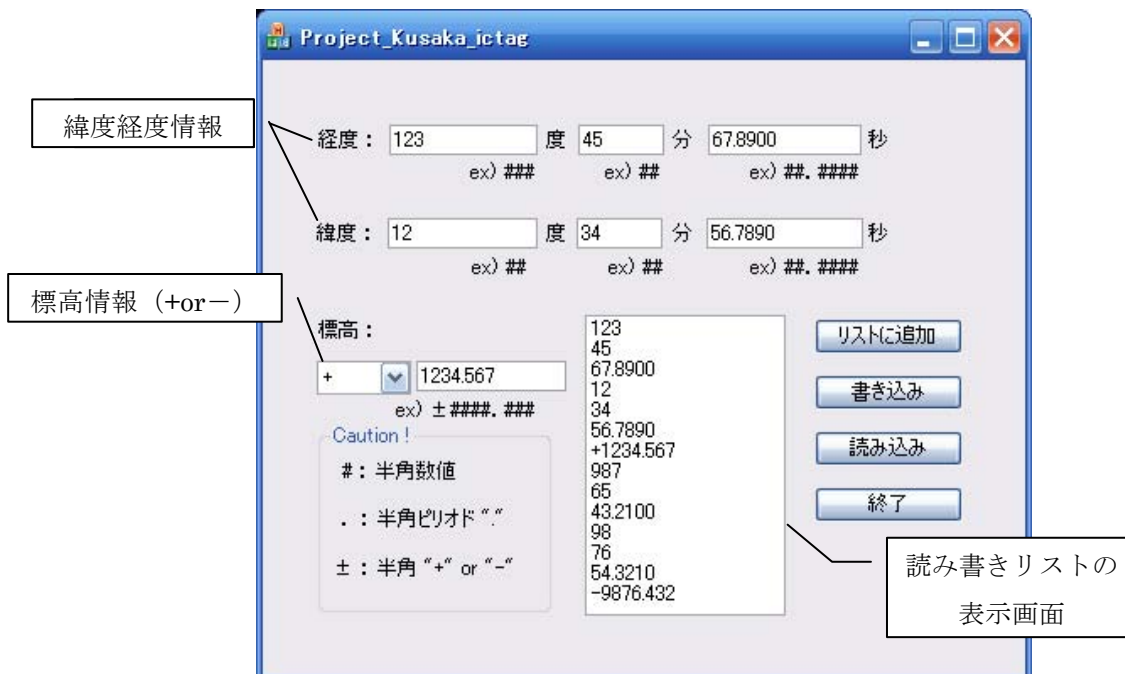


図 5.5 IC タグリーダ/ライタのプログラム画面

株式会社ウェルキャットのリーダ/ライタは外付けアンテナユニットが 13.56MHz 帯の中
でも最大級の約 50 cm の読み取り範囲があり、かつアンチコリジョン機能を持っている。本実
験では、(株)ウェルキャット製の IC タグリーダ/ライタが最適であると判断した。また、株式
会社ウェルキャットでは、金属部品を扱う場所やリーダ/ライタ付近に金属があると読み込ま
れない問題を解決するために金属対応アンテナも商品化している (図 5.6 参照)。



図 5.6 株式会社ウェルキャット製の金属対応アンテナ
(出展：株式会社ウェルキャット HP、パンフレット)

5.3 IC タグ予備実験

本研究では、IC タグ動作確認実験を行う前に予備実験を行い、実験結果からソフトウェアや読み取り距離等の検討を行った

(1) 使用機器およびタグ類

本実験で使用する IC タグリーダ/ライターおよびタグ類を以下に示す。

- ・ IC タグリーダ/ライター –使用機器：EFG-400-01
 - 製造業者：(株)ウェルキャット
 - RFID 規格：ISO15693 (13.56MHz)
 - 動作環境：0～50℃/20～80% (結露なきこと)
- ・ IC タグ –ペーパー型サンプル(オムロン(株) I-Code SLI, Tag-it HF-I、枚数：約 80 枚)
 - カード型 (NXP セミコンダクターズ(株)製 I-Code SLI、枚数：200)
 - セラミック型 (KRD コーポレーション(株)製、枚数：約 200 枚)

(2) IC タグ予備実験

実験方法は、IC タグを直線状に並べて、リーダを取り付けた台車で移動しながら IC タグの UID (固有識別子) を認識し、読み取り率の調査を行った (5.7 参照)。また、読み取り率については、リーダで IC タグ 1000 枚を読み取り、どれだけの UID を認識することができたかで表している。



図 5.7 IC タグ予備実験の様子

図 5.8 および表 5.2 は実験機器の構成等を示す。

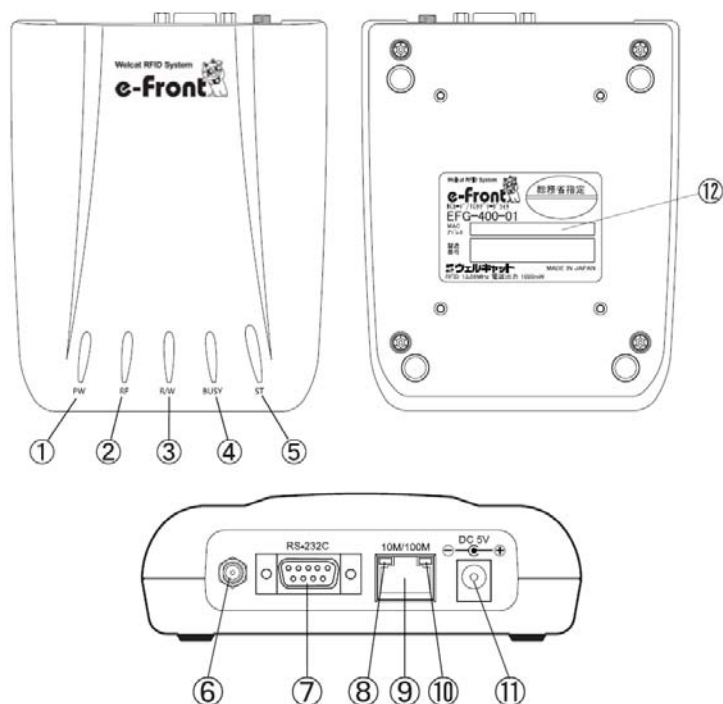


図 5.8 株式会社ウェルキャット製リーダ/ライタの機器説明

(出展：株式会社ウェルキャット、IC カード/IC タグリーダライタ EFG-400-01 ユーザーズマニュアル)

表 5.2 株式会社ウェルキャット製リーダ/ライタの機器構成

No	名称	役割
1	PW LED (POWER)	電源が入ると点灯する
2	RF LED	電波出力時に点灯する
3	R/W LED	IC タグのリード/ライト時に点灯する
4	BUSY LED	コマンド実行中に点灯する
5	ST LED (STATUS)	点滅はシステム状態を示す
6	アンテナコネクタ	外付けアンテナを接続する
7	RS-232C アンテナ	シリアル (クロス) ケーブルを接続し、リーダ/ライタの直接制御、またはイーサネットの設定を行う
8	Link LED	ネットワークの接続状態により点灯・点滅する
9	10M/100M 用コネクタ RJ-45 コネクタ	LAN ケーブル (ストレート) を接続し、イーサネットから EFG-400-01 の制御、または設定を行う
10	Activity LED	ネットワークの接続状態により点灯・点滅する
11	電源コネクタ	付属の AC アダプタを接続する
12	MAC アドレス	「EFG-400-01」 MAC アドレスが表示されている

IC タグ予備実験では以下の項目について検討を行った。

a) ソフトウェアの選定

予備実験では、2種類のソフトウェア（e-Commander 用サンプルアプリケーション、位置情報管理用アプリケーション）を比較してソフトウェアの選定を行った。e-Commander は、IC カードや IC タグのリーダーライタを通信制御する株式会社ウェルキャット製の ActiveX コントロールソフトである。ActiveX コントロールとは、Windows アプリケーションに貼り付けるだけで機能を利用できるソフトウェア部品である。位置情報管理プログラムは、ウェルキャット(株)製の来場者管理サンプルプログラムを参考に作成した IC タグアプリケーションである。表 5.3 はこれらのソフトウェアの比較について示す。

表 5.3 IC タグ動作確認実験に使用するソフトウェアの比較

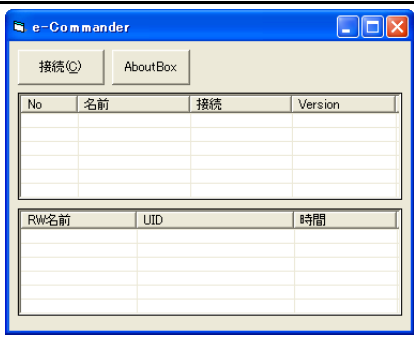
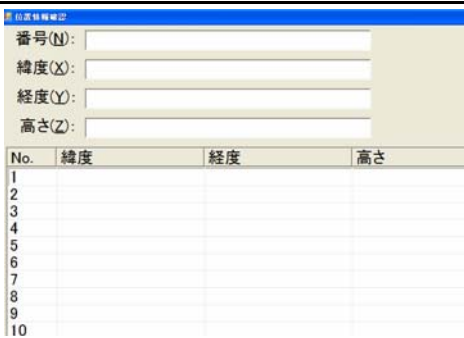
メーカー名	(株)ウェルキャット	(株)ウェルキャット
製品名	e-Commander 用 サンプルアプリケーション	位置情報管理用アプリケーション (来場者管理プログラム参考)
プログラム画面		
認識までの読み込み回数	1 回	2 回
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 複数のリーダーからの電波を制御することができる 読み取り時の時間が分かる リーダー専用で読み取り枚数に制限はない 	<ul style="list-style-type: none"> 読み取り時に緯度、経度、高さの情報も分かる 15 枚まで読み込むことができる 読み込み終わったものには「済」と表記される

図 5.9 はソフトウェアの違いによる読み取り率を示す。図 5.9 で示すように位置情報管理用アプリケーションは、e-Commander 用サンプルアプリケーションに比べて、タグとリーダーの距離が 30 cm 以上になると読み取り率が大きく下がり、両者のソフトウェアに違いが生じた。また、e-Commander 用サンプルアプリケーションは IC タグを読み取り時刻が記録されるため、GPS 測位データを GIS に表示して軌跡を辿るときに分析しやすい。これらの結果から、ソフトウェアは e-Commander 用サンプルアプリケーションを使用することにした。

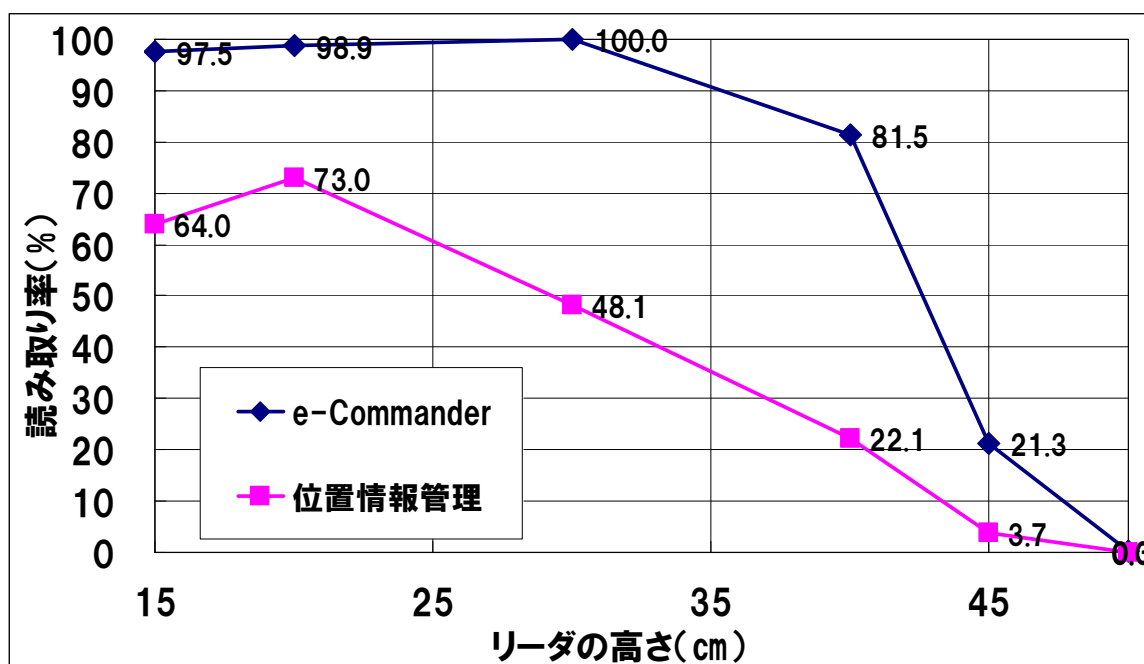


図 5.9 ソフトウェアの違いによる読み取り率

b) IC タグ上の通過速度

本項は、図 5.10 に示すように IC タグを 1m 間隔で直線状に 15 枚設置し、ストップウォッチを用いて測定開始から終了までの時間を計って調査を行った。実験結果から、読み取り率は通過速度の違いにより 10~20%程度の差があることが分かった (図 5.11 参照)。理由としては、通過速度が遅い方が IC タグとリーダ間の電波範囲内に滞在する時間が長くなり、読み込み率が高くなったと考えられる。しかし、設置距離 15m における通過時間が約 14~16 秒 (人間の歩く平均速度) では 5%程度しか影響がなかった。また、歩く速度はさまざま、かつ一定速度で歩き続けることは困難であることから、本実験では通過速度を特に設定せず調査を進めることにした。障害者、高齢者および観光客など周囲の情報を必要とする人々は、歩く速度が遅くなるため、このような状況における読み取り率は高くなり有効であると考えられる。

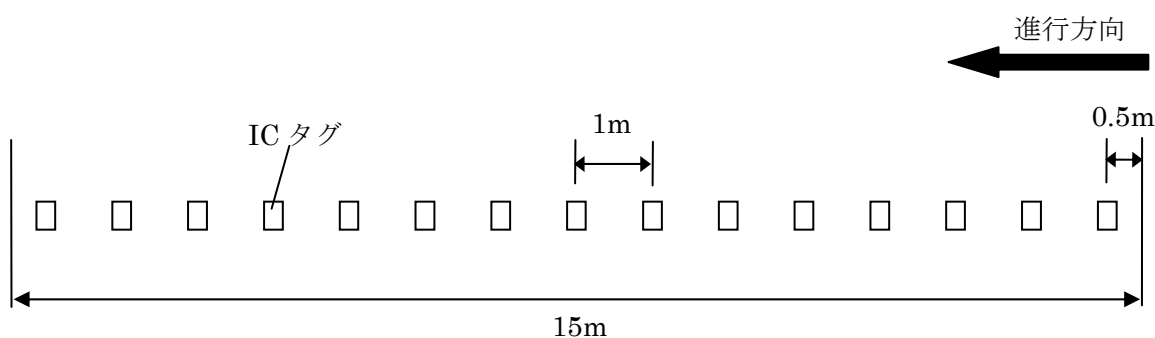


図 5.10 IC タグの配置図

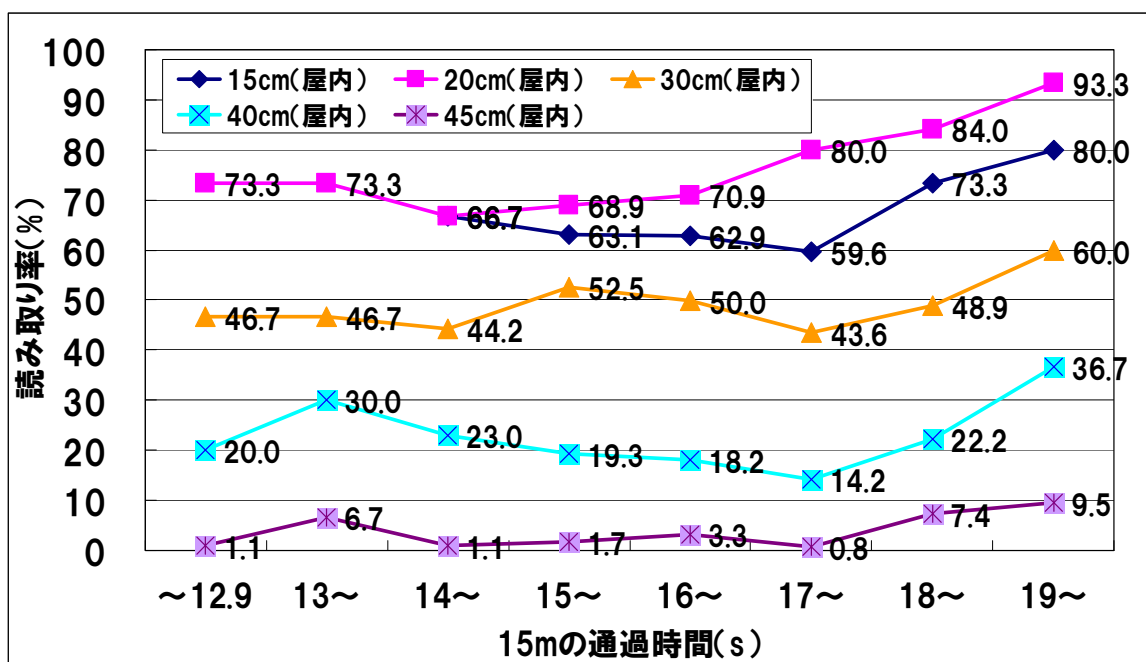


図 5.11 通過速度の違いによる読み取り率

c) IC タグの向き

本項は、IC タグを設置する向きによって読み取り率がどのように変化するかを確認するために、長方形型の IC タグを縦向きおよび横向きに設置して調査を行った。実験結果から、両者にほとんど差は生じなかった。理由としては、本実験で使用した IC タグが円偏波方式であるためと考えられる。アンテナの種類には直線偏波方式と円偏波方式があり、円偏波方式のアンテナでは同じ出力電力で比較した場合、アンテナに正対させた状態から 360° 回転する分には問題なく読み取ることができる。

b) 読み取り距離

a) ~c) までの予備実験結果から読み取り距離は、設置および読み取り時の環境条件によって大きく変わることが考えられた。本実験で使用したリーダー/ライタは、仕様書によると最大読み取り距離は 50 cmであったが、実際には約 40 cmであった。この結果から、本実験において適用する読み取り距離は、機器に設置するリーダー/ライタの高さ状況も考慮して 15~40 cmに設定することに決定した。

5.4 IC タグ動作確認実験

本研究では GPS 測位と IC タグを用いてシームレスに位置情報を取得することが可能な歩行空間の実現に向けて、IC タグ関連の基礎資料を得ることを目的とした実証実験を行った。実証実験は予備実験結果を基に調査項目を決めて行われた。予備実験は誤差要因や読み取り率の良い環境条件を調査することにより、今後の IC タグ設置環境をどのようにするか検討するためである。

IC タグ動作確認実験の調査項目とその実験概要などについて以下に示す。

I. 設置場所の材質、高さによる読み取り率調査

a) 実験日：平成 19 年 11 月 28～30 日、平成 20 年 1 月 22 日

b) 実験場所：金沢工業大学北校地 芝生前の道路（コンクリート）
金沢工業大学 3 号館 建物裏の道路（アスファルト）
金沢工業大学 3 号館 玄関前の広場（粘土質レンガ）
金沢工業大学 3 号館 鹿田研究室前の廊下（陶器質タイル）

c) 実験概要：

実験は金属や水など周辺環境の影響を受けやすい IC タグが、設置場所の違いによって読み取り率にどのように影響するのか把握するために、金沢工業大学内キャンパス内の材質の異なる場所（セメントコンクリート、アスファルトコンクリート、陶器質タイル、粘土質レンガ）で予備実験とほぼ同様の方法で行われた（図 5.12 参照）。



図 5.12 各場所における実験の様子

d) 実験結果および考察：

実験結果から、設置場所の違いによって読み取り率に差が生じることが分かった。特に図 5.13 に示すようにセメントコンクリート上に設置した IC タグの読み取り率は、リーダの高さ 25 cm までは精度よく読み取れるがそれ以降は大幅に低下しており、コンクリート内部に含まれる水分の影響があったと考えられる。また、アスファルトコンクリート、粘土質レンガ、陶器質タイルは、ほぼ同じような傾向が見られ、リーダの高さが 20~25cm では読み取り率が安定していた（図 5.13 参照）。以上の結果から、IC タグは周囲の環境条件により読み取り率が大きく変化しやすいことが分かったため、今後も調査を続けていく必要がある。

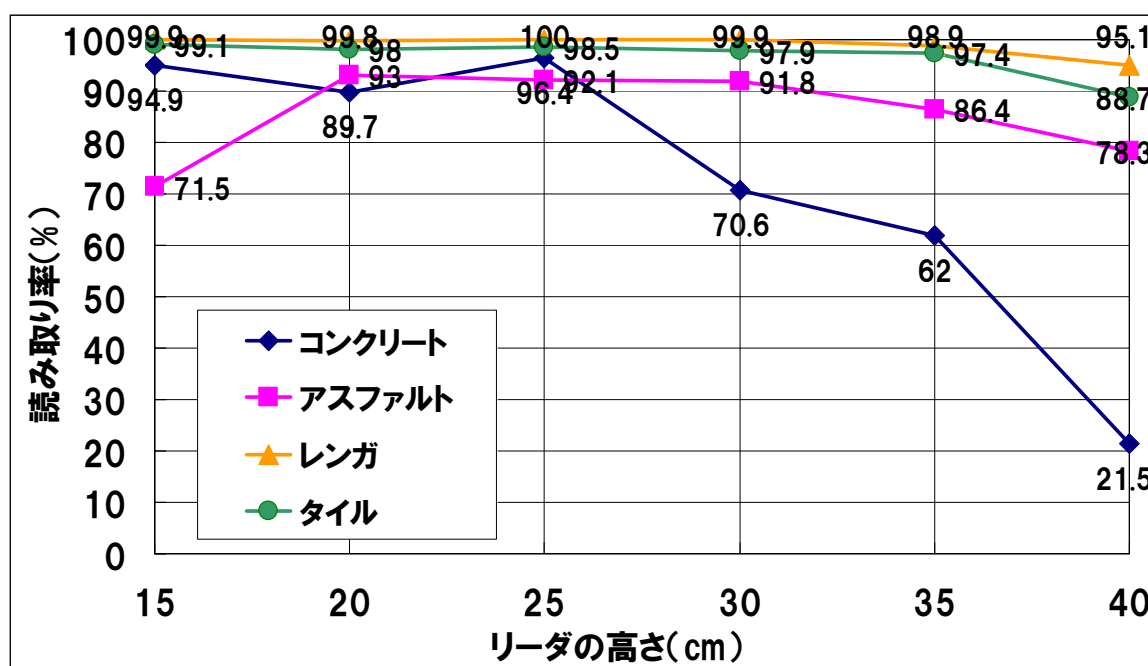


図 5.13 設置場所の材質、高さによる読み取り率

II. IC タグ設置間隔、高さによる読み取り率調査

a) 実験日：平成 19 年 11 月 15 日、11 月 19~22 日、11 月 26 日

b) 実験場所：金沢工業大学 3 号館 鹿田研究室前の廊下

c) 実験概要：

実験方法は IC タグの間隔を 0 cm（接触状態）から 5 cm に設定して行われた。例えば、IC タグの設置間隔を狭くする場合は、GPS 測位で受信できない場所でも IC タグから高精度な位置情報を読み取ることができる。しかしながら、設置のためのコストが高くなることが問題として挙げられる。また、IC タグの設置間隔を広くする場合は、コストが抑えられるが高精度にナビゲーションをすることが難しくなる。本実験は、歩行者支援のための IC タグ設置間隔を検討することを主目的として予備実験とほぼ同様の方法で行われた。

d) 実験結果および考察：

図 5.14 は IC タグ設置間隔とリーダの高さによる読み取り率を示す。実験結果から IC タグ

の設置間隔 0 cm では、周囲タグのマルチパスの影響を受けてリーダの高さが 25 cm までは他の間隔のものより劣るが、読み取り率は高い。しかし、それ以降は大きく読み取り率が下がる傾向にあった。その他の実験結果を総合すると、IC タグの設置間隔は接触状態である 0 cm よりも 5 cm 程度離すと読み取り率が安定することがわかった。以上のことより、設置間隔はアンチコリジョン機能を発揮することおよびコスト面なども考慮すると 5~10 cm 程度離すことが望まれる。

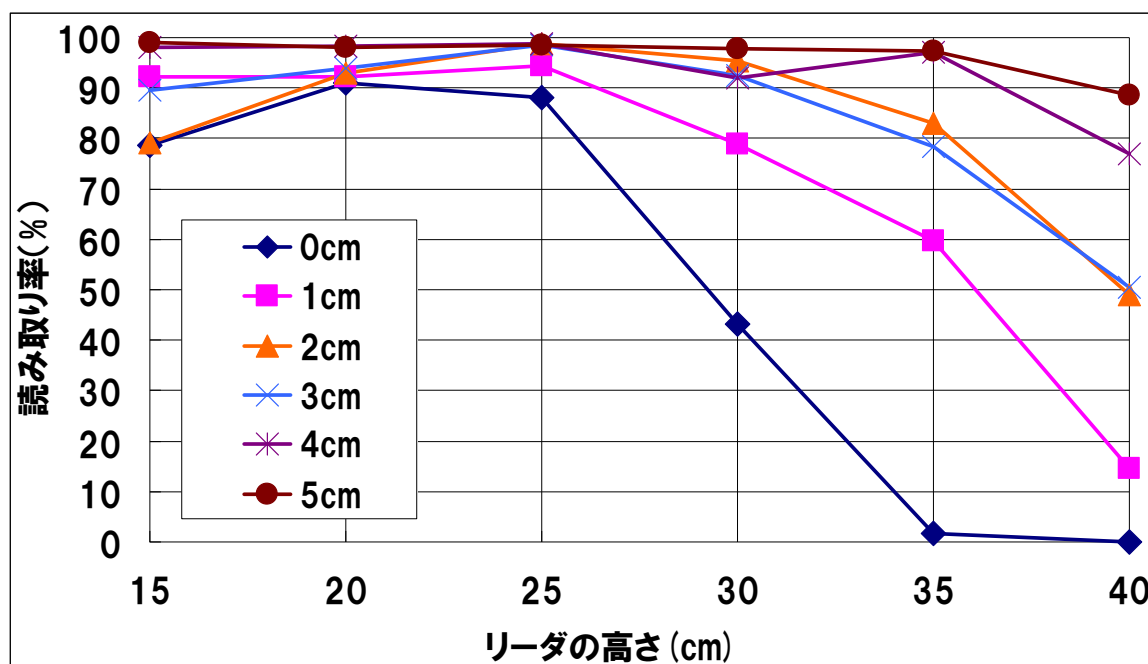


図 5.14 IC タグ設置間隔、高さによる読み取り率

Ⅲ. IC タグの材質・形状、高さによる読み取り率調査

- a) 実験日：平成 20 年 1 月 15 日、1 月 24 日
- b) 実験場所：金沢工業大学 3 号館（鹿田研究室前の廊下）
- c) 実験概要：





IC タグは加工しやすいために形状や材質は多種多様である。本実験では、図 5.3 および図 5.4 で示したような耐久性の良いセラミックス型（KRD コーポレーション株式会社製）、一般的に使用されているカード型およびペーパー型タグ（NXP セミコンダクターズ株式会社製、オムロン株式会社製、テキサス・インスツルメンツ株式会社製）を用いて実験を行った。また、予備実験とほぼ同様の方法を用いて（IC タグリーダ/ライタが比較的読み取りやすい高さ 25 cm）IC タグの材質・形状の違いによる読み取り率の調査を行った。

- d) 実験結果および考察：

表 6.4 は IC タグの材質・形状などの違いによる読み取り率を比較しやすくするために使用した IC タグの概要と読み取り率を示したものである。実験結果から材質・形状などの違いに

よる影響について明らかになった点などを以下にまとめる。

表 5.4 リーダの高さ 25 cmにおける IC タグの材質・形状などの違いによる読み取り率

製造業者	NXP セミコンダクターズ	テキサス・インスツルメンツ	オムロン			KRD コーポレーション
型番(項目)	IC-P シリーズ	RI-I02	LBB5	LA2	LB6A	ドーナツ 26
画像						
対応 IC	I-Code SLI	Tag-it HF-I	I-Code SLI			
形状	カード型			長方形型	ハーフ型	コイン型
大きさ	54 mm×86.5 mm×0.76 mm	46 mm×75 mm (アンテナの大きさ)	23 mm×75 mm	46 mm×43 mm	Φ26×3 (Φ6)	
タグタイプ (材質)	PET/塩化ビニール (PVC)	紙/アルミインレット (PVC)				セラミックス (アルミナ)
読み取り回数	1000	1054	1240	1240	1240	2000
読み取り率	98.5%	99.34%	99.44%	60.32%	93.79%	0%

実験で使用したカード型の 3 種類については、アンテナの大きさが影響して、他の形状のものに比べて読み取り率が高くなった。しかしながら、大きさがほとんど同じである LA2 と LB6A では、読み取り率に大きく差が生じた。この理由として考えられることは、本実験で使用した IC タグが円偏波方式であるため、タグ内の構造を考えると円形に近い方は読み取り距離が長くなるのではないかと考えられる

セラミックス型 IC タグは、リーダの高さ 25 cmにおいて読み取り率が 0%であった。理由としては、その他の IC タグよりも耐久性を高めるためにアルミナを用いて厚く加工してあることが原因である。一方、20 cm以下では UID を読み取ることができ、その読み取り率はリーダの高さ 20 cmで 15.7%、15cm で 77.7%であった。これらの結果から IC タグは材質・形状などの違いによって読み取り率が大きく変化することがわかった。今後は用途や使用環境の条件に合わせて使い分けるため、より詳細な検証を進めることが必要である。

IV. 材質の種類・厚さの異なる遮蔽物の下に IC タグを設置による読み取り率の調査

a) 実験日：平成 20 年 6 月 24 日～8 月 5 日

b) 実験場所：金沢工業大学北校地

c) 実験概要：

材質の種類・厚さの異なる遮蔽物の下に IC タグを設置することで読み取り率の違いによる調査を行った。遮蔽物の材質はコンクリート、木材、土の 3 種類を使用した。これらの材質はトンネル、道路、建物の建設の材料として使用される。将来 IC タグによる位置情報を取得する場合、GPS 衛星からの信号が途切れるトンネル内、木で茂った道路、建物内などで使用すると想定される。本実験では厚さの異なる材質を用いて 10cm 間隔で IC タグを配置した。5cm 間隔では隣接する IC タグを同時に読み取ってしまう可能性がある。実験Ⅱの結果を考慮した結果、今回は 10cm 間隔で IC タグを配置することとした。リーダの高さは IC タグからの高さで、15, 20, 25, 30cm の 4 段階で設定した。また、材料の入手事情により、材質の厚さを統一することはできなかった。

(1) コンクリート：材質の厚さ：6, 12cm

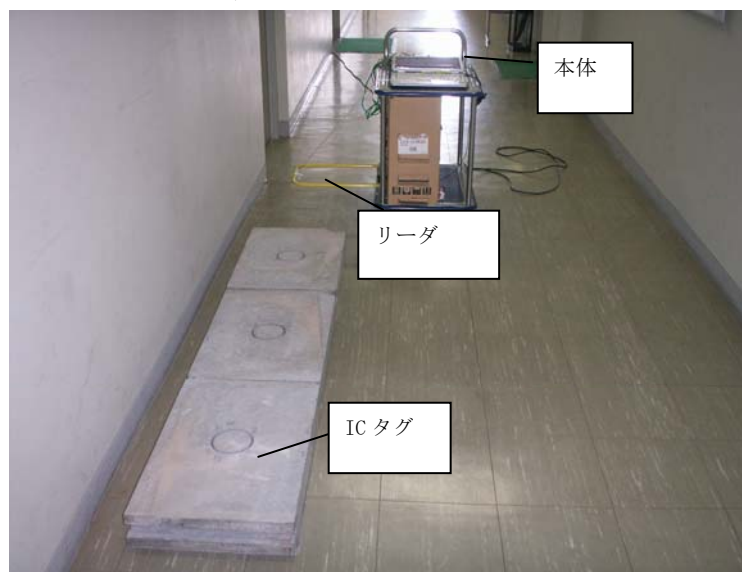


図 5.15 コンクリートの下 IC タグを読み取る実験

・ 実験結果および考察

実験結果は図 5.16 に示すとおりである。コンクリートの厚さが 12cm までのとき、リーダの高さは 15～20cm の間で高い読み取り率を示している。20cm より高いと読み取り率が低くなる傾向があった。したがって、コンクリートの下に IC タグを設置する場合は 12cm 以下の厚さで、リーダの高さは 20cm 前後が安定した読み取り率を取得することができることがわかった。しかし、今回は 12cm の厚さまでのコンクリートでの実験であり、さらにどの程度の厚さまで読み取ることができるか検証が必要である。

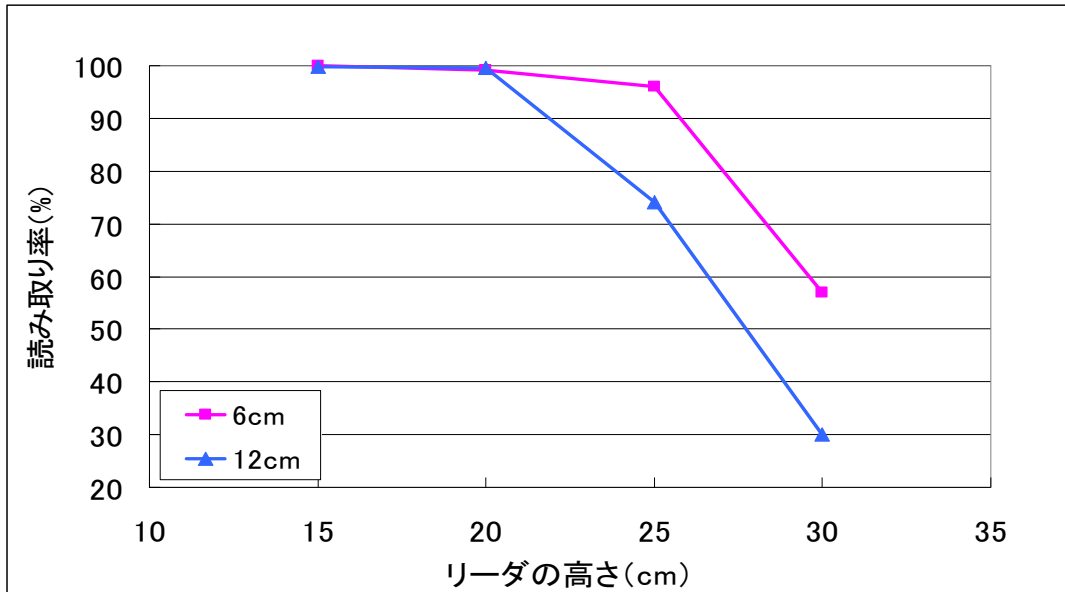


図 5.16 コンクリートの厚さ、リーダの高さによる読み取り率

(2) 木板：材質の厚さ：3, 6, 9, 12cm



図 5.17 木板の下の IC タグを読み取る実験

・ 実験結果および考察

図 5.18 は木板の厚さとリーダの高さによる読み取り率を示す。実験結果よりリーダの高さが 20cm までは厚さに関係なく高い読み取り率であることがわかった。しかし、リーダの高さが 20cm より高いと読み取り率が下がる傾向にあった。材質の厚さは 6cm まではリーダの高さに関係なく高い読み取り率を示した。その結果、木材の場合はリーダの高さが 20cm 前後で、12cm

の厚さまでは安定した読み取り率が取得できることが分かった。

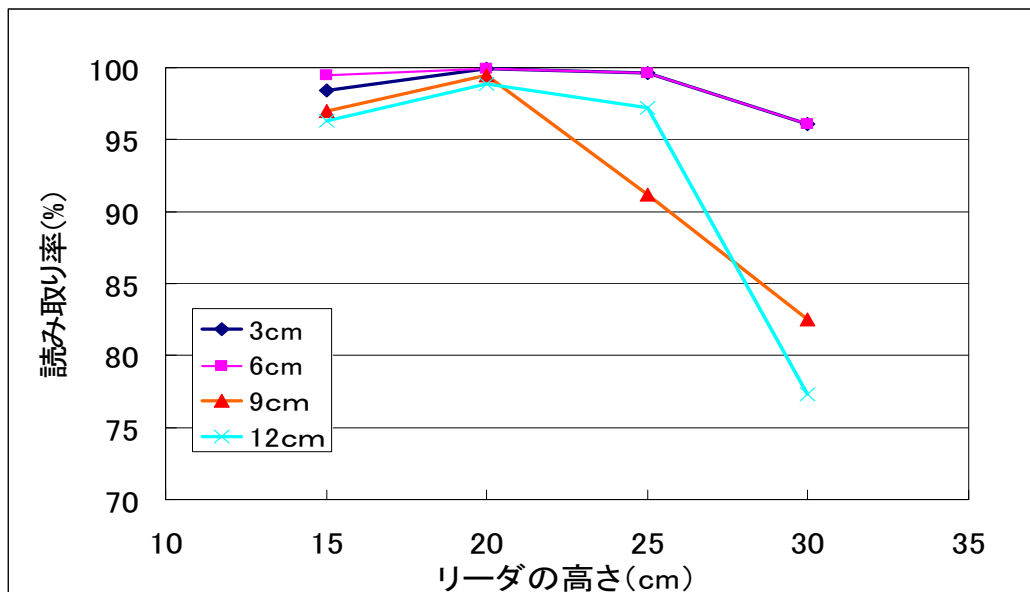


図 5.18 木材の厚さ、リーダの高さによる読み取り率

(3) 土壌：材質の厚さ：5, 10, 15cm

土壌を使用した読み取り実験ではコンクリート、木板のようにリーダを取り付けた台車では移動しにくいことから、ポールにリーダを取り付け、ポールの下に車輪を取り付けて図 5.19 に示すような方法で実験を行った。



図 5.19 土壌に埋めた IC タグを読み取る実験の様子

・ 実験結果および考察

実験結果を図 5.20 に示す。リーダの高さが 15cm、土の厚さが 5cm のとき読み取り率が 100% であった。リーダの高さが 15cm で土の厚さが 10cm のとき、リーダの高さが 20cm 以下で土壌の厚さが 15cm のときは土壌とリーダが接触してしまうため、データを取得することができなかった。材質が厚くなるにつれて読み取り率が低くなっていることがわかる。土壌に含まれている水分や熱の影響があったからと思われる。実験結果からは、リーダの高さが 5cm で土の厚さが 5cm までは安定した読み取り率を取得できる。

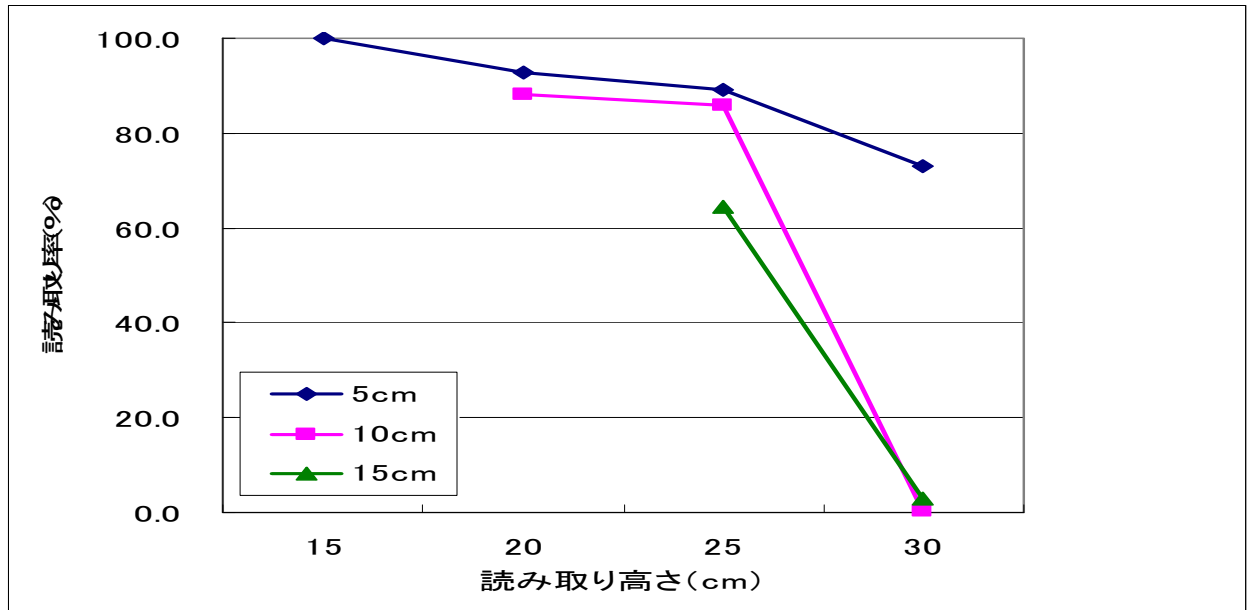


図 5.20 土壌に埋めた IC タグを読み取る実験の様子

5.5 IC タグ設置によるシミュレーション実験

(1) 実験目的：

IC タグを用いて移動した軌跡を取得することを目的として実験を行った。

(2) 実験方法：

図 5.20 のように IC タグを並べ、その上を通過して IC タグを読み取る。

(3) 実験条件：

IC タグ設置間隔：30, 45cm

使用 IC タグ：カード型

リーダの高さ：20cm



図 5.20 移動軌跡補足のためのシミュレーション実験

(4) 実験結果

IC タグの設置間隔を 30cm にした場合の実験結果を図 5.21 に、45cm にした場合の結果を図 5-22 に示す。図 5.21 では、移動した軌跡が IC タグにより表示されていることが分かる。また図 5-22 では、斜めに移動していた時の移動軌跡は取得できたが、IC タグの間を直線状に移動した時の移動軌跡は取得することができなかった。

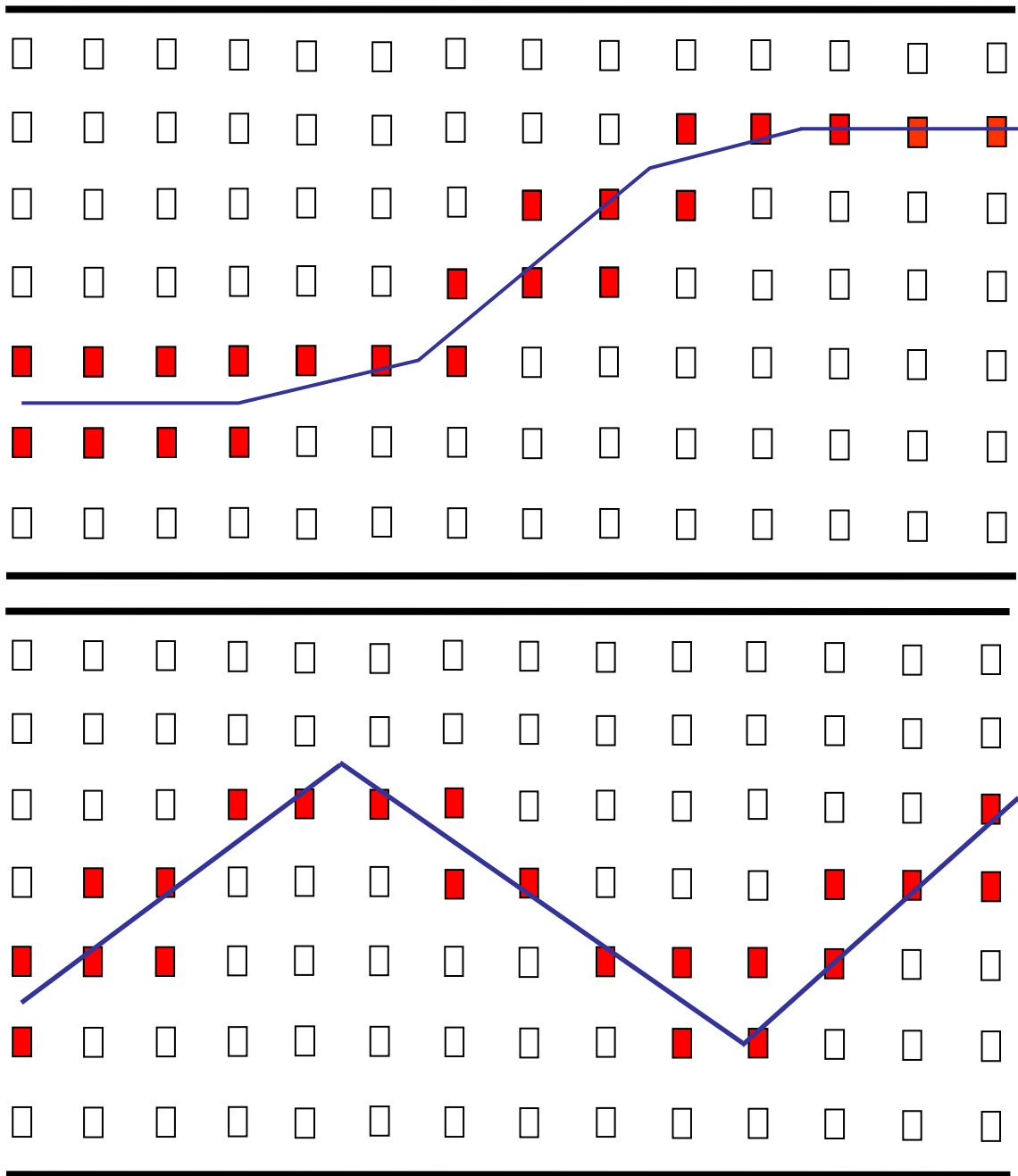


図 5.21 取得した軌跡 (IC タグの設置間隔 : 30cm)

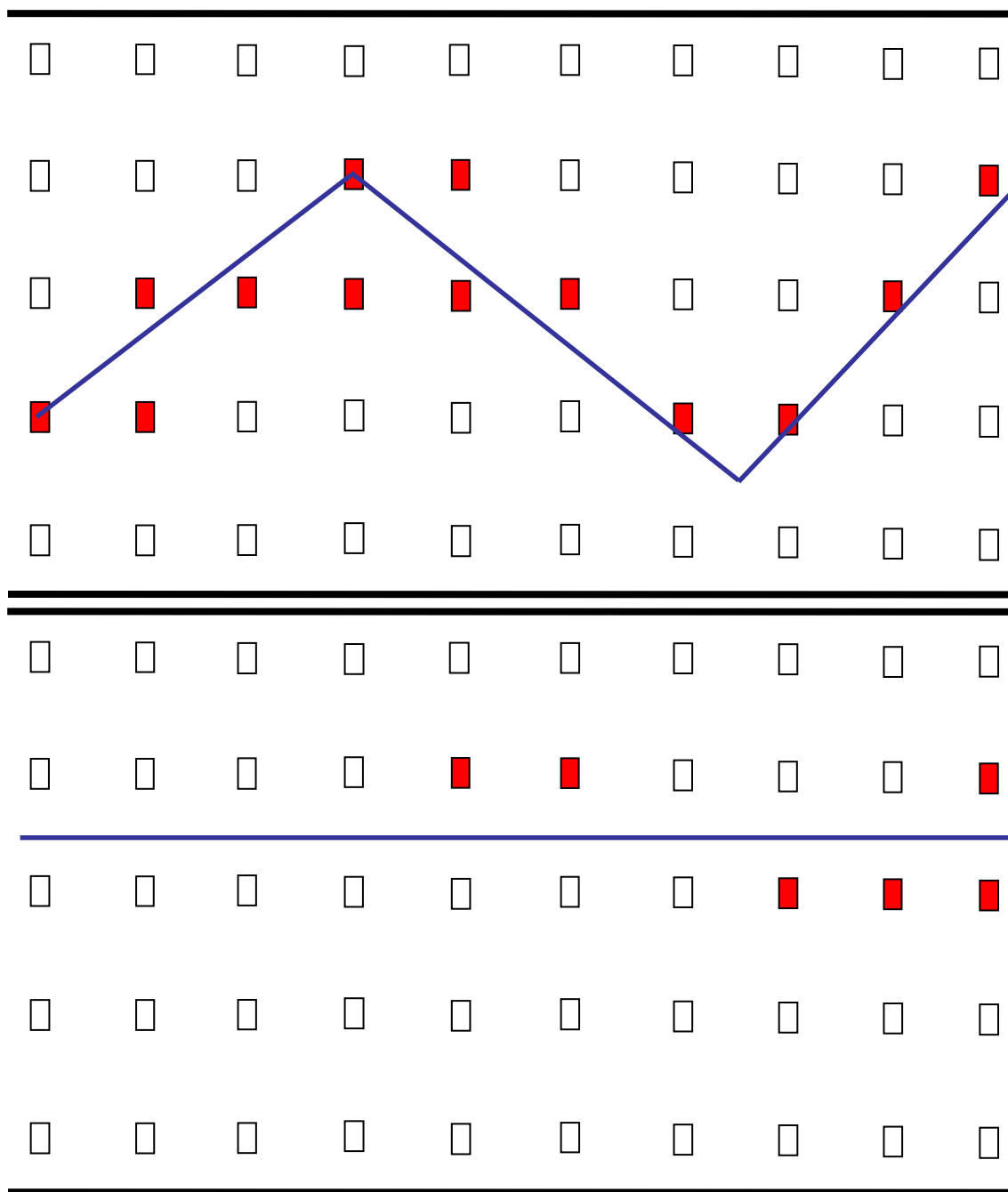


図 5.22 取得した軌跡 (IC タグの設置間隔 : 45cm)

(5) 考察

IC タグの間隔を 30cm にした場合は、IC タグにより移動軌跡を取得することが可能である事が分かった。しかし、間隔を 45cm にした場合、IC タグ間を直線状に移動したときの軌跡は取得できなかった。これは、タグ間隔 45cm がリーダアンテナの幅よりも広がったためであり、IC タグの設置間隔は今回使用した機器ではリーダアンテナ幅以内に設置しなければならないことが分かる。

第6章 結論

現状の GPS 測位技術のみでは、天蓋域、室内、地下空間などでは絶対位置やその他の情報が受信できない。本研究は、これらの問題を解決するために IC タグを用いて GPS で取得できない位置情報を補完することを提案し実証実験を実施した。

具体的には、連続的な歩行空間経路（位置情報）を確保するために、上空視界が確保されている場所では高精度な GPS 測位技術を利用し、GPS 衛星から受信ができない場所では IC タグを利用する新しい概念を提案し、IC タグを用いてシームレスに位置情報を取得することが可能な歩行空間の確保を目的とした基礎的実験を行った。また、IC タグの設置方法および読み取り率の高い環境を検討するために、IC タグに関する調査および検証実験を行った。実験方法は、IC タグを各種条件の下に設置し、リーダーを取り付けた台車で移動しながら IC タグの UID（固有識別子）を認識する方法で実施した。実験条件は設置面の材質、IC タグの設置間隔、IC タグの材質・形状・大きさの違い、IC タグからリーダーまでの遮蔽物の厚さなどであり、これらの条件を変化させることで読み取り率の調査を行った。

実験結果から、IC タグはアンテナができる限り大きく、電波方式の種類に合った加工が必要であることが分かった。さらに遮蔽物の下に IC タグを設置するときは、材質によって IC タグが読み取れる距離が異なることがわかった。したがって、設置場所の環境条件などを考慮して IC タグの材質を選択する必要があることが分かった。

本研究で提案した方法を実用化するためには GPS 測位技術の更なる高度な活用方法と IC タグを用いたより効率的な基準点の設置方法や管理方法などについて多くの検討が必要である。例えば、GPS 技術においては、マルチパスの影響なども課題として残されている。また IC タグの活用においては、水や金属にどの程度の影響があるか、周波数帯による読み取り範囲の違いはどのくらいであるかなどの調査も必要である。

上述に示す残された問題の解決と提案する手法の実現により、いつでも、どこでも、だれもが利用できる有益なマップ（ユニバーサルマップ）を作成することができると考えられる。また、地理空間情報活用推進基本法による基盤地図情報の整備が進めば、GLONASS や Galileo などの衛星を併用することに加え、準天頂衛星の利用により信頼性の高い衛星測位が実現し、より高度なユビキタス社会が到来すると考えられる。

最後に、本調査・研究はGIS、GPS、リモートセンシングに加え、ユビキタス社会に不可欠な IC タグを利用することでシームレスに高精度位置情報を取得するための機器の検証と構成、精度等の検証を行うという研究目的についての成果を挙げる事ができた。

調査結果は「地理空間情報活用推進基本法」が目指す行政の効率化・高度化、安心・安全な国民生活のための各種業務の情報化に寄与することが期待できる。

謝 辞

本研究の主たる調査・実験は、大学院工学研究科博士前期課程環境土木工学専攻平成 19 年度修了生である島野宗太君（現、国際航業株式会社）の修士学位論文テーマとして遂行されたものであり、多くのデータは彼の指導の下による学部 4 年生の工学設計Ⅲプロジェクトによって実施されたものである。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

また、島野宗太君の指導の下に実験を実施してくれた、大学院工学研究科博士前期課程環境土木工学専攻 2 年守屋三登志君、平成 19 年度学部卒業生の長谷川優君、平成 20 年度学部 4 年上野智志君、脇坂隆幸君、平成 20 年度学部 3 年竹内明香さんに感謝の意を表します。

さらに、福森滋氏（凸版印刷株式会社）には研究に関して多くのご助言、I C タグのサンプルを提供していただいたことに対し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 島野宗太：ユニバーサルマップの実現に向けたリアルタイム GIS と IC タグの有効性について、金沢工業大学大学院 修士学位論文、2007
- 2) 国土地理院 (GSI) HP、<http://www.gsi.go.jp/>
- 3) 地理情報システム学会：高度空間情報社会に向けた今後の地理空間情報政策への提言、2007、http://wwwsoc.nii.ac.jp/gisa/jp/2007/070129_teigen.pdf
- 4) 地理空間情報活用推進基本法案
[http://www.shugiin.go.jp/itdb_gian.nsf/html/gian/honbun/houan/g16401039.htm?
OpenDocument](http://www.shugiin.go.jp/itdb_gian.nsf/html/gian/honbun/houan/g16401039.htm?OpenDocument)
- 5) 鹿田正昭、島野宗太、守屋三登志：空間情報社会における高精度位置情報および IC タグの利活用について、(株)国土開発センター委託研究報告書、2006
- 6) 近津博文、熊谷樹一郎、佐田達典、鹿田正昭、淵本正隆：空間情報工学概論、2005
- 7) 村井俊治：空間情報工学 (改訂版)、2002
- 8) (社)日本測量協会：月刊「測量」別冊 GPS フロンティア、2004
- 9) ITS 情報通信システム推進会議：図解これでわかった GPS (ユビキタス情報通信時代の位置情報、pp70-81、2006
- 1 0) 白鳥敬：「IC タグ」がビジネスを変える、ぱる出版 2005
- 1 1) 日本建設情報総合センター：JACIC 情報 (特集：IC タグ) Vol.20 No.1、2004
- 1 2) 井熊均：IC タグビジネス (実践手法と新分野への適用)、東洋経済新報社、2004
- 1 3) 岸上順一：ポイント図解式 RFID 教科書 (ユビキタス技術にむけた無線 IC タグのすべて)、株式会社アスキー、2005
- 1 4) 宇佐美光雄、山田純：ユビキタス技術 IC タグ、(株)オーム社、2005
- 1 5) 長谷川優：空間情報における IC タグ利活用に関する検討、金沢工業大学 学部論文、2007

本報告書に関連したおよび発表論文等

- 1) Sota Shimano, Aki Okuno and Masaaki Shikada, Universal Map by Collaboration of Remote Sensing, GPS and GIS, PROCEEDINGS OF THE TWENTY-FIFTH INTERNATIONAL SIMPOSIUM ON SPACE TECHNOLOGY AND SCIENCE (Selected Papers), pp.1183-1188, January, 2007
- 2) 島野宗太、RTK-GPS を用いたユビキタス社会におけるユニバーサルマップの提案、全国測量技術大会 2006 学生フォーラム論文発表集 Vol.8、pp.105-110、2006.
- 3) Sota SHIMANO, Aki OKUNO, Masaaki SHIKADA, Universal Map for Local Government by Using REAL TIME GIS, IEEE 2006 International Geoscience and Remote Sensing Symposium、0-7803-9510-7/06, 1-4, 2006, 2006.
- 4) 島野宗太、守屋三登志、鹿田正昭、東龍生、リアルタイム GIS を用いた空間情報社会におけるユニバーサルマップの提案、日本写真測量学会平成 18 年度秋季学術講演会発表論文集、pp.55-58、2006.
- 5) Sota SHIMANO, Mitoshi Moriya, Masaaki SHIKADA, Azuma Tatsuo, Application of Mobile Mapping Technology and REAL TIME GIS for Ubiquitous Society, The 5th International Symposium on Mobile Mapping Technologies, (CD-ROM) 1-4 (Selected Papers), 2007.
- 6) 島野宗太、守屋三登志、鹿田正昭、東龍生、ユビキタス技術を用いた空間情報社会におけるユニバーサルマップの提案、全国測量技術大会 2007 学生フォーラム論文発表集 Vol.9、pp.149-154、2007.
- 7) Sota SHIMANO, Mitoshi Moriya, Masaaki SHIKADA, Azuma Tatsuo, Universal Map for Spatial Information Society by using REAL TIME GIS, GPS and Remote Sensing, IEEE 2006 International Geoscience and Remote Sensing Symposium、p255(CD-ROM), 1-3, 2007.
- 8) 島野宗太、守屋三登志、鹿田正昭、東龍生、ユニバーサルマップ実現に向けたリアルタイム GIS と IC タグの有効性について、日本写真測量学会平成 19 年度秋季学術講演会発表論文集、pp.65-68、2007.
- 9) Sota SHIMANO, Mitoshi Moriya, Masaaki SHIKADA, Availability of REAL TIME GIS and IC Tag for Realization of Universal Map, The XXI Congress The International Society for Photogrametry and Remote Sensing, 2008.
- 10) Masaaki Shikada, Mitoshi MORIYA, Sayaka Takeuchi, Sota SHIMANO, Application of Real Time GIS, Remote Sensing and IC Tag for Realization of Geospatial Information Society, IEEE 2008 International Geoscience & Remote Sensing Symposium, 2008.

助成研究者紹介

しかだ まさあき

鹿田 正昭

現職：金沢工業大学環境・建築学部教授（工学博士）

主な著書：

「GIS 実習マニュアル」（ArcView 版）：日本測量協会 1999 年

「改訂版 GIS 実習マニュアル」（ArcView 版）：日本測量協会 2002 年

「エース測量学」：朝倉書店 2003 年

「GIS 実習マニュアル」（ArcGIS 版）：日本測量協会 2005 年

「空間情報工学概論」：日本測量協会 2005 年

Research of Advanced Geoinformatics System by using GIS, GPS and IC tag

Shikada .M

Kanazawa Institute of Technology

Japanese government executed a new law for Spatial Information Society since May 30, 2007. It was called NSDI (National Spatial Data Infrastructure). In this law, a Basic Map (BM) of spatial information society was defined. BM will use a large-scale map of local government. On the other hand, our country is experiencing an aging society, for example, pedestrian space should be safe and give a relief. One of the methods to ensure this society is to obtain absolute position with high accuracy. Therefore, we proposed here to make Universal Map (UM) by using advanced geoinformatics system. The purpose of the research was to confirm whether absolute positions can be obtained accurately in geoinformatics system by using GIS, GPS and IC tag. To solve these problems, we adopted IC tags which are new ubiquitous technology.

If IC tag's powerful advantage is used fully, everyone will be able to receive the positioning data anytime and anywhere. For example, GPS positioning is used at open sky, and IC tags are used at closed sky, which are good ideas because one can continuously receive the signal from satellites and IC tags. In this system, the positioning information will be imagined ubiquitously.

Preliminary experiments were performed by using reader of middle-range and several IC tags which frequency band is 13.56 MHz. The purpose of experiments is to obtain basic data of IC tags for realization of seamless positioning. The experiment was conducted by using hand truck which attached the IC tag reader. IC tags were lineally set out and Unique Identifier (UID) of them was read by moving on the straight line.

As a result of experiments, the maximum reading distance was about 40 cm though the specification of it is 50 cm. Therefore, the height of IC tag's reader fixed from 15cm to 40 cm in consideration for the condition of hand truck. After the experiments, we found that the error factor of IC tags and good measurement environment of reading rate.

These results show that the decrease of reading rate was influenced by the moisture included in cement concrete. Installation interval of IC tags should leave space from about 5 cm to 10 cm to avoid anti-collision. Reading rate of ceramics type has narrow area because the ceramics type of IC tag uses alumina to increase durability and is thicker than other kinds of one. And IC tag which has small size of the antenna was low reading rate. Therefore, IC tag should be selected a large size as much as possible and the material should be considered of the environmental condition. An appropriate reading distance was 20 cm depending on the material of IC tag. However, it is necessary to perform more detailed experiment under various conditions for the realization of proposed UM in our research.

This research showed that it is very difficult to solve these problems by using a GPS only. In addition, safe UM cannot be made only by the current technology. As a result, the study proposed the method by using geoinformatics and IC tags is powerful tool. Next step is to perform a spatial simulation and it is expected that the proposed method will establish useful UM in the near future.

KEYWORDS: *Geoinformatics, GIS, GPS, IC tag, NSDI (National Spatial Data Infrastructure)*

研究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2007-7号	地理空間情報活用のためのGIS・GPS・ICタグを用いた高精度位置情報参照システムに関する調査研究	鹿田正昭・金沢工業大学
<p>高齢化社会が進んでいることからすべての人々が安心・安全で快適な生活を営むことのできる社会形成が求められている。空間情報技術という観点からはいつでも、どこでも、だれもが高精度な位置情報を容易に知ることができる社会環境を作り、加えて位置情報と他の属性情報を共有できる「高度空間情報社会」が望まれるようになった。</p> <p>平成19年5月23日には高度空間情報社会を構築・推進するための「地理空間情報活用推進基本法」が参議院本会議で可決成立した。基本法はGISおよび衛星測位技術を活用した効率的・効果的な国土の利用・整備・保全および国民の生命・身体・財産の保護などに関わる施策を決定・実現するものである。</p> <p>本研究の目的は上述のような社会的背景から、GIS・GPSとICタグ技術の融合により、いつでも、どこでも、だれもが安全・安心・快適な生活を享受できる高度空間情報社会の実現に向けて、建設分野の各種業務の情報化を目指すことを目的として実施した。</p> <p>特にその中でもICタグはGPSデータが取得できない天蓋空間、地下空間、建物空間に用いることによって、シームレスな位置情報を得るための有用なツールであるといわれている。ICタグはすでに物流や多くの分野における利活用が始まってはいるが、位置情報を得るための補完ツールとしては十分な実証実験がなされていない。</p> <p>そこで、本研究・調査ではICタグの特性について移動体（この場合は車椅子）に受信機をとりつけ、種々の条件化でのデータ読み取り実験を実施した。</p> <p>実験では金属や水など周辺環境の影響を受けやすいICタグが、設置場所の違いによって読み取り率にどのように影響するのか把握するため、金沢工業大学内キャンパス内の材質の異なる場所（セメントコンクリート、アスファルトコンクリート、陶器質タイル、粘土質レンガ）で実施した。実験結果から、</p> <p>設置場所の違いによって読み取り率に変動が生じることが分かった。</p> <p>特にセメントコンクリート上に設置したICタグの読み取り率は、リーダの高さ25cmまでは精度よく読み取れるがそれ以降は大幅に低下しており、コンクリート内部に含まれる水分の影響があったと考えられる。また、アスファルトコンクリート、粘土質レンガ、陶器質タイルは、ほぼ同じような傾向が見られ、リーダの高さが20～25cmでは読み取り率が安定していた。</p> <p>以上の結果から、ICタグは周囲の環境条件により読み取り率が大きく変化しやすいことが分かったため、今後もさらに詳細な調査を続けていく必要があることが分かった。</p> <p>ICタグ設置間隔、高さによる読み取り率調査では、ICタグの設置間隔0cmでは、周囲タグのマルチパスの影響を受けてリーダの高さが25cmまでは他の間隔のものより劣るが、読み取り率は高い。しかし、それ以降は大きく読み取り率が下がる傾向にあった。その他の実験結果から、ICタグの設置間隔は接触状態である0cmよりも5cm程度離すと読み取り率が安定することがわかった。</p> <p>以上のことより、設置間隔はアンチコリジョン機能を発揮することおよびコスト面なども考慮すると5～10cm程度離すことが必要であることがわかった。この他、ICタグの材質・形状、高さによる読み取り率調査、材質の種類・厚さの異なる遮蔽物の下にICタグを設置による読み取り率の調査などを実施した。</p> <p>以上の結果、ICタグのアンテナはできる限り大きく、電波方式の種類に合った加工が求められることが分かった。さらに遮蔽物の下にICタグを設置するときは、材質によってICタグを読み取れる距離に差があること、また、設置場所の環境条件などを考慮してICタグの材質を選択する必要があることなどが分かった。ICタグの応用にはさらに詳細な実験が必要であるが、移動体によるICタグ読み取りの基礎的データが得られた。</p>		