慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	屋内位置情報システムの設計
Sub Title	Planning for indoor location based service
Author	肥後, 尚之(Higo, Naoyuki) 春山, 真一郎(Haruyama, Shinichiro)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・ マネジメント研究科
Publication year	2010
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	近年、位置情報サービスが大きな注目を集めている。その大きな発端となったのは米国防省が運用している人工衛星を利用した位置情報システムGlobal Positioning System(以下GPS)の存在である。米国が1993年にGPSを民間に広く開放して以来、屋外での位置情報は非常に簡便となり、これに伴って民生品のGPS受信装置が発達し、カーナビゲーションシステムを筆頭に既に様々なサービスが実用化されている。 また、携帯電話からの警察や消防などへの緊急通報時にはGPSなどから得た位置情報を自動的に通知するシステムが構築されるなど、私たちの日常生活の安心、安全にも利用されるようになってきた。このように位置情報の重要性は近年益々高まってきており、社会インフラとして欠くことのできないものとなってきている。 一方、GPSが使用できない屋内に目を転じると位置情報の取得はまだまだ整備されていない。携帯電話の基地局を利用する測位手法や不特定多数の無線LAN基地局から出力される電波の情報を元に測位する手法も実現しているが、どちらとも精度が粗く、また後者は信頼性も高くない。他にも様々な技術や手法が提案されているものの、社会インフラと呼べるシステムはまだ実現していない。 そこで、本研究ではユーザーが屋内外を気にすることなく位置情報を使用できる環境を実現することを目標に、その実現に必要な条件を検討した。まず屋内の位置情報技術の現状を整理し、社会インフラの障害となっている事象などを確認した。その結果、屋内の位置情報システムには社会的な要望はあるものの、システムを構築する実質的な担い手が存在しないことがわかった。最も大きな問題はその構築費用である。費用が下がれば費用対効果が良くなり導入を検討するショッピングセンターなどの民間企業が増加すると考えられる。 さらに、本研究では屋内位置情報システム構築にかかる費用を軽減するために、もう一方のシステムの担い手であるユーザー側の携帯端末に着目した。近年、携帯端末の機能の高性能化は著しく、多くのセンサーが搭載されるようになってきている。その中の加速度センサー、ジャイロセンサー、電子コンパスなどを用いることによって携帯端末だけで位置がわかる「自律航法」について実験を行った。 本研究によって、携帯端末の「自律航法」を考慮することにより、屋内位置情報インフラ構築費用が軽減できることがわかった。
Notes	修士学位論文. 2010年度システムデザイン・ マネジメント学 第52号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002010-0044

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文　　2010 年度

屋内位置情報システムの設計

肥後 尚之
(学籍番号：80933492)

指導教員　教授　春山 真一郎

2011 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科
システムデザイン・マネジメント専攻

論　　文　　要　　旨

学籍番号	80933492	氏　名	肥後　尚之

論 文 題 目：

屋内位置情報システムの設計

（内容の要旨）

近年、位置情報サービスが大きな注目を集めている。その大きな発端となったのは米国防省が運用している人工衛星を利用した位置情報システム Global Positioning System(以下 GPS)の存在である。米国が 1993 年に GPS を民間に広く開放して以来、屋外での位置情報は非常に簡便となり、これに伴って民生品の GPS 受信装置が発達し、カーナビゲーションシステムを筆頭に既に様々なサービスが実用化されている。

また、携帯電話からの警察や消防などへの緊急通報時には GPS などから得た位置情報を自動的に通知するシステムが構築されるなど、私たちの日常生活の安心、安全にも利用されるようになってきた。このように位置情報の重要性は近年益々高まってきており、社会インフラとして欠くことのできないものとなってきている。

一方、GPS が使用できない屋内に目を転じると位置情報の取得はまだまだ整備されていない。携帯電話の基地局を利用する測位手法や不特定多数の無線 LAN 基地局から出力される電波の情報を元に測位する手法も実現しているが、どちらとも精度が粗く、また後者は信頼性も高くない。他にも様々な技術や手法が提案されているものの、社会インフラと呼べるシステムはまだ実現していない。

そこで、本研究ではユーザーが屋内外を気にすることなく位置情報を使用できる環境を実現することを目標に、その実現に必要な条件を検討した。まず屋内の位置情報技術の現状を整理し、社会インフラの障害となっている事象などを確認した。その結果、屋内の位置情報システムには社会的な要望はあるものの、システムを構築する実質的な担い手が存在しないことがわかった。最も大きな問題はその構築費用である。費用が下がれば費用対効果が良くなり導入を検討するショッピングセンターなどの民間企業が増加すると考えられる。

さらに、本研究では屋内位置情報システム構築にかかる費用を軽減するために、もう一方のシステムの担い手であるユーザー側の携帯端末に着目した。近年、携帯端末の機能の高性能化は著しく、多くのセンサーが搭載されるようになってきている。その中の加速度センサー、ジャイロセンサー、電子コンパスなどを用いることによって携帯端末だけで位置がわかる「自律航法」について実験を行った。

本研究によって、携帯端末の「自律航法」を考慮することにより、屋内位置情報インフラ構築費用が軽減できることがわかった。

キーワード（5 語）

GPS、位置情報、屋内、自律航法、携帯端末

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	80933492	Name	HIGO, Naoyuki

Title

Planning for Indoor Location Based Service

Abstract

Recently, much attention is location-based services. It is existence of the Global Positioning System (GPS) of Department of Defense that becoming the big beginning. After the United States widely opens GPS to the private organization in 1993, the location information in outdoor becomes very handy, and, therefore, the GPS reception device of the consumer product develops. And various services have already been put to practical use with the car navigation system at the top. Moreover, the system that automatically notified the location information obtained from the cellular phone using GPS etc. when the emergency call to the police and the fire fighting was constructed. Location information system has come to support secure and pleasant social environment in our daily life. The importance of the location information rises more and more in recent years, and becomes prerequisite as a society's infrastructure.

On the other hand, at indoors we cannot use of the GPS, the acquisition of the location information is not maintained still. A measurement technique for using base station of cellular phone and a technique for measuring it based on information on electric wave output by many and unspecified wireless LAN base stations have been achieved both.

But the accuracy of the both measurement techniques are rough, and the reliability of the latter is low. Other various technologies and technique are proposed but there is no society's infrastructure of the indoor location information system. Then, the target of the present study is that the user doesn't worry outdoor and indoor and the environment that can use the location information is achieved. In the present study, the condition necessary for the achievement was examined. The current state of the indoor location information technology was investigated and I confirmed the events that were the troubles of the society's infrastructure.

As a result, the indoor location information system has a social demand but it has been understood that a substantial supporter who constructs the system doesn't exist.

The biggest problem is the construction cost. Cost-effectiveness improves if cost falls. If it is good cost-effectiveness, the private company like a shopping center examines the introduction of the indoor location information system.

In addition, it paid attention to the portable terminal on the user side who was the supporter of the system in this study to reduce the cost that hung to the indoor location information system construction. Recently, the function of the portable terminal is made remarkably efficient and a lot of sensors are installed in it. It experimented on "Dead Reckoning" in which the position was understood only from the portable terminal using the acceleration sensor and the electronic compass in it.

By this study it has been understood to be able to reduce the indoor location information infrastructure construction cost by considering "Dead Reckoning" of the portable terminal.

Key Word(5 words)

GPS, location based service, Indoor location, dead reckoning, mobile device

1　序論　1
1.1　研究背景　1
1.1.1　位置情報　1
1.1.2　屋内位置情報システム　2
1.2　研究目的　2
1.3　本論文の構成　2

2　現状分析　3
2.1　位置情報を取り巻く環境　3
2.1.1　社会インフラ化している位置情報　3
2.1.2　位置情報のサービス　4
2.2　屋外位置情報システムの現状　5
2.2.1　Global Positioning System (GPS)　5
2.2.2　GPS 以外の GNSS　6
2.2.3　市場予測　7
2.3　屋内位置情報システムの現状　8
2.3.1　現代日本人の屋外および屋内の滞在時間　8
2.3.2　屋内位置情報システムの技術面での現状　10
2.3.2.1　携帯基地局を利用した位置情報サービス　10
2.3.2.2　無線 LAN の電波を利用した位置情報サービス　11
2.3.2.3　Radio Frequency Identification(RFID) (PassiveとActive)　12
2.3.2.4　Indoor Messaging System(IMES)　13
2.3.2.5　赤外線通信　14
2.3.2.6　可視光通信　15
2.3.2.7　QR コード　15
2.3.2.8　屋内位置情報システムの一覧　16
2.3.3　屋内地図　18
2.4　端末　19
2.4.1　カーナビゲーション　19
2.4.2　携帯電話（スマートフォン）　19

2.4.3　その他　20
2.5　既に実施されている実証実験　21
2.6　シームレスな位置情報システム実現に向けての課題　22

3　要求分析とシステム設計　24
3.1　要求分析　24
3.1.1　V モデル　24
3.1.2　As Is To Be　25
3.1.3　Customer Value Chain Analysis　(CVCA)　26
3.2　屋内ナビゲーションの問題点　31
3.3　自律航法による設置コスト低減方法の新提案　31
3.3.1　スマートフォンの可能性　31
3.3.2　携帯電話、スマートフォンのセンサーを用いた自律航法　32
3.4　広告主にとって効果的なビジネスモデル　32
3.4.1　過去の事例　32
3.4.2　広告主の要求　33
3.5　屋内位置情報システムの設計課題　35

4　システム設計の検証　36
4.1　自律航法の可能性　36
4.1.1　自律航法性能確認用端末　36
4.1.2　試験結果　38
4.2　屋内地図への適用　44
4.2.1　必要な送信機数　44
4.2.2　八重洲地下街におけるモデルケース　45
4.2.2.1　自律航法を利用するケース　45
4.2.2.2　自律航法を利用しないケース　47
4.3　評価　48
4.4　今後の課題　49
4.4.1　ビジネスモデルの検証　49
4.4.2　位置詐称　49

4.4.3　プライバシー問題　49

5　結論　51

6　参考文献　53

7　謝辞　56

1. 序論

1.1 研究背景

1.1.1 位置情報

古来より人間だけでなく動物も含めて、自らの現在位置を認識し、また目的地までの道程を把握することは非常に重要な能力であり技術でもあった。

特に目印のない海を進む航海においては、その技術は必要欠くべからざる技術であり、その意味からも羅針盤の発明が歴史に大きな影響を与えたことは、周知のとおりである。近年でも船舶、航空機を対象とした世界的な測位システムとして、超長波を利用したオメガシステム、ついで長波を利用したロランシステムなどが構築され、運用されてきた。

このような中で 1974 年に米国海軍は、人工衛星を利用した測位システムである Global Positioning System (GPS)の開発に着手し、1993 年の正式運用開始時にはその機能の一部を世界中の一般の人々にも無料で使えるように開放した。当初、民間が使用できた位置精度は 100m 程度であったが、2000 年には意図的に精度を劣化させていた「選択的利用性」を解除し、その位置精度は 13m 程度と飛躍的に向上することとなった。これをきっかけとして民生品の GPS 受信装置が発達し、屋外での位置情報取得は非常に簡便かつ高精度なものとなったため、位置情報を利用した様々なサービスが花開くこととなった。

その代表例の一つがカーナビゲーションシステムであろう。カーナビゲーションは、1981 年にホンダがジャイロ式のカーナビゲーションをアコードに搭載したのを嚆矢とするが、1990 年にマツダが GPS 式のカーナビゲーションをユーノスに搭載し、GSP を利用したカーナビゲーションの先鞭をつけた。今では多くの自動車に GPS 式のカーナビゲーションが搭載されている。

また 2007 年 4 月には携帯電話からの緊急通報時には自動的に位置が通知されるシステムが稼動したため、第 3 世代の携帯電話には GPS モジュールの搭載が広まった。これによって自動車だけなく、携帯電話でも簡易に現在地を取得できるようになって、携帯電話の位置情報を利用した新しいサービスも実現化するなど、位置情報は社会インフラとして欠くことのできないものとなってきている。

1.1.2　　屋内位置情報システム

しかし、一方でGPSの電波の届かない屋内に目を転じると位置情報の取得は必ずしも簡便なものとはなっておらず、またできたとしても信頼性が低く、また精度が大変荒いものとなっている。このような現状を受けて様々な屋内位置情報システムが提案され、一部は実用化されているものの、社会インフラと呼べるシステムはまだ実現していない。

屋外と屋内の位置情報システムの最も大きな差異は、そのインフラ側のシステム構築コスト負担構造である。屋外位置情報システムの代表であるGPSのインフラは、米国が構築および運用の全てを負担し、全世界に無料でその位置情報サービスを提供している。

一方、屋内位置情報システムはインフラ構築コストを負担する構造がなく、一部の事業者が限られた屋内空間に対して適用している例（病院の機材管理や工場の在庫管理）や一般に無料で位置情報サービスを開放しているものの信頼性や精度が荒い例（無線LANを利用した測位サービスでは精度が5～100m）がある程度である。

1.2　研究目的

本論文は、必要性は認識されていながらも未だ実用化されていない屋内位置情報システムの構築について検討し、その実現に向けた提案を示す。

屋内位置情報システムによって実現できるサービスについては、防災や安心安全など様々なものが考えられるが、その中でも特にニーズが高く、またサービスの市場が大きいと考えられるマンナビゲーションを念頭に検討を進める。

1.3　本論文の構成

本論文の構成として、まず第二章で屋内位置情報システムの現状を分析する。次の第三章では第二章で得られた分析結果を基にシステムデザイン手法を用いて要求分析とシステム設計を実施する。

第四章では第三章で導き出された結果を元に、その妥当性を検討する。

第五章ではそのまとめとしての結論を述べる。

2　現状分析

本章では研究対象である屋内位置情報システムの検討に先立ち、位置情報システムの現状について述べ、既に社会インフラとして確立している屋外の位置情報システムと比較することで、屋内位置情報システムが内在する問題点を抽出する。

2.1　位置情報を取り巻く環境

先にも述べたようにGPSの位置情報を利用したサービスが多く提供されるようになって来た。ここでは位置情報を取り巻く環境について述べる。

2.1.1　社会インフラ化している位置情報

GPSなくしてはここまで広まらなかったであろうカーナビゲーションは、平成21年にその世帯普及率が51.4%[1]に達し、全ての世帯の半数以上で利用されるようになった。

また、もはや社会システムの一部となっているといっても良いであろう携帯電話は、世帯普及率が96.3%[1]を越え、ほぼ全ての家庭にあるといっても良い。多くの携帯電話にはGPSモジュールが搭載されており、位置情報が様々な形で利用されている。特にKDDI社の携帯電話auは通信方式にcdmaOne方式を採用しているが、その基地局は全てGPSで時刻の同期を取っており、GPSなくしては位置情報ばかりでなく通話さえできなくなってしまう。このような時刻同期は、電子取引時刻認証にも活用されており、一般市民の日常生活の一部にまでなっている。

また2007年4月には総務省の「事業用電気通信設備規則」よって緊急通報位置通知（警察や消防などへの緊急通報時に携帯電話が現在地を自動的に測位し、緊急通報先に送信するシステム。先行した米国にならい、日本版E911とも呼ばれている。）が施行された。これは携帯電話の普及に伴い、緊急通報をした人が自分の位置を説明できない場合が増加したことに対応したものである。携帯電話からの通報は、2004年の時点で警察への全通報954万件のうち、57%となる544万件となるなど既に半数を超えている。[2]

2007年5月に施行された地理空間情報活用推進基本法では、「いつでもどこでも誰でも位置や場所をリアルタイムに知ることのできる社会」の構築

を目指すなど、位置情報は今後ますます社会インフラ化していくことが予想される。

2.1.2　位置情報のサービス

GPSの位置情報を利用した民間のサービスもまた多く提供されている。株式会社セコムが運営する屋外セキュリティーサービスの「ココセコム」は「高度な位置情報提供サービス」[3]を謳っており、GPSの位置情報を利用したサービスである。

携帯電話の位置情報を利用したゲームは「位置ゲー」とも呼ばれるが、現在、大きく利用者を伸ばしている。たとえば、その代表である株式会社コロプラが運営する「コロニーな生活☆PLUS」は、2010年11月時点で150万人を越えており、それに継ぐ株式会社マピオンの「ケータイ国盗り合戦」も50万人（2010年5月時点）を越える利用者を有している。

また、ソーシャル・ネットワーキング・サービス大手のグリー株式会社のGREE（会員数2125万人　2010年7月時点）や株式会社ディー・エヌ・エーが運営するモバゲータウン（会員数2048万人　2010年7月時点）の携帯電話ゲームにも位置情報を利用したゲームが数多くある。

また現実世界と仮想世界をつなげる拡張現実を携帯電話で実現した頓智ドット株式会社の「セカイカメラ」も、GPSの位置情報を利用したアプリケーションである。

次に最近特に注目を集めているソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）であるが、米国で位置情報を中心とするSNSを提供するFoursquare Labs, Inc.は、日本でのサービスを2009年11月から開始しており、また同じく米国でモールや空港の屋内のナビゲーションサービスを全米で展開しているMicello,Inc.も2010年7月から株式会社電通国際情報サービスと共同で日本でのサービスを開始[4]している。

また、位置連動型広告という分野も注目を集めている。日本の大学発ベンチャーの株式会社シリウステクノロジーズのロケーション広告「AdLocal」は、「従来の「検索キーワード」により配信していた広告とは違い」、「携帯サイトを閲覧しているユーザーから発信された位置情報にあわせ、ユーザーの位置に対して最適化した広告を表示する位置情報連

動型モバイル広告サービスなので、従来の広告にはなかった視点から、より効率的・より効果的なターゲティングが可能」[5]として事業を順調に拡大させ、2010年8月にはヤフー株式会社と資本提携した。

米国で2008年に創業された米Groupon Incは、史上最速で成長している企業と言われ、2010年には日本にも進出してきたが、このビジネスモデルは日時と位置情報を連動させたクーポンにある。

近年、「生きている間に経験してきた全ての情報に即座にアクセスできる」[6]というライフログ、という概念が注目を集めるようになってきた。このライフログにおいても時刻スタンプと共に位置情報は必須の記録項目である。

このように位置情報の重要性は近年益々高まってきており、社会インフラとして欠くことのできないものとなってきている。

2.2 屋外位置情報システムの現状

広域にわたって現在位置を把握するシステムは数多く提案、実現されている。たとえば主に船舶向けであるが、超長波（10.2kHz～13.6kHz）を利用し、たった8つの送信局で世界中をカバーした電波航法であるオメガシステム（1997年に運用を停止）、同じく長波帯（100kHz）を利用した電波航法で、現在海上保安庁により運用中であるロラン（LORAN：LOng RAnge Navigation）Cシステム[7]などがある。

しかし今では、GPSに代表されるGlobal Navigation Satellite Systems(GNSS)に取って代わられている。GNSSは、地球の軌道上に測位用人工衛星を打ち上げて地上の測位を地球レベルで実現するシステムであり、全世界的衛星航行システムとも言われる。通常３機のGNSS衛星を捕捉することで各衛星からの距離を得るとともに、４つ目のGNSS衛星からの信号で時刻合わせを行い、位置を特定している。

2.2.1 Global Positioning System (GPS)

米国海軍は、1964年にNavy navigation satellite systemを実用化していたが、1973年には空軍と共にGlobal Positioning System (GPS)の開発に着手した。このシステムは1993年に正式な運用を開始したのだが、その際にはGPSの機能の一部を民間にも無償で公開した。このGPSは高度

約 2 万 km の軌道に 24 機の衛星群で構成されており、実際にはこれに数機の予備機が不具合や寿命に備えて軌道上で待機している。このシステムの運用は米国国防総省と運輸省が担っている。

2000 年にはクリントン米大統領が、それまで民間利用のナビゲーション信号の精度を意図的に下げていた「選択的利用性」(Selective Availability SA)を停止。その結果、民間の測位精度は、約 100m から 13m 程度となり、民間利用が加速度的に広がる契機ともなった。同時に米国防総省は無償使用を今後も保証すると発表した。

この GPS には、ルビジウムやセシウムを利用した原子時計という非常に精密な時計が搭載されている。GPS からの情報は、その時刻と共に自らの軌道情報と GPS 衛星全部の軌道情報などからなっている。データの送信速度は 50bps という非常に小さなもので、これらすべての情報を送信するまでには 12 分半かかる。

地上では、この GPS を利用して位置精度を上げる手法が開発、運用されており、その代表的なものとしては、ディファレンシャル GPS、リアルタイムキネマティック GPS などがある。

このシステムは現在、カーナビゲーションをはじめとして広く利用されており、また本来の目的である測位ばかりでなく、携帯電話基地局の同期など正確な時刻を知るためにも利用されている。[8]

なお、GPS の整備費は約 120 億ドル、年間の維持費は約 4 億ドルと言われている。

2.2.2 GPS 以外の GNSS

GPS はその機能の一部が無償で公開されているため、世界中で広く利用されており、世界中で社会的なインフラストラクチャーの一部ともなっている。

しかしこの状況は逆から見ると米国という一つの国が運用する GNSS に自国の社会インフラを依存することにつながるため、多くの国々が、自国の GNSS 構築を目指すようになった。

ロシアは、ロシア宇宙庁およびロシア国防省が開発運用し、24 機の衛星で構成される GLONASS を構築している。ロシアは、旧ソ連時代から

GLONASS を構築していたが、ソ連崩壊による社会的混乱の中で維持運用に支障が生じていた。しかし、プーチン政権になって以来、重要な国家政策に位置づけて、着々と近代化 GLONASS の整備を推進している。

ヨーロッパは、European Union (EU)、European Space Agency (ESA)および民間企業が計画・運用し、30 機の衛星で構成される Galileo 計画を推進している。この計画には EU 諸国以外にも中国、イスラエル、ウクライナ、インド、韓国、モロッコが参加に関する協定を締結している。

中国は、静止衛星 5 機、中高度軌道衛星 27 機、地球同期軌道衛星 3 機で構成される北斗を構築中である。

インドは、インド宇宙庁、インド航空局が開発運用し、静止衛星 4 機、地球同期軌道衛星 4 機で構成される Indian Regional Navigation Satellite System (IRNN)計画がある。

日本も 2010 年に GNSS として準天頂衛星「みちびき」を１機打ち上げているが、これは GPS を補完補強する役割を担っており、他の GNSS とは位置づけが異なっている。この準天頂衛星システムは３機で２４時間のサービスを提供するシステムで、これと GPS を組み合わせることで、位置精度を GPS のみの数十ｍから数ｍにまで高められる。

既に実証実験は始まっており、「走行中の車の位置を誤差３センチメートル以内と、民生用としては世界最高精度で測定することに国内のグループが成功した。」という報道[9]にもあるように実績ができつつある。

各国の計画が実現すれば、測位を目的とした人工衛星が 100 機以上打ち上げられることとなり、これらの測位衛星からのデータを適切に組み合わせると「一瞬にセンチメートルオーダーの測位が可能」[10]とも言われている。

2.2.3　市場予測

次にGNSS関連の市場について述べる。欧州はガリレオ計画を推進しているが、欧州委員会の市場規模予測[11]では衛星測位関連製品とサービス事業は 2025 年には 50-60 兆円規模と予測している。

このように測位の重要性は近年益々高まってきている。

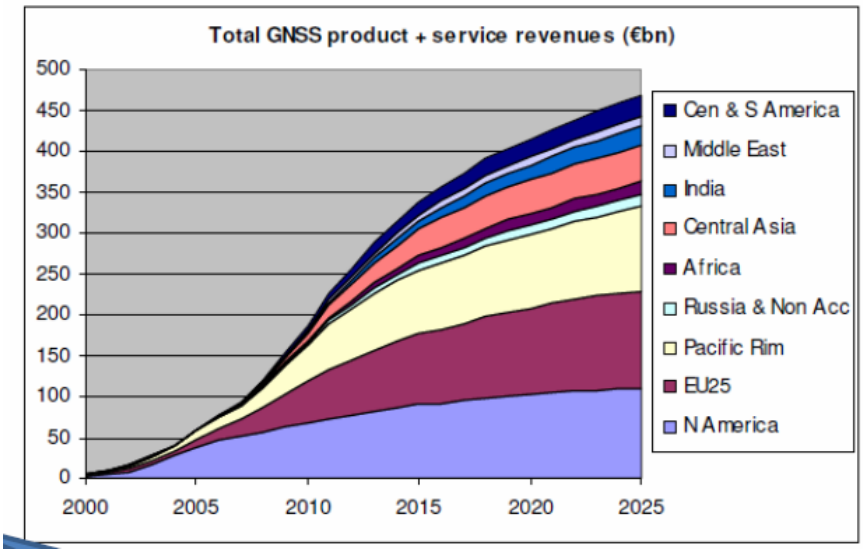


図 2.2.3　衛星測位関連製品とサービス事業の市場規模

2.3　屋内位置情報システムの現状

GPS で既に実現している屋外位置情報システムと異なり、屋内位置情報システムはインフラ構築コストを負担する構造がなく、一部の事業者が限られた屋内空間に対して適用している例（病院の機材管理や工場の在庫管理）や一般に無料で位置情報サービスを開放しているものの信頼性や精度が荒い例（無線 LAN を利用した測位サービスでは精度が 5～100m）がある程度である。このように屋外と屋内の位置情報システムの最も大きな差異は、そのインフラ側のシステム構築コスト負担構造である。

2.3.1　現代日本人の屋外および屋内の滞在時間

ここでは屋内位置情報システムを検討するにあたり、現代日本人の生活時間について、屋内と屋外の滞在時間、およびナビゲーションが必要な時間について検討した。次にその調査結果を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1　現代日本人の 1 日に占める屋外滞在時間の割合

		平日				休日			
		全体	社会人	大学生	高校生	全体	社会人	大学生	高校生
屋外滞在時間の割合(%)	通学通勤	5	5	5	5	0	0	0	0
	その他	**5**	**4**	**6**	**10**	**12**	**11**	**10**	**13**
屋内滞在時間の割合(%)	家	58	59	53	55	77	79	73	79
	職場	19	28	5	1	3	2	7	4
	学校	10	0	26	28	0	0	1	0
	その他	**3**	**4**	**5**	**1**	**8**	**8**	**9**	**4**

(塩津ら（1998）[12]、NHK放送文化研究所（2005）[13]を元に改変)

屋外の滞在時間のうちNHK放送文化研究所の調査[13]によると通勤通学時間はともに 5%となっており、屋外滞在時間で通勤通学時間を除いた割合は更に低くなる。通勤通学時に道に迷うことは、最初はあっても非常に稀なので、ナビゲーションは必要ではない。つまり、屋外でナビゲーションが必要な機会というのは、「その他」の中に含まれると考えられる。

次に屋内滞在時間を見ると、家、職場および学校がその大半を占める。ここでもその滞在時に道に迷うことは非常に稀なので、ナビゲーションは必要ではない。そのため、屋内でナビゲーションが必要な機会というのは、「その他」の中に含まれると考えられる。

平日の全体で見ると屋外滞在時間の「その他」が 5%、屋内帯時間の「その他」が 3%となっている。一方、休日の全体で見ると屋内滞在時間の「その他」が 12%、屋内帯時間の「その他」が 8%となっている。屋内

滞在時間は、屋外滞在時間の 60-67%程度となっている。

もちろん屋外、屋内滞在時間のうち「その他」にナビゲーションが必要な時間がどのくらいあるかということはここからは一概には言えない。しかし、その需要は屋外の 60-67%程度はあると考えても良いであろう。

2.3.2　屋内位置情報システムの技術面での現状

次に屋内位置情報システムの現状を検討する。ここでは既に商品として実用化されている技術と技術的な成立性はありながらもまだ商品化には至っていない技術の双方を対象とした。

2.3.2.1 携帯基地局を利用した位置情報サービス

NTTdocomoは、屋内の携帯電話基地局設備（Inbuilding Mobile Communication System：IMCS）を用いて、位置情報を取得するシステムを構築している。これは「屋内基地局設備IMCS®を利用し、iモード®などのインターネット接続サービスでお子さまの場所が検索できる「迷子探しサービス」」[14]として実証実験が進められている状況である。まだ一部の商業施設での提供となっているが、2009 年 2 月からイオンレイクタウンでこのIMCSを用いた「迷子探しサービス」を提供している。

図 2.3.2.1　貸し出される迷子探しキットのイメージ

株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ　HP より

2.3.2.2 無線 LAN の電波を利用した位置情報サービス

現在、この方式を日本で一番初めに実用化したのは、クウジット株式会社の「PlaceEngine」である。PlaceEngine は、「Wi-Fi 機器を使って簡単に現在位置を推定し、周辺の関連情報を提供しやすくするサービス」であるため、「アクセスポイントからの電測情報を用いますので、屋内や地下街のように、GPS が機能しない場所でも位置を求めることが可能」となる。

また位置精度については「おおむね 5m〜100m 程度の範囲内で位置が推定されることを目安」(15) となっている。

米国ではスカイフックワイヤレス(16) が同様のシステムを構築しており、最近になって、日本でもサービスを提供し始めている。

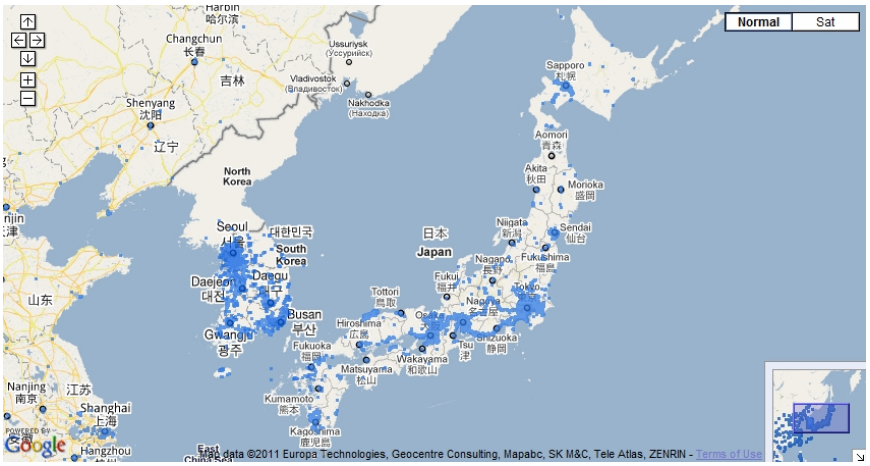


図 2.3.2.2-1　米スカイフックワイヤレスのサービス地域

米スカイフックワイヤレス　HP より

また、フィンランドのEkahau社が展開しているEkahau Positioning Engineは、病院やオフィスなど限られた空間において、高精度の位置精度（0-5m）を実現している。たとえば病院内の医療機器にタグをつけ、このシステムでリアルタイムに医療機器の使用場所を把握することで、医療機器の稼働状況やメンテナンス状況を管理することに使われている。(17)

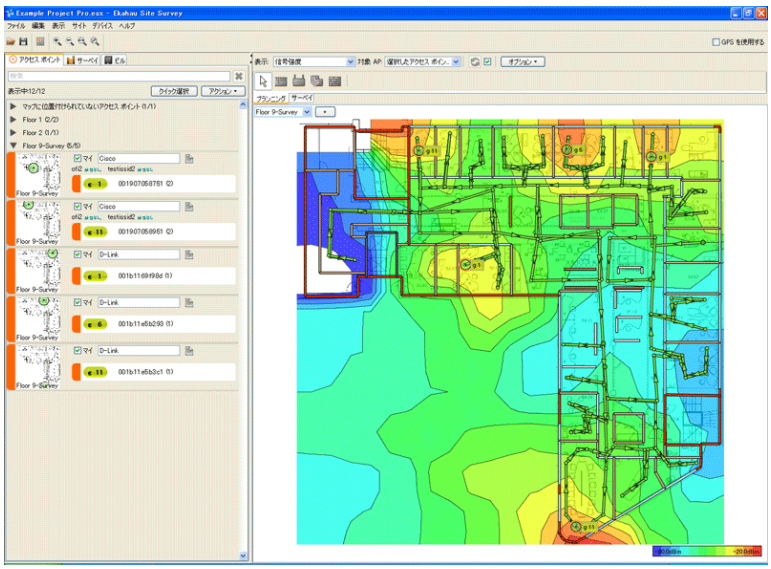


図 2.3.2.2-2　Ekahau による電波状況

株式会社ディアイティ HP より

2.3.2.3 Radio Frequency Identification(RFID) (PassiveとActive)

RFID は、近距離の無線通信によって情報を授受するシステムである。近年、定期券や電子マネーなどによって利用が広がっている非接触 IC カードもこの一種である。RFID は、電源を持たない Passive 型と電源を持つ Active 型に大きく分けられる。Active 型は数 km の通信距離も実現できるが、Passive 型は受ける電波によって電力を得るので、Active 型に比べて通信距離が短く数 cm 程度となるものが大半である。そのため、RFID に位置情報を送信する場合、通信距離が短くなればなるほど、位置精度は高くなるものの、その場を探し出して、端末を近づける必要がある。

米国では、小売最大手のウォルマートがRFIDの一種であるICタグを用いて、商品管理をしている。このように従来のバーコードに代わる技術としてRFIDを実用化する動きも出てきている。なお、この際に利用されているフォーマットはEPCglobal方式を採用している。[18]

また、米MojixはNASAの深宇宙探査機の超遠距離宇宙通信テクノロジーを応用したRFIDシステムである「Mojix STAR System」を開発し、日本でもサービスを提供している。このシステムはパッシブタグでありながら、「約 200 メートルを超える読取距離を実現（従来の 20 倍以上）」かつ「位置精度約 1m～3m」[19] と非常に高性能なシステムとなっている。しかし、このシステムも向上などの限られた空間を前提にしたシステムと

なっている。

また、国土交通省の「自律移動支援プロジェクト」[20]は平成16年度に始まった「身体的状況、年齢、言語等を問わず、「いつでも、どこでも、だれでも」移動等に関する情報を入手することを可能にする」プロジェクトであり、ICタグを用いた位置情報システムが中心となった。

図2.3.2.3　自律移動支援プロジェクト

（平成18年度　国土交通白書より　「自律移動支援プロジェクト」）

2.3.2.4 Indoor Messaging System(IMES)

GPSと互換性のある信号を使って位置情報を送信するシステムである。屋内に送信機を設置することで実現する。受信機としては携帯電話を想定しており、GPS受信機のファームウェア改修が必要になるものの屋外測位の事実上の標準となっているGPS受信機を利用できることが最大の特徴である。つまりGPS受信機で屋内外をシームレスに利用することができる。

IMESは、独立行政法人宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace Exploration Agency JAXA）によって仕様[21]が提案されている。日本では電波法に規定されている「微弱電波」を使用するため、無線局免許不要で設置、運用が可能となっている。位置精度には複数方式が検討されており、南北および東西方向に2.4m、南北および東西方向に1.2mとなっている。

また、地震などの自然災害が起こったときの通知システムとしての活用する研究[22]や救急救命時間を短縮するために、このシステムを利用した研究[23]も進められている。

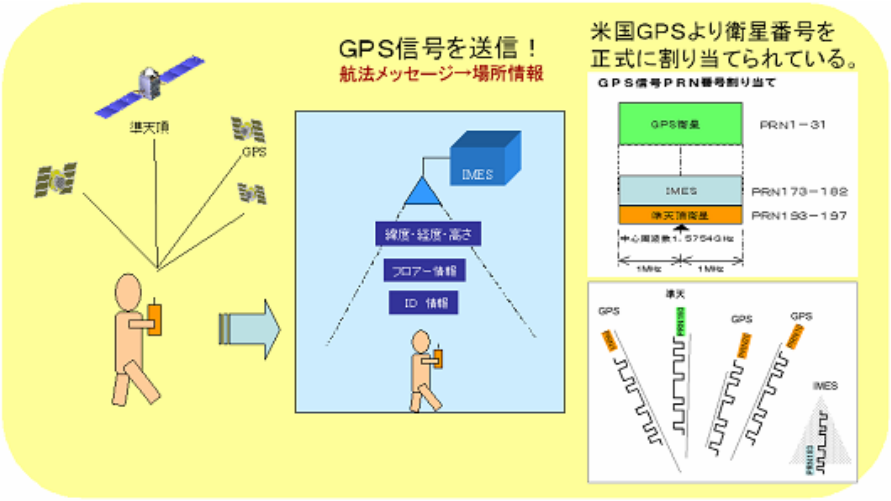


図 2.3.2.4　IMES の仕組み

測位衛星技術株式会社　HP [24] より

2.3.2.5 赤外線通信

赤外線通信自体はテレビのリモコンを始め、今では多くの携帯電話にも搭載されている。赤外線通信の規格としては、IrDA がある。また、転送速度を速めた IrSimple（1m　4Mpbs）も実用化されている。

この赤外線通信に位置情報を乗せて送信することで、それを受信した端末に位置情報を伝えることができる。実際に東京ミッドタウンでは、東京都の「東京ユビキタス計画」の一環として、端末としてユビキタス・コミュニケーターを利用した「ユビキタス・アートツアー」が運営されている。これはNECスマートロケーター [25] という「屋内位置管理システム」を採用したものである。このシステムも限られた空間を前提としており、科学館や美術館などに実績がある。システム構築に数百万円以上の費用が必要となっている。

図 2.3.2.5　スマートロケーターの送信機

日本電気株式会社　HP より

2.3.2.6 可視光通信

可視光通信は「人間の身の回りにありふれている目に見える光--「可視光」を使って通信を行うという最新の通信技術」[26]であり、屋内の照明を利用した通信方法として注目を集めている。この照明からの光に位置情報を乗せることで、受信した端末に位置情報を伝えることができる。また近年、蛍光灯に変わって、可視光通信に適したLEDを利用した照明が普及しつつあり、普及が期待される。

更に将来的にはイメージセンサーと組み合わせることで、cm 単位の位置情報を伝えることができる研究も進んでいる。

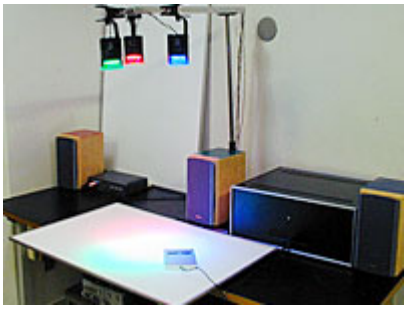


図 2.3.2.6　可視光通信のデモンストレーション

可視光通信コンソーシアム　HP より

2.3.2.7 QR コード

QRコードは「2 次元コードの一種であり、「リーダにとって読み取り易いコード」を主眼」[27]に株式会社デンソーウェーブが開発したものである。現在では、携帯電話に搭載されているカメラでこのQRコードを読むことができるため、広く普及している。

この QR コードに位置情報を記録し、携帯電話等のカメラで読み出せば、位置情報を取得することができる。一方、位置情報を取得したいときに、この QR コードを探し出して読み出す必要があるため、そこまでたどり着ければ、非常に正確な位置が取得できるが、見つけることができなければ、どうすることもできない。また、誰でも QR コードを作ることができるため、他の方式と比較し信頼性が必ずしも高くない。

図 2.3.2.7　QR コードの例

株式会社デンソーウェーブ　QR コード HP より

この他にも、近距離・低消費電力の無線ネットワークの「ZigBee」や超広帯域無線システムの「UWB」などがある。

2.3.2.8 屋内位置情報システムの一覧

次に上記の位置情報システムまとめた一覧を表 2.3.2.8 に示す。また、通信距離と誤差を示したグラフを図 2.3.2.8 に示す。通常、通信距離と誤差は比例するが、送られてきた情報を受け取るだけなく、自らの状況をも加味した上で位置情報を特定するイメージセンサーを用いた可視光通信は一桁ほど、他の方式よりも精度が良いことがわかる。

表 2.3.2.8　屋内位置情報システムの種類

測位方法	手法	精度	備考
IMCS 携帯電話基地局	フロアを一定エリアに分割して検索する。	不明	株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモが、埼玉のイオンレイクタウンにて 2009 年より「迷子探しサービス」を開始。
無線 LAN	無線 LAN の電波状況を専用サーバに問い合わせて位置情報を得る。	5-100m	PlaceEngine と Skyhookwirelss が実用化。既存の無線 LAN 局を利用するため、設置費用は大きくならないが、信頼性に乏しい。Ekahau が専用端末を使用することで実用化。100 万円以上。
IMES	屋内に設置した専用送信機から GPS とほぼ同等の電波を送信する。屋内版 GPS。	数 m	大規模なインフラ整備が必要だが、GPS 受信機が活用出来る。
RFID (passive)	IC タグをリーダに触れさせることにより、位置情報を取得する。	ほぼ 0m	Suica などで実用化。その場で触れる必要がある。
RFID (active)	IC タグから電波を出し、位置情報を知らせる。	数 m	実用化。継続的に電池交換が必要になるなどコストがかかる。
赤外線	送信機から赤外線を出し、位置情報を知らせる。	数 m	Smart Locator などで実用化。専用受信機が必要。多くの携帯電話にも採用。
可視光通信（フォトダイオード)	照明の LED から位置情報を受信する。	数 m	実証実験中。LED 照明設備が利用できる。
可視光通信（イメージセンサー)	2 点の LED から位置情報を得て、画像処理をする。	0.1m 以下	研究中。2 点の LED から位置情報を得て、画像処理をする。大規模なインフラ必要。
QR コード	2 次元バーコード。カメラが認識するまで近づく必要がある。	ほぼ 0m	携帯電話の内蔵カメラなどで実用化。

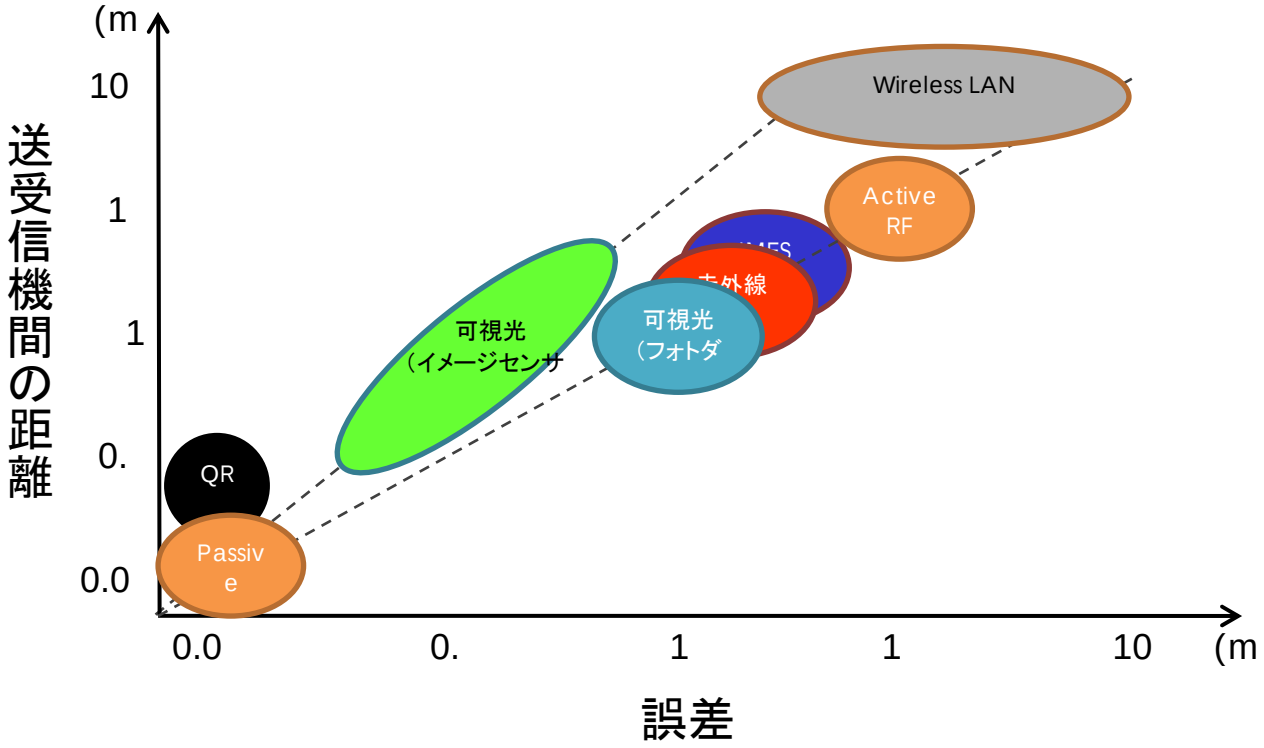


図 2.3.2.8　屋内位置情報システム候補技術における送受信間の距離とその誤差

2.3.3　屋内地図

屋外の地図は、国土地理院が数値地図 25000 として全国を網羅した 25,000 分の 1 の地図を作っており、また地方自治体は都市計画基本図として 2,500 分の 1 の地図を作っている。国土地理院は、これらのデータを「電子国土ポータル」や「ウォッちず」としてインターネット上に公開しており、利用者の利便性向上に貢献している。

カーナビゲーションやインターネット上の地図は、これらを元に民間企業が独自の調査や表現のノウハウを取り込んだ地図が広く使われている。

一方、屋内の地図は事実上、ほとんど整備されていない。この場合、屋外と異なって建物の所有権の問題や保安上の課題もあり、広く公開することに適さない場合もある。また、当然、国土地理院や地方公共団体も整備しておらず、建物の所有者や管理者が利用者に独自の地図を提供しているのが大半

である。そのため一部の地下街を除いて地図として公開されている例は少ない。

一般に商業施設はその商業施設自身が屋内地図を作成し、施設内の案内と共にパンフレットの形にして配布できるようにしているところが多い。またその屋内地図を施設内の要所に配置して利用者にて提供しており、またインターネット上にも公開している例が多い。しかし、所有者が独自に屋内地図（案内図）を作成するため、結果的に様々な表現で作られることになり、全体的に見ると統一感に欠けている。

2.4 端末

2.4.1 カーナビゲーション

先にも述べたように、GPS の民間利用はカーナビゲーションによって大きく花開いた。日本では既に半数以上の世帯が利用しており、今後も広く活用されることになるであろう。一方で、自動車に組み込んで使用される従来のカーナビゲーションシステムに代わるものとして、最近注目を集めているのが、PND と呼ばれる端末である。これは Personal Navigation Device もしくは Portable Navigation Device を略したものと言われ、持ち運びのできる小型のカーナビゲーションシステムである。GPS 受信機に加え、加速度計や電子コンパス、ジャイロを備えたものもある。持ち運びできるため自動車ばかりでなく、オートバイや自転車でも使用することができる。機種によっては、歩行者のナビゲーション対応を謳ったものもある。

2.4.2 携帯電話（スマートフォン）

社団法人電気通信事業者協会によると、2010 年 12 月末の携帯電話とPHS の契約数の合計は、120,708,700 台[28]となっており、事実上ほぼ一人一台の普及率を越えたと言っても良いであろう。

先に述べたように 2007 年 4 月に施行された総務省の省令改正によって第三世代以降の携帯電話には、位置送信機能が義務付けられており、これに呼応して GPS モジュールを搭載する携帯電話が多くなってきた。

現在利用されている大半の携帯電話には、QR コードを読み込むことのできるカメラ機能、RFID の一種である「おサイフケータイ」機能、携帯電話同士の情報交換等に使用されている赤外線通信機能など、多くの機能が搭載されている。

また携帯電話によるマンナビゲーション分野は、2001 年にサービスが開始された au とナビタイムによる「EZ ナビ」が嚆矢であるが、現在ではほぼ全ての携帯電話で利用できるようになっている。位置情報の取得には GPS を始め、携帯電話基地局や無線 LAN を利用する方式なども併用されている。

2.4.3　その他

トレッキングやパラグライダーの愛用者は、GPS 専用受信機を利用している人が多い。GPS 専用受信機メーカーとしては、米国の Garmin Ltd 社が有名である。

またネットブックと呼ばれる小さいノート PC や、iPad に代表されるタブレット PC が注目を集めるようになってきている。これらの端末の多くが無線 LAN を内蔵しており、上記で述べた無線 LAN を用いた測位を利用することができ、また中には GPS に対応しているものもある。

2.5 既に実施されている実証実験

屋内位置情報システムの中には、実証実験が進んでいるものがある。表 2.5 に参加した実証実験を示す。

表 2.5 屋内位置情報システムの実証実験

実験名称	主催者	場所	位置情報システム
光のマジカルクエスト（2010 年）	e空間kansai	大阪府 阪急三番街北館	IMES 可視光通信
東京ユビキタス計画（自律移動支援プロジェクト）（2010 年）	東京都 国土交通省	東京都 銀座	赤外線通信 ユビキタス・コミュニケーター
ユビキタス光のまちプロジェクト（2010 年）	国際航業 総務省 ユビキタス特区事業	東京都 赤羽スズラン通り商店街	可視光通信 赤外線通信
DaMoNo（2010 年）	相田みつを美術館	東京都 相田みつを美術館	無線 LAN iPod touch
ユビキタス アートツアー（2010 年）	東京ミッドタウン	東京都 東京ミッドタウン	赤外線通信 ユビキタス・コミュニケーター

これらの実証実験から、次のことがわかった。

- 位置精度が粗い。

たとえばひとつの部屋に対して、ひとつの位置情報しか配信されていないため、その部屋に入ったことまではわかるが、その部屋の展示物に関しては自分で探す必要がある、など。

- 位置情報を受け取るべきところで端末が反応しない。

ナビゲーションや現在位置の確認のため、地下街の出入り口には必ず、位置情報が配信されているものの、端末側はそれを認識しないケースが散見された。

- 端末の反応が思わしくない。

目的地を検索する場合など、端末側に負荷のかかる要求を出したとき、長時間にわたって画面が遷移せず、出入り口付近や三叉路で立ち止まるケースがあった。

このように、まだまだ改善の余地はあるものの、屋内の位置情報システムとしての技術的な目処は立ちつつあることがわかった。また、実証実験ごとにアプリケーションを作りこんでいるため、屋内の地図も専用のものになっており、他の実証実験とはインターフェース自体が異なるなど、汎用性に乏しいことがわかった。

2.6 シームレスな位置情報システムに向けての課題

これまで見てきたように、屋内位置情報システムには様々な手法が提案されており、また実用化や実証実験に供されているものもあるが、社会インフラと呼べるシステムはまだない。

屋内位置情報システムが社会システムとなるためには、

①利用者にとって使い易いこと
②利用者にとって魅力的なサービスが提供されること
③インフラ構築に多額の費用がかからないこと
④適切な法整備がなされること、
などが考えられる。

特に①に関しては、既に GPS を利用した屋外の位置情報システムがあり、受信端末としては携帯電話などが広く利用されているため、屋内の位置情報システムとしても受信端末として携帯電話などが有力になると考える。

屋内位置情報システムの実用化にあたっては、利用者の目的やサービスごとに必要な位置情報精度などが異なるため、実際には複数のシステムが組み合わされて利用される可能性が高いであろう。その場合であっても、利用者が使用する受信端末としては既に実用化されている屋外位置情報システムであるGPSが利用できる携帯電話などが有力であると考えられる。また②のようなサービスは既に屋外でサービスが進んでいるため、組み合わせるなどの工夫ができる。

また③であるが、屋外の位置情報システムであるGPSと異なり、屋内位置情報システムを構築する主体が判然としないことが最大の問題である。屋内位置情報システムによって利益を得るであろう屋内の店舗が主導することも考えられるが、費用対効果がわからない限り、主導することはないであろう。次章以降でインフラ側の設置コストを抑え、またその設置による効果を上げる方法について考えたい。

加えて、屋内地図は若干の実例はあるものの事実上、未整備のままであり、この対策も必要である。

④に関しては、今後屋内位置情報システムを構築する上で、検討すべき課題が明確になってくるであろうが、2007年5月に成立した「地理空間情報活用推進基本法」を根拠として課題解決に向けた検討を進めることができるであろう。

3　要求分析とシステム設計

本章では、第二章で明らかとなった現状分析結果を元に、屋内位置情報システムの実現に向けた要求分析とシステム設計について述べる。

3.1　システムズエンジニアリング

3.1.1　　Ｖモデル

屋内位置情報システムの構築にあたって、システムズエンジニアリングの視点からまずＶモデルについて考察する。（図 3.1.1）

今まで見てきたように屋外では簡単に高精度の位置情報を取得することができる一方、屋内では困難な状況である。そのため、まず既に実用化されている屋外の位置情報システムを調査し、そのシステムを明らかにする。

次に屋内位置情報システムの構築に必要な要求、サブシステムおよびその要素技術について検討する。要素技術については、実現可能性や実用化されている製品の性能などを検証する。

要素技術の検証結果を元に屋内位置情報システム全体の妥当性を検証し、最後に屋外位置情報システムとの統合の妥当性を検証する。

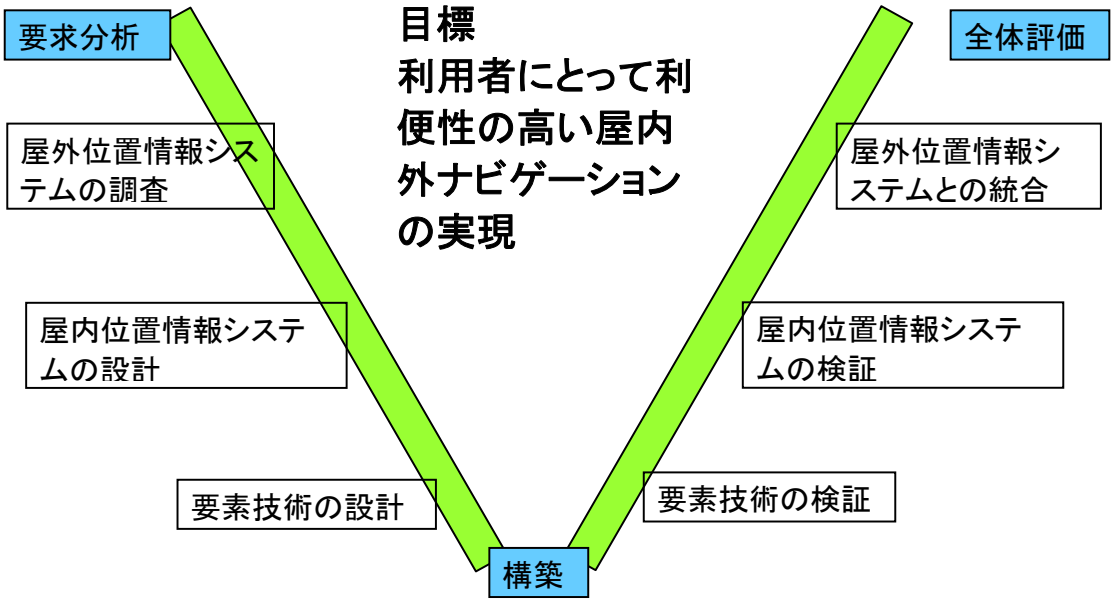


図 3.1.1　位置情報システムのＶモデル

3.1.2　　As Is To Be

次に現状とあるべき姿として、As Is To Be として図 3.1.2-1 に示す。

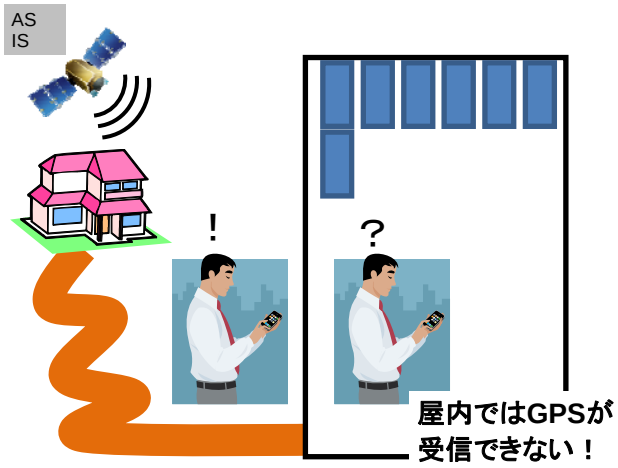


図 3.1.2-1　位置情報システムの　As Is

このように屋外であれば屋外位置情報システムとして既に GPS が整備され、また携帯電話端末が GPS に対応しているため、現状でも十分な自宅などから目的地までのナビゲーションが可能となっている。

しかし、一方で屋内に入ってしまうと GPS の電波が届かないため、位置情報がほとんど取得できない。（図 3.1.2-2）

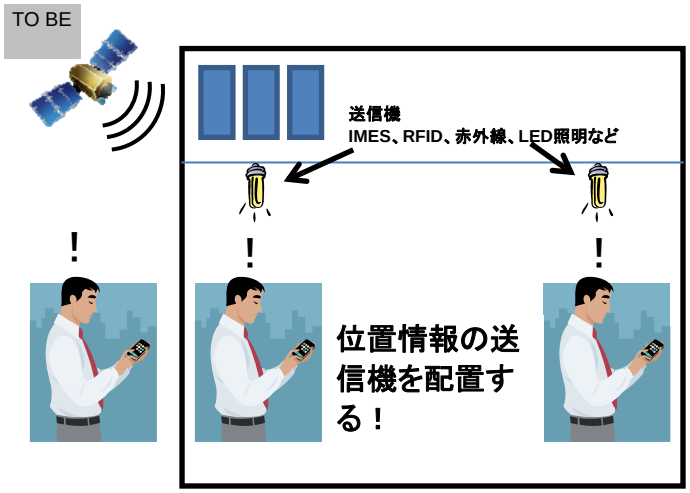


図 3.1.2-2　位置情報システムの　To Be

位置情報を取得するためには何らかの方法が必要であり、現状ではインフラとして整備されているものがない。それを実現するためには、位置情報を送信する機器の設置費用を低減する必要があり、そのためには設置費用自体の低下と共に設置個数をできるだけ少なくする必要がある。

3.1.3 Customer Value Chain Analysis (CVCA)

現状のカーナビゲーションの Customer Value Chain Analysis (CVCA) を次に示す。

屋外の位置情報を利用しているため、GPS からの位置情報を利用している。GPS は米国が運用しているシステムであるため、その費用の一切は米国が負担している。(図 3.1.3-1)

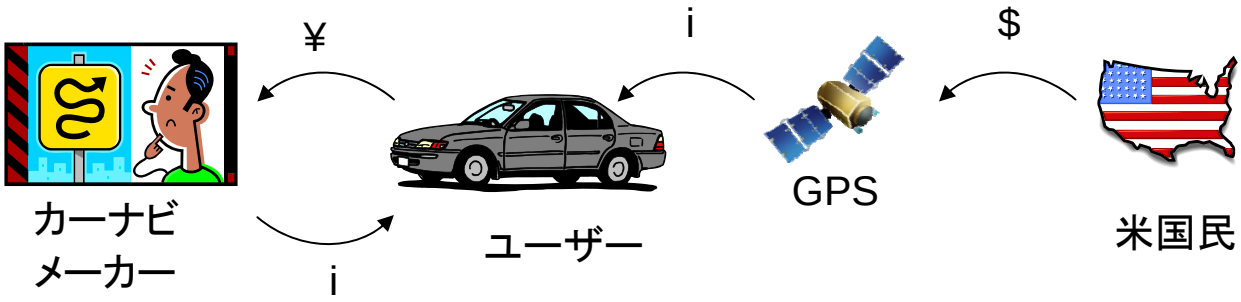


図 3.1.3-1 カーナビゲーションの CVCA

現状のマンナビゲーションの CVCA を図 3.1.3-2 に示す。

ここでも屋外の位置情報を利用しているため、GPS からの位置情報を利用している。携帯電話端末を利用した場合、ユーザーは携帯キャリアに通信料やナビゲーションシステムの利用料を支払うこととなる。

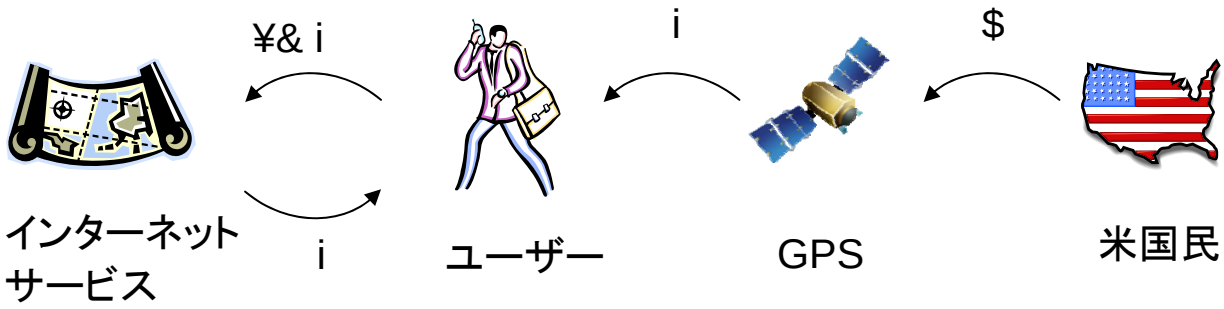


図 3.1.3-2　屋外におけるマンナビゲーションの場合（広告なし）の CVCA

次に現状のマンナビゲーションのもうひとつの CVCA を図 3.1.3-3 に示す。

ここでも屋外の位置情報を利用しているため、GPS からの位置情報を利用している。携帯電話端末を利用した場合、ユーザーは携帯キャリアに通信料やナビゲーションシステムの利用料を支払うこととなる。

この CVCA では、新しくステークホルダーとしてインターネットサービスの広告主を考慮した。広告主はインターネットサービス事業者に自店の情報と広告を出し、その費用を支払う。インターネットサービス事業者はそれをユーザー側に示すことで、広告効果を高める。この場合、インターネットサービス事業者はユーザー側に広告を見せる代わりに、インターネットサービスの利用料を下げることもある。

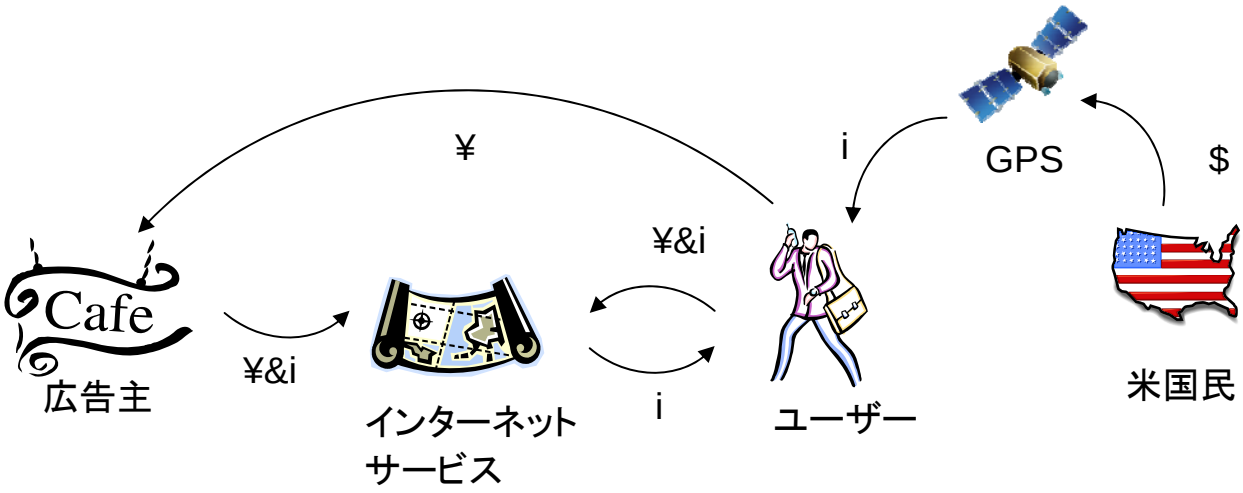


図 3.1.3-3　屋外におけるマンナビゲーションの場合（広告あり）の CVCA

次に現状の屋内位置情報システムを図 3.1.3-4 に示す。

現状では、屋内位置情報システムがないため、屋内のマンナビゲーションシステムは事実上できない。

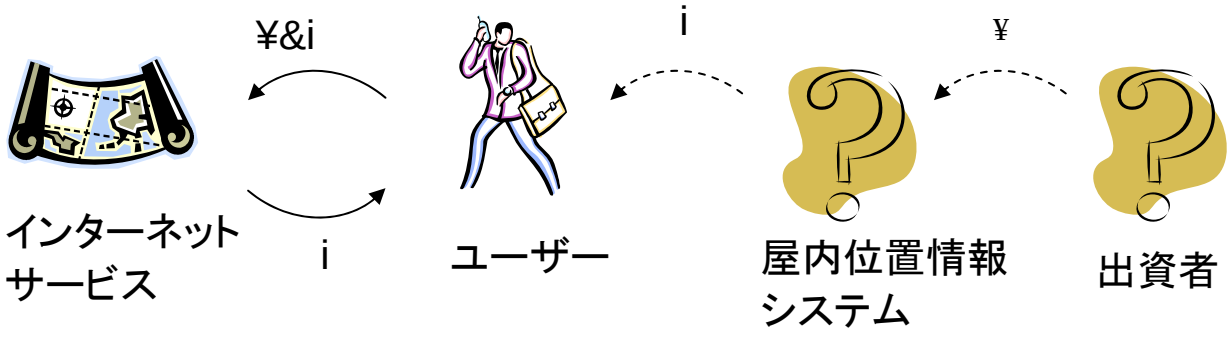


図 3.1.3-4　屋内におけるマンナビゲーションの場合（広告なし）の CVCA

次にもうひとつの現状の屋内位置情報システムを図 3.1.3-4 に示す。

この CVCA でも先と同様に新しくステークホルダーとしてインターネットサービスの広告主を考慮した。広告主はインターネットサービス事業者に自店の情報と広告を出し、その費用を支払う。インターネットサービス事業者はそれをユーザー側に示すことで、広告効果を高める。この場合、インターネットサービス事業者はユーザー側に広告を見せる代わりに、インターネットサービスの利用料を下げることもある。

しかし、ここでも屋内位置情報システムの構築に必要な費用を負担する構図が見えない。

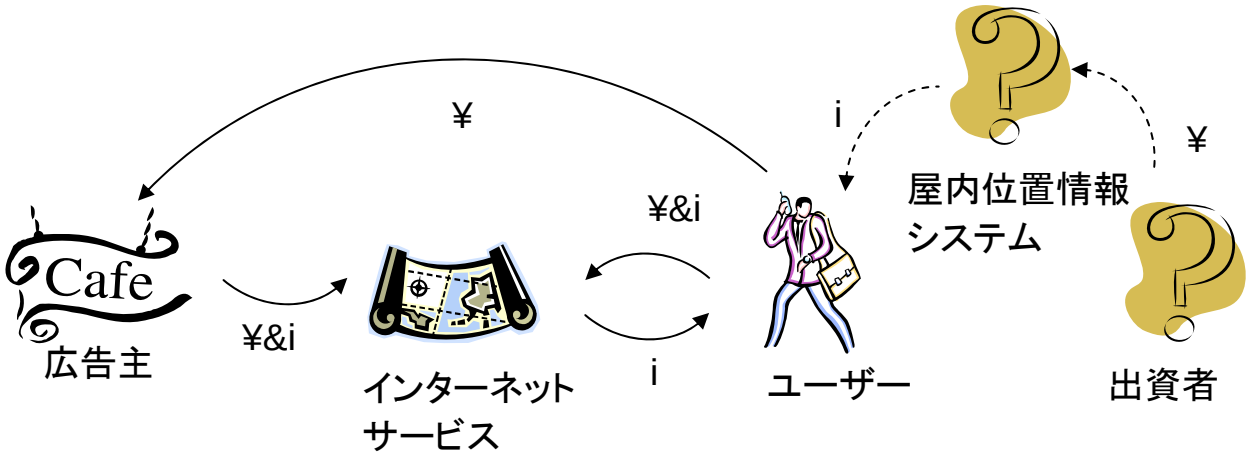


図 3.1.3-5　屋内におけるマンナビゲーションの場合（広告あり）の CVCA

屋内位置情報システム構築の最大の課題は、屋内位置情報システムを構築する主体がないことである。屋外であれば米国が整備運用している GPS があり無料で利用できるが、屋内で同様のことを期待することはできない。

また、インターネットサービスを利用するユーザーの目的地は様々であるが、屋内位置情報システムの構築を考えた場合、出資者の存在が不可欠である。

そこで、ここでは広告主およびユーザーから利用料を徴収しているインターネットサービス業者、およびユーザーを自店の来客者にすることで最も利益を得るであろう広告主が屋内位置情報システムの構築者となる CVCA を検討した。検討結果を図 3.1.3-6 に示す。

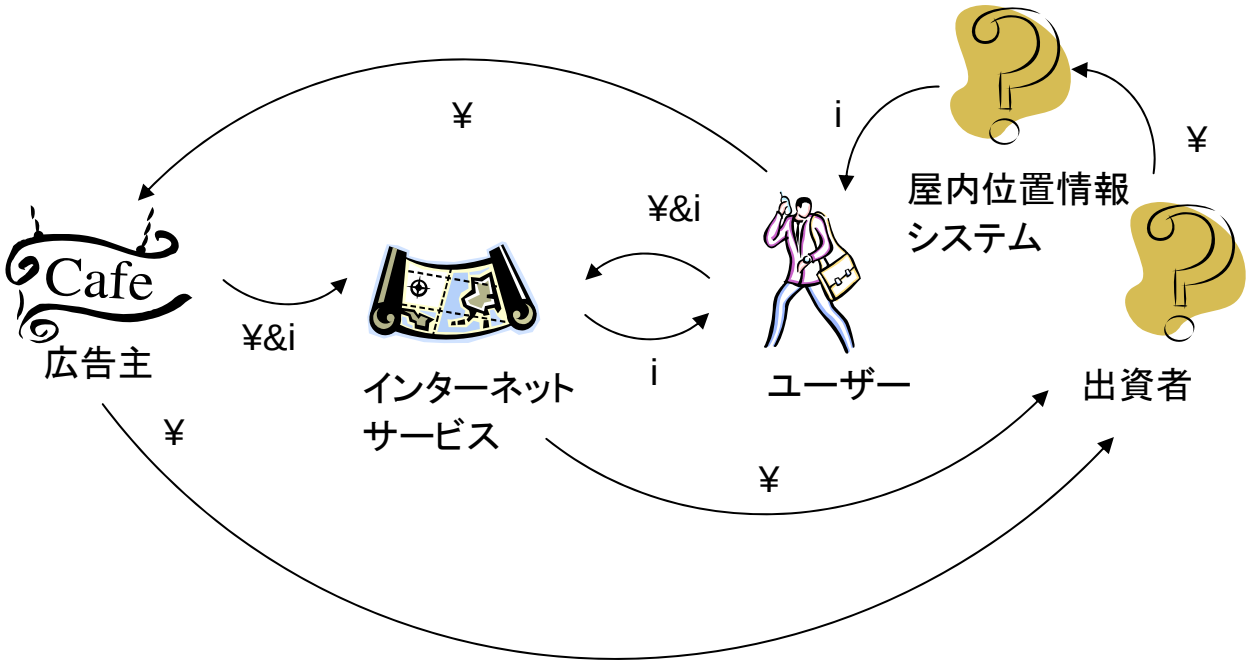


図 3.1.3-6　屋内位置情報システムが構築された場合のマンナビゲーション CVCA の一例

ここからわかることは、広告主である屋内店舗の意向がこの屋内位置情報システム構築の大きな要素となっていることである。そのため、広告主にこのシステムの費用対効果を理解してもらえることが重要である。ここから、インフラ側の設置コストを如何に下げるか、という技術的な側面と、広告主にとっての効果を如何に上げるか、というビジネスモデルの側面の 2 点が重要であることがわかった。

そこで次項では設置コストを低減するための技術的な方策について、次々項では効果を上げるためのビジネスモデルとしての方策について検討する。

3.2　屋内ナビゲーションの問題点

ここで改めて問題点を整理すると、屋内におけるナビゲーションが実現できていない原因のひとつとして、屋内位置情報システムの設置コストがある。この設置コストには、その屋内位置情報システムの位置情報の精度が大きく関係している。この関係は、先に示した図 2.3.2.8　屋内位置情報システム候補技術における利用可能距離とその誤差　に示したとおりである。つまり、精度が高ければ高いほど、その送信装置がカバーできる範囲が狭くなり、それだけ設置個数が多くなる。逆にひとつの送信装置のカバーできる範囲が広ければ、設置個数は少なくなるが位置精度が悪くなってしまう。

3.3　自律航法による設置コスト低減方法の新提案

そこでこのインフラ側の位置精度と設置個数の相反する関係を解消するために、インフラ側ではなくユーザー側に着目した。ユーザーがナビゲーションに最も利用する携帯電話による自律航法を活用することにより、インフラ側の送信機設置個数を減少させ、設置コストの低減を実現する。

3.3.1　　スマートフォンの可能性

2007 年に米 Apple 社から携帯電話の iPhone が発売され、非常に注目を集めた。続いて米 Google 社からは Android という OS が発表され、現在では多くの携帯電話メーカーからこの OS を採用した携帯電話が発売されている。それまでもカナダ Research In Motion 社の BlackBerry などもあったが、これを機にスマートフォンと呼ばれる携帯電話の一種が俄かに注目を集めるようになった。

スマートフォンは非常に高性能で、また購入後にもインターネットを通じてアプリケーションをインストールできるなど、従来のものとは使い方が異なったものとなっている。

今後、スマートフォンのシェアが増加するにつれて、他の携帯電話にも影響を与えることなり、高性能化が進むと考えられる。

3.3.2　携帯電話、スマートフォンのセンサーを用いた自律航法

このような状況を俯瞰すると携帯電話およびスマートフォンに搭載されているセンサー類を活用して、屋内の位置情報を推測する手法が可能性を帯びてくる。

このような手法自体は自律航法（Dead Reckoning）と呼ばれており、以前よりカーナビゲーションの分野で研究されている。特に人の自律航法は、Pedestrian Dead Reckoning と呼ばれている。

最近の携帯電話およびスマートフォンには、GPS モジュールに加えて、加速度計、電子コンパス、角速度計（ジャイロ）、それに気圧計が搭載されたものまである。通常、加速度計、電子コンパスおよび角速度計には、それぞれに X,Y,Z の 3 軸が必要である。

また、自律航法はその仕組み上、誤差が時間とともに蓄積されてしまう特性があるため、ある一定の時間や距離などでその誤差を修正する機能が必要となる。

この誤差に関しては、その機器に依存するため一概には言えないが、携帯電話端末に現時点で搭載できるセンサー類を用いてその能力を検討することで、妥当性を検討する。

3.4　広告主にとって効果的なビジネスモデル

次に広告主にとっての効果、という視点でビジネスモデルを検討する。

3.4.1　過去の事例

まず、過去の事例を検証する。先に広まったカーナビゲーションシステムの場合、2000 年にGPSの「選択利用性」が解除される前は、位置精度が 100m以上と粗かったため、FM電波を利用したD-GPSという補正システムのビジネスが成立していた。これは、カーナビゲーションシステムの購入時に、一台あたり 500 円程度[29]を利用料として負担してもらうビジネスモデルであった。この利用料を元に 1997 年に設立された株式会社衛星測位情報センターが、D-GPSシステムを構築、維持および運用していた。なお、このサービスは「選択利用性」が解除された 2000 年以降、GPS自体の精度が向上したためにその存在意義が薄れ、2008 年 3 月末をもって終了している。

この事例を屋内位置情報システムに援用すると、携帯電話端末の価格に屋内位置情報システム構築の費用を上乗せするという方式になる。この方式は費用負担のない広告主にとっては異存のない方策ではあるだろうが、携帯電話端末メーカーやキャリアの理解を得る必要があり、またそのためには屋内位置情報システムにとっての株式会社衛星測位情報センターのような明確な責任体制が必要であるため、現実的には難しいと考えられる。

3.4.2　広告主の要求

次に、先の章（図 3.1.3-6　屋内位置情報システムが構築された場合のマンナビゲーション CVCA の一例）で述べた、インターネットサービス事業者と広告主を検討する。

広告主にとって、インターネットサービスに広告を出す目的は、新規のお客を獲得し、また一度でも来客したお客には常連になってもらうことが一番の目的である。広告主にとっては、数あるインターネットサービス事業者の中から最も宣伝効果のあるインターネット事業者の媒体を選ぶ必要があるが、宣伝効果を知ることは難しく、決め手がない状況である。そのため広告の一部にクーポンをつけるなどして、どの媒体が最も効果があるかを確認している。現状ではインターネット上のクーポンを印刷してお店に持ち込む方法が最も普及している。しかし利用者にとっては、クーポンを印刷してお店に持参することが手間になることもあり、広告媒体を見た利用者全てがクーポンを利用するわけではなく、精度に問題が残る。

また、紙のクーポンは広告主にとって非常に悩ましい問題をはらんでいると言われている。ひとつはその利用率が管理できないという側面である。モスバーガーは 2007 年に初めてクーポンを導入したが、利用率が予想以上に高かったこともあり、赤字に転落している。[30]

いまひとつは、クーポンを利用した「内引き」と呼ばれるものである。これはアルバイトがクーポンを利用しない顧客のレジうちの際に、さも顧客がクーポンを利用したように装って、その差額を自分のものとする万引きの一種である。ほとんど表に出ないため、被害額はわからないが、これに悩んでいる経営者は多いと言われている。

そのため、将来的にはクーポンは携帯電話などを利用した電子的な方式に変わるであろうことが予測される。電子的な方式であれば、クーポンの利用率が予想よりも高かった場合、途中で中止できることもでき、また顧客の携帯電話のクーポンを「おサイフケータイ」などのシステムで認証すれば、クーポンを利用した内引き対策にもなる。

初めてのお店に行く場合、はじめに利用者が苦労するのはそのお店への道順である。お店側もそれを認識しているため、インターネットの広告やクーポンには必ず地図が掲載されている。しかし、初めての道順のためわからなくなるケースもありえる。従来までは屋外の地図でしかナビゲーションをすることはできなかったが、お店側が屋内地図を用意し、屋内位置情報システムと組み合わせることができれば、その地図と携帯電話のナビゲーション機能も組み合わることができ、非常に便利になる。この面からも携帯電話を介した広告は通常の PC 上のインターネットサービスよりも今後の展開に期待できる。

また、近年、ソーシャルネットワークサービスで「チェックイン機能」が話題となっている。これは自分がいるお店にソーシャルネットワークサービス上で「チェックイン」することで、自分がそのお店にいることを友人らに周知するものである。お店にとっても自店の宣伝になるため、「チェックイン」をしてくれたお客にサービスをするところも出てきた。この機能はこの分野の草分けである SNS の米国 foursquare で実現されている。

図　3.4.2.　foursquare と starbucks の提携による「チェックイン機能」とクーポンを組み合わせた例（http://mashable.com/2010/05/17/starbucks-foursquare-mayor-specials/ ）

3.5　屋内位置情報システムの設計課題

以上を考慮し、システム設計として検討すべき課題を次に挙げる。

- インフラ側の設置費用を低減させるために、携帯電話端末による自律航法の可能性を検討する。
- 広告主にとっての効果を高めるために、携帯電話を利用したクーポン、ナビゲーションおよびチェックイン機能を検討する。

次項では、この設計課題について検証する。

4　システム設計の検証

ここでは、3 項で検討したシステム設計課題のうち、「インフラ側の設置費用を低減させるために、携帯電話端末による自律航法の可能性」について検証する。

4.1　自律航法の可能性

自律航法の可能性を検証するにあたって、まず自律航法の性能を確認するための携帯端末について検討し、ついで選択した携帯端末の自律航法の性能を実験で確認した。その実験結果を前提として屋内店舗で構成される地下街に屋内位置情報システムを適用したモデルケースを作成し、自律航法を考慮しなかった場合のモデルケースと比較することで、その有効性を確認した。

4.1.1 自律航法性能確認用端末

この項では携帯端末の自律航法の可能性について検証する。

自律航法を扱った先行研究では、ジャイロを搭載した高価な機器[31]を利用したものや特殊な器具を足の甲や腰に取り付ける[32]など、一般に使用するには難しいものが多かった。

本研究は、屋内位置情報システムの構築を目指しているため、端末側に過度な要求をするのではなく、既に商品化されているか、またはできるだけ商品化に近い技術を検討することとした。

まず携帯端末であるが、調査時点（2010 年 11 月）では、スマートフォンを含む携帯電話で、自律航法を謳った商品やアプリケーションを見つけることはできなかった。位置情報を利用するアプリケーションは数多くあるが、これらは GPS、無線 LAN 基地局、携帯電話基地局を利用した測位をもっぱらとしており、搭載されているセンサーを利用した測位はされていないようである。

そこで調査範囲を広げ、携帯端末で自律航法を謳った機器を調査したところ、カシオ計算機株式会社のデジタルカメラである「EX-20G」という機種が「世界初、ハイブリッド GPS システム」で「屋内でも位置測位ができる。GPS 情報を取得できない屋内に入ると、モーションセンサーが移動位置解析を行って移動軌跡を記録。屋外に出ると GPS 測位を行い、屋内移動軌跡をより精度の高いものに補正します。」として、売り出されることがわかった。（図 4.1.1-1 および

図 4.1.1-2）

図　4.1.1-1　CASIO　EX-20G

（http://casio.jp/dc/products/ex_h20g/）

図 4.1.1-2　実験に使用した EX-20G

この機種には「3 軸方位センサーと 3 軸加速度計による自律測位技術を応用した独自の「モーションセンサー」」[33] が搭載されており、GPSの電波が受信できない場所でも自律的に測位することができる。

しかし、そもそもデジタルカメラに搭載されている機能であり、ナビゲーションは想定されていない。そのため屋内での測位データを、屋外で GPS の電波を受信し測位ができたときに、過去にさかのぼって修正する機能が付加されている。これは屋内に滞在している際に撮影した写真の位置データを修正するためのもので、この目的のためには非常に工夫された機能と言える。

4.1.2 試験結果

ここでは、EX-20G の性能を確認するための試験を実施した。

まず、直線の誤差についての試験を実施した。

GPS の電波が受信できず、できるだけ直線のルートが確保できる場所として、東京都港区六本木にある六本木トンネルでの試験を実施した。このトンネルは全長 204m でほぼ一直線となっている。なお、データは KML ファイルで保存される。また自律測位の周期は 10 秒である。これは EX-20G の仕様であり、カシオ計算機株式会社に確認したところ、変更はできないとのことであった。

試験手順としては、次のとおりである。

・ トンネルに入る直前の場所で GPS による測位を実施。（図 4.1.2-1）
・ EX-20G を手に持ち、トンネル内を徒歩で移動。
・ トンネルの出口付近、GPS の電波を受信する前に自律測位データを保存。
（GPS の電波を受信してしまうと、自律測位の結果を修正してしまうため）
・ 自律測位データを EX-20G からノートパソコンに移動。

図 4.1.2-1　六本木トンネル　出口付近

次に実際に試験したデータと、そのデータをグーグルアース上にプロットした例を示す。

まず GPS による測位データが取得できたことを確認し、これを「Start」と

した。測位データは 10 秒周期であり、この例では 16 点の測位データが取得できたので、計測時間は 150 秒となる。それぞれの測位データの緯度と経度を表 4.2.1 に示す。

図 4.1.2-2 に示した画面下の赤い S がスタート時点の位置を表している。この測位データは GPS によるものである。その後、画面上に向けてトンネル内を徒歩で進み、それ以降は最後まで自律航法での測位となる。16 個目のプロット、つまり画面上の出口にたどり着いた時点を赤い G で示している。実際の出口は青い旗が付いている場所なので、その差が自律航法の誤差となる。

表 4.1.2　自律航法試験　取得データの一例

	1(Start) GPS data	2	3	4	5	6
緯度	N35°39'53.21"	N35°39'52.92"	N35°39'52.59"	N35°39'52.20"	N35°39'51.79"	N35°39'51.39"
経度	E139°43'31.38"	E139°43'31.75"	E139°43'32.07"	E139°43'32.28"	E139°43'32.41"	E139°43'32.65"

	7	8	9	10	11	12
緯度	N35°39'51.00"	N35°39'50.66"	N35°39'50.31"	N35°39'49.97"	N35°39'49.65"	N35°39'49.28"
経度	E139°43'32.95"	E139°43'33.24"	E139°43'33.54"	E139°43'33.86"	E139°43'34.20"	E139°43'34.45"

	13	14	15	16 (Goal)
緯度	N35°39'48.91"	N35°39'48.58"	N35°39'48.28"	N35°39'48.09"
経度	E139°43'34.76"	E139°43'35.10"	E139°43'35.46"	E139°43'35.63"

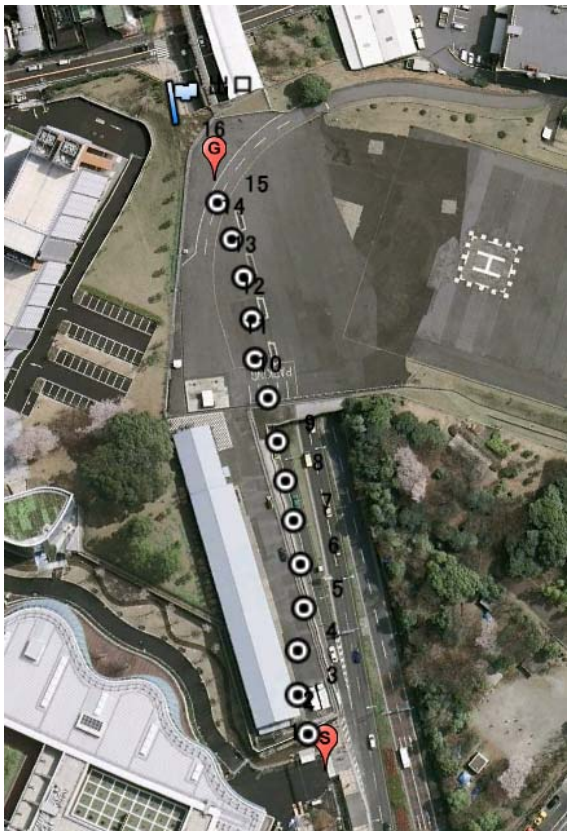


図 4.1.2-2　六本木トンネルでの自律航法試験の一例

（copyright 2010zenrin, copyright 2010 Google）

次に試験結果を図 4.1.2-1 および図 4.1.2-2 に示す。図 4.1.2-1 は進行方向に実際に進んだ距離と自律航法で取得されたデータとの試験データをグラフにしたものであり、図 4.1.2-2 は進行方向に対してどれだけ左右に逸れたかの試験データを示したグラフである。

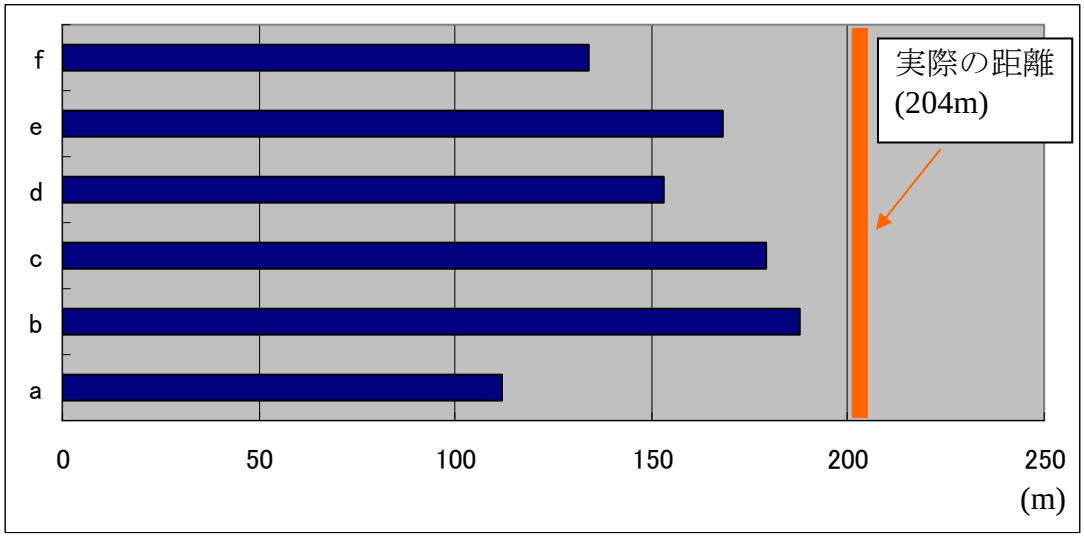


図 4.1.2-3　六本木トンネルにおける自律測位試験結果（進行方向）

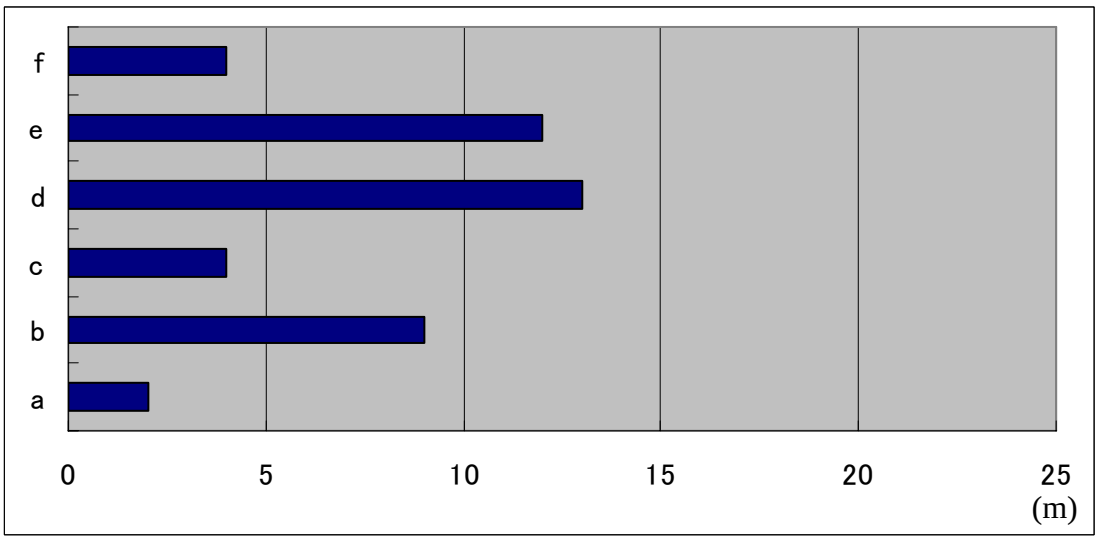


図 4.1.2-4　六本木トンネルにおける自律測位試験結果（進行方向に対して右方向への逸れ）

この試験結果から、

・ 進行方向に実際に進んだ距離と比較し、約 76%の距離しか進まない。
・ 進行方向に実際に進んだ距離と比較し、右方向に約 3%逸れる。（左方向に逸れた例はなかった）

ことが判明した。

なお、この実験では、トンネルの出入口付近で GPS による測位を実施したのであるが、データを解析したところ、マルチパスによる影響と思われるデータが散見された。そのため、データを取り直すことが多々あった。

次に実際に商業施設での実地調査を実施した。実施場所は東京都港区の東京ミッドタウンである。

まず、北東側の広場で GPS によって測位した。その後、東京ミッドタウンの施設内に入って、エスカレーターで 1 階上がり、南西側のゲートに出る、というルートを利用した。

その際に取得したデータを図 4.1.2-5 に示す。

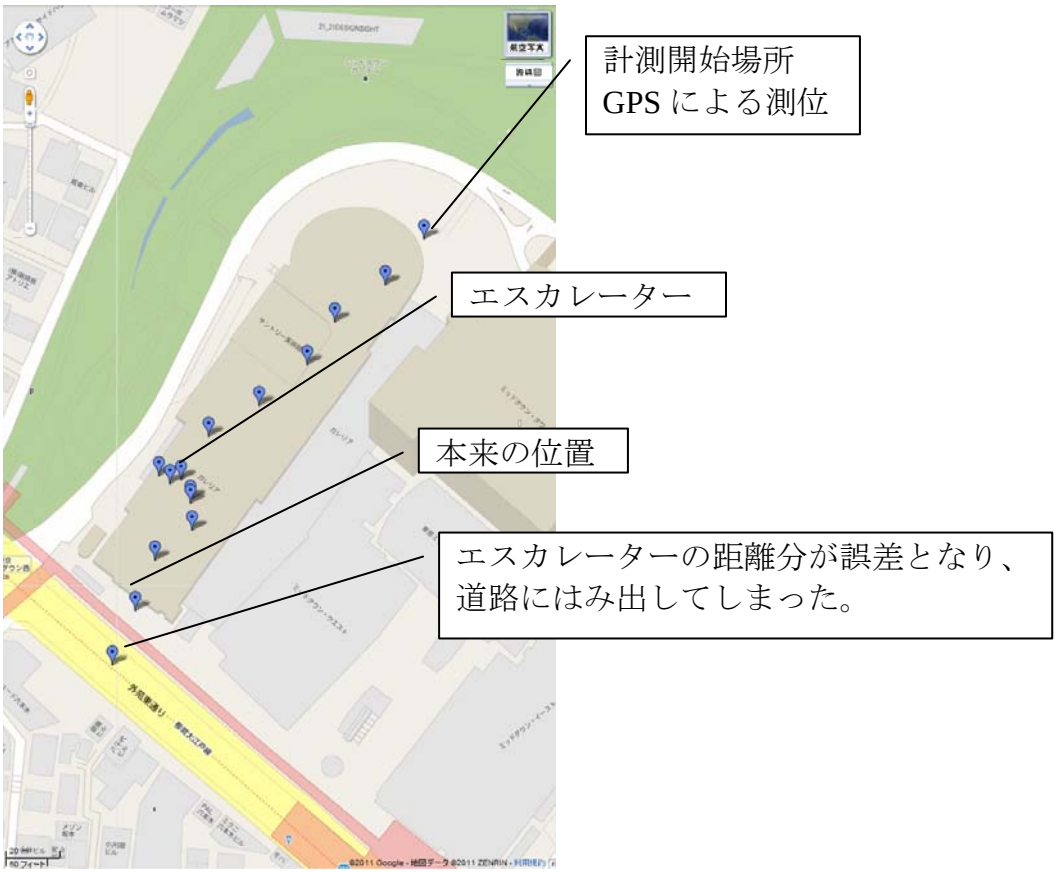


図 4.1.2-5　東京ミッドタウンでの自律航法試験データ
(copyright 2010zenrin, copyright 2010 Google)

このようにエレベーターを利用すると、自律航法に必要なデータが所得できないため、大きな誤差が生じることが分かった。つまり、エレベーターに乗った場合、人が止まってしまうため加速度センサーには何も検出できないが、実際には人が移動しているため、エレベータの距離分の誤差が生じてしまうのである。この誤差は水平方向だけでなく、上下方向にも言えることである。現在は 2 次元の地図が大半であるが、将来的に 3 次元の地図が利用されるようになった場合、この上下方向の誤差も考慮する必要が生じてくるであろう。

4.2　屋内地図への適用

屋内地図への適用を考慮するにあたり、屋内位置情報システムの需要が高いと思われる地下街について調査した。次に調査結果を表 4.2 に示す。

表 4.2　東京近郊でもっとも大きな地下街

店舗名	所在地と規模	開業年月	敷地面積 m2	店舗面積 m2	専門店数
八重洲地下街（図 4.2）	東京駅地下街としては大阪についで、日本で二番目の規模	1965 年 6 月	73,253	15,556	約 200

図 4.2　八重洲地下街　外堀地下 3 番通り

4.2.1　必要な送信機数

まず、自律航法を利用した場合、先の試験で明らかとなったように、エスカレーターの前後、それを敷衍して階段およびエレベーターの前後にも、位置補正用の送信機を設置すると仮定する。これを前提に先の試験で明らかとなった

自律航法のデータを適用した場合に必要となる送信機の個数を算出した。

・ エスカレーター、階段およびエレベーターに設置する。
・ 自律航行の性能から算出した個数を設置する。

次に自律航法を利用しなかった場合であるが、この場合は全ての通路において、送信機からのデータが受信できるように配置できることを前提に送信機の個数を算出した。

4.2.2 八重洲地下街におけるモデルケース

4.2.2.1 自律航法を利用するケース

まず、エスカレーター、エレベーター、階段の出入り口にノードとしての送信機を設置すると仮定すると、単純に台数をカウントした結果、個数は 43 個となった。

次に自律航法の性能を考慮した個数を算出する。

八重洲地下街の店舗のうち、通路に面した幅が最も狭い店舗を抽出した。その結果、3.8m であった。

先の自律航法では長さ方向に約 76%の誤差が生じるため、この誤差が店舗の最小幅である 3.8m 以下になるような距離を求めた結果、16.5m となった。つまり、16.5m を歩いた場合、自律航法だと 3.8m 短い 12.7m が表示されることとなり、ひとつの店舗分の誤差が蓄積されることとなる。これを避けるために、送信機の間隔が、最長でも 16.5m 以下になるように配置することとした。（図　4.2.2.1-1）なお、先の自律航法試験結果では進行方向の右に約 3%逸れるが、今回の場合、50cm に満たないため、この検討では考慮しないこととした。

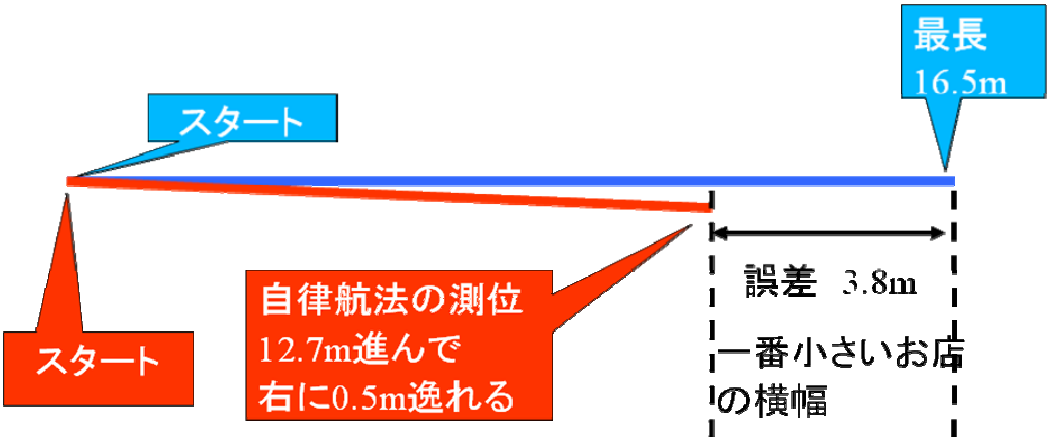
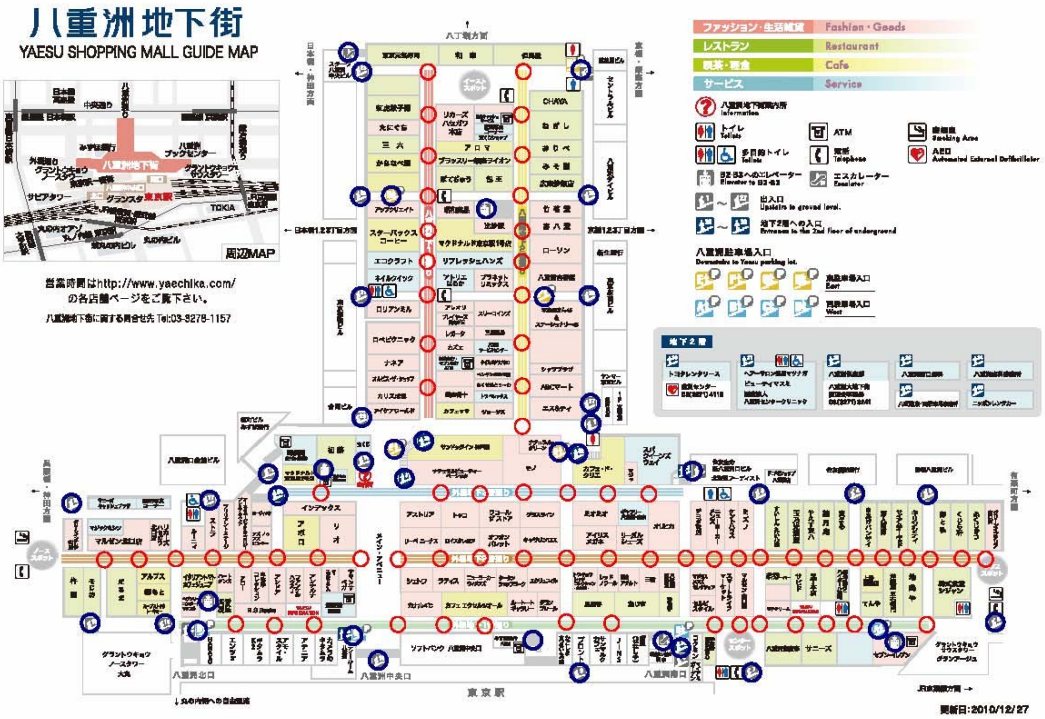


図 4.2.2.1-1　自律航法の誤差とその許容値

この距離を実際に八重洲の地下街に適用した例を図 4.2.2.1-2 に示す。



：エスカレーター、階段、エレベーターに起因する設置箇所

：自律航法誤差に起因する設置箇所

図 4.2.2.1-2　八重洲地下街の送信機の設置例

わかりやすくするため、八重洲地下街の案内図の上に設置箇所を示しているが、間隔が若干いびつに見えるのは、実際の縮尺とは異なるためである。この結果から全体では、59 個が必要であることがわかった。なお、実際の運用を考慮して、三叉路などには優先して設置している。また、位置情報システムの種類によっては位置特定領域に幅があるため、誤差を０にすることはできないが、ここでは考慮していない。

位置特定領域については、たとえば図 2.3.2.8 に示したように、送受信機間の距離は長い方がひとつの送信機がカバーする領域は大きくなるため、必要な送信機数は少なくすむが、必然的に誤差は大きくなってしまう。唯一の例外は、イメージセンサーを利用した可視光通信で、複数の送信機（照明）が必要とはなるが、各々の送信機（照明）からの情報とイメージセンサー側の情報、例えばイメージセンサーの傾きや方向などの情報をイメージセンサー側で処理することにより、カバー領域（数ｍ）よりも小さい領域（数ｃｍ）を特定することができる。[34]

先のエスカレーター、階段およびエレベーター検討結果と合わせると合計で、102 個の送信機が必要であることがわかった。

実際には、この他に設置場所として、案内板、案内所、お店の前、ロッカー、待ち合わせ場所、トイレ、休憩所などが考えられる。

4.2.2.2　自律航法を利用しないケース

次にこのような自律航法を用いずに送信機だけで運用した場合を検討する。今回のように通路に面した幅が最も狭い店舗を基準にした場合、3.8m が最小の単位となる。（表 4.2.2）

表 4.2.2　八重洲地下街を送信機のみで運用した場合

通り名称	距離(m)	必要な送信機数（個） 小数点以下切り上げ
外堀地下 1 番通り	300	79
外堀地下 2 番通り	405	107
外堀地下 3 番通り	162	43

八重洲地下 1 番通り	288	76
八重洲地下 2 番通り	288	76
合計		381

この送信機数の算出根拠のひとつである、最小単位の 3.8m は店舗から来た数字であるため、送信機自体の性能によるものではない。そのため、1 個あたりのカバー領域がこの 3.8m よりも小さい屋内位置情報システムの場合、これ以上の送信機数が必要とされる場合もありえる。一方、3.8m よりもカバー領域が大きい場合は、お店を特定することが困難となり、ナビゲーションに支障がでる。そのため、この数値は必要個数の最小値、とも言える。

以上から、自律航法を考慮した場合、考慮しない場合と比較して、その送信機数は 1/3 以下になることがわかった。

4.3 評価

今まで見てきたように、デジタルカメラに搭載されている機能（本来これは後に取得した正確なデータを用いて補正することを前提にした機能であるが、）を流用した自律航法であっても、インフラ側の送信機を大幅に削減できることがわかった。

今までの自律航法を用いた研究では、たとえば博物館や美術館に来場した人たちに専用の端末を貸し出して自律航法のデータを取得していた。そのため、自律航法を実現するためのアルゴリズムは様々な人たちに適用できるように考慮されていたものがほとんどであった。

自律航法の今回の試験結果を検討すると、ばらつきも大きいが進行方向に対して実際に進んだ距離の約 76%しか進んでおらず、また個別のデータを見ても実際の距離よりも進んでいるデータはなかった。今回の研究ではユーザー側の利用端末として携帯電話を前提に屋内位置情報システムを検討している。この携帯電話は個々人が自分のみで使用することが大きな前提になると考えても良いであろう。そうなると今回試験に供したデジタルカメラの機能のようにあとから屋内位置情報を補正す

ることができるのであれば、その補正係数を次回以降の自律航法の測位に活用することにより、より個々人の個性にあった補正アルゴリズムを作ることができる。

そうすることにより、より精度の高い自律航法が実現し、さらにはインフラ側である送信機の設置個数を削減することにつながる。

4.4 今後の課題

4.4.1 ビジネスモデルの検証

前項で述べた携帯電話を利用したクーポン、ナビゲーションおよびチェックイン機能を考慮したビジネスモデルを実際に検証することはできないため、クーポン紙最大手である「ホットペッパー」の担当者に妥当性を打診したところ、可能性があるとの回答を得た。まだ実現している技術ではないため、目処が立ち次第、調整することとなっている。

4.4.2 位置詐称

「チェックイン機能」をビジネスモデルに応用した場合、位置詐称が大きな問題となる。これは、実際にそこには行っていないのにも関わらず、何らかの手段で端末に位置データを入力することで、さもそこに行ったかのように「詐称」する行為である。

現時点ではまだ、位置詐称をめぐって大きな事件等は起きていないが、将来的には問題となる可能性があるため、今から官民一体となって対策を検討すべきであろう。

4.4.3 プライバシー問題

プライバシー問題は大きく分けて二つある。

ひとつは自分の位置情報が意図せずに他人に見られたり、利用されたりする問題である。今回、筆者もGPS機能付きのデジタルカメラを持ち歩いたわけであるが、後でデータを解析した際に自分では忘れていた場所に行ったことが記録として残っており非常に驚くとともに、誰かにこのデータを見られていたら

自分でも忘れていた自分のことを他人が知っていることになるため、薄気味悪さも感じた。この問題は「ライフログ」でも既に問題として取り上げられているが、自分の「ログ」を他人に見られてしまう危険性は記録として残っている限り、必ず生じる問題なので、今後も議論が必要であろう。

今ひとつは、「チェックイン」をした場合である。ある場所に「チェックイン」している、ということは、その人は他の場所にはいない、ということである。具体的には「チェックイン」往々にしてカフェやお店なので、自宅にいないことを不特定多数に公言するようなものである。このような問題を喚起する意味で、オランダでは「Please rob me」(35)というサイトが立ち上がっている。

5. 結論

GPS によって実現された屋外の位置情報システムと比較し、屋内の位置情報システムは未だ、社会インフラとして構築されたものはない。これは決して需要がないからではなく、その社会インフラを構築する担い手が不在で、また技術的にも標準となるべきシステムが確立されていないことに起因するものである。

そのため本研究では、その実現に向けての様々な要因を検討し、その中でも携帯端末による自律航法に焦点をあてた。近年急速に広まっているスマートフォンの多くには自律航法に利用できるセンサー類が多く搭載されている。しかし、現状ではこれらのセンサーを組み合わせて推測航法を実現しているアプリケーションはない。

自律航法自体は今回試験に供したデジタルカメラでも、ある程度は実用化されているので、このようなアルゴリズムさえ搭載すれば、いつでもスマートフォンで実用化できる。そうなれば非常に有効なアプリになるであろう。また、携帯端末に個々人の個性を反映させることで更に有効に機能する可能性もある。

このように本研究では、現状の商業ベースで実現できる自律航法でも非常に有効に屋内位置情報システムの一部を担えることを示すことができた。

以上から、非常に近い将来に携帯電話にも自律航法を利用したアプリケーションが現れることで、インフラ側の負担を減少させ、またナビゲーションシステムやクーポン、SNS のチェックイン機能などと組み合わせることで、屋内位置情報システムを商業ベースに乗せることができると考える。

先にも述べたように、将来的には数 cm の誤差で現在地が瞬時にわかるようになると言われている。そうなると今までとはまた違った利用方法が生まれるであろう。たとえば目の不自由な方への支援や自律型ロボットへの応用なども考えられる。それに合わせて屋内位置情報システムに求められる要求もまた変わってくるであろう。またアプリケーションも対応が求められるであろう。マンナビゲーション・システム、特にそのインターフェースに求められる仕様は、それを使用する個々人の個性に非常に大きく左右される。その面では、自動車のカーナビゲーション・システムに適用されるそれよりもその要求は多くまた厳しいものになるであろう。たとえば、筆者は色弱であるため、色の識別が難しいときがある。たとえば、色の込み入った地図の中には非常に使いづらいものがある。しかし、地下鉄の出口付近に設置され

ている周辺案内の地図は大変見やすくできている。これは色弱者にも見やすいように配色を考慮して制作した地図であるためである。これは一種のバリアフリー化であるが、このような配慮は特に身障者の方に重要になってくるであろう。これはインターフェースばかりでなく、ナビゲーションのルート案内機能にも言えることである。車椅子の方に配慮したルート案内は、健常者で急いでいる人のルート案内と異なることも多い。

今後、屋内位置情報システムの実現に向けて、今回検討した自律航法およびビジネスモデルと、これらとの親和性が高い屋内測位技術との組み合わせを検討していきたい。

以上

6.参考文献

（１） 総務省(2010) ”平成 21 年通信利用動向調査”

（２） 総務省（2005.10.25 報道発表）”事業用電気通信設備規則の一部改正について”

（３） セコム株式会社　“ココセコム”　http://www.855756.com/

（４） 株式会社電通国際情報サービス(2010.7.8) “ISID、Micelloと共同で屋内空間連動型 クラウド位置情報サービスの実証実験を開始”
http://www.isid.co.jp/news/2010/0708.html

（５） 株式会社シリウステクノロジーズ　“AdLocal”
http://www.cirius.co.jp/adlocal/

（６） ゴードン・ベル、ジム・メゲル(2010) “ライフログのすすめ”ハヤカワ新書

（７） 海上保安庁交通部　“ロランC”

http://www.kaiho.mlit.go.jp/syoukai/soshiki/toudai/lolanc/index.htm

（８） 坂井丈泰（2003）　“GPS技術入門”　東京電機大学出版局

（９） 日本経済新聞社（2010.12.28）”衛星「みちびき」実証実験、位置測定、誤差３センチ内――日本版ＧＰＳへ道開く。”日本経済新聞　朝刊

（１０）　柴崎亮介（2008）　“地理空間情報活用推進基本法入門”　日本加除出版株式会社

（１１）　Galileo/Galileo Joint Undertaking ProDDAGE Market Analysis Results

（１２）　塩津弥佳、吉澤晋、池田耕一、野崎淳夫（1998）、”生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量　屋内空気汚染物質に対する曝露評価に関する基礎的研究　その１”、日本建築学会計画系論文集、第 511 号、45-52

（１３）　NHK放送文化研究所（2006）”データブック　国民生活時間調査 2005”日本放送協会

（１４）　株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ　(2009.1.26 付　報道発表資料)
“「イオンレイクタウン「迷子探しサービス」を提供開始”

http://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/page/090126_00.html

（１５）　クウジット株式会社　“PlaceEngineについて”

http://www.placeengine.com/show/about

（１６）　Skyhook Inc. “How it works”

http://www.skyhookwireless.com/howitworks/coverage.php

（１７）　株式会社ディアイティ “Ekahau ポジショニングエンジン”

http://www.dit.co.jp/products/ekahau_ss/images/ekahau_ss_ex_04-L.gif

（１８）　財団法人流通システム開発センターEPC（2007）、”RFIDシステム導入における検討事項調査報告書”

（１９）　Mojix Inc. 日本アイ・ビー・エム株式会社(2010.9.13)プレスリリース “革新的な高性能RFIDシステムMojix STAR Systemを日本向けに提供”

http://www-06.ibm.com/jp/press/2010/09/1301.html

（２０）　国土交通省(2007)　平成18年度国土交通白書　“第II部　国土交通行政の動向　1　ユビキタス技術を活用した場所情報システムの展開”

http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h18/hakusho/h19/html/i2471000.html

（２１）　独立行政法人宇宙航空研究開発機構（2008）,”準天頂衛星システムユーザインタフェース仕様書”（IS-QZSS）1.1版

（２２）　Naohiko Kohtake and Nobuaki Minato, “Flexible Technical System Design for Indoor and Outdoor Seamless Positioning System with GPS Technology”, Tenth Global Conference on Flexible Systems Management, 2010.

（２３）　廣瀬一弥（2010）”モンテカルロ法による救急救命時間短縮システムの研究” システムデザイン・マネジメント研究科　中間発表

（２４）　測位衛星技術株式会社　IMES測位原理

http://www.gnss.co.jp/feature/m=9

（２５）　日本電気株式会社　“屋内位置管理システム　SmartLocator”

http://www.nec.co.jp/solution/engsl/pro/smartlocator/index.html?typea

（２６）　中川正雄(2006) “可視光通信の世界―LEDで拓く「あかりコミュニケーション”　工業調査会

（２７）　株式会社デンソーウェーブ　“QRコードとは”

http://www.qrcode.com/aboutqr.html

（２８）　社団法人電気通信事業者協会（2011）　“事業者別契約数”

（２９）　総合科学技術会議事務局（2003）　“我が国における衛星測位システムのあり方について”中間とりまとめ（案）

（３０）　asahi.com（2007.11.12）“モスバーガー、中間赤字に転落　クーポン券で経費増”　http://www.asahi.com/food/news/TKY200711120232.html

（３１）　高塚陽亮、中嶋信生（2008）　“高精度自律マンナビゲーションシステムの検討”平成20年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会　P.20

（３２）　青海豪則、田所嘉昭(2002)　“携帯型歩行者ナビゲーションシステムとその評価”　電学論C、122巻12号、PP.2083-2090

（３３）　カシオ株式会社　“EX-H20G　取扱説明書”

（３４）　新井雅裕、田中稔也、鈴木修司、春山真一郎、中川正雄（2010）　”高速/低速イメージセンサを用いた可視光測位システム”　信学技報　IEICE Technical Report PN2009-102 (2010-03)　PP. 91-96

（３５）　Barry Borsboom,Boy van Amstel,Frank Groeneveld

http://pleaserobme.com/

7. 謝辞

本研究の全過程を通して、懇切なる御指導、御鞭撻を賜ったシステムデザイン・マネジメント研究科の春山真一郎教授に心より深謝致します。また、副査を担当してくださり、御助言頂いた手嶋龍一教授、浦郷正隆准教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行において多大なる御助言、御鞭撻を賜り、終始御指導を頂いた春山研究室の中島円さんに心から感謝いたします。本研究において、多大な協力を頂いた春山研究室の浦邊秀樹さん、森谷英一郎さん、岡啓さん、芳岡裕さん、平畑武文さん、永井敏裕さん、川合潤さんに深く感謝いたします。また、日頃から有益な御意見を頂き御指導して頂いた有田武美さんに厚く感謝いたします。

また本研究を進めるにあたり、終始、暖かい御指導をして頂いたシステムデザイン・マネジメント研究科の神武直彦准教授、湊宣明助に深く御礼申し上げます。

このような機会を与えて下さり、また支援をして下さった私の勤務する宇宙航空研究開発機構に感謝します。特に産業連携センターの皆様には公私にわたって支援して頂き、感謝しています。

そして、2 年間の社会人大学院生活を支援してくれた妻の美穂に感謝します。

最後に、この 2 年間をとても充実したものにして下さったシステムデザイン・マネジメント研究科の皆様に感謝いたします。