

ComPass ビーコンを用いた スマートフォン上での屋内自律型測位システム

井上 豊[†] 池田 剛[†] 山本 潔[†]
幸島明男[†] 山下倫央[†] 麻生英樹[†] 車谷浩一[†]

[†] 独立行政法人 産業技術総合研究所情報技術研究部門 / 科学技術振興機構 CREST
〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6

[†] Email: { yutaka.inoue, ikeda-takeshi, kiyoshi.yamamoto,
sashima-akio, tomohisa.yamashita, h.asoh, k.kurumatani }@aist.go.jp

あらまし 本論文では、衛星測位システムが利用できない場所、特に屋内での自己位置を推定するためのシステムを用いた実証実験について報告する。近年、カーナビゲーションシステムや携帯電話ナビゲーションシステムなどの衛星測位システムを用いた位置情報サービスは広いユーザー層に利用されており、産業の発展や市民の生活になくてはならないものとなりつつある。しかし、この衛星測位システムによって得られる位置情報は、基本的に人工衛星から測位信号を受信可能な屋外でのみ利用することが可能な情報であるため、屋内でのナビゲーションサービスには利用することができない。そこで、衛星測位システムを利用できない屋内での位置情報を提供するための微弱無線ビーコンを用いた屋内自己位置推定技術、さらにはカーナビゲーションシステムや携帯電話ナビゲーションサービスのように、利便性の高いサービスを商業施設や住居施設などの建物の中でも利用できるようにするための屋内ナビゲーションシステムを開発した。この屋内施設における自己位置推定技術、およびその技術を応用したナビゲーションサービスの実現性および有効性を検証するために大規模商業施設での実証実験を行った。

キーワード: 測位, 位置検出, 位置推定, 屋内ナビゲーション, スマートフォン, 携帯電話, 無線ビーコン

Indoor Autonomous Positioning System on Smartphones using ComPass Beacon Device

Yutaka INOUE[†], Takeshi IKEDA[†], Kiyoshi YAMAMOTO[†],
Akio SASHIMA[†], Tomohisa YAMASHITA[†], Hideki ASOH[†], and Koichi KURUMATANI[†]

[†] ITRI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) /
CREST, Japan Science and Technology Agency (JST)
2-41-6, Aomi, Koto, Tokyo 135-0064, Japan

[†] Email: { yutaka.inoue, ikeda-takeshi, kiyoshi.yamamoto,
sashima-akio, tomohisa.yamashita, h.asoh, k.kurumatani }@aist.go.jp

Abstract In this paper, we describe demonstration experiments using an autonomous positioning system to estimate self-position in indoors, where it is impossible to receive GPS signal. In recent years, position information systems using GPS, such as car-navigation system and portable navigation system, are used for many users. These systems contribute to development of industry and relieve civil life. However, since position information calculated using GPS signal is available only in the place which is possible to receive the satellite signals, GPS cannot be used for routing guidance in indoor environments. Then, we developed an indoor autonomous positioning system using extremely low power radio wave beacon devices to provide position information in indoors. Moreover, we developed an indoor navigation system to provide convenient service like car-navigation system and portable navigation system which can be used also in commercial architecture or office building. We carried out the demonstration experiments in large-scale indoor commercial facilities, in order to evaluate usability of the navigation service which is application of the autonomous positioning technology, and availability of the indoor positioning technology.

Keywords: Positioning, Position Estimation, Indoor Navigation, Smartphone, Cell-phone, Wireless Beacon

1. はじめに

近年、位置情報を用いたサービスやシステムは産業や市民の生活に欠かせないものとなってきつつある。例えば、測位衛星からの信号を受信することにより、屋外における自車の位置を特定し指定の場所までリアルタイムに案内するカーナビゲーションシステムは、旅行や観光などで初めて行く場所への案内手段として利用されている。また、カーナビゲーションシステムは、動的経路誘導システム (DRGS) [1][2]を利用することによって、現在の渋滞情報や事故情報を考慮した経路を提示することも可能であり、利用者はより早く、かつ安全な経路で顧客先へ荷物を運ぶなど、安全と安心のための支援ツールとして活用することができる。

このような位置情報を利用したサービスは、屋外だけではなく屋内においても様々なシステムに関して、実用化を目指した実験が行われている[3][4]。衛星測位システムからの信号の受信が困難な屋内高層ビルが林立する都市部や屋内では、その代用となるよ

うなセンサーを該当エリア周辺に設置し、各センサーから送信される情報を専用の機器で受信することによって、サービスを供与するための情報を取得するという方法が用いられている[5][6]。

屋内施設にセンサーを設置して位置情報を提供あるいは取得するという方法は、基本的に対象エリアの広さに応じてセンサーの設置数が多くなるという傾向がある。そのため、設置対象エリアが大きくなるにしたがって、設置やメンテナンスのためのコストが増大する。また、消費電力の大きいセンサーを利用する場合は、施設から有線で電力を供給してもらいが必要であり、サービスの内容によっては、施設の停電により電力供給が停止した際の設備等についても検討する必要がある。さらに、人が多く集まる屋内商業施設などでのサービスを考えた場合、同時に多数の人が利用するという可能性を考慮する必要がある。

屋内における位置情報システムの実用化を考えた場合、前述したようなデバイス設計からセンサーの配置および設置、さらにはシステム運用などの幅広い工程で発生する現実的な問題に配慮し、

システム全体を設計および構築していくことが重要である。

そこで、本研究では屋内自律型測位システムを実用化するための重要な性質として次の4つのポイントを定義し、これらの性質を満たすようなシステムの実現を試みる。

1. 信頼性：ノイズや信号の欠落に対して強い。
2. 自律性：サーバーとの通信を行うことなく動作可能。
3. 応答性：人が密集した環境でも性能の低下を抑制できる。
4. 保守性：機器管理が容易であり消費電力が低い。

本研究にて開発した屋内自律型測位システムの実用性を検証するため、大規模商業施設へセンサーデバイスを設置し実証実験を行った。この実証実験の目的は、屋内自律型測位システムによって提供されるサービスが、公共の屋内施設においてどの程度の実用性があるのかを検証し、問題点あるいは改善点を抽出することにある。

実証実験は、屋内自律型測位システムにより得られる位置情報のアプリケーションサービスの1つとして構築した屋内ナビゲーションシステムを実環境において動作させ、実際に一般のユーザーへ利用してもらうことにより行われた。実証実験の結果として、このナビゲーションシステムの実現性と有効性について報告する。

本論文では、スマートフォン、微弱無線デバイス送信機および受信機で構成される屋内自律型測位システムについて説明し、そのアプリケーションの1つである屋内ナビゲーションシステムを用いた大規模屋内商業施設での実証実験とその検証結果について述べる。

2. 屋内空間における位置測位

位置情報を利用したサービスが普及した要因の1つには、GPS等の測位衛星システムが民間でも利用可能となったということが挙げられる。近年では、屋内での安全と安心、および利便性を提供するために屋外だけでなく、屋内における位置情報の必要性についても議論されている[7][8]。

以下では、屋外および屋内における位置測位システムの現状と位置情報サービスの実用化について議論する。

2.1 人工衛星による位置測位システム

人工衛星からの信号が遮断されない場所、つまり屋外において上空が大きく開けている場所では、複数の測位衛星からの信号を受信することが可能であり、そのデータを利用することによって、およそその現在位置を算出することができる。現在、世界には運用予定のものも含めて、いくつかの測位衛星システムが存在する。一般的によく利用されているのはGPS (Global Positioning System) である。他にはロシアのGLONASSやEU (European Union) が中心となって進めているGalileoが挙げられる。

GPSが利用されている最も有名な機器は、カーナビゲーションシステムである。カーナビゲーションシステムは、自車の現在位置から目的位置までをリアルタイムかつ効率的な経路で案内してくれるため、これまで自分が行ったことのない場所でも迷うことなくスムーズに到達することができる。また、最近ではカーナビゲーションシステムと同じようにGPSを用いたナビゲーションサービスを携帯電話でも利用することができる。

この携帯電話でのナビゲーションサービスの特徴は、自動車だけでなく人間もナビゲーションの対象にしているという所である。ただし、GPSの測位信号は屋内での受信は困難であるため、屋内

施設の中では利用することはできない。このようなサービスを屋内の商業施設や住居施設で使用するためにも、屋内位置測位技術が必要であると考えられる。

2.2 屋内位置測位実現における困難さ

GPSは人工衛星を利用しているため、屋内での利用は困難である。したがって、屋内ではGPSの測位信号の代わりとなるような信号を発信する機器を設置し、その機器から送信される信号を受信するデバイスをユーザーが持ち、自己位置を確認するという形式が一般的な方法として考えられる。

屋内には様々な電気機器が設置されており、それらの機器から出力される電気的なノイズが、屋内での位置測位を行うために使用する周波数周辺の電波に干渉する可能性がある。また、商業施設やオフィスビルなどの比較的大きな建物では、電力供給のための配電線やLANケーブルが床下や天井に配線されており、それらにより環境ノイズが発生する可能性もある。さらに、一般的には屋外よりも屋内の方が人の密集度も高いため、人に電波が吸収されることによる測位信号の一時的な欠落が起こることが予想される。

それゆえ、屋内において位置測位を行うために必要なデバイスやアプリケーションシステムは、電気的な雑音や測位信号の欠落による電波障害によって動作が不安定となる可能性を考慮して、ロバストに動作するような設計を行う必要がある。例えば、同じエリアで多くのユーザーが同時に測位システムを利用しても測位精度が落ちないような仕組みを考えるなどして、安定した測位結果を取得できるようにしなければならない。

2.3 屋内位置情報サービス実用化のための要点

屋内位置情報を利用したサービスの実用化および普及を考えた場合、屋外における携帯電話でのナビゲーションサービスのようになり、多くのユーザーへサービス供給できる可能性があり、かつユーザーにとって有用なデバイス、例えば他の目的に利用できるようなデバイスをターゲット端末として選定した方が良い。また、屋内での使用が前提であるため、位置測位を行うための追加機器が必要な場合は、その機器はなるべく小型で持ち運びが可能なものであり、かつ高価でない方が良い。

屋内での位置情報サービスは、移動しながら利用することを前提としており、通常、測位機器への電力供給は電池にて行われることが多い。そのため、位置測位を行うために利用する機器の消費電力量は、なるべく小さくなるように設計する必要がある。また、将来的に携帯電話などのユーザー端末から測位機器への電力供給を行う方法も考慮して設計した方が良い。

一方、屋内での位置測位のために環境機器を施設内に設置、あるいは撤去する際の作業コスト、および保守性についても配慮する必要がある。例えば、施設から電力供給を受ける場合は、どこから配電線を引いてくるのか、配線ルートをどのように確保するのか、どの程度の電力供給量が必要なのか等々、設置工事に関する様々な項目について調査し、それらの懸案事項を解決するための方法を検討する必要がある。また、機器の大きさや重さによっては、施設内に設置できない可能性がある。このような環境機器の設置に関する弊害を回避するために、機器のケーシングや電力供給の方法などにも考慮して設計するべきである。

屋外の位置情報を取得するために利用されるGPSが、実用的な面で優れているのは、GPSの測位信号を受信するRF回路と信号

の処理を行うロジック回路、あるいは市販の LSI 化された GPS チップを機器に搭載するだけで利用できるという点である。屋内における位置測位技術の実用化を目指すためには、屋内の位置情報を取得するために必要なデバイスについても GPS チップのようにワンチップ化を目標とした設計を行うことが望ましい。

2.4 屋内位置測位に関する関連研究

屋内での位置測位に関する従来研究として、以下のようなものが挙げられる。

- (1) Ubisense [5] : UWB (Ultra Wideband) を利用している。マルチパスに強く、低消費電力であり、精度も高い。
- (2) Active Bats [6] : 無線通信および超音波を利用している。位置測位を行うエリアの広さ 1 [m²] に 1 個程度のデバイスを設置すれば、高精度での測位が可能である。
- (3) PlaceLab [9] : Wi-Fi および GSM (Global System for Mobile Communications) を利用している。屋内でも屋外でも使用可能であるが、精度はあまり良くない。また、データバリエーションが多いので、サンプルデータ取得のための作業コストが大きい高い。
- (4) RADAR [10] : Wi-Fi を利用している。各アクセスポイントの識別 ID と電界強度から位置を算出する。
- (5) Cricket [11] : 無線通信および超音波を利用している。位置測位は、超音波を用いて行われる。
- (6) Walrus [12] : Wi-Fi および超音波を使用している。各部屋に PC を設定し、その PC のスピーカーから音を発信して、モバイル端末のマイクでその音を拾うことにより位置を抽出する。
- (7) EKAHAU [13] : Wi-Fi の電界強度を利用して位置測位を行う。専用のデバイスが必要ない。
- (8) AirLocation II [14] : Wi-Fi を利用して位置検知を行う。同時に多数の位置情報をサーバーで管理することができる。

屋内での位置測位技術を実現するために、様々なデバイスを用いた手法が提案されている。しかし、多くのユーザーの利用が想定される屋内の大規模商業施設において、屋内ナビゲーションサービスに関する実験や評価は、あまり行われていない。

3. 屋内自律型測位システム

本研究にて構築した屋内における自律型の位置測位システムは、前章で述べたような屋内での位置測位による実用的なサービス設計を目指して構築された。

以下、屋内自律型測位システムの概要および特徴について述べ、この測位システムによって得られる位置情報を利用した屋内ナビゲーションシステムおよびサービス内容について説明する。

3.1 測位システムの概要

位置測位システムは、サービス連携アーキテクチャ CONSORTS [15][16]の一部であるワイヤレスセンサーネットワークシステム ComPass [17]を用いて構築されている。図 1 に示すように屋内環境に設置された無線ビーコン装置から発信される測位信号をビーコン受信機によって受信することで行われる。無線ビーコン装置 (図 2 (a)) は小型軽量な装置であり、図 2 (b)に示すように天井の点検口に設置するだけで使用できる。点検口の外から見えるのは、長さ 5 [cm] 程度のアンテナのみであり、施設の美観という点から見ても違和感はないと思われる。ビーコン受信機 (図 3 (a)) は、小型で持ち運び可能である。

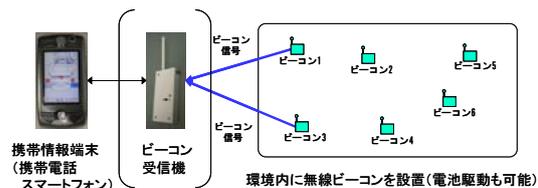
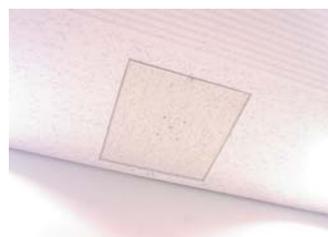


図 1 測位システムの構成

Figure 1 Architecture of Positioning System.



(a) ComPass 無線ビーコン装置



(b) 施設への設置例

図 2 位置測位のための機器 (環境側)

Figure 2 Device for Indoor Positioning (Environments).



(a) ComPass ビーコン受信機

(b) 画面表示例

図 3 位置測位のための機器 (ユーザー側)

Figure 3 Devices for Indoor Positioning (Users).

無線ビーコン装置から発信される信号は、一旦、ビーコン受信機で受信され、Bluetooth 経由でスマートフォンへと伝送される。ユーザーはビーコン受信機とスマートフォンの両方を持ち、受信機から伝送されたデータをスマートフォンが解析することによって自己位置を算出することができる。自己位置の推定結果は、スマートフォンのディスプレイ画面に表示される (図 3 (b))。

位置測位は微弱無線により送信された複数ビーコンデータを確率統計モデルにて解析することによって行われる。この複数データの位置解析処理は、携帯電話に搭載された MPU 程度で十分処理可能であり、サーバー通信も必要としない。また、無線ビーコ

ン装置およびビーコン受信機は電池での駆動が可能である。

3.2 測位システムの特徴

本システムを屋内施設で稼働させる際、屋内施設の通路や店舗内にある複数の点検口に無線ビーコン装置を取り付けるという作業が必要である。無線ビーコン装置の電力は、デバイスに装着可能なケースに装着した乾電池から供給できるため、施設電源からの電力供給は不要である。そのため、環境へのデバイス設置作業時に無線ビーコン装置への配電作業を行う必要がない。これにより、配電が必要なデバイスよりも設置コストを抑えることができる。

無線ビーコン装置からビーコン受信機への測位信号の通信には、VHF 帯の微弱無線を利用しているため環境ノイズに強く、機器の電力使用量も少ない。また、ユーザーが使用するターゲット端末として汎用の携帯電話を想定しており、MPU 程度の演算能力でも位置測位計算が可能ないように設計されている。

無線ビーコン装置およびビーコン受信機を製作するために用いた部品は、流通性が高い市販部品を使用している。そのため、特注部品を用いて製作する機器よりも短期間での製造が可能であり、多数のデバイスが必要な大規模施設などへ設置する場合でも、比較的対応が容易であると思われる。

本システムの特徴をまとめると次のようになる。

1) ノイズ環境における位置測位精度

環境に設置された複数の無線ビーコン装置から発信される信号を確率統計的な情報処理を行うことにより、屋内でのユーザーの位置を算出するため、ビーコン装置から発信された測位信号の一時的な欠落や環境ノイズによるデータ不正があっても位置測位を行うことができる。

2) 携帯電話における自律動作

位置測位は、携帯電話に搭載された MPU 程度の情報処理能力で動作可能であり、サーバーとの通信を行うことなく手元の情報端末装置のみで自律的な測位が可能である。そのため、サーバーとの通信ができない場所や状況においても位置の測位が可能である。また、通信による処理の遅延が発生しないので、その分、位置測位の処理応答が高速になるという利点もある。

3) 混雑状況におけるビーコン受信性能

無線ビーコン信号には VHF 帯の微弱電波を使用しており、屋内商業施設のように混雑した環境でも受信性能の低下を抑えることができる。

4) 電池駆動が可能な低消費電力ビーコン

無線ビーコン装置が発信する測位信号は、低電力の微弱無線で送信されているため、デバイスの消費電力を押さえることができる。そのため、ビーコン装置は乾電池での動作が可能であり、環境設置の際に配電の必要がないため、デバイスの設置や管理が容易である。また、ビーコン装置は市販部品にて製作可能であるため、特別な部品が必要なデバイスと比較して製造期間を短縮することができる。

3.3 屋内ナビゲーションシステム

屋内自律型測位技術を応用した屋内ナビゲーションシステムについて説明する。屋内ナビゲーションシステムは、図 4 のように構成されている。本システムは、独自に開発した屋内位置情報ミドルウェアシステムを用いて構築されており、データやインターフェイスを変更することによって、別のサービスを提供すること

も可能である。

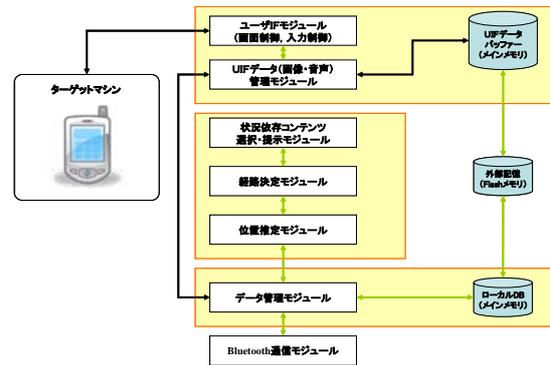


図 4 屋内ナビゲーションシステムの構成

Figure 4 Architecture of Indoor Navigation System.

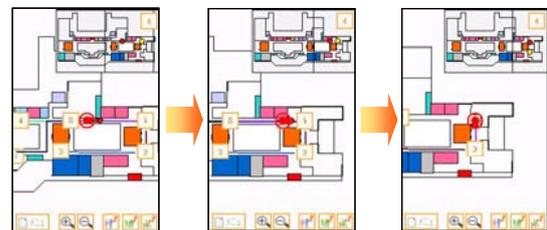


図 5 位置測位結果の例

Figure 5 An Example of Positioning Result.



(a) 地図表示 (b) 誘導案内 (c) 到着案内

図 6 ナビゲーション画面

Figure 6 Routing Guide Screen.

屋内ナビゲーションシステムの特徴としては、次の3つが挙げられる。

- ① 現在位置および出発位置の自動認識
- ② 現在フロアの自動認識とフロア画面の自動切り替え
- ③ 移動条件に従った目的位置までの経路探索と経路案内

図 5 において表示画面の中央にある赤丸がユーザーの現在位置を表している。ユーザーはフロアの左方から右方へ移動しており、位置測位によりユーザーの位置情報が更新されている様子がわかる。また、上下階へユーザーが移動した際には自動的にフロアを認識し、端末の表示地図が切り替わる。

通常、端末には図 6(a)のようなフロア地図に案内経路が表示されているが、通路の交差点やエスカレーターの前などのポイントへユーザーが到達した場合は、表示案内音が鳴ると同時に図 6(b)のような誘導画面へと切り替わる。誘導案内は、ユーザーを目的位置へ誘導するために必要な案内告知を、ユーザーが次に進むべ

き方向を記した画像を端末の画面に表示することによって行う。画面告知による案内には、通路の右折・左折、エスカレーター・エレベーターでのフロア移動、目的地到着などの種類がある。

4. 屋内商業施設での実証実験

本研究では、屋内に設置した無線ビーコン装置と携帯情報端末のみで、人やモノの屋内での位置や移動軌跡を算出する屋内自律型測位システムを開発した。この技術に応用した屋内ナビゲーションシステムの実現性および有効性の検証を目的として、様々な種類の電波が飛び交う公共の屋内商業施設で実証実験を行った。

この実証実験では、屋内ナビゲーションシステムを商業施設で参加者自身に機器を操作してもらい、屋内位置測位技術を用いたサービスについて広いユーザー層から様々な意見を抽出した。

以下、実証実験の背景や具体的な内容について説明する。

4.1 実証実験の背景

今回の実証実験では、屋内での位置情報サービスの1つである屋内ナビゲーションサービスを実験の対象とした。このサービスを実験対象として選定した理由の1つに、屋内ナビゲーションサービスの実用化があまり進んでいないということが挙げられる。

屋外における同種サービスは、GPSの利用による位置測位技術の確立によって普及が進んでおり、近年では地震などの災害時対策として位置情報を利用した避難所までの経路案内を行う機能^{*1}を付加した携帯電話もある。この機能が有効に働くのはGPSの測位信号が受信できる場所だけである。屋内での位置測位技術確立と位置情報サービス普及の推進は、屋内のようにGPS信号が届かないエリアにおいて、前述のような安全と安心のためのサービスを楽しむ生活環境を整備するための重要な課題となっている。

屋内位置情報サービスの普及が進んでいない要因としては、コストや技術的な問題が大きいと思われる。しかしながら、実際に屋内位置情報サービスを利用するユーザーが、サービスに対して何を望んでいるのかを考慮して普及のためのシナリオを検討することも重要であると考えている。

そこで、参加者が実用イメージに近い形式でサービスを体験できるように、実証実験の会場としてショッピングだけでなく観光スポットとしても集客力のある大規模商業施設を選定した。また、様々な来客目的に対応可能なものとするために、施設内の店舗や化粧室、さらには観光スポットなど、多くの目的地を設定できるようなデータベースを作成した。これら多数の目的地をユーザーが簡単に入力できるよう、タッチペン入力可能なスマートフォンであるDoCoMo FOMA M1000をターゲット端末として選定した。この端末での目的地入力設定は、ユーザーが目的とする店舗などの画像をタッチペンで選択するというような視認性の高いインターフェイス設計となっている。

4.2 実験概要

実証実験は、横浜ランドマークタワー^{*2}に併設されているランドマークプラザ^{*2}にて行った。横浜ランドマークプラザは、図7に示すように5つのフロアで構成されており、各フロア内には商業施設や飲食店などが並んでいる。各階のフロア面積は全て10,000 [m²]程度である。また、1階から5階にかけてフロアが吹き抜けになっているという特徴がある。それゆえ、各階に設置さ

れた無線ビーコン装置により発信される測位信号は、上下階のフロアでも受信することが可能である。

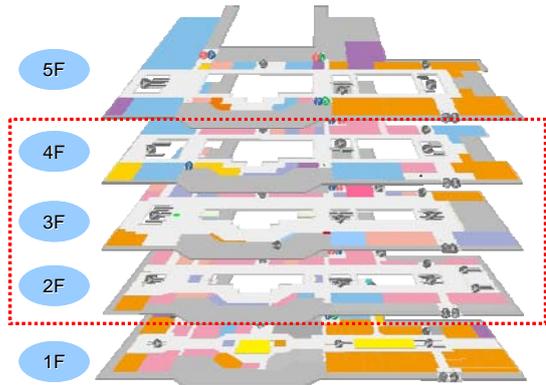


図7 横浜ランドマークプラザフロアマップ
Figure 7 Floor Map of Yokohama Landmark Plaza.



図8 実証実験でのナビゲーション風景
Figure 8 An Indoor Navigation Image in Demonstration Experiment.



図9 ナビゲーション位置測位結果の例
Figure 9 An Example of Positioning Result.

無線ビーコン装置は、2階、3階および4階に設置した。つまり、位置測位が可能なフロアは2階から4階であり、そのフロア内でのみナビゲーション機能が使用できるという前提で実験を行った。無線ビーコン装置は、フロア面積200 [m²]程度に1個の割合で設置した。無線ビーコン装置は、均一に設置する必要はなく、1つ

*1 au 災害時ナビ: <http://www.au.kddi.com/ezweb/service/saigai/index.html>

*2 三菱地所株式会社: 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1

以上のビーコン信号が受信できればよい。

実証実験は、2007年11月にのべ5日間実施した。実験には、大学生5名（男性4名、女性1名）、主婦27名、高齢者5名（男性5名）の幅広い年齢層の男女37名が参加した。参加者は、事前に準備した11種類のシナリオのうち、1つ以上のシナリオについて施設内を移動しながらナビゲーションを体験してもらう。各シナリオは、ショッピングや観光等の目的、あるいは子連れや夫婦等のシチュエーションに対応しており、各参加者は自分のステータスに合ったシナリオをナビゲーションに従いながら移動する。

実証実験の参加者は、図8のようにスマートフォンとビーコン受信機を持ち、屋内ナビゲーションシステムのマニュアルを参考に自分自身で機器を操作しながら実験会場内を移動する。なお、機器の操作説明や不具合に対応するため、参加者1〜3名に対して1名のアテンドが同行する。

横浜ランドマークプラザ内における位置測位のイメージを図9に示す。画面左上は実験会場において利用者が現在いる場所を表す画像、画面左下は横浜ランドマークプラザ4Fのフロア全体地図および現在位置が記されている。また、画面右上にはスマートフォンに表示される案内画面、画面右下には位置測定結果が示されている。

4.3 実験結果

実証実験の参加者には、携帯電話での位置情報サービスについて、どの程度の知識を持っているのかという個人ステータスを得るために、事前に利用通信キャリアや位置情報サービス^{*3}に関するアンケートを行った。図10に示すように、ほとんどの参加者は携帯電話を利用しているが、ナビゲーションサービスや位置情報サービスはあまり利用していないことがわかる。携帯ナビゲーションサービスは、比較的年齢層の低い参加者が利用していることが多く、また携帯位置情報取得サービスを利用している参加者のほとんどが、小中学生の子供を持つ主婦であった。

屋内ナビゲーションシステムの実現性と有効性を検証するために、実証実験の参加者に対して次のようなアンケート調査を行った。

- 屋内ナビゲーションの地図画面および誘導画面を見て、どの方向へ進めば良いのか理解できたか。
- 分岐点やエレベーターの前などにおいて誘導画面の表示タイミングは適切だったか。
- ナビゲーションで案内してもらった目的地の設定は容易に行うことができたか。
- 自分の携帯電話で屋内ナビゲーションサービスが利用できたら使用してみたいか。

実証実験でのアンケート結果を図11に示す。

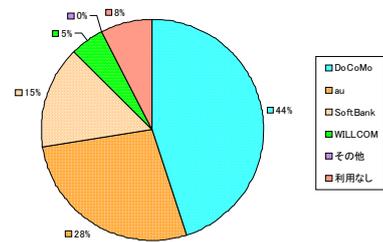
(a) 誘導案内画面

ユーザーが目的地まで移動する間に表示されるナビゲーションの誘導案内についてのアンケート結果（図11(a)）では、参加者の約3割が誘導案内画面と周囲を見比べることですぐに案内方向を認識できており、半数以上は何度か見比べることで分かったと答えている。つまり、8割以上の参加者は、誘導案内によって移動方向を認識することができており、迷うことなく目的地まで到達

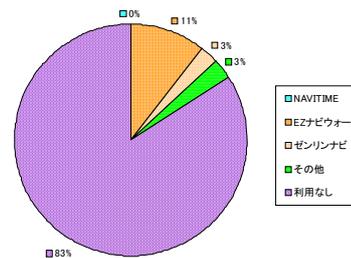
*3 各通信キャリアの端末で利用可能な位置情報サービス。

DoCoMo [NAVITIME, ゼンリンナビ, イマドコサーチ],
au [NAVITIME, EZナビウォーク, ゼンリンナビ, 安心ナビ, EZ@マップ],
SoftBank [NAVITIME, ゼンリンナビ]

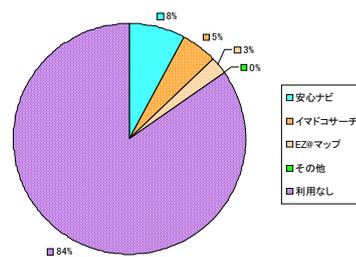
することができたということである。したがって、屋内における目的地までのナビゲーションは、有効であったと言える。



(A) 利用している通信キャリア (複数回答可)



(B) 利用している携帯電話ナビゲーションサービス (複数回答可)



(C) 利用している携帯電話位置情報取得サービス (複数回答可)

図10 実証実験参加者への事前アンケート結果

Figure 10 Result of Preliminary Questionnaire for Participants.

(b) 案内タイミング

図11(b)の誘導案内画面の表示タイミングについてのアンケートでは、約6割の参加者が良いタイミングで表示される場合もそうでない場合もあったと答えている。このような結果が出た要因として、次のような可能性が考えられる。

- 案内表示のタイミングについては、案内対象となる通路上の交差点やエレベーター付近など、案内ポイントとなる地点の一定距離前で表示するように設定されている。したがって、場所によっては案内されるポイントが見えにくく、進む方向の確認が難しい。対策としては、全ての案内ポイントに対して表示位置を調整するという方法が考えられる。
- 端末画面を確認するタイミングによって、人が案内画面を認識する地点が変わってしまう。例えば、ある案内の時は立ち止まって案内表示画面を確認（静確認）したが、次の案内では歩きながら確認（動確認）したとする。動確認の場合は、人が端末を見て案内を認識するまでに数メートル程度前進するので、その分、静確認のときより案内が遅く表示されたように感じられる。また動確認の場合は、歩く

スピードが速い人ほど、より案内が遅く表示されるように感じる。対応策として、使用者属性に歩くスピードという項目を追加する、あるいは別のセンサーでリアルタイムに歩行者速度を取得し、案内表示のタイミングを変更する方法を検討する必要がある。リアルタイムでユーザーの歩行速度を知ることができれば、その時々で歩く早さが異なるという人の場合でも対応が可能である。

- 3) 個々のユーザーによって最適な案内表示タイミングは異なる。つまり、目的地へ向けて移動している最中、早めに案内が表示された方が分かり易いと思うユーザーと、そうでないユーザーの両方が混在する。目的とする店舗がどこにあるのか分からないが、屋内ナビゲーションの対象となる施設の中はある程度知っているというユーザーであれば、遅めに案内を表示しても案内ポイントをすぐに認識することができるかもしれない。しかし、施設内をまったく知らないユーザーは、早めに案内表示を提示した方が認識しやすいこともある。このような案内認識の個人差に対応するためには、各ユーザーが案内表示タイミングを変更できる機能を追加することが効果的であると思われる。
- 4) 位置測位精度の誤差によって現在位置がずれてしまうことによって、案内表示のタイミングに差異が出てしまう。位置測位の精度については、環境に設置した無線ビーコン装置の数によって異なるが、実用性を考慮すると施設にあまり多くの無線ビーコン装置を設置することはできない。したがって、ユーザー側のデバイスに他のセンサーを取り付ける、あるいは予め内蔵されているセンサーを活用するなどして、測位精度の向上について考えることも重要である。

(c) 目的地設定

ナビゲーションのゴールとなる店舗などの目的地設定に関するアンケートでは、ほとんどの参加者が自分で操作方法を理解し、設定することができたと回答している(図 11 (c))。端末への入力、タッチペンで行き先となる店舗の写真やイラストが描かれた画像を選択するという視覚的に理解しやすいインターフェイス設計となっており、初めて利用するユーザーでも簡単に利用することができたと思われる。

(d) 携帯電話サービス

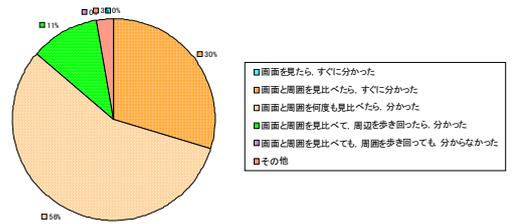
今回の実証実験では、運営側で準備した端末を参加者には利用してもらったが、自分の携帯電話で屋内ナビゲーションサービスが動作するのであれば、利用してみたいかというアンケートも実施した。図 11 (d)に示すアンケート結果では、8割弱の参加者がビーコン受信機を小型化すれば、あるいはビーコン受信機が必要なければ利用してみたいと答えている。逆に利用したくないという意見は少数である。つまり、屋内におけるナビゲーションの需要は高いが、サービスの普及のためにはユーザーが使用するデバイス形状も含めた利用条件が重要であるということが言える。

4.4 考察

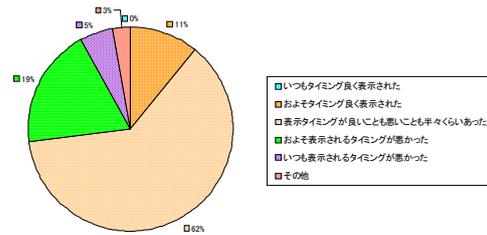
今回、横浜ランドマークプラザで行った実証実験の結果より、屋内ナビゲーションサービスについて考察する。

参加者へ対して実施したアンケートの結果では、携帯電話のように普及が進んだデバイス上で屋内ナビゲーションサービスが実用化されるのであれば、サービスを利用したいという結果が得られた。本実証実験にて行ったショッピングや観光のためのナビゲ

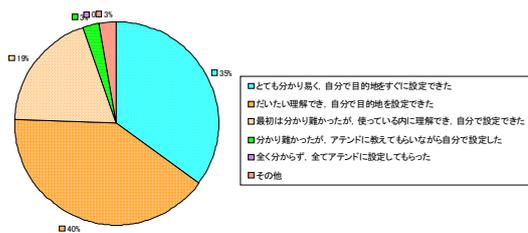
ーション以外のサービスについても、需要の余地があるのではないかと考えられる。



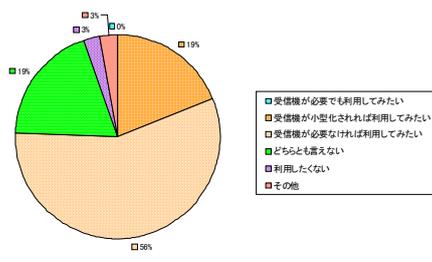
(a) 誘導案内画面について



(b) 案内タイミングについて



(c) 目的地の設定について



(d) 携帯電話でのサービス利用について

図 11 実証実験アンケート結果

Figure 11 Result of Questionnaire about the Navigation Experiment.

屋内ナビゲーションサービスを利用したユーザーの意見として、地図が表示されている端末を見ながら歩いていると、エスカレーターやエレベーターで上下階へ移動した後、または通路を曲がった後などに自分が向いている方向と端末上の地図の向きが合っていないのかどうか分からなくなるという意見があった。特に、女性や高齢者にこのような傾向が多く見られた。

方向感を見失ってしまう原因の1つとして、端末に表示される地図画面の向きが一定であるため、地図と自分の方向が逆になってしまうということが挙げられる。また、横浜ランドマークプラザはフロア内の通路や休憩所などの構造が同じような造りとなっ

ているため、目印となるようなものが探しにくいということも要因の1つとして考えられる。

このような進行方向喪失による移動ロスを改善するためには、携帯電話に搭載されている電子コンパスを用いて、自分が向いている方向へ地図をヘディングアップする等の工夫が必要である。

5. おわりに

5.1 まとめ

本論文では、屋内位置情報サービスの実用化を目標とした屋内自律型測位システム、およびその具体的なアプリケーションである屋内ナビゲーションサービス実現のために構築したシステムについて説明した。また、屋内ナビゲーションシステムを用いて、大規模商業施設である横浜ランドマークプラザにて実証実験を行った。

横浜ランドマークプラザは、フロアの中央に吹き抜けがあり、無線ビーコン装置から発信される信号が別のフロアでも受信できるため、フロアの認識が難しいという特徴がある。施設内では多数のショップや飲食店が営業しており、通路には多くの一般客が通行している。このような実環境において、一般ユーザーに端末の操作を行ってもらい、なるべく実用に近い形で実証実験へ参加してもらった。また、参加者に対して商業施設内で屋内ナビゲーションを体験した感想のヒアリング調査、および屋内ナビゲーションサービスやデバイスの使用感に関するアンケートを実施した。

実証実験のアンケート結果では、屋内における目的地までのナビゲーション方法の有効性、および屋内ナビゲーションサービスに対するユーザーの意識の調査結果について示した。その結果、構築したシステムのインターフェイスや操作性、画面表示などの様々な箇所に関して有用な意見を得ることができた。

5.2 今後の課題

本研究にて構築した屋内自律型測位システムは、スマートフォンだけでなく、一般の携帯電話もターゲットとして設計した位置情報サービスの基盤システムである。このシステムを利用したサービスとしては、今回提案したショッピングや観光のためのナビゲーションサービスだけでなく、携帯情報端末のみで自律的に動作できるという特徴を活用したサーバーレスが前提のサービスへも応用することが可能である。具体的には、電力供給が停止することが想定される状況において、サービス提供が望まれるシステムなどである。

本システムを応用したシステムの例として考えられるものを以下に記述する。

- 生活者向けナビゲーションシステム
- 観光案内ナビゲーションシステム
- 避難誘導ナビゲーションシステム
- ビルサービスおよび管理システム
- ロボット誘導および管理システム

今後は、上記のようなサービスを実現および普及させるためにナビゲーションシステムの案内画面やインターフェイス等の改良を行う。また、位置測位精度の向上を図るため、加速度センサーや地磁気センサー、あるいはジャイロセンサーなどの様々なセンサーをデバイスに搭載し、測位補助についての研究に取り組む予定である。将来的には、無線ビーコンデバイスのワンチップ化、さらには携帯電話との一体化についても検討したい。

謝辞 実証実験に御協力頂いた横浜市、三菱地所株式会社、武蔵工業大学、NPO 法人ヴィエムシー、株式会社ビタミンママに感謝する。

参考文献

- [1] M. Yamaguchi, T. Kitamura, T. Yoshida, T. Horiuchi and K. Takeuchi.: "Trial Application of the UTMS Dynamic Route Guidance Systems", In Proc. the 3rd International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Orlando, USA (1996).
- [2] N. Fujimoto, T. Namizuka, K. Takeuchi, T. Kitamura and M. Ogura.: "The Dynamic Route Guidance System of Nagano UTMS", In Proc. the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, Seoul, Korea (1998).
- [3] goo, "Wi-Fi 位置測定サービス".
<http://help.goo.ne.jp/info/detail/978/>.
- [4] 東京ミッドタウン, "ユビキタス・アートツアー".
http://www.tokyo-midtown.com/jp/press/sysimg/467_671.pdf.
- [5] UbiSense, "Local position system and sentient computing".
<http://www.ubisense.net/>.
- [6] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggle, A. Ward and A. Hopper.: "Implementing a Sentient Computing System", IEEE Computer Magazine, Vol.34, No.8, pp.50-56 (2001).
- [7] I. Yoda, and K. Sakaue.: "Concept of Ubiquitous Stereo Vision and Applications for Human Sensing", In Proc. 2003 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA2003), pp.1251-1257 (2003).
- [8] A. Sashima, Y. Inoue and K. Kurumatani.: "Spatiotemporal sensor data management for context-aware services: designing sensor-event driven service coordination middleware", In Proc. of the 1st International Workshop on Advanced Data Processing in Ubiquitous Computing (ADPUC 2006), New York, USA, ACM Press, p.4 (2006).
- [9] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, J. Scott, T. Sohn, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge, G. Borriello and B. Schilit.: "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild", In Proc. of the 3rd International Conference on Pervasive Computing 2005 (PERVASIVE2005), Munich, Germany, pp.116-133 (2005).
- [10] P. Bahl and V. N. Padmanabhan.: "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", IEEE Infocom2000, Vol.2, pp.775-784 (2000).
- [11] N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan.: "The Cricket Location-Support System", In Proc 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM2000), Boston, MA, pp.32-43 (2000).
- [12] G. Borriello, A. Liu, T. Offer, C. Palistrant and R. Sharp.: "WALRUS: wireless acoustic location with room-level resolution using ultrasound", In Proc. of the Third International Conference on Mobile Systems, Applications and Services Archive, Seattle, Washington, pp.191-203 (2005).
- [13] Ekahau,
<http://www.ekahau.com/>.
- [14] AirLocation II,
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2006/07/0713.html>.
- [15] K. Kurumatani.: "Social Coordination with Architecture for Ubiquitous Agents - CONSORTS", In Proc. of International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce IAWTIC'2003 (Vienna), in Proceedings CDROM (2003).
- [16] K. Kurumatani.: "Mass User Support by Social Coordination among Citizens in a Real Environment", Lecture Notes on Artificial Intelligence 3012, Multi-Agent for Mass User Support, Springer, pp.1-17 (2004).
- [17] 池田剛, 井上豊, 山本潔, 幸島明男, 山下倫央, 車谷浩一: "微弱無線センサーネットワークシステム ComPass - センサーネットワークシステムの全体構成", 情報処理学会研究報告 2008-UBI-17, 情報処理学会 (2008).