

## ZigBee™ を利用した，歩行者の位置特定に関する実験

高梨 郁子<sup>†</sup> 斎藤 謙一<sup>†</sup> 安藤 康臣<sup>†</sup> 稲坂 朋義<sup>†</sup> 古和 義治<sup>‡</sup>

携帯電話に GPS(Global Positioning System)が搭載され，歩行者のナビゲーション・サービス等の位置情報サービス(LBS : Location-Based Services)も提供されるようになった。しかし，GPS はビル陰，地下街など測位できない場所があり，「どこに居ても場所がわかる」ことへのニーズが高まっている。この度，国土交通省の自律移動支援プロジェクトのプレ実証実験に参画し，省電力等の特長を持つ ZigBee™ (ジグビー) §を電波マーカーとして利用し，歩行者の位置特定実験を行った。その結果，精度を 5m とした場合の正解率は約 50%，精度を 10m とすると，地上で 100%，地下街でも約 80% の正解率で特定できることを確認した。

## An Study of Pedestrian Positioning System using ZigBee™

Ikuko Takanashi<sup>†</sup>, Ken-ichi Saito<sup>†</sup>, Yasuomi Ando<sup>†</sup>, Tomoyoshi Inasaka<sup>†</sup>,  
Yoshiharu Kowa<sup>‡</sup>

Location-Based Services, LBS, such as personal navigation in urban area have been a major concern in the application of GPS-equipped cellular phones. However, it is quite difficult or impossible to get a position by GPS at underground places, indoors or urban canyon environments, which causes the recent growing needs for seamless Self-Positioning. We have experimented on a pedestrian navigation system in collaboration with "The Autonomous Navigation Support System project", where ZigBee™, a low power wireless technology, has been investigated for radio marker. We confirmed that around 50% of correct positioning with the accuracy of 5m is obtained. In case of accuracy of 10m, 100% and around 80% of correct positioning is obtained at outside on the road, and at underground shopping mall, respectively.

---

<sup>†</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp. , E-mail: {ikuko, saiken, y-ando, inasaka}@isl.melco.co.jp

<sup>‡</sup>三菱電機株式会社 ITS 推進本部, ITS Business Development Group, Mitsubishi Electric Corp. , Yoshiharu.Kowa@hq.melco.co.jp

§ ZigBee は，Koninklijke Philips Electronics N.V.の商標である。

## 1. はじめに

GPS 付きの携帯電話で大よその位置がわかるようになり、位置情報サービス(LBS)<sup>[1],[2]</sup>へのニーズが高まっている。しかし、ビル陰、地下街など GPS で測位が出来ない場所が存在するため、GPS を補間する測位手段が必要である。

ジャイロ、無線 LAN、RFID タグ等のデバイスを用いた屋内における位置特定の検討、開発が行われている<sup>[3],[4],[5],[6]</sup>が、未だ実用化に至っていない。

このような中、国交省が推進する自律移動支援プロジェクト<sup>[7]</sup>は、街を人が安全に安心して歩けるようにすることを目的として、場所を特定するインフラの全国規模での整備展開を目指している。

その一環として 2004 年 10 月～12 月に、RF-ID タグ、マーカー<sup>1</sup>、無線 LAN 等のデバイスを設置し、ユビキタスコミュニケーター(Ubiquitous Communicator)<sup>2</sup> をユーザ端末として位置特定の動作検証を行う、プレ実証実験が神戸に於いて実施された。

我々はプレ実証実験に参画し、ZigBee 対応の無線センサー端末<sup>[8],[9]</sup>を電波マーカーとして利用した、位置特定に関する実験を行った。

ZigBee は標準化を指向したオープンな仕様であり、また、小型で省電力のため電池での稼働が可能であり通信配線が不要など設置のし易さや、相互に通信可能な為保守運用に優れており、どこでも設置できるインフラとして有効性が高いと考える。

## 2. 実験の目的

本実験は、ZigBee 対応無線センサー端末を電波マーカーとして利用することで、歩行者の位

置を特定できることを確認するために実施する。

まず環境の違いによる ZigBee の電波特性の測定等、基礎実験を行う。次に、その基礎実験の結果を受けて、ZigBee が歩行者の位置を特定できることを確認する。

## 3. 基礎実験

### 3.1. 実験方法

地上(京町筋日銀前交差点)、地下街(さんちかタウン)それぞれにおいて、電波マーカーから計測位置までの距離を変えながら RSSI<sup>3</sup> (受信電波強度値)を測定して評価する。

図 1.2 に示すように、地上の場合は工事用のラバーコーンの上端(高さ:1m)に、地下街の場合は天井(高さ:3m)に 1m 間隔にある溝に電波マーカーを設置する。



図 1: 電波マーカーの設置の様子 (地上)



図 2: 電波マーカーの設置の様子 (地下街)

<sup>1</sup> 場所を知らせる装置

<sup>2</sup> YRP ユビキタス・ネットワークング研究所 (所長: 坂村健東大教授) で開発を進めている情報携帯端末

<sup>3</sup> RSSI: Received Signal Strength Indicator

### 3.2. 実験結果

#### (1) 地上実験

図3に示すように、地上での測定結果では、RSSI と通信距離には負の相関（右下がり）があり、自由空間における電波理論特性と近い。

0m から 5m までは、右下がりの勾配が大きい。そのため、図3に示すように RSSI が 44dB より強い場合に、電波マーカークからの距離が 5m 以内と特定できると考えられる。この考え方を適用すると、電波マーカークから 5m 以内に居る場合、約 93% の確率で特定できるという結果が得られることがわかった。

#### (2) 地下街実験

地下街の測定結果を図4に示す。負の相関の傾向はあるがバラツキが大きい。

地上の場合と同様の考え方を適用すると、電

波マーカークから 5m 以内に居る場合、約 60% の確率で特定できるという結果が得られることがわかった。

#### 3.3. 考察

前述の考え方で位置特定を行うと、地下街で電波マーカークの 5m 以内に居る場合でも、40% は「5m 以内に居ない」と言う結果になることがわかった。従って、一つの電波マーカークで位置の特定を行うことは難しく、複数の結果を組み合わせる等の処理によって、より確からしい位置を特定する必要があると考える。

そこで、5m 間隔で電波マーカークを設置することで、複数の電波マーカークの RSSI を考慮した歩行者端末の位置特定に関する実験を行った。

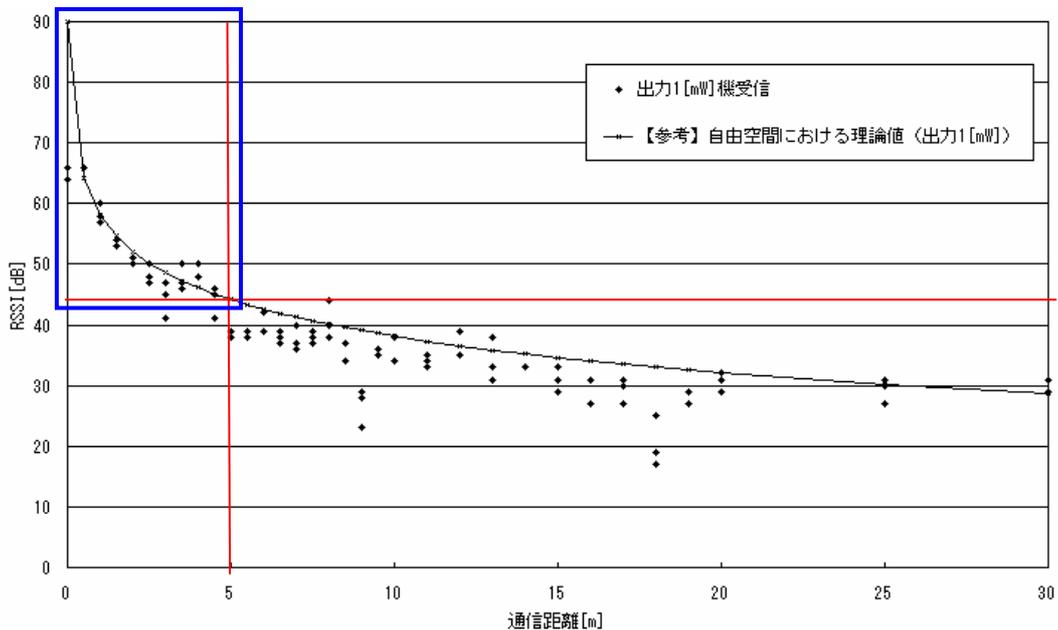


図3: 基礎実験 : RSSI と通信距離の関係・測定結果 (地上, 電波マーカークの高さ : 1m)

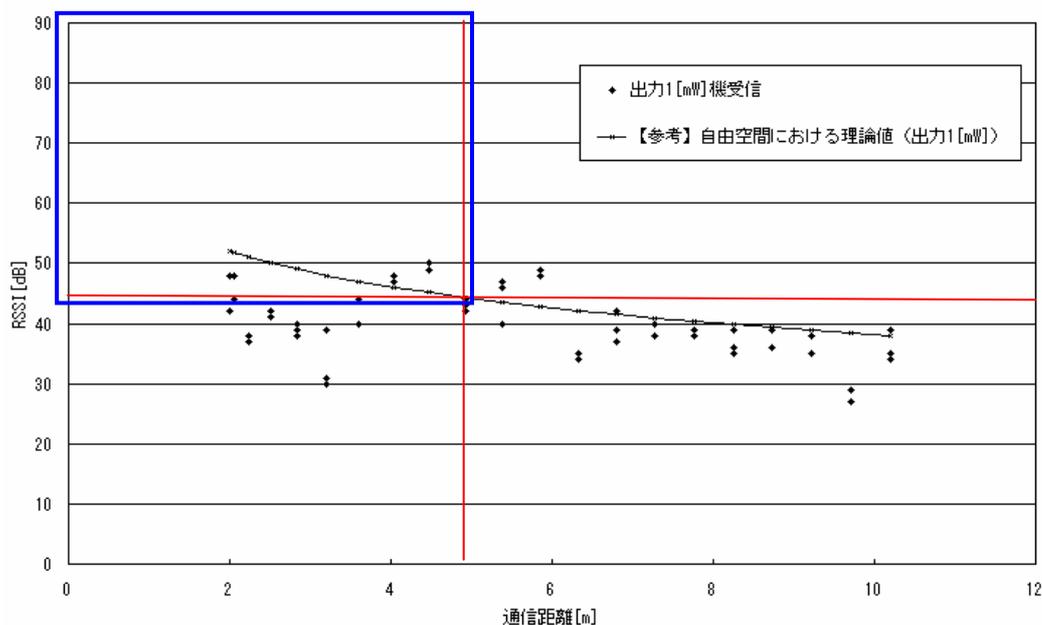


図 4: 基礎実験 : RSSI と通信距離の関係・測定結果 (地下街, 電波マーカーの高さ : 3m)

#### 4. 位置特定実験

基礎実験の結果を基に, ZigBee の RSSI と距離の関係を利用して歩行者の位置を特定する実験を行った。

##### 4.1. 実験方法

ZigBee 対応無線センサー端末 1 台をユビキタスコミュニケーターにシリアルで接続して歩行者端末とする (図 5)。

電波マーカーは, 基礎実験の場合と同様, 地上の場合は ZigBee 対応無線センサー端末をラバーコーンの上端に, 地下街の場合は天井の溝に取り付け, それぞれに示すように 5m 間隔に 6 台, 千鳥格子状に配置する (図 6,7)。

##### (1) RSSI の測定

歩行者は約 1m の高さに歩行者端末を持ち, 電波マーカー1 から電波マーカー6 まで歩き, 電波マーカー1 まで折り返す。ほぼ直線的に 1~2m/秒の速度で移動しながら

各電波マーカーと歩行者端末の間の RSSI を 1~2 秒ごとに測定してログを記録する。

歩行者端末の位置 (真値) は, 電波マーカーを設置した場所ごとにログファイルにマークをつけることで 5m ごとの位置を記録し, この値から推定する。



図 5: 歩行者端末: ユビキタスコミュニケーターに接続した ZigBee 対応無線センサー端末

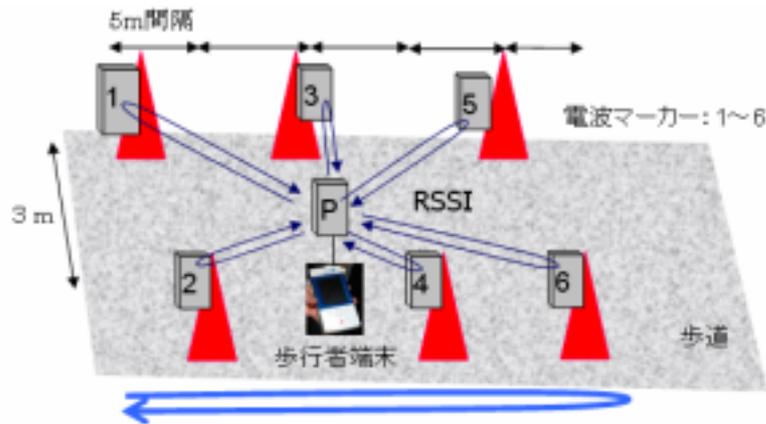


図 6: システム構成 (地上実験の場合)

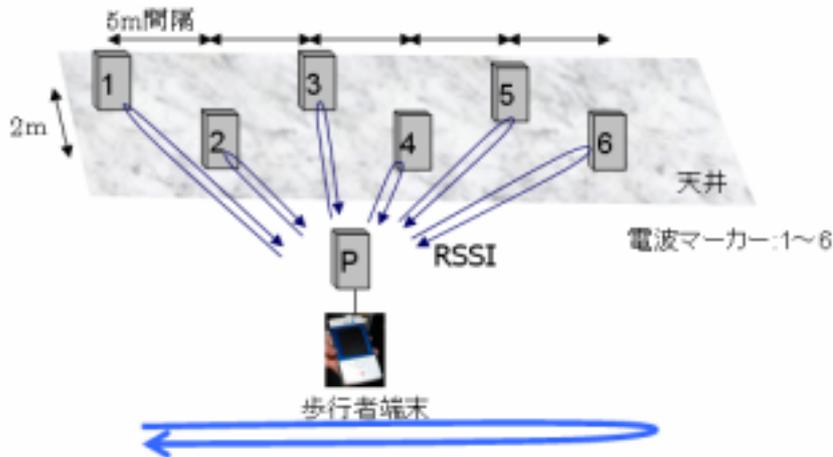


図 7: システム構成 (地下街実験の場合)

## (2) RSSI 測定結果から位置を特定するアルゴリズムの適用

RSSI と距離の関係を利用した次のようなアルゴリズムを開発、適用した。

### ① 閾値によるフィルタリング

RSSI と距離の関係を利用して、各電波マーカーと歩行者端末との距離を求める。

- ・ 減衰が緩やかになる、5m 以上の RSSI をカットする ("0" (ゼロ) とみなす) ための閾値を 44dB とする
- ・ 各電波マーカーの閾値以上の RSSI と設置場所の座標との加重平均から歩行者端末の位置を算出する

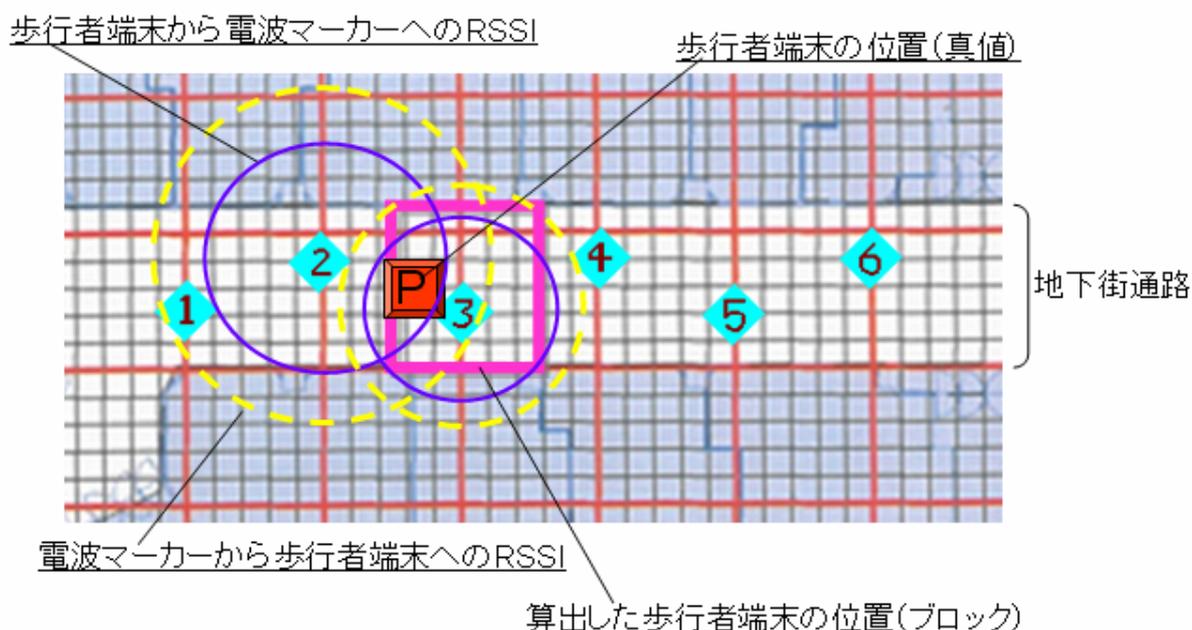
### ② 全ての電波マーカーの RSSI が閾値以下

となった場合への対応

RSSI が全てカットされるため、RSSI による算出が行えない。この場合は、歩行者が 1~2m/秒で歩行していることから、その直前の位置に居ると推定することとする。

RSSI から特定する位置は、約 5m 四方のブロックとして認識する。アルゴリズムによって算出されたブロックと歩行者端末の位置 (真値) のブロックが同じ場合に正解とし、その正解率によって、算出した位置の評価を行う。

また、図 8 に示すように、測定結果と算出結果をアニメーション表示し、目視による確認を行う。



- <1>から<6>は、6 台の電波マーカ
- [P]は歩行者端末の位置 (真値). 電波マーカ間は等速移動をしたものとして歩行者端末の位置 (真値) を算出, 表示する
- 円 (実線) は歩行者端末から電波マーカへの RSSI, 円 (点線) は電波マーカから歩行者端末への RSSI. 円が小さい程 RSSI が強く, 理論上はその電波マーカ付近に居ることを示す
- 長方形は算出した歩行者端末のブロックを示す. この図は, 歩行者端末の位置を<3>の付近に特定した様子を示す

図 8: 目視による実験結果の確認

表 1 : 位置特定の正解点数と正解率

	測定点数	アルゴリズム適用時:	±1 の誤差許容時:
		正解点数 <正解率[%]>	正解点数 <正解率[%]>
地上-1	39	27 <69.2[%]>	39 <100[%]>
地上-2	59	37 <62.7[%]>	59 <100[%]>
地下街-1	49	23 <46.9[%]>	38 <77.6[%]>
地下街-2	60	31 <51.7[%]>	56 <93.3[%]>

#### 4.2. 実験結果

位置特定の実験結果を表 1 に示す.

地上実験の場合は約 60-70%, 地下街実験の場合は, 約 50%の正解率で歩行者端末の位

置を特定できた. また, 一ブロックのずれを許容すると, 地上実験の場合は 100%, 地下街実験の場合は約 80%の正解率を得た.

### 4.3. 考察

#### (1) 位置特定について

アルゴリズムで算出した位置の情報を、5m四方のブロックとして表現したが、正解のブロックと一致した場合は、最大誤差が5mに収まることから位置特定の精度が5m、一ブロックずれた場合の精度は約10mと言える。

また、特定された位置の結果は、電波マーカを中心とした5m四方の6つのブロックのいずれかとして表示したが、各電波マーカの測定結果や測定条件等を考慮して、表示位置、表示形状を決定する必要があると考える。位置の表現方法は、その位置情報を利用するユーザに対するインタフェースとして、また、今回ブロックを使って定義した正解率のように、特定した位置を評価する手段としても重要な要素となる。

複数の電波マーカの情報を組み合わせることで位置の特定を行うことができたが、今後、異なる環境、設置条件での実験を実施して解析を行い、正解率向上のための手法を検討する予定である。

#### (2) 移動方向について

本論文では歩行者の位置の特定に着目したが、算出された位置を示す図8のようなアニメーションを目視することで、単純な移動パターンの場合には特定可能なことが確認できた。複雑な移動パターンの場合や細かな向きの把握については更に検討が必要である。

### 5. おわりに

複数の電波マーカを利用することにより、精度を5mとした場合、約50%以上の正解率で歩行者の位置を特定することができた。さらに、精度10mの場合は、地上の場合100%、地下街の場合でも約80%の正解率となった。

地上の場合、RSSIが理論値に近いことから、電波マーカの設置間隔を狭めることで5m以

下のレベルでの位置特定が期待できると考える。地下街等の屋内の場合は高精度な位置の特定については様々な課題があるが、今回利用した電波のRSSIと距離の関係だけからも、大まかな位置は特定できることがわかった。

今後、更に位置特定に関する検討を進めるが、ZigBeeの特長であるネットワーク機能との融合による位置特定の性能向上や運用性の向上が期待できると考える。また、GPSとの統合も考慮した位置の特定手法や、位置情報サービスについても検討も進めていく。

### 謝辞

本実験の遂行にご指導ご協力いただいた、YRP ユビキタス・ネットワークング研究所の方々、ならびに関係各位に感謝いたします。

### 参考文献

- [1] KDDI, 「EZ ナビウォーク」, [http://www.au.kddi.com/ezweb/au\\_dakara/ez\\_naviwalk/index.html](http://www.au.kddi.com/ezweb/au_dakara/ez_naviwalk/index.html)
- [2] SECOM, 「ココセコム」, <http://www.855756.com/top.html>
- [3] 小西勇介 他, 「自律方式による歩行者ポジショニングシステムの開発」, 地理情報システム学会講演論文集, 10, pp.389-392, 2001
- [4] 萩野敦他, 「無線 LAN 統合アクセスシステム—位置検出方式の検討—」, DICOMO2003, pp.569-572, 2003
- [5] 貝沼達也 他, 「Active RFID を用いた情報配信実証実験」, 雑誌 FUJITSU, VOL.55, No.4, pp.308-312, Jul. 2004
- [6] 北澤桂 他, 「Personal Positioning System におけるマップマッチング法の提案」, 全国測量技術大会 2001"学生フォーラム", 2001
- [7] 国土交通省, 「自律移動支援プロジェクト推進委員会」, <http://www.jiritsu-project.jp/project/>
- [8] 三菱電機㈱, 「省電力近距離無線通信の業界標準に対応、監視・省エネシステム導入を効率化『ZigBee™対応無線センサー端末』を開発」, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news-data/2004/pdf/0929-a.pdf>
- [9] 稲坂朋義, 「ZigBee によるセンサーネットワークの実現」, COMPUTER & NETWORK LAN, pp.61-65, Feb. 2005