



# BIM を活用した屋内測位システムの開発

柴野伸之<sup>1)</sup>, 王燕峰<sup>1)</sup>, 松尾至生<sup>1)</sup>, 天野昌幸<sup>1)</sup>, 中尾敏明<sup>1)</sup>, 竹田真理<sup>1)</sup>, 松本一弘<sup>1)</sup>

1) パナソニック株式会社エコソリューションズ社 (〒576-8686 大阪府門真市門真 1048)

**概要:** 建物情報 BIM (Building Information Modeling) を活用し, BLE (Bluetooth Low Energy) を使用した屋内測位システムを開発した. BIM 活用によって天井や壁の適切な位置に IoT Gateway (以下, スキャナー) を配置設計し, 実空間において BLE デバイスの電波を複数のスキャナーで計測することで, これを装着した複数人の測位を可能とする. 本稿では測位方法について概要を示す.

**キーワード:** BIM (Building Information Building), BLE (Bluetooth Low Energy), 屋内測位

## 1. はじめに

総務省が刊行した「情報通信白書(平成 25 年版)」によると, 位置情報を活用した地理空間情報(以降, G 空間情報)と ICT 技術の融合により, 今後大きな市場が生まれる可能性があるとして述べている. 屋外では GPS による測位が可能であるが, 屋内においては建物が衛星からの電波を遮蔽するため測位することができず, 様々な代替手段が用いられている. JAXA が開発した IMES [1]や WiFi を活用した測位[2]などがある. 前者は高コストが障害となって普及に至らず, 後者は電波不安定のため実用には至っていない.

我々は安価に入手可能なビーコンに着目した. ビーコンを壁や天井に設置して, スマートホン(以下, スマホ)で電波を取得し, サーバを使って測位するシステムは事例がある[3][4][5]. 課題はビーコンが電池駆動であるため, 電池交換の必然性が障害となり, 期間を限定した人の動線分析や小規模な部屋での事例に留まっている.

そこで, 我々は電池ではなく給電でき, 電波受信機能及びサーバへの送信機能を持つ IoT Gateway (以下, スキャナー) を天井や壁に設置した測位システムの開発に取り組んだ. 本屋内測位システムを Local Positioning System (以下, LPS) と呼ぶ. ビーコンを人が装着することで, 電池切れの場合にも容易に交換できる. 本稿では, LPS の測位方法提案, スキャナーの配置設計への BIM 活用, 及び実空間における測位結果について述べる.

## 2. 測位方法の提案

### 2.1 電波特性

測位はビーコンから発信した電波をスキャナーで受信し, その際の電波強度(以下, RSSI)を用いる. そこで,

まず電波特性について示す. RSSI は距離の 2 乗に反比例して減衰する(フリスの伝達公式[6])(図 1 参照). 建物内部では床・壁・天井などで電波の反射が生じ, 反射波が重畳される. 屋内での RSSI 計測事例を示す(図 2 参照). この結果から RSSI から精度の伴った推定距離を得ることができるのは 10m 以内と考えられる. そこで, スキャナーを天井に 10m 間隔以下でメッシュ状に配置することにした.

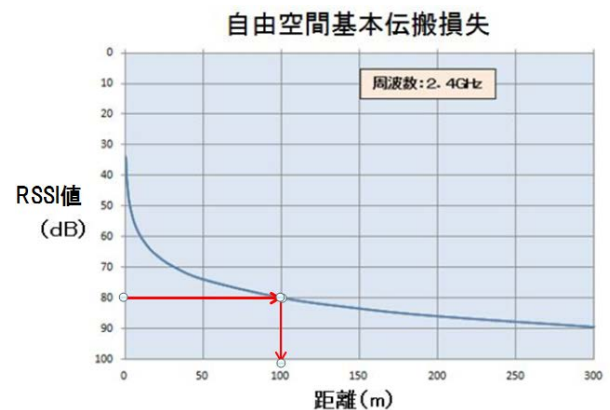


図 1: 反射波のない空間における距離と RSSI の関係

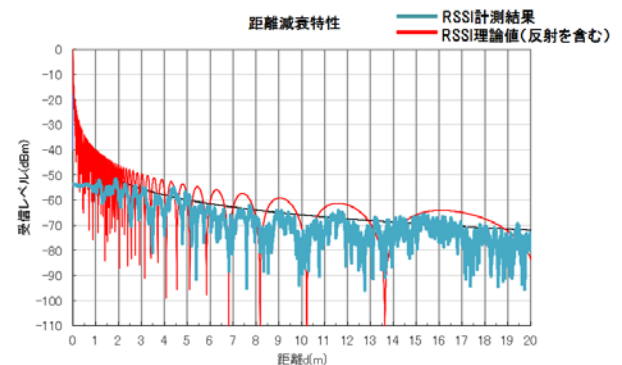


図 2: 屋内(オフィス)における RSSI 計測結果

Nobuyuki SHIBANO, Enhou WAN, Nobuo MATSUO, Masayuki AMANO, Toshiaki NAKAO, Mari TAKEDA, and Kazuhiro MATSUMOTO

### 2.2 測位方法

実際の使用場面では、人がビーコンを装着する。例えば、ポケットに入れる、首からかける等である。このため、ビーコンのアンテナ向きが変動すること、人体が電波障害となることなどの影響から、RSSIが20dB程度変動する場合もある。

RSSIの変動にロバストであり、かつ計算量の少ない測位方法として、仮想計算点(以下、プローブ)を使用する方法を提案する。提案方法は、各スキャナーからの3点補間もしくは4点補間ではなく、RSSIから算出されたビーコンとスキャナーとの距離に最も類似するプローブを選択するという考え方である。図3,4では、スキャナーとプローブの位置関係の例を示し、プローブ番号p1,p2,p3が類似するとして選択された例を示す。

- スキャナー位置, 4m間隔, 記号s1~s3
- 格子点上にプローブ位置, 1m間隔, 記号p1~p3
- ビーコン位置, 記号B

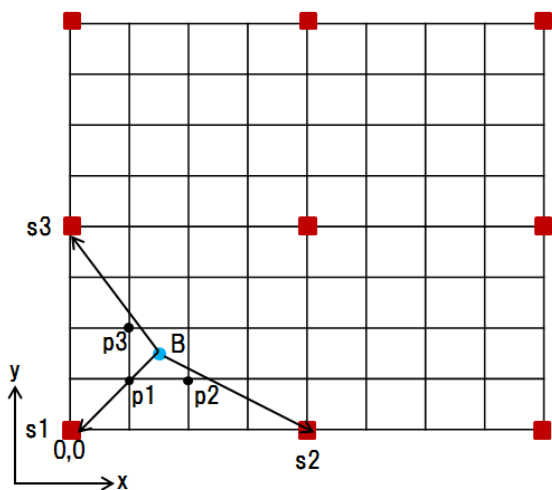


図 3: ビーコン・スキャナー・プローブの位置関係

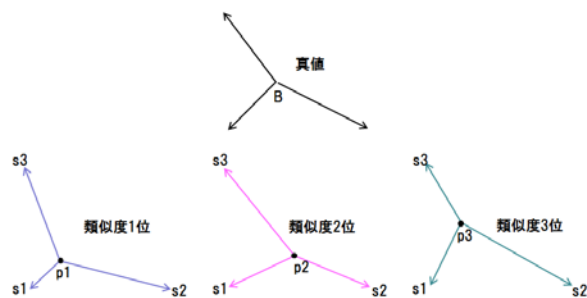


図 4: 類似度によるプローブ選択の考え方

次に類似度を求める式を、3つのスキャナーと1つのプローブを示して説明する。実際の空間は3次元だが、2次元平面に単純化して説明する。空間にスキャナーs1,s2,s3とプローブpを多数配置する。i番目のプローブpiと各スキャナーとの距離をr<sub>i1</sub>,r<sub>i2</sub>,r<sub>i3</sub>とする。ビーコン(記号B)に対して、各スキャナーが得たRSSIをb<sub>1</sub>,b<sub>2</sub>,b<sub>3</sub>とし、それ

らを距離に変換したものをd<sub>1</sub>,d<sub>2</sub>,d<sub>3</sub>とする。求める類似度をw<sub>i</sub>とすると式(1)で表す(図5参照)。

これを汎用化した式が(2)になる。類似度を求める点は3点に制限する必要はない。図6に測位計算フローを示す。

尚、図3の事例では、ビーコンの真値(x,y)=(1.50,1.50)に対して正確なRSSIが得られた場合、測位結果は(1.54,1.50)、誤差はx=2.5%,y=0.2%となり式(2)は有効であると考えられる。

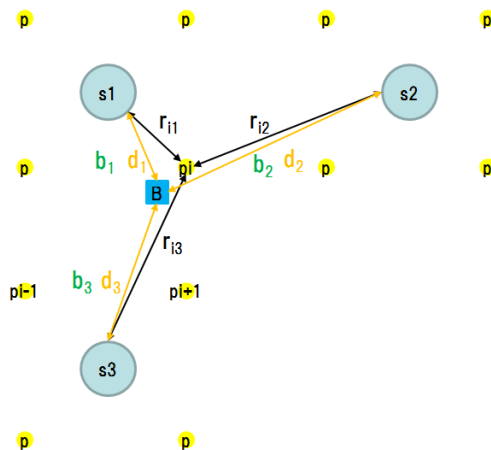


図 5: 類似度の求め方

$$\frac{1}{w_i} = \frac{(d_1 - r_{i1}) + (d_2 - r_{i2}) + (d_3 - r_{i3})}{3} \quad (1)$$

$$\frac{1}{w_{p_i}} = \frac{\sum_{j=1}^n (d_{s_j} - r_{p_i s_j})}{n} \quad (2)$$

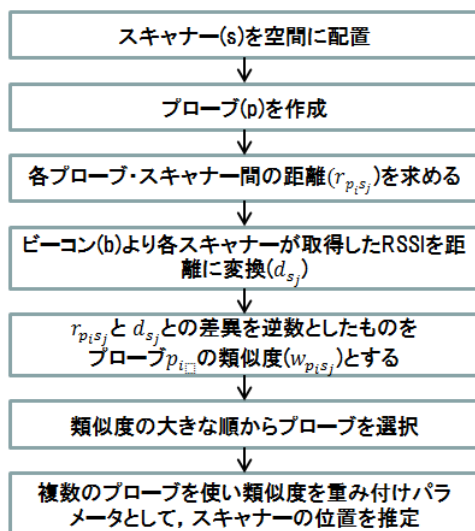


図 6: 測位計算フロー

### 2.3 RSSI 変動への対応

RSSIが変動すると、スキャナーで取得したRSSIが、ビーコンとの正しい距離とは異なってしまふ。この対応として、RSSIが変動してもビーコンからの距離が近いと判定したスキャナーの順番に変更がない場合には、そのスキャナー周囲のプローブを選択し、それらから類似度を生成す

る。これによって、RSSI が変動してもビーコンを囲むスキャナー範囲内に測位することになる。

一方、RSSI の変動によって、近いと判定されたスキャナーの順番が変更する場合には、人の移動速度によるビーコンの移動制限を設定する他の対応を取る。具体例は、移動制限 1.0m/sec の場合、これを超えるような RSSI 変動は棄却するなどである。この対応では、スキャナー順番の変更が一定時間継続する場合は、実際に人が移動したと判断して、ビーコンの位置が移動制限の範囲で移動することになる。

### 3. スキャナー配置設計への BIM 活用

測位精度はスキャナー位置の正確さに依存するため、天井高さを含めた正確な座標が必要である。BIM(Building Information Modeling の略称)[7]を活用することで、迅速に精度良くスキャナーを配置設計することが可能になる(図 7 参照)。BIM は 3DCAD として建築設計で使用されるが、照明器具や空調など設備機器についてはオブジェクトとして設計空間に配置する。その際に天井にどの程度埋め込むのか、あるいはオフセットをもたせるのかを予めオブジェクト側で設定する。このため、配置の際には天井伏図上でクリックするだけで、迅速に正確な高さを伴った 3 次元配置が可能になる。また、BIM から建物情報を正確に把握できるため、壁の位置や会議室など空間の特徴を考慮したスキャナー配置が容易になり、他の設備(空調吹出し口)などとの干渉を避けることも可能となる。さらに、BIM からスキャナー位置・プローブ位置を建物地図と合わせて出力することで、正確な座標を取得することが可能になる。図 8 に LPS システム構成を示す。

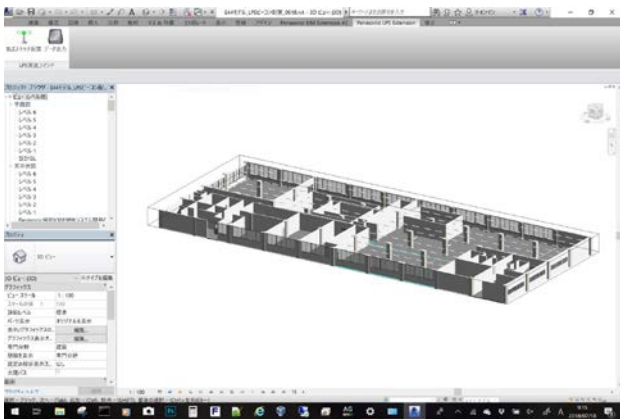


図 7: BIM の画面例

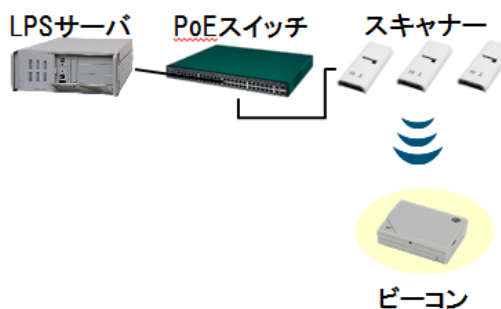


図 8: LPS システム構成

### 4. 測位結果

#### 4.1 ビーコンのみを設置した場合の計測精度

人が装着せずビーコンのみを設置した場合の測位結果を示す。オフィス天井にスキャナーを 4.7m 間隔のメッシュ状に複数設置し、ビーコンを 3 箇所に配置して RSSI を計測した。スキャナー高さ、及びビーコンの高さは床面より 2.5m 及び 0.7m である。ビーコンはスキャナー直下、2 つのスキャナー中央直下、4 つのスキャナー中央直下に配置する(図 9 参照)。電波の障害物である人はビーコン付近にはいない。RSSI の変動によって計測位置も変動するため、ビーコン設置位置(真値)と LPS 計測位置との差異について累積確率 90% 以内の範囲を測位精度とする。図 10 より、スキャナー直下が最良値で 2m 以下、2 個のスキャナー中央が 2.5m 以下、4 個のスキャナー中央が最悪値で 3.8m 以下である。

#### 4.2 人がビーコンを装着して移動した場合の計測精度

人がビーコンを装着して移動した際の計測精度を示す。ビーコンの装着位置は首からぶら下げた胸の前である。移動はスキャナー直下を直線状に歩いた。図 11 より計測精度は 3.5m 以下である。歩行速度は約 1m/sec、遅れ時間は 3 秒以下であった。

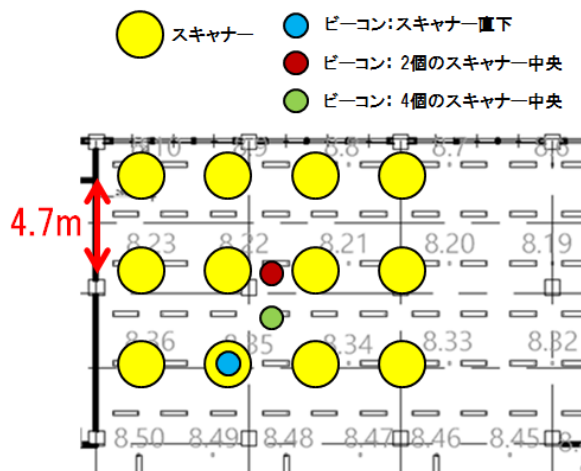


図 9: 実測時の位置関係

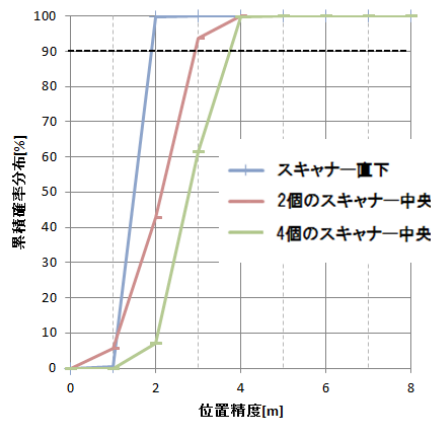


図 10: 静止状態の計測精度

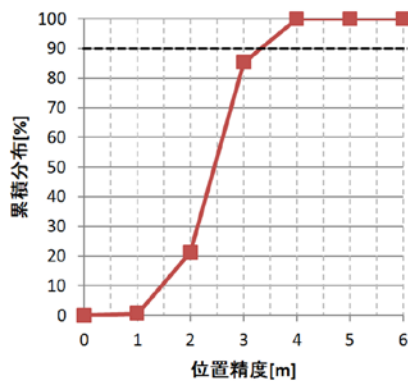


図 11: 移動状態の計測精度

## 5. おわりに

我々は天井や壁にスキャナーを複数設置し、ビーコンを装着した人の建物内位置を把握できる屋内測位システムを開発した。測位方法として、プローブを生成し、複数のスキャナーで取得した RSSI を使った類似度の高いプローブを選択する手法を提案した。測位精度に大きく影響

するスキャナーの配置に BIM を活用した。測位精度として、スキャナーを 4.7m 間隔に配置したオフィスにおいて、ビーコンの静止状態で 2~3.8m、人が装着した移動状態で 3.5m 以下の計測結果を得た。

課題は、スキャナー間隔を広げながら、測位精度を保つことである。スキャナー間隔を広げることによって、台数を減らしてコストを削減することができる。

今後は測位データ分析による有効な活用方法を提案し、様々な空間へ展開できるように取り組む予定である。

## 参考文献

- [1] [http://www.jaxa.jp/article/special/michibiki/yoshitomi\\_j.html](http://www.jaxa.jp/article/special/michibiki/yoshitomi_j.html)
- [2] <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/wireless/mit-tu-rms-wifi-into-indoor-gps>
- [3] <https://www.automagi.jp/products/blu-trail/>
- [4] 石井知貴, 本間尚樹, 三浦淳, 南澤博仁, 恒川 佳隆: 無線ビーコンの RSSI のみを用いた屋内位置推定法の実験的評価, 電子情報通信学会信学技報, A・P2015-144(2015-11),2015.
- [5] 齋藤諒, 市毛弘一, 石原尚, 中澤明良: RSSI を用いた屋内位置推定手法における伝搬損失補正法, 2017 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B-1-128, 2017.
- [6] [http://micro.rohm.com/jp/techweb\\_ iot/knowledge/iot01/s- iot01/01-s-iot01/1582](http://micro.rohm.com/jp/techweb_ iot/knowledge/iot01/s- iot01/01-s-iot01/1582)
- [7] <http://bim-design.com/about/>