

焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた 匿名者と非匿名者の位置検出に関する検討

秦淑彦^{†1} 加川航大^{†1} 久保貴志^{†1} 新田悠也^{†1} 物部佑樹^{†1}

近年、RFID タグやスマートフォン等のデバイスを携帯する人の位置を測定する屋内測位技術の開発が進み、種々の o2o サービスやハンズフリータグによる入退室管理などの普及が始まっている。一方、セキュリティや空間利用計画において、不特定人物の位置を検出できるカメラやレンジセンサを用いた監視システムが広く利用されている。デバイスを携帯して自分が誰でどこにいるかをシステムに伝える人（非匿名者と称す）とそうでない人（匿名者と称す）の位置情報を収集し統合的に利用することにより、病院における患者の安全確保、施設への侵入者の発見・追跡、大型店舗における効率的な接客サービスなどが可能となる。匿名者と非匿名者が混在する空間において、両者の位置を検出するために、ハンズフリータグや iBeacon のような、建物に複数設置されたアンテナ付近に存在するデバイスを検知することにより非匿名者の位置を検出し、そのデバイス検知エリアをカバーするように、人を検知するセンサを設置することを考える。本稿では、デバイスを検知するために iBeacon を、人を検知するために焦電型赤外線センサを用い、基礎的な実験を行って実現可能性を検討する。

A Study on Positioning Anonymous People and Onymous People Using a Sensor Network with PIR sensors and iBeacon

TOSHIHIKO HATA^{†1} KODAI KAGAWA^{†1} TAKASHI KUBO^{†1}
YUYA NITTA^{†1} YUKI MONOBE^{†1}

Indoor positioning technologies to position people with devices such as an RFID tag and a smart phone are progressing rapidly and begin to be used for various o2o services and smart security systems. On the other hand, surveillance systems with cameras and range sensors to position unspecified people are used widely in security and space utilization planning. Some useful systems and services are possible by using the positioning information of people with the devices (onymous people) and people without the devices (anonymous people), such as a security system for patients in a hospital, an intruder detection system and efficient client services in a large-scale retail store. We consider techniques to detect and estimate positions of not only onymous people but also anonymous people. We use positioning systems to detect the devices within a relatively small area around an antenna such as a hands-free tag system and iBeacon, and sensing devices to detect people within the device detection area. In this paper, we show some results of elementary experiments for the system with PIR sensors and iBeacon, and consider its feasibility.

1. はじめに

近年、RFID タグやスマートフォン等のデバイスを携帯する人の位置を測定する屋内測位技術の開発が進み、o2o サービスやハンズフリータグによる入退室管理などの普及が始まっている[1][2][3]。一方、セキュリティや空間利用計画において、不特定人物の位置を検出できるカメラやレンジセンサを用いた監視システムが広く利用されている[4][5]。デバイスを携帯して自分が誰でどこにいるかをシステムに伝える人（非匿名者と称す）とそうでない人（匿名者と称す）の位置情報を収集し統合的に利用することにより、病院における患者の安全確保、施設への侵入者の発見・追跡、大型店舗における効率的な接客サービスなどが可能となる。

匿名者と非匿名者が混在する空間において、両者の位置を検出するために、ハンズフリータグや iBeacon のような、建物に複数設置されたアンテナ付近に存在するデバイスを検知することにより非匿名者の位置を検出し、そのデバイ

ス検知範囲をカバーするように、人を検知するセンサを設置することを考える[6]。

本稿では、デバイスを検知するために iBeacon を、人を検知するために焦電型赤外線センサを用いたセンサネットワークシステムを提案し、基礎的な実験を行って実現可能性を検討する。

2. 匿名者と非匿名者の位置検出について

2.1 位置検出

(1) デバイス携帯者の位置情報

デバイス携帯者の位置を測定する屋内測位技術が色々と提案され、実用化されている。特に最近では、広く普及したスマートフォンの活用を狙い、スマートフォンが標準搭載する無線 LAN、BLE (Bluetooth Low Energy)、音声を利用した方式が注目されている。測位専用の無線 LAN 送信機や BLE ビーコン信号送信機を利用すれば、1m 程度まで測位精度を高めることができる[1][2]。

セキュリティ分野では、セミアクティブタグを携帯する

^{†1} 広島工業大学
Hiroshima Institute of Technologies

ことにより、従来の IC カードを認証装置にかざすといった手操作が不要な（ハンズフリーの）入退室管理システムが製品化され、病院や工場などで普及が始まっている[3]. 出入口に設置されたアンテナの通信範囲にタグが入ると、タグが wake up モードになり自身の ID を受信機に送信する。アンテナと受信機を建物の複数個所に取り付けることにより、タグ携帯者の位置管理が可能となる。

(2) デバイス非携帯者の位置情報

セキュリティ分野では、侵入者を検知し追跡するシステムが広く利用されている。また、大規模な駅や商用施設等では、スペースの安全で効率的な利用計画のため、人の交通流を測定することが行われている。人感センサや監視カメラを用いた人物検知、監視カメラやレンジセンサを用いた人物追跡や人数計測が可能である[4][5]. 検知装置が設置されている位置情報から、検出した人物の位置を求めることができる。

2.2 位置情報の統合利用

従来、デバイスを携帯して自分が誰でどこにいるかをシステムに伝える非匿名者と、そうでない匿名者の位置情報は各々別の目的で利用されているが、統合することにより、以下のような有用な応用が考えられる（図 2.1）。

① 病院における患者の安全

病院では医師や看護師、職員、患者、面会者、業者などに対して入室可能なエリアが決められており、タグによるハンズフリーの入退室管理システムの導入が進んでいる。しかし、タグを携帯させられない、携帯し忘れる患者の居場所は把握できない。また、介護施設では、入居者の徘徊の問題もある。患者や入居者の位置を検出し、タグを携帯する最寄りの職員にすぐ連絡できれば、事故を回避できる。

② ビルや工場における防犯

従来の IC カード認証により自動ドアを開閉する入退室管理では、認証者のすぐ後ろについて侵入する共連れの問題がある。タグによるハンズフリーの入退室管理では、認証操作が行われなため、目視観察していても共連れか否か判断することができず、より深刻な問題である。非携帯者の検出は共連れ防止に有効であり、出入口だけでなく、通路等にも携帯者と非携帯者を検出する装置を設置することにより、侵入後の位置を特定し対応することができる。

③ 大型店舗等における接客サービス

コスト削減のため店舗の従業員を減らす方向にあり、ホームセンターなど大型店舗では、商品棚に従業員呼び出し用のボタンを設置している。デバイスを携帯しない顧客の位置情報を収集することにより、商品コーナーの人数に応じてデバイスを携帯する従業員を配置できる。また、移動軌跡を分析し、商品が見つからず探し回っているとされる顧客を見つけ、近くの従業員に接客させるなど、限られた従業員で満足度の高いサービスを提供できる。

④ 大規模施設における防犯・防災

デバイスを携帯していない多くの利用者が存在する中で、災害が発生した場合でも、非携帯者の存在や大まかな人数が把握できれば、デバイスを携帯した警備員が適切な行動をとることができる。また、利用者が存在しない夜間のパトロール中に、デバイスを携帯しない不審者の位置がわかれば、警備員が不審者と不用意に鉢合わせする危険も回避できる。



図 2.1 匿名者と非匿名者の位置情報の利用例
Figure 2.1 Applications utilizing position information of anonymous and onymous people

2.3 実現の基本アイデア

匿名者と非匿名者の位置を検出するために、図 2.2 に示すように、出入口や通路など、必ずそこを通らないと別のエリアに移動できない個所に、検知装置を設置するシステムを考える。

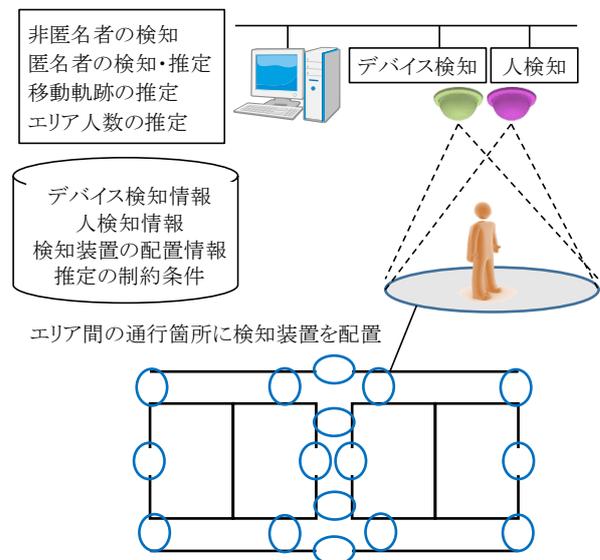


図 2.2 匿名者と非匿名者の位置検出の基本構成
Figure 2.2 Basic system architecture for positioning anonymous and onymous people

この検知装置は、周囲のデバイスを検知する機能と、デバイス検知範囲に存在する人（匿名者か非匿名者かにかか

わらず)を検知する機能を有する。個々の検知装置、あるいは近傍の検知装置も含めて、両方の検知の結果を突き合わせることで、非匿名者だけでなく、匿名者の存在を検知または推定する。

デバイスおよび人の検知は現在利用可能な技術を用いることにする。デバイスの測位はセンチメートルオーダーの高精度な方式も提案されているが、設置環境による影響やコストの問題が考えられるため、普及が始まっているセミアクティブタグや測位専用アンテナを用いた1~数m精度の方式を利用する。

人の検知は、図 2.3 に示す 2 種類を考える。一つは、人の有無を検知する人感センサを使って、デバイス検知範囲に存在する通行者を検知する。もう一つは、一人一人を検知する装置を使って、デバイス検知範囲に存在する通行者を検知するとともに、人数と移動方向を測定する。前者は、検知範囲に匿名者と非匿名者が同時に存在すれば、匿名者を検知できない。しかし、安価であるため密に配置することにより、匿名者の検知・推定の精度を高めることができる。後者は、検知範囲に匿名者と非匿名者が存在しても匿名者を検知できるが、コストが高くなる。

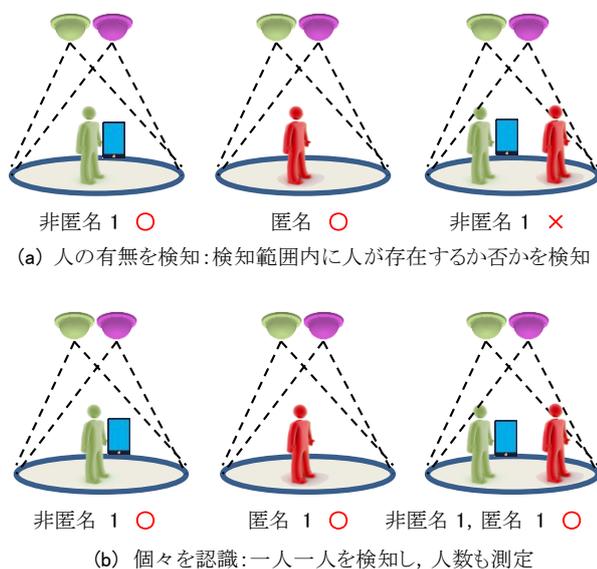


図 2.3 デバイス検知範囲に存在する人の検知

Figure 2.3 Methods to detect people in device detection area

3. 焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた位置検出システム

2 章で述べた実現アイデアの一つとして、人検知に焦電型赤外線センサ、デバイス検知に iBeacon を用いたシステムを考える。焦電型赤外線センサは人の有無、正確には人の動きしか検知できないが、照明制御や防犯装置など広く利用され、非常に安価である。また、iBeacon のビーコン装置も電池駆動で安価であり、スマートフォンの普及と o2o

サービスへの期待から、一気に普及しそうな兆しが見えている。これらを組み合わせた安価で取り付け容易な検知装置をセンサネットワーク化し、ビル内に密に配置することによって、匿名者と非匿名者の位置を検出することを狙う。焦電型赤外線センサと iBeacon の概要と、それらを組み合わせた検知装置について、以下に述べる。

3.1 焦電型赤外線センサ

強誘電体が赤外線を受光すると、その熱エネルギーを吸収して分極が生じ、その変化量に応じて表面に電荷が励起される。焦電型赤外線センサはこの焦電効果を利用し、人体などから発せられるわずかな赤外線を検知する。2 つの焦電素子を用いるデュアル型センサは、各素子の出力電圧の極性を逆にし、その差分信号を検出することにより、人の動きを感度良く環境変化に対しロバストに検知している。さらに、フレネルレンズを用いて、+極性の素子と-極性の素子に対するペアの検知エリアを設定する。この検知エリアを人が通過すると、センサから図 3.1 に示すような出力信号が得られる。一般には、複数の検知エリアを構成するフレネルレンズにより、広範囲の動きを検知する。[7]

焦電型赤外線センサは数百円/個と非常に安価であり、受動型のため取り付けも容易で消費電力も極めて小さい。照明制御や防犯装置など、非常に幅広く利用されている。

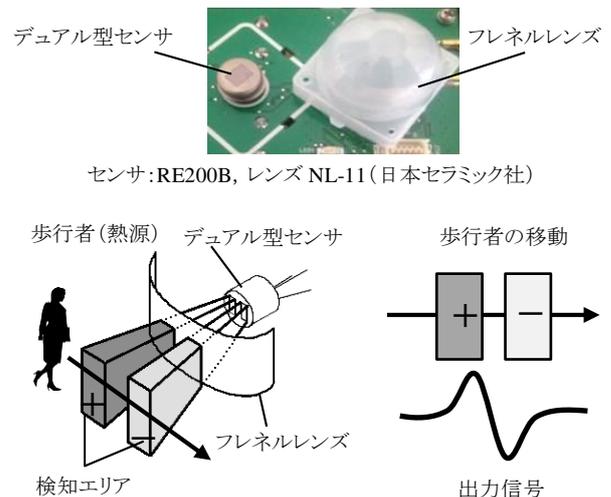


図 3.1 デュアル型センサと検知信号

Figure 3.1 Dual type PIR sensor and its output signal

3.2 iBeacon

低消費電力無線規格である BLE (Bluetooth Low Energy, Bluetooth Smart と呼ばれる) を利用したビーコン方式の位置検出方式では、ビーコン装置が BLE のアドバタイズ機能を利用して、周期的に ID などのビーコン情報を送信する。電波が届く範囲であるビーコン領域の大きさは送信電波強度で調整でき、BLE の最大見通し距離は 50 メートル程度である。BLE 利用のビーコン方式の中で、Apple 社が規定した情報を 0.1 秒間隔で発信するものが iBeacon であ

る。ビーコン情報には ID 情報に加え送信電力情報が含まれており、受信電波強度 rssi と合わせて、ビーコン装置との距離を推定できる。ビーコン装置を建物等のインフラに設置してスマートフォンの位置を検知する、ビーコン装置を携帯してインフラ側に設置した受信機で位置を検知する、携帯型のビーコン装置の位置をスマートフォンで検知するなど、色々な使い方がある。[8][9]

BLE 採用により、電池駆動で工事が不要、小型で低価格（現状、単体で 1,000 円程度）という特長を有する。さらに、iOS および Android において iBeacon 対応の API を提供したことにより、一気に普及する兆しが出ている。



図 3.2 iBeacon を用いた位置情報サービス
Figure 3.2 Location service with iBeacon

3.3 位置検出システム

実現に向けた第 1 ステップとして、人の移動がある程度制約される廊下での位置検出を考える。基本的には通路方向に沿って通行するものとし、検知範囲で立ち止まる頻度は少ないと仮定する。

焦電型赤外線センサを用いて通行者の人数や方向を検知する研究もおこなわれているが[7]、ここでは、人の有無を検知する人感センサとして利用する。匿名者の検知精度を高めるためには、人とデバイスの検知範囲をできるだけ小さくして、検知範囲に同時に存在する人数を減らせばよい。そのためには、図 3.3 に示すように、焦電型赤外線センサの検知範囲を、廊下の幅をカバーしつつ、通行方向の幅を小さくするように設定する。一方 iBeacon の検知範囲は、一般に利用されるビーコン装置の場合、無指向性アンテナからビーコン信号を送出するため、基本的には球状の検知範囲となる。設置環境にて電波の受信強度 rssi を測定し、検知範囲が上記を満足するように、送信電力と rssi の閾値を決定する。

焦電型赤外線センサはフレネルレンズにより検知範囲を設定する。今回の実験に用いたフレネルレンズは、2.8m の高さから真下に向けた場合、床面約 7m×4m の範囲を検知するように設計されている。そこで、図 3.4 に示すように、フレネルレンズの一部をビニールテープでマスクして、通路方向に約 1m 幅の検知範囲を設定する。

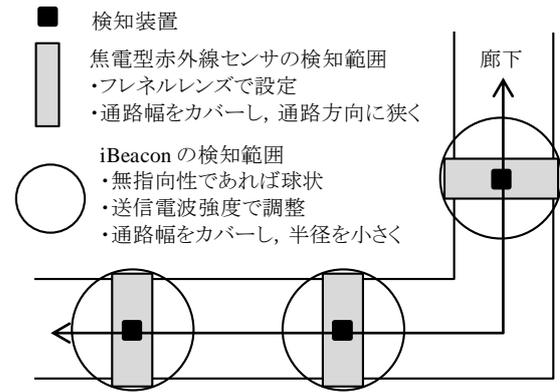


図 3.3 廊下における焦電型赤外線センサとビーコン装置の検知範囲
Figure 3.3 Detection areas of PIR sensors and beacon devices in a corridor

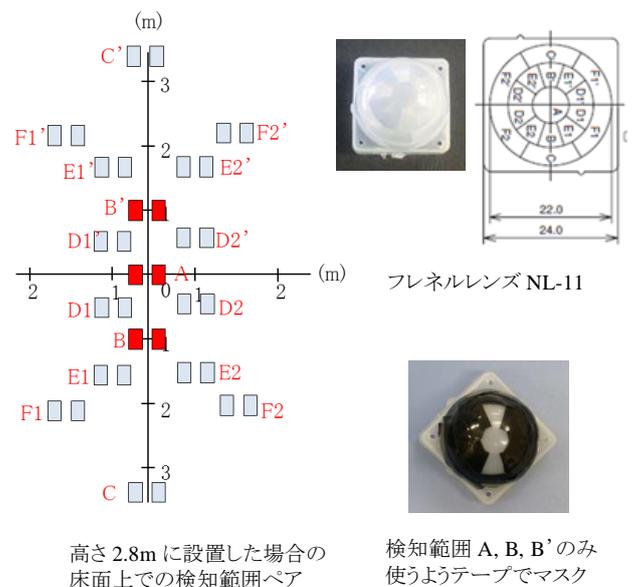


図 3.4 フレネルレンズの検知範囲
Figure 3.4 Detection areas of Fresnel lens

検知装置を 5m 程度の間隔で密に天井に取り付け、ネットワーク接続する。焦電型赤外線センサの動き検知情報は検知装置からサーバへ送られる。一方、デバイス検知に関しては、スマートフォンが近くのビーコン装置を検出した際に、スマートフォンから無線 LAN 経由でサーバにビーコン装置のスマートフォン（ユーザ）の ID 情報を通知する。（図 3.5）

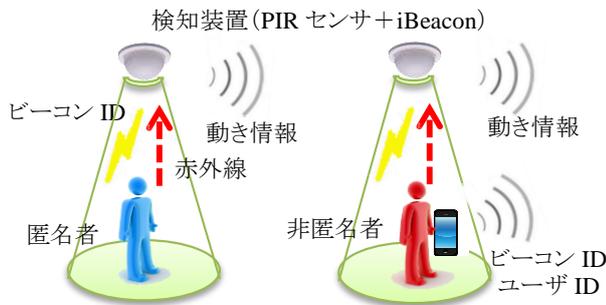


図 3.5 焦電型赤外線センサと iBeacon を用いた位置検出システム

Figure 3.5 Positioning anonymous and onymous people using PIR sensors and iBeacon

4. 基礎実験

4.1 実験方法

廊下を歩行した際の、ビーコンの受信電波強度と焦電型赤外線センサの動き検知信号の変化を観察する基礎的な実験を行った。図 4.1 に実験装置、図 4.2 に機器の配置と歩行経路、図 4.3 に実験風景、表 4.1 に実験項目を示す。

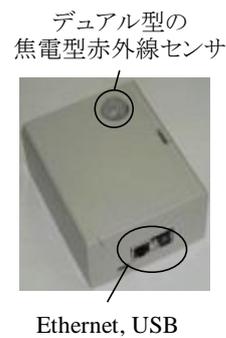
焦電型赤外線センサ搭載の人検知装置とビーコン装置の 5 セットを、廊下天井中央部に 5m 間隔、曲がり角は 6m 間隔で取り付けた。天井高は 2.6m である。人検知装置の検知範囲は、図 3.4 に示すように、通路幅 2m をカバーし、通路方向に約 1m となるようにマスクしたフレネルレンズを用いている。ビーコン装置の送信電力は 0~-20dBm, 4dBm 間隔で変化させた。

ビーコン受信機を携帯した人 1 名が廊下を歩行し、焦電型赤外線センサの出力信号と、ビーコンの受信電波強度 rssi を測定し記録した。1m/s で廊下の中央と両端を歩行し、各々の通行パターンを 3 往復した。ビーコン受信機の携帯の仕方は、BLE 基板をパソコンの USB コネクタに直接接続して腰の辺りで保持する遮蔽なしの方法、BLE 基板とパソコンを USB 延長ケーブルで接続し、胸ポケットとズボンポケットに入れた方法の 3 種類を行った。

表 4.1 通行実験の項目

Table 4.1 Items of walking experiments

項目	内容
通行	1 名, 1m/s, 廊下中央と端 (外回りと内回り)
携帯	遮蔽なしで腰, 胸とズボンのポケット
送信電力	0, -4, -8, -12, -16, -20dBm



項目	仕様
センサ	焦電型赤外線 RE200B, NL-11 (日本セラミック)
マイコン	Beagle Bone TI AM3359, Linux (Beagle Bone.org)
IF	LAN, USB
A/D	0.9±0.9V, 12bit
サイズ	125×100×45mm
重量	250g

(a) 人検知装置: 試作



項目	仕様
無線規格	Bluetooth Ver. 4.1
出力電力	0~-20dBm
電池	単 3×2
サイズ	50×70×27.5mm
重量	50g(電池除く)

(b) ビーコン装置: MyBeacon Pro(アプリックス社)

CC2540 USB EMK



項目	仕様
USB dongle	CC2540 Bluetooth Low Energy
IF	USB
SW tool	TI SmartRF Packet Sniffer (Windows)

(c) ビーコン受信機: CC2540 USB EMK (TI 社)

図 4.1 実験装置

Figure 4.1 Experimental devices

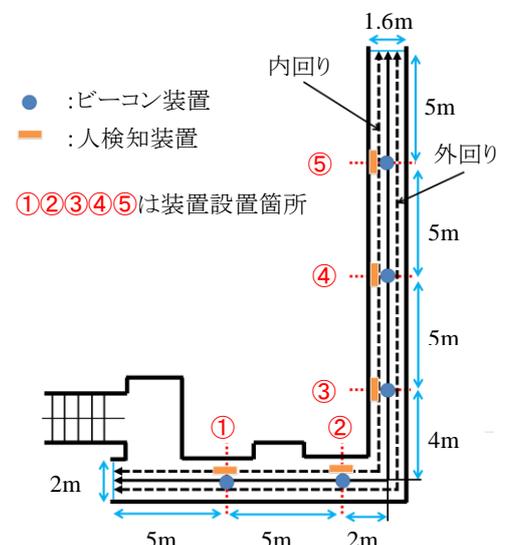


図 4.2 実験配置

Figure 4.2 Experimental layout



図 4.3 実験風景
Figure 4.3 Experimental scenes

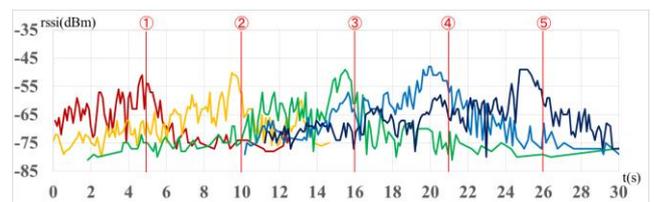
4.2 実験結果

ビーコン装置の送信電力-12dBmとし、ビーコン受信機を遮蔽せずに携帯した場合の、rssi の時間変化を図 4.4(a)に示す。歩行速度は 1m/s であり、1 秒は 1m と換算できる。100ms 毎に送信されるアドバタイズパケットに対する rssi はかなりばらついており、歩行毎にも異なる。

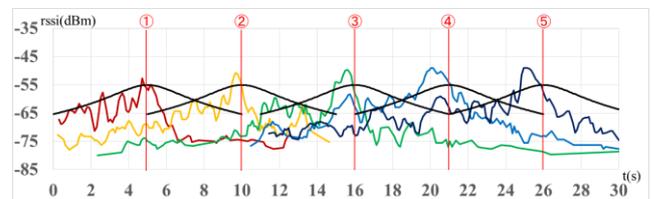
図 4.4(b), (c)に、時間幅 0.3, 1s の移動平均と、自由空間での距離 r m における電力 $P_r = P_1 - 20\log(r)$ (P_1 は距離 1m における受信電力、送信電力 -12dBm の時の実測値は -51dBm) を示す。移動平均によりばらつきの度合いは小さくなるが、自由空間での理論値のように単調増加・減少ではない。これは床や壁からの反射波によるフェージングが原因であると考えられる。ビーコン装置の真下ではなく手前で rssi が最大となる。原因は不明であり、アンテナの方向性などを含め、今後調査検討する。ビーコン装置から遠ざかる場合の傾きが、近づく場合の傾きより大きくなっているのは、人体により電波が遮蔽されるためと考えられる。移動平均の時間幅については、rssi の変動の度合いと遅延時間のトレードオフがあり、位置推定の手法に合わせて適切な時間幅を選ぶ必要がある。

図 4.5 に、送信電力を 0dBm~-20dBm とし、遮蔽せずに携帯した場合の rssi の時間変化を示す。ビーコン装置下を通過したことを検知するのであれば、ビーコン装置付近で傾きの大きなピークが存在するのが望ましい。図 4.5 においては-12dBm が適切と思われる。

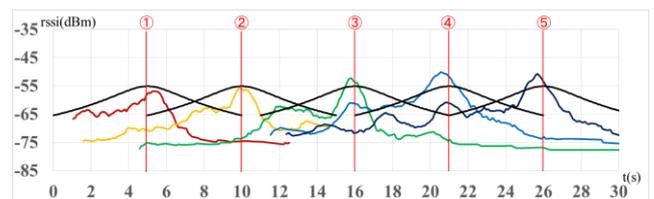
図 4.6 に、送信電力を-12dBm とし、通路の中央と両端を歩行した場合の rssi と焦電型赤外線センサの信号を示す。焦電型赤外線センサの動き検知については後で述べる。①と②に設置したビーコン装置の rssi は数 dBm 小さな値となっているが、これは階段踊り場のオープンスペース付近であることが影響しているかもしれない。大きな差はないが、rssi の大きさは外回り、中央、内回りの順番である。往路に比べ、復路の rssi が数 dBm 小さな値となる傾向がある。原因を調査検討する。



(a) 実測値



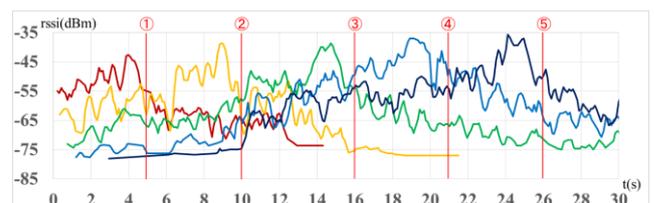
(b) 移動平均 0.3s



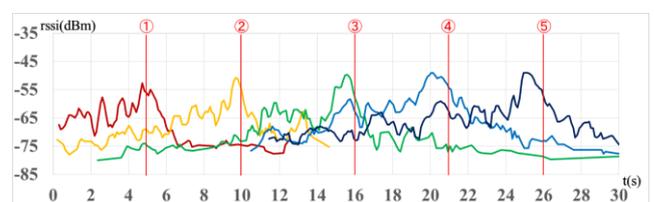
(c) 移動平均 1s

出力-12dBm, 受信機遮蔽なし, 廊下中央を 1m/s
黒色の曲線は自由空間での rssi 理論値

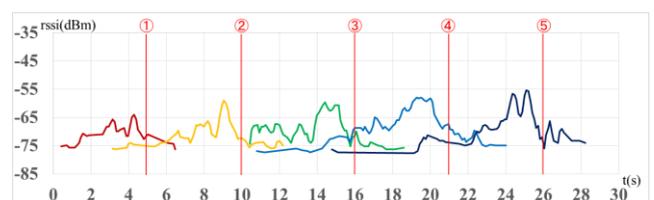
図 4.4 受信機移動に対する rssi 実測と移動平均
Figure 4.4 rssi for a receiver moving: raw and average



(a) 送信電力 0dBm



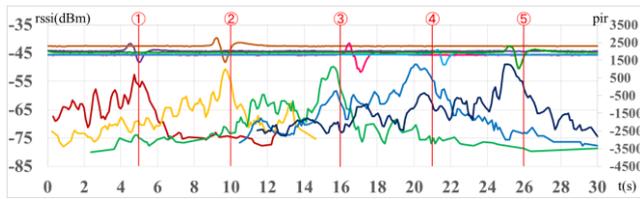
(b) 送信電力 -12dBm



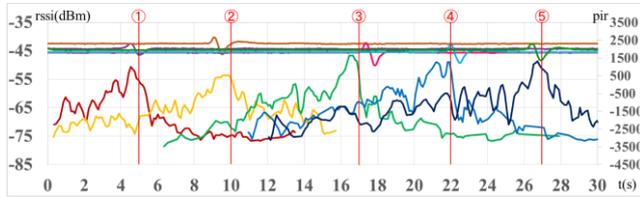
(c) 送信電力 -20dBm

受信機遮蔽なし, 廊下中央を 1m/s, 移動平均 0.3s

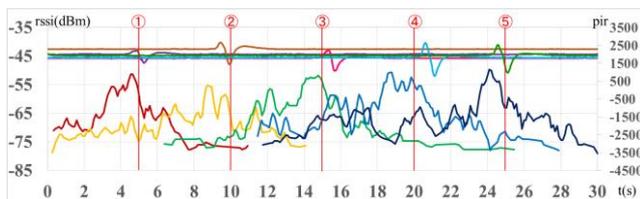
図 4.5 受信機移動に対する rssi 異なる送信電力
Figure 4.5 rssi for a receiver moving: different TR power



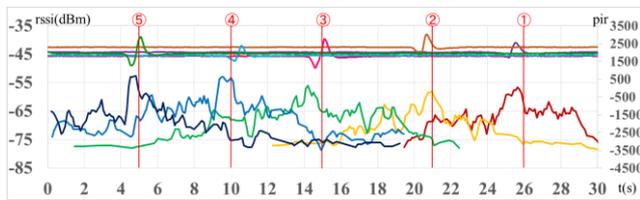
(a) 廊下中央 往路



(b) 外回り 往路



(c) 内回り 往路



(d) 廊下中央 復路

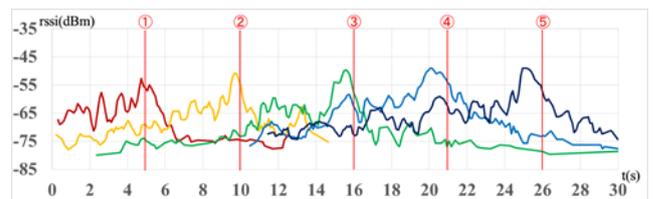
送信電力-12dBm, 受信機遮蔽なし, 移動平均 0.3s

図 4.6 受信機移動に対する焦電型赤外線センサの信号と rssi 異なる通行位置と方向

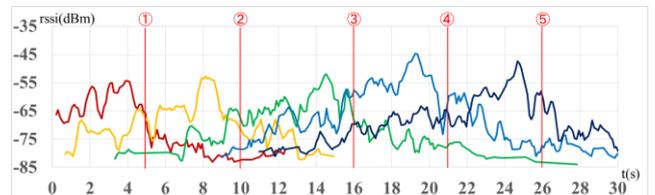
Figure 4.6 PIR sensor signal and rssi for a receiver moving: different walking positions and directions

図 4.7 に, 送信電力を 0dBm と-12dBm とし, 受信機の携帯を遮蔽なし, 胸ポケットおよびズボンポケットに入れた場合の rssi を示す. 胸ポケットの場合の rssi は遮蔽なしと同様であり, 電波強度への影響は少ない. ズボンポケットの場合, ビーコン装置のより手前で rssi が低下する. これは, 大腿部による遮蔽による可能性がある. rssi の極大値を基にビーコン装置の通過を判定するとすれば, 位置精度が悪くなる.

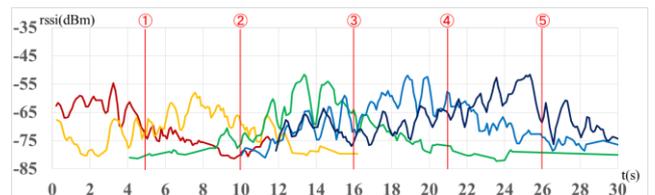
焦電型赤外線センサの信号は, 図 4.6 に示すように, 人検知装置から 1m 程度の範囲で, 動き検知を示すピークが発生している. 電波を利用した位置検出のように設置環境の影響は少なく, 通常の歩行であれば 1m 程度の精度で通過判定を行うことができる.



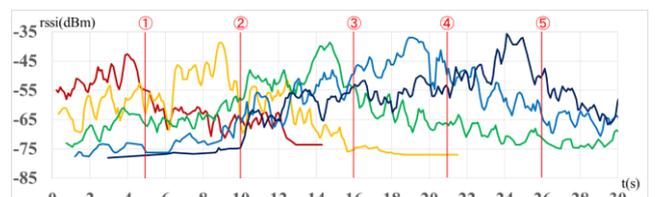
(a) 送信電力-12dBm, 遮蔽なし



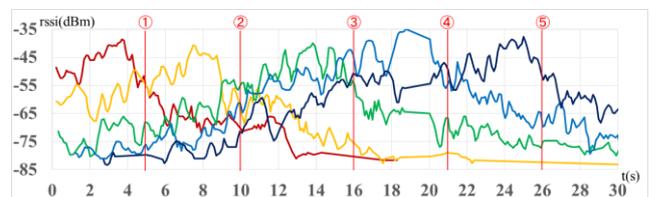
(b) 送信電力-12dBm, 胸ポケット



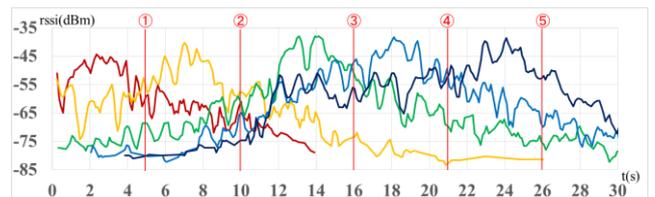
(c) 送信電力-12dBm, ズボンポケット



(d) 送信電力 0dBm, 遮蔽なし



(e) 送信電力 0dBm, 胸ポケット



(f) 送信電力 0dBm, ズボンポケット

移動平均 0.3s

図 4.7 受信機移動に対する rssi 異なる携帯方法
Figure 4.7 rssi for a receiver moving: shielded in a breast packet and a slacks packet, and not shielded

5. まとめ

匿名者と非匿名者の位置情報の統合利用と実現の基本アイデアを述べ、人を検知する焦電型赤外線センサとデバイスを検知する iBeacon を用いたシステムを提案した。また、実現可能性を検討するための基礎実験の結果を示した。

基礎的な実験を開始した段階であるが、iBeacon による非匿名者の位置推定が重要課題の一つであると考えられる。設置環境や受信機の携帯方法により受信電波強度は影響を受けるため、電波強度の値をそのまま利用するのではなく、廊下通行の制約の下で電波強度の時間的変化に基づき位置推定をするアプローチが考えられる。

今後は、色々な通行や携帯の仕方も含めて基礎実験を継続し、その結果に基づき位置推定方法を検討する。

参考文献

- 1) 別所正博, 小林真輔, 越塚登, 坂村健, “ユビキタスコンピューティングと屋内環境の位置認識,” 電子情報通信学会誌, Vol.92, No.4, pp.249-255(2009)
- 2) 河合基伸, “歩み出す屋内測位,” 日経エレクトロニクス, No.1109, pp.27-41, May, 2013
- 3) ハンズフリー入室管理システム
http://www.mitsubishielectric.co.jp/building/security/hands_free/
- 4) 鷺見和彦, “人を見る画像認識技術,” 情報処理, Vol.51, No.12, pp.1575-1582(2010)
- 5) 帷子京市郎, 中村克行, 趙卉菁, 柴崎亮介, “レーザーセンサを用いた歩行者通過人数の自動計測手法,” 情報科学技術レターズ, 5, pp.145-148, 2005
- 6) 秦淑彦, 赤松翔, 所春希, 前原有里, ABRAHAM M. GOLDSMITH, “タグ携帯者と非携帯者が混在する空間における非携帯者の検知と移動軌跡および人数の推定に関する一検討,” 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-43, No.4, pp.1-7, July 2014
- 7) 秦淑彦, 神田貴大, 山崎有祐, 大光茜, 三浦晃平, “人感センサネットワークを用いたスマートビル – 焦電型赤外線センサによる人物通過判定方式の改良について –,” 情報処理学会研究報告, Vol.2014-UBI-41, No.5, pp.1-8, March 2014
- 8) 河合基伸, “ビーコンでお手軽,” 日経エレクトロニクス, No. 1151, pp.21-35, January 2014
- 9) 上原昭宏, “iBeacon ハンドブック,” 達人出版会, 2014