

# 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

秦淑彦<sup>†1</sup> 赤松翔<sup>†1</sup> 所春希<sup>†1</sup> 前原有里<sup>†2</sup> ABRAHAM M. GOLDSMITH<sup>†3</sup>

近年、RFID タグやスマートフォン携帯者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。タグの携帯者と非携帯者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や追跡、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。そこで、我々はタグの携帯者と非携帯者の位置管理とその応用に関する研究を行っている。技術課題の一つとして、タグの携帯者と非携帯者が混在する空間において、タグ非携帯者を検知し移動軌跡および人数を推定する方式を考える。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タグの検知エリアを設定し、そのタグ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。人の検知には、機能や検知範囲の異なる 3 種類の方式を考える。人の検知に人感センサを使った方式に対する予備実験を行い、実現可能性を検討する。

## A Study on Detecting, Tracking and Counting People without RFID Tags among People with and without Them

TOSHIHIKO HATA<sup>†1</sup> SHO AKAMATSU<sup>†1</sup> HARUKI TOKORO<sup>†1</sup>  
YURI MAEHARA<sup>†2</sup> ABRAHAM M. GOLDSMITH<sup>†3</sup>

Indoor positioning technologies to position people with RFID tags and smart phones 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 and without tags, such as a security system for patients in a hospital, an intruder detection system in a building and efficient client services in a large-scale retail store. We consider techniques to detect, track and count people without tags among people with and without them. A device to detect people with and without RFID tags consists of two sub devices. One detects RFID tags within a relatively small area around an antenna and another detects people within the tag detection area. The devices should be installed at any places where people have to walk through to move one area to another in a building. Three methods with different sensors to detect people in the tag detection area could be used. We also make an elementary experiment for the system with a motion sensor and consider its feasibility.

### 1. はじめに

近年、RFID タグやスマートフォン携帯者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[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]。タグの携帯者と非携帯者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や追跡、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。そこで、我々はタグの携帯者と非携帯者の位置管理とその応用に関する研究を行っている。

技術課題の一つとして、タグの携帯者と非携帯者が混在する空間において、タグ非携帯者を検知し移動軌跡および人数を推定する方式を考える。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タグの検

知範囲を設定し、そのタグ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。人の検知には、機能や検知範囲の異なる 3 種類の方式を考える。

本稿では、まず、タグの携帯者と非携帯者の位置情報の収集と応用について述べる。そして、タグ携帯者と非携帯者が混在する環境において、非携帯者を検知しその移動軌跡および人数を推定する方式について基本検討を行う。さらに、人の検知に人感センサを使った方式に対する予備実験について報告する。

### 2. タグ携帯者と非携帯者の位置情報と利用

本稿では、RFID タグやスマートフォンなど、位置を測定するために人が携帯するデバイスを総称してタグと呼び、タグを携帯している人をタグ携帯者あるいは携帯者、携帯していない人をタグ非携帯者あるいは非携帯者と呼ぶ。以下に、タグ携帯者と非携帯者の位置情報の収集と応用アイデアについて述べる。

<sup>†1</sup> 広島工業大学 Hiroshima Institute of Technologies  
<sup>†2</sup> 株式会社 TCC TCC Incorporation  
<sup>†3</sup> MITSUBISHI ELECTRIC RESEARCH LABORATORIES

## 2.1 位置情報の収集

### (1) タグ携帯者の位置情報

タグ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) タグ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 位置情報の利用

従来、タグ携帯者と非携帯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、以下のような役立つ応用が考えられる（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、業者など様々な人が出入りし、各々に対して入室可能なエリアが細かく決められており、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、携帯させられない、携帯し忘れる患者が存在し、携帯者の後について誤って危険なエリアに入ってしまうことが考えられる。また、介護施設では、入居者の徘徊の問題もある。タグを携帯しない人を検知し、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。非携帯者の検知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知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。タグ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タグを携帯する従業員を配置できる。また、移動軌跡を分析し、例えば、商品が見つからず探し回っていると思われる顧客を見つけ、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

タグ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、タグ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、タグ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 タグ携帯者と非携帯者の位置情報の利用例  
Figure 2.1 Applications utilizing position information of people with and without RFID tags

## 3. タグ非携帯者の検知と移動軌跡および人数の推定

タグ携帯者と非携帯者の位置管理において重要な技術課題の一つは、携帯者と非携帯者が混在する空間において、非携帯者を検知し、その移動軌跡や人数を推定することである。以下に、実現に向けたアイデアと基本的な検討を述べる。

### 3.1 基本アイデア

タグ非携帯者の位置を検知し、移動軌跡と人数を推定するシステムの基本構成を説明する（図 3.1）。

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。この検知装置は、周囲のタグを検知する機能と、タグ検知範囲に存在する人、すなわち携帯者と非携帯者の両方を検知する機能を有し、両方の検知結果から非携帯者の存在を検知する。検

知情報は履歴としてサーバに記録される。

非携帯者の人数（人口密度）が少なければ、非携帯者の移動履歴を推定できる。非携帯者を検知した時点で、検知装置の設置情報と検知履歴情報を利用し、人の移動速度などの制約条件のもとに、逆追跡する。

通行人数を計測する機能を有する検知装置であれば、周囲に存在する人、あるいは検知装置間に存在する人の数を測定（推定）できる。

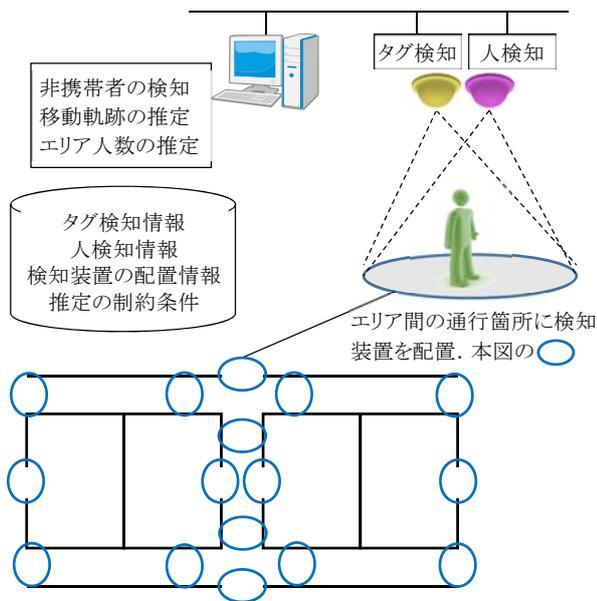


図 3.1 タグ携帯者と非携帯者の位置情報システムの基本構成

Figure 3.1 Basic system architecture for positioning people with and without RFID tags

### 3.2 実現アイデア

タグおよび人の検知は現在利用可能な技術を用いるという前提で、タグ非携帯者の位置を検知し、移動軌跡と人数を推定するシステムの実現アイデアを述べる。

タグ携帯者の測位はセンチメートルオーダ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。

タグ検知エリアに存在する人を検知する方式として以下の3方式を検討する。

#### ① 方式1

赤外線やレーザーなどを用いて人の有無を検知する人感センサを使い、タグ検知範囲に存在する通行者を検知する。検知エリアに携帯者と非携帯者が存在すれば、非携帯者を検知できないため、携帯者と非携帯者の人数（人口密度）が少ない環境に限定される。人感センサの一つである焦電型赤外線センサは非常に安価であり、検知装置を密に配置することにより、非携帯者の検知確率も向上し、ある程度

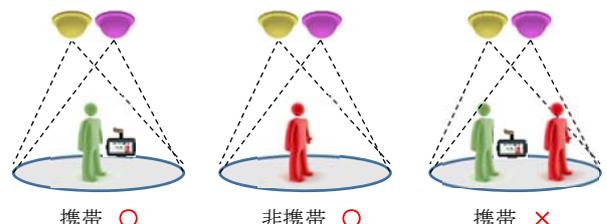
の移動軌跡推定も可能と思われる。

#### ② 方式2

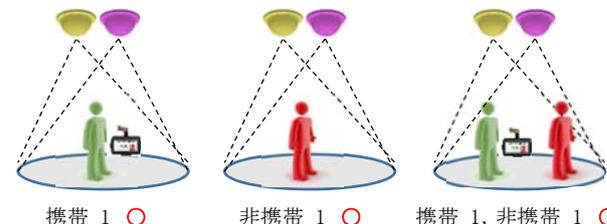
イメージセンサやレンジセンサを用いて一人一人を検知する装置を使い、タグ検知範囲に存在する通行者を検知するとともに、人数と移動方向を測定する。携帯者と非携帯者の人数（人口密度）が多くなって検知できる。検知装置周囲あるいは検知装置間に存在する人の数を推定できる。人感センサに比べ高価であり、検知装置を密に配置するのはコスト的に厳しい。安価な通行判定方式が研究されており[6]、それが使えれば位置精度の向上が期待できる。

#### ③ 方式3

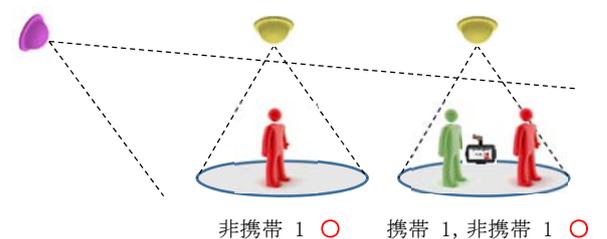
イメージセンサやレンジセンサを用いて一人一人を検知する装置を使うが、方式2と異なり、タグ検知範囲を含む広い範囲を監視するよう設定する。タグ検知範囲に存在する人の数と、監視範囲に存在する人の移動を追跡する。人数（人口密度）が多くなって検知できるが、通行者同士のオクルージョンの問題があり、非常に混雑している状況では検知ミスが発生する。監視範囲における人数計測や



方式1: 人検知は、検知範囲内に人が存在するかどうかを検知



方式2: 人検知は、一人一人を検知し、人数も測定



方式3: 人検知は、一人一人を検知し、人数も測定



図 3.2 タグ検知エリアにいる人を検知する方式  
 Figure 3.2 Methods to detect people in tag detection areas

個々の人物の追跡が可能である。方式2の装置と比べ、処理量が増える。

3方式の大まかな比較を表3.1に示す。

表3.1 検知方式の比較

Table 3.1 Comparison of people detection methods

	方式1	方式2	方式3
検知	△ 携帯者が少なければ可能	◎	○ オクルージョンの問題あり
軌跡	△ 人が少なく、密に配置すれば可能	○ 疎な配置であれば精度低い	◎ 広範囲で追跡
人数	× 粗い混雑度ならば可能性	◎	◎ 広範囲で人数計測
コスト	◎ 焦電型赤外線センサは単価数百円	△	△ 処理量多い複数タグ検知エリアをカバー
その他			障害物ない空間に限定 検知範囲の位置合わせ作業

### 3.3 非携帯者の検知精度

検知範囲に存在する非携帯者を検知できない検知ミスについて、その要因を以下に述べる。

- タグ検知における誤り

1～数 m 程度の位置精度であれば、検知範囲に存在しないタグを検知する、あるいは検知範囲に存在するタグを検知しないというタグ携帯者の検知ミスが発生する。これにより、正しく非携帯者を検知できない。

- 人検知における誤り

検知方式にもよるが、無線を用いるタグ検知方式よりは、精度よく検知範囲を設定できると考えられる。但し、人同士が接するほど近接して通行する場合や、方式3におけるオクルージョンの問題で検知ミスが発生する。

- 方式1の問題

検知範囲にタグ携帯者と非携帯者が存在すれば、非携帯者は検知できない。人同士がどの程度離れていれば検知できるのかが、方式1の重要な検討事項である。

- 時刻同期の問題

通行者は移動しているので、タグ検知と人検知は同じタイミングで行わねばならない。タグ検知と人検知で別々の装置を組み合わせる場合は、時刻同期に注意しなければならない。

上記の理由で、検知装置における毎回の測定では非携帯者の検知ミスが発生する可能性があるため、各検知装置において、ある時間区間に測定した複数の結果から判定する、隣接検知装置の測定結果も考慮して判定するなどの工夫が必要になる。

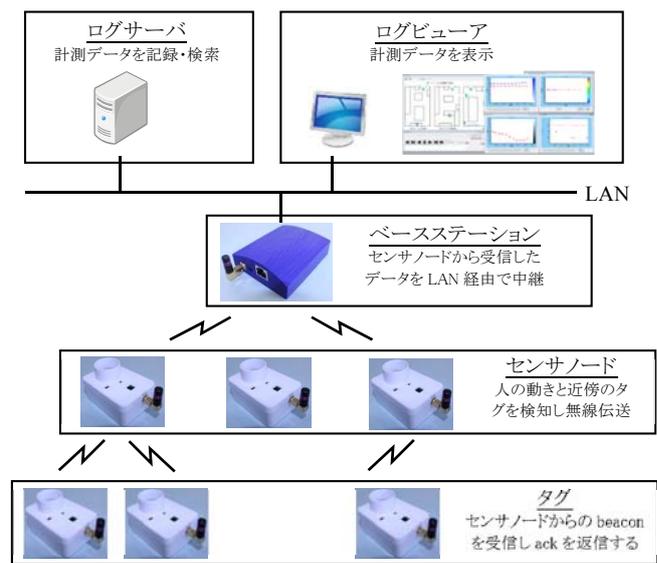
## 4. 方式1に関する基本的実験

### 4.1 実験システム

ビル内の人の動き情報を収集するために開発した人感センサネットワークのプロトタイプに[6]、タグを検知する機能を追加して、方式1に関する基本的実験を行う。実験システムの構成と仕様を図4.1に示す。

センサノード (SN) は人の動きを検知する焦電型赤外線センサ、IEEE802.15.4 無線通信機能、制御プログラムが動作するマイコンを備えており、人およびタグの検知を行う。タグは、SNと同じハードウェアを用い、マイコンと無線通信機能が動作する。タグ携帯者と非携帯者の検知の流れを図4.2に示し、以下に説明する。

- ① SN の検知範囲に通行者が入ると動きを検知し、beacon メッセージを無線送信する。そして、一定時間、ack メッセージを受信するモードに入る。
- ② 通行者がタグを携帯しておれば、タグが beacon メッセージを受信し、タグの ID を含む ack メッセージを無線送信する。
- ③ 通行者がタグを携帯していなければ、当然、ack メッセージは返信されない。



(a) システム構成

項目	仕様
センサ	人感: 焦電型赤外線 環境: 温度/湿度/照度
無線	IEEE802.15.4 SMA外付けアンテナ 技術基準適合証明
IF	JTAG
電源	CR123(3V)×1
サイズ	40×60mm



(b) センサノードとタグに用いた装置

図4.1 タグ携帯者と非携帯者の検知実験のシステム  
Figure 4.1 Experimental system for detecting people with and without RFID tags

- ④ SN は ack メッセージ受信モードにおいて、受信した ack メッセージの受信時刻とタグ ID をベースステーション (BS) 経由でサーバに送信する。ack メッセージを受信しなければ、動き検知のみであることを示すメッセージを送信する。

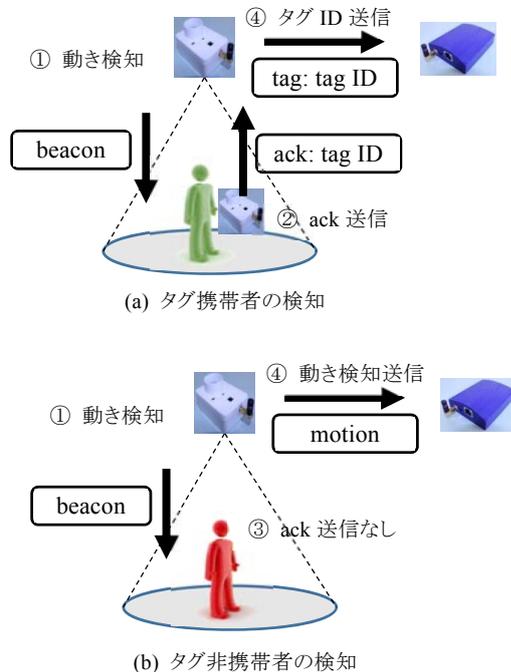


図 4.2 タグ携帯者と非携帯者の検知の処理フロー  
Figure 4.2 Processing flow to detect people with and without RFID tags

## 4.2 SN の検知範囲の設定

### (1) 人検知の方法と検知範囲

人検知にはデュアル型の焦電型赤外線センサを用い、人が通行することにより赤外線量が変化することを利用して動きを検知する。幅 2~3m の通路での使用を想定し、高さ 2.6~2.8m の天井にセンサを取り付け、その検知方向を通路方向に合わせる。フレネルレンズにより、センサから前後約 3m (床面上) までを検知範囲とする。

128ms 毎にセンサ出力をチェックし、一つ前あるいは二つ前の値との差が閾値以上であれば、動きありと判定する。動き検知した際、その前に beacon メッセージを送信した時刻から 896ms 以上経過しておれば、新たに beacon メッセージを送信する。従って、動きが連続する場合は、約 1 秒に 1 回、beacon メッセージが送信される。

### (2) タグ検知の範囲

実験に使用した無線チップ (Texas Instruments 製 CC2420) は無線電力を最小にしても 10m 程度の通信ができる。そこで、タグにおいて、受信した beacon メッセージの無線電力 rssi をチェックし、閾値以上であれば ack メッセージを返信することにより、タグの検知範囲を数 m 以内に絞り込む。SN とタグの距離と rssi の関係を求めるため、無線電力を

最小にし、SN とタグの距離を変化させて rssi 値を測定した。その結果を図 4.3 に示す。SN とタグの距離が長くなると rssi が減少する。単調減少ではないが、rssi を用いてある程度の検知範囲の絞り込みができると思われる。

SN とタグの間に服が存在する (服により遮られる) 影響は少ないが、人体が存在する (人体により遮られる) 場合は rssi がかなり小さな値となる。

今回は、できるだけタグの検知範囲を狭くしたい。図において、遮りがない場合の rssi の変化を見ると、rssi が -70~-75dBm で閾値を探るのがよいと思われる。

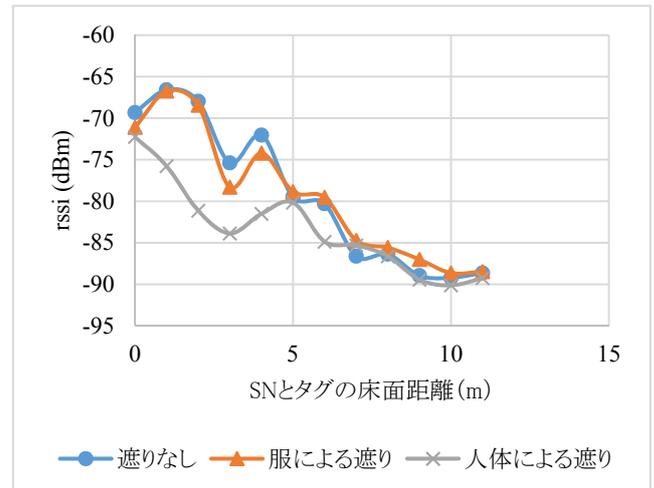


図 4.3 SN からの距離を変化させた場合の rssi  
Figure 4.3 Rssi value at different distances from SN

そこで、rssi の閾値 -70~-75dBm に対して、SN とタグの距離を変化させて、タグ検知回数を測定した。タグを持って静止し、beacon を 15 回送信して ack の返信回数を測定し検知率を求めた。rssi 閾値 = -74dBm のタグ検知率を図 4.4 に示す。遮りがない場合、2m 以内で 80% 以上、3m で 27%、4m で 0% の検知率となり、検知範囲は半径 3~4m と考えられる。-73dBm 以上にすると、半径 2m 以内での検知率がかなり低下するため、-74dBm~-75dBm が適当と思われる。

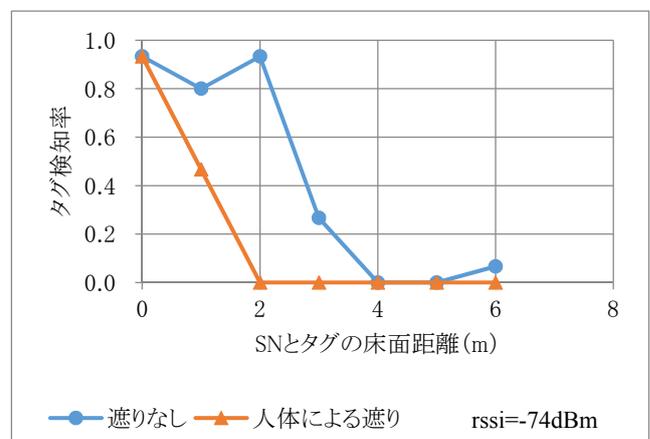


図 4.4 SN からの距離を変化させた場合のタグ検知率  
Figure 4.4 Tag detection rate at different distances from SN

### 4.3 SN1 台を用いた歩行実験

SN1 台を設置し、1 人が歩行した場合の検知範囲と、タグ携帯者と非携帯者がどの程度離れて歩けば、非携帯者を検知できるかを確認するための実験を行った。図 4.5 に示すように、実験室の天井中央付近に SN を取り付け、対角方向に速度 1m/s で歩行した。

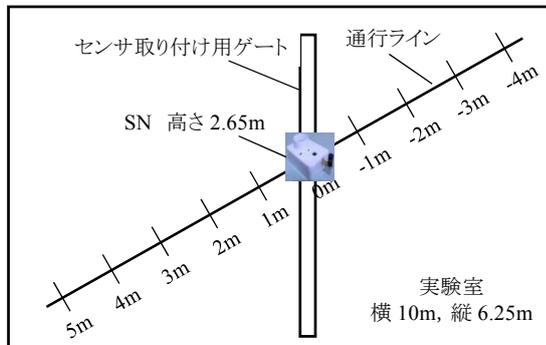


図 4.5 歩行実験における配置図  
Figure 4.5 Layout of walking experimentation

#### (1) タグ携帯者 1 人が立ち止った状態におけるタグ検知

4.2 とは測定場所が異なるため、 $rss_i$  閾値が  $-74$  と  $-75dBm$  の場合について、SN とタグの距離を変化させ、タグ検知率を測定した。 $rss_i$  閾値  $= -75dBm$  の場合を図 4.6 に示す。正の距離の地点では人体による遮りはなく、負の距離の地点ではタグが人体により遮られる。

4.2 の結果と異なり、 $-1m$  と  $2m$  の地点でタグを検知していない。これは、SN を取り付けた鉄製のゲートが影響した可能性がある。この地点を除けば、タグを検知するおおよその範囲は、人体で遮らない場合に  $3\sim 4m$ 、人体で遮る場合に  $2\sim 3m$  となる。

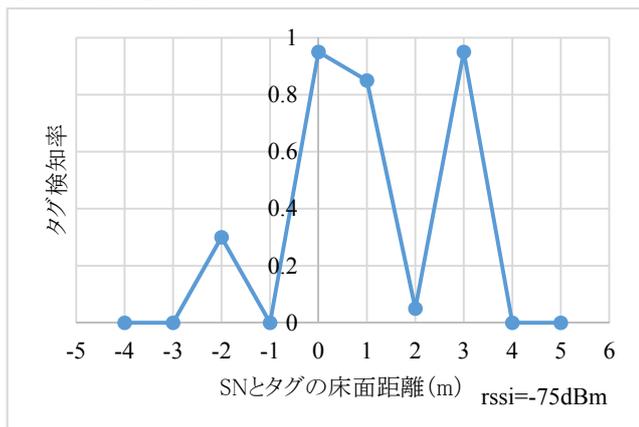


図 4.6 SN からの距離を変化させた場合のタグ検知率  
Figure 4.6 Tag detection rate at different distances from SN

#### (2) タグ携帯者 1 人が歩行

$rss_i$  閾値  $= -75dBm$  とし、タグ携帯者 1 人が  $4m$  から  $-4m$  まで 5 往復した。  $2m$  から  $-3m$  までの間で動きを検知している。動き検知の範囲は移動方向に依存し、センサに近づく

場合は遠ざかる場合より小さい。全ての通行でタグを検知し、検知回数は 1 通行当たり 1~3 回である。実験システムの実装の問題で、どの動き検知でタグを検知しているかは不明である。

#### (3) タグ携帯者 1 人の後ろを非携帯者 1 人が歩行

$rss_i$  閾値  $= -75dBm$  とし、タグ携帯者 1 人の後ろを非携帯者 1 人が  $4m$  から  $-4m$  まで 5 往復した。2 人の間隔は  $0.5\sim 4.5m$  まで  $0.5m$  ずつ変化させた。間隔  $3m$  以上であれば、多くの通行において、歩行の最後で動き検知のみ (タグ検知しない) が 3 回以上連続している。間隔  $2.5m$  以下であれば、歩行の最後で動き検知のみが 1~3 回連続している。(2) で述べたタグ携帯者 1 人の歩行では、歩行の最後で動き検知のみが  $0\sim 2$  回連続する。このことから、2 人の間隔が  $3m$  以上であれば、タグ非携帯者を検知できる可能性がある。

#### (4) タグ非携帯者 1 人の後ろを携帯者 1 人が歩行

携帯者と非携帯者の順序を逆にして、(3) と同様な方法で測定した。この場合は、 $3m$  離れても歩行の最初で動き検知のみ (タグ検知しない) が 1~4 回連続であり、(2) で述べたタグ携帯者 1 人の歩行と区別がつかず、非携帯者の検知は難しい。これは、近づいてくる歩行者に対してセンサの検知範囲が  $2m$  程度しかないためと思われる。 $4.5m$  離れると、多くの通行において、歩行の最初で動き検知のみが 3 回以上連続するため、タグ非携帯者を検知できる可能性がある。

### 4.4 評価

今回は SN の近くでタグを検知できない地点があり、かなり特殊な結果となった可能性がある。今後、場所を変えて再実験を行う。今回の実験項目に加えて、以下を実施する予定である。

- SN1 台に対して、非携帯者の近傍に立ち止っている携帯者の影響
- 複数の SN を設置した際の、タグ検知への影響
- 多数のセンサを設置して、複数人による、より実際に近い歩行での検知

人検知の範囲は通行方向に依存しない方が望ましい。今回は変化量のみ単純な判定であり、センサ信号を観察して判定方法を検討する必要がある。

タグおよび人の検知範囲を半径  $3m$  に設定できたとし、SN を  $6m$  間隔で設置すると、少なくとも非携帯者の周囲  $6m$  に携帯者が存在しなければ検知できることになる。ビルの通路における照明装置は  $5m$  程度の間隔で取り付けられており、最近では同じ間隔で人感センサを取り付け、照明制御をしている。タグの携帯者と非携帯者の位置管理と照明制御を組み合わせた応用が考えられる。

タグの移動速度や、人体による遮りなど、 $rss_i$  は距離以外の要因によりかなり変化する。今回は、SN とタグ間の通信回数を減らすために、連続して動き検知しても beacon は約 1 秒以上間隔をあけるようにした。移動速度が速くなると、

タグの検知ミスが増加すると予想されるため、beacon 送信間隔は短くして、個々のタグの応答間隔を長くするなどの工夫が必要と思われる。

## 5. まとめ

タグの携帯者と非携帯者の位置情報を統合利用することにより、病院における患者の安全確保や大型店舗における効率的な接客サービスなどが可能であることを述べた。そして、タグ携帯者と非携帯者が混在する環境において、非携帯者を検知しその移動軌跡および人数を推定する方式について、基本アイデアを示した。また、人の検知に人感センサを使った方式に対する実現可能性を検討するための実験システムを説明し、予備実験の一部について報告した。

今後、人感センサおよび他の人検知手法を用いた方式について、基本的実験を行い、実現可能性を検討する。

**謝辞** 平素より貴重なご助言を頂く三菱電機株式会社 松下雅仁部長に深謝致します。

## 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) ハンズフリー入退室管理システム  
[http://www.mitsubishielectric.co.jp/building/security/hands\\_free/](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, 麻生圭祐, 比良健人, 福庭涼, 永瀬司, “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行判定に関する一検討 —,” 情報処理学会研究報告, Vol.2013-UBI-37, No.12, pp.1-8, March, 2013