

# UHF 帯 RFID を用いた動画像中の人物同定\*

森下 壮一郎\*\* 福田 一郎\*\*\* 新井 義和† 山下 淳\*\*\* 浅間 一\*\*\*

Identification of the Person in Video Sequence by Using UHF band RFID System

Soichiro MORISHITA, Ichiro FUKUDA, Yoshikazu ARAI, Atsushi YAMASHITA and Hajime ASAMA

For construction of the service system in the public accommodation, for example museums, art galleries and so on, we propose a method to relate attribute information to each trajectory of the one who has RF tag. Specifically, at first the trajectories of the people are measured from the video captured from a fixed camera. Next, the trajectories are combined with attribute information obtained from UHF band RFID system according to on-off pattern of each RF tag readability. To verify the proposed method, some experiments were performed in a large space which is assumed as public accommodation. As the result, in the first 1 sec from the start of measurement, the accuracy rate exceeds 75%. Moreover, it exceeded 90% in the first 6 sec and it reached to 100% in the first 8 sec.

**Key words:** personal identification, trajectory measurement, RFID, image processing, intelligent environment

## 1. 序 論

博物館や美術館などの公共施設における道案内や動線誘導などを行うサービスシステムを実現するには、歩行中の人物の位置情報と属性情報とを同時に得て相互に関連づけることが必要である<sup>1)</sup>。一般に、複数の人物が存在する環境で属性情報および位置情報を同時に検出および計測することは困難である。環境に設置された画像センサで得られる情報を用いて、人物の位置計測のみならず、個人識別をする手法は種々提案されている。しかしながら、公共施設でサービス提供を目的とするときには、個人識別よりむしろ年齢層や性別、用いる言語などの属性情報が得られることが重要である。そのためには、利用者に電子タグを所持させるのが簡便で誤判別が少ない方法の一つである。

電子タグは IC チップとアンテナにより構成され、電波を用いて IC チップの情報の読み書きを行うものであり、特に個人識別を目的とするものを RF タグと呼び、そのシステムを RFID (Radio Frequency IDentification) と呼ぶ。RF タグは、電源供給方式の違いによりアクティブタグとパッシブタグの 2 種に分類される。アクティブタグは内部の電池からの電源供給で駆動し、パッシブタグはリーダ/ライタから発信される電波により生じる起電力で駆動する。パッシブタグに比べて通信可能距離が長い、電池寿命の問題があることと、パッシブタグに比べてタグ自体の価格が高くなり、またサイズが大きくなるなどのデメリットがある。一方、パッシブタグは半永久的に利用できるメリットがあるが、通信可能距離は短くなる<sup>2)~4)</sup>。これを用いて入退場管理を行うことで、属性情報と位置情報とを対応付けることは可能である。しかしながらその場合、利用者が能動的に RF タグをリーダにかざす必要があり、利便性の点で難がある。

リーダもしくはタグのいずれかの位置が既知であれば、読み取り可能範囲の大きさの分の曖昧さは残るものの、もう一方のデバイスの位置を同定できる。このことから RFID システムを用いて環境中の人物の位置を同定しようとする研究が種々見受けられる。例えばリーダを環境中の要所に設置すればエリア間の移動を追跡できる。井上らは、室内および廊下に設置した RFID リーダの読み取り情報に基づいてアクティブタグを持った人物の移動経路を推定している<sup>5)</sup>。また屈らは同様に住宅内に RFID リーダを複数配置してアクティブタグを持つ人物の部屋滞在行動を観測している<sup>6)</sup>。なお複数のリーダを網羅的に環境に設置すると連続的な移動履歴が得られるが、設置コストの点で難があるので、タグの方を環境に設置して人物にリーダを所持させることが多い。遠田らはスリッパ型の RFID リーダを開発して、床にパッシブタグを多数配置してスリッパを履いている人物の移動軌跡を得るシステムを構築している<sup>7)</sup>。また朴らは、やはり床にパッシブタグを多数配置して自律移動ロボットのナビゲーションを行っている<sup>8)</sup>。前述のようにアクティブタグは電池で駆動するので交換が必要であり保守に難点がある。そのうえ高価格であるので、公共施設を訪れる不特定多数の人々に所持させる用途には向かない。一方パッシブタグを用いるものは保守性や価格の点で優位であるが通信可能距離が短く、使用する周波数によるものの最も普及している 13.56 MHz のもので最大 1 m 程度である。したがって公共施設の広い空間での用途には向かない。

パッシブタグのうちでも UHF 帯 RFID は最大通信距離が 7 m 程度と最も長い。日本国内では従来この周波数帯はアナログ携帯電話に割り当てられていたが、2000 年のアナログ携帯電話サービス終了に伴って 2005 年から電子タグの利用に割り当てが開始され、高出力タイプについては 952-954 MHz の帯域が利用できることになった。UHF 帯 RFID は高い保守性および低価格性による導入のしやすさと、長い通信可能距離とを両立するものである。ただし欠点として、アンテナサイズが比較的大きくなってしまったり、高周波であるため水透過性が低いなどの点が挙げられる。しかしながら、公共施設に設置する用途においてアンテナのサイズは特に問題にならない。また

\* 原稿受付 平成 26 年 11 月 11 日

掲載決定 平成 27 年 2 月 16 日

\*\* 正 会 員 電気通信大学 脳科学ライフサポート研究センター  
(東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1)

\*\*\* 正 会 員 東京大学大学院

† 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

水透過性の低さにより、例えばタグとアンテナの間に人物が介入したときなどに読み取れなくなるが、本稿で想定する用途ではタグの情報が常に読み取れる必要はなく、タグを所持する人物が通信可能範囲内に存在するときのいずれかのタイミングで読み取ればよいので、やはり大きな問題にはならない。しかしながら UHF 帯 RFID は読み取り可能範囲が広いことから、その範囲内に存在するどの人物がそのタグを持つのか特定することは困難になってしまう。一方、画像センサでは環境中の人物の位置を特定できるが、属性情報を得ることが難しい。この両者を組み合わせることで互いの欠点を補って、人物の属性情報と移動軌跡とを相互に対応付けて取得するシステムが実現できると考えられる。

以上の理由により本稿では、公共施設において個人に適用したサービス提供を可能にするシステムの構築を目指し、画像センサを用いて取得した人物の移動軌跡と、UHF 帯 RFID で取得した属性情報とを対応付けるシステムを構築する。

## 2. UHF 帯 RFID を用いた人物位置同定法

本節では、まず UHF 帯 RFID を用いた人物位置同定の関連研究について述べ、それぞれの難点を指摘する。

公共施設で UHF 帯 RFID を用いた例として、脇田らによる行動履歴情報の可視化システムが挙げられる<sup>9)</sup>。これは、大型ディスプレイの前に UHF 帯 RFID リーダとカメラを設置し、読み取り範囲に入ったタグの情報をカメラ画像に重畳して表示するものである。カメラの撮像範囲とリーダの読み取り範囲とが概ね重なるように配置することで、あたかもカメラに写っている人物の情報がディスプレイに表示されているように見える。しかしながらこれは複数の人物が同時に領域内に入ったときの、各人物との対応付けは行えない。

坪井らは、天井に多数の UHF 帯 RFID のパッシブタグを配置してリーダの位置同定を行っている<sup>10) 11)</sup>。UHF 帯 RFID のリーダは前述のように比較的大きいので、人物に所持させるのは現実的ではない。

また UHF 帯 RFID の特性の長い通信可能距離は位置同定については難点となる。複数のリーダを配置して、受信電力強度を手がかりに距離を推定することも考えられるが、特にパッシブタグの場合はタグとアンテナの相対的な角度によって受信電力強度が変化してしまう上に、電波伝搬環境の影響を強く受ける。また電波伝搬環境のモデル化も困難である。神谷らは、複数のタグが環境中に存在するときの読み取り速度の性能評価のためのエミュレーションを行っているが、電波伝搬環境のモデル化には至っていない<sup>12)</sup>。

以上のことから、UHF 帯 RFID システムのみで人物の位置同定を行うのは困難である。これを解決するには、前節で述べたようにカメラ画像で人物位置を取得して対応付ける方法が有効である。中嶋らは、アクティブタグとカメラ映像を用いた人物同定手法を提案している<sup>13)</sup>。RFID リーダを複数設置してそれぞれから得られる各タグの受信電力強度からタグの存在する領域を推定して、カメラ画像から得られる人物の位置とタグ ID とを対応付けている。しかしながら前述のとおり保守性の観点からアクティブタグよりもパッシブタグの方が望ましい。本稿では UHF 帯 RFID のパッシブタグを利用し、受信電力強度を用いずに推定を行う手法を提案する。次章では、その具体的な方法について述べる。

## 3. 読み取り可不可情報に基づく移動軌跡との対応付け

本節では、画像から得られる複数人物の移動軌跡と RFID から得られるタグ情報とを対応付ける手法を提案する。前述のように、本研究で提案する手法は、博物館や美術館などの公共施設での利用を想定している。具体的には、10m 四方程度の広さの展示室に 5 名程度の閲覧者が同時に存在するような環境で、カメラで位置情報を検出しながら、属性情報をリアルタイムに対応付けられるシステムを構築する。そのための最低限の設備として、固定カメラと RFID リーダをそれぞれ 1 台ずつ設置する。なお、展示物の閲覧中に情報提示を行うことを想定しているので、閲覧室に入ってから 10 秒ほどで属性情報が対応づけられれば良い。

提案手法の概要を図 1 に示す。環境に設置した UHF 帯 RFID リーダによってタグの読み取り不可情報（読み取りが可能か不可能かを経時的に計測した情報）を取得する（左上部）とともに、環境に設置したカメラにより、人物が移動する動画像を取得し、背景差分等の画像処理により移動物体軌跡を推定する（右上部）。また、過去に蓄積したデータから移動物体軌跡と各位置での読み取り確率をあらかじめ算出し、データベース化しておく（中央上部）。計測されたタグ読み取り可不可情報と推定された移動物体軌跡からデータベースに基づきスコアを計算する（中央部）。スコアとは、移動軌跡がタグを保持している各人物のものである可能性の程度を表す指標である。最後に、スコアを比較することによりどの移動軌跡がどの ID の人物であるかの対応付けを決定する（中央下部）。本研究では、移動軌跡の取得には背景差分法と EM アルゴリズムを用いた抽出手法<sup>14)</sup>を適用する。また、属性情報の取得には UHF 帯 RFID システムより得られるタグ ID の読み取り情報を用い、特に時系列データとして取得可能なタグの読み取り可不可情報に着目する。

UHF 帯 RFID システムによって得られる複数枚のタグの読み取り情報とカメラ映像より得られる複数の移動軌跡との組み合わせの中から尤もらしい組み合わせを抽出する手法を提案する。本手法によりタグ ID とカメラ映像から背景差分法によって得られる複数人物の移動軌跡とを関連付けることにより人物同定を行う。

### 3.1 読み取り可不可情報

前述の UHF 帯 RFID の特性により、受信電力強度を用いたタグ位置の同定は困難である。また、サービス対象となる人は時間経過に伴い移動するので、必ずしもアンテナに対して正対しているとは限らず、タグ-アンテナ距離と角度や電波空間は時々刻々と変化するので、静的な環境を想定した手法は適用できない。

本稿ではタグ読み取りデータの中でも、受信電力強度ではなく、時系列データとして得られるタグの読み取り可不可情報を用いることとする。タグ読み取り可不可情報はタグ読み込みが可能であるか否かの真偽値として取得される。

タグの読み取り可不可情報の時系列データ  $\mathbf{r}$  を次のように定義する。

$$\mathbf{r} = (r_1, r_2, \dots)$$
$$r_t = \begin{cases} 0, & \text{if the RF-tag is not readable} \\ 1, & \text{if the RF-tag is readable} \end{cases} \quad (t = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

以下、これに基づいてタグ読み取り確率を計算する。

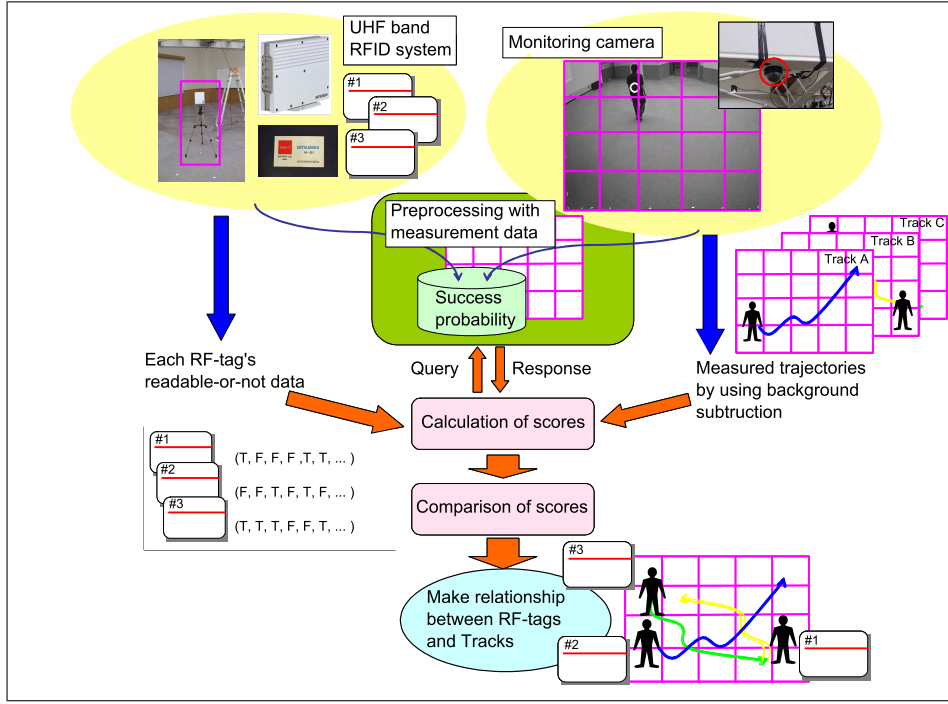


Fig.1 Overview of the proposed method

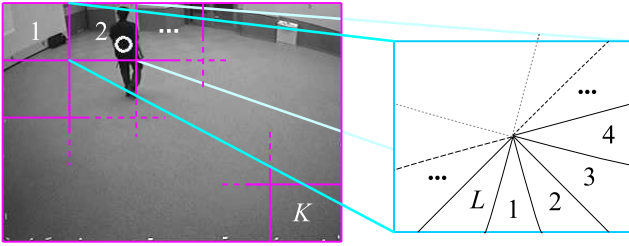


Fig.2 Partitioning of a rectangular region and angle region

### 3.2 タグ読み取り確率

UHF 帯 RFID の特性から、アンテナとタグのなす角度が 0 rad のとき受信電力強度が最大となり、このときタグを最も読み取りやすいといえる。ただし、タグの前に人間が立つと電波が遮蔽されタグの読み取りが不可能となる。つまり、人がタグを ID カードなどのように首から吊るす形態で体の前面に所持した場合はタグの読み取りが不可能になる。また、タグとアンテナが正対している場合であっても、アンテナとの距離が離れていると読み取りができない。すなわちタグ読み取りの可不可にはタグとアンテナの角度およびタグとアンテナ間の距離の双方が重要な要素になるであろう。この考えに基づいてタグ-アンテナ角度および距離情報を用いたタグ ID と移動軌跡の関連付け手法を考案する。

まず、図 2 のようにカメラ映像を矩形の小領域に分割し、さらにその小領域を角度によって分割する。ここに、矩形領域分割数を  $K$ 、角度分割数を  $L$ 、各矩形領域を示す番号を  $k = (1, 2, \dots, K)$ 、各矩形領域内での角度領域を  $l = (1, 2, \dots, L)$  とおく。分割数はそれぞれ精度と計算量を考慮に入れて決定する。

次に、環境中にタグを持つ人物が 1 人しかいない状況で計測を行い、そのときの移動軌跡データおよびタグ読み取りデー

タを用いて各領域  $(k, l)$  におけるタグ読み取り確率  $p_{kl}$  を算出する。ある時刻  $t$  における画像中の人物の位置を  $(x_t, y_t)$  として、さらにその人物の向いている方向を表す角度  $\theta_t$  を進行方向で近似して、画像の下方向が 0 rad となるように、

$$\theta_n = \text{atan} \left( \frac{y_t - y_{t-1}}{x_t - x_{t-1}} \right) + \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

と計算する。そして、 $(x_t, y_t)$  および  $\theta_t$  に対応する矩形領域番号  $k$  と角度番号  $l$  を図 2 に基づいて決定する。なお、角度  $\theta_t$  を計算するにあたって、時間分解能に対して空間分解能が小さすぎると、微小な変動に対する角度の変化が大きくなりすぎてしまい、空間分解能が小さすぎると、角度の変化を検出できなくなる。これについては、上記の移動軌跡データについて角度番号が適切に割り当てられるように空間分解能を設定することで対応する。

さらに各領域  $(k, l)$  におけるタグ読み取り確率  $p_{kl}$  を次式で定義する。

$$p_{kl} = \frac{m_{kl}}{M_{kl}} \quad (3)$$

ここに、 $M_{kl}$  は領域  $(k, l)$  に人物が存在するときにタグ読み取りを試みた回数、 $m_{kl}$  はそのうちタグが読み取り可であった回数である。

### 3.3 スコアの定義

以上の手続きでタグ読み取り確率が得られている環境下で計測した述べ  $N$  人の移動軌跡データと  $M$  個のタグ読み取りデータ列について、人物  $i$  の移動軌跡データに対応するタグ  $j$  のスコアをそれぞれ計算する。ただし、画像中に新しく人物がフレームインする度に延べ人数  $N$  は逐次増加する。またフレームアウトした移動軌跡については、それまでに計算したスコアを破棄するものとする。

まず、人物  $i$  の移動軌跡データ  $Q_i$  を次のように表す。

$$Q_i = \begin{pmatrix} x_{i1} & \dots & x_{iT} \\ y_{i1} & \dots & y_{iT} \\ \theta_{i1} & \dots & \theta_{iT} \end{pmatrix} = (\mathbf{q}_{i1} \dots \mathbf{q}_{iT}) \quad (4)$$

ただし、 $\theta_{it}$  は前述の式 (2) の計算で得られる値である。

さらに人物の位置  $\mathbf{q}$  に対応する領域におけるタグ読み取り確率を表す関数  $f$  を、

$$f(\mathbf{q}) = p_{kl} \quad (5)$$

と定義する。ここに、 $k, l$  は前述の図 2 に基づいて決まる領域番号である。

そしてタグ  $j$  の読み取りデータ列を  $\mathbf{r}_j = (r_{j1}, r_{j2}, \dots, r_{jT})$  として、スコア  $S_{ij}$  を以下のように定義する。

$$S_{ij} = \sum_{t=1}^T \{r_{jt}f(\mathbf{q}_{it}) + (1 - r_{jt})(1 - f(\mathbf{q}_{it}))\} \quad (6)$$

この計算により、タグが読み取り可であったとき、つまり  $r_{jt} = 1$  のときにスコア  $f(\mathbf{q}_{it})$  が加算され、タグが読み取り不可であったとき、つまり  $r_{jt} = 0$  のときにスコア  $1 - f(\mathbf{q}_{it})$  が加算される。このようにスコアを定義することで、タグの読み取りが可であるときだけでなく、タグ読み取り不可であるときの情報も加味できる。

アンテナと人物位置（タグ位置）の距離が近いかなンテナとタグの角度が  $0 \text{ rad}$  に近いほどタグ読み取り確率は大きくなり、逆にアンテナと人物の距離が遠いか、角度が大きいほどタグ読み取り確率は小さくなるのが期待される。例えば、ある人物がアンテナに非常に近くかつアンテナとなす角度が小さい時に、読み取り可であるタグが存在すれば、そのタグはその人物が所持している可能性が高い。一回限りのタグ読み取りでは他の読み取り可となるタグとの区別ができないので、移動軌跡と読み取りデータ列を時系列で観測し、スコアを加算していくことで、移動軌跡および読み取りデータ列のパターンの整合性を観測できる。したがって、移動軌跡と読み取りデータ列のパターンの整合性が高いほど、スコアは大きくなる。

#### 4. 実環境下における人物同定実験

本節では、提案手法の有用性を検証するために実環境下で行った実験について述べる。まず実験に用いた UHF 帯 RFID システムと環境について述べ、次にその UHF 帯 RFID システムについて、タグ-アンテナ間距離と相対角度に応じた受信電力強度を測定して読み取り特性について考察する。さらに、環境中に人物が 1 人しかいないときのスコアの推移について議論し、最後に環境中に 2 人のタグを持つ人物がいるときのスコアを計算して移動軌跡とタグとの対応付けを行って、その結果について考察する。

##### 4.1 実験機器および環境

三菱電機社製 RFID リーダ/ライタ装置 RF-RW002 および対応する RF タグを使用した。タグには標準タグおよび金属貼付用タグの 2 種類があるが、人体は導電体であることを考慮に入れて、高誘電体に貼付するために作られている金属貼付用タグを用いて実験を行った。RFID リーダ/ライタ装置の主な性能を表 1 に示す。RFID リーダ/ライタ装置、アンテナの外観を図 3 に、タグの外観を図 4 に示す。

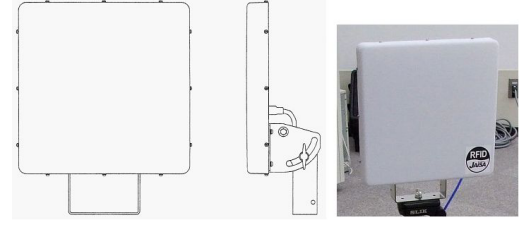


Fig.3 Antenna for RFID reader/writer



Fig.4 RF-tag for attachment to metal with a smart card for comparison

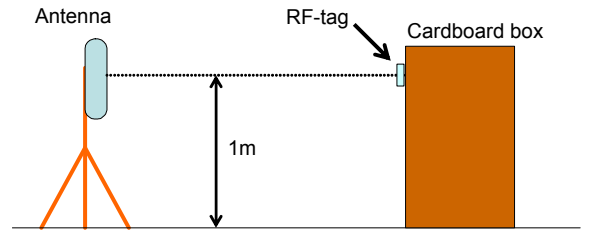


Fig.5 Overview of relative position relation between a RF-tag and an antenna

#### 4.2 読み取り特性に関する予備実験

本実験で採用した UHF 帯 RFID システムでタグ-アンテナ間距離と相対角度に応じた受信電力強度を測定して読み取り特性について考察するために予備実験を行った。

##### 4.2.1 実験設定

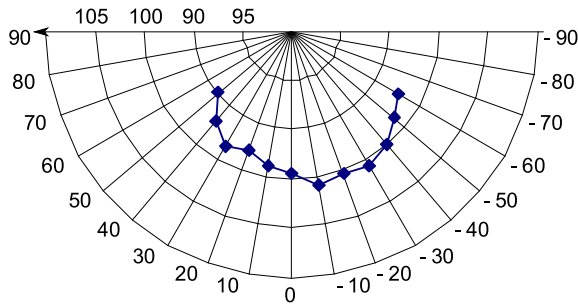
アンテナは三脚に固定し、アンテナの高さが  $1 \text{ m}$  になるように調整した (図 5)。また、タグはアンテナ同様に床からの高さが  $1 \text{ m}$  となるように段ボールに貼り付けて、アンテナとの距離と角度を調整しながら測定を行った。まずタグ-アンテナ間距離を  $1.5 \text{ m}$  とし、相対角度を  $-90 \text{ deg}$  から  $90 \text{ deg}$  まで  $10 \text{ deg}$  毎に変化させて測定した。次にタグ-アンテナ間距離が  $1.5 \text{ m}$  と  $2.0 \text{ m}$  の場合について、相対角度を  $-30 \text{ deg}$  から  $25 \text{ deg}$  まで  $5 \text{ deg}$  毎に変化させてそれぞれ測定した。

##### 4.2.2 結果と考察

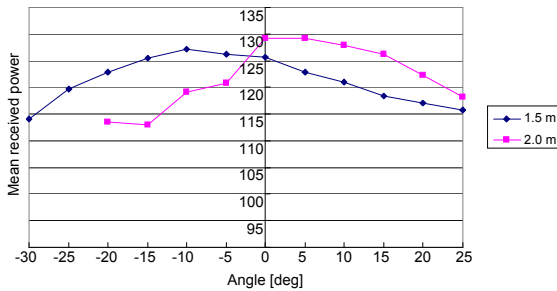
タグの水平角に応じた平均受信強度を図 6 に示す。理論的には  $0 \text{ deg}$  のときに最大値をとると考えられるが、実際には  $-10 \text{ deg}$  の範囲でピークをとっている。これは周囲の電波伝搬環境の影響によるものと考えられる。なお角度の絶対値が約  $50 \text{ deg}$  以上になるとタグの読み取りができなくなる。次に、距離と水平角に応じた平均受信強度を図 7 に示す。距離が  $1.5 \text{ m}$  のときは図 6 と同様に  $-10 \text{ deg}$  で最大値を示している。一方、距離が  $2.0 \text{ m}$  のときは  $0 \text{ deg}$  で最大値を示している。またカーブを見ても、距離が  $2.0 \text{ m}$  では距離が  $1.5 \text{ m}$  のときに比べて全体に

**Table1** Primary specification of RFID reader/writer

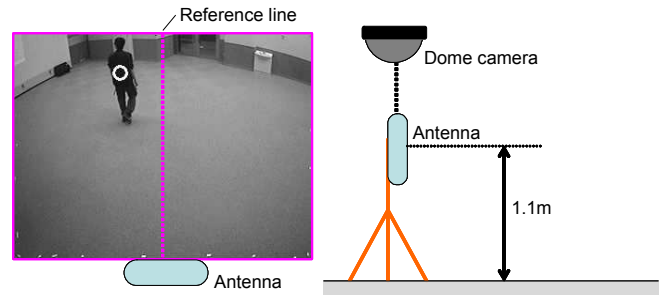
Central transmission/reception frequency	952.4–953.6 MHz (at intervals of 0.2MHz, 7 ch)
Transmission power	Max. 1 W, variable in 7 stages at intervals of 2 dBm
RFID standard	EPC Global Class1Generation2
Number of antenna port	4
Interference countermeasures	LBT (Listen Before Talk)
Readable distance	7 m (linearly polarized), 3.5 m (circularly polarized)



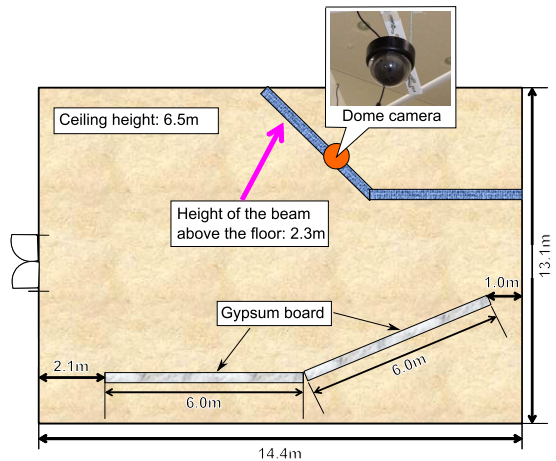
**Fig.6** The average received power values according to horizontal angle of RF-tag



**Fig.7** The average received power values according to distance and vertical angle of RF-tag



**Fig.8** Overview of antenna setting position



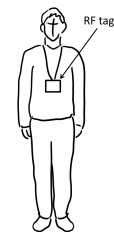
**Fig.9** The floor plan of experimental environment

正方向にシフトしている。距離が離れることで受信電力は一樣に減衰するものと予想されたが、実際にはいずれも同程度であり、むしろ水平角に変化による影響の方が大きい。以上、受信電力強度から距離や角度を推定することは困難である。このような場合、受信電力強度を用いて距離や角度を推定することは不可能であり、本稿の提案手法のようにタグが読み取れたか否かの情報を用いるほうが妥当であると判断した。

### 4.3 人物同定実験の実験環境

前節で述べた手法の有用性を確認するために、実験環境における人物同定実験を行う。実験環境におけるカメラとリーダー/ライタの設置位置の概略を図8に、実験環境の平面図を図9に示す。カメラは梁に固定し、床から2.3 mの高さに設置されている。三脚を使用して中心部が床面から1.1 mの高さになるようにアンテナを固定し、カメラの直下に設置した。人の所持するタグは金属貼付用タグを用い、パスケースに入れて首から下げるようにした(図10)。

カメラ映像は15 fpsで取得し、適応的背景推定手法を用いての背景差分法による移動物体抽出<sup>14)</sup>をオンラインで行い、移動物体の重心画素座標をカメラ映像同様に15 Hzで取得した。取得した画像の解像度は320 × 240ピクセルである。そしてカメラ画像を5 × 4の計20分割、各64 × 60ピクセルの矩形領



**Fig.10** Subject carrying RF-tag

域に分割し、各矩形領域を角度に関して各領域30 degの12分割とした。なお本実験で採用したRFIDシステムは、1回の読み取り時間は平均75 ms(約13.3 Hz)である。タグの読み取り速度が移動軌跡データ取得速度より遅いので、読み取り不可データに欠落が生じることがある。これについては、タグの読み取り不可の状態は次の読み取り動作実行まで変化しないものと仮定して補間した。

### 4.4 異なる移動軌跡間のスコアの推移の評価

提案手法により算出されるスコアの妥当性を検証するために、環境中に1人しか人物がないときのデータを用いてスコアを算出し、その推移について議論する。手法が妥当であれ

ば、移動軌跡と対応するタグについてのスコアが最大になる。

#### 4.4.1 実験設定

タグを持ってランダムに歩行する人物を撮影して得られた約10分間(9000フレーム)の動画像と、そのときのタグ読み取りデータを元にタグ読み取り確率を算出した。さらに評価用に用意した200フレームの画像とそれに対応したタグ読み取りデータ列を無作為に5パターン取り出してスコア比較を行った。抽出した5つのパターンをそれぞれTrack1, 2, ..., 5, 各パターンの5つの移動軌跡データを $Q_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ), 対応するタグ読み取りデータ列を $r_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ )とする。

#### 4.4.2 結果と考察

画像処理結果で得られた移動軌跡を図11に示す。さらに図12-16にスコアの算出結果を示す。これらは、各タグ読み取りデータ $r_j$  ( $j = 1, \dots, 5$ )について各移動軌跡に対応するスコア $S_{ij}$  ( $i = 1, \dots, 5$ )を計算したときの推移を示している。200フレーム後のスコアを比較したとき、すべてのパターンについて、タグ読み取りデータと移動軌跡とが正しく対応している場合のスコア、すなわち $S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}, S_{55}$ が最大となっている。したがって、提案手法により移動軌跡とタグの正しい組み合わせを決定することができる。ただし、 $S_{33}, S_{43}$ (図14)および $S_{34}, S_{44}$ (図15)のスコアをみると、似たように推移していて組み合わせの決定が困難となっている。すなわち、Track3とTrack4とは軌道は異なるものの、タグ読み取り不可情報が近いパターンになっており、判別が難しい。また、 $S_{55}$ は200フレーム経過時点では最大になっているが、計測開始から150フレームまでは $S_{35}, S_{45}$ よりも低い値になっている。すなわち、Track5については移動軌跡とタグ読み取りデータとの関連付けが困難である。

Track3とTrack4のタグ読み取り不可情報が近いパターンになることと、Track5について対応付けが困難になることの問題も、タグ読み取り不可の状況が連続しているときのスコア算出方法に原因があると考えられる。すなわち、人物がアンテナから遠いときの読み取り確率はほぼ0であるから、そのような移動軌跡すべてにおいて、読み取り不可であるタグについてのスコアが高くなる。一方、人物がアンテナに近いときは、それでも常にタグが読み取れるわけではなく人物の向きによって読み取りパターンが異なるので判別はしやすい。Track3とTrack4とでは、移動軌跡パターンが異なっているにもかかわらず、移動軌跡パターンが異なっているにもかかわらず、いずれも同じ時刻でタグが読み取れない状況であることに変わりがない状況であるために、スコアが類似してしまっている。対策としては、タグ読み取り不可データが連続しているときにはスコアを補正することなどが考えられる。いずれにしても、移動軌跡とタグ読み取りデータが正しく対応しているにも関わらずスコアが上昇しないということは起こりえないので、スコアが高い複数の候補があるときには判断を保留する戦略が有効である。

なお、2人以上の人物が連れだって歩いているときなどでも、スコアが高い複数の候補がある状況になり得る。これについても上記の判断を保留する戦略による対処が必要である。もっとも、提案手法をサービス提供に応用するにあたっては、連れだっている人物について一人一人を識別する必要がない状況も考えられる。例えば、本研究で想定している博物館や美術館におけるサービス提供では、主なサービスの内容は展示物や建物についての情報提示であるので、連れだっている人々をひとか

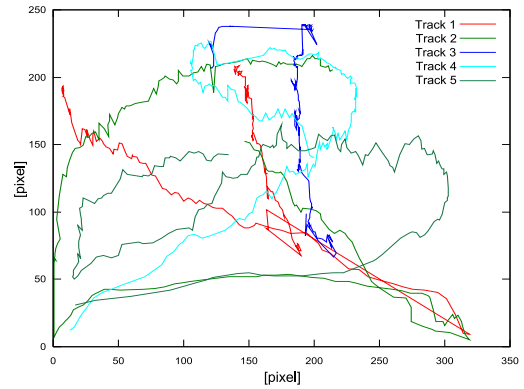


Fig.11 The trajectory data used for score comparison

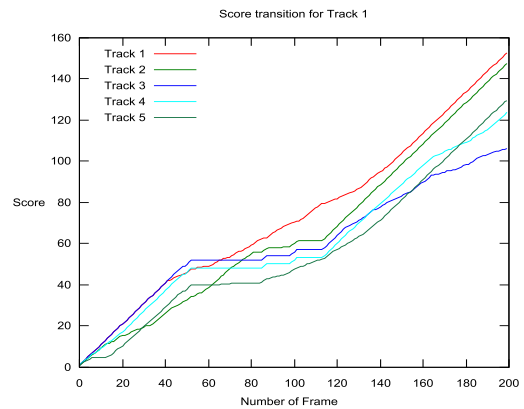


Fig.12 Transition of  $S_{i1}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ), score of each trajectories for read data of Track1

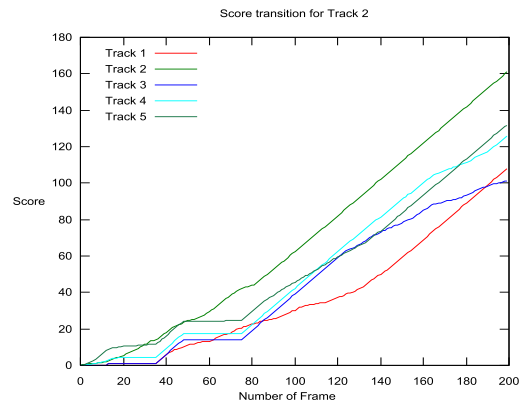


Fig.13 Transition of  $S_{i2}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ), score of each trajectories for read data of Track2

たまりのグループとして扱って情報提示を行うことに合理性があると考えられる。

### 4.5 複数の人物が存在する環境下での実験

次に、環境内に複数の人物が同時に存在して、それぞれが別のIDをもつRFタグを持っているときに本手法を適用したときの判別率を評価する。

#### 4.5.1 実験設定

EMアルゴリズムによる複数人物の移動軌跡抽出手法を適用して、人物領域の重心を軌跡として使用し、スコアを算出した。2人の人間が同時に画像中にある映像を用いて移動軌跡を取得した。移動軌跡の取得およびスコアの算出はオフラインで行っ

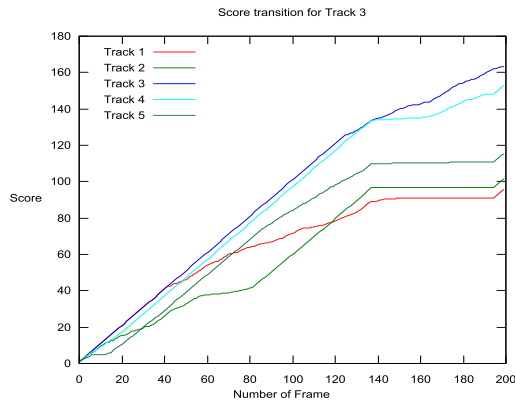


Fig.14 Transition of  $S_{i3}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) score of each trajectories for read data of Track3

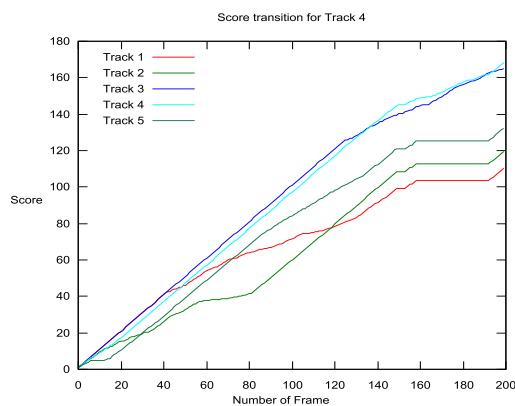


Fig.15 Transition of  $S_{i4}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) score of each trajectories for read data of Track4

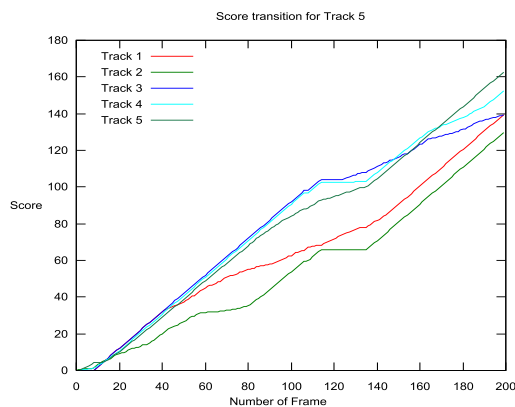
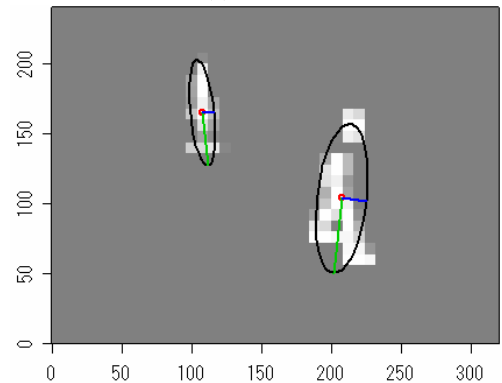


Fig.16 Transition of  $S_{i5}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) score of each trajectories for read data of Track5



(a) 原画像



(b) 抽出結果

Fig.17 EM アルゴリズムを用いた移動軌跡抽出

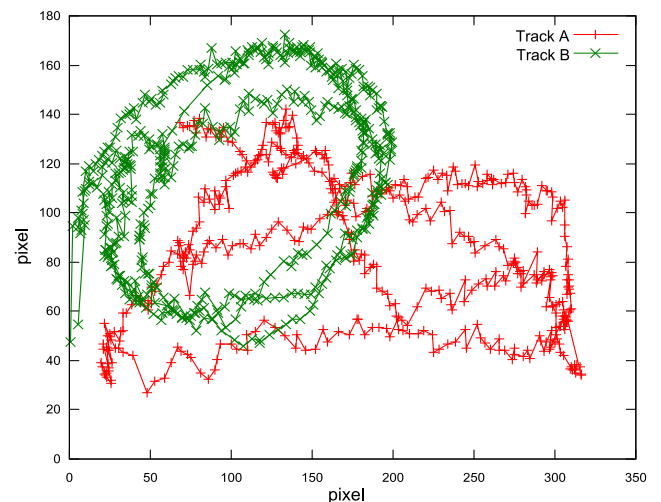


Fig.18 The trajectory data of two persons used for score comparison

た. 移動軌跡取得の様子を図 17 に示す. 右は原画像, 左は抽出結果である. それぞれの人物領域を楕円で近似して表示している.

#### 4.5.2 結果と考察

抽出した 2 人の人物の移動軌跡を TrackA および TrackB とする. スコア比較に用いた 2 人の人物の移動軌跡データ TrackA および TrackB を図 18 に示す. さらにスコアの推移のグラフを図 19 および図 20 に示す. 図 19 は TrackA のタグ読み取りデータ列, 図 20 は TrackB のタグ読み取りデータ列をそれぞれスコア算出に用いた結果である. つまり, 図 19 は  $S_{AA}, S_{BA}$ , 図 20 は  $S_{AB}, S_{BB}$  の推移を表している. 図 19 では TrackA の

スコアが約 120 フレーム目以降から 200 フレーム目まで継続して TrackB のスコアを上回っている. また, 図 20 では約 20 フレーム目以降から 200 フレーム目まで継続して TrackB のスコアが TrackA のスコアを上回っている.

複数人の移動軌跡を同時取得した場合でも, 4.4 節と同様の手法でスコアを算出することで移動軌跡とタグ読み取りデータを関連付けることができた. しかし, スコアを加算していく本手法では, 逐次的にタグ読み取りデータと移動軌跡の関連付けを行うことが困難であり, リアルタイム性に欠ける. また, 初期段階において誤判別が生じたときに, そのときのスコアがその後の判別に影響を与えてしまい, かえって識別性能を下げる

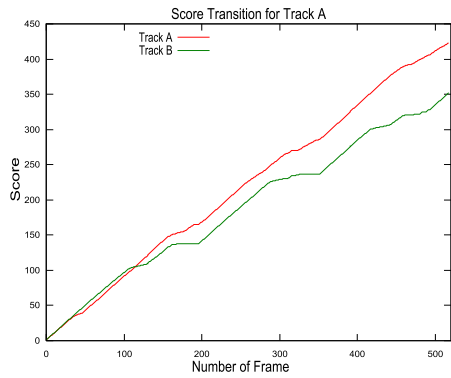


Fig.19 Transition of  $S_{AA}$  and  $S_{BA}$ , score of each trajectories for read data of TrackA

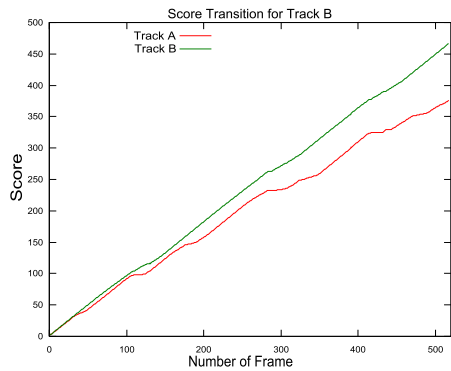


Fig.20 Transition of  $S_{AB}$  and  $S_{BB}$ , score of each trajectories for read data of TrackB

ことにもなりかねない。次項にて、これを解決するための逐次的なスコア算出手法を実験により検証する。

#### 4.5.3 区間スコアの算出と応答性

逐次的に移動軌跡とタグ読み取りデータを関連付けるために、スコアを小区間ごとに算出する手法を導入する。小区間ごとにスコアを算出し、それぞれについて軌跡データとタグ読み取りデータの関連付けの正解率を求める。図 21 に区間スコアの一例を示す。これは TrackA のタグ読み取りデータを用いて 10 フレーム毎に計算した区間スコアの算出結果である。このように小区間でスコアを計算すると、累積スコアに比べると安定した結果は得られない。しかしながら逐次的な判別が可能であり、適切な小区間のサイズを決定することで、リアルタイム性と判別率との両立が可能になると考えられる。

適切な区間フレーム数について検証するために、区間フレーム数を 0-150 フレームまで 10 フレームずつ変化させた場合の正解率の変化の結果を図 22 に示す。

正解率は区間フレーム数に対して単調増加しており、本実験では区間サイズが 1 秒程度で正解率が 75% を超え、6 秒で 90% を超え、8 秒で 100% に達している。

## 5. 結 論

本稿では、公共空間におけるサービス提供のための UHF 帯 RFID システムを用いた個人同定手法を提案した。これは固定カメラで取得した動画から得た人物の移動軌跡と、その人物が持つ RF タグとを対応付けるものであり、移動軌跡の抽出は可能であるが人物の同定は困難な動画による人物計測と、人物の同定は容易であるが移動軌跡の取得は困難な RFID システ

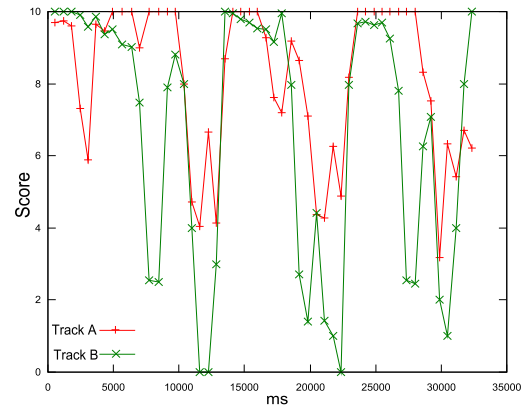


Fig.21 Transition of section score

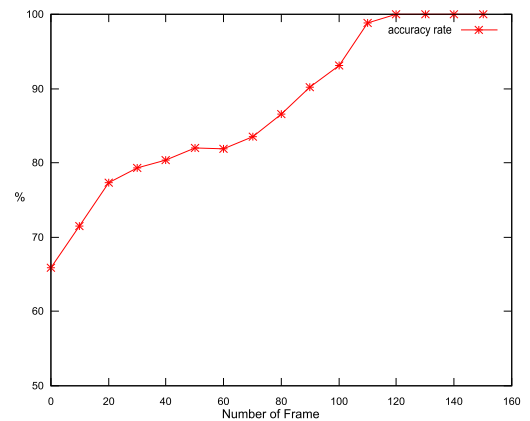


Fig.22 Transition of accuracy rate according to the increase of frame number of section

ムとを組み合わせ、相互に補うことで目的を達成する。具体的には RF タグの読取の可不可情報に基づいて動画から得られたそれぞれの人物の移動軌跡について RF タグを所有している尤度を示すスコアを算出して、その比較により個人同定を行う。

提案手法の有効性を検証するために、東京大学柏キャンパス総合研究棟・空間表現室において実験を行い、まずスコアの大小を比較することで、移動軌跡とタグ読み取りデータを関連付けられることを示した。次に、リアルタイム性と正解率とのトレードオフについて検証するために、計測時間（区間フレーム数）を変化させて正解率を算出したところ、計測時間を 1 秒に設定したときの正解率は 76.5% であった。また計測時間を 6 秒に設定したときに正解率は 90% を超え、8 秒に設定したときに 100% に達した。

今後の課題としては、タグ読み取り確率の計算方法の改良が挙げられる。特に、人物の角度  $\theta_t$  を進行方向で近似しているために、例えば展示物の全体を見渡すために、展示物に向かって後ずさっているような状況や、人物が静止している状況で、正しく角度を検出できない。前者については、読み取り確率モデルを構築するためのデータに後ずさっているときのデータを含めて、そのような場合も考慮に入れた読み取り確率の計算を施すことによる対応が必要である。後者については、スコア計算方法を改良して、人物が静止しているときにはスコアを累積しないようにすることなどが考えられる。他に、各 RF タグについて計算したスコアで判別した結果が互いに矛盾したときの



対応付け手法の検討，実環境における具体的なサービス設計と実装などが挙げられる。

#### 参 考 文 献

- 1) 浅間 一：サービス工学とシステム・インテグレーション，計測と制御，**44**，4 (2005) 278.
- 2) 加瀬 一朗 監修，NTT コムウェア研究開発部：RFID の現状と今後の動向，電気通信協会 (2005).
- 3) 日経 RFID テクノロジー，日経システム構築：無線 IC タグ活用のすべからず—実証実験から本格導入へ！，日経 BP 社 (2005).
- 4) 三次 仁：総論とパッシブ RFID 技術の動向，電気学会誌，**126**，8 (2006) 521.
- 5) 井上 創造，萩原 大輔，安浦 寛人：RFID 情報システムにおけるシステム信頼性の向上，日本データベース学会 Letters，**3**，4 (2005) 13.
- 6) 屈 小羽，松下 大輔：アクティブ RFID タグを用いた住宅における部屋滞在行動観測手法，日本建築学会計画系論文集，**75**，650 (2010) 797.
- 7) 遠田 敦，林田 和人，渡辺 仁史：スリッパ型 RFID リーダによる歩行行動追跡，日本建築学会計画系論文集，**73**，630 (2008) 1847.
- 8) 朴 善洪，三枝 亮，橋本 周司：Passive RFID を用いた自律移動ロボットのナビゲーション，電子情報通信学会論文誌 A 基礎・境界，**90**，12 (2007) 901.
- 9) 脇田 玲，梅嶋 真樹，川喜田 佑介：RFID Activity Score：HF 帯及び UHF 帯の RFID を用いたユーザアクティビティの可視化システム，情報処理学会研究報告 EC エンタテインメントコンピューティング，**2005**，59 (2005) 67.
- 10) 小室 信喜，六田 智之，待井 一樹，白石 剛大，上田 裕巳，河西 宏之，坪井利憲：UHF 帯 RFID を用いる屋内位置推定の推定精度向上法，電子情報通信学会技術研究報告 CS 通信方式，**109**，116 (2009) 41.
- 11) 白石 剛大，小室 信喜，上田 裕巳，河西 宏之，坪井 利憲：UHF 帯パッシブ型 RFID を用いる屋内位置推定アルゴリズムの提案，電子情報通信学会論文誌 B，**J95-B**，10 (2012) 1302.
- 12) 神谷 尚保，三次 仁，中村 修，村井 純：UHF 帯 RFID における複数 RF タグの効率的なエミュレーションアルゴリズム，電子情報通信学会技術研究報告 SIS スマートインフォメディアシステム，**107**，547 (2008) 35.
- 13) 中嶋 大介，伊藤 義道，新田 直子，馬場口 登：RFID タグとカメラ映像を用いたサーベイランス映像中の人物同定，電子情報通信学会技術研究報告 PRMU パターン認識・メディア理解，**107**，281 (2007) 81.
- 14) 森下 壮一郎，浅間 一：固定カメラ画像における人物領域の重心からの足元位置同定に関する研究，第 7 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会概要集，(2006) 1380.