

# 人体通信と音声センサを用いた入退室管理 システムの設計と実装

周 士翔<sup>1,a)</sup> 榎原 博之<sup>1,b)</sup> 松崎 頼人<sup>1,c)</sup>

概要：近年，スマートホームの研究が盛んに行われている．しかし，居住者一人ひとりを判別し，サポートする研究はほとんどない．我々の研究室では，人体通信タッチタグを用いて，マット型受信機を踏むことにより，入退室者を認識している．このシステムでは，一時退室と帰宅の判断が難しい．本研究では，音声センサを用いて退室者の一時退室，または帰宅を判別する入退室管理システムの実装を行い，実際に研究室で利用した結果を報告する．

SHIH-HSIANG CHOU<sup>1,a)</sup> HIROYUKI EBARA<sup>1,b)</sup> RAITO MATSUZAKI<sup>1,c)</sup>

## 1. はじめに

ユビキタス社会 [1] とは「いつでも，どこでも，何でも，誰でも」がネットワークにつながることで，様々なサービスを誰もが享受し，人々の生活をより豊かにする社会を指す．「いつでも，どこでも」とは，パソコンだけでなく，携帯端末などを利用することで屋外や電車・自動車などの環境に関係なく，あらゆる時間・場所でネットワークにつながることである．「何でも，誰でも」とは，家電機器などのあらゆる物を含めて，物と物，人と物，人と人がつながることである．

今後の家電機器は機器同士や居住者とのコミュニケーションによる家電機器の管理や制御が期待される．特に，家電機器と居住者とのコミュニケーションを実現するためには，家電機器がどのようにして，居住者を認識するかが大きな課題となっている．現在の家電機器は居住者による操作やあらかじめ設定されたシナリオによる自動制御で稼働しているが，家電機器が居住者を認識することで，機器側から居住者の状態に合わせて自動的にサービスを提供できるような研究が進められている．

その 1 つにスマートホームシステムの研究 [2] がある．スマートホームとは，家庭内すべての家電機器をネットワークに繋ぎ，1 台のサーバによって一括管理することで

最適な制御を行うものである．それによって，各種家電機器に対する統一的，効率的な制御や省エネルギー対策の効果が期待される．また，自然災害などによる停電対策として，効率的に太陽光発電や蓄電池などの設備機器を導入する一般家庭が増えてきており，スマートホームの重要性がますます高くなっている．さらに，スマートホームにおいて，家庭環境管理のほかに，通院が困難な患者に対する遠隔医療，介護や安否確認など，居住者に対する快適な生活をサポートするために，無線センサネットワークを利用した情報収集機能による居住者の行動認識も大きく注目されている．

近年，スマートホームを利用して，一人暮らしの高齢者のサポートを目的とした研究 [3] が進められている．その一方で，複数人の居住者一人ひとりを判別し，サポートする研究はあまり行われていない．スマートホームが複数人の居住者を認識するためには，居住者の個人認証が必要となる．居住者の個人認証を行う方式には，生体認証と ID 認証の 2 つがある．生体認証とは，人間の身体的特徴を用いるもので，虹彩や指紋などを認識するといった認証手法である．ID 認証方式とは，非接触 IC カード (例：FeliCa) と人体通信技術を利用したタッチタグがある．我々の研究室では，FeliCa を用いた入退室管理システムの研究を行っていた．しかし，この手法では入退室を行う度に Felica カードを受信機にかざす必要があるために手間がかかる．人体通信タッチタグを用いて，この問題点を改善しつつ，研究室のメンバーを一人ひとり認証できるようなシステムを提

<sup>1</sup> 関西大学  
Kansai University, Suita Osaka 564-8680, Japan  
a) shiang.syu@gmail.com  
b) ebara@kansai-u.ac.jp  
c) luigilike8rai@yahoo.co.jp

表 1 無線通信 2.4GHz 帯

Table 1 Wireless Communication in the 2.4GHz Band

	無線 LAN	Bluetooth	ZigBee
規格	IEEE802.11	IEEE802.15.1	IEEE802.15.4
周波数	2.4GHz,5GHz	2.4GHz	2.4GHz
伝達距離	10m ~ 100m	約 10m	約 10m
伝送速度	11Mbps,54Mbps	2Mbps	20 ~ 250Kbps
消費電力	700mW	100mW	30mW
バッテリー	数時間	数日間	月 ~ 年単位
接続可能な端末数	32 台	約 10 台	65536 台

表 2 Bluetooth と ZigBee との違い

Table 2 Difference Between Bluetooth and ZigBee

	Bluetooth	ZigBee
メリット	ノートパソコンやスマートフォンなど既に搭載している	スリープからの復帰時間が短い, 接続可能なノード数が多い
デメリット	スリープからの復帰時間が長い, 接続可能なノード数が少ない	搭載されている機器が圧倒的に少ない

案する。

提案システムでは, 入退室する際に行う個人認証の識別に人体通信タッチタグを導入する。それを利用することによって, 研究室の出入口を通過するだけで, 研究室のメンバーを一人ひとり認識できる入退室管理システムを実装する。また, 音声センサによる周囲の音声情報を基に, 研究室のメンバーが一時退室したのか帰宅したのかを判別する手法を提案し, 本システムに実装する。

## 2. 関連技術

### 2.1 人体通信

人体通信「BAN (body area network)」とは, 触れる・握るなどの自然な振る舞いによって, 通信端末間での通信が可能となる技術である。[4]によると, 近距離無線の標準化を進める IEEE の 802.15 は, 人体の周辺に配置した各種のセンサ/デバイスによって構築する近距離無線ネットワーク (IEEE 802.15.6) を人体通信に適した規格として正式に承認している。近距離無線としては「PAN (personal area network)」という概念が既に存在するが, BAN はさらに伝送距離を短くして, 人体周辺に限定したものを指す。2012 年に BAN の標準化作業が完了している。主に, 医療やヘルスケア分野への応用が見込まれているほか, 携帯型プレーヤーとワイヤレス対応のヘッドホンやマイクなどの無線接続での用途も想定される。

人間の体を信号の伝送媒体として用いる人体通信技術は, 近傍電界方式と電流方式の 2 つの通信方式がある。近傍電界方式は, 人体の表面に発生する電界の変化を利用し, ある程度の近い距離であれば, 人体が電極に触れなくとも通信が可能になるという特徴がある。電流方式は, 人体に微弱な電流を流し, 人体が電極に接触することで信号を伝搬する通信方式である。

近傍電界方式 [5] では, 体の周りの電界を利用するため,

端末 (送信機) を肌に接触する必要なく, 端末をポケットや靴に入れたままで, 受信機であるドアノブやマットに触ったり踏んだりするだけで通信 (認証) が可能である。

### 2.2 無線センサネットワーク

無線センサネットワークの端末機器は通常, アドホック通信 (ad-hoc) 機能と, 各端末機器から中枢端末機器へデータを送るためのルーティング機能を持つ。つまり, 端末機器間の通信に障害が発生すると別の通信経路を自律的に再構築する機能がある。端末機器がグループとして連携して, 分散処理する要素もある。また, 端末機器のデータ伝送が近距離通信であるため, 消費する電力が少ないという特徴から, 外部から電力供給を受けずに内蔵のバッテリーでも長期間稼働する省電力機能がある。

センサネットワークに関連する研究 [6] では, 無線 LAN (IEEE802.11) や無線 PAN に所属する Bluetooth と ZigBee の 3 つの無線技術がよく使われている。3 つの無線技術の共通点として, 同じ 2.4GHz 帯の周波数を利用しているため, 通信障害の影響は大きく変わることはない。大きな相違点として, 表 1 に示すように, 接続する端末機器の個数と稼働する際の消費電力があげられる。特に通信範囲が一番広い無線 LAN では, 通信範囲が広い代わりに, 電力の消費も一番大きい。無線 LAN の主な目的としては, 家庭, 会社, レストランなどの室内環境で, ノートパソコンやスマートフォンなどに接続することである。消費電力が大きいという点からみると, 多数のセンサから, 環境の情報を収集するなどの目的としては, 最適ではない。

無線 PAN に属する Bluetooth と ZigBee では, 無線 LAN より通信範囲が狭いが, 消費電力を抑えることができる。言い換えると, 使い方によって, バッテリーで数日間から数カ月間, あるいは, それ以上の長時間で稼働することも可能である。表 2 に示すように, Bluetooth の最大のメリッ



図 1 タッチタグ  
Fig. 1 The Touch Tag



図 2 研究室の出入口  
Fig. 2 Entrance of the laboratory

トは、Bluetooth を搭載している市販製品が非常に多いことである。ノートパソコンからスマートフォン、ゲーム機のコントローラまで、Bluetooth を搭載している個人向け商品が身の回りに溢れている。しかし、Bluetooth は個人向けのデジタル機器同士で繋ぐ無線技術として開発されたため、1 台のマスター端末に同時に接続できるスレーブ端末数は約 10 台である。しかも、Bluetooth の端末はスリープ状態から復帰する際、2~3 秒の遅延時間が発生する。それに対して、ZigBee では、1 台の端末が最大 65536 台の端末に接続することが可能である。また、スリープ状態から復帰する時間は 0.15 秒で殆ど感じられないほど早く立ち上がることができる。しかし、ZigBee が実装されている製品や端末は Bluetooth と比較すると非常に少ないため、ZigBee センサネットワークを構築する際、自力で ZigBee の通信モジュールと使用するセンサを組み込まざるを得ない場合も発生する。

### 3. 提案手法

#### 3.1 入退室管理システムの目的

我々の研究室では、FeliCa 方式の入退室管理システムで入退室を管理しており、FeliCa 対応の学生証あるいは FeliCa チップ (IC チップ) が埋め込まれた携帯電話を受信機にかざすことにより、研究室の入退室を管理していた。

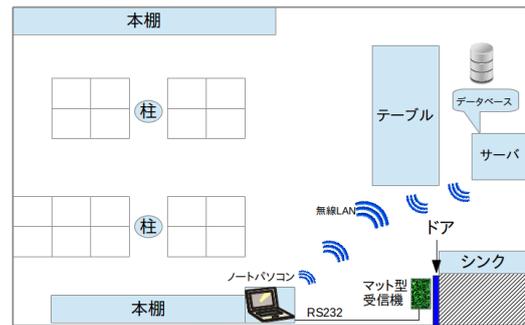


図 3 研究室の平面図  
Fig. 3 Floor Plan of the laboratory

number	state	time
1222	1	2013-12-09 12:08:47
1222	2	2013-12-09 13:09:48
1222	3	2013-12-09 13:50:16
1222	4	2013-12-09 19:34:12
1222	5	2013-12-09 19:36:37

図 4 データベースの出席情報  
Fig. 4 Attendance information in the database

しかし、食事や授業など用事がある時に、研究室を一時的に離室する場合、研究室に出入りする度に学生証や携帯電話を受信機にかざす必要があった、この動作は非常に手間となるため、一時退室は退室の認証を行わないようにしていた。この問題を解決するために、人体通信タッチタグを用いた新しい入退室管理システムを提案する。さらに、在室者の情報を内部ウェブページに掲載することで、研究室メンバーのリアルタイムの在室情報が確認できるようになっている。

#### 3.2 入退室管理システムの構築

既存 FeliCa 方式の入退室管理システムでは、学生カードによる出席の登録が行われていたが、その代わりに人体通信技術を用いるタッチタグ (図 1) を研究室メンバー全員に配布する、研究室に入る際、タッチタグをポケットや鞆に入れたままで、図 2 に示すように、出入口にあるマット型受信機を踏んで通過するだけで、出席の登録が自動的に行うことができる。

##### 3.2.1 出席情報の登録

図 3 に示すように、研究室メンバーが研究室の出入口にあるマット型受信機を踏むたび、研究室メンバーが持っている人体通信タッチタグに内蔵されている ID 番号がマット型受信機に入力される。そして、マット型受信機に繋がるノートパソコンから無線 LAN 経由で、ID 番号が研究室サーバのデータベースに送信され、ID 番号に対応する研究室メンバーの出席情報 (図 4 の state) のカウント数を +1 とする。更新した研究室メンバーの出席情報が同時に無



図 5 研究室内部のウェブページに掲載するリアルタイム出席情報  
Fig. 5 Attendance information from Lab's Webpage

線 LAN 経由で、ノートパソコンに送信される。マット型受信機に繋がるそのノートパソコンは出席情報を受け取った際、入室か退室かを判断し、それに対応する音声を再生する。それにより、そのメンバーも出席情報が更新され、自分の入退室認証が完了したことを知ることができる。

研究室の出席情報は、以下の 4 つのパターンとなる。

- (1) 毎日深夜零時になると、研究室メンバー全員の出席情報のカウント数がリセットされる (state が 0 になる)。研究室内部のウェブページに「欠席・未出席」と掲載される。
- (2) 研究室の出席情報のカウント数が 0 から 1 になると、研究室内部のウェブページに「出席」と掲載される。ノートパソコンから「おはよう」の音声再生される。
- (3) 出席情報が偶数であれば、研究室内部のウェブページに「一時退室」で掲載される。ノートパソコンから「さようなら」の音声再生される。
- (4) 出席情報が奇数であれば、研究室内部のウェブページに「出席」で掲載される。ノートパソコンから「こんにちは」の音声再生される。

本研究では、人体通信技術を用いたタッチタグを使用することで、研究室メンバーに対する入退室の管理が容易になり、また在席者の情報がリアルタイムで把握できる。タッチタグを人体に接触するように保持した状態で、研究室の出入口にあるマット型受信機を踏むことで、入退室を判断する。タッチタグは衣服や鞆をはさんで人体に触れていても反応するので、ポケットや鞆にタッチタグを入れたままでも、入退室が判断できる。各メンバーの入退室状態はタッチタグとマット型受信機の通信回数 (state) と更新時刻を研究室サーバのデータベースに保存する。それに基づいて、リアルタイムで研究室内部のウェブページに各メンバーの情報が掲載される (図 5)。そして、タッチタグを忘れた RedTacton メンバーは図 5 の右側にある「欠席・未出席」のボタンによる出席と退室の登録も可能である。

### 3.2.2 環境情報の記録

提案した入退室管理システムの問題点の 1 つとして、こ

のシステムだけではメンバーの一時退室と帰宅を判別することは不可能なことである。そこで、システムを補完するために、音声による帰宅の判別手法を提案し、音声センサと光センサを用いた無線センサネットワークを導入する。2.2 に述べたように、無線センサネットワークの構築に利用される無線 PAN の Bluetooth と ZigBee には、それぞれメリット・デメリットがある。本研究では、Bluetooth を利用しており、その理由を以下に説明する。本研究の



図 6 レゴのマインドストーム  
Fig. 6 LEGO Mindstorms NXT

入退室管理システムとして稼働するノートパソコンは既に Bluetooth 機能搭載しており、センサネットワークの端末機器と Bluetooth で受送信する場合は、中継機器やコーディネータを経由せずに端末機器とノートパソコンとの直接通信が可能である。ZigBee で実装する場合、通信モジュールと利用するセンサを自力で組み合わせる必要があるため、困難である。また、我々の研究室は 10.45m × 8.29m の空間であり、10 台以上の端末機器を使用する予定はない。そのため、本研究における無線センサネットワークの構築には、Bluetooth を利用する。端末機器は音

声センサと光センサを搭載するレゴのマインドストーム (Mindstorms NXT(図 6)) を使用する。

● 端末機器

マインドストームは、モーターを備えたプログラムが組み込めるブロックや、センサ、レゴブロック、ギアや車軸、ビーム、タイヤといったレゴテクニクの部品の組み合わせることで、ロボットや他の機械または対話システムを組むためのレゴ社の商品セットである。

レゴのマインドストーム (以降、端末機器) は Bluetooth による無線センサネットワークを構築することができ、ほかの Bluetooth 端末と事前にペアリングしておくことで、自動的にお互いを認識できる。本システムでは、音声センサ (Sound sensor) と光センサ (Light sensor) の 2 種類センサを組み合わせて使用する。これにより、音声センサと光センサの両方のデータをまとめて送信することも可能である。本システムに使う端末機器の音声センサでは、環境音の音量の強弱を計測、人間が聞き取れない音も含む標準デシベル (dB) と人間が聞き取れる音のみの調整デシベル (dBA) の 2 つのモードがある。本研究では、調整デシベルを使用する。

表 3 音声センサの値と音声の大きさ  
 Table 3 The value of the voice sensor

表示	音声のイメージ
1~2	静かなリビングルームほどの音声
3~10	センサから少し離れた距離で会話する音声
10~30	センサの直前で、会話する音声
30~100	センサの直前で、叫ぶや楽器の演奏する音声

● 音声センサ

音声データは必要な範囲のデータのみを取るために、音声データの dBA 値 (表 3) の 3 以上を情報収集の対象とする。それは、本システムに使う端末機器の音声センサが我々の研究室で静音時の dBA 値が 2 であるため。また、音声センサでは 1 秒間に 1000 回の音声データが取れるが、分析対象としては、データは量が多すぎる。そこで、研究室内の環境音の変化を記録するため、1 秒間に 1000 回の音声データの平均値を計算し、その平均値が 3 以上であれば、そのデータを保存する。

● 光センサ

光センサにより、室内環境の明るさを割合で表し、1~100 の値で表示する。我々の研究室で測った結果では、電気をつける場合は端末機器の置く場所によって、38~60 までの情報データが取れる。電気を消した場合は、朝の陽射しも含めた情報データの最大値は 29 となる。したがって、38 と 29 のちょうど真ん中の 33 を判断の基準として、33 以上の場合は研究室の電気が付いてると判断し、逆に 33 以下の場合は電気が消えたかと判断する。

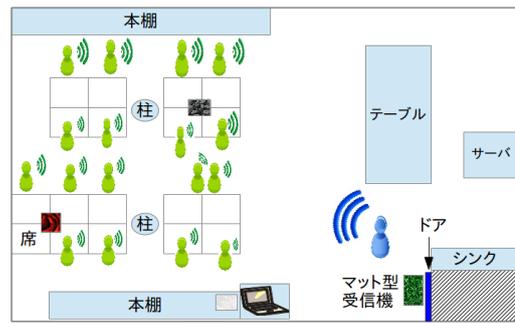


図 7 帰宅する際、音声が発生する  
 Fig. 7 Example of voice acquisition

3.3 帰宅の判別手法

本研究で提案した音声センサによる帰宅の判別手法は、人の音声を抽出して言葉の意味を分析する手法ではなく、一時退室の時にはない帰宅の時のみに行う挨拶に着目して、退室時における研究室の出入口で音量差を測る手法である。したがって、帰宅者が研究室の出入口を出る前に「お疲れ様です」と声を出す時の音声と直前の 2~3 秒間の音声を比較し、退室の判別を行う。

研究室メンバーがマット型受信機を足で踏んだ時刻が研究室のサーバに保存されているため、それを利用することによって、そのメンバーが研究室の出入口を出る時刻の音声データをデータベースから取り出す。その音声を分析することによって、一時退室あるいは帰宅の判別をする。

我々の研究室で音声データの収集をあらかじめ実験したところ、物理的な問題に突き当たった。それは、収集した音声データは、人の音声よりも環境音の値が高いことである。音声センサによる音声データの収集は、空気中での音声の響く程度によって、音声データの値の大きさが決まる。人間の耳による音声の大きさの判断とは非常に異なる。また、研究室には出入口の近くにシンクがあるため、蛇口の水が流る際の音や出入口のドアの開け閉め音などがある。環境音が人の音声を上回ることによって、人の音声のみを抽出することが難しいため、複数の音声センサによる研究室全員音声の取得を補完する手法を提案する。

研究室メンバーが研究室から退室する際、そのメンバーが「お疲れ様です」と言うと、在室者も「お疲れ様でした」と言い返すという日本特有の挨拶習慣がある。その習慣を生かして、出入口にいるメンバー一人の音声だけではなく、図 7 に示すように、在室者全員の音声を収集することでより効率的な測定が可能であると考えられる。

3.3.1 音声分析

研究室の在室者全員が声を出す際、その瞬間の音声はその前後数秒間の平均音声より高いと考えられる。その点を利用することによって、研究室メンバーが研究室を出る際にその時間の環境音声を分析し、そのメンバーが一時退室か帰宅かを判断することが可能である。

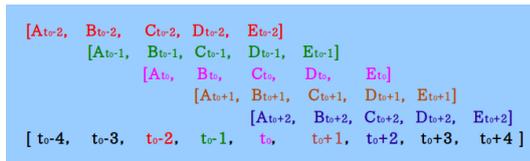


図 8 5 秒間の音声分析

Fig. 8 The voice of 5 seconds

研究室メンバーが研究室を出る際の時刻を時刻  $t$  として、時刻  $t$  の前後 2 秒を合わせた 5 秒間は最も帰宅の挨拶を交わす可能なタイミングと想定する。その 5 秒間の音声の変化を分析する。つまり、時刻  $t$  の音声分析を行う際、時刻  $t$  の音声データを  $t_0$  として、前後 2 秒を合わせて、 $[t_0 - 2, t_0 - 1, t_0, t_0 + 1, t_0 + 2]$  を分析する。各秒の音声データは 1 秒間に 1000 回で取得したデータの最大値となっている。 $t_0$  に対するデータを  $C_t$  を中心に前後 2 秒を考慮して  $[A_t, B_t, C_t, D_t, E_t]$  とする (図 8)。式 (1) を利用して、音声分析を行う。式 (1) が成立した場合、音声分析の結果は 1 となる。逆に、成立しなかった場合、音声分析の結果は 0 となる。そして、式 (1) に変数  $\alpha$  を付けることによって、 $C_t$  の値と  $(A_t + B_t + D_t + E_t)$  の平均値との差が小さい場合、発声データの対象から除くことは可能である。

$$C_t > \frac{A_t + B_t + D_t + E_t}{4} + \alpha \quad (1)$$

- 結果：1  
 発声データ：時刻  $t$  における音声が前後 2 秒間の平均音声より高い。
- 結果：0  
 無声データ：時刻  $t$  における音声が前後 2 秒間の平均音声より高くない。つまり、時刻  $t$  は挨拶の音声が発声した時刻ではないと考えられる。

図 8 に示すように、 $t_0 - 4$  から  $t_0 + 4$  までの 9 秒間の音声データを分析対象とし、データベースから取り出して音声分析を行う。

音声分析の手法は、5 秒の時間で  $[t_0 - 2, t_0 - 1, t_0, t_0 + 1, t_0 + 2]$  の配列の中に、0,1,0 という配列が現れる場合とそれは真中の 1 秒の音声が前後 2 秒より大きいという状態を示している。その特徴により、帰宅と判断する。5 秒の配列の中で、0,1,0 以外の組み合わせは無効データとして、一時退室と判断する。

### 3.3.2 帰宅判別アルゴリズム

帰宅判別アルゴリズムのフローチャートを図 9 に示す。

#### (1) 出席状態による分析の開始

研究室メンバーが研究室から外に出る際、つまり更新した出席情報が偶数になった場合、帰宅判別のアルゴリズムが開始する。出席情報が更新した時刻を  $time$  とし、 $time+10$ (10 秒後) に、誤作動の確認に移る。

#### (2) 誤作動の確認

研究室メンバーが研究室の出入口を出る際、正しく動

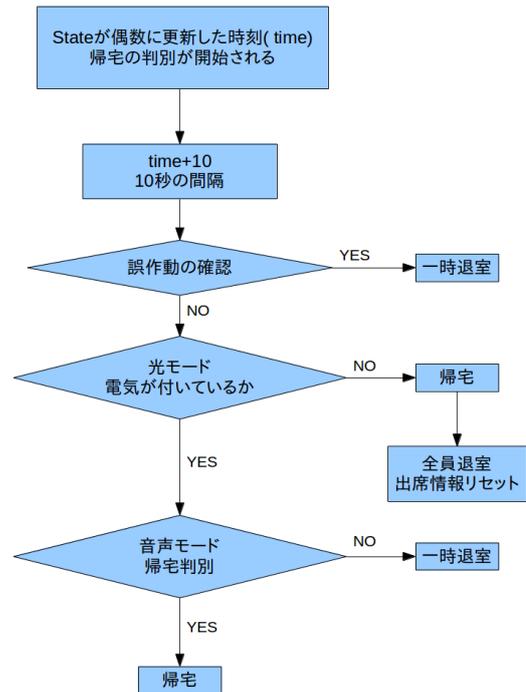


図 9 帰宅判別のフローチャート

Fig. 9 The flowchart of return home discrimination

作せずに出る場合も発生する。その後、研究室に戻って来た際、そのメンバーがマット型受信機に踏んだ際、ノートパソコンから一時退室の音声が再生することで、自分の出席情報が間違っていることを気づく。その場でもう 1 回出席情報を在室に更新し直すことになる。そのため、10 秒の間隔を設定し、 $time+10$ (10 秒後) となった時刻に、研究室メンバーの出席情報を取り調べ、出席情報が偶数である場合は次の段階、光モードに移る。逆に、 $time+10$  時点の出席情報が奇数になった場合は誤作動と判別し、そのメンバーは時刻  $time$  の時に更新した出席情報を一時退室と判別する。

#### (3) 光モード

光モードに入ると、データベースに保存した最後 (最新) の情報データを読み込むことによって、現時刻 ( $time+10$ ) に、研究室内の電気が付いているかどうかを判別することができる。それによって、電気が付いていると判断した場合は音声モードに移る。電気を消えていると判断した場合はそのメンバーは帰宅と判断し、在室者はいないので、研究室メンバー全員の出席情報を 0 にリセットする。

#### (4) 音声モード

音声モードに入ると、3.3.1 で述べた音声分析の手法によって、研究室メンバーの更新した出席情報の時刻とその前後 4 秒の 9 秒間の音声データを基に音声分析を行う。その結果により、研究室メンバーの一時退室と帰宅を判別する。



図 10 帰宅判別を使った入退室管理システム

Fig. 10 Entry management system with the return home discrimination

表 4 新しい出席情報

Table 4 New Attendance information

表示	state	analysis
未出席、欠席	ゼロ	-
在室	奇数	-
一時退室	偶数	0
退室	偶数	1

表 5 入退室管理システムの構成

Table 5 Configuration of the entry management system

ノートパソコン	SONY VAIO VPCSB
端末機器	Mindstorms NXT
無線通信	Bluetooth・無線 LAN
センサ種類	音声センサ・光センサ
データベース	MySQL5.5.34
開発言語	Java
開発環境	Eclipse

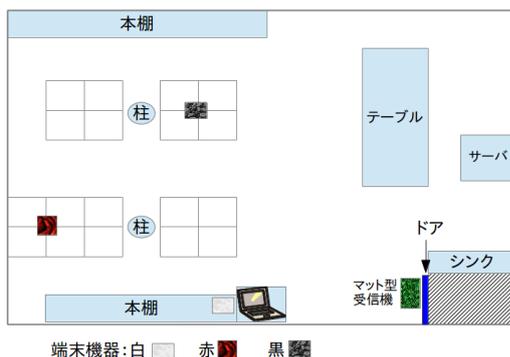


図 11 端末機器の設置位置

Fig. 11 The location of the Mindstorms NXT

### 3.4 帰宅判別を使った入退室管理システム

帰宅判別を使った入退室管理システムでは、データベースに新しいカラム：analysis を追加する。analysis に帰宅判別の結果が一時退室の場合に 0、帰宅の場合に 1 のように記録する。表 4 に示すように、state と analysis 2 つのカラムによって、一時退室と帰宅を分けて、表示することが可能である。図 10 は帰宅判別を使った入退室管理システムによって、研究室内部のウェブページのリアルタイム出席情報を表示している例である。

## 4. 性能評価

### 4.1 実験環境

我々の研究室を実験環境として、研究室メンバー全員 18 名の中でタッチタグを持っていない博士課程の学生 2 名を除いた 16 名の学生が実験対象となる。そして、研究室内

に 3 台の音声センサと光センサが搭載されている端末機器を設置する。設置位置は図 11 に示す。入退室管理システムの構成を表 5 に示す。

端末機器を設置することによって、研究室の環境情報が 3 台の端末機器から Bluetooth 経由で、入退室管理システムであるノートパソコンに送信される。実験期間は 1 週間を想定し、1 週間内における研究室メンバー全員の入退室の行動を検証する。

### 4.2 実験方法

帰宅判別の手法を利用することによって、研究室メンバーが研究室から退室する度に、出席情報を更新した時刻と、その時刻あたりにおける音声センサと光センサによる環境情報から、そのメンバーの行動を分析し、一時退室か帰宅かを判断する。在室者の人数によって端末機器から収集した音声データ値の大きさが異なるため、在室者の人数から帰宅判別の基準を変更する。判別基準のパラメータは表 6 に示すように、在室者の人数が 10 名以上の場合は 3.3.1 で述べた式 (1) の値に 3 を代入する。帰宅判別の基準は、3 台の端末機器とも帰宅と判断したのみ帰宅判別の結果は帰宅となる。一方、在室者の人数が 10 名未満の場合は同じ式 (1) の値に 3 を代入する。帰宅判別の基準は多数決で決定し、3 台のうち 2 台以上の端末機器が帰宅と判断した場合、帰宅判別の結果は帰宅となる。

実験期間は 1 月 20 日から 24 日までの 5 日間で実施す

る。1日ごとの研究室メンバーの記録から、帰宅判別の成功した回数を出入り口を出た回数で割ることによって、その1日の帰宅判別の成功率を求める。

表 6 実験のパラメータ

Table 6 Parameters of the experimentation

在室人数	判断基準
10名以上	3 完全一致
10名未満	3 多数決

### 4.3 実験結果

実験結果は図 12 示すように、帰宅判別の平均成功率は 70.4%と 7割に達している。1月 21 日の成功率がほかの日より低くなっている理由としては、その日に研究室メンバーの多くが参加するイベントがあり、研究室メンバーが集団で退室する際、騒がしかったことが原因だと考えられる。

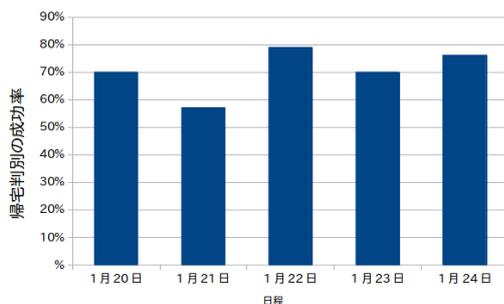


図 12 帰宅判別の成功率

Fig. 12 The success probability of return home discrimination

### 4.4 考察

帰宅判別の実験結果から、成功率は 7割に達しているが、実験対象の研究室の各メンバーごとによって、帰宅判別が難しい場合も発生した。

帰宅者が声を出した際、在室者の皆が一斉に言い返すのが一番理想的であるが、在室者の出す声のテンポが遅れる場合や前後 2 つに分ける場合など、色々な状況が発生する。そのため、すべての状況に対応するのは困難であった。しかし、人の行動を制限するのはあまりにも不自然であるため、帰宅者と在室者との行動を制限せずにあらゆる可能性に対応できるような帰宅判別手法の精度を上げる必要がある。今後、システムを改善する方針は以下のとおりである。

- 在室者の在席位置による分析

現在、研究室メンバーが帰宅する際、残り 在室者の人数で判別基準を変更しているが、在室者の人数に加えて座席位置を詳細に考慮して分析する必要がある。

- 多種類の帰宅分析モード

本研究が提案した帰宅判別は研究室メンバー全員に対して、同じ手法で実験を行っている。しかし、研究室メンバー全員の 16 人に対する、16 種類の帰宅分析モードを設けることによって、研究室メンバーの一人ひとりの行動特徴をより詳細に分析することが必要である。

## 5. おわりに

同じ空間でのあらゆる情報を収集し、分析することによって、環境のモニタリングや人の行動認識など、ある程度実現することができるようになった。しかし、研究室メンバーの帰宅判別の精度を上げるためには、環境音から人の音声を抽出することが難しい現在、音声情報だけで判別するのは困難だと推定される。そのため、今後は分析し難い部分はカメラや赤外線センサなど、より多くのセンサ情報を用いることや一人ひとりの行動特徴をより詳細に分析する帰宅判別手法を検討していく必要がある。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 25330123 の助成を受けている。

## 参考文献

- [1] 服部 栄二郎: ユビキタス社会で活躍する, 入手先 (<http://www.mitsue.co.jp/column/backnum/20120525.html>)(access 2014.02.12).
- [2] Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang: A ZigBee-Based Home Automation System, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.55, No.2, MAY 2009, pp.422-430, 2009.
- [3] Nagender Kumar Suryadevara: Wireless Sensor Network Based Home Monitoring System for Wellness Determination of Elderly, IEEE SENSORS JOURNAL, VOL.12, NO.6, JUNE 2012, pp.1965-1972, 2012.
- [4] 小谷 卓也: 人体周辺の近距離無線ネットワーク「BAN (IEEE 802.15.6)」が正式承認, 入手先 (<http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20120309/208191/>)(access 2014.02.12).
- [5] 品川 満, 森村 浩季: 人体近傍電界を利用した近距離通信技術, 電子情報通信学会誌 Vol.94, No10, 2011, pp.896-901, 2011.
- [6] Wen-Hsiang Kuo, Yun-Shen Chen: An Intelligent Positioning Approach: Rssi-Based Indoor and Outdoor Localization Scheme in ZigBee Networks, Proceedings of the Ninth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Qingdao, 11-14 JULY 2010, pp.2754-2759, 2010.