

スマートスピーカを介した 入退室自動管理システムの提案

西江愛^{†1} 山本眞也^{†1}

概要：従来の非接触カードを用いた入退室管理システムでは、ID 認証を行う際にカードをかざす必要があり、カードを忘れた際には入退室に関するデータ入力が増加する。また、一般にはスマートスピーカによる家電の音声制御が普及してきている。本研究では、センサによってユーザの入退室を推定し、その情報をもとにスマートスピーカを介したサービス連携によって、入退室管理と家電の自動制御を同時に実現するシステムを提案する。

キーワード：入退室管理，スマートオフィス，

An Attendance Management System with Smart Speaker

AI NISHIE^{†1} SHINYA YAMAMOTO^{†1}

1. はじめに

近年、オフィスにおける入退室管理には非接触カードやタッチタグを用いた ID 認証が広く用いられている。しかし、ID 認証には 2 つの問題点がある。1 つ目は、入退室のたびにカードをかざすといった、普段の生活において不必要な動作を行う必要があること、そして、2 つ目は、IC カードやタッチタグを忘れた場合は入退室登録が煩雑になるという点である。これを解決する既存手法として、生体認証が考えられるが、導入コストの高さから普及には至っていない。また、昨今、家庭内の家電機器をネットワークにつなぎ、ホームサーバによって一元管理することで自動制御を行うスマートホームについての研究の発展が行われている一方で、一般家庭ではスマートスピーカを使用した家電操作の音声制御が普及してきている。

現在、スマートオフィスにおける入退室管理システムの構築の試みとして、榎原らが入退室管理システムの構築手法について提案している[1]。このシステムでは、人体通信タッチタグと出入口に設置したマット型受信機によって、かざす動作を省略しているが、タッチタグを紛失した場合には入退室登録が煩雑になるという課題が残っている。そこで、本研究ではタッチタグなどの携帯デバイスを用いない一般に普及しているスマートスピーカを介した入退室管理システムを提案する。提案システムでは、室内にセンサを設置し、各ユーザの入退室状況のセンシングを行い、シチュエーションに応じて家電の操作を行うことが可能となる。また、音声操作による入退室状況の問い合わせ、入退室状況に応じた家電の操作などの機能を備える。これによって、かざすなどの日常生活において必要のない行動をユ

ーザに強いる問題と、ユーザに IC カードやタッチタグの携帯必要性の問題を解決する。

提案システムでは、ユーザの出入り口の通過をセンシングする**室外通過判別ノード**および**室内通過判別ノード**と各ユーザの着席、離席をセンシングする**離着判別ノード**の 3 種類のセンサノードとそれらの情報を一元管理し、スマートスピーカへ命令を送る**セントラルノード**を用いる。まず、室外通過判別ノードと室内通過判別ノードによって、ユーザの出入口の通過情報をセントラルノードへとそれぞれ通知する。また、各ユーザの利用する椅子の背板に取り付けられた離着判別ノードによってユーザの着席、離席を検出し、セントラルノードへと通知する。セントラルノードは、これらの情報を組み合わせることで各ユーザの入退室を検出する。このとき、室外通過判別ノードおよび室内通過判別ノードによる入退室の判定によって、一時的な離席を退室とする誤判別を防ぐことができる。また、セントラルノードは集約したユーザの在室情報からシチュエーションを推定し、適切な室内環境になるようスマートスピーカを介して家電の操作を行う。家電の操作は、スマートスピーカの家電連携機能を利用し、制御ルールをインストールするだけで従来のスマートライトやスマートロックなどを自動制御可能であり、これにより、照明の消し忘れ、鍵の閉め忘れを防ぐことが可能となる。また、セントラルノードは、スマートスピーカを介したサービス連携を用いて、ユーザの入退室をオンラインスプレッドシートへの入力、グループウェアや SNS への投稿を行う。これにより、ユーザの出席状況を容易に把握することを可能とする。

^{†1} 山陽小野田市立山口東京理科大学
Sanyo-Onoda City University

2. 関連技術

2.1 人体通信による入退室管理

FeliCa 方式の入退室管理システムが広く使用されているが、入退室を行う際に学生証や携帯電話を受信機にかざす必要があり、ユーザの負担となる。文献[1]では、その問題を解決するため、人体通信タッチタグを用いた入退室管理システムによってメンバのひとりひとりを認識し、音声センサを使用することで、メンバが一時退室したのか、帰宅したのかを判別する。このシステムでは、メンバ全員に人体通信技術を用いたタッチタグを携帯させ、出入り口にあるマット型受信機を踏み動作により、出席の登録が自動的に行われる。帰宅と一時退室の判別方法として、帰宅者が「お疲れ様です」と発声し、在室者全員が「お疲れさまでした」と発声するルールを設定し、それぞれの音声を生体センサが認識したとき、帰宅と判断される。メンバが帰宅する際は音声とその前後数秒間の平均音声よりも大きくなると仮定し、大きくならなかった場合を一時退室として判別する。このシステムでは、タッチタグを紛失した場合の出席登録が行うことができないため、ユーザは常にタッチタグを携帯しなければならないという課題が残されたままである。

2.2 モニタリングによる管理

文献[2]では、インターネットカメラを用いて得られる画像データから、不審な行動をする人物の検出を行うシステムを提案している。このシステムでは、人が窃盗行為をする際は物を探す動作、顔をあちらこちらに向ける動作、断続的な移動と立ち止まる動作を繰り返すと仮定し、天井隅に設置したカメラで1秒間に1~2枚程度画像を取得し、時系列差分画像を用いることで、移動している、立ち止まっている、座っているという姿勢の推定を行い、さらに物を探す動作をする動きの特徴量、移動度、首振り度、立ち止まり度を抽出し、これらの姿勢と動きの特徴量の組み合わせから、不審であるかどうか判定する。これによって、犯罪を未然に防ぐ、もしくは最小限の被害にとどめることが期待できるとしている。

文献[3]では、農作業において、これまで人の目で監視、確認を行わなければならなかった作業を、複数のセンサ、ファン、無線LAN、基板、計測用Webサーバ基板、ネットワークカメラ、LED照明、太陽電池などを一体化したセンサノード・デバイスであるフィールドサーバを用いて環境モニタリングを行い、農作物の状況を数値データや画像データで確認することで、農作物の葉面の濡れ時間や病虫害や生態多様性のモニタリングの事例を紹介している。

しかし、これらの手法では、カメラの監視によるユーザのプライバシー保護の問題や、高性能なセンサノードを用いた過剰なセンシングによる高い導入コストを考慮すると、

本研究で扱う課題には適応が難しい。

2.3 オフィスでの人間感知を利用した照明制御

文献[4]では、知的照明システムによる照明制御を提案している。各照明に設置された制御装置が照度情報及び消費電力情報をもとに最適化手法を用いてユーザに感知されない範囲内でランダムに光度を変化させ、ユーザの要求する照度を省電力で実現している。また、照明と照度センサの位置関係を推定することで、各照明の光度変化に方向性をもたせ、効率的に最適な点灯パターンを実現している。また、個人のデスクが無く、ユーザが自由に席を利用できるオフィス環境において、ユーザが照度センサを身につけることによって、動的な点灯パターン推定による制御も提案している。本研究では、セントラルノードに情報集約することによって、このシステムを模したアプリケーションを導入可能である。

3. 提案手法

従来の非接触カードやタッチタグを用いたID認証による、入退室時のかざす動作やタグの紛失時の煩雑な登録作業を省略した入退室管理と、シチュエーションに応じた家電の自動制御によるスマートオフィスの実現を同時に達成するため、スマートスピーカを用いたスマート入退室管理システムを提案する。図1 提案システムの概要に示す通り、提案システムは、入退室判別部、入退室登録部、家電操作部の3つのコンポーネントからなる。入退室判別部ではユーザの入退室や離着席情報の取得、入退室登録部では入退室判別部から取得した情報の集約とそれにとまなう情報の登録と通知、家電操作部では、入退室登録部によって集約された情報をもとにした家電の制御を行う。

3.1 入退室判別部

入退室判別部では、室外通過判別ノード、室内通過判別ノード、離着判別ノードによってユーザの入退室および離着席のセンシングを行い、セントラルノードでセンシング結果をもとに入退室状況を判別する。室外通過判別ノードには、超音波センサと ZigBee モジュールを搭載したセンサノードを使用する。これを出入り口の外側に設置し、一人ずつ入退室するものと仮定し、超音波センサで一定の距離以内の障害物の有無を検出することにより人物の通過を判別し、**室外通過通知**としてセントラルノードに送信する。室内通過判別ノードには、超音波センサと ZigBee モジュールを搭載したセンサノードを使用する。これを出入り口の内側に設置し、一人ずつ入退室するものと仮定し、超音波センサで一定の距離以内の障害物の有無を検出することにより人物の通過を判別し、**室内通過通知**としてセントラルノードに送信する。離着判別ノードには、三軸加速度センサおよび ZigBee モジュールを搭載したセンサノードを使用する。これを椅子の背部に取り付け、椅子の前後方向の

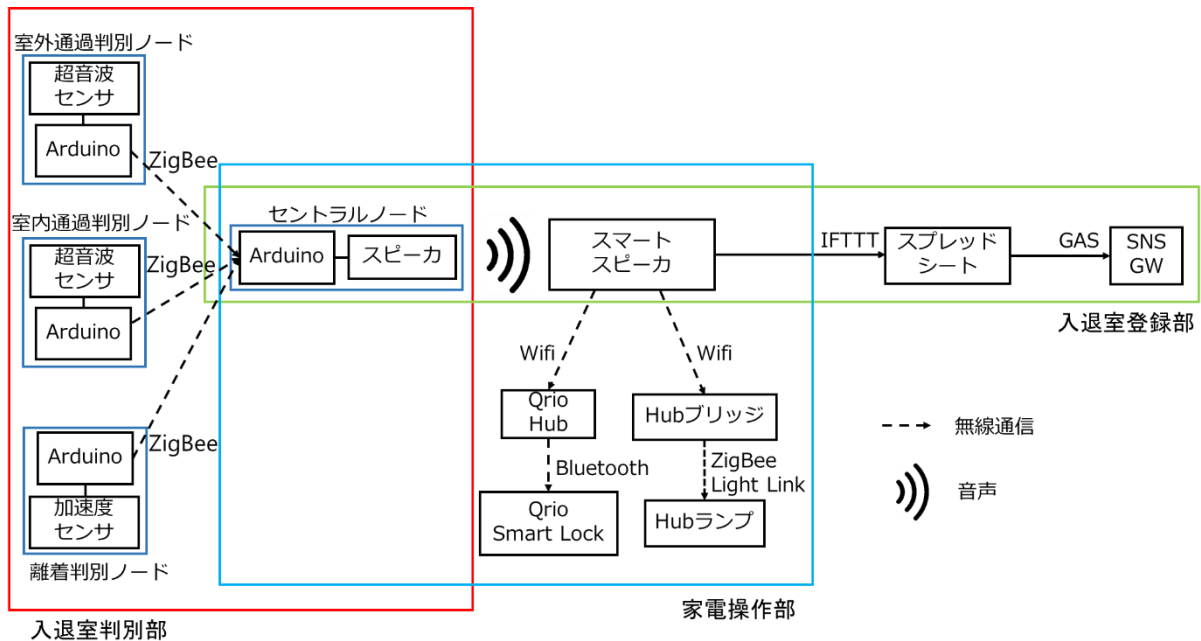


図 1 提案システムの概要

加速度がしきい値を越えたとき、加速度方向によってユーザの着席もしくは離席として判別し、**着席通知**もしくは**離席通知**をセントラルノードに送信する。これらの着席通知および離席通知にはノード ID を含むものとする。このとき、座席はユーザごとに固定であると仮定し、ユーザの推定に用いる。セントラルノードには、ZigBee モジュール、音声再生モジュール、スピーカを搭載したノードを使用し、送られてきた室外通過通知と室内通過通知と着席・離席通知の組み合わせによって、ユーザの入退室を推定する。具体的には、セントラルノードは、在室するユーザがいない場合には、室外通過通知、室内通過通知、着席通知の順に通知が届いた場合には、離着判別ノードの ID 番号によって、その ID に対応したユーザが入室したと判断する。また、離席通知、室内通過通知、室外通過通知の順に届いた場合には、離着判別ノードの ID 番号によって、その ID に対応したユーザが退室したと判断する。室外通過通知、室内通過通知の順に届いた際、在室人数のカウントを増やす。室内通過通知、室外通過通知の順に届いた際、在室人数のカウントを減らす。室外通過通知、室内通過通知が届いた後、着席通知が届かなかった場合には、来客の可能性を考慮し判別を保留する。離席通知が届いた後、室内通過通知が届かなかった場合には、室内移動の一時的な離席の可能性を考慮し、判断を保留する。また、離席通知が届いた後、室外通過通知が届いた場合は、他のユーザの入室と判別し、離席通知は保留にする。その後、室内通過通知、室外通過通知が届いた場合、ユーザの退室と判別し、着席通知が届いた際は、一時的な離席だったと判別する。来客者がいる際に、離席通知、室内通過通知、室外通過通知が届いた際、ユーザの退室か来客者の退室か判別ができないため、保留

1	Time	ID	State
2	December 15, 2018 at 05:06AM		1 入室
3	December 15, 2018 at 05:06AM		2 入室
4	December 15, 2018 at 05:06AM		1 退室
5	December 15, 2018 at 05:06AM		3 入室
6	December 15, 2018 at 05:06AM		1 入室
7	December 15, 2018 at 05:07AM		2 退室
8			
9			
10			

図 2 オンラインスプレッドシートへの入退室記録

1	number	name	status
2	1	ユーザA	入室
3	2	ユーザB	退室
4	3	ユーザC	入室
5			

図 3 リアルタイム入退室情報

とする。その後、着席通知が届いた際は、来客者の退室、ユーザの一時退室と判別する。着席通知ではなく、室内通過通知、室外通過通知が届いた際は、来客者の退室、ユーザの退室と判別する。

3.2 入退室登録部

入退室登録部では、ユーザのリアルタイムの入退室状況を把握できるように、Google スプレッドシートのようなオンライン上のスプレッドシートを用いて、入退室情報の管

出席管理

2018年9月25日、あなたがこのチャンネルを作成しました。#出席管理 チャンネルを
[目的を設定](#) + [アプリを追加する](#) [他のユーザーをこのチャンネルに招待する](#)

2018年12月15日

管理者 アプリ 05:06
 ユーザA出席
 ユーザB出席
 ユーザC出席

+ #出席管理 へのメッセージ

図 4 グループウェアへの出席メッセージ投稿

理を行う。また、他のユーザがリアルタイムに出席状況の把握を可能にするため、ユーザの出席情報を SNS やグループウェアにむけて投稿する。具体的には、セントラルノードは、入退室判別部によって推定されたユーザの入退室情報をもとにスマートスピーカへむけて音声によってオンライン上のスプレッドシートに入退室情報の登録を依頼する。スマートスピーカは命令音声に従い、IFTTT を用いて、スプレッドシートに入退室情報の登録を行う (図 2)。このとき、その情報をもとに対象空間全体のユーザ入退室情報を更新する (図 3)。さらに、この入退室情報をもとに、GoogleAppScript(GAS)に代表されるサーバサイドスクリプトを用いて、ユーザの出席情報を SNS やグループウェアにむけて投稿する (図 4)。

3.3 家電操作部

家電操作部では、スマートスピーカが備えているスマート家電の操作機能を用いて、センシングによるユーザの入退室の推定情報をもとにサービス連携によって家電の自動制御を実現する。入退室登録部によって生成されたリアルタイム入退室情報をシチュエーションの分類に行い、セントラルノードからスマートスピーカにむけて音声によって家電操作の命令を行う。家電操作の代表的なものとしては、照明の点灯・消灯や施錠が挙げられる。使用例として、室内に部屋全体を照らす全体照明と各ユーザ用の個別照明を配置し、また、出入り口のドアにスマートロックを設置する。この環境下において、ユーザが入室した際、室内に他のユーザがいない場合には全体照明を点灯し、ユーザが着席後、個別照明を点灯する。ユーザの退室後は、個別照明を消灯し、全員帰宅した場合は全体照明を消灯し、施錠を行うといった制御が可能となる。現在のスマートスピーカでは、スマートスピーカからスマートハブへ WiFi を経由して命令を行い、スマートハブから操作デバイスへは Bluetooth や ZigBee Light Link によって操作を行うものが一般的となっている。

4. 評価実験

提案システムの有用性を評価するため、入退室判定部、入退室管理部、家電操作部それぞれのコンポーネントについて評価実験を行った。入退室判定部について離着席の検



図 5 加速度センサを装着した椅子

表 1 実験環境

項目	値
しきい値	$T_1 < -10 \text{ U} - 6 < T_1$, $T_2 < -9 \text{ U} - 7 < T_2$
ロッキング	ON, OFF
座り方	素早く, ゆっくり
体重	40kg 台, 50kg 台, 80kg 台

表 2 体重別の判別精度

	40kg 台	50kg 台	80kg 台
判別精度	83.3%	73.3%	84.2%

出精度評価、入退室管理部についてスマートスピーカへの命令実行精度、家電操作部についてユーザの入退室から家電の自動制御までの一連の動作の成功率を評価する。

4.1 離着席判別における精度評価

提案システムでは、出入口の通過と椅子の離着席をセンシングすることで入退室の判別を行う。この際の椅子に設置した加速度センサによるユーザの着席・離席の判別精度を評価するため、着席時、離席時の加速度変化を計測した。また、その結果をもとに離着席判別の際の加速度のしきい値設定を行う。加速度センサを設置した様子を図 5 に示す。

実験では、着席時、離席時の計測した加速度変化をもとに設定した加速度のしきい値、椅子のロッキングの ON/OFF、座り方、ユーザの体重を変化させ、加速度による着席・離席判定の精度について評価した。実験環境を表 1 に示す。加速度センサの反応幅が大きい場合をしきい値 T_1 とし、反応幅が小さい場合をしきい値 T_2 とする。その結果、しきい値 T_1 、ロッキングなし、勢いをつけた座り方がもともと判別精度が高い。また、ユーザの体重別の判別精度を表 2 に示す。この表より、ユーザの体重による判別精度変化に差はないことがわかる。

4.2 スマートスピーカに有効な音声パターン評価

提案システムでは、セントラルノードに搭載したスピーカから登録音声再生することでスマートスピーカにむけた音声による命令とスマートスピーカからIFTTTを行ったサービス連携によって、入退室の登録および家電の操作を行う。このとき、スマートスピーカが音声を認識しないことが多々ある。主な原因は以下の3つである。(1)スマートスピーカの多くは話しかけられた言葉を文字に起こし、命令内容を把握することで様々なサービスを行うが、文字起こしの際に、命令が意図する言葉と意味の異なる文字に変換してしまい、別の命令として認識される問題がある。例えば、命令として登録された「来た」というフレーズに対し、スマートスピーカにむけて発せられた音声を「北」に変換してしまう。これは、数字や名詞においても同様のことが起こる。また、「タヌキ」という登録されたフレーズに対し、音声を「狸」と漢字変換した場合にも、別のフレーズとして認識されるため命令は実行されない。(2)スマートスピーカは促音を認識しにくい問題がある。例えば、登録された「出席」というフレーズに対し、音声を「主席」と誤認識してしまい、別のフレーズとして扱うことがある。(3)スマートスピーカは命令のフレーズを正しく認識したが、IFTTTが正しく作動しない問題がある。これらの問題を考慮し、誤認識により入退室登録の管理が正常に行われなことを防ぐため、スマートスピーカが正しく認識しやすいフレーズについて音声パターンの評価を行った。認識成功および認識失敗の2種類に判別を行い、認識成功率を評価した。実験では、スマートスピーカにAmazon Echo plusを用いて、セントラルノードの音声命令用のスピーカはスマートスピーカの正面50mmの位置に設置した。実験環境は、騒音40dBの室内で行った。実験で用いる命令音声には、文字起こしの際に安定してカタカナに変換する果物、動物、パンに関する名詞を計20種類用意した。このとき、人名や地域名などは同音異義語が多く誤変換の可能性が高いため、候補から外すものとする。また、IFTTTを呼び出す際の音声パターンを3種類用意し、計60パターンを用いて成功率を確認した。実験では、用意した音声を10回ずつ再生し、音声認識精度の評価を行った。

その結果、全体の認識率は70.7%で、認識率の低かった名詞の具体例として「ブドウ」が認識率13.3%であった。認識率が低かった理由は、「ブドウ」を「ベッド」と聞き間違えることが多々発生したからである。用意した音声全体の40%が認識率100%となった。その中の「リンゴ」「アンパン」「レモン」「フランスパン」を本実験の命令文として使用する。また、IFTTTの呼び出し音声は、「〇〇をトリガー」を使用する。リンゴとアンパンをユーザに結び付けることで、「リンゴをトリガー」と発した際はユーザの入室登録、「アンパンをトリガー」と発した際はユーザの退室登録を行う。各ユーザに2つずつフレーズを結び付ける。

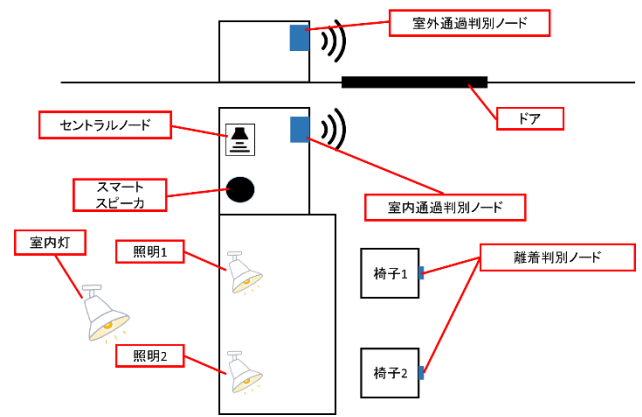


図 6 実験環境

4.3 騒音下での音声認識精度の評価

提案システムでは、セントラルノードに搭載したスピーカから音声再生することでスマートスピーカへ命令を行い、入退室の登録および家電の操作を行う。このとき、室内の騒音が大きい場合、スマートスピーカは命令を正しく認識できない可能性がある。これを未然に防ぐため、どの程度の騒音であれば問題なく命令可能か評価するため、実験を行った。音声の再生を行うスピーカはAmazon Echo plusの正面50mmの位置に設置した。

実験では、40dBの室内環境においてPCから環境音を再生することで擬似的に騒音環境を構築したうえでスマートスピーカ横に騒音計を設置し、その数値を用いる。対象環境における環境音を40dB、50dB、60dB、70dBで変化させ、各騒音下で、命令音声7種類を各10回ずつ再生し、音声認識の精度評価を行った。命令を正しく認識した場合を成功、誤認識もしくは認識できなかった場合を失敗として認識成功率を計測した。

その結果、40dBのとき100%、50dBのとき100%、60dBのとき93.3%、70dBのとき58.3%の音声認識精度を得た。株式会社東京環境測定センターによると、50dBは静かな事務所、60dBで普通の会話、70dBで騒々しい事務所が目安となるため、実験結果より、提案システムは、一般的なオフィス環境では問題なく動作するが、騒々しいオフィスでは防音・集音策が必要となる。

4.4 一連の動作における動作精度評価

提案システムでは、入退室状況をセンシングし、入退室登録および在室状況に応じた家電の操作を行う。提案システムを稼働させた際に、入退室判別、入退室登録、家電の自動制御が正しく行われるかについて評価を行った。

図6に実験環境を示す。照明の点灯および消灯を行うためPhilips hueのランプを3つ、施錠を行うためQrio Smart lockを1つ使用した。

実験における制御ルールでは以下の通りとなる。

- 椅子は人数分用意し、ユーザ1は椅子1、ユーザ2は椅子2に座る。

表 3 一連の動作精度実験結果

動作	精度
入室登録	100.0%
スプレッドシートに書き込み(入室)	100.0%
Slack に出席通知	100.0%
退室登録	97.5%
スプレッドシートに書き込み(退室)	97.5%
照明の点灯(室内灯)	100.0%
照明の点灯(個別照明)	100.0%
照明の消灯(室内灯)	95.0%
照明の消灯(個別照明)	97.5%
施錠	95.0%
一連の動作精度	98.5%

- ユーザ 1 は照明 1 を占有し、ユーザ 2 は照明 2 を占有し、室内灯は共有して使用するものとする。
- ユーザが入室した際、室内に他のユーザがいなかった場合、室内灯を点灯する。
- ユーザ 1 が帰宅する際に、ユーザ 2 が在室している場合は、照明 1 のみを消灯する。
- ユーザ 2 が帰宅する際に、ユーザ 1 が在室している場合は、照明 2 のみを消灯する。
- ユーザが全員帰宅した際は、室内灯を消灯し、施錠を行う。

ただし、本実験では、以下の 3 つを仮定した。入室および退室は 1 人ずつ行う。被験者以外の人物は入室してこない。任意のユーザが一時離席を行っている際に、他のユーザは退室動作を行わない。

以上の条件のもとで 2 人の被験者に、それぞれの被験者が入室を 1 人ずつ入室したのち、1 人ずつ退室を行う。入退室を行う際のユーザの順番はランダムに行い、それぞれの状況について 20 回ずつ入退室動作を行ってもらい、データを収集した。

実験結果を表 3 に示す。この表より、高い精度で一連の動作を行えていることがわかる。特定の動作で成功率が 100%でない原因は、ユーザが退室を行う際に離着判別ノードとセントラルノード間の通信がうまくいかなかったためである。その結果、退室の処理が正しく行われなかったため、その後の処理がうまくいかず、照明の消灯および施錠の動作精度が低くなった。

5. まとめ

本論文では、タグなどの認識デバイスをユーザに所持させることなく、スマートスピーカを介して入退室の自動管理および家電の自動管理を同時に実現できるシステムを提

案した。提案システムでは、出入口の通過と座席への離着席をセンシングすることによって入退室を判定し、その情報をもとにスマートスピーカを介して、入退室管理や家電の自動制御を行うことができる。

実験では、椅子に設置したセンサによる離着席の検出精度、スマートスピーカへの自動音声命令の認識精度、提案システムを用いた一連の制御動作の成功精度を評価し、実用十分な精度を達成できることを示した。

今後の課題として、外部の訪問者を含めた環境での実験、騒音環境への対策を行う予定である。

参考文献

- [1] 周士翔, 榎原博之, 松崎頼人. 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. 研究報告モバイルコンピューティングとユビキタス通信 (MBL). 2014,no.18,p.1-8.
- [2] 寺田賢治, 鴨頭大輔. インターネットカメラを用いた不審行動人物の検出. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌). 2007,vol.127,no.11,p.1871-1879.
- [3] 平藤雅之. ワイヤレス・センサネットワークによる農業生産及び地球環境のモニタリング. 計測と制御. 2007,vol.46,no.2,p.128-132.
- [4] 三木光範, 東陽平, 吉田健太, 池上久典. 知的照明システムにおける照度センサに影響のある照明の抽出手法及びそれに伴う消灯制御. 電子情報通信学会論文誌. 2013-10.