

# リモコン操作ログと照明演出装置を用いた 室内快適化補助システム

宵 憲治<sup>†1</sup> 荒川 周造<sup>†1</sup> 中村 優吾<sup>†1</sup> Pathirathna Shalika<sup>†1</sup> 前田 直樹<sup>†1</sup> 松本 誠義<sup>†1</sup>  
平部 裕子<sup>†1</sup> 安本 慶一<sup>†1</sup>

**概要：**本研究では、エアコンやヒーターといった空調家電のリモコン操作ログから、住人の暑いや寒いといった感覚を推定し、照明演出装置で感覚に応じた色の光を灯すことで、空間をより快適にする室内快適化補助システムを提案する。提案システムでは、家庭内で日常的に操作する空調家電のリモコンの赤外線信号を取得し、行われた操作が環境をどのように変化させるものなのかを判別することで住人が感じている感覚を推定し、その結果に応じて、住人がより快適に感じる色の照明を点灯させる。例えば、エアコンの設定温度を上昇させた時であれば、住人は現在の環境を寒いと感じていると仮定し、より暖かく感じる色の照明を点灯させる。照明の色は、体感温度に大きく影響することが分かっており、ユーザの感覚に応じて照明の色を制御出来れば、より省エネに快適な空間を実現することが可能になる。システムの評価実験として、実際に人がいる空間において暖色、寒色を含めた8種類の照明をそれぞれ点灯させ、それぞれの色に対する体感温度の感じ方に関するアンケート調査を行ったところ、多くの人が暖色、寒色の間で、体感温度の変化を感じていることが分かった。また、リモコン操作の赤外線を取得する精度を調査するために、リモコン操作ログ収集システムによって、今回使用するエアコンのリモコンにおける6種類のコマンドの赤外線信号をそれぞれ20回ずつ取得したところ、95%以上の精度で正しく判別できていることが分かった。

**キーワード：**スマートホーム、IoT/M2M、コンテキストウェアネス、リモコン操作ログ、色彩心理学

## 1. はじめに

ここ数年間でIoT (Internet of Things) や M2M (Machine to Machine) という言葉が大きな注目を集めるようになった。IoT は、身の回りのあらゆる物がインターネットを介して繋がり、人の操作・入力を介さず、自律的に最適な制御を可能にすることを目指した技術であり、M2M は機器同士をネットワークで繋ぎ、相互でのやりとりを可能にすることで、それぞれの機器で生成されたデータをリアルタイムで統合、制御し活用するような技術を指す。IoT/M2M の注目に伴い、ZigBee [1] や EnOcean [2], MQTT [3] といった無線通信技術を搭載したセンサ等の様々な無線デバイスが開発されている。これらの技術により、これまで多くの企業や研究機関が取り組んできたスマートグリッドやスマートホームの更なる発展が期待されている。

IoT/M2M とスマートホームに関する多数の研究が行われている [4-7] これらの研究では、IoT/M2M デバイスを活用して、住人に快適な環境を自動で提供したり、効率的

に家電を制御したり家電の消費電力が見える化することで省エネに繋がるようなシステムやアプリケーションが多数提案されている。従来、そういったシステムでは、本当にユーザが快適になったかどうかを評価するために、アンケートを取ったり心拍計等のユーザの体調がわかるようなセンサを身につけたりして確認しなければならない。ユーザに負担をかけることなく、ユーザ自身の快適さ等の感情を定量的に表すことが出来れば非常に有意義であると考えられる。そこで我々は、日常生活において、住人が何らかの意図を実現するために行う、家電のリモコンの操作に注目した。我々は普段、家庭内において、現在の環境になんらかの不満を感じた時に、様々な家電を操作することで、快適な環境を実現しようとする。例えば、部屋が寒ければ暖房をつけたり、エアコンの設定温度を上げる、乾燥していれば加湿器を付けるといったものが挙げられる。これらの家電のリモコン操作のログが取得出来れば、リアルタイムに住人が何を考えているか、快適かどうかを推定出来る可能性がある。

本研究では、住人が普段感じる、暑いや寒いといった感情の推定を目的とし、最新のIoT デバイスを用い、日常の

<sup>†1</sup> 現在、奈良先端科学技術大学院大学  
Presently with Nara Institute of Science and Technology

リモコン操作の赤外線信号を傍受し、ログとして保存するリモコン操作ログ収集システムを提案する。また、リモコン操作ログを用いて推定した住人の暑いや寒いといった感覚に合わせて、照明演出 IoT デバイスを用いて感覚に応じた色の光を灯すことで、空間をより快適にする室内快適化補助システムを提案する。

提案システムは、まず、住人が日常的に操作するリモコンの赤外線信号を、赤外線リモコン学習デバイス IRKit [8] を用いて構築したリモコン操作ログ収集システムによって取得する。このシステムでは、あらかじめ、赤外線信号がどのリモコンのどのコマンドに対応するのかをコマンドデータベースに登録しておき、IRKit が取得した赤外線信号をコマンドデータベースに照らしあわせ、どのコマンドなのかを特定し、タイムスタンプと共にリモコンログデータベースに格納する。次に、取得したリモコン操作が、環境をどのように変化させるものなのかを判別することで住人が感じている感覚を推定し、その結果に応じて、住人がより快適に感じる色の照明を点灯させる。例えば、エアコンの設定温度を上昇させる操作をした場合は、暖色の照明を点灯させる。部屋の色彩効果と体感温度はより密接な関係にあり、照明の色を変えることで、通常の照明と比較して体感温度が 2~3℃ の範囲で変わってくると言われている [9,10]。よって、ユーザの感覚に応じて、適した色の照明を点灯すれば、空調の出力を抑えることが出来、省エネに快適な空間を実現できる。様々な色の照明を点灯させる IoT デバイスとして、無線通信により制御可能な照明演出装置 Spark core とカラー LED テープを用いて開発した。更に、リモコンの操作を取得すると同時に、空間の温湿度や照度等の環境値を取ることを目的とし、リアルタイムな環境の観測を可能にする環境センサを設計開発した。

システムの評価実験として、実際に人がいる空間において暖色、寒色を含めた 8 種類の照明をそれぞれ点灯させ、それぞれの色に対する体感温度の感じ方に関するアンケート調査を行ったところ、多くの人が暖色、寒色の間で、体感温度の変化を感じていることが分かった。また、リモコン操作の赤外線を取得する精度を調査するために、リモコン操作ログ収集システムによって、今回使用するエアコンのリモコンにおける 6 種類のコマンドの赤外線信号をそれぞれ 20 回ずつ取得したところ、95%以上の精度で正しく判別できていることが分かった。

## 2. 関連研究

### 2.1 照明色毎の心理的効果について

照明の色に対する心理的効果を調査している研究は多く存在する。例えば Hawes らは、蛍光灯あるいは様々な色温度や輝度を持つ LED ライトシステムを備えた軍事シェルターにおける、視覚的、情緒的、そして認知的結果について、室内照明が直接人々の感情、記憶、知覚、向きや問題

解決能力に影響を与える可能性を述べている [11]。

Choi らは、ユーザコンテキストを基に照明を事前に設定するシステム [12] を開発している。照明の色や明るさに合わせて「リラックス」、「涼しい」、「温かい」など様々な心理的なキーワードを 7 つのカテゴリに分け、家での活動を定義したうえで、どの照明が対象活動に適しているかユーザスタディを行った。その結果を利用して対象活動に合わせた照明を事前セットするアプリケーションを実装・評価し、開発アプリケーションが 5 つの行動に対して非常に高く適合したことを示している。

赤、もしくは青の照明が日常的な会議において、健康知覚、社会的一体性、生産性に対し影響をあたえるかについても研究されており、結果としてそれらに対し影響を与えないことが示されている [13]。また Edensor と Hayden は、暗闇や薄暗さが創造性に影響することを示した [14]。

このようにユーザの快適さに応じて照明の色や明るさを調整できれば、ユーザの快適性を高めることができる。特にユーザの「涼しい」「温かい」等の体感温度を調整できれば、省エネルギーの実現に繋がる。また、睡眠や学習、創造性が必要な作業など、特定の行動に合わせて照明の色を変化させることで、ユーザの生活がより快適なものになると考えられる。

### 2.2 IoT センサデバイスについて

あらゆる物とインターネットを接続し、制御することを目的とした IoT 技術が注目されている。本研究では、照明装置の色相や明度を制御するため、照明演出装置に IoT の技術を利用した。

IoT の実現には、プロトタイピングを目的としたマイコン基盤が利用されている。このマイコン基板をもとにしてシステムを構築し、無線モジュールを介してインターネットに接続することで、制御可能なシステムが構築される。Spark Core は Wi-Fi モジュールを標準搭載しているマイコン基板である。現在、最も実績のある Arduino の互換基板として、国内でも普及が見込まれている。本研究では、Spark Core [15] を利用して照明演出装置のプロトタイプを構築した。

IoT における重要な課題として、消費電力の省力化がある。家庭内にセンサを設置する場合、電源の確保にコンセントの占有や頻繁な電池交換が生じることは、生活の妨げに成り得るため望ましくない。省電力化を実現する通信技術として EnOcean [2] がある。室内光などを利用して環境発電を行うことにより、電池を不要とした通信を行う。EnOcean はビルオートメーションを目的として開発され、自己発電型の通信技術として多数の採用実績がある。本研究では、温湿度や照度を取得する環境センサの環境発電化を見越し、EnOcean を利用した。

### 2.3 各種センサ値と家庭内の快適度推定, 快適さに関する研究

柏本らは、アンケートを元に作成した快適度関数を用いることで、各家電の総消費電力を抑えながらも快適度の低下を最小限に抑える手法を提案している [16]. 調査の結果から、住人の活動状態 (読書や睡眠など) ごとに、各家電の省エネ設定がもたらす快適さの低下度合いが異なることを述べている. 提案手法を用いた実験の結果, 平均快適度の低下を 14.47% に抑えながらにして, 20% の省エネが達成されており, また, 全ての家電の電力量を均等に削減する方法に対し, 省エネ目標達成時の住人の平均快適度が 34.64-44.84% 高い値を示したことを述べている.

センサネットワークによる住人の快適度推定が行われている [17]. 低コストなセンサ群 (温湿度, 照度, モーション検出, 音センサを含む) と, 住人が 3 段階で快適度 (暑い, ちょうどいい, 寒い) を報告するためのボタンが搭載されたセンサノードを 17 個配置し, 収集した値から住人の快適度に影響する環境変数を予測している.

### 2.4 リモコンログ取得と家庭内行動認識

青木らは, リモコンの操作ログから家電の状態を推定し, 家電状態ログとして収集するシステムを提案している [18]. 家電の操作には利用者の意図が含まれており, その好みや生活行動パターンを抽出できることの可能性について示唆している. 提案システムは, 各家電ごとのリモコンアプリケーションをインストールしたスマートフォンにより, 部屋に設置された赤外線送受信機 (RC プロキシ) を介して家電操作を行う. 全ての家電操作はスマートフォンに集約され, 漏れの無い操作ログ集積を実現している. 集積した操作ログは家電の状態遷移表や利用者の行動特性を用いて解析され, その出力結果を家電状態ログとして保存する. これにより, 誤操作や家電側の赤外線受信エラーによって生じる誤差に対処し, 実験において約 84% の家電状態の捕捉率を実現している.

IoT の流れを汲み, PC からアクセス可能なリモコンとして, irMagician [19] や IRKit [8] が市販されている. irMagician は赤外線 LED の搭載されたワンチップマイコンで, 利用にはシステムの構築が必要となる. 一方, IRKit はより一般利用者向けに販売されている. 利用者は専用のアプリケーションを利用し, スマートフォンに家電情報を登録することでクラウドリモコンとして利用できる. 両端末ともに, リモコンの赤外線の学習機能を備えており, 受信した赤外線信号を数値列の形で取得することが可能である. 本研究では, 予備実験として赤外線信号の取得を試みたところ, リモコンから同じ信号を送出しているにも関わらず, 取得した数値列の値には両端末ともにばらつきが見られた. 本研究では, この誤差に対応することを前提として, クラウドリモコンとして活用できる点, 入手の容易さ

などから IRKit を赤外線信号の取得機構として利用した.

### 3. リモコン操作ログ収集システム

本章では, 赤外線リモコン学習デバイス IRKit を用いたリモコンログ収集システムの全体構成を示し, 処理の流れに沿ってシステムの構成要素の詳細を記述していく. また, 環境値を取るために設計開発した環境センサの詳細についても述べる.

#### 3.1 システム構成

まず, システムの概要図を図 1, システムの使用例を図 2 に示す.

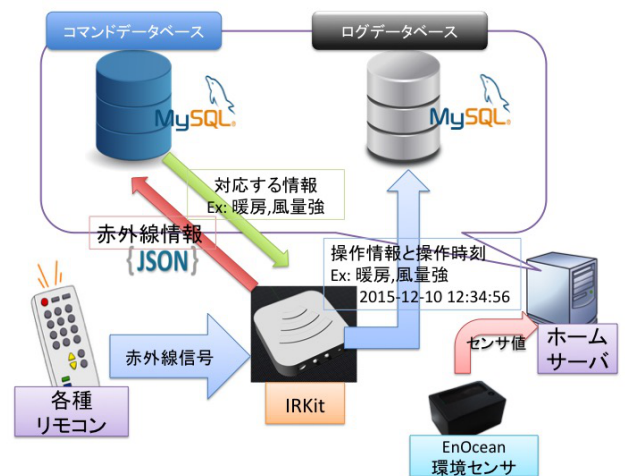


図 1 リモコンログ収集システム構成図

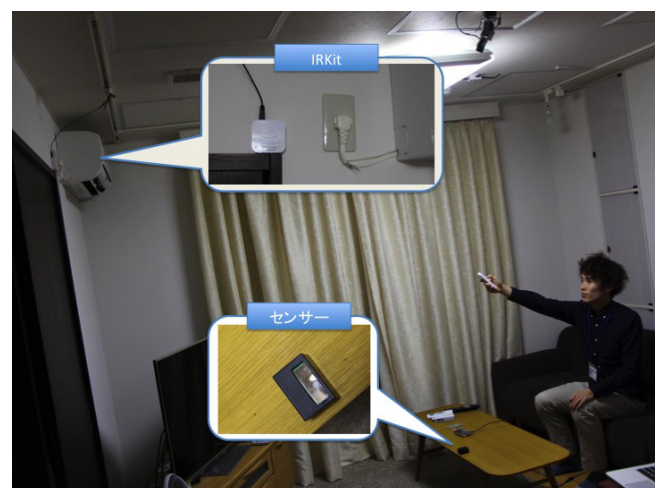


図 2 リモコンログ収集システム使用例

IRKit は, リモコンの赤外線信号を傍受し, 受け取った信号のパターンを以下の例のような JSON 形式に変換し, 保持することができる. 以後 JSON データの "data" に対応する数値列をデータ列と呼ぶ.

```

/**リモコンの赤外線信号情報の JSON 変換後の一例***/
{"format":"raw",
"freq":38,
"data":[6648,3458,815,2537,815,2537,815]}

{"format":"raw",
"freq":38,
"data":[6881,3228,968,2368,968,2368,968]}

```

IRKit 内部の HTTP サーバに POST リクエストを送ることで赤外線情報を取得することが可能である。ただし、IRKit 自体に保持出来る信号は受け取った最新のもののみであるので、過去の受け取った信号を参照したい場合は、赤外線信号を傍受する度に、外部のメモリに保存しておく必要がある。よって、あらかじめ、使用するリモコン操作の赤外線信号情報とコマンド情報をコマンドデータベースに登録しておく。登録が終われば、IRKit が傍受した赤外線情報とコマンドデータベースを照らし合わせることで、どの操作が行われたかを判別する。しかし、リモコンの赤外線信号は、部屋の照明等の影響により、多少の誤差が発生してしまう。誤差が発生してしまった場合、コマンドデータベースに登録されている赤外線信号情報と完全に一致しないため、どの操作が行われたかを判別することができない。よって、本システムでは、取得した赤外線信号がコマンドデータベースのものと一致しなかった場合、取得した赤外線情報のデータ列とコマンドデータベースに登録されている赤外線情報のデータ列でユークリッド距離を取り、より近いものを選択することで、赤外線信号の誤差を許容している。こうして、判別したリモコン操作のコマンドは、取得したタイムスタンプと共にログデータベースに格納される。

また、本研究では、実用性を高めるため、図3のようなコマンドデータベースへの赤外線信号の登録とログの検索を行うことが可能な Web アプリケーションを開発し、本システムの運用を効率化している。

### 3.2 環境センサ

提案システムは、空調家電と照明装置を用いており、室内の温湿度、照度といった環境値が大きく変化する。本研究では、室内の温湿度と照度をリアルタイムに観測するために、環境センサを独自に設計開発した。開発したセンサの回路図を図4、センサの仕様を表1、完成品を図5に示す。また、動作仕様は以下のようにになっている。

- 温湿度、照度を1秒間隔で計測、送信する
  - 通信は EnOcean 規格 [2] を用いる
  - CR2450 電池を利用することで、約一ヶ月間の連続動作が可能
- 通信に用いている EnOcean は、近年、IoT/M2M を実現

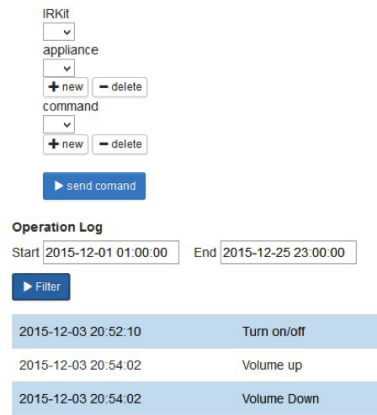


図3 コマンド登録、ログ閲覧 web アプリケーション画面例

する通信技術として注目を浴びている。EnOcean の特徴は超低消費無線発信技術により、太陽光や熱等のエネルギーハーベストで得られる微小なエネルギーでバッテリーレスで稼働することが可能な点である。しかし、本システムでは、送信間隔を数秒以下にする必要があり、室内に設置した際の太陽光発電等では十分な電力を得られないため、ボタン電池を用いている。

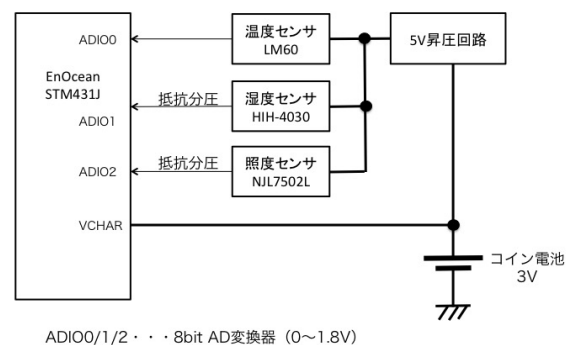


図4 温湿度センサ回路構成

表1 センサ仕様

	温度センサ	湿度センサ	照度センサ
センサ型番	LM60	HIH-4030	NJL7502L
測定レンジ	-40 °C~125 °C	0~100% RH	1~268lux
精度	± 3.0 °C	± 3.5% RH	-
AD 測定分解能	1.13 °C	0.63% RH	1.0524lux

## 4. 室内快適化補助システム

本章では、室内快適化補助システムについて述べる。まず、システムの概要図を図6に示す。

リモコン操作ログ収集システムによって取得された赤外

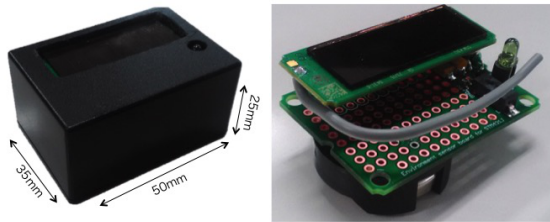


図 5 使用した温湿度センサー

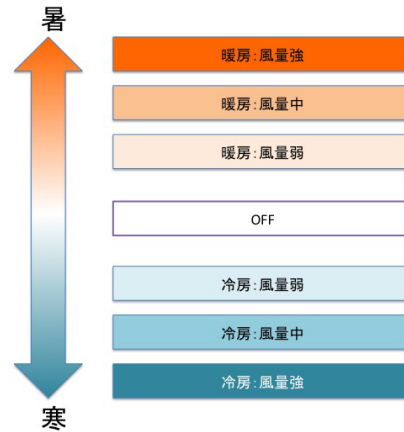


図 7 使用するリモコン操作の分類

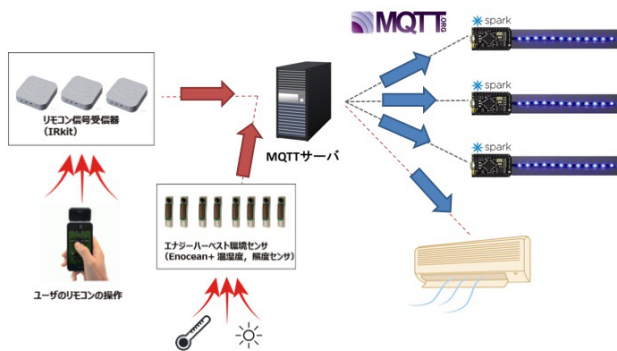


図 6 温湿度センサ回路構成

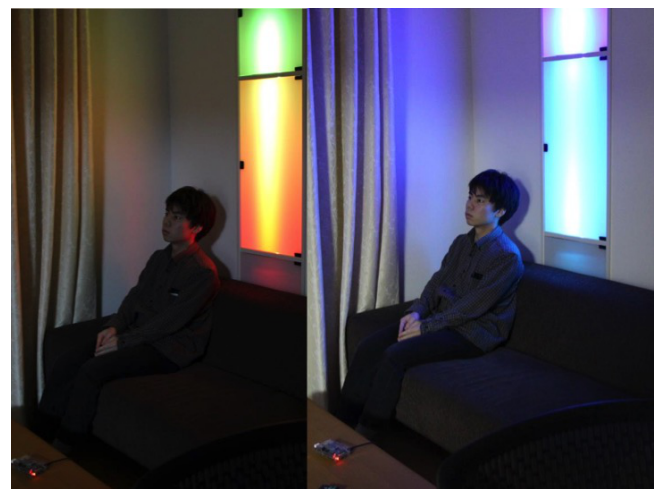


図 8 暖色照明点灯時 (左), 寒色照明点灯時 (右)

線信号は、リモコンログデータベースに登録されるが、同時に過去に読み込まれたログから、現在の家電の状態を調べ、読み込まれたリモコン操作と比較することで、その操作が温度を上昇させるものなのか、下降させるものなのかを特定する。そうすることで、リモコン操作を行った住人が、現在の環境をどのように感じているのかを推定する。本稿では、簡単化のため、図7に示すようなエアコンを冷房、暖房モードのそれぞれ風量強、中、弱で稼働させるリモコン操作の赤外線信号6種類を対象として、住人の感情推定のためにそれぞれのリモコン操作の分類を行った。

図7ではOFFを含めた7種類のエアコンの状態を、上に行くほど温度を上昇させる度合いが大きくなるように並べたものである。システムは、取得したリモコン操作と最新のリモコン操作ログを比較し、取得したリモコン操作が図7において、より上の位置にある場合は、ユーザは現在寒いと感じていると推定し、暖かく感じる暖色照明を点灯させ、下の位置にある場合は暑いと感じていると推定し、涼しく感じる寒色照明を点灯させる。実際に点灯した時の様子を図8に示す。

本研究では、無線通信で様々な色の光を点灯させるこ

とが可能なIoT照明装置として、Wi-Fiを搭載した小型のArduino互換ボードであるSpark CoreとカラーLEDテープを用いて開発した(図9)。MQTTプロトコルを用いて、RGBの値を送信すればその色に点灯させることが可能である。本システムでは、効果的な照明の色を調査し、暖色に橙色(R=238, G=154, B=0)、寒色に青色(R=0, G=0, B=255)を採用している。

## 5. 提案システムの評価実験

本章では、提案システムの有用性を示すための実験とその結果について述べる。

### 5.1 様々な照明の色に対する体感温度の変化の調査

まず、室内において、様々な色の照明を点灯させることで本当に体感温度が変化するかを確認するための調査として、被験者男女11人に対して以下の様な手順で実験を行った。

- 図8のように、室内の壁に埋め込まれたガラス戸内に照明装置を設置する。
- 被験者数名をガラス戸の付近2~3m程度の位置に配

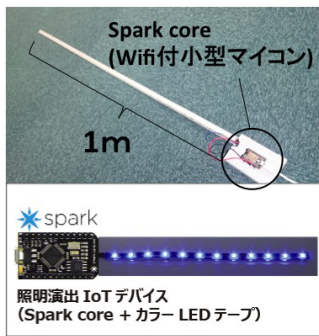


図 9 照明演出 IoT デバイス

置き、以下の 8 種類の色の照明を順に点灯していく。

- (1) R=255,G=69,B=0:赤
- (2) R=238,G=154,B=0:橙
- (3) R=255,G=105,B=180:ピンク
- (4) R=0,G=0,B=255:青
- (5) R=155,G=48,B=255:紫
- (6) R=0,G=191,B=255:スカイブルー
- (7) R=0,G=238,B=0:緑
- (8) R=255,G=255,B=0:黄

- 1つの色の照明の点灯時間は 2 分間程度で、その間被験者にはリラックスしてもらおう。その後消灯し、図 10 に示すようなアンケートを記入してもらおう。次の色の照明を点灯する前に数分間消灯状態にする。
- アンケートの内容は、各色の照明に対して、無点灯の時との体感温度の差をどれぐらい感じたかを直感的に記入し、特に感じたことがあれば自由にコメントを書いてもらうというものである。
- 実験は、昼の 12 時～14 時に行い、元々部屋に存在した照明は消灯し、カーテンを締め、外の光が若干入る程度の明るさにしている。また、外気の温度は 11℃、湿度は 40%で、実験室内の温度は 22℃、湿度 35%の環境下で行った。

アンケートの結果を表 2 に示す。結果の数値は、その体感温度の差分値にチェックをつけた人数を表している。

表 2 の結果を見ると、暖色には多くの人々が 1～2℃程度暖かいと感じており、寒色は個人差があるものの涼しく感じているということが分かる。また、アンケートに記入があったコメントのうち、特に意味があるものを抜粋して以下に示す。

- 赤や橙色は、暖炉を連想した。
- スカイブルーは屋外にいるように感じた。
- 緑や青は癒される、落ち着く。
- 外光がなければ消灯時が一番寒く感じそう。
- 暖色系の光は気分が上がって良いと思う。

表 3 リモコン操作の判別率

		送信した回数	正しく判別した回数	認識率 (%)
暖房	強	20	19	95
	中	20	18	90
	弱	20	17	85
冷房	強	20	20	100
	中	20	20	100
	弱	20	20	100

それぞれの色で連想するものによって体感温度の変化や、心理的な変化を感じている例が多くあった。これらの結果によって、住人の感覚や感情に適した色の照明を点灯すれば、住人にとってより快適な環境を提供が可能だと予想される。また、それに応じて家電を適応的に制御すれば、省エネにも繋がる可能性が高いことが分かった。

## 5.2 リモコン操作の赤外線信号判別精度の調査

リモコン操作ログ収集システムの動作確認として、使用した 6 種類のリモコン操作に対して、住人が行ったリモコン操作が、正しく判別され、ログデータベースに格納されているかどうかを確かめる実験を行った。図 2 のように、エアコンの横に IRKit を設置し、3 メートル程離れた地点から、6 種類のリモコン操作をそれぞれ 20 回ずつ行い、正しく判別した回数をカウントした。その結果を表 3 に示す。

結果を見ると、おおよそ正しく判別出来ていることが分かる。今後、より、多数の種類のリモコン操作の赤外線信号を登録した場合でも正しく判別できるかどうかの調査が必要である。

## 6. まとめ

本論文では、家の住人の暑いや寒いといった感覚を推定するのを目的に、住人が日常的に操作する家電のリモコンの赤外線信号を傍受し、ログとして管理するリモコン操作ログ収集システムと、収集したリモコン操作ログと無線で制御出来る照明演出 IoT デバイスを用いて、住人の感覚を推定し、それに適した色の照明を点灯し、より快適な環境を実現する室内快適化補助システムを提案した。リモコン操作ログ収集システムは、赤外線リモコン学習デバイス IRKit を用いて、あらかじめ家電のリモコン操作の赤外線信号情報を JSON 形式でコマンドデータベースに登録しておく。そして、傍受した赤外線信号情報のデータ列をコマンドデータベースの各赤外線情報とユークリッド距離を計算し、最も近いものを選択して誤差を許容することで傍受した赤外線信号を正しく判別し、ログデータベースに格納する。また、室内快適化補助システムは、リモコン操作ログ収集システムによって取得されたりモコン操作を最新のリモコン操作ログと比較し、住人の暑い、寒いといった感覚を推定し、それに応じて Spark core とカラー LED テー

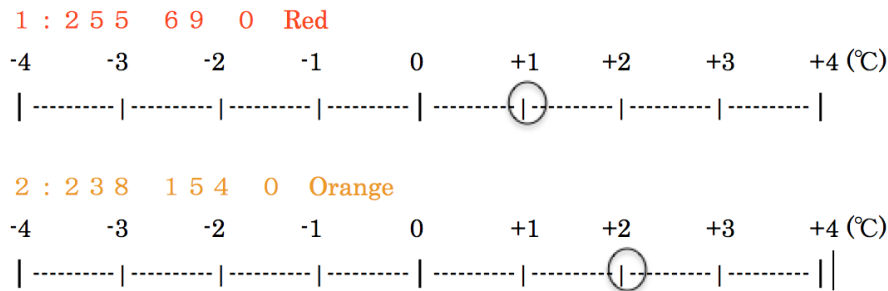


図 10 照明色毎の体感温度に関するアンケートの一例

表 2 照明色毎の体感温度に関するアンケート結果

照明色	無点灯時との体感温度差								
	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4
赤						4	7		
橙					2	6	3		
ピンク					4	6	1		
青		2	2	4	3	4			
紫				2	5	4			
スカイブルー	1	1	1	6	1	1			
緑				3	8				
黄					6	5			

プを用いて開発した照明演出 IoT デバイスを、寒色、暖色にそれぞれ点灯させる。更に本研究では、環境値をリアルタイムで観測するために EnOcean 環境センサを設計開発した。

これらのシステムの評価実験として、実際に人がいる空間において暖色、寒色を含めた 8 種類の照明をそれぞれ点灯させ、それぞれの色に対する体感温度の感じ方に関するアンケート調査を行ったところ、多くの人が暖色、寒色の間で、体感温度の変化を感じていることが分かった。また、リモコン操作の赤外線を取得する精度を調査するために、リモコン操作ログ収集システムによって、今回使用するエアコンのリモコンにおける 6 種類のコマンドの赤外線信号をそれぞれ 20 回ずつ取得したところ、95%以上の精度で正しく判別できていることが分かった。

今後の課題としては、本システムをより多くの種類のリモコン操作に対応させ、温湿度や照度といった環境値も利用して、暑い、寒い以外の様々な感情を推定を実現することや、我々の研究チームで行っている、家電の消費電力と住人の位置情報を利用した家庭内生活行動認識手法 [20] と連携させ、認識された行動に適した色の照明を点灯させるような応用システムの開発、また、実際の生活中に本システムを稼働させ、ユーザがどのように感じたかを調査するための実証実験を行うこと等が挙げられる。

参考文献

[1] Z. Alliance, “Zigbee 2007 specification,” *Online:* <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>, vol. 45, p. 120, 2007.

[2] E. Alliance, “EnOcean equipment profiles v2. 5,” tech. rep., EnOcean Alliance, Tech. Rep., 2013.

[3] D. Locke, “Mq telemetry transport (mqtt) v3. 1 protocol specification,” *IBM developerWorks Technical Library*, 2010.

[4] M. Wang, G. Zhang, C. Zhang, J. Zhang, and C. Li, “An iot-based appliance control system for smart homes,” in *Intelligent Control and Information Processing (ICIP), 2013 Fourth International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 744–747.

[5] S.-w. ZENG, Y. Zhang, and W.-q. QIU, “Design of smart home control system based on iot [j],” *Modern Electronics Technique*, vol. 9, p. 054, 2011.

[6] Y. Choi, I. Doh, S.-S. Park, and K.-J. Chae, “Security based semantic context awareness system for m2m ubiquitous healthcare service,” in *Ubiquitous Information Technologies and Applications*. Springer, 2013, pp. 187–196.

[7] M. Darianian and M. P. Michael, “Smart home mobile rfid-based internet-of-things systems and services,” in *Advanced Computer Theory and Engineering, 2008. ICACTE’08. International Conference on*. IEEE, 2008, pp. 116–120.

[8] M. Ohtsuka, “Irkkit - opensource infrared remote controller,” 2014, <http://getirkit.com/>.

[9] 糸賀寛, 小峯裕己, 須山喜美, 森一颯, and 都築和代, “I-1 感覚窺境を利用した室内環境制御に関する研究: 色彩が具なる透過光・室温が在室者の心理・生理反応に与える効果について,” *学術講演会論文集*, vol. 24, no. 1, pp. 881–884, 2012.

[10] 深澤奏子, 高田谷久美子, and 佐藤都也子, “健康な成人が色彩にもつイメージと生理的反応,” *山梨大学看護学会誌*, vol. 8, no. 1, pp. 23–27, 1997.

[11] B. K. Hawes, T. T. Brunyé, C. R. Mahoney, J. M. Sullivan, and C. D. Aall, “Effects of four workplace light-

- ing technologies on perception, cognition and affective state,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 42, no. 1, pp. 122–128, 2012.
- [12] K. Choi, J. Lee, and H.-J. Suk, “Context-based presets for lighting setup in residential space,” *Applied Ergonomics*, vol. 52, pp. 222–231, 2016.
- [13] I. Bakker, T. J. van der Voordt, J. de Boon, and P. Vink, “Red or blue meeting rooms: does it matter? the impact of colour on perceived productivity, social cohesion and wellbeing,” *Facilities*, vol. 31, no. 1/2, pp. 68–83, 2013.
- [14] A. Steidle and L. Werth, “Freedom from constraints: Darkness and dim illumination promote creativity,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 35, pp. 67–80, 2013.
- [15] I. Particle Industries, “Particle (formerly spark) — build your internet of things,” 2016, <https://www.particle.io>.
- [16] Y. Kashimoto, K. Ogura, S. Yamamoto, K. Yasumoto, and M. Ito, “Saving energy in smart homes with minimal comfort level reduction,” in *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2013 IEEE International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 372–376.
- [17] L. Pitt, P. R. Green, and B. Lennox, “A sensor network for predicting and maintaining occupant comfort,” in *Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS), 2013 IEEE Workshop on*. IEEE, 2013, pp. 1–6.
- [18] 青木良輔, 渡部智樹, 小林透, 小林稔 *et al.*, “アンビエントな家電操作実現に向けた家電機器状態ログ収集システムの提案,” *情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス & システム (CDS)*, vol. 2, no. 2, pp. 63–72, 2012.
- [19] 大. 合同会社, “irmagician-高機能/低価格赤外線リモコン—大宮技研 合同会社,” 2016, [http://www.omiya-giken.com/?page\\_id=837](http://www.omiya-giken.com/?page_id=837).
- [20] K. Ueda, M. Tamai, and K. Yasumoto, “A method for recognizing living activities in homes using positioning sensor and power meters,” in *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 354–359.