

令和4年度 特別研究報告書

気温・湿度センサーと体感を組み  
合わせた空調調節システム

龍谷大学 理工学部 情報メディア学科

T180441 田中颯太

指導教員 三好力 教授

## 内容梗概

現在、コロナウイルスの影響もあり、自宅などの個人空間での作業をする機会が増加する中、IoT などの技術を利用した空調の調整システムが開発できないかと考えた。現在の技術では、センサーによる室内環境から自動調整機能も付いているものなどもあるが、経験上、エアコンの自動運転で快適だと感じたことが少ないため、人それぞれの体感を設定に反映することが理想だと思われる。

本研究では、上記で挙げたようなセンサーによる調整だけでなく、室内の気温、湿度の記録に追加して、操作記録を分析し、個人の好みを導き出した上でエアコンを自動で制御するシステムの開発を目標とする。また、実験結果によって、快適に感じる条件や不快に感じる条件などを考察することを目的とする。

# 目次

第 1 章 研究背景 .....	1
第 2 章 関連技術 .....	2
2.1 既存のエアコンの技術について .....	2
2.2 実験に使用する既存技術について.....	2
2.2.1 KP-AM2320 [3] .....	2
2.2.2 赤外線 LED .....	3
2.2.3 赤外線受光器.....	3
2.2.4 ブレッドボード .....	4
2.2.5 赤外線通信の学習.....	4
2.2.6 エアコン操作について .....	4
2.3 先行研究(体感温度と床の温度について) .....	4
2.4 問題点.....	6
第 3 章 提案手法 .....	7
3.1 体感温度について .....	7
3.2 既存技術からの提案.....	7
第 4 章 実験 .....	8
4.1 実験目的.....	8
4.2 実験方法.....	8
4.3 実験結果.....	10
第 5 章 考察 .....	14
第 6 章 まとめ .....	15
謝辞 .....	16
付録 .....	18

## 第1章 研究背景

近年、AI への関心が高まるだけでなく、身近な家電にはモノ同士のインターネット (IoT) も利用されることが増加している。代表的なものの中にスマートスピーカーがある。スマートスピーカーはインターネットにつなげることでリアルタイムの情報を取得することや、音声によって音楽・動画の再生や家電の遠隔操作ができるなど、様々な機能を備えている (図1)。



図1. スマートスピーカー「Google Home Mini」[1]

「OK Google」と呼び掛けて Google Home Mini を起動させ、天気予報では、尋ね方次第で降水確率や気温などの詳しい情報まで教えてくれる。今日は傘が必要か、明日の天気はどうか、花粉の飛散状況はどうかなどが即座にわかるため、慌ただしい朝などには役に立つ。

このように家電をインターネットに接続することで従来の家電の機能に追加して、リアルタイムの情報をもとにした制御というものが可能になる。そんな中でも、AI を搭載したエアコンはリアルタイムの情報をもとにして制御するものが多く、エアコンに付随したセンサーで、室内温度や壁/床温度などを感知し室内温度制御を行うというものがある。

また最新のモデルの一つでは、室内の床・壁の温度 (輻射熱) を検知・推測し、エアコンが記憶した過去の運転内容 (好みの運転) も参考にしながら自動運転をするものもある。既存のエアコンの問題点としては AI が判断した設定を気にしていることがないケースがあるということや、起動時に設定していた温度のまま運転し続けた時に、寒くなる、暑くなるなどの不快感を得ることなどが考えられる。

そこで本研究では、より利用者が快適に感じる室内環境を自動で保持するために室温を調整するためのシステムを提案する。概要としては、利用者付近の気温、湿度のデータから空調を調整するシステムである。利用者が何らかの要素でエアコンを操作した時の室内の気温、湿度をセンサーで計測し、個人に合う温度を導き出し、その条件に合わせてエアコンを自動で調整することを目標とする。

## 第2章 関連技術

この章では既存のエアコンの技術について、実験に使用するセンサーやソフトなどについて、体感温度についての説明をする。

### 2.1 既存のエアコンの技術について

研究にあたり、既存のエアコンの AI が関連する機能についていくつか例を挙げる。[2]

#### 2.1.1 パナソニック「エアリオ X シリーズ」

エオリア AI を使った自動運転「AI 快適おまかせ」が特徴。人の居場所や活動量、温冷感、部屋の間取りや家具の配置などをセンサーで認識し、AI が自動的に最適な冷暖房運転を行う。さらにスマホアプリと連動させることで、天気予報情報から室温の変化を先読みして運転する機能なども搭載。なお、暖房運転時には、それぞれの人の温冷感をセンサーが読み取り、異なる温度の温風を吹き分けてくれる「温風吹き分け」機能が便利です。

#### 2.1.2 富士通ゼネラル「nocria X」

最新モデルでは、エアコン本体に搭載される AI と、クラウド上の AI が連携して、自動学習を行う「ダブル AI」を搭載。ユーザーの使用パターンを AI が記録しユーザーの好みを学習するとともに、気象情報などを元にした先読み運転で、室内空間を自動的に快適な状態に導く。

#### 2.1.3 東芝「大清快 H-DT シリーズ」

冷房運転時には、冷たい風が身体に当たりにくくするように、通常の冷風と、無風感ルーバーを通り抜けた速度の速い風がぶつかることで風を拡散する「無風感冷房」機能も搭載。人の表面温度を測り、AI によって快適度を判定する「AI 温冷熱センサー」も搭載。

### 2.2 実験に使用する既存技術について

#### 2.2.1 KP-AM2320 [3]

室温と湿度を計測するためのセンサーである。(図 2) 動作電圧は 3.1V~5.5V 湿度の測定可能範囲は 0~99.9%、精度±3%である。温度の計測範囲は-40~+80°C、精度±0.5°Cである。通信形式は I2C というシリアル通信を使って外部とのインタフェースを行う。

画像左のピンから VDD(電源)、SDA(シリアルデータ線)、GND、SCL(シリアルクロック入力)となっている。[4]

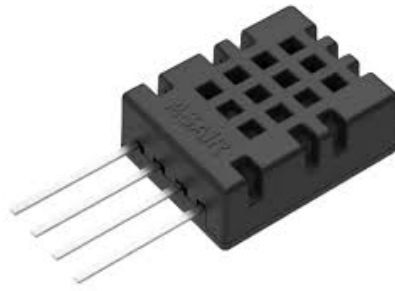


図2 KP-AM2320

### 2.2.2 赤外線 LED

Raspberry Pi からエアコンへ赤外線の送信をするのに用いる (図3)。

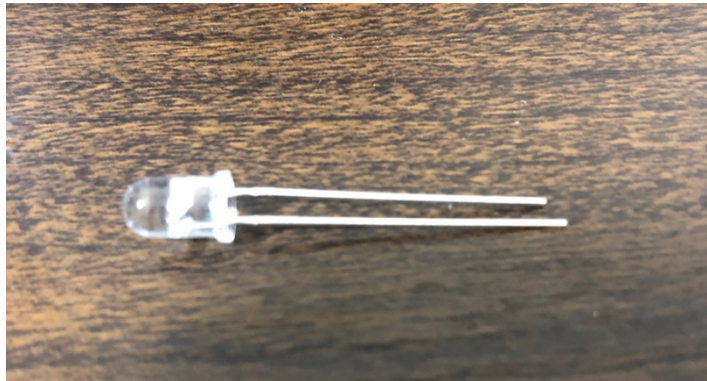


図3 赤外線 LED

### 2.2.3 赤外線受光器(VS1838B)

エアコンのリモコンからの信号を受信するためのモジュール (図4)。  
エアコンの信号を記録するために使用する。

画像左のピンから OUT、GND、VCC となっている。[5]

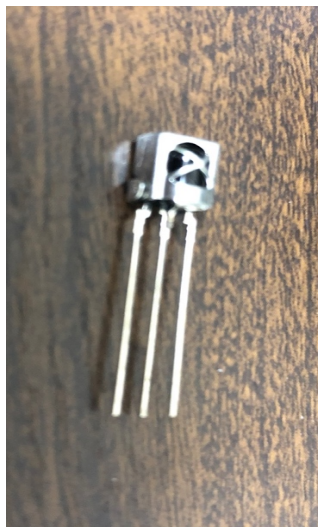


図4 赤外線受光器

#### 2.2.4 ブレッドボード

ブレッドボードとは、ジャンパーワイヤーを格子状の穴に差し込むだけで、はんだ付けなどをせずに手軽に電子回路を組むことのできる基盤である。(図5) 上記のセンサーや赤外線受光器などを直接差し込み、ジャンプワイヤーで Raspberry Pi と繋げることで回路を作成した。

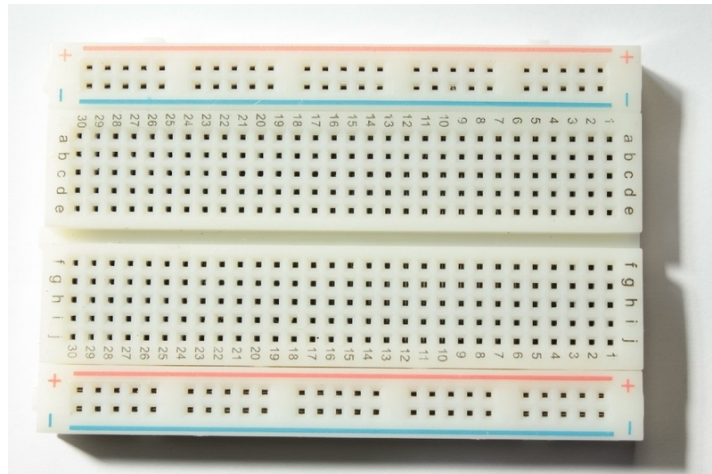


図5 ブレッドボード

#### 2.2.5 赤外線通信の学習

irrp.py というプログラムと、上記の赤外線 LED、赤外線受光器によって、赤外線信号を解析して、受信や送信を可能にする。[6]

#### 2.2.6 エアコン操作について

本研究のエアコン操作は暖房の温度のみであり、それ以外の「風量」「風向き」に関してはどちらも一定にする。[7]

### 2.3 先行研究(体感温度と床の温度について)

ここで体感温度について説明する。体感温度とは人の肌が感じる温度の感覚のことである。気温、湿度、風速、輻射熱(壁や床の温度)などの要素からなる、人間の体感する要素である。エアコンでの温度変化でもこれらの要素は変化する。ただし、室温を上げる際にエアコンのみを使用した場合の各部分の温度変化は図6のようになる。

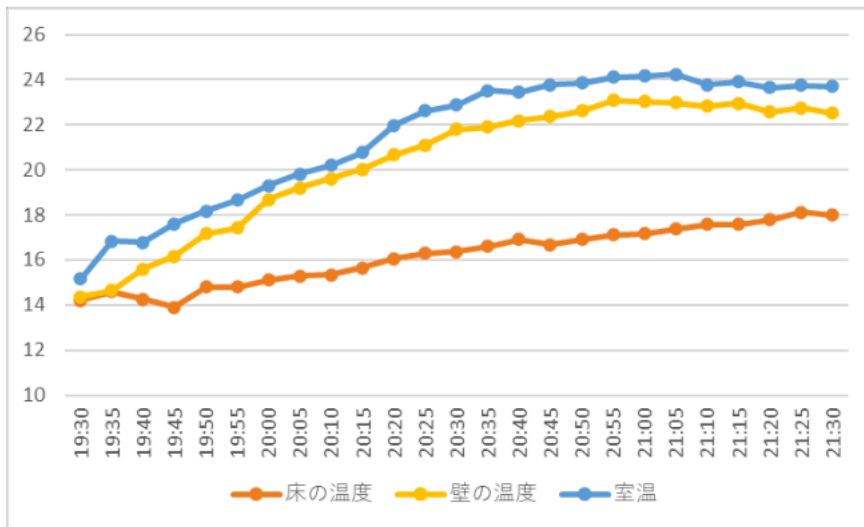


図6 暖房を設定温度24°Cにした時の各温度の推移

図6のように室温と壁は同じような推移を辿っていくが、床の温度は上昇幅が小さいことがわかる。次に床暖房のみをつけた場合の推移は図6のようになる。

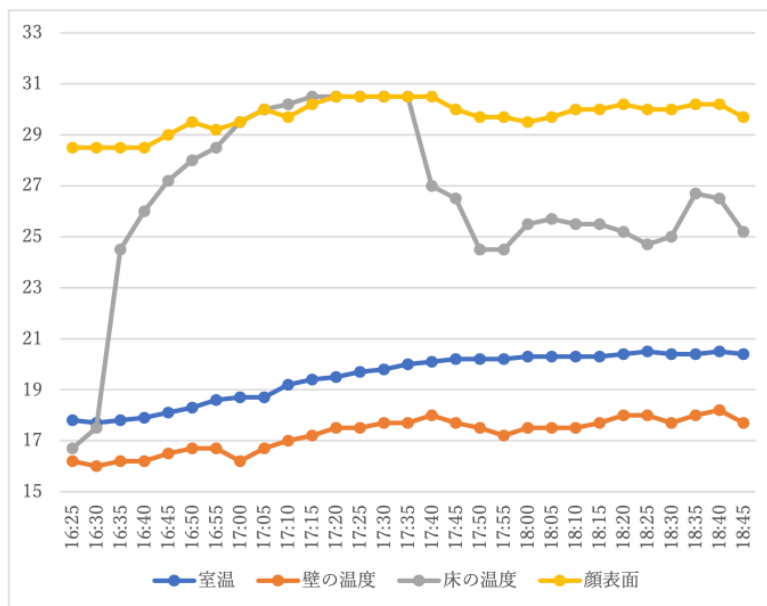


図7 床暖房をつけたときの各温度の推移

床暖房の仕様上、測定する場所によって温度にムラがあるため、暖かい場所と寒い場所の温度の平均値を計測結果としている。また、計測から1時間を超えたあたりで温度が急激に低下しているが、これも床暖房の仕様である。図7より、床暖房をつけてから床の温度が30°C以上に上昇するまでの間は室温の上昇は2°C程度である。しかし、温度が下がってから25°C付近に落ち着いたあたりから室温と壁の上昇幅が小さくなっていることがわかる。以上より、暖房を24°Cで2時間以上つけていても床の温度は18°C程度であり、床暖房を



25℃付近で1時間維持したとしても室温は停滞する点から、エアコン操作のみで上昇する床の温度が与える室温への影響はほぼないと言える。

#### 2.4 問題点

2.1 であげた3種類のエアコンはいずれもAIによる自動運転機能が搭載されていて、室温管理の方法は、人の居場所や天気予報情報からの予測、人間の表面温度など、その方法はさまざまなものがあるが、目に見えるデータを重要視し、AIの判断の元に温度を設定するという点が問題だと感じた。実際にエアコンを使っている利用者の感覚のフィードバックの部分が十分でなく、一人一人に対応した温度に調整されないため、既存のエアコンには不十分な点があると言える。

## 第3章 提案手法

### 3.1 体感温度について

気温( $t$ )、湿度( $h$ )、風速( $v$ )の3要素からなる体感温度の計算式(3-1)は以下のようになっている。[8]

$$\text{体感温度: } 37 - \frac{37 - t}{0.68 - 0.0014h + \frac{1}{A}} - 0.29t \times \left(1 - \frac{h}{100}\right)$$
$$A = 1.76 + 1.4v^{0.75}$$

上記の式はミスナールの計算式によるものである。今回は室内での計測になるため、気流  $v$  の値は  $0.1(\text{m/s})$  として計算する。(  $0.2\text{m/s}$  以下の速さの気流は人が感じられないとされる。) [9]

### 3.2 既存技術からの提案

第2章で挙げた、AIの判断による温度調整が個人の好みと一致しないという課題点の解決案として、私が提案するシステムは以下の通りである。

- ・事前にエアコン用リモコンの制御信号を解析して、システムがリモコン信号によってエアコンの操作が可能な状態にしておく
- ・エアコンをつけた際に、室温、湿度のデータを測定・記録する。
- ・それぞれの記録データを、上記の体感温度を導き出す式に当てはめ、体感温度を算出する。その後、その結果と利用者の感覚の関連性を確認する。
- ・体感温度と利用者の感覚に関連があると判断できた場合、気温や湿度から算出される体感温度が一定以下、または一定以上の値になった際に、エアコンの起動、もしくは設定温度の変更を自動で行うシステムを提案する。

## 第4章 実験

### 4.1 実験目的

測定したデータから算出される体感温度と個人の感覚との関連を確かめるため、エアコンを操作して室温、湿度を測定し、体感温度を求める。算出された体感温度の推移を確認するために、各実験でエアコンの設定温度の条件を決めてそれぞれを比較する。

### 4.2 実験方法

気温・湿度を元に体感温度を算出するため、計測するセンサーは、体に近い位置の、作業中の机の上に配置する。(図8)

寒いと感じた時点からプログラムを起動し、5分間隔で、時刻、部屋の気温、湿度を取得する。その値から「体感温度」を算出し、それら全ての値をファイルに記録する。ここまですべてを一つのシステムとして、プログラム終了まで繰り返し計測し続ける。

暑さや寒さを感じエアコンの温度を下げる、もしくは上げる際にプログラムを起動し、時刻、気温、湿度、それらの値から導き出される体感温度をファイルに記録する。

プログラム開始時のエアコンの設定温度を区別し、比較した結果を研究結果として考察する。

2時間の間エアコンを運転、および計測を行い、それらの推移を記録し、そこから算出される体感温度の値がどれだけ個人の好みと関連性があるかを考察する。

実際の仕組みの簡略図を図9に示す。

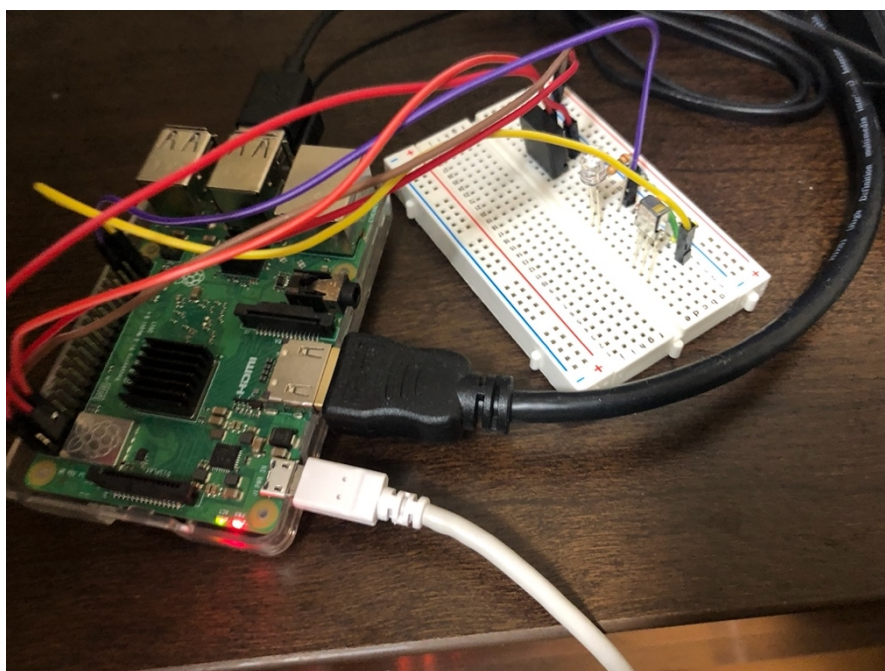


図 8 実験用センサーの配置

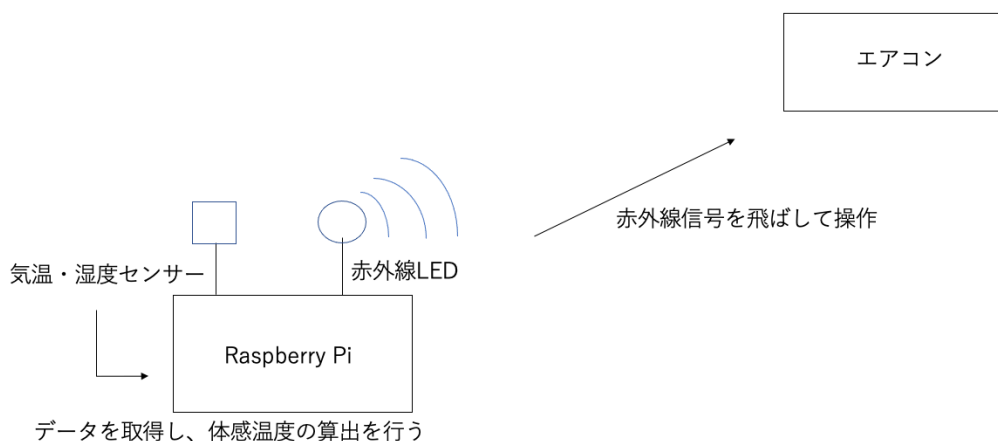


図 9 実験の仕組みの簡略図

本実験では、raspberry pi の 2 番ピン（電源ピン）をブレッドボードの+極に接続、6 番ピン（GND ピン）を-極に接続する。

気温・湿度センサーである KP-AM2320 は左のピンから+極、GPIO ピン、-極、GPIO ピンと接続する。

赤外線受光器は、左のピンから GPIO ピン、-極、+極と接続する。

赤外線 LED は、左右のピンで長さが違い、短いピンを-極、長いピンを GPIO ピンと接続する。

### 4.3 実験結果

11月の下旬ごろから12月にかけて1週間の間、室内で寒さを感じた場合に実験を行った。以下にエアコンを起動し、運転を2時間続けた結果の気温、湿度、体感温度の推移を記す。起動時の設定温度は23°Cと22°Cの2通りで実験した。そのうちの典型的なデータを示す。(図10)(図11)

また、寒さを感じてエアコンを起動した際の値、一定時間経過後の値、体感温度が最も高くなったときのそれぞれの値を表1、表2に、暑さを感じてエアコンを操作した際の値、一定時間経過後の値、体感温度が最も高くなったときの値を表3、表4に示す。

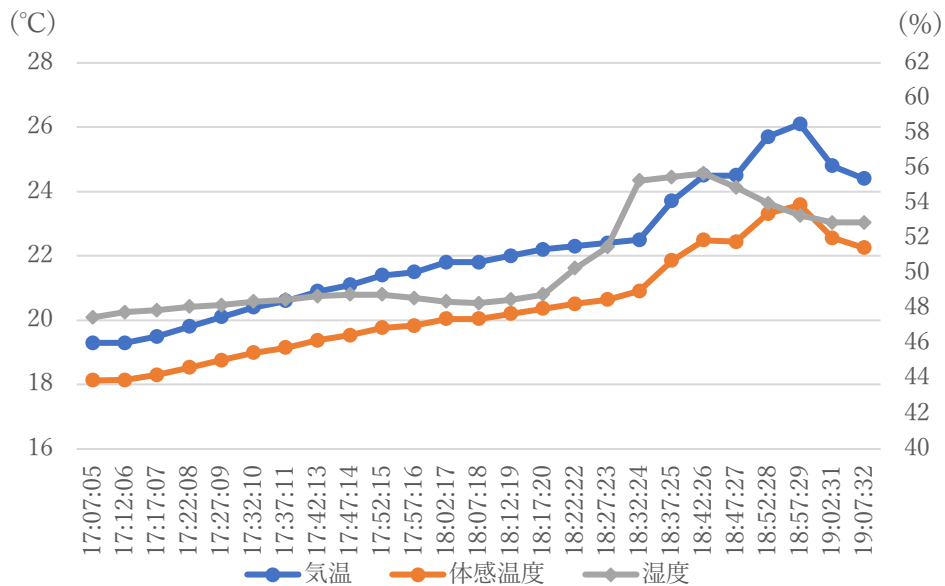


図10 設定温度23°Cで起動した際の各値の推移

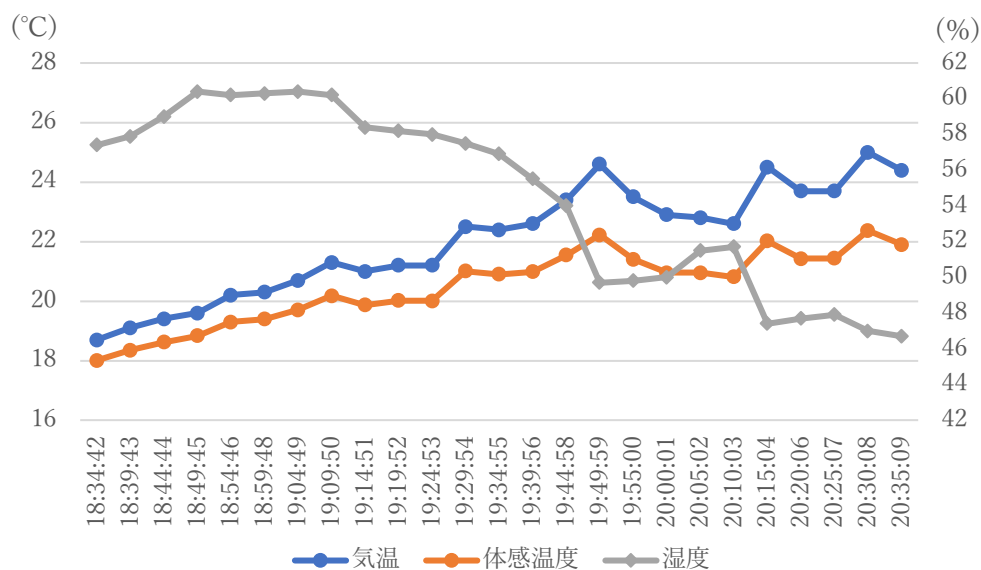


図 11 設定温度 22°Cで起動した際の各値の推移

寒さを感じてエアコンを起動した際の気温は 19.3°Cと 18.7°Cとなっていて、0.6°Cほどの差があったが、湿度の影響により、体感温度は 18.13°Cと 18.01°Cという微差となっていた。またどちらの実験においても、緩やかに温度が上昇していき、2時間の運転時間だと「暑い」と感じることはなく、設定温度を変更することはなかった。その後、自動運転と手動での設定の違いを比較するために 22°Cの設定のまま運転を続け、「暑い」と感じた段階から、自動運転に切り替えた場合と設定温度を 21°Cに変更した場合の 2通りの実験を行った。(図 12)(図 13)

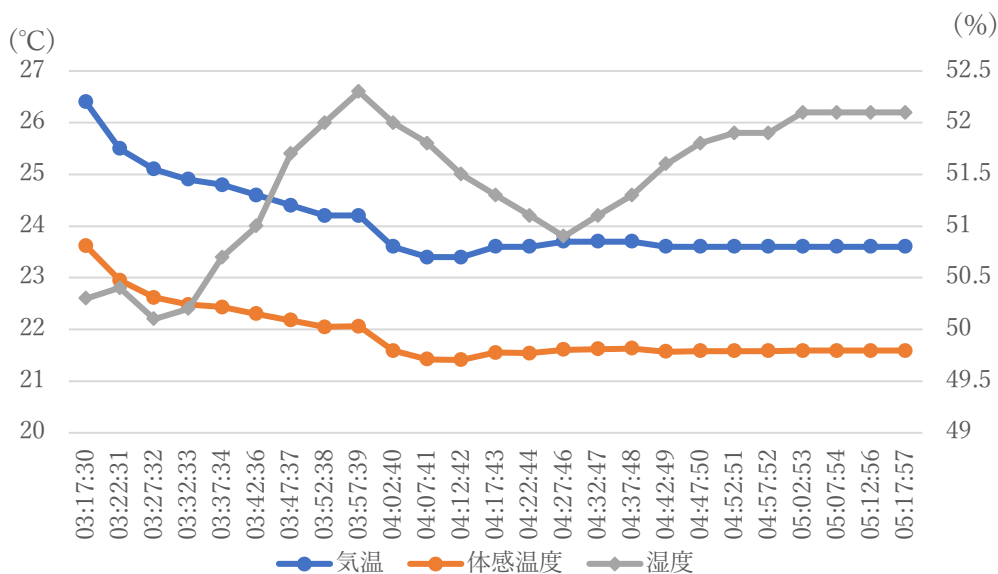


図 12 暑いと感じた時点で自動運転に切り替えた際の各値の推移

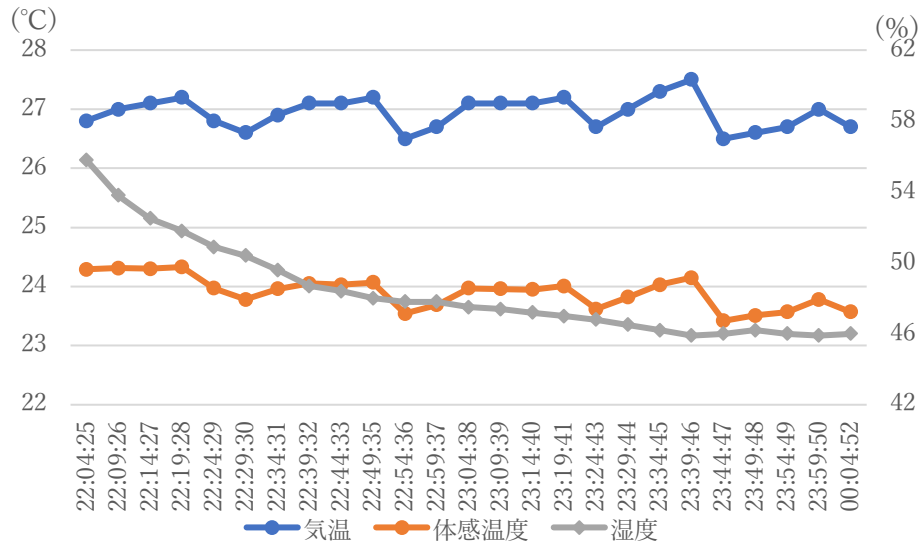


図 13 暑いと感じた時点で 21 度に切り替えた際の各値の推移

上記の結果から、気温と体感温度には強い関連があることがわかる。いずれの結果も体感温度が 24°C 付近で暑いと感じる結果となった。自動運転の場合は、26.4°C から 23.6°C まで気温が低下していき、1 時間あたりを経過してから、室温が一定にキープされ、湿度は上下する結果となった。体感温度に関しても 21.5°C 付近で一定になった。

手動で 21°C に変更した場合は、設定温度を下げたにもかかわらず、気温が 27°C 付近で上下し続ける結果となった。しかし、湿度が緩やかに低下していき、設定変更時から室温はほとんど変化していないにもかかわらず、体感温度は 0.8°C ほど減少している。

表 1 23°C 起動時、一定期間経過時、体感温度最大時の値

	気温	体感温度	湿度
起動時	19.3	18.13	47.5
計測から1時間	21.8	20.04	48.3
計測から2時間	24.4	22.25	52.9
体感温度最大時	26.1	23.58	53.3

表 2 22°C 起動時、一定期間経過時、体感温度最大時の値

	気温	体感温度	湿度
起動時	18.7	18.01	57.4
計測から1時間	22.4	20.9	56.9
計測から2時間	24.4	21.9	46.7
体感温度最大時	25	22.37	47

表 3 自動運転切替時、一定期間経過時、体感温度最大時の値

	気温	体感温度	湿度
温度変更時	26.4	23.62	50.3
計測から1時間	23.6	21.55	51.3
計測から2時間	23.6	21.59	52.1
体感温度最大時	26.4	23.62	50.3

表 4 21°C切替時、一定期間経過時、体感温度最大時の値

	気温	体感温度	湿度
温度変更時	26.8	24.29	55.8
計測から1時間	27.1	23.97	47.5
計測から2時間	26.7	23.57	46
体感温度最大時	26.8	24.29	55.8

表 1、表 2 からはエアコンの設定温度を 1 度変えたが室内の気温は大きく変動しないことがわかる。しかし湿度による体感温度の影響があり、23°C に設定した場合の方が高い結果が出ている。表 3 では、自動運転に切り替えた際には一定の気温を保っていることが読み取れる。表 4 からは、設定温度変更時から気温は上昇しているものの、体感温度の値は下がっていることがわかった。



## 第5章 考察

今回の実験の目的は、個人の好みを反映したエアコンの設定を行うことであったが、図8、図9の結果から分かる通り、寒さを感じてから2時間の運転ではどちらの場合も似たように室温が上昇していった。エアコンの設定温度は1°C違うにもかかわらず、2時間経過時点での体感温度はほぼ同じ結果になり、かつ途中でエアコンの操作を必要と感じなかった。これは室温を上げ続けるために温風が継続して出続けるために暖かさを感じる事が主な要因であると考えられる。また、グラフからも読み取れるように、室温が上昇し湿度が下降していくと、気温と体感温度の差が開き始めるため、より室温と体感温度を近づきたいのであれば湿度にも目を向けなければいけないことがわかった。

次に、暑さを感じてからの2つの実験では、エアコンの自動運転での変化と手動で温度を下げた場合の比較をした。図10,11の2つのグラフから、気温が約26.5°C、体感温度は約24°Cの時に暑いと感じたことがわかる。図10を見てわかるように、自動運転の場合だと設定変更から1時間程度で気温が約23.5°C、体感温度が約21.5°Cとなり、室温は3°C、体感温度は2°Cほど下降し、以降は気温を一定に保つ運転をしていた。それに対して手動で21°Cに設定を変更した場合(図11)では、気温が27°C付近をやや上下するようなグラフになり、エアコンの設定温度と室温では大きく差がある結果となった。体感温度に関しても24°C付近を上下していて、最終的には約23.5°Cになっているので、エアコンの設定温度は体感温度を目安に運転しているわけでもないと言える。体感では、自動運転の方は室内の気温が下がっていくのを感じ、2時間経過時点では気温や湿度の値はそこまで低くはないにも関わらず、やや肌寒さを感じた。これは、室温を上げる際とは反対に、室温を下げる際には、温風を出すのではなく空気を循環させることによるものだと考えられる。設定温度を21°Cに変更した際には、気温は27°C付近を上下していたが、湿度が徐々に下がっていき、体感温度の値は約0.7°Cほどの差が生まれた。体感では暑さが少し軽減されたように感じた。これは、湿度の低下により体表から気化熱として熱が放出されやすくなりそう感じやすくなったのではないかと考えられる。

以上の実験結果から、人が暑さや寒さを感じる際の要因として、気温だけでなく湿度の影響もあるであろうことがわかった。さらに、寒さを感じた際の体感温度の値がほぼ同じだったことから、計算式から求められる体感温度と体感には関連する部分があると言え、気温や湿度を計測できるセンサーを一定間隔で起動することにより、暖房を起動するタイミングの自動化は可能になるのではないかと考える。しかし、エアコンの暖房の設定温度の変更のみでは湿度の値や天気などの要因への対応ができないため、部屋の気温や湿度に合わせ、手動で設定温度を変えるか、さまざまな状況でのデータを取得し学習する形でない自動化は難しいのではないかと考える。

## 第6章 まとめ

本研究では、個人の体感をエアコンの設定に反映することによる快適な運転システムを構築するための手法を提案した。エアコンの自動運転と個人が快適に感じる運転との差があると感じたため、気温・湿度・風速のデータから計算で求められる体感温度と、個人の感覚の関連性を求め、快適な運転をするシステムを検討した。その結果、寒さを感じた時点や暑いと感じた時点の体感温度は個人でほぼ一致していることがわかった。

今後の課題としては、体感温度が気温のみでなく湿度、風速なども大いに影響することから、加湿器/除湿器、サーキュレーターなどの他家電との連携をすることで、より利用者にとって快適な室内環境が作れるのではないかと考える。また、今回利用した赤外線 LED は発光が弱く、リモコンとして動かすことができないことがわかったため、実用的なシステムにするためには発光の強い赤外線 LED を使うか、スマートスピーカーと連携して似た機能を持つシステムを作るなどを推奨したい。湿度を一定にすることができれば、気温の上下で体感温度を調節できるため、そういったシステムが理想的だと考えられる。

今回の提案手法では環境側の要素を変更することで快適な空間を目指したが、実際には人体側の代謝などの要因も関係してくるため、より良いシステムの構築も考えていきたい。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、多くのご指導、ご助言をいただきました三好力教授に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

[1] 意外と知らない「Google Home Mini」の便利な使い方とお得な価格で購入する方法  
<https://dime.jp/genre/887817/>

[2] エアコン選びに必要な 4 つのポイントもしっかり解説 《2021 年夏》 おすすめエアコンの  
決定版! 各メーカーのフラッグシップ 10 シリーズを機能別に紹介  
<https://kagakumag.com/seikatsu-kaden/?id=4210>

[3] デジタル温湿度センサー  
<http://www.kyohritsu.jp/eclib/PROD/MANUAL/kpam2320.pdf>

[4] AM2320 Datasheet  
<https://www.alldatasheet.jp/datasheet-pdf/pdf/1132617/ETC2/AM2320.html>

[5] VS1838B データシート PDF  
<https://datasheets-pdf.com/vs1838b-データシート-pdf/>

[6] 【Raspberry Pi】赤外線リモコンにする方法  
<https://helloworld.net/raspberry-pi-ir-0828/>

[7] 【Raspberry Pi】【エアコン操作】赤外線を受信・送信  
<https://qiita.com/ouaioi/items/f4bdd2024b1b9bd0f5c8>

[8] 体感温度 - 高精度計算サイト - CASIO  
<https://keisan.casio.jp/exec/system/1257417058>

[9] 夏のエアコン、快適と感じていても睡眠の質が悪化している？  
<https://www.tut.ac.jp/docs/PR170302.pdf>

# 付録

```
import time
import smbus
import datetime
import csv
import schedule
from time import sleep

f = open("am2320data_20.csv","w")

#01 定期実行する関数を準備
def am2320():
    print("_____")
    print("AM2320 start¥n")
    i2c = smbus.SMBus(1)
    address = 0x5c
    loop = True
    block = []
    while loop:
        try:
            #i2creset

            i2c.write_i2c_block_data(address,0x00,[])

            i2c.write_i2c_block_data(address,0x03,[0x00,0x04])

            time.sleep(0.05)

            #hum temp read
            block

            =i2c.read_i2c_block_data(address,0,6)

            loop =False
        except IOError:
            pass

        hum = block[2] << 8|block[3]
        temp = block[4] << 8|block[5]

        print('hum:' + format( hum/10) + '%Rh')
        #湿度
        print('temp:' + format( temp/10) + 'digC¥n')
        #気温
        tt= 37 -((37-(temp/10))/(0.68- 0.0014*(hum/10)
+1/2.00895911741)) - (0.29*(temp/10)) *(1 - (hum/1000))
        #体感温度
        print("体感温度:" + '{:.4g}'.format(tt) + "C¥n")

        #時間表示
        now = datetime.datetime.now() #時間の取得
        without_sec_now =
datetime.datetime.now().replace(microsecond = 0)
        print(without_sec_now)

        #書き込み
        wotime = without_sec_now
        t = str(temp/10)
        h = str(hum/10)
        taikan = "{:.2f}".format(tt)
        amdata = [wotime,t,h,taikan]
        writer = csv.writer(f,lineterminator = "¥n")
        writer.writerow(amdata)
        print("_____")
        sleep(1)

#02 スケジュールを登録
schedule.every(5).minutes.do(am2320)

#03 イベント実行
while True:
    schedule.run_pending()
    sleep(0.1)
```