

居住環境の向上を目的とした支援システムに関する研究

坂井 亮介¹ 中野 光臣²

受付日 xxxx年0月xx日, 採録日 xxxx年0月xx日

概要: 近年, 平均気温の上昇や寒暖差の拡大によって, 快適な室内環境を提供できる手段がより求められるようになってきている. 対策として, 自動運転システムを搭載したエアコンがある. しかし, 高価なモデルに限定されたり, 古い型には搭載されていない. 本研究では, 不快指数を用いて室内の快適度を測定し, その数値に応じて1台のエアコンを制御する完全自動運転システムを提案する. システムの強みとして, 様々な機種に使用可能であること, 安価に導入できる点が挙げられる. 評価について, エアコンを20度, 風速自動で起動した状態と不快指数の変化を比較し, 提案するシステムの性能を評価する.

キーワード: 完全自動運転システム, 不快指数, 室内環境

Research on support systems to improve the living environment

SAKAI RYOSUKE¹ NAKANO MITSUTAKA²

Received: xx xx, xxxx, Accepted: xx xx, xxxx

Abstract: With the rise in average temperatures and the expansion of temperature differences, there is a need for a means to provide a comfortable indoor environment. As a countermeasure, there are air conditioners equipped with automatic operation systems. However, they are limited to expensive models or are not installed in older models. In this study, we propose a fully automatic operation system that measures indoor comfort level using the discomfort index and controls one air conditioner according to the results. The performance of the system is evaluated by comparing the change in the discomfort index with that of an air-conditioner that is turned on at 20 degrees Celsius and at an automatic air speed.

Keywords: fully automated driving system, discomfort index, indoor environment

1. 背景

本研究では, 居住環境の質の向上という課題のもと, 若者や高齢者, 障害者などに限らず全ての人が快適に生活できる環境について研究, 開発を行っている. 近年, 温暖化などの影響を受け日本の気候にも変化が起こっている. 図1について, 2023年夏(6-8月)における平均気温偏差は+1.76度となり, 1898年の統計開始以降2010年を上回り最も高い数値となった.[1] また, 図2について, 2023年秋(9-11月)

における最高気温と最低気温の差が最も大きい日で15.9度となっている.[2] このことから, 年間を通して室内環境における快適性の向上を図る必要が増している. そうした状況下で, 室内環境を整える手法としてエアコンを使うことが挙げられる. しかし, 特に冬場において室内温度を一定に保つために湿度を無視した運転を行い, 室内が乾燥してしまう原因となっている面もある. さらに, 室内が乾燥することによって喉の乾燥など引き, 感染症に罹るリスクを押し上げる一因ともなっている. 室内の乾燥という問題に対し, 新しいエアコンには湿度も考慮した自動運転機能が搭載されている.[3] しかし, フラグシップからミドルグレードまでの機種に限定されている場合が多く, 古い型では自動運転機能自体が実装されていない場合もある. こうした問題に対する先行研究の1つに, 不快指数を用いて室内の快適性を評価するものがあった. 上記の先行研究を発

¹ 熊本高等専門学校専攻科 電子情報システム工学専攻
Electronics and Information Systems Engineering Course,
Advanced Course,
National Institute of Technology, Kumamoto College

² 熊本高等専門学校
National Institute of Technology, Kumamoto College

展させ、不快指数を用いたエアコンの自動運転機能を開発することで、2つの問題点を解決できると考えた。本研究では、エアコンを使用した際に室内の快適性を向上させるシステムの開発を行い、全ての人により快適に生活できる環境の提供を目的とし、その手段として不快指数を考慮したエアコンの自動運転に関する開発を行う。

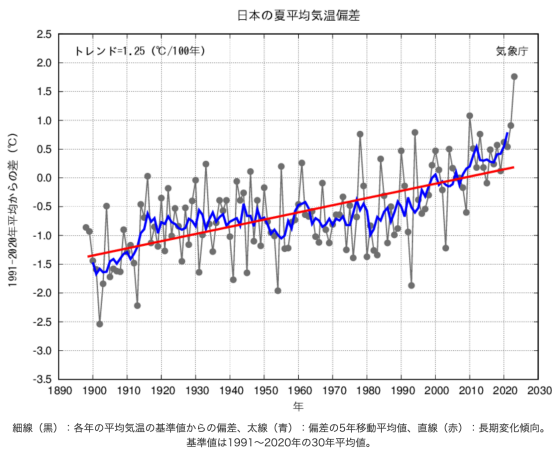


図 1 2023 年夏の平均気温偏差

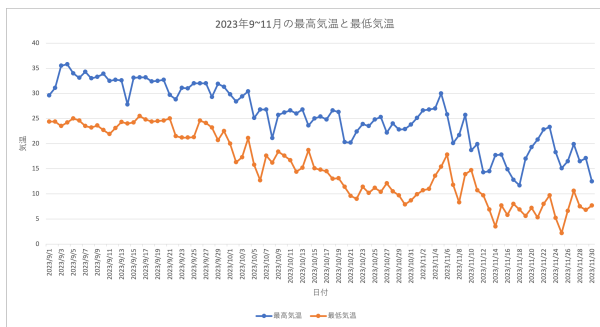


図 2 2023 年秋の気温差

2. 提案手法

本章では、エアコンの完全自動運転システムの概要及び開発に使用したライブラリなどを記載する。

2.1 システム概要

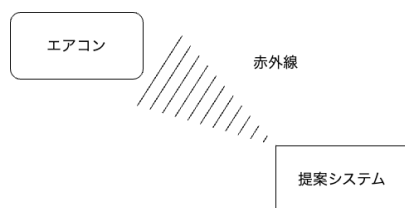


図 3 想定環境

提案するシステムは、寝室やリビングなどに設置し1台のエアコンを制御することを想定している。(図 3参照) 次

に、提案手法の詳細について示す。

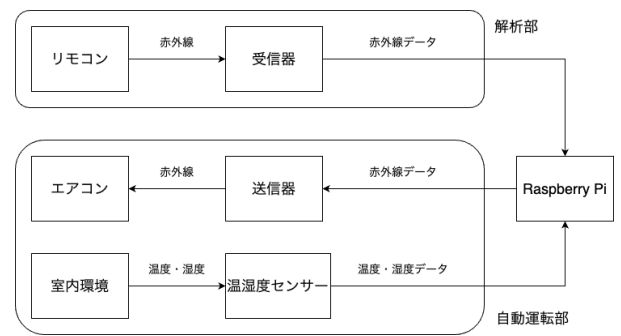


図 4 データフロー

図 4は提案システムのデータフローである。本システムは Raspberry Pi を用いて実行する。最低限の動作に必要な機能として、電源と温度がある。以下に、具体的な動作例を示す。まず、解析部について、リモコンからの赤外線を受信することで、データフォーマットとリモコンの設定を解析、判定する。自動運転部について、運転時には対象のエアコンで使用されているフォーマットに基づいた信号を生成し、送信器からエアコンに命令を送る。さらに、温度や湿度をセンサーで測定し、不快指数を算出する。温度の設定について、不快指数が基準範囲外であれば現在の設定温度から±2度の範囲で不快指数を算出し、一番基準範囲に近い結果を返した温度を設定温度として使用する。湿度について、高い場合は除湿を行う。低い場合は運転の一時停止や風量を下げることに対応する。そうした機能を実装することで快適な室内環境の生成、維持ができる自動運転装置を作る。本稿では、赤外線の受信から、任意の生成データを送信しエアコンをコントロールする部分を開発する。

2.2 不快指数

不快指数とは、人間が不快と感じる空気の状態を数値化したものである。[4]

不快指数 = (乾球温度+湿球温度)*0.72+40.6 で表され、一般に 65-70 で快適とされ、60 以下から肌寒さを、75 を超えると暑さを感じるとされている。(図 5参照)

寒い	-55
肌寒い	55-60
何も感じない	60-65
快い	65-70
暑くない	70-75
やや暑い	75-80
暑くて汗が出る	80-85
暑くてたまらない	85-

図 5 不快指数目安

3. 赤外線について

本章では、研究における赤外線関連の開発及び評価について記載する。

3.1 赤外線フォーマット

フォーマットについて、SONY, AEHA, NEC の 3 種類が存在する。[5] 2021 年の国内における家庭用エアコンのシェア率 [6] によると、1 位がダイキン (図中青色) で 35.9 %、2 位が三菱電機 (図中オレンジ色) で 24.4 % となっており、上位 2 社で国内シェアの 6 割を占めていることがわかる。(図 6 参照) また、ダイキン、三菱電機のエアコンについて、赤外線フォーマットは AEHA であることがわかっている。本稿では、AEHA フォーマットを採用している三菱電機のエアコンを用いてシステムの開発、評価を行う。

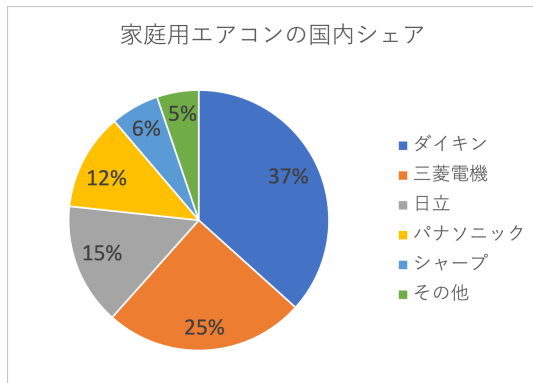


図 6 2021 年 国内における家庭用エアコンのシェア率

3.2 赤外線解析

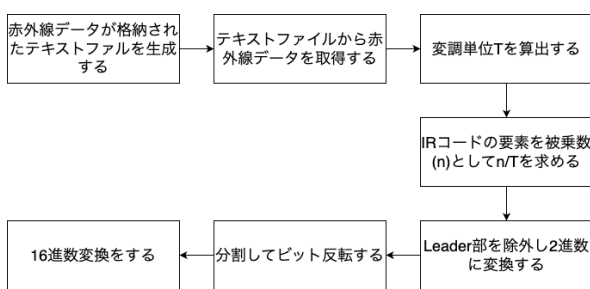


図 7 16 進数変換

最初に、視覚的に比較を行いやすくするため 16 進数変換を行う。手順は次の通りである。まず、赤外線を受信し得られたデータをテキストファイルに書き込み保存する。次に、IR コードが複数格納されたテキストファイルから IR コードを取り出し、変調単位 T を求める。さらに、IR コードの要素を被乗数 (n) として n/T を求める。この時点でデータは商である 8, 4, 3, 1 のいずれかに変換し list に格納している。このデータを 2 進数に変換していく。本稿で使用した

AEHA フォーマットの場合、8, 4 と連続するときは leader 部のため除外する。また、1, 1 と連続する場合は 0 を、1, 3 と連続する場合は 1 を表すため、その法則に則って変換する。その後、変換された 2 進数データをフォーマット通りに分割したうえでビット反転し、16 進数データに変換する。(図 7 参照)

3.3 赤外線コード生成

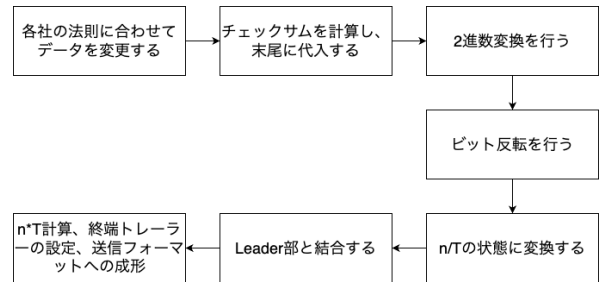


図 8 赤外線コード生成

3.2項で 16 進数に変換したデータを元に、運転モード、温度、チェックサムの 3 点を変更し任意の赤外線コードの生成を行なった。具体的な手順を示す。まず、電源の ON/OFF や温度を入力させる。次に、電源と温度について、それぞれ対応する部分の数値を既定の手順に従って変更する。その後、チェックサムを計算し該当部分のデータを書き換える。最後に、2 進数変換、商へ変換、leader 部と結合、 $n*T$ 計算を経て IR コードに変換される。(図 8 参照)

3.4 赤外線評価

ここから、赤外線関連の評価について述べる。

3.4.1 評価環境

表 1 使用機材

機材	機材名
実行機材	Raspberry Pi4 model B
	Windows11 搭載 PC
受信器	Grove Infrared Receiver
送信器	Grove Infrared Emitter
IDE	Visual Studio Code Ver 1.74.1
Python	Ver 3.9.2

表 1 は、本評価で使用した機材と型番、及びソフトウェアとバージョンをまとめたものである。赤外線データの送受信は Raspberry Pi に送受信器を取り付けて行い、赤外線データの解析と生成は Windows11 搭載 PC で実施した。

3.4.2 評価項目

評価項目は、

- 赤外線データが保存され、ファイルが生成されているか
- フォーマットの判別が正しく行われているか
- 赤外線データを16進数に変換できているか
- 16進数化したデータを比較し、一定の法則に則って数値が変化しているか
- 解析結果を元に任意の赤外線コードを生成できるか

の5点とした。

フォーマット判別について、NECフォーマットの変調単位は562、AEHAフォーマットの変調単位は350~500である。よって、赤外線コードの先頭ビットから変調単位を求め、その値がどちらの範囲に当てはまるかで判別をしている。

16進数への変換の正確性について、受信時の遅延や変調単位Tの計算方法によって結果にずれが出ると考えられる。また、例えば温度が1度変わると16進数に変換したデータの連続性が損なわれるとは考えにくい。よって、電源のON/OFF、温度を表す要素とチェックサムが一定の法則に基づいて変化しているかを確認を行う。任意のIRコードの生成について、フレームの終了を意味する部分の生成まで行っていないため、取得したデータと比較して一定の法則に従って生成されていれば成功とした。

3.4.3 ファイル生成

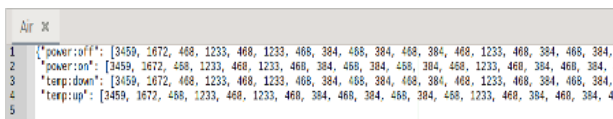


図9 ファイル生成

図9は赤外線データが保存された.txt ファイルを示している。

3.4.4 フォーマット判別

この節では、赤外線データを持つ.txt ファイルからデータを読み込み、フォーマット判別を行った。取得したデータのうち先頭2つの数値がそれぞれ3459と1672となっている。NECフォーマットのときはリーダー部が16T、8Tで構成されており、AEHAフォーマットのときはリーダー部が8T、4Tで構成されている。よって、3459と1672を各フォーマットのリーダー部で割った数の平均がそれぞれの変調単位になれば、判別ができる。実際に計算してみると、NECフォーマットの場合は213、AEHAフォーマットの場合は425となる。各フォーマットの変調単位に照らし合わせると、AEHAフォーマットの変調単位に合うことがわかる。出力結果もAEHAフォーマットであると判別しているため、正しく判別できていることがわかる。

表2 解析結果

	6byte	8byte	16byte
OFF-COOL-20	00	04	af
ON-COOL-20	20	04	cf
ON-COOL-21	20	05	d0
ON-COOL-22	20	06	d1

3.4.5 解析部

表2は、解析データのうち3つを並べたものである。1列目の文字列について、こちらはリモコンの設定を表している。先頭から順に電源-運転モード-温度となっている。OFF-COOL-20の場合は、電源OFF、冷房、20度を表している。実際の赤外線コードにおいて、データ部は1-16バイトとなっている。その中で電源や運転モード、温度や風量といった様々な設定を行なっている。この評価では、電源と温度、チェックサムの3項目について取り扱う。まず、6バイト目が電源のON/OFFであり、00がOFF、20がONを示している。また、8バイト目は温度を表している。温度は設定温度-16で求める。20度のとき04、21度の時05、22度の時06と変化しており、計算式に則していることがわかる。チェックサムについても温度が1度上がるごとに数値も増えていることから、16進数変換における数値の正確性もある程度は担保できると考えられる。また、電源、温度、チェックサムの3点について、一定の法則に則って変化していることから、数値の解析についてもある程度正確性を担保できていると考えられる。

3.4.6 チェックサム

表3 チェックサム計算結果

	16byte
元データ (ON-COOL-20)	cf
元データ (ON-COOL-21)	d0
計算結果 (ON-COOL-20)	0b
計算結果 (ON-COOL-21)	0c

表3より、元データと計算結果には大きな違いがあることが分かった。チェックサムの計算は、まず16バイト目を除いた全ての要素を足し、その結果に対して256で除算を行なって求める。この点について、受信時の遅延、もしくは元データの要素数が違うといったものが原因として考えられる。

3.4.7 IRコード生成

表4 IRコード

	6byte	8byte	16byte
受信データ	20	04	cf
生成データ	20	04	0b

表4は、受信データを16進数変換したものと任意で生成

したデータを並べたものである。今回は電源 ON, 運転モードは COOL, 20 度で生成を行った。6 バイト目を見ると、どちらも 20 と出力され電源 ON の状態が示されている。8 バイト目を見ると、どちらも 04 を出力している。よって、任意の IR データにおける電源と温度の反映は成功したといえる。しかし、16 バイト目は受信データと生成データで値が違うことがわかる。そのため、受信データをもとに任意の IR データを生成することはできていないことがわかる。

3.4.8 考察

3.4.3節と 3.4.4節より、受信した IR データによるファイル生成とフォーマット判別が期待通りの動作をしていることがわかった。リーダー部の変調単位に基づくフォーマット判別法は、各フォーマットごとに示されている数値と一致するため正確性が確保できていると考えられる。よって、受信した IR データが AEHA フォーマットであることが確認され、適切に処理されていることがわかった。

解析・生成部分について、チェックサムがずれている原因の特定を進める必要がある。現段階では、受信データが何らかの影響を受けて変わってしまっている可能性が濃厚である。チェックサムの計算が正しくできないことで、IR データ全体のエラーチェックができなくなってしまうため、通信の正確性およびエアコンの動作に支障をきたしてしまう。よって、まず IR データの正確性を検証し、それでも問題がなければ計算方法の見直しといった流れで評価を行なっていく必要がある。

4. 送受信器評価

3章にて、チェックサムが違う値になることがわかった。本章では、改めて使用している赤外線送受信器及び赤外線データが正確に動作しているか評価を行う。

4.1 組み合わせ

表 5 組み合わせ表

送受信器組み合わせ
Grove Infrared Emitter/Receiver
Grove Infrared Emitter/Receiver Grove Base HAT for Raspberry Pi
RPZ-IR-Sensor Rev2

表 5は、本章で使用した赤外線送受信器の組み合わせ表である。

4.2 評価方法

評価項目として、

- 受信した IR データをそのままエアコンへ送信して反応があるか
- 3章で受信データとして扱った IR データと要素数など

を比較し違いがあるか

の 2 点について確認する。これによって、IR データまたはセンサーが原因である可能性を探る。

4.3 結果

表 6 評価機材

機材	要素数	IR データ送信
Grove Infrared Emitter/Receiver	変化なし	失敗
Grove Infrared Emitter/Receiver Grove Base HAT for Raspberry Pi	変化なし	失敗
Indoor Corgi RPZ-IR-Sensor Rev2	増加	成功

表 6は、評価対象の機材とその結果である。Grove 製の送受信器単体および追加ボードを使った場合のいずれも IR データは送信はできず、要素数にも違いはなかった。しかし、新たに導入した Indoor Corgi 社製の送受信器を使ったところ、要素数が 3章で受信データとして扱ったものと比較して多いことがわかった。また、受信した IR データをそのまま送信しエアコンが動作することが確認できた。

4.4 考察

以上の結果より、受信した IR データ自体が間違っていることがわかった。よって、使用していたセンサーとそのセンサーで受信した IR データが、3章におけるチェックサムの違いの原因の 1 つであると考えられる。よって、本章で開発した赤外線解析、生成システムでは新しく受信データとして扱う赤外線データを解析できないことも確認した。

5. システム評価

本章では、4章でわかったことを元に再度開発したシステムを用いて、エアコンを起動した状態 (基本機能) との比較を行なった。

5.1 使用機材

表 7 使用機材

機材	機材名
実行機材	Raspberry Pi4 model B
送受信器	RPZ-IR-Sensor Rev2
IDE	Visual Studio Code Ver 1.74.1
Python	Ver 3.9.2
赤外線制御	cgir

表 7は、本章で使用した機材と型番、およびソフトウェア

とバージョンをまとめたものである。

5.2 cgir ライブラリ

cgir ライブラリは Indoor Corgi 社が提供しているライブラリである。[7] IR コードの送受信や IR コードを複数保存したファイルの管理, IR コードのデコード, エンコードなどにも対応している。使用する場合は, pigpio と呼ばれる Raspberry Pi 上から GPIO を制御するためのライブラリを事前に導入しておく必要がある。

5.3 評価方法

12月27日と2月3日に開発したシステム, 12月28日と2月5日にエアコンの基本機能のデータ収集を行った。全日程において13時から24時までの12時間, 30分おきに室内温度, 湿度, 不快指数を測定した。一般的に冬場のエアコンの推奨温度は20度とされている。そのため, 測定開始時の温度は20度とした。また, 風量は自動にした。開発したシステムについて, 不快指数の基準範囲を快い範囲とされている65~70にしている。上記のデータを用いて, 以下の3点について評価を行う。

- データ取得日の外気温における有意な差があるか
- 不快指数と室内温度, 湿度の相関係数について
- 開発したシステムとエアコンに搭載されている基本的な運転機能を使った場合の不快指数について

5.4 ウィルコクソンの符号順位検定

図10, 11について, 青線が開発したシステムを実施した日の気温, 赤線が比較対象のシステムを実施した日の気温を表している。[8] また, 縦軸が温度であり, 横軸が測定回数となる。開発したシステムとエアコンに搭載されている基本的な運転機能を使った場合の測定について, 2日間に分けてデータを取っているため, どうしても気温に差が出てしまう。(図10, 11参照) この差によって, 5.6項で行う評価に影響があるか確認しなければいけない。よって, ウィルコクソンの符号順位検定を用いて, 外気温に有意な差が認められるか検証を行なった。この手法は, 非対称のデータセットにおいて, 二つの関連する群間で中央値の差を評価する統計的手法である。主にデータが正規分布に従わない場合や順序尺度で測定された場合に有用とされている。通常, 2つの関連した標本から得られるペアの差を順位づけし, その合計順位が期待値と異なるかどうかを検定する。今回の場合は, 2日間の気温データが独立していること, データが非正規分布であるためウィルコクソンの符号順位検定を採用している。その結果, 2回とも外気温には有意な差が認められることがわかった。そのため, 次の項で述べる不快指数比較について, 外気温による不快指数への影響が認められることが示された。有意な差が認められた理由として, 中央値の差異が挙げられる。ウィルコクソンの符号順位検定は中央値の差異に敏感である。その中で, 評価に用いた2日間の外気温の中央値が12月27日, 12月28日は9.8と11.15, 2月3日, 2月5日は8.2と12.05であることから, このような結果になったと考えられる。

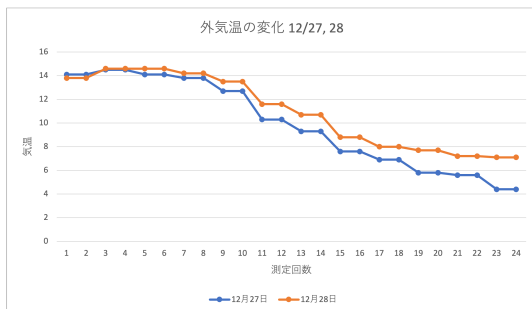


図10 外気温の変化 12/27, 28

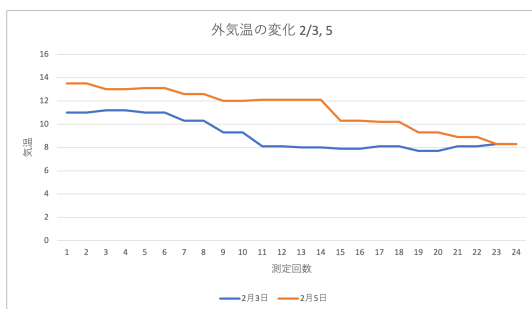


図11 外気温の変化 2/3, 5

5.5 相関係数

表8 相関係数-室内温度

不快指数-室内温度-12/27	0.998
不快指数-室内温度-12/28	0.995
不快指数-室内温度-2/3	0.989
不快指数-室内温度-2/5	0.994
平均値	0.994

表9 相関係数-湿度

不快指数-湿度-12/27	-0.422
不快指数-湿度-12/28	-0.61
不快指数-湿度-2/3	-0.432
不快指数-湿度-2/5	-0.958
平均値	-0.606

表8は不快指数と室内温度の相関係数を, 図9は不快指数と湿度の相関係数を示したものである。12月27日, 2月3日を表す青線が今回開発したシステム, 12月28日, 2月5日を表す赤線が比較対象のシステムである。相関係数を求

めるにあたって、用いるデータ全てが非正規分布であり、独立なデータであることから、スピアマンの順位相関係数を採用している。スピアマンの順位相関係数は統計学において順序データの相関を測定するための重要な手法であり、この相関係数は、2つの変数間の順位の関連性を評価するものである。結果について、不快指数と温度の相関係数はほぼ1となっており、強い正の相関関係にあることがわかる。また、不快指数と湿度の相関係数は-1に近づいており、やや強い負の相関関係にあることがわかる。このことから、冬場においては湿度が高いほど不快指数にやや強い負の影響が、温度が高いほど不快指数に強い正の影響が認められると考えられる。

5.6 不快指数比較

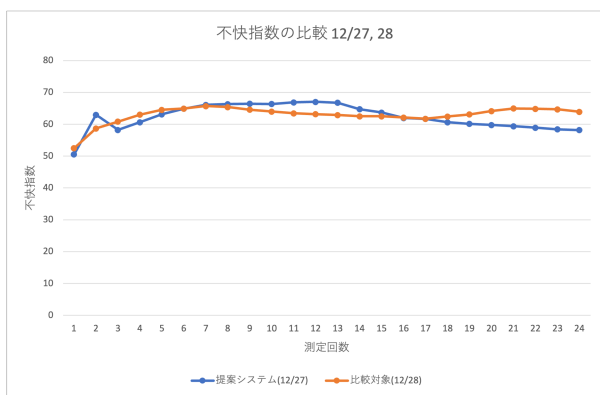


図 12 不快指数比較-12/27, 28

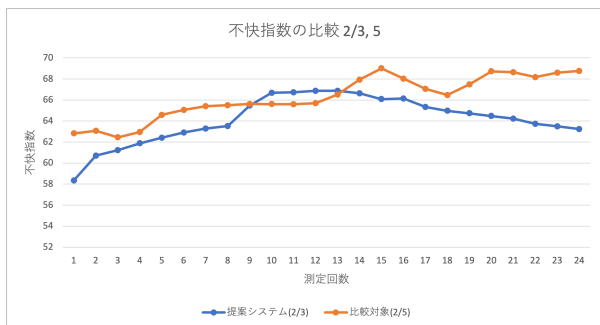


図 13 不快指数比較-2/3, 5

図 12, 13は、開発したシステムとエアコンに搭載されている基本的な運転機能を使った場合の不快指数について比較したものである。12月27日、2月3日を表す青線が今回開発したシステム、12月28日、2月5日を表す赤線が比較対象のシステムを表している。結果について、図 12の場合、測定回数が9から14回のときは開発したシステムのほうが若干高い数値を示している。しかし、測定回数が後半になると、開発したシステムでは不快指数が落ち続け、最終的には1つの目安である60を切っていることがわかる。また、図 13の場合、全体的に開発したシステムの

ほうが不快指数が低いことがわかる。これらの結果の差異に関して、5.4項によれば、外気温の差が不快指数に影響を与えることが示されており、5.5項によれば、温度と不快指数には強い正の相関があることが明らかになっている。したがって、外気温の差が一因として考えられる。

12月27日と28日の測定回数1-2間における不快指数の変化率は、それぞれ24.59%と11.80%であり、約2倍の差がある。この結果から、急速に室内を快適な環境にするという点では開発したシステムの方が優れていると考えられる。総合的に見ると、開発した完全自動運転システムはエアコンの基本機能と同等の性能を発揮しており、急速に室内を快適な環境にするという点では比較対象よりも優れていると評価できる。ただし、快適な室内環境の維持という点ではエアコンの基本機能に劣る可能性もあることがわかった。

5.7 考察

5.4項, 5.5項, 5.6項より、開発した完全自動運転システムがエアコンの基本機能と同等の性能を発揮し、急速に室内を快適な環境にするという点では比較対象よりも優れているという結論が得られた。しかし、快適な室内環境の維持という点ではエアコンの基本機能に劣る可能性も考えられる。その原因について、不快指数の基準範囲の設定が原因として挙げられる。不快指数の基準範囲を65から70の間としているため、開発したシステムでは、この基準範囲の下限を実質的な上限としてしまっている可能性がある。そのため、エアコンの基本機能と比較して不快指数の数値が頭打ちになっていると考えられる。つまり、開発したシステムが不快指数を維持する際に、基準範囲の設定が制限要因となっている可能性がある。この制限があるため、一部の場面でエアコンの基本機能に劣る結果が観察されたと考えられる。今後の改善の余地として、不快指数の基準範囲の設定を見直すことが考えられる。

6. 今後の展望

今後の展望として、まず不快指数の基準範囲の見直しが挙げられる。具体的には、基準を範囲ではなく特定の値とすることで、範囲指定した場合に起きていたと考えられる不快指数の頭打ちに対処する。また、本研究では最低限のシステムしか開発できておらず、運転中の電源のON, OFFや風量の変更などができない状態である。そのため、実装できていない部分の解析、実装を行いより完全なシステムへ近づけていく必要がある。

7. おわりに

居住環境の向上を目的とした支援システムに関する研究というテーマの元、エアコンの完全自動運転システムに関する研究を行ってきた。結果として、最低限のシステムを完成させ、実際に評価を行い実用性を一定程度示すことが

できた。しかし、風量や運転中の電源 ON, OFF ができないなど改良すべき点も多く残っている。こうした部分を改良し、より実用性のあるシステムに仕上げていければと思う。

8. 参考文献

- (1) 気象庁 日本の夏 (6~8 月) 平均気温偏差の経年変化 (1898~2023 年) (2024/1 参照)
<https://www.data.jma.go.jp>[短縮 URL]
- (2) 気象庁データ閲覧: 2023 年 9-11 月の気象データ (2024/1 参照)
<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/#!table>
- (3) ダイキン A I 快適自動とは?
<https://www.daikincc.com>[短縮 URL]
- (4) オリオン機械 不快指数目安 (2024/1 参照)
<https://www.orionkikai.co.jp>[短縮 URL]
- (5) 赤外線リモコンの通信フォーマット (2024/1 参照)
http://elm-chan.org/docs/ir_format.html
- (6) 家庭用エアコンのメーカーについて
<https://ac.fj-tec.co.jp>[短縮 URL]
- (7) ラズパイで赤外線制御 (家電、エアコン、照明、テレビなどを制御するホーム IoT) (2024/1 参照)
<https://www.indoorcorgielec.com>[短縮 URL]
- (8) tenki.jp 熊本 (クマモト) のアメダス
<https://tenki.jp>[短縮 URL]