

研究成果報告書

研 究 題 目		空気調和適正化ガイダンスシステムの研究	実 施 年 度
			2021・2022 年度
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学・大学院自然科学研究科	
	氏 名	船 曳 信 生	印
1. 研究の目的・背景 近年、地球温暖化の進行とともに、夏の暑さが厳しさを増している。気象庁のデータによれば、全国の猛暑日（最高気温 35℃以上）の年間日数は、100 年当たり 1.8 日の割合で増加している（13 地点平均、統計期間 1910 年～2019 年）。その結果、家庭のエアコン設置台数が右肩上がり伸びており、100 世帯当たり 300 台になろうとしている。そのため、夏期にピークを迎える電気エネルギー消費の抑制には、同時期に家庭内電気消費量の半分以上を占めるエアコンの使用抑制が有効である。しかし同時に、高齢者を中心とする熱中症の予防や、居住者の最低限の快適性の確保が不可欠となる。また、COVID-19 対策のための適切な室内換気の実施も考慮する必要がある。 一方、インターネット・ハードウェア・ソフトウェア技術の進化に伴い、現在、IoT (Internet of Things) が注目されている。IoT は、「デジタルデータで現実世界を捉え、アナログな現実世界を動かす仕組み」であり、モノから送り出される現実世界のデータをサイバー世界で分析し、規則性や最適な解を見つけ出し、それを使って機器の制御や人へのアドバイスを与えて現実世界を動かす仕組みである。 本研究では、IoT をベースとして、エアコンの ON/OFF に加え、窓・ドアの開閉、扇風機・換気扇・除湿器・加湿器などの ON/OFF の指示を含む、室内環境の改善および COVID-19 感染予防に向けた、空気調和の適正化に有効な手段・装置の総合的なガイダンスシステムを開発する。ここでは、IoT に広く用いられる安価・小型計算機の Raspberry Pi に豊富なライブラリを備えた Python を採用し、各種の安価なセンサーや無料の API・ソフトウェアを組合せて実装することで、多くの国々での利用を可能としている。これは、本研究に参加する留学生にとって、非常に重要な要件となる。 本研究では、空気調和適正化ガイダンスシステムの実現のために、IoT の概念に沿って、①現実世界からのデータ収集、②データを用いた現実世界の分析・理解、③その改善・最適化のための解の探索、④ユーザへのアドバイスの 4 段階で研究を進める。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

助成申込書に記載した研究実施計画の4項目の研究成果を、以下に報告する。これらの成果を5. 成果の発表に示す、学術論文で発表している。

①現実世界からのデータ収集：達成度 100%

従来からの研究において構築してきた Raspberry Pi を用いた各種データの収集システムに、人感センサ・サーモグラフィの追加、PC カメラ画像の画像処理による対象部屋への人の出入りの検知、および、それによる在室人数推定のためのロジックの開発を行い、Raspberry Pi に実装した。また、PC カメラ画像の画像処理による扇風機の動作状態（ON/OFF）の検出、部屋の窓の開閉検知のロジック開発を行った。遠隔でのシステムの動作状況の確認、収集データへのアクセス、その可視化機能の向上などのために、これらのデータを、本研究室で開発した IoT アプリケーションサーバプラットフォーム SEMAR に送信し、データの管理および可視化を行う機能を実現した。

②データを用いた現実世界の分析・理解：達成度 70%

対象とする室内環境の温度変化の物理シミュレーションモデルを開発した。まず、本モデルの開発に必要なデータを収集するために、実験用ヒーティングチャンバーを製作し、様々な条件下での温度変化実験を行うことで、本モデルで予測すべき温度変化の測定データを収集した。次に、それらを用いて、本モデルの複数のパラメータを機械学習により最適化することで、温度予測の高精度化を実現した。しかし、ガイダンスに使用する不快指数（DI 値）の予測に必要な湿度の予測モデルや、室内換気タイミングの予測に必要な CO₂ 濃度の予測モデルの開発が、今後の課題として残っている。

③その改善・最適化のための解の探索：達成度 50%

②で開発した室内温度変化の予測モデルを用いて、エアコンの暖房・冷房を、任意のタイミングで ON/OFF した場合における室内温度の時系列変化のシミュレーションを行った。その結果を基に、室内温度を適正範囲に制御するためのエアコンの暖房・冷房の ON/OFF タイミングを予測した。ここで、室内環境を制御するためのアクチュエータには、エアコンに加えて、扇風機、換気扇、加湿器、除湿器などが考えられるが、これらの ON/OFF 時の影響が予測モデルに考慮されていないことから、そのための予測モデルの改良と、それを用いた ON/OFF タイミングの予測・最適化が今後の課題である。また、室内換気を適正範囲に制御するための窓・ドアの最適な開閉方法を明らかにした。CO₂ 濃度の予測モデルを開発し、それを用いた開閉タイミングの予測・最適化が今後の課題である。

④人へのアドバイス：達成度 70%

メールと音声を用いたエアコン、扇風機、窓・ドア開閉の ON/OFF 指示機能を実装した。それらの指示を、室内のユーザに効果的に伝え、指示を実行するための改善が今後の課題である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

本年度の経費は、以下の会計報告書に示すように、申請書の計画に沿って、順調に、執行した。ただし、コロナ感染拡大の防止のために、研究補助者への謝金支給、研究打合せや成果発表のための旅費への執行は、計画よりも大きく削減した。反面、当初の計画に比べ、研究を進めるために、必要な機器である、センサー、コンピュータ、無線 LAN 機器、ユーザインタフェース用機器などの購入に充当した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、これまでに、室内環境データの測定・収集・可視化システムの実装、室内温度変化の予測モデルの開発、エアコンの暖房・冷房の ON/OFF タイミングの予測機能、メールと音声を用いたその指示機能、室内換気を適正範囲に制御するための窓・ドアの最適な開閉方法を明らかにしている。しかし、本研究で目標とする空気調和適正化ガイダンスシステムの実現・実用化には、更に、室内湿度変化の予測モデルの開発、扇風機、換気扇、加湿器、除湿器の ON/OFF タイミングの予測、CO₂ 濃度の予測モデルの開発とそれを用いた窓・ドアの開閉タイミングの予測が必要である。

今回、COVID-19 の世界的流行の影響により、研究室内に滞在する学生数やその時間が激減したことが、本研究の進捗に負の影響を与えた。研究室内に人が不在となる状況が長く続き、エアコンの ON/OFF がなされない、CO₂ 濃度が変化しない、ガイダンスを出しても誰もアクションを取らない、といった状況が続き、本研究で必要となる測定データの収集や実装したシステムの評価を進めることが非常に困難であった。本研究の空気調和適正化ガイダンスシステムの実現・実用化には、COVID-19 の流行前の状況のように、毎日、人が集まる室内環境が必須と考える。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

学会での発表

- [1] 坂上暢規, 霍元智, 舩曳信生, 栗林稔, "空調環境適正化ガイダンスシステムでの換気指示機能の実装," 電子情報通信学会技術研究報告, LOIS2021-1, pp. 1-6, May 2021. (5月10日～11日: Online)
- [2] Masaki Sakagami, Nobuo Funabiki, Yuan-Zhi Huo, Kazuyuki Kojima, and Wen-Chun Kao, "A study of ventilation guidance function in air-conditioning guidance system," 2022 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE 2022), January 7 - 9, 2022. (Online)
- [3] Yohanes Yohanie Fridelin Panduman, Nobuo Funabiki, Pradini Puspitaningayu, Masaki Sakagami, and Sritrusta Sukaridhoto, "Implementations of integration functions in IoT application server platform," 2022 The Fourth International Conference on Vocational Educational and Electrical Engineering (ICVEE 2022), pp. 72-77, September 10-11, 2022. (Online)
- [4] 坂上暢規, 濱崎和志, 伊東翔, 永山智也, 舩曳信生, 栗林稔, "換気指示精度向上のための空調和適正化ガイダンスシステムの拡張," 電子情報通信学会技術研究報告, NS2022-33, pp. 19-24, January 2023. (1月10日～11日大阪市立生涯学習センター)

学術誌への投稿

- [1] Yohanes Yohanie Fridelin Panduman, Nobuo Funabiki, Pradini Puspitaningayu, Minoru Kuribayashi, Sritrusta Sukaridhoto, and Wen-Chung Kao, "Design and implementation of SEMAR IoT server platform with applications," Sensors, vol. 22, no. 17, August 2022.
- [2] Yuanzhi Huo, Pradini Puspitaningayu, Nobuo Funabiki, Kazushi Hamazaki, Minoru Kuribayashi, Yihan Zhao, and Kazuyuki Kojima, "Three diverse applications of general-purpose parameter optimization algorithm," Algorithms, vol. 16, no. 1, January 2023.
- [3] Yohanes Yohanie Fridelin Panduman, Nobuo Funabiki, Sho Ito, Radhiatul Husna, Minoru Kuribayashi, Mitsuhiro Okayasu, Junya Shimazu, and Sritrusta Sukaridhoto, "An edge device framework in SEMAR IoT application server platform," Information, vol. 14, no. 312, May 2023.
- [4] Yuanzhi Huo, Prof. Nobuo Funabiki, Xiang Xu, Kazuyuki Kojima, Yihan Zhao, and Wen-Chung Kao, "Temperature estimation accuracy improvement of computational fluid dynamic simulation by optimizing multiple parameters," to appear in Journal of Advances in Information Technology (JAIT), 2023.