

空調設備点検用自動無線計測システムの試作 Prototype of Automatic Wireless Measurement Systems for Maintenance of Air Conditioning Equipment

竹内 勇人¹⁾ 田中 康一郎¹⁾
Yuto Takeuchi Koichiro Tanaka

1 背景

近年、日本では地球温暖化の影響により夏季の気温が上昇し、記録的な猛暑日が増加している。こうした中、エアコンは快適な生活を維持する上で欠かせない存在であるが、メンテナンスを怠ると性能が低下し、消費電力の増加や故障の原因となる。特に高齢者や小さな子どもがいる家庭では、エアコンの安定稼働が健康維持にも直結するため、その重要性はますます高まっている。一方、定期的なメンテナンスを行えばエアコンの耐用年数を大きく延ばすことができ、エネルギー効率の維持にもつながる。しかし、現在の空調設備の保守点検では、風量測定を手動で行うことが多く、作業時間や測定条件により精度が不安定で、作業者の負担も大きい [1]。特に大規模施設では、こうした作業の効率化が急務となっている。近年、IoT やセンサ技術の発展により、空調管理の自動化が注目されており、これを活用することで正確かつ効率的な運用が期待される [2]。

本研究では、風速・温湿度を自動で測定し、無線でデータを送信・閲覧できる IoT システムの開発を目的とする。まずはセンサ機器の開発と設置方法を検討し、測定誤差を 10% 以内に抑えることを目標とする。この目標値は、基準機器として使用する Testo 製 Testo 405i の測定誤差が最大で ±5% 程度であることを踏まえ設定したものである。将来的には、機器の 1 週間連続稼働を可能とし、小型化と低コスト化を図る。これにより、空調設備の保守点検作業の効率化と省力化に貢献することを目指す。

2 構成

空調設備の自動モニタリングシステムを構築するために、風速・温度・湿度・気圧の各種環境データを同時に測定可能なセンサ構成を採用した。具体的には、以下の 3 種類の機器を用いて実装を行った。

図 1 の Seeed 製 XIAO ESP32C6 を用いて、これらのセンサを統合し制御する。本デバイスは、Wi-Fi および Bluetooth 5.0 LE に対応しており、小型・低消費電力ながら、リアルタイム通信機能を備えている。また、豊富な GPIO ピンと I2C 通信機能により、センサとの接続・データ取得・無線送信を効率的に実現できる。

まず、図 2 の Renesas 製 FS3000-1015 を採用した。本センサは、MEMS 技術に基づく空気流速センサであり、非接触型でありながら高感度かつ低消費電力で風速を測定できる特長を有している。動作電圧は 3.3V、測定範囲は 0~15 m/s であり、空調吹出口の風速測定に適している。温度・湿度・気圧の測定には、Bosch 製の環境センサ BME680 を使用した。このセンサは、温度・湿度・気圧も計測可能な多機能センサであり、高精度かつ小型であるため、IoT システムへの組込みに適している。空



図 1: XIAO ESP32C6

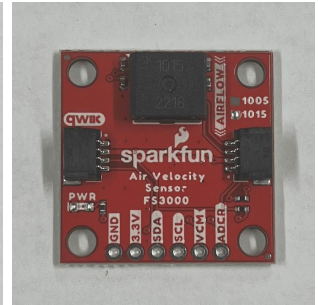


図 2: FS3000-1015

気質データは室内空気環境の評価にも活用でき、空調制御の最適化に寄与する可能性がある。

これらの構成により、風速、温度、湿度、気圧の環境データを同時かつ連続的に取得し、Wi-Fi を介してリアルタイムで外部システムに送信する自動測定システムの構築を行った。

3 測定方法

図 3 および図 4 に、今回使用した空調測定器の外観を示す。この測定器は自作したもので、2 台を用いて空調の風速の変化を測定した。ケースは 3D プリンタで製作した 2 種類があり、一つは羽のふちに近い位置にセンサが来るように設計されている。もう一つは、空調測定器が落下しないように引っ掛ける構造となっているが、風の流れを遮る可能性があるため、測定精度に影響を与える懸念がある。



図 3: 閉鎖型ケース



図 4: 開放型ケース

測定精度の評価には、専門業者が使用している 405i を基準とした。空調測定器は空調に固定し、405i は手に持った状態で測定を行い、両者の測定値の差から誤差率を算出して評価した。

4 測定結果

図 5 に 405i と空調測定器の風速測定結果を、表 1 に測定値の誤差率を、表 2 に測定の安定性を示す。これは、吹き出し口用の空調測定器の風速測定精度を評価するために行った比較である。評価には、専門業者が使用する 405i を基準とし、空調測定器との測定結果の差異を分析

1) 九州産業大学理工学部情報科学科. Department of Information Science, Kyushu Sangyo University.

した。固定した 405i は天井に固定し、時間ラベルとは異なるタイミングで測定を行った。これは 405i の手動測定によるばらつきを排除し、基準値としての信頼性を高めるためである。

測定は 1 分間行い、各空調測定器の風速を記録した。閉鎖型ケースの測定値は全体を通して約 6 m/s で安定し、変動幅が小さかった。一方、開放型ケースは測定値にやや変動が見られたが、平均的には 405i に近く、誤差率の観点からは最も基準に近い結果を示した。

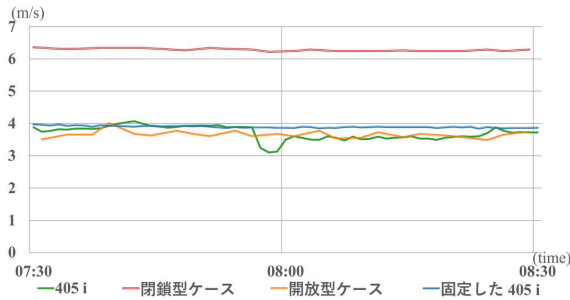


図 5: 通常測定

表 1: 通常測定の精度

デバイス	誤差率
405 i	0 %
開放型ケース	9.44 %
閉鎖型ケース	67.06 %

表 2: 測定の安定性

デバイス	標準偏差
固定 405 i	0.0797
手動 405 i	0.4627
開放型ケース	0.3892
閉鎖型ケース	0.0511

さらに、閉鎖型ケースの測定値が 405i と乖離していた原因として、センサ周辺の隙間の存在が影響が考えられた。そこで、隙間の大きさを段階的に調整し (1.5 cm×0.1 cm, 0.75 cm×0.1 cm, 0.1 cm×0.1 cm, 0 cm×0 cm)、それぞれの条件で再測定を行った。

再測定を行った結果を表 3 に示す。隙間が存在する場合には誤差率が 40.30% と高く、隙間がない場合は 4.73% と、開放型ケースに近い値を示した。これは、センサ周辺の空気の流れが正確に測定されたためであり、ケース設計の重要性を示している。したがって、FS3000-1015 センサ付近に隙間を設けないことが、測定精度の確保において重要である。

表 3: 開放型との誤差率

隙間の大きさ	誤差率
1.5×0.1 cm	34.49 %
0.75 ×0.1 cm	40.30 %
0.1×0.1 cm	34.32 %
0×0 cm	4.73 %

図 6 に風速を強めた環境での測定結果を、表 4 に誤差率を示す。これは、風速を意図的に強くした環境下での再評価である。開放型ケースでは、固定した 405i との誤差率は 7.45% と高い精度を示し、風速変化に比較的正確に反応していることを示している。一方、閉鎖型ケースでは風速の変化が測定値にほとんど反映されず、安定

した値を記録した。これは、ケース構造によってセンサ付近の空気の流れが乱され、外部の風速変化が干渉しにくくなっている可能性がある。特に、ベンチュリ効果などの影響により、センサ周辺の流速が一定に保たれていることが示唆される。なお、本評価は段階的に風速を強めた中で最も強い条件下の結果を示しており、風速を強めることで誤差率が一貫して減少するわけではない。

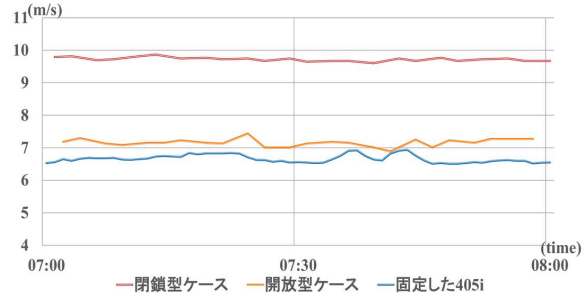


図 6: 強風測定

表 4: 強風測定の精度

デバイス	誤差率
405 i	0 %
開放型ケース	7.45 %
閉鎖型ケース	46.65 %

5 まとめ

本研究では、空調設備の保守点検作業の効率化と省力化を目的として、風速・温湿度・気圧を自動で測定し、無線通信によってデータを送信できる IoT システムを開発した。センサには FS3000-1015 および BME680 を使い、マイコンには XIAO ESP32C6 を採用することで、小型かつ多機能な構成を実現した。

測定実験では、開発した 2 種類の空調測定器を用いて、信頼性の高い市販機器 (405i) との比較を行った。その結果、閉鎖型ケースはケース設計の影響により測定精度が著しく低下し、誤差率が 67.06% と大きな乖離を示した。一方、開放型ケースは誤差率 9.44% と、目標である 10% 以内を達成し、実用的な性能を有することが確認された。

これらの結果から、ケース設計が測定精度に大きく影響することが明らかとなり、今後の改良においては通気性や安定性を考慮した設計が重要であると考えられる。

将来的には、このシステムを拡張し、複数の空調設備をまとめて監視し管理できる遠隔モニタリングシステムの実現を目指す。これにより、施設全体の空調状態の最適化や、異常発生時の迅速な対応が可能となり、持続可能な空調運用に貢献できると期待される。

参考文献

- 後藤元綺, 小林大輝, 河路友也, 前田隆弘, 成瀬仁: 現場における制気口の風量測定・調整手法の効率化検討, 空調和・衛生工学会 中部支部学術研究発表会論文集, Vol. 22, pp. 61-64 (2021).
- 水野良基, 安部萌, 田中康一郎: 風速センサを使用した制気口管理システムの試作, 2024 年度第 32 回電子情報通信学会九州支部学生会講演会, p. B-04, 鹿児島大学 (2024).