

室内温熱環境のリアルタイムモニタリングシステムの開発

Development of the real time monitoring system of indoor thermal environment

キーワード

センサーキットユニット, ローカルサーバー,
Web プログラム, ワイヤレス, グローブ温度

菊田 道宣*, 福田 安志**

研究概要

室内温熱環境を対象として、計測+通信機能を持つセンサーキットユニットとローカルサーバーから成るモニタリングシステムを開発した。センサーキットユニットは、市販の環境センサーを利用した2種類と、基盤から製作し、グローブ温度が測定できる2種類、計4種類である。これらからのデータは、ワイヤレス通信によってローカルサーバーに集約し、リアルタイムでの確認、分析することができるようにした。これらの機能はWebプログラムとしており、ブラウザがあれば操作ができる。全体として可搬型の小さい機器のセットであり、センサーキットユニットの追加、撤去が容易であることから、室内温熱環境の実測に非常に有効である。

ABSTRACT

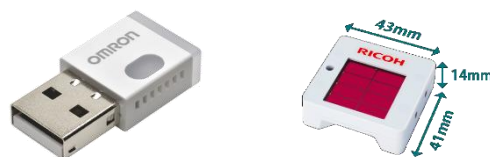
An indoor thermal environment monitoring system have been developed consisting of sensor kit units with measurement and communication functions and local server. There are four types of sensor kit units, two of which use commercially available environmental sensors and two that can be fabricated from a base and can also measure glove temperature. Datum of the sensor kit units can be collected on a local server via wireless communication and can be checked and analyzed in real time. These functions are implemented as web programs and can be operated using a browser. This monitoring system is extremely effective for measuring indoor thermal environments because it is a small, portable set of equipment, and sensor kit units can be easily added and removed.

1 はじめに

室内温熱環境の評価や制御においては、空気温度や湿度、表面温度等の物理量の測定が不可欠である。これらの物理量は、通常、空間的に分布を持つため、なるべく多くのセンサー・測定機器を分散配置する必要がある。また、室内の熱環境は、気象条件や建物の熱容量の影響によって時間とともに変化することが普通で、瞬時の状態把握では不十分であり、数日から数週間の連続的な測定が望まれる。

現在、室内温熱環境の測定では、対象とする物理量に応じて様々な機器を使用し、各機器にデータを記録することが一般的である。そこでは、測定終了後に、各機器のデータを回収し、その後に書式を揃えて処理などの作業があり、測定点数が多くなるほど、煩雑さが増す。もう一つの問題は、測定中のリアルタイムでのデータ確認は難しく、測定終了後に確認することになることである。室内温熱環境の制御に利用するためには、リアルタイムで過去を含むデータの確認・検討が必要である。

ところで、温湿度等については、環境センサーと称する半導体センサーを用いた小型計測器が販売されるようになっている(写真-1)^{1,2)}。非常に小型であることから、事務室等に多数設置しても違和感が少ない。これにワイヤレスによる通信環境を組み合わせることで、ローカルサーバーに各機器のデータを一括して集約することができ、リアルタイムでのモニタリングにも対応できる。このような観点から、計測+通信機能を持つセンサーキットユニットとローカルサーバーから成るモニタリングシステムを開発することとした。



(1)オムロン2JCIE-BU

(2)リコー D101

写真-1 市販の環境センサー(文献1,2)より引用)

* 技術センター 建築研究部, ** スマートマシン株式会社

本モニタリングシステムの特長をまとめると以下のようになる。

- 1) 多数のセンサーキットユニットからのデータをワイヤレスでローカルサーバーに集約する。
- 2) リアルタイムでデータの確認、評価ができる。
- 3) 全体として可搬型で小さい機器のセットである。
- 4) センサーキットユニットの追加、撤去が容易である。
- 5) 新たなセンサーキットユニットの追加も可能である。

可搬型であり、センサーの増減が容易なことは、室内温熱環境の実測に非常に有効であり、既存建物の省エネ診断等に活用しやすい。

2 システム要件の整理

モニタリングシステムの開発に当たり、システム要件を以下のように設定した。

(1) 測定項目

測定項目は、室内温熱環境を対象として、温度、湿度は必須とし、他は用いる環境センサーに依ることとする。開発途中で、放射環境の把握の重要性を再認識し、グローブ温度を加えることとした。対応できる環境センサーは見当たらなかったことから、センサー部まで含めて製作することとした。

(2) 測定の間隔

室内温熱環境を対象としているので、測定間隔(記録間隔)は10分を標準とし、短くても数分で良いこととする。

(3) ワイヤレス通信

多数のセンサーとサーバー間で確実にデータ通信を行なうワイヤレスネットワークを構築する無線方式として、Wi-Fi(IEEE 802.11)を採用する。他の無線方式に比較して、Wi-Fi は汎用性が高くかつ導入コストが安い。また、ひとつのアンテナの通信エリアは100m 程度であるが、市販のリピーター製品を追加することで通信範囲を拡張することが容易である。さらに、インターネットとの親和性も高く、遠隔地からのリモート観測などにも対応することができる。

(4) データの通信・収集

気温・湿度等の測定データは、数項目の小さなサイズのデータであるので、小データのやり取りに適しているMQTT (Message Queue Telemetry Transport)³⁾を使って通信することとする。MQTT は HTTP 等に比べて軽量であり、

通信に要する電力も小さく、電池駆動のセンサーの省電力にも寄与する。

(5) アプリケーションソフトウェア

リアルタイムでの測定値の確認や、測定データを一括して取り扱うための分析ソフトウェアは、一般的な PC やタブレット端末で操作できるように、Web プログラムとして実装する。CPU や画面サイズの制限、ネットワーク設定や特定のソフトウェア利用等による制約を、できる限り排除する。

(6) サーバーの機能

サーバーには、測定データの保存、リアルタイム表示、データ分析を実現するため、MQTT サーバー、データベースサーバー、WEB サーバーの3つの機能を搭載する。

MQTT サーバーは、センサーキットユニットから送られてくる測定データを受信し、それらのデータをデータベースサーバーと WEB サーバーに転送する(MQTT における MQTT Broker)。

データベースサーバーは、MQTT サーバーから転送されるデータをデータ分析に適した形式に変換した上でストレージに保存する。また、データ分析の際には、様々な条件に応じてデータ抽出が可能となる高度な検索機能を提供する。

WEB サーバーは、アプリケーションソフトウェアと連携してリアルタイムでの測定値の確認やデータ分析の機能を実現する。WEB サーバー単体の機能としては、データベースに対するデータ検索やアプリケーションソフトウェアの起動である。

3 センサーキットユニット

開発したセンサーキットユニットの一覧を表-1に示す。写真-1のオムロンの環境センサーを利用したのが SKU-A タイプ、リコーの環境センサーを用いたのが太陽電池駆動型である。SKU-B タイプ、C タイプは、乾電池駆動でグローブ温度測定のために基盤から製作した。

3.1 SKU-A タイプ

オムロンの USB タイプの環境センサーを利用するに当たって必要となる、給電とサーバーとの通信機能等を担う機器をラズベリーパイで製作した。この機器の機能は、設定された時間間隔で環境センサーを起動し、データをサー

表-1 センサーキットユニットの一覧

センサーキットユニット	センサー	電源	測定項目	その他特徴等
SKU-A	オムロン 2JCIE-BU01	USB給電	温度、湿度、照度、気圧、騒音、加速度、VOC	センサーを、Wi-Fi通信と給電を担う機器に組合せて使用
SKU-B	ポッシユ BME280	二次電池 (単3, 単4)	温度、湿度、照度、気圧、グローブ温度	量産化のためのプロトタイプ プリント基盤にセンサ・Wi-Fi通信等を取付
SKU-C	ポッシユ BME280	一次電池 (単4)	温度、湿度、照度、気圧、グローブ温度	量産化タイプ SKU-Bの改良版
太陽電池搭載型	リコー D101	PV (ブリッジ機にはUSB給電)	温度、湿度、照度、気圧	計測値はセンサーからBluetoothで送信 ブリッジ機で受信しWi-Fiでローカルサーバーと通信

バーに送信することである。これと環境センサーを組合せたものが SKU-A タイプである。外観を写真-2に示す。センサー突起部を含めて100mm程度であり、手のひらに収まるサイズである。

このセンサーは、温度、湿度以外に、照度、大気圧、騒音、加速度、VOC 相当値など、多くの項目が測定できることが特長である。全体として USB 端子へ給電する必要があるが、実測ではそこがデメリットである反面、AC アダプターを使用すれば電池切れを心配する必要が無い。



写真-2 センサーキットユニット SKU-A

3.2 SKU-B タイプ

電池駆動型のセンサーキットユニットとして、プリント基盤にセンサーやマイクロコントローラーを組み込んだ SKU-B タイプを開発した(写真-3)。SKU-B タイプは、量産化を前提としたプロトタイプであり全て手作りである。基盤の大きさは70mm×35mm、単3乾電池2本ほどの大きさである。参考文献3)を参照して、ピンポン球を用いたグローブ温度を測定できるようにした。そのため、高さが175mm程度の突起部を持つ。測定項目は、グローブ温度の他に、温度、湿度、照度、大気圧である。

マイクロコントローラーの耐電圧の関係で、一般の乾電池(一次電池)は使用できず、充電型の二次電池を用いる必要がある。データの通信間隔を10分とした場合、単4電池3本では1週間強、単3電池3本では3週間ほど測定できる。自身の電圧も記録できる。



写真-3 SKU-B



写真-4 SKU-C

3.3 SKU-C タイプ

SKU-C タイプは量産化を目指して開発したもので、回路図から金型を起こして製作した(写真-4)。基本的には SKU-B タイプと同じ構成であるが、プリント基盤が62mm×33mmと小型化したこと、単4の一次電池2本で動作するようにしたこと、全体的に強度を高めていること等の改良を加えている。一次電池を用いることで測定可能期間は延びて、データの通信間隔を10分として30日程度の測定が可能となっている。



写真-5 太陽電池搭載型センサーとブリッジ機

3.4 太陽電池搭載型

リコーの環境センサーは、小型で太陽電池を搭載しており、電源不要であることが特長である。日中数時間、蛍光灯の照明下に置くことで、翌日まで途切れることなく測定できたので、一般的な建物の使用条件下では、電池切れとなることは無いと考えられる。測定項目は、温度、湿度、照度、大気圧であり、自身の電圧も記録している。

環境センサーからのデータ送信は Bluetooth で5分毎に行なわれる。したがって、環境センサーからのデータを Bluetooth で受信し、Wi-Fi でサーバーへ送信するブリッジ機を、ラズベリーパイで製作した。環境センサーとブリッジ機を写真-5に示す。使い方としては、1台のブリッジ機に8個までのセンサーを登録できるので、複数の環境センサーを設置し、それらから Bluetooth で通信できるところ



写真-6 小型のローカルサーバー

にブリッジ機を置いて、ローカルサーバーと送受信させることになる。なお、ブリッジ機には USB 端子への給電が必要である。

4 ローカルサーバーとアプリケーションソフトウェア

ローカルサーバーはラズベリーパイで製作し、自身が Wi-Fi のアクセスポイントとなるタイプと、通信範囲を拡張できるよう外部のルータ、アクセスポイントに接続して使用するタイプの二種類を開発した。外観を写真-6に示

す。小型で容易に移動・移設ができる。

アプリケーションソフトウェアは Web プログラムとして実装しており、ブラウザがあれば利用できる。サーバーと連携して次のような機能を実現している。

(1) リアルタイム処理

- ・ センサーキットユニットの一覧表示
- ・ センサーキットユニットの測定値のグラフ、テーブル表示
- ・ 表示データの CSV ファイル出力
- ・ センサーキットユニットの設定管理(記録間隔、位置座標、コメント等)

(2) オンデマンド処理(データ分析)

- ・ データベースからデータの抽出(期間、座標等)
- ・ 抽出したデータのグラフ化(図-1)
- ・ 抽出したデータの CSV ファイル出力
- ・ データベースの管理(削除、バックアップ等)



(1) 折れ線表示



(2) ヒートマップ表示

5 グローブ温度の比較

使用例としてグローブ温度の計測結果を示す。グローブ温度は、正確には径150mmのつや消し黒色塗装の銅球による温度なので、ピンポン球を用いた温度とは差があることが想定される。そこで、SKU-B、Cタイプと150mm球とでグローブ温度を比較することとした。測定は、使用頻度の少ない実験室において今年の6/14～7/18に掛けて行なった。測定の様子を写真-7に示す。150mm グローブ球の中にPt100測温抵抗体を設置し、1分間隔でグローブ温度を記録した。SKU-Bタイプは3個、SKU-Cタイプは7個使用し、記録間隔は10分間とした。SKUの記録時刻を基準に、その前後の時刻の150mm グローブ温度の値と比較した。

比較結果としてSKU-Cタイプ2個の結果を図-2に示す。SKU-C02によるグローブ温度は、ややばらつきが見られるものの、150mm グローブ温度によく対応しており、偏りもほぼ無い。相関係数も0.99超えと非常に高い。SKU-C06のグローブ温度は、相関係数が0.99超えとなっているものの、全体的に150mm グローブ温度よりも1.5℃程度高くなっていた。他のSKUも相関係数は同程度であり、偏差はSKU-C06よりは小さかった。それぞれの回帰式を用いて補正することで、室内温熱環境の計測には十分実用になると判断できる。

6 まとめ

室内温熱環境を対象として、計測+通信機能を持つセンサーキットユニットとローカルサーバーから成るモニタリングシステムを開発した。センサーキットユニットは、市販の環境センサーを利用した2種類と、基盤から製作しグローブ温度も測定できる2種類、計4種類である。これらから、ワイヤレス通信によってローカルサーバーにデータを集約し、リアルタイムで確認、分析することができる。これらは Web プログラムとして実装しており、ブラウザがあれば操作可能である。

図-1 抽出データのグラフ表示の例



写真-7 グローブ温度比較のための測定の様子

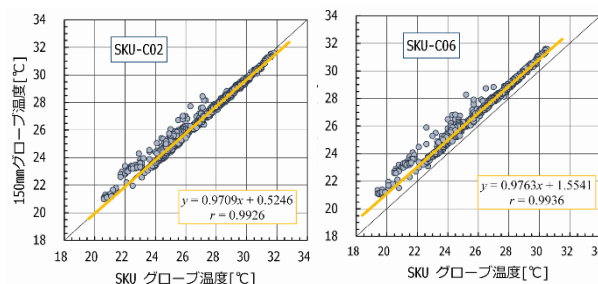


図-2 グローブ温度の比較結果

全体として可搬型の小型の機器のセットであり、センサーキットユニットの追加、撤去が容易であることから、室内温熱環境の実測に非常に有効である。今後もモニタリングシステムの整備を継続し、既存建物の省エネ診断や建築設備の簡易的な制御などに活用する予定である。

参考文献

- 1) オムロン 環境センサー https://components.omron.com/jp-ja/products/sensors/iot_sensors/environment-sensors
- 2) リコー EH 環境センサー <https://industry.ricoh.com/dye-sensitized-solar-cell/sensor>
- 3) <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>
- 4) 富樫英介：室内温熱環境の廉価な無線計測記録装置の開発，日本建築学会技術報告集，第28巻第68号，pp.267-272，2022.2