

無線通信を利用したエネルギー計測システムの開発

橋本 真伊知 滝澤 勇輝

概 要

本報では、近年のエネルギー削減の需要に対応するため、簡易的に設置可能な消費エネルギー計測システムを開発し、その性能検証を行った。施工の手間の少ない機器類を採用すること、情報通信には、Bluetooth、Wi-Fiなどの無線通信を活用すること、情報の蓄積・閲覧には、汎用のクラウドサービスを活用することなどの工夫を行った。開発したシステムを、フジタ技術センターに設置し、無線通信の到達距離、通信品質、設置にかかる施工時間の検証を行った。検証の結果、簡易的な工事でシステムを設置可能であることが確認できた。また、本システムではデータ収集用のIOT デバイスは1部屋に1台設置が必要であり、収集したデータには4～5 [%]の欠損があることが分かった。

Development of a energy measurement system using wire-less communication

Abstract

In response to the recent demand for energy reduction, this paper presents the development and performance evaluation of a easy-install consumption measurement system. The system aims to reduce installation effort by utilizing inexpensive and easy-to-install equipment, leveraging wireless communication technologies such as Bluetooth and Wi-Fi for data transmission, and employing general-purpose cloud services for data storage and access. The developed system was installed at the Fujita Technical Center, where the reach of wireless communication, communication quality, and installation time were evaluated. As a result of the verification, it was confirmed that the system can be installed with simple construction. In addition, it was found that this system requires one IoT device for data collection to be installed in each room, and that the collected data has a loss of 4 to 5 %.

キーワード：エネルギー計測、省エネ、IOT、Azure、
無線通信

§1. はじめに

近年、CO₂排出量削減目標の設定などに伴い、省エネルギーへの関心が高まっている。エネルギー消費量削減の取り組みでは、その第一段階として、現状の消費傾向の把握が重要である。しかし、詳細なエネルギー計測が可能な中央監視システムやビル・エネルギー・マネジメントシステム（以下、BEMSと称する）は、既存建物に導入しようとした場合、導入コストが高く、普及が進んでいないのが現状である。そのため、本報では、新築、既存建物によらず安価に、短工期で設置可能なエネルギー計測システムを開発し、性能の検証を行ったので、報告する。

§2. 開発システム概要

2.1 全体システム構成

システム概要を図1に示す。計測器類から集めた情報を、クラウドサーバー上に収集・蓄積する構成とした。クラウド上に集めたデータはwebブラウザ上で閲覧する仕様とし、個人のPCでどこからでもアクセスできるようにした。対応する計測項目は、電流値、温湿度、電圧、パルスとした。各種センサなどから、電圧などの外部出力を行えば、その他の物理量もシステムに載せることが可能である。

また、データ通信にはBluetooth、Wi-Fiなどの無線通信を用いること、電力計測にクランプ式の電流計を用いることなどで、配線工事費を削減している。クランプ電流計の計測値から電力量を推定する形になるので、電力量計による計測に比べ、精度は落ちるが、簡易的に取り付け・取り外しが可能である点を重視し、計測器を選定した。

2.2 システム構成要素

2.2.1 IOT デバイス

データの収集・クラウドアップロードを行うデバイスとして、Raspberry PIを採用した（図2）。Raspberry PIは、多数の入出力機能を持つ、汎用的なシングルボードコンピュータである。一般的なPC類と比べ、安価に入手可能であるため、本システムに採用した。

本システムでは、Bluetooth通信機能などを使って各センサから情報を集め、Wi-Fi通信機能を使って、クラウドアップロードを行っている。本機器の利用に

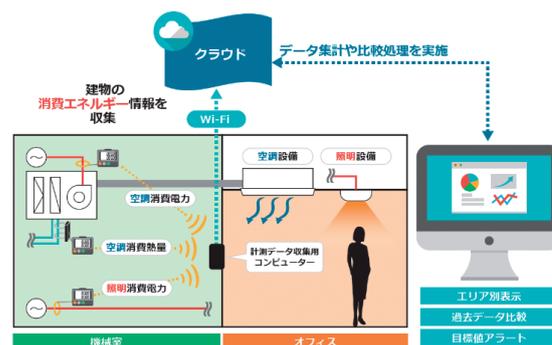


図1 システム概要図



図2 Raspberry Pi (IOT デバイス)



図3 ワイヤレスロガー (HIOKI 社製)

はAC100[V]の電源が必要になる。

2.2.2 計測器

各種物理量を計測し、上記IOTデバイスと通信を行う測定器を以下に示す。

2.2.2.1 HIOKI 社製ワイヤレスロガー

電流値他各種物理量を計測するため、HIOKI社製のBluetooth通信機能付き計測機類をシステムに組み込んだ（図3）。対応可能な機種を以下に示す。



図4 電流計 (泰興物産社製)



図5 温湿度計 (モノワイヤレス社製)

- ・ワイヤレスクランプロガー LR8513
- ・ワイヤレスパルスロガー LR8512
- ・ワイヤレス電圧・熱電対ロガー LR8515
- ・ワイヤレス温湿度ロガー LR8514

本機器の利用には単三電池もしくは外部電源(AC100[V]コンセントなど)が必要になる。1～2週間程度の計測であれば、電池を利用した計測が可能だが、長期間の計測では、外部電源の使用が推奨される。

2.2.2.2 泰興物産社製電流計

電流値を測定するため、泰興物産社製C3-less電力センサをシステムに組み込んだ(図4)。

本機器は、クランプ部分の電磁誘導を利用し、内部回路を動かすため、電池などの電源が不要という利点があるため採用した。ただし、計測対象の配線の電流値が発電に必要な値以上(おおむね1.5 [A]以上)でなければ、計測ができない点には注意が必要である。

また、データ通信には、次項に示す温度計と同じ、モノワイヤレス社製の規格のICチップを利用している。

2.2.2.3 モノワイヤレス社製温湿度計

室内温度などを計測するため、モノワイヤレス社製温湿度計Twelite-ARIAをシステムに組み込んだ(図



図6 冷温水流量の計測

5)。電源は、コイン型電池CR2032を採用しており、1年に1回程度の電池交換が必要になる。

2.2.2.4 その他の計測への対応

前項までに示した計測項目以外の物理量に対しては、各種センサと組み合わせることで対応可能である。一例として、空調冷温水流量を計測した様子を図6に示す。流量計のパルス出力をHIOKI社製パルスロガーLR8512で計測し、配管の表面温度を電圧熱電対ロガーLR8515で計測している。流量計とパルスロガーとの間の通信は有線で接続する必要があるが、パルスロガーからIOTデバイスへは無線通信で情報をアップロードできる。

2.2.3 クラウドサービス

データの保存管理を行うクラウドサービスとして、Microsoft社が提供するAzureを採用した。IOTデバイスとの通信機能としてAzure IOT Hubを利用した。

2.3 データの閲覧

保存されたデータの閲覧比較はwebブラウザ上で行う。PCの一般的なwebブラウザ(Microsoft Edgeなど)を利用して指定のアドレスにアクセスし、パスワードを入力すると、下記の4種類の画面を閲覧できる。

(1) 概要画面 (図7)

平面図などの図面を参照することができる。特定のセンサと図面を紐づけることで、空調機稼働中かなどの情報を図面上に載せることができる。

(2) 現在値一覧表 (図8)

各計測値の現在値・本日積算値・本日ピーク値を一覧で表示する画面である。

(3) グラフ画面 (図9)

データを表示したい期間を指定し、計測値をグラフ



図7 概要画面表示例

| No. | センサ選択 | | 現在の消費エネルギー | 本日の積算消費エネルギー | 本日のピーク消費エネルギー | 取得日時 |
|-----|-------|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|
| 1 | 全体 | A-1: 全体電力(100V) | 22.200 kW | 337.900 kWh | 37.800 kW | 2024/10/22 18:30:00 |
| 2 | 全体 | A-2: 全体電力(200V) | 162.000 kW | 2389.800 kWh | 352.800 kW | 2024/10/22 18:30:00 |
| 3 | 3 F | B-1: 3階北電力(100V) | 5.287 kW | 92.236 kWh | 9.801 kW | 2024/10/22 18:30:00 |
| 4 | 3 F | B-3: 3階南電力(100V) | 7.447 kW | 63.736 kWh | 0.000 kW | 2024/10/17 15:30:00 |
| 5 | すべての値 | L-1: 2階南電力(100V) | 0.000 kW | 0.000 kWh | 0.000 kW | 2024/10/17 16:55:00 |
| 6 | すべての値 | L-3: 2階北電力(100V) | 6.741 kW | 36.581 kWh | 0.000 kW | 2023/12/20 11:30:00 |
| 7 | すべての値 | L-5: 1階電力(100V)1 | 0.000 kW | 0.000 kWh | 0.000 kW | 2024/01/24 02:35:00 |
| 8 | すべての値 | A-3: 冷温水発生器ガス流量 | 264.000 m3/h | 1994.000 m3 | 504.000 m3/h | 2024/10/22 18:30:00 |

図8 一覧表画面表示例

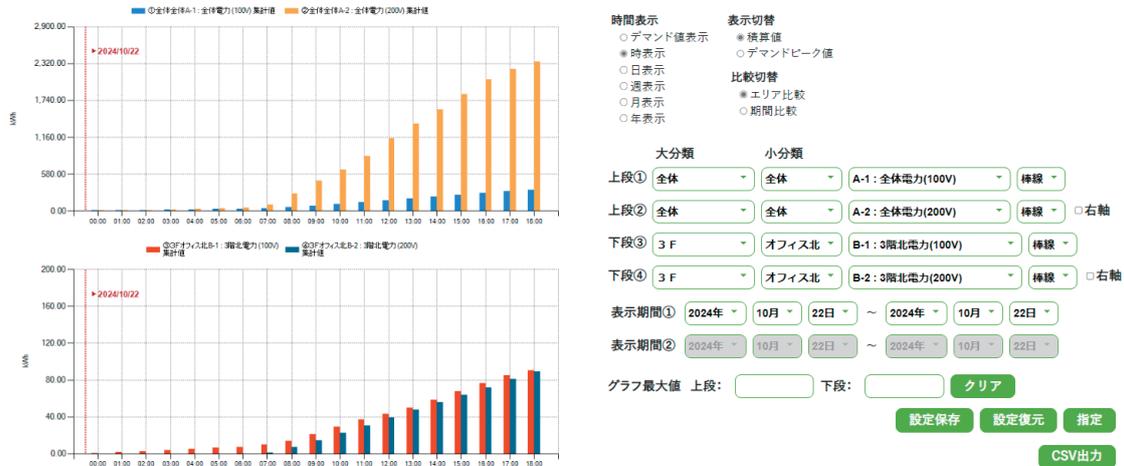


図9 グラフ画面表示例

で表示する。期間ごと、場所ごとの比較を行うことができる。

(4) 計測設定画面 (図 10)

各計測データの名称などを変更可能である。計測項目が変更になった場合などは、この画面で名称を変更する。

§3. システム検証

本システムの性能検証をフジタ技術センター内で行った。

3.1 無線通信到達距離の検証

本項では、IOTデバイスと、計測器類の通信到達距離を検証することで、IOTデバイスの設置位置、台数の設計指針を得る。

フジタ技術センター内の機械室内にある動力盤に電流計を設置し、動力盤の扉を閉じた状態で、機械室内外との通信を行った。なお、検証を行った機械室は幅約 9.0 [m]、奥行き約 4.5 [m]の長方形形状であり、壁はコンクリート壁である。通信可否の検証を行った場所の概要を図11に示す。

計測器設定 設定保存

測定器種類 電流計(単相) 機器記号

電流計

| 削除 | ロック | 機器記号 | 型番 | 設置場所 | 名称 | 集計属性 | 単位(瞬時) | 単位(積算) | 相数 | 電圧 | 補正值 | 備考 |
|--------------------------|--------------------------|------|--------------|----------|-------------|------|--------|--------|----|-----|-----|----|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | AA-1 | | | | なし | | | 単相 | | | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-1 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-2 | 3階北電力(100V) | 電力量 | kW | kWh | 単相 | 100 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-10 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-2 | 動力盤(会議室C・D) | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-11 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-2 | 外気処理エアハン | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-12 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-4 | 研修室電灯盤 | 電力量 | kW | kWh | 単相 | 100 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-13 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-4 | 研修室動力盤 | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-14 | HIOKI LR8513 | その他 | 予備(電流) | 電力量 | kW | kWh | 単相 | 100 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-2 | HIOKI LR8513 | 3F機械室3-2 | 3階北電力(200V) | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-24 | C3less | 3F機械室3-3 | 発電量(実験棟) | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | B-25 | C3less | 実験棟南屋上 | 発電量(研究棟) | 電力量 | kW | kWh | 三相 | 200 | 0.9 | |

図10 計測設定画面表示例

また、モノワイヤレス社製チップについては、広い事務室内における温度むらの計測などを想定し、壁のない広い室内空間での検証も行った。センサごとの検証結果を以降に示し表1にまとめた。

3.1.1 HIOKI 社製センサの Bluetooth 通信

(1) 同室内での通信

機械室内では全域通信が可能であったが、障害物(冷温水式空調機)を挟む位置(点D)で通信を行った場合、通信が途切れる場合があった。

(2) 隣室との通信

IOTデバイスを機械室壁から2m程度の位置(点A)に置いた場合は通信が可能であったが、それ以上離れた位置(点B、C)に設置すると通信はできなかった。

(3) 上階・下階との通信

IOTデバイスを異なるフロアに設置した場合、通信はできなかった。

3.1.2 モノワイヤレス社製チップの無線通信

(1) 同室内での通信

機械室内では全域通信が可能であった。

(2) 隣室との通信

IOTデバイスを機械室壁から10m程度の位置(点B)に置いた場合は通信が可能であったが、それ以上離れ

た位置(点C)に設置すると通信はできなかった。

(3) 上階・下階との通信

IOTデバイスを異なるフロアに設置した場合、通信はできなかった。

(4) 大空間での通信

フジタ技術センター内の事務室フロア(見通し70m程度)にIOTデバイスとモノワイヤレス社製温湿度計を設置し、通信可能な距離を計測した。その結果、50m程度まで通信が可能であった。

3.2 データ収集品質

本システムでは、無線通信を活用しているため、有線通信よりも通信品質が低いと推定される。そこで、本システムをフジタ技術センターに設置し、いくつかの設置条件において、約1か月間の計測結果からデータの欠損率を算出した。各種設置条件とデータの欠損状況を以下に示す。

(1) HIOKI 社製計測器による機械室内電流等計測

電気盤の中に設置したHIOKI社製電流計・パルスロガーのデータを同室内のIOTデバイスで収集した。この場合のデータ欠損率は4.8[%]であった。

(2) HIOKI 社製計測器による屋外温度計測

屋外の防水プラスチックボックス内に設置されたHIOKI社製温湿度計のデータを1m程度離れたプラス

表1 センサごとの検証結果

| | 同機械室内 | 隣室 | 上階/下階 | 大空間での通信 |
|------------------|--------|-----------|-------|-----------|
| HIOKI 社製ワイヤレスセンサ | 全域通信可※ | 10m 程度通信可 | 通信不可 | 50m 程度通信可 |
| モノワイヤレス社製通信チップ | 全域通信可 | 2m 程度通信可 | 通信不可 | - |

※障害物の影響で通信品質が悪くなる場所あり

チェックボックス内のIOTデバイスで収集した。この場合のデータ欠損率は4.4 [%]であった。

(3) モノワイヤレス社製センサによる屋内温度計測

機械室内に設置したモノワイヤレス社製温湿度計のデータを同室内のIOTデバイスで計測した。この場合のデータ欠損率は4.5 [%]であった。

3.3 システム設置にかかる工数の検討

本システムの設置に必要な工事類の手順および工事にかかる時間を検討する。

(1) コンセントの増設工事

本システムでは、IOTデバイスの設置場所、HIOKI社製センサの設置場所近傍に電源供給用の100[V]コンセントが必要であり、1カ所あたり2～3時間程度を要する。ただし、すでにあるコンセントを利用できる場合は、この工事は不要である。

(2) Wi-Fi 接続環境の構築

IOTデバイスのWi-Fiまたは有線LANによるインターネット接続ができる環境を整える必要がある。情報システム部門などと協議を行い、利用できるWi-Fiを用意する。

(3) 計測器類の設置

温度計や、クランプ式電流計の設置は、一カ所あたり10分程度で実施可能であった。パルスロガー、電圧計などを用いて他のセンサ類から信号を入力する場合は、配線の結線作業等が必要なため、1カ所あたり30分程度が見込まれる。

(4) IOT デバイスの設置と通信設定

IOTデバイスは、設置予定の場所に仮の固定を行い、計測器との通信設定を行う。通信状況に応じて、設置場所の変更などを行う必要がある。通信の基本設定には4時間程度を要した。また、フジタ技術センター内で、通信環境が悪く、設置場所の再検討を行った場所では、さらに4時間程度の作業時間を要した。

3.4 計測点変更にかかる工数の検討

中央監視システムなどでは、一度設定した計測場所

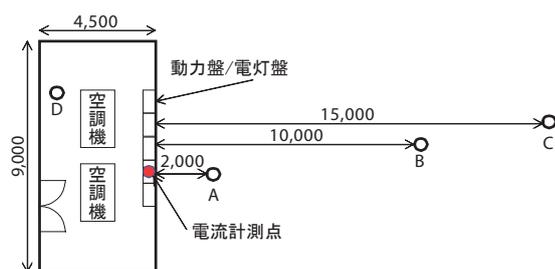


図11 通信検証点概要

を変更することはあまり行われず、必要に応じて計測項目を追加していくのが一般的である。しかし、本システムでは、計測器の取り付け・取り外しが簡便に行えるので、不要となった計測点を別の計測に流用することが可能である。そこで、計測点変更に必要な手順を以下に示す。

(1) 同じ IOT デバイスから通信が可能な場合

計測場所を変更した後も、同じIOTデバイスで通信が可能な場合は、内部設定の変更などは必要なく、計測器の取外し、取り付けを行い、webブラウザ上にて、変更後の名称を入力すればよい。1カ所あたり15分程度で終了する。

(2) 別の IOT デバイスとの通信が必要な場合

現状のIOTデバイスと通信が不可能な位置に計測器を移設する場合、IOTデバイスの内部設定・通信確認を実施する必要があるため、IOTデバイス新設の場合と同様、4～8時間の時間を要する。

3.5 考察

本システムの設置工事については、IOTデバイス2～3台程度の小規模なシステム設置であれば、工事は数日で終了する。さらに、計測場所を変更したい場合、同じIOTデバイスと通信可能な範囲（おおむね同じ部屋内）であれば、数十分程度の作業で変更可能である。

通信距離の検証により、同じ部屋内であれば、50m程度の範囲を1台のIOTデバイスでデータ収集が可能であることが確認できた。ただし、空調機などの障害物に通信が遮られないよう考慮して、IOTデバイスの設置場所を決める必要がある。

それに対し、コンクリート壁を隔てた隣室への通信距離は短いため、IOTデバイスは、各部屋に1台を見込むのがよいと考える。

計測器を設置した後の通信状況については、いずれのセンサ、設置環境でも4～5 [%]のデータ欠損が生じる結果であった。そのため、本システムでは、ある程度のデータ欠損を許容するデータの分析が必要となる。

§4. まとめ

本報では、簡易的に設置可能な電力計測システムを開発し、計測した機器の通信距離・品質の検証を行った。フジタ技術センター内における検証の結果、簡易的な工事でシステムを設置可能であることが確認できた。また、本システムではデータ収集用のIOTデバイスは1部屋に1台設置が必要であり、収集したデータには4～5 [%]の欠損があることが分かった。

今後は、収集したデータの活用方法に関する技術開発を進めていく。

ひとこと

近年、省エネへの関心がますます高まっています。エネルギーの計測を通じて需要にこたえていきたいと考えています。



橋本 真伊知