

IoT導入支援キットを用いた簡易電力測定手法の開発

前田 洋征*¹ 古賀 文隆*¹

Development of a Simplified Power Measurement Method Using IoT Starter Kit

Hiroyuki Maeda, Fumitaka Koga

製造業において電力使用状況を把握することは、エネルギー効率の改善やコスト削減に有効である。さらに、サプライチェーン全体におけるCO₂排出量の開示義務化（Scope 3）が段階的に進められていることから、製造業における電力使用状況把握の必要性が高まっている。しかしながら、工場の生産設備それぞれの消費電力を把握することは容易ではない。そこで、本研究では、弊所が開発しホームページで無償公開しているIoT導入支援キットを用いた簡易的な電力測定手法の開発を行った。IoT導入支援キットを用いて測定した電力値と市販の簡易電力ロガーの測定値を比較した結果、同等の電力測定が可能であることを確認できた。

1 はじめに

近年、燃料価格の上昇を背景に電気料金が高騰しており、製造業にとって電力コストの増加が大きな負担となっている。また、日本政府はカーボンニュートラルの実現に向けた取り組みを推進しており、自社の事業活動に伴う温室効果ガス排出量だけでなくサプライチェーン全体で排出される温室効果ガスについても把握・削減の対象としている。このため、中小企業においても、温室効果ガスの排出要因である電力使用量を把握し、消費電力削減に向けた取り組みが不可欠であり、加工機の消費電力量計測の事例が報告されている¹⁾。しかし、工場に設置された各装置の消費電力を個別に把握することは容易ではない。消費電力を把握する方法として、市販の簡易電力ロガーを使用する方法があるが、電力計測に関する専門知識が必要になる。他に、高精度な電力計測機器を導入する方法もあるが、設備導入に高額なコストがかかることから、中小企業における電力使用量の把握は十分に進んでいない。

このような背景から、低コストかつ容易な電力測定手法が求められているのに対して、弊所が開発したIoT導入支援キットは、電力測定には対応できていなかった。そこで、本研究では、IoT導入支援キットを用いた簡易的な電力測定手法を開発し、市販の簡易電力ロガーと比較することで測定精度の評価を行った。

2 IoT導入支援キット

弊所は県内中小企業の生産性向上を支援するために、

低コストかつ簡単にIoT導入できるツールとしてIoT導入支援キットを開発し、弊所ホームページに無償公開している²⁾。IoT導入支援キットの構成を図1に示す。

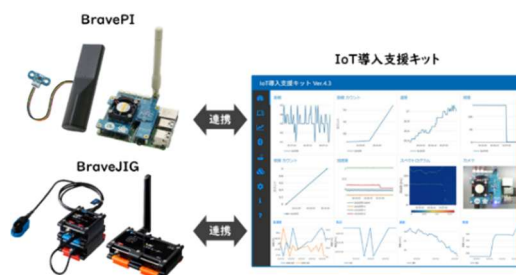


図1 IoT 導入支援キット

IoT導入支援キットとは、プログラミング不要で簡単にIoTを始められるソフトウェアとなっており、株式会社Braveridgeと共同開発したIoTデバイスであるBravePI（ブレイブパイ）とBraveJIG（ブレイブジグ）に対応している。BravePIは、比較的安価に無線センサ化可能なIoT導入支援組立てモジュールである。BraveJIGは、センサの無線ネットワーク化が可能で、高い設置性と防水・防塵仕様を備えたIoT/DX汎用モジュールデバイスである。2026年5月時点では、照度、温湿度、熱電対、気圧、測距、加速度、ADC及び差圧が市販されているが、直接電力の測定はできない。

3 電力測定手法の方針および電流センサの選定

本研究では単相交流回路を対象として、IoT導入支援キットを用いた電力測定手法を開発した。交流回路における電力は電圧と電流の位相差を考慮する必要がある

*1 機械電子研究所

あり、電力Pは、次式により算出される。

$$P = |E| |I| \cos\theta \quad (1)$$

式(1)においてEは電圧、Iは電流、 $\cos\theta$ は力率を示す。電流および力率は、負荷状況に応じて変動するため、これらを正確に測定するには電圧波形と電流波形を測定して力率を求める必要がある。しかし、この手法では高価な計測機器が必要になるうえ、測定作業も複雑になる。そこで、本研究では簡易的な電力把握を目的として、安全性および利便性も考慮し、電圧と力率を一定とみなしクランプ式電流センサを用いて測定した電流値のみから電力を推定する。クランプ式電流センサは、瞬時値型と実効値型に大別され、実効値型はさらに平均値整流型と真の実効値型に分類される。それぞれの特徴は次の通りである。

(1) 瞬時値型

電流の時間変化（波形）そのものを測定する方式であり、電流の瞬時値を測定できる。実効値の算出には測定した波形に対する演算が必要になる。

(2) 平均値整流型

交流電流を整流（絶対値化）した後の平均値を測定し、電流を正弦波と仮定して実効値を算出する方式である。電源不要で使用できる。

(3) 真の実効値型

真の実効値の測定が可能な方式である。動作には外部電源が必要となり、回路構成が複雑であるため、平均値整流型よりも高価である。

これらの3種類の電流センサから使用するセンサを選定するために、直流安定化電源の交流電源入力部の電流を測定した。また、基準値としてパワーメータとオムロン社製の簡易電力ロガーZN-CTX21による測定も行い、精度を比較した。直流安定化電源の交流電源入力部の印加電圧と電流波形の一例を図2に示す。また、各方式の電流センサで電流を測定した際のセンサ出力値を図3に示す。直流安定化電源の交流電源入力部の電流は、直流安定化電源に接続した電子負荷装置の負荷を変えることで調整した。図2では、電圧は正弦波であるのに対し、電流は電圧のピーク付近でのみ大きな値を持つ歪んだ波形になっている。

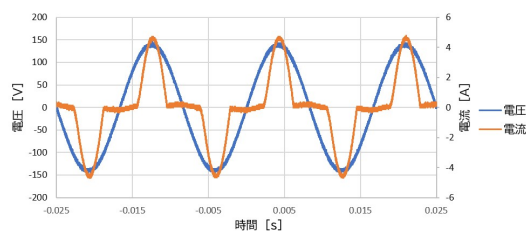


図2 直流安定化電源の交流電源入力部の
印加電圧と電流波形の一例

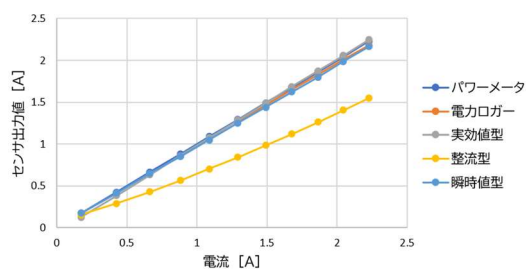


図3 直流安定化電源の交流電源入力部の
電流に対するセンサ出力値

電流測定値を比較した図3に示すとおり、実効値型および瞬時値型は基準値と同等の測定ができています。一方、平均値整流型では電流波形を正弦波と仮定して実効値を算出するため、歪みのある波形では精度が低下すると一般に言われるとおり、本実験においても大きな誤差が生じています。以上の実験結果から、本研究では歪みのある波形に対しても測定可能で、別途実効値演算が不要となる真の実効値型電流センサを採用することにした。

4 電力測定手法

4-1 電流センサのハードウェア構成と電流の算出

電流センサのハードウェア構成の構成を図4に示す。

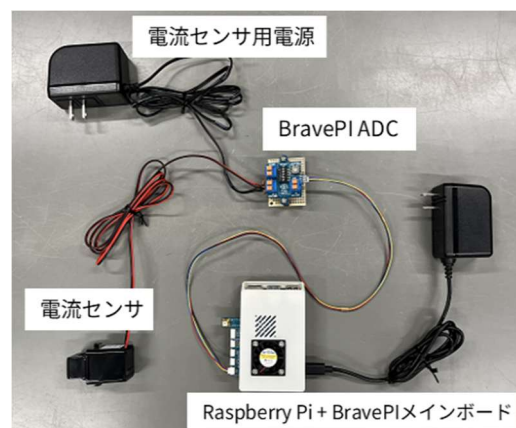


図4 電流センサのハードウェア構成

IoT導入支援キットのハードウェアは、Raspberry PiとBravePIメインボードから構成される。電流センサおよびAC電源はBravePI ADCセンサーボードに接続され、BravePI ADCセンサーボードはBravePIメインボードのI2Cポートに接続されている。なお、ADCセンサーボードには2チャンネルの入力が存在するが、内部抵抗を設定できるのは、チャンネル1のみであるため、チャンネル1を使用した。また、内部抵抗は100 Ωに設定した。電流センサには、ユー・アール・ディー社製のCTT-CLS-RMSシリーズを使用した。CTT-CLS-RMSシリーズは、型式によって5～500 Aの定格電流に対応しており、測定結果を4～20 mAのアナログ信号として出力する。ADCセンサーボードは、4～20 mAのアナログ信号を内部抵抗にかかる電圧値として取得するため、取得した電圧値を測定電流値へ変換する必要がある。ADCで取得した電圧値Vから測定電流Iを算出する式を式(2)に示す。

$$I = aV - b \quad (2)$$

式(2)において、aは電流センサの換算係数、bはオフセット係数である。換算係数aは、電圧と電流の関係を一次関数の傾きで表し、使用するCTT-CLS-RMSの型式に応じて式(3)により求められる。また、オフセット係数bは式(4)により求められる。

$$a = \frac{I_{max} - I_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (3)$$

$$b = aV_{min} \quad (4)$$

式(3)において、 I_{max} はCTT-CLS-RMSシリーズの定格電流であり、 I_{min} は0である。 V_{max} および V_{min} はそれぞれアナログ信号が4 mAおよび20 mAのときに内部抵抗100 Ωにかかる電圧であり、 $V_{max}=2$ V、 $V_{min}=0.4$ Vである。例として、「CTT-16-CLS-RMS10」は定格電流が10 Aであるため、換算係数aは、

$$a = \frac{10 - 0 [A]}{2.0 - 0.4 [V]} = 6.25$$

と求められる。また、オフセット係数bは、0.4 Vを入力した時に測定電流が0 Aになるよう補正する係数であり、式(4)よりCTT-16-CLS-RMS10のオフセット係数bは、2.5となる。算出した測定電流とあらかじめ設定

した電圧、力率を式(1)に代入することで、対象機器の消費電力を簡易的に算出できる。

4-2 電力測定に対応したIoT導入支援キット

電力測定に対応するように改良したIoT導入支援キットを図5に示す。



図5 電力測定に対応したIoT導入支援キット

図5に示すとおり、電力測定版IoT導入支援キットでは、電圧、力率、電流センサの換算係数およびオフセット係数を設定でき、これらをもとに算出した測定電流と電力の結果が表示される。

5 電力測定の評価

分電盤および3Dプリンタを対象として、開発した電力測定版IoT導入支援キットと比較対象としてオムロン製簡易電力ロガーも用いた電力測定を行った。分電盤の測定結果と一部区間を拡大した結果を図6に示す。

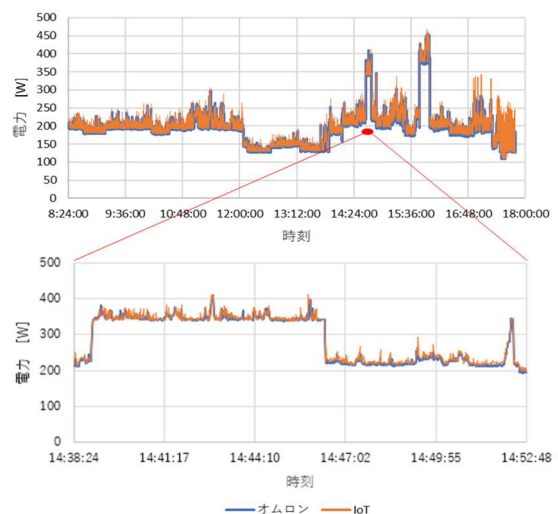


図6 分電盤の電力測定の比較

分電盤測定では、電圧100 V、力率0.7に設定した。図6より、市販の簡易電力ロガーと同等の測定結果が得られた。一部区間を拡大した結果からも、微小に変動している値も同様に測定できていることを確認できた。次に、積算電力量の比較結果を図7に示す。

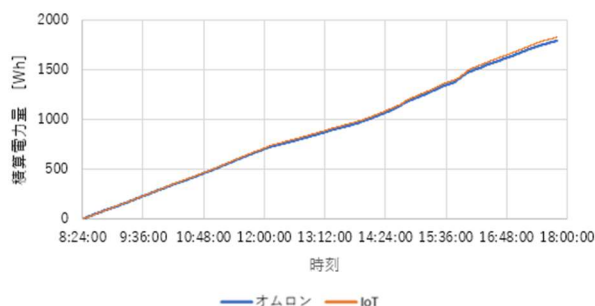


図7 分電盤の積算電力量の比較

積算電力量では、IoT導入支援キットによる結果がわずかに大きな値を示したが、測定終了時の測定誤差は1.9 %であった。

次に、3Dプリンタを対象にした電力測定の比較を図8、積算電力量の比較を図9に示す。3Dプリンタの測定では、電圧100 V、力率1に設定した。



図8 3D プリンタの電力測定の比較

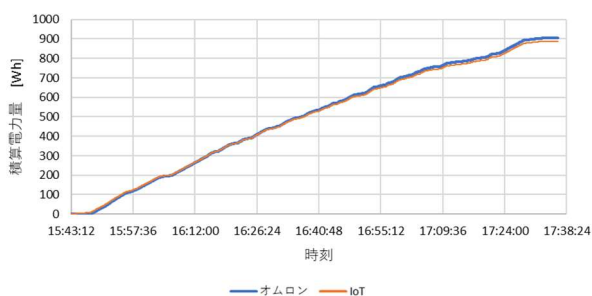


図9 3Dプリンタの積算電力量の比較

図8および図9より、3Dプリンタに対しても、市販の簡易電力ロガーと概ね一致する測定結果が得られた。

また、測定終了時の積算電力量の測定誤差は1.7 %であった。以上により、本研究で開発したIoT導入支援キットを用いた電力測定手法は、市販の簡易電力ロガーと同等の測定が可能であることを確認できた。

6 結果と考察

IoT導入支援キットを用いて市販の簡易電力ロガーと同等の電力測定を実現した。市販製品と導入コストを比較した場合、電力測定版IoT導入支援キットを新たに用意するには、Raspberry Pi一式、BravePIメインボード、BravePI ADCセンサーボードおよび電流センサが必要であり、約6万円の費用が掛かる(2026年5月時点)。このうち、ADCセンサと電流センサを合わせた費用は約2万円である。また、1台あたり約1万円のBluetoothトランスミッターを使用することで、最大16台まで無線センサ化でき、2台目以降を拡張する場合は、合わせて約3万円で電力測定を追加できる。市販の簡易電力ロガーは、1台5万円前後であるため、複数個所を同時に測定する場合や既にIoT導入支援キットを用いて別のセンサを活用している場合は、既存製品より低コストに電力測定できるのが利点である。

7 まとめ

本研究では、単相交流回路を対象としてIoT導入支援キットを用いた簡易的な電力測定手法の開発を行った。電流センサに真の実効値型を採用し、BravePI ADCセンサーボードを用いて測定電流から簡易的に電力を算出する手法を開発した。また、分電盤および3Dプリンタを対象として市販の簡易電力ロガーとの比較測定を行った結果、市販の簡易電力ロガーと同等の電力測定が可能であることを示した。

今後の課題としては、さらに三相交流回路を対象としたIoT導入支援キットによる簡易電力測定手法を開発する。また、実際に県内中小企業への電力測定の導入支援で活用し、有効性を検証する予定である。

8 参考文献

- 1) 平井 克尚, 板倉 亮馬, 川島崇宏: 島根県産業技術センター研究報告, 第61号(2025), pp. 17-20
- 2) 前田 洋征, 田口 智之, 奥村 克博, 西村 圭一, 小橋 泰成: 福岡県工業技術センター研究報告, No. 35(2025), pp. 66-69