

カーボンニュートラル実現に向けた エネルギー分析プラットフォーム開発

木村 太一**

鈴木 祥司*

小海 正嗣**

渡邊 仁*

抄 録

ジャトコは2050年バリューチェーン全体でのカーボンニュートラル達成を目指し、生産DXの推進と生産技術の革新により、省エネルギー化を促進している。工場エリア単位での電力見える化は構築できているが、より細かい電力管理を行い職場単位のオペレーションレベルで節電を進める体制を再構築した。

本稿では、カーボンニュートラル実現に向けた生産部門のエネルギー分析プラットフォームとして設備単位で、かつリアルタイムに電力及びエア使用量データを取得・把握できるシステムを内製化開発したので報告する。

1. ジャトコの温室効果ガス削減に向けた取り組み

1.1 日本国内の目標

まず、日本国内の目標として、2021年4月政府は2050年でのカーボンニュートラル、2030年度に温室効果ガス46%削減（2013年度比）を表明している。

1.2 ジャトコの目標設定

次にジャトコでは2050年までにバリューチェーン全体でのカーボンニュートラル実現、2030年までにCO₂排出量46%減を目指している（Fig. 1）。

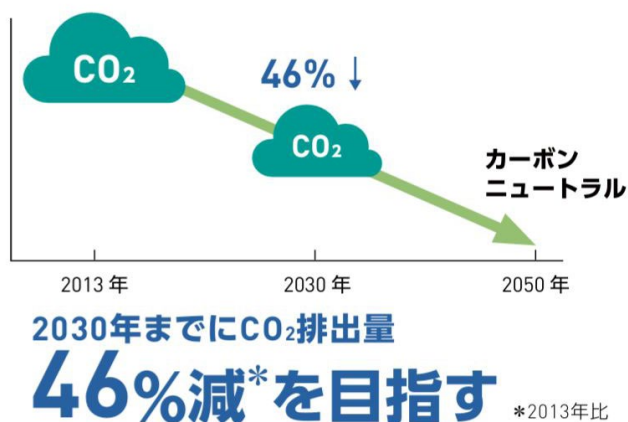


Fig. 1 JATCO's Greenhouse Gas Reduction Targets

1.3 ジャトコの生産活動におけるCO₂排出割合

ジャトコの実活動における主なCO₂は、2023年度において電力8割、燃料他2割の使用率である。そこで、CO₂排出量が多い電力の使用量削減が重要課題となっている（Fig. 2）。

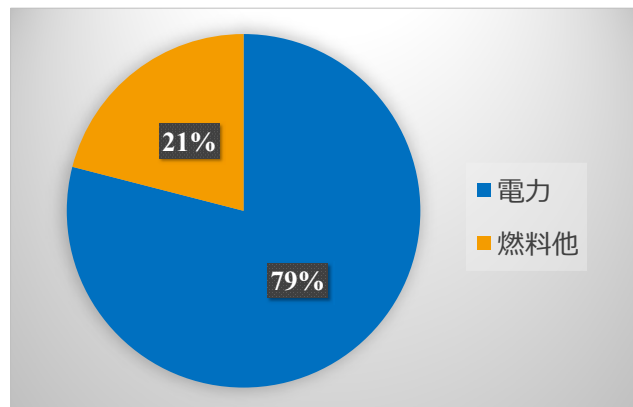


Fig. 2 Percentage of CO₂ emissions from production

1.4 電力の使用量削減に向けた活動

現状の電力見える化を以下に示す。Fig. 3は工場平面図を示し、色別のブロック単位で電力見える化が出来ている。



Fig. 3 Schematic diagram of the entire factory

例えば、Fig. 3図の[A]緑色のブロックをクリックすると、Fig. 4のようにグラフが表示されて、そのエリアにおける電力使用量の1ヵ月の推移が確認できる。縦軸は電力使用量（kWh）、横軸は時間（hour）で任意に設定可能である。

1.5 電力見える化の現状課題と次のステップ

上述のように、工場のブロック単位での電力見える化が完成したが、製造現場から「自職場の設備がどの程度電力を使用しているか分からないため節電が進まない」という声が上がった。

工場の節電を推進するためには、それぞれの設備がどの程度のエネルギーを消費しているか把握して、ムダを発見する必要がある。現在、各職場には大体30台程の設備があるが、すべての設備には電力量計が設置されていない。設備毎に電力量計を取り付けるには、膨大なコストと工数が掛かるため簡単に進められないという課題があった。

また、工場のほとんどの設備は圧縮空気を使用しており、これらのエアーを生成するために多くの電力を使用している。

そこで今回、設備単位での電力及びエアー使用量データを取得・把握できるシステムを内製化開発したので報告する。

2. 開発コンセプト

前述のように、弊社ではカーボンニュートラル目標を達成するため、設備単位での電力見える化を目指している。

ジヤトコ使用設備は、動力源として電力、エアーを使用し、かつ多種多様なメーカー機器を採用している。市販品の多くはパッケージ売りで柔軟性がなく、かつ高額であり、他メーカー機器との互換性がないため、汎用的に設置できる自社製の電力見える化計測ユニットを開発した。

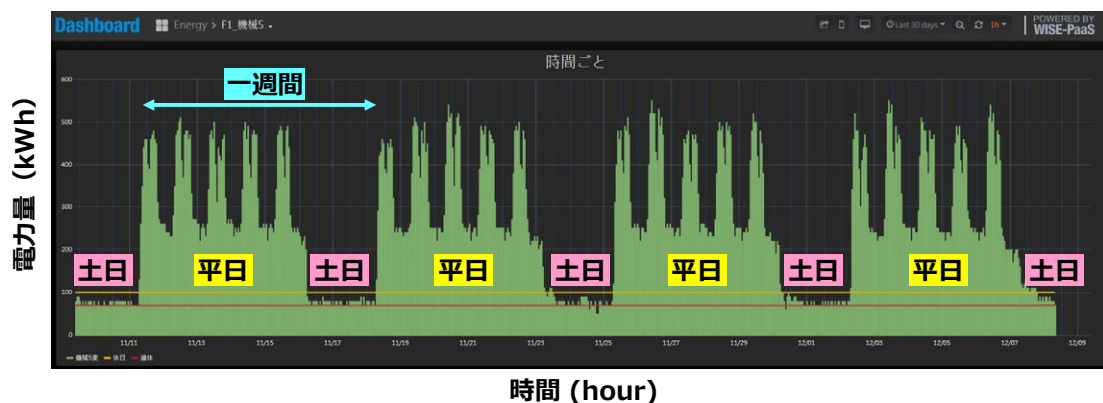


Fig. 4 The power transition of the block

3. 電力見える化計測ユニットの設計

3.1 構成概要

電力見える化計測ユニットは、Raspberry Pi⁽¹⁾、電力計測基板、Uninterruptible Power Supply（以下、UPS）基板の3つで構成し、設計を行った。

ユニットを含めたシステム構成図を示す（Fig. 5）。

3.2 Raspberry Piの選定

ジャトコではIoT内製化開発において標準的にRaspberry Piを使用している。これは、Raspberry Piが安価で小型ながらモータ駆動や設備の状態可視化に適し、さらにPythonの使用が可能のためである。

3.3 電力計測基板の設計

エア流量や設備消費電流を測定するには連続量検出が必要で、センサの出力はアナログ信号である。しかし、Raspberry PiにはアナログI/Fが無いため、A/Dコンバータ（以下、ADC）を用いてアナログ信号をデジタル信号に変換する必要がある。そのため、電力計測基板を製作した。

3.4 UPS基盤の設計

弊社の組立設備では、安全対策のため設備点検や異常時に電源を遮断することが多く、電源供給の途絶が機器の故障やデータ破損リスクの可能性がある。強制電源遮断時のエラーに対処するため、Raspberry Pi用のUPSを製作した。

3.5 データの流れ

フローセンサによるエア流量取得、クランプセンサによる設備消費電流を取得し、アナログ電流を回路の電流を検出するための抵抗器であるシャント抵抗で電圧に変換する。これをA/D変換し、エア使用量や電力使用量を計算後にPLCに送信する。PLCにデータを取り込むことで上位システムに接続でき、設備単位・ライン単位・工場単位の電力見える化が可能になる（Fig. 6）。

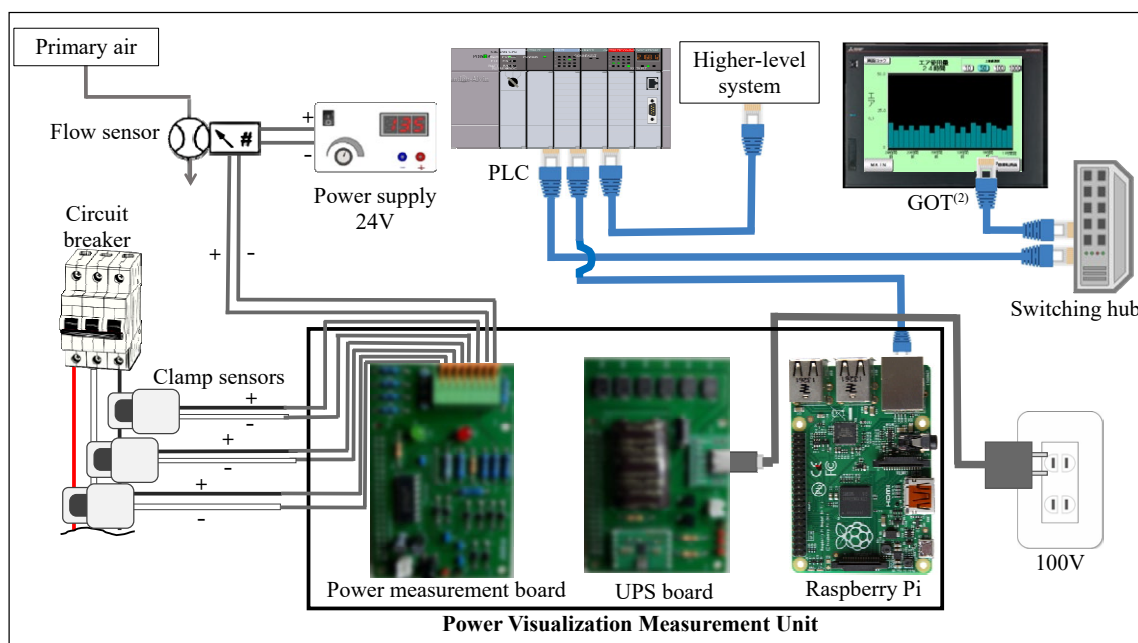


Fig. 5 System configuration

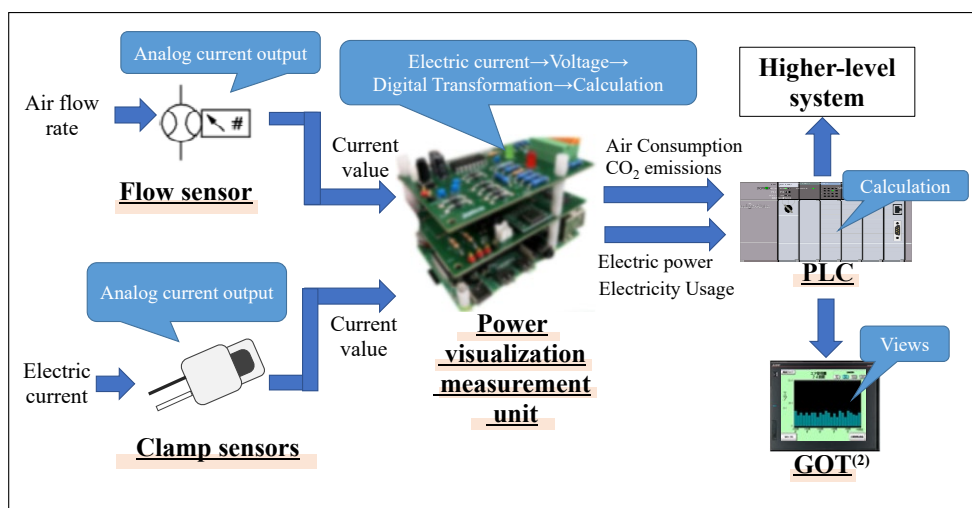


Fig. 6 Data processing flow

4. 開発トピックス

以下に、開発過程で浮上したトピックスを詳述する。

4.1 ノイズ対策の意義

工場設備のノイズ対策は安全管理、品質管理、機械の安定運用に不可欠であり、誤動作が設備停止を引き起こし生産や安全に影響するため、重要である。

弊社の工場は新幹線に近く (Fig. 7)、多数のAC200V～400Vの設備が稼働し、ノイズが多い環境にあるため、しっかりとしたノイズ対策が必要と考えた。

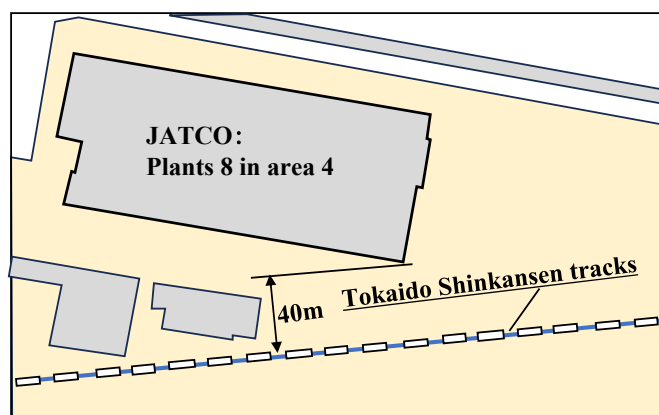


Fig. 7 Distance between Shinkansen and JATCO

4.2 ノイズ対策事例

ジャトコはCVTのATCUに関するノイズ対策の知見を基に下記6対策を選定し、システムの信頼性を高めた。

対策1) 一点アースの徹底化

回路と基板設計では、一点アースを確実にした。

対策2) アナログ・デジタル信号の配置最適化

基板内アナログ信号、デジタル信号のチャタリングノイズ対策として、ADCを基板出力に近いRaspberry Piの入出力端子であるGPIOピン付近に配置し、信号間距離を置くレイアウトとした。

対策3) 信号のノイズ低減

アナログ電流は基板上でシャント抵抗により電圧に変換し、ノイズ抵抗値を向上した。

対策4) IC誤動作防止策

IC空き端子は、抵抗を介してGNDレベルに固定し、IC電源とGND間はバイパスコンデンサにより、電源を安定化した。

対策5) 信号入力端子の対策

基板の信号入力部にローパスフィルタを作り、高周波ノイズ成分をカットした。また、ダイオードクランプ回路を構築し入力端子への過電圧を防ぎ、CPUを保護した。

対策6) 金属ケースによる保護

基板ケースは、高ノイズシールドの金属素材を採用し、外部ノイズ及びRaspberry Piから発生する内部クロックノイズの外部漏洩を保護した。

4.3 耐久性

本開発品に使用するRaspberry Piの耐久性が課題であり、過去の故障を踏まえ、長期間の安定運用を実現するための対策事例として、CPUの過熱防止用に冷却ファンの設置、PSEマーク⁽³⁾が付いた高信頼の電源ユニットの選定、高耐久・信頼性の産業用microSDカード（MLC）を採用した。

5. 検証結果

以下に、電力見える化計測ユニットの開発に関する検証結果を示す。

5.1 ノイズ対策の検証

前述のように、ノイズ対策を実施することで、誤動作防止と信頼性向上を達成した。

5.2 UPS基板の検証

UPS基板の検証を行った結果を示す（Fig. 8）。横軸を時間、縦軸を電圧として、青線を出力信号波形、黄線をUPS電源波形とする。電源遮断後、Raspberry Piのシャットダウンに必要な電源供給時間10sに対して、UPSの電源供給時間が15sになり、電源が保持されることが実証された。

Fig. 8のグラフの詳細は以下の通りである。

A点：Raspberry Piの自動シャットダウン開始

B点：Raspberry Piシャットダウン完了

C点：UPS電源供給OFF

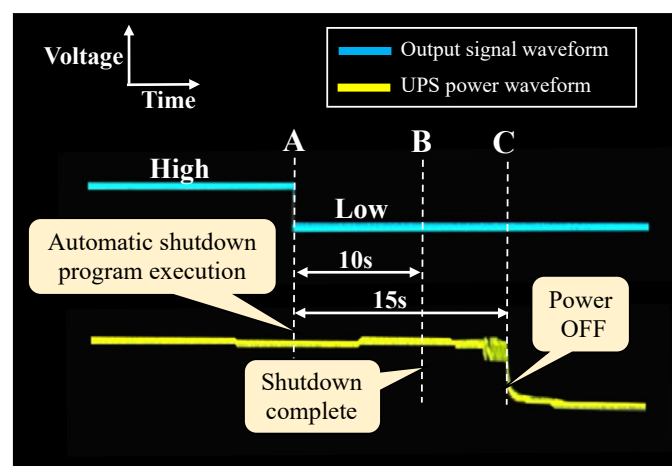


Fig. 8 Verification of the operation of the backup power supply when the power is turned off

5.3 電力計測基板の検証

開発コンセプトで記述したように、汎用的に設置できる計測ユニットを開発した。Ethernetの通信ポートがあれば、どの市販PLCとも汎用的に通信を行える。

次に、計測ユニットの正確性を検証するため、相関取りを行った。各電流値における計測結果を、クランプメータで測定した電流値（縦軸）と計測ユニットに取り付けたクランプセンサで取得し合算した電流値（横軸）とを比較したところ、強い相関が確認された（Fig. 9）。電力値Pは、 $P=VI$ で表され、電圧Vは固定値であるため、電流値が決まれば電力値も決定する。

さらに、各エア流量における計測結果についても、フローセンサのデジタル表示値（縦軸）とフローセンサで測定されたアナログ電流出力をPythonで計算した値（横軸）を比較したところ、強い相関が確認された（Fig. 10）。エア流量から電力値への換算は、工場の圧縮エアの換算係数を用いて計算を行った⁽⁴⁾。

これらの結果により、計測ユニットが正確に動作することが確認できた。

6. 結論

設備ごとにエア流量や設備消費電流を計測し、電力見える化を実現するエネルギー分析プラットフォームを開発した。これは、製造現場での詳細な電力管理と節電を推進したいというニーズに応えるために開発されたものである。このプラットフォームにより、各工場設備の消費電力量が明確になり、効果的な省エネルギー活動が可能となった。また、市販品の標準価格と比較して半減のコストで実現できた。

7. 今後の展望

Fig. 11は、各設備に電力見える化計測ユニットを設置し、電力の総量を可視化したグラフである。横軸は時間、縦軸（1軸）が電力量を、縦軸（2軸）が生産台数を示す。計測した電力量を分析した結果、生産有りの電力量と比較して、生産無しの時間帯でも非常に大きな電力が消費されていることが判明し（待機電力）、電力削減（CO₂削減）への具体的な対策を講じる手掛かりとなった。

PLCを用いることで設備の動作と連動させてデータの多様な解析および活用が可能である。今後、カーボンニュートラルのための多様な削減策を検討するために、試験モニタリングを広範囲に実施し、目標として掲げた2028年度での温室効果ガス46%削減（2013年度比）に向けた取り組みに貢献していく。

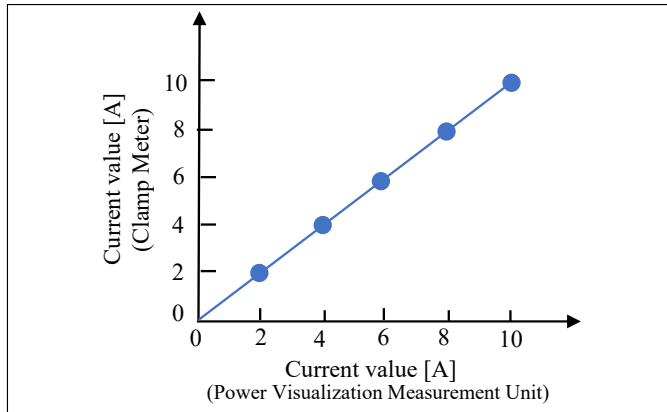


Fig. 9 Relationship between the actual current measured by the clamp meter and the measured current by the measurement unit

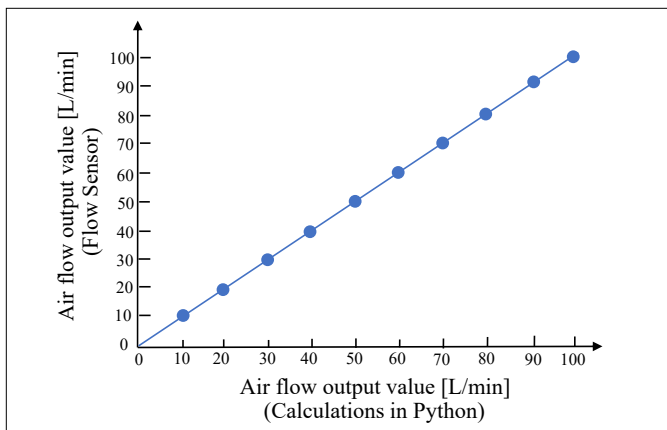


Fig. 10 Relationship between the actual current measured by the air flow sensor and the measured current by the measurement unit

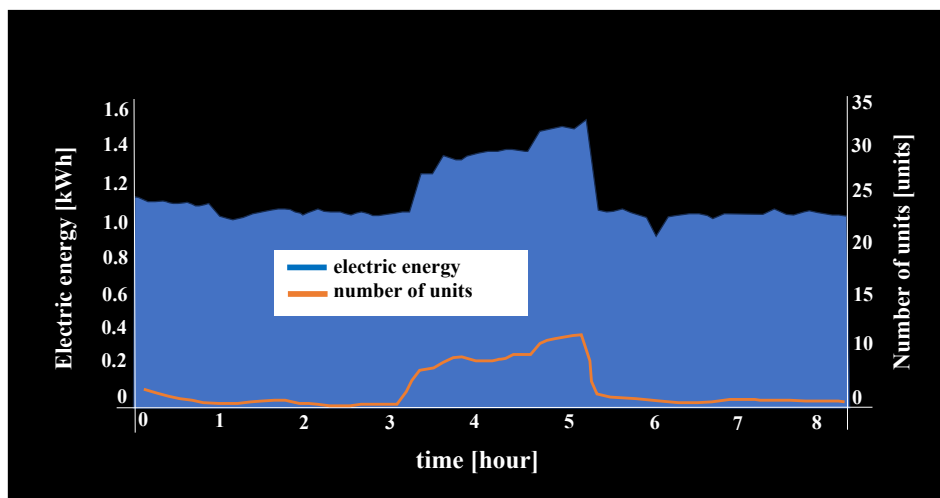


Fig. 11 Total electric energy and number of units produced by the hour

- (1) Raspberry PiはRaspberry Pi財団の登録商標。本記事で引用した回路基板の写真はWikimedia Commonsからの引用（©2016 Herbfargus CC-BY-SA-4.0）。
- (2) GOTは、三菱電機株式会社の日本およびその他の国における商標、または登録商標。
- (3) PSEマークとは、「電気用品が電気用品安全法の基準をクリアしている」ことを証明するマーク。
- (4) 圧縮エアーは大型エアーコンプレッサによって工場単位で生成されるため、コンプレッサの電力消費量に基づいて換算係数を決定。

■ 著者 ■



木村 太一



鈴木 祥司



小海 正嗣



渡邊 仁