

エネルギー監視システムの開発

山田誠治*・吉木大司*・下濃義史*

Development of the Energy Monitoring System
Seiji Yamada*, Daiji Yoshiki*, Yoshifumi Shimono*

国際通信規格 IEEE1888, 無線方式によるデータ通信, および簡易な電力計測方法を採用した「エネルギー監視システム」を県内企業と連携して開発し, 本システムを産技センター内に設置して動作確認および計測値評価を行った. 動作確認においては, 計測データが所内 LAN に接続されている PC 画面上に表示されること, 監視サブシステムにより, システムの状態が画面上に表示されること, および IPv6 で通信できることを確認した. 計測値評価においては, 既存の計測器により計測されたデータと開発した機器で計測されたデータを比較した結果, それらのデータの差異の程度と使用時の留意点が明らかとなった.

1. 緒言

山口県では, 本県の特徴を踏まえて環境・エネルギー産業の育成・集積を目指した取組を進めている¹⁾. 山口県産業技術センター(以下, 産技センター)では, エネルギー関連技術を最重点技術の一つに位置づける²⁾とともに, この分野において県内ものづくり企業と一体となって取り組む「新エネルギー研究会」を設置し, その活動により, 県内企業の新たな技術の獲得を支援している. 一方, 中小企業工場においては, エネルギー消費量低減によるコスト競争力の強化, 節電要請への対応, 非常時の事業継続のためのエネルギー確保, また CO₂ 排出量の削減などエネルギーマネジメントに関する課題が重要な位置づけとなっている. これらの課題に対して, 上記研究会の中に設置する分科会の一つであるスマートファクトリー分科会³⁾では, 中小企業工場を対象に, 地域資源(エネルギー, 環境・エネルギー関連技術・製品, ものづくり技術)を有効に活用して, エネルギーを最適供給する次世代低炭素型工場(以下, スマートファクトリー)モデルの提案とそのモデルに必要な技術要素を開拓することを目指している. 本分科会の取組概要を図1に示す. 平成23年度に実施した調査⁴⁾から, 地域資源を活用したエネルギーマネジメントを実現する取組の概要は図2のように整理することができる. この図から, スマートファクトリーを実現するエネルギーマネジメント構築には,

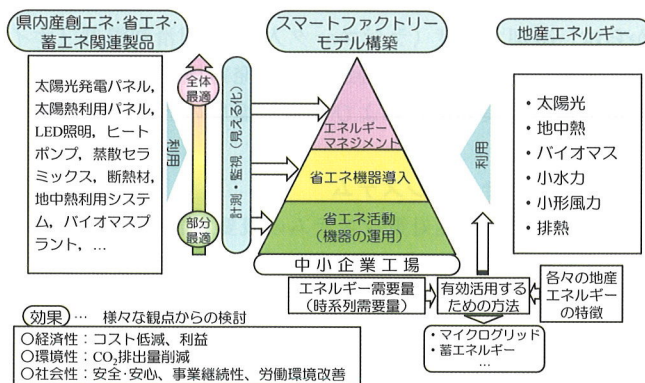


図2 エネルギーマネジメント実現に向けた取組概要

需要側がエネルギー供給を主体的に捉えて, 部分最適から全体最適に向けて省エネ活動から省エネ機器導入, そしてエネルギーマネジメントへと段階的に取り組むことが重要であり, そのためにはエネルギーの計測・監視(見える化)が必要であることがわかる. そこで, 本分科会活動では最初の取組テーマを「エネルギー監視システムの開発」とした. この開発したエネルギー監視システムを用いて県内のモデル工場でエネルギー使用実態を調査し, スマートファクトリーモデル構築に関する調査を行い, 分科会での協議を踏まえて, そのモデルの提案へと取組を進めていく予定である.

2. エネルギー監視システムの開発

2-1 既存システムの調査

エネルギー監視システムの開発に際して, 最初に既存システムの調査を行った. 調査に際しては, 既存製品のカタログ, メーカーからのヒアリング, また, 実際に産技センターへ既存製品(三菱電機製)を導入することにより, 計画段階から設置工事までの一連を体験した. その結果から, 次のことが明らかとなった.

- 接続機器がメーカーに依存する.
- ビジネスモデルがメーカーの機器仕様に依存する.
- 将来のBEMS (Building Energy Management System), FEMS (Factory Energy Management System) やスマートグリッド向けに開発されていない.
- 高コスト, 簡易施設に不向きである.

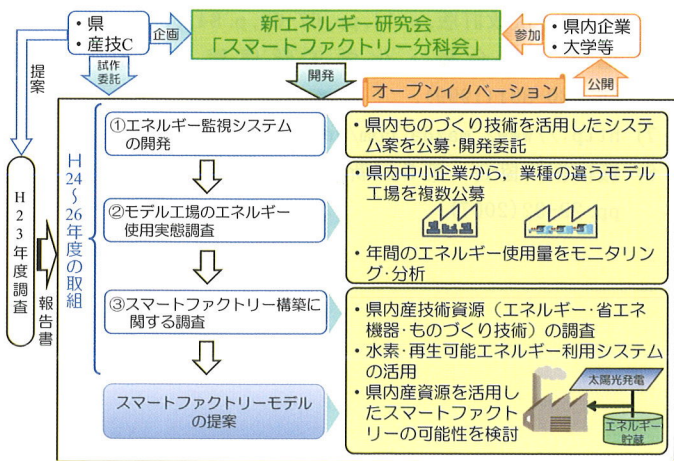


図1 スマートファクトリー分科会の全体の取組概要

*企業支援部設計制御グループ

2・2 開発システムの方向性

今後の世の中での動きとして、エネルギー供給・需給における主体が供給側から需要側へ変わることが予想される。それに対応するためには ICT を活用したエネルギーの「見える化」が必要であり、それには、インターネットの活用が有効であると考えられる。このことと前節の既存システム調査結果を考慮して、本システムの開発の方向性を次のように定めた。

- システム構築する機器がメーカーに非依存であること。
- 新規参入・様々な事業展開が可能であること。
- 次世代の FEMS やスマートグリッドに対応できること。
- 低コストで簡易な設置が可能であること。
- インターネットが有効に活用できること。

これらを実現するために、

- 国際通信規格 IEEE1888^{5,6)}を採用、
- データ通信には無線方式も採用、
- 電力計測に簡易計測方法も採用

したシステムを開発することとした。この IEEE1888 は、施設管理システムにおいて、エネルギー管理に視点を広げてオープン化を前提として開発された国際標準の通信規格であり、インターネットが活用でき、システムの拡張性、互換性に優れ、中小規模の施設まで対象にでき、低コスト化が可能である、また広域にわたる遠隔管理が実現可能であるなどの特徴を有している。

2・3 試作開発

試作開発は、分科会会員によるプロポーザル公募方式を採用し、その結果、計5企業により試作開発することとなった。試作開発システムの概要を図3に示す。本システムは、計測器、中継器 (GW)、データ保存・画面表示・システム状態監視用サーバ (ストレージサーバ、Webサーバ、状態監視サーバ) から構成される。

2・3・1 計測器

図4に試作開発した計測器を示す。計測器は、全体の使用電力監視を目的とする電力会社が設置する取引用電力量計 (以下、取引用電力量計) からのサービスパルスを計測して電力を算出する電力計、個別設備・機器の使用電力監視を目的とする電圧および電流を計測して電力を算出する電力計および電流のみを計測して電力を簡易に算出する電力計、さらに温度・湿度を計測する温湿度計がある。試作開発した計測器の概要を表1に示す。なお、電力計に接続する電流

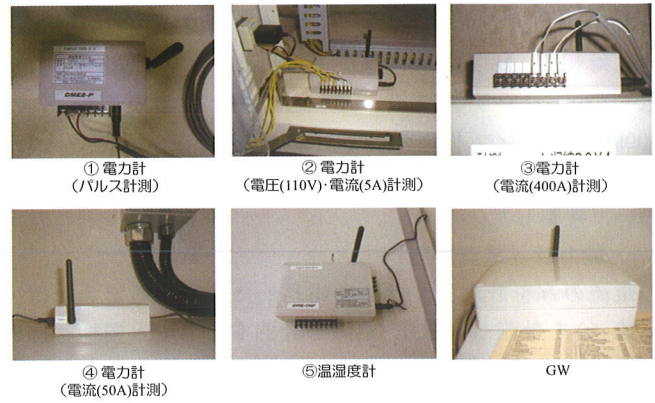


図4 試作開発した計測器およびGW

センサー (以下、CT) は、各計測点の電流量を考慮して適切な容量の CT を選定する。

a. 電力計 (パルス計測)

取引用電力量計からのサービスパルスを計測して電力を算出する電力計は、1分毎に積算パルス数 N_{pulse} を用いて式(1)より積算電力量 E_{sum} [kWh] を算出し、積算パルス数と積算電力量を GW に送信する。

$$E_{sum} = N_{pulse} \cdot \frac{VT \cdot CT}{k_{pulse}} \quad (1)$$

ここで、 VT 、 CT はそれぞれ取引用電力量計の変圧比、変流比、 k_{pulse} [pulse/kWh] は取引用電力量計の 1kWh あたりのパルス数である。

b. 電力計 (電圧・電流計測)

電圧および電流を計測して電力を算出する電力計は、電圧 $v(t)$ および電流 $i(t)$ を計測し、5周期に1回ずつ式(2)、(3)を用いて1周期の実効値 V_T 、 I_T を、また式(4)を用いて1周期の平均電力 P_T を求め、式(5)~(7)により、その1分間平均 (計720点の平均) の実効値電圧 V [V]、実効値電流 I [A] および有効電力 P [kW] を算出する。また、積算電力量 E_{sum} [kWh] は、データ送信間隔1分 (1/60時間) を考慮して式(8)により算出する。以上により算出された実効値電圧、実効値電流、有効電力、積算電力量を GW に送信する。

$$V_T = \left[\frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot v(t) dt \right]^{0.5}, \quad (T \text{ は周期}) \quad (2)$$

$$I_T = \left[\frac{1}{T} \int_0^T i(t) \cdot i(t) dt \right]^{0.5}, \quad (T \text{ は周期}) \quad (3)$$

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt, \quad (T \text{ は周期}) \quad (4)$$

$$V = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (V_T)_k, \quad (N=720 \text{ は1分間の平均化点数}) \quad (5)$$

$$I = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (I_T)_k, \quad (N=720 \text{ は1分間の平均化点数}) \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (P_T)_k, \quad (N=720 \text{ は1分間の平均化点数}) \quad (7)$$

$$E_{sum} = \sum P \cdot \left(\frac{1}{60} \right) \quad (8)$$

なお、電圧および電流の計測におけるサンプリング周波

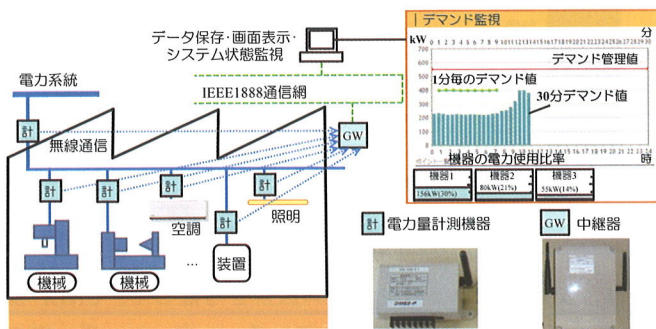


図3 試作開発システムの概要

数は 1680[Hz]であり、電圧および電流の周波数 60Hz の波形に対して、28 点の計測値が得られる。サンプリング周波数 1680[Hz]でサンプリングした本計測器のデータと 100kHz でサンプリングしたオシロスコープのデータとを比較することにより、このサンプリング周波数の妥当性について確認した。

c. 電力計（電流計測）

電流のみを計測して電力を簡易的に算出する電力計は、電流 $i(t)$ を計測し、電圧・電流を計測するものと同様に、5 周期に 1 回ずつ式(3)を用いて 1 周期の実効値 I_T を求め、式(6)により、その 1 分間平均の実効値電流 I [A] を求め、次に示す式(9)、(10)により有効電力 P を算出する。また、積算電力量 E_{sum} [kWh] は式(8)により求められる。

$$(三相 3 線 の 場 合) P = \sqrt{3}V \cdot \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right) \cdot \cos\phi \quad (9)$$

$$(単 相 3 線 の 場 合) P = VI \cos\phi \quad (10)$$

ここで、 I_1, I_2 は式(6)による電流の実効値、 V は線間電圧、 $\cos\phi$ は力率で、線間電圧と力率は定数を設定する。以上により算出された実効値電流、有効電力、積算電力量を GW に送信する。

d. 温湿度計

温湿度計については、Sensirion 製の 1 チップ温度・湿度センサー SHT-71 を搭載しており、計測された温度および湿度を GW に送信する。

なお、計測器と GW との通信については、有線 (RS-485) および無線 (ZigBee) に対応可能である。

表 1 計測器の概要

計測器	概要	送信データ
電力計 (パルス計測)	サービスパルスを計測し、電力を算出	積算パルス数、積算電力量
電力計 (電圧・電流計測)	電圧 (110V)・電流 (5A) を計測し、電力を算出	電圧、電流、有効電力、積算電力量
電力計 (電流計測)	電流 (50A, 200A) を計測し、電力を算出	電流、有効電力、積算電力量
温湿度計	温度、湿度を計測	温度、湿度

2・3・2 中継器 (GW)

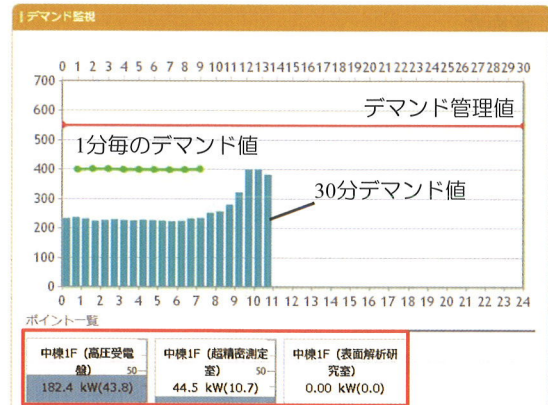
中継器 (GW) は、汎用 ARM CPU 基盤 (消費電流 100mA 以下) を使用し、組込み Linux をベースとしており、IPv6 に対応可能である。また、IEEE1888Gateway として利用できるようにスクリプト言語である PHP を用いて開発した。GW は、計測器から 1 分ごとに送信されるデータを IEEE1888 形式に変換し、時刻データを付与してストレージに送信する。計測器との通信については、有線 (RS-485) および無線 (ZigBee) に対応可能である。また、イーサネットケーブル接続端子と Wi-Fi 接続可能となるように USB 接続インターフェースを有している。

2・3・3 ストレージサーバ・Web サーバ

ストレージサーバ (以下、ストレージ) および Web サー

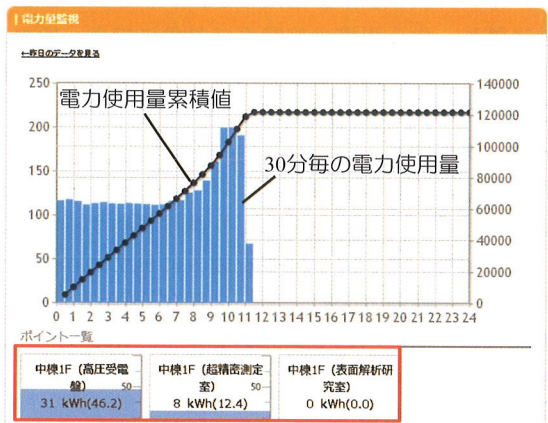


図 5 ストレージサーバ・Web サーバ部分の構成図



- 各計測点の現時点の電力
- () 内は全電力に対する比率

(a) デマンド監視画面



- 各計測点の現時点の電力使用量
- () 内は全電力使用量に対する比率

(b) 電力量監視画面

電力監視システム



(c) ダッシュボード

図 6 代表的な Web 画面

は、安定性と今後のシステム拡張を考慮して、UNIX 系 OS である Linux 上に構築されている。一方、ユーザー側の操作性の観点から Windows 7 上に仮想マシンを配置し、こ

の上に導入した Linux OS 上でストレージと Web アプリケーションが動作する環境となっている。ストレージサーバ・Web サーバ部分の構成を図 5 に示す。ストレージは、GW から送信されるデータを受信し、保存する機能を有するが、この部分にオープンソースで提供されている FIAP Storage を導入することで、IEEE1888 に対応している。Web サーバ部分もオープンソースを中心として構築されており、中小企業工場でも導入しやすい低コストなシステム構築が可能となっている。Web サーバは、ストレージから所定のデータを取り出し、Web 画面表示を行うためのアプリケーション部分 APP と集計データを JSON 形式で取得するための API を実装している。また、Windows 7 上のブラウザから Web サーバにアクセスすることにより、電力や環境（温度・湿度）データを閲覧することができる。

Web 画面には、電力監視画面と管理画面の二種類があり、前者については、デマンド監視、電力量監視、ダッシュボード（個別機器詳細情報を表示）の三つの画面がある。また後者の中には、計測点（ポイント）を管理するための場所管理画面とポイント管理画面、契約電力や目標電力などを設定するデマンド設定画面、複数のポイントをまとめて表示するための設定を行うグループ管理画面、CSV ファイルのダウンロード画面がある。これらの画面の閲覧、設定などは、PC やタブレットなどの携帯端末から Web ブラウザ経由で行うことができる。代表的な Web 画面を図 6 に示す。(a)デマンド監視画面は、30 分デマンド値（30 分間の使用電力量から求めた平均使用電力）と共に 1 分毎にデマンド値を表示する。この 1 分毎のデマンド値は、各時の 0～30 分、30 分～60 分毎に式(11)を用いて、デマンド基準時刻から n 分 ($0 < n < 30$) 経過までの平均値を算出する。これにより、30 分デマンド値を予測することができ、本システムの特徴でもある。

$$P_n = \Delta E_n \cdot \frac{60}{n} \quad (11)$$

P_n : n 分経過時のデマンド値[kW], ΔE_n : デマンド基準時刻から n 分 ($0 < n < 30$) 経過までの電力使用量[kWh]。

また、画面下側には全体のデマンド値に対する各機器別のデマンド値の比率を示すグラフがある。これにより、どの機器の寄与が大きいかを確認することができる。(b)電力量監視画面は、各 30 分間における電力量[kWh]と、当日の電力使用量の累積値を表示する。画面下側にはデマンド値と同様に、電力使用量全体に対する各機器別の電力使用量の比率を示すグラフがある。(c)ダッシュボードは、各機器の積算電力量、有効電力、電圧、電流などの詳細データを表示する。各項目を選択すると、現在値、過去 60 分間の値の推移、日次、週次および月次の値の推移を確認することができる。日次、週次および月次の値については、それぞれ前日、前週、前月の値と一緒に表示され、過去との比較ができるようになっている。

2・3・4 状態監視サーバ

状態監視サーバも、Windows 7 上に仮想マシンを配置し、この上に導入した Linux OS 上でシステムの状態を監視す

ストレージの監視状況: 現時点のストレージの状態

監視項目	番号	状態	最終時刻
FIN3	IPv4 172.18.1.130	OK	2013-07-09 11:20:01
FIN3	IPv6 2001::41:05:0:1519:130	OK	2013-07-09 11:20:01
FIN3	IPv6 2001::41:05:0:1519:130	OK	2013-07-09 11:20:01
MOET	IPv4 http://172.18.1.130/usb/services/FIAPStorage/usb	OK	2013-07-09 11:20:01
MOET	IPv4 http://2001::41:05:0:1519:130/usb/services/FIAPStorage/usb	OK	2013-07-09 11:20:01
MOET	IPv4 http://2001::41:05:0:1519:130/	OK	2013-07-09 11:20:01
MOET	IPv6 http://172.18.1.130/	OK	2013-07-09 11:20:01
MOET	IPv6 http://172.18.1.130/	OK	2013-07-09 11:20:01
FETCH	IPv6 http://172.18.1.130/	OK	2013-07-09 11:20:01

計測値の監視状況: 現時点のGWの状態と計測値の取得状態

計測値	監視項目	番号	状態	最終時刻	最終取得タイムスタンプ
GW	電力計A	中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/IntegrPowerConsumption)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/IntegrPowerConsumption)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Voltage1)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Voltage2)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Current1)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:04 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Current2)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/IntegrPowerConsumption)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/IntegrPowerConsumption)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/ActivePower)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/ActivePower)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Current)
		中棟1F(高圧受電盤)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:15 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/A/Current)
電力計B	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:23 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/B/ActivePower)	
	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:23 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/B/ActivePower)	
	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:23 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/WAT/teaser/B/Current)	
温度計	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:43 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/Thermochamber/temperature)	
	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:43 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/Thermochamber/temperature)	
	中棟1F(表面解析研究室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:43 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/Thermochamber/humidity)	
電力計C	地下1F(電気室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:10 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/Thermochamber/temperature)	
	地下1F(電気室)	OK	2013-07-09 11:20:01	2013-07-09 11:19:10 (http://si-yamaguchi.or.jp/fac/Thermochamber/humidity)	

現在日時:
2013-07-09 11:20:21

図 7 システムの監視画面

る監視サブシステムが動作する。この監視サブシステムは、ストレージおよび計測の状態を常時監視する。監視間隔は 2 分で、画面は 1 分ごとに更新される。監視サブシステムの画面を図 7 に示す。この画面により、現時点でのストレージの状態（ネットワークへの接続状態、ストレージサーバの状態）および計測値の取得状態（GW のネットワークへの接続状態、ストレージの最新データの状況）が把握できる。ストレージの最新データを確認することにより、計測の状態が把握できる。監視の状態が「NG」の場合、異常検出ログが記録され、「状態」の各リンクを選択すると、その項目の異常検出ログが表示される。また、「NG」の場合、メールを送信する機能も有している。

2・4 動作確認および計測値評価

2・4・1 エネルギー監視システムの設置

試作開発したエネルギー監視システムを産技センターに設置して、その動作確認および計測値評価を行った。図 8 に産技センター内に設置したシステムの概要を示す。電力計測は、産技センター全使用電力計測のための主電気室の受電点、中棟使用電力全体計測のための中棟電気室の高圧受電盤、年間通して使用電力が大きい超精密測定室の 24 時間空調設備、単相 3 線機器の代表として表面解析研究室の低真空走査顕微鏡、温湿度計測は、空調管理の必要な超精密測定室および表面解析研究室に設置した。また、これ

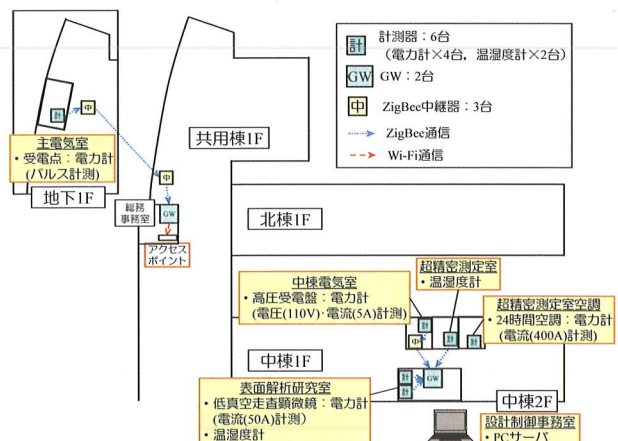


図 8 産技センター内に設置したシステムの概要

らの計測器からデータを収集する GW は総務事務室と表面解析研究室に設置した。計測器から GW へのデータ通信は全て無線 (ZigBee) であり、無線の通信状況に応じて、3 台の ZigBee 中継器を設置している。GW から設計制御事務室に設置するサーバへのデータ通信は、所内 LAN を経由して行われる。なお、総務事務室の GW から所内 LAN への接続は Wi-Fi を用いている。Web サーバを用いることにより、所内 LAN に接続されている全ての PC からエネルギー使用状況や温度・湿度データを見ることができる。なお、エネルギー監視システムの設置および調整は全て産技センター職員と試作開発企業とで行い、停電作業は伴わなかった。

2・4・2 動作確認

本システム全体の動作確認として、各計測器から GW を経由してストレージにデータが送信され、電力監視画面に表示されること、また、監視サブシステムにより、システムの状態が画面上に表示されることを確認した。また、所内 LAN に接続されている他の PC から画面を確認した。この動作確認においては IPv6 で通信できることも検証した。今後、あらゆるものがインターネットに繋がる (IoT: Internet of Things) ことや機器間通信 (M2M) の広がりにより、ICT を活用したものづくりが加速することが予測され、従来の IPv4 では IP アドレス不足が懸念されているが、本システムは IPv6 でも通信できるため、この課題に対応できる。

2・4・3 計測値評価

本システムの計測器の計測値評価を行った。評価対象の計測器は次の通りである。

- ①パルス計測 (受電点)
- ②電圧(110V)・電流(5A)計測 (三相 3 線) (中棟電気室高圧受電盤)
- ③電流(400A)計測 (三相 3 線) (超精密測定室空調*)
- ④電流(50A)計測 (単相 3 線) (低真空走査顕微鏡)

*1: 超精密測定室空調の電源ケーブルは各相 2 本ずつあるが、本システムでは 1 本のケーブルのみに電流センサーを取り付け、その値を 2 倍することにより電流値を求めた。

- ⑤温度・湿度計測 (超精密測定室)

a. 電力計の計測値評価

電力計については、今回試作開発したエネルギー監視システム (以下、開発 Sys) の計測値を、先に産技センターに導入した三菱電機製の電力モニタリングシステム (三菱 Sys) および電力会社設置の取引用電力量計 (取引電力量計) の指示値と比較することにより評価を行った。なお、三菱 Sys の電力計は全て電圧と電流の両方を計測して電力を算出している。

a-1. パルス計測

パルス計測による電力と電力量の計測値評価については、3 時間の各 30 分における計 6 点の 30 分デマンド値と 30 分間の電力使用量を、式(12)に示す取引電力量計の指示値に対する取引電力量計値と開発 Sys 値の差の比率 $\Delta E/E$ [%] を評価した。

$$\Delta E/E [\%] = (\text{取引電力量計値} - \text{開発 Sys 値}) / \text{取引電力量計値} \times 100 [\%] \quad (12)$$

ここで、 $\Delta E = \text{取引電力量計値} - \text{開発 Sys 値}$

表 2 に計測値評価結果を示す。30 分デマンド値および 30 分間電力使用量ともに取引電力量計との差異は -4.8~9.0% の範囲にある。30 分間使用電力量の平均値 162kWh に対して取引用電力量計の分解能 12kWh は 7.4% であり、開発 Sys の計測器においてはほぼ分解能の範囲程度で計測できている。同様に 30 分デマンド値についても平均値 324kW に対して取引用電力量計の分解能から算出した分解能 24kW も 7.4% である。

表 2 パルス計測値評価結果

計測器 評価項目	①
	$\Delta E/E$ [%]
電力	-4.8~9.0
電力量	-4.8~9.0

a-2. 電圧・電流計測および電流計測

電圧・電流計測および電流計測の電力計において、電力については、1 分毎のデータの 1 日分について式(13)に示す三菱 Sys の計測値に対する三菱 Sys と開発 Sys の計測値の差の比率 $\Delta E/E$ [%] を、電力量については、1 日の電力使用量の 14 日分の $\Delta E/E$ [%] を評価した。

$$\Delta E/E [\%] = (\text{三菱 Sys 値} - \text{開発 Sys 値}) / \text{三菱 Sys 値} \times 100 [\%] \quad (13)$$

ここで、 $\Delta E = \text{三菱 Sys 値} - \text{開発 Sys 値}$

表 3 に電力に関する $\Delta E/E$ の平均値 m_p び偏差 σ_p と電力量に関する $\Delta E/E$ の平均値 m_e を示す。②電圧(110V)・電流(5A)計測、③電流(400A)計測については、平均値が 1.6% および 1.7% で差異は小さい。④電流(50A)計測については平均値が 10.9% で他と比べて大きい。③および④はともに電流のみ計測して式(9)あるいは(10)により簡易的に電力を算出する計測器であるが、④において差異が大きくなっている。三菱 Sys の計測器による電圧および力率の値を調べてみると、③について、三相 3 線の二つの線間電圧は 203.2[V], 205.9[V], 力率 $\cos\phi$ は 0.987 (1 日の平均)、④について、線間電圧は 206.8[V], 力率 $\cos\phi$ は 0.884 (機器稼働時間平均) であった。このことから、④における差異について、力率の実測値 $\cos\phi = 0.884$ に対して、開発 Sys では $\cos\phi = 1$ と定数を設定していることによる差異で大略説明できる。なお、簡易計測における電圧は全て 200[V] の定数を設定している。以上より、電流計測のみから電力を算出する簡易計測手法においては、力率の低い機器での使用時には、電力算出値と実際の電力との差異が大きくなることに留意する必要がある。

表 3 電圧・電流計測および電流計測電力量計評価結果

計測器 評価項目	②	③	④	
	$\Delta E/E$ [%]	$\Delta E/E$ [%]	$\Delta E/E$ [%]	
電力	平均値 m_p	1.6	1.7	10.9
	標準偏差 σ_p	6.8	15.2	1.3
電力量	平均値 m_e	1.4	-0.1	10.3

b. 温湿度計の計測値評価

温湿度計については、ハンディータイプの温湿度計（テストーム(株)製）との比較により行った。評価においては、計測器本体と温度・湿度センサーの位置関係およびセンサーの向きの影響についても調査した。温湿度計の設置場所は、温度・湿度が常に一定となるように24時間管理されている超精密測定室とした。図9に計測器本体と温度・湿度センサーの位置関係およびセンサーの向きを示す。①計測器直近・センサー水平、②計測器からの距離18mm・センサー垂直、③計測器からの距離18mm・センサー水平の三つの場合について、比較評価した。①～③の状態での温度・湿度計測に関しては、それぞれの状態で1時間以上保持し、その平均値を求めて、ハンディータイプの温湿度計の計測値と比較した。温湿度計の計測値評価結果を表4に示す。これより、条件①は条件②および③と比較して、温度、湿度ともに開発 Sys とハンディータイプの差異が大きくなっている。条件②と③については、開発 Sys とハンディータイプの差異は同程度で小さい。以上より、センサーは本体の直近とならないように設置する必要がある。また、センサーの向きは計測値にほとんど影響を与えないが、センサーへの埃等の堆積を考慮すると垂直に設置することが望ましい。

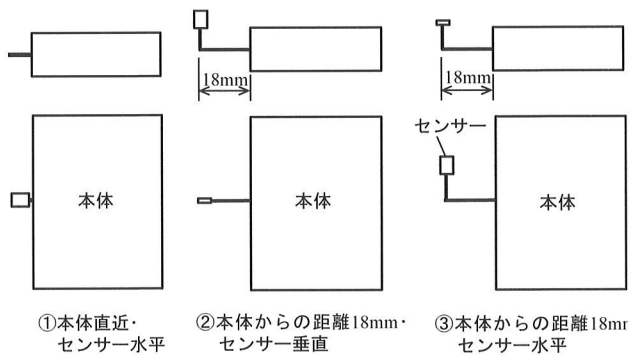


図9 計測器本体と温度・湿度センサーの位置関係およびセンサーの向き

表4 温湿度計の計測値評価結果

条件	開発 Sys		ハンディータイプ		差異	
	温度 [°C]	湿度 [%]	温度 [°C]	湿度 [%]	温度 [°C]	湿度 [%]
①	21.3	53.6	19.7	59.9	1.6	-6.3
②	19.8	58.2	19.6	59.6	0.2	-1.4
③	19.9	57.8	19.7	59.3	0.2	-1.5

5. 結 言

県内5企業と連携して、エネルギー監視システムを開発し、そのシステムを産技センターへ設置して、動作確認および計測値評価を行った結果を以下にまとめる。

(1) 開発したシステムは、国際通信規格 IEEE1888、無線方式によるデータ通信、および簡易な電力計測方法を採用した。

(2) 本システムを産技センター内に設置して行った動作確認においては、計測データが所内 LAN に接続されている PC 画面上に表示されること、監視サブシステムにより、システムの状態が画面上に表示されること、および IPv6 で通信できることを確認した。

(3) 計測値評価においては、既存の機器により計測されたデータと開発した機器のデータを比較し、その結果は以下の通りである。

- ・パルス計測による電力計については、両者の計測値の差異は9%であり、取引用電力量計の分解能程度で計測できる。
- ・電圧・電流計測による電力計については、両者の計測値の差異は、2%未満である。
- ・電流計測による電力計については、力率の高い機器・設備では、両者の計測値の差異は、2%未満であるが、力率の低い機器での使用時には、算出した電力値と実際の電力との差異が大きくなることに留意する必要がある。
- ・温湿度計については、室内環境において、両者の計測値の差異は、温度 0.2°C、湿度 1.5%程度である。また、センサーと計測器本体との距離を一定以上離す必要があるが、センサーの向きは計測値への影響は小さい。

以上の結果を踏まえて、今後は、公募により採択された県内5つのモデル工場に本システムを設置し、実際の使用環境下での動作検証とモデル工場でのエネルギー使用の「見える化」によるエネルギー使用合理化に向けた取組を進めていく予定である。

本システムの開発の取組に際しては、プロポーザル提案し、試作開発から産技センターへの設置および動作確認において、多大なるご協力を頂いたエコマス(株) 安藤竜馬様、石川絃子様、(有)デジタル・マイスター 藤川昌浩様、亀川誠様、(有)コスモデザイン 白石秀樹様、(株)YOODS 原田寛様、原田智之様、(株)電創技研 長山憲範様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 山口県商工労働部：やまぐち商工業推進計画 第1次改訂版, pp.20-21(2015).
- 2) 山口県産業技術センター：技術戦略<第2期> [ロードマップ] (2015).
- 3) 磯部佳成, 藤本正克, 山田誠治：山口県産業技術センターの新エネルギー利活用プロジェクト, 日本風力エネルギー学会誌, 37(3), pp.413-416(2013).
- 4) (公財)産業創造センター：地産エネルギーを活用した中小企業工場のエネルギーマネジメントシステム構築の可能性調査, (2012).
- 5) <http://www.gutp.jp/fiap/>.
- 6) 江崎浩 監修, 落合秀也 著：スマートグリッド対応 IEEE1888 プロトコル教科書, インプレスジャパン, (2012).