生産情報との連携による工場エネルギー管理システムとその実装評価

加 知 光 康*・吉 本 康 浩*
北 上 眞 二**・小 泉 寿 男***

Factory Energy Management System in Collaboration with Production Information and Its Evaluation by Implementation

Mitsuyasu KACHI*, Yasuhiro YOSHIMOTO*,
Shinji KITAGAMI** and Hisao KOIZUMI***

Not only in homes and office buildings but in factories, energy saving is an important management theme. It is well known that energy saving is closely related to productivity improvement in the factory. However, it is difficult to visualize and analyze the energy information in association with the production information because the energy information and the production information are collected independently in the factory. In this paper, in order to solve this problem, we propose a factory energy management system that works with production information. In the proposed system, the PLC (Programmable Logic Controller) equipped with the power measurement unit collects energy information in association with the production information. Based on the collected information, the energy management system provides the energy visualization and the energy analysis capabilities by specific energy consumption. In this study, by introducing the proposed system to a production line of breaker in the factory, we evaluated the effectiveness of the proposed method.

Key Words: FEMS, energy measurement, energy visualization, energy analysis, specific energy consumption

1. はじめに

地球温暖化防止および東日本大震災を契機とする電力供給不足への対応として、民生部門、運輸部門および産業部門における省エネルギーの推進が求められている¹⁾。民生部門においては、HEMS (Home Energy Management System) や BEMS (Building Energy Management System) の導入によって、エネルギーの可視化やデマンドレスポンスなどへの取り組みが始まっている^{2)~4)}。運輸部門では、自動車のエネルギー効率向上に加えてモーダルシフトへの取り組みが進んでいる⁵⁾。これに対して、国内全体のエネルギー消費の約半分を占める産業部門においては、第一次石油ショック以降、積極的な省エネルギーが進められたが、1990 年以降は設備稼働率の低下などによりエネルギー効率は横ばい状態が続いてい

る⁶⁾。特に、工場ではエネルギーを大量消費する需要家として省エネルギーの一層の推進が喫緊の課題となっており、工場におけるエネルギー管理を行なう FEMS (Factory Energy Management System) の導入が進んでいる⁷⁾。また、いわゆる省エネルギー法⁸⁾においても、事業者単位でのエネルギー管理が必要とされるなど法令の強化が行なわれている。

工場の設備は、ユーティリティ系と生産系に大別される。ユーティリティ系設備は、空調や照明とコンプレッサなどの工場のインフラを担う設備群であり、生産系設備は、加工機や搬送機と組立機などの実際に生産を行なう設備群である。従来から生産系設備については、建屋ごとのエネルギー消費の実績管理を行なってきたが、工場全体の省エネルギーを推進するためには、収集したエネルギー情報を可視化・分析して、エネルギー消費の改善を行なっていく必要がある⁹⁾。ここで、生産系設備のエネルギー消費は、その設備を使った生産の量に依存するため、生産系設備を対象とするエネルギー管理においては、生産情報と関連付けたエネルギー情報の可視化・分析が欠かせない^{10), 11)}。

しかしながら、工場においては、生産情報とエネルギー情報は別々に計測・収集されることが多く、これらの情報を後から関連付けるためには、多くの時間と労力を必要としていた。また、収集したエネルギー情報を生産情報と関連付けて可視化する必要があるが、生産品目やレイアウトなどの変更が

* 三菱電機 (株) 名古屋製作所 名古屋市東区矢田南 5-1-14

** 三菱電機 (株) 情報技術総合研究所 鎌倉市大船 5-1-1

*** 東京電機大学理工学部 埼玉県比企郡鳩山町石坂

* Nagoya Works, Mitsubishi Electric Corporation, 5-1-14 Yadamami, Higashi-ku, Nagoya

** Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation, 5-1-1 Ofuna, Kamakura

*** School of Science and Engineering, Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-machi, Hiki-gun, Saitama (Received July 17, 2013)

(Revised November 28, 2013)

行なわれている場合には、過去のエネルギー消費実績やほかの生産ラインとの比較が困難であった。さらに、エネルギー消費の削減に向けた改善を推進するためには、生産ラインを構成する設備ごとのエネルギー情報の分析が必要となる。しかしながら、従来からのエネルギー情報の可視化を目的としたFEMSは建屋や生産ラインを管理単位としている場合が多く、生産ラインを構成する設備については、そのエネルギー消費を個別に計測して、エネルギー消費を改善すべき設備の特定を行っていた。

本論文では、工場の生産情報とエネルギー情報を融合し、エネルギー原単位の可視化と設備単位の詳細なエネルギー分析を実現することによって、工場全体の省エネルギー対策を推進するためのエネルギー管理システムを提案する。本システムでは、生産情報とエネルギー情報をデータ収集後に関連付けるのではなく、生産ラインを構成する複数の生産設備に組込まれたPLC (Programmable Logic Controller) に電力計測ユニットを搭載することによって、データ計測時に生産情報とエネルギー情報の紐付けを行なう。これにより、次項を可能とする。

(1) エネルギー情報に紐付けられた生産情報をもとに、製品1個を生産するために必要なエネルギー原単位を計算し、そのエネルギー原単位によってエネルギー消費状況の可視化を行なう。これにより、生産ラインの生産量や各設備の稼働率の変化を考慮したエネルギー情報の可視化が可能となる。

(2) 生産ライン単位から設備単位へのドリルダウンによるエネルギー分析を可能とする。すなわち、生産ライン単位で、工場全体のエネルギー情報を俯瞰したエネルギー分析を行ない、エネルギー消費が多い生産ラインについては、その生産ラインを構成する設備単位のエネルギー分析を行なう。これにより、工場全体のエネルギー消費改善活動を効率的に推進することができる。

本研究では、提案システムを実稼働する工場に実装し、その有効性の評価を行なった。

2. 生産系設備を対象とした工場エネルギー管理の課題

2.1 工場エネルギー管理の現状

工場におけるエネルギー管理は、従来から、目視検針やデータ計測システムで収集した建屋や生産ラインごとのエネルギー情報をEXCELなどのデータ管理ソフトウェアに入力して月次でのエネルギー消費の実績管理を行なってきた⁹⁾。しかしながら、昨今のエネルギー問題に対応するためには、エネルギーの実績管理だけではなく、工場全体の消費電力の削減(省エネルギー)への取り組みが必要となっている^{1), 2), 12)}。すなわち、エネルギーにかかわるデータを計測・収集し、収集したデータを可視化し、分析した結果に基づいて改善を行なうエネルギー管理の取り組みが欠かせない^{7), 13), 14)}。工場の省エネルギーの対象となる設備は、空調機や照明とコンプレッサなどのユーティリティ系設備と、加工機や搬送機と組立機などの生産系設備に分類される。生産系設備を対象とした省エネルギーは、工場の生産性と密接な関係がある。すなわち、設備の稼働率を向上させることにより、設備の待機時間や設備異常による停止時間により消費した無駄なエネルギーを削減することができる^{12), 15)}。

2.2 工場エネルギー管理の課題

Fig. 1 に典型的な工場におけるエネルギー管理システムFEMSの例を示す。図において、MES (Manufacturing Execution System) は、生産ラインの各設備の稼働状況に関するデータをフィールドネットワーク経由で収集し、生産品質や設備エラーなどの生産情報の可視化を行なう¹⁶⁾。FEMSは、分電盤に設置した電流計の値を目視で読み取り、FEMSに手入力している。このデータを元に、FEMSは、生産ラインごとの消費エネルギーの変化を可視化する^{15), 17), 18)}。このように、工場においては、生産情報とエネルギー情報は、個別に管理されることが多く、工場のエネルギー管理においては、以下に示す課題がある。

(1) 別々に収集されるエネルギー情報と生産情報

工場における省エネルギーは、生産量や設備稼働率などと密接な関係があるため、エネルギー情報と生産情報の関係を

Fig. 1 Energy management system and production management system in factory

Fig. 2 Overall structure of the proposed energy management system

定量的に把握する必要がある¹⁰⁾。しかしながら、従来から工場においては、MES と FEMS は独立に導入されることが多く、別々のシステムで収集したエネルギー情報と生産情報を突き合わせて、それらの関係を分析する作業は、多くの時間と労力が必要となる。

(2) 生産量の変化に依存するエネルギー消費

生産系設備のエネルギー消費は、設備の稼働率や生産ラインの生産量との相関関係があり、生産量変動によってエネルギー消費は大きく変動する。しかしながら、エネルギーの可視化では生産量の変化が考慮されていないため、エネルギー消費が増加した場合に、生産ラインの生産量が増えたためであるのか、生産ラインを構成する設備に何らかの原因があるのかの判断がしにくい。

(3) エネルギー分析の粒度

工場の省エネルギー活動においては、生産ラインのエネルギー消費が増加した場合に、どの設備が原因であるかを突き止める必要がある。しかしながら、従来からのエネルギー管理では、生産ライン単位でのエネルギー情報のみを分析の対象としており、そのラインのどの設備がネックとなっているかを分析することが困難である¹⁹⁾。

以上で述べたように、工場のエネルギー管理においては、エネルギー情報の可視化・分析、および、その結果に基づく省エネルギーを推進するためには、エネルギー情報と生産情報とのきめ細かい連携が欠かせない。

3. 生産情報と連携する工場エネルギー管理方式の提案

3.1 提案システムの全体構成

Fig. 2 に提案システムの全体像を示す。図において、左側は、エネルギー管理の対象とする生産ラインであり、右側は、本提案による FEMS である。提案システムでは、生産情報を収集する PLC に電力計測ユニットを搭載して、生産情報と同時に、各設備のエネルギー情報を計測する。この PLC は、MES に対しては、従来どおりに生産情報のみを送信するが、FEMS に対しては、生産情報と紐付けたエネルギー情

Fig. 3 Measurement and collection of energy information

報を送信する。また、従来は、目視検針により手入力していた生産ラインごとのエネルギー情報についても、分電盤に設置した計測ユニットから自動的に FEMS にデータを蓄積する。FEMS は、生産情報と、生産ラインごとのエネルギー情報および設備ごとのエネルギー情報を組み合わせて、工場全体のエネルギー情報の可視化と分析を行なう。以下に、電力計測ユニットを搭載した PLC におけるエネルギー情報の計測・収集方式と FEMS におけるエネルギー情報の可視化方式と分析方式について論じる。

3.2 エネルギー情報の計測・収集方式

提案システムでは、収集後の生産情報とエネルギー情報を、後から関連付けるのではなく、計測・収集の段階で紐付ける方式とした。**Fig. 3** にエネルギー情報の計測・収集方式を示す。電力計測ユニットを搭載した PLC が計測したエネルギー情報と生産情報を紐付けて、エネルギー管理サーバに送信する。電力計測ユニットは、設備から直接、または設備ブレーカに設置した電流センサから電流を計測する。これにより、生産品 ID や時刻をキーとして、1 個の製品を加工する際の加工開

Fig. 4 Visualization of energy information

始から終了までに消費したエネルギー量や設備エラーで停止した際に消費したエネルギー量を生産情報と紐付けることが可能となる。

PLC によって計測した情報をサーバに収集する方式としては、サーバから定期的に収集するポーリング方式と、PLC から情報を直接アップロードする方式が考えられる。ポーリング方式は、PLC に収集すべきデータがない場合にもポーリングが発生し、ネットワーク負荷が増大しネットワーク障害が発生する可能性があるため、本システムでは、アップロード方式を採用する。アップロード方式を採用することにより、必要なタイミングで必要な情報を収集することが可能になるだけでなく、データ収集のための仕組みを単純化することができるため、システム構築コストが削減できるという効果がある。また、サーバにデータをアップロードするときは、リレーショナルデータベース用アクセス言語 SQL の INSERT 文を使って、サーバのリレーショナルデータベースに直接書き込む。これにより、計測した情報を、可能な限り早く可視化したり分析したりすることが可能となる。なお、情報のアップロードのための INSERT 文は個々にプログラミングするのではなく、電力計測ユニットが計測したデータが書き込まれるメモリアドレスと、サーバ上のデータベースのテーブル・フィールド名の対応を設定することで、自動的に INSERT 文を生成するようにした。

3.3 エネルギー情報の可視化方式

2.2 節 (2) で述べたように、生産系設備のエネルギー消費は、設備の稼働率や生産ラインの生産量によって大きく変動するため、他設備や過去データとの比較が困難であった。そのため、提案システムでは、エネルギー原単位によるエネルギー可視化の実現を図る。エネルギー原単位は、製品 1 個を生産するために消費したエネルギーを把握するための指標である。Fig. 4 に本提案システムにおけるエネルギー情報の可視化方式を示す。本方式では、PLC と分電盤の電流センサから収集したエネルギー消費状況を時系列で可視化すると同時に、エネルギー情報に紐付けられた生産情報をもとにエネル

Fig. 5 Analysis of energy information

ギー原単位を計算し、エネルギー原単位によるエネルギー消費状況の可視化を行なう。具体的には、生産ライン全体の消費電力量 (kWh) を、生産情報から得られる 1 時間単位の生産個数で割った値をエネルギー原単位とした。エネルギー管理者は、生産ラインのエネルギー消費状況とエネルギー原単位によるエネルギー消費状況を比較することにより、生産ライン単位でエネルギー消費が適切であるかを監視する。エネルギー原単位によるエネルギー消費状況の可視化を行なうことにより、工場の生産量の変化には依存せずに、エネルギー消費の特異点の発見が容易になる。

3.4 エネルギー情報の分析方式

3.3 節で述べたように、エネルギー原単位の導入によって、工場の生産量の変化には依存せずに、生産ラインごとのエネルギー情報の可視化が可能となる。しかし、生産ラインごとのエネルギー情報の可視化だけでは、該当生産ラインのどの設備がエネルギー原単位悪化の原因となっているか分析ができず、省エネルギーのための改善に結び付けることが困難である。すなわち、エネルギー情報の可視化から具体的な省エネルギー対策を展開するためには、エネルギー原単位によるエネルギー消費の特異点を発見した場合に、該当の生産ラインのどの設備が原因であるかを突き止める必要がある。そのため、提案システムでは、生産設備の設備稼働状況やエラー停止要因に加え、その生産ラインを構成する設備ごとに消費エネルギーを計測できるようにし、エネルギー原単位悪化の原因分析を可能とした。Fig. 5 に提案システムにおけるエネルギー情報の分析方式を示す。まず、分電盤の電流センサから収集した生産ライン全体のエネルギー情報と PLC から収集した生産情報から、生産ラインごとにエネルギー原単位によるエネルギー消費状況を監視する。この分析によって、生産ラインのエネルギー消費の悪化を発見した場合は、該当生産ラインを構成する各設備について、該時間帯のエネルギー原単位の変化をドリルダウン表示することによって、どの設備が原因かを分析する。このように、提案方式では、生産ライン単位でのエネルギー情報を大局的に分析した後で、問題

Fig. 6 Implementation of the proposed system

があった場合は、個々の設備単位に分析を行なう仕組みとしたことにより、効率的なエネルギー分析が可能となる。なお、分析対象のエネルギー情報は、PLC によって収集される段階で生産情報と紐付けがなされているため、FEMS では、この紐付けを管理する必要がない。

4. 実 装

提案システムの有効性を評価するために、提案システムを実装し、実稼働する工場の遮断器生産ラインに適用した。Fig. 6 に提案方式を実装したシステムの全体構成を示す。図において、生産ラインは複数の生産設備で構成されており、それぞれの設備ごとに PLC によって制御されている。各 PLC には電力計測ユニットが組込まれており、その設備の生産情報とエネルギー情報を計測する。図下部の写真は、それぞれの PLC を格納するための制御ボックスの外観と内部を示したものである。各 PLC 間は CC-Link などの FA 用フィールドネットワークによって接続されており、生産情報と紐付けられたエネルギー情報がライン全体を制御している統括 PLC に集められる。統括 PLC は生産完了時や設備復旧時などのイベントをトリガーとしてデータアップロードのための SQL を自動生成し、FEMS のデータベースに生産情報と紐付けたエネルギー情報のデータを書き込む。このように、PLC による生産情報とエネルギー情報の計測および収集を 2 段階で行なうことによって、PLC による設備制御への影響を与えない構成とした。また、統括 PLC が FEMS と MES の両方にデータを書き込むため、エネルギー管理は生産管理とは独立して実施することができる。FEMS は、PLC から収集した生産情報とエネ

Fig. 7 Performance of measurement and collection

ギー情報をもとに、エネルギー情報の可視化と分析を行なう。

5. 評価と考察

5.1 エネルギー情報の計測・収集方式の評価と考察

Fig. 7 に実装システムにおいて電力計測ユニットを搭載した PLC のデータ計測と収集の性能を計測した結果を示す。本提案システムにおけるデータ収集は、生産完了のイベントをトリガーとして、統括 PLC が SQL の INSERT 文を使って、サーバのリレーショナルデータベースに直接書き込むため、情報収集の完了と同時に、そのデータを可視化したり分析したりすることができる。Fig. 7 のグラフは、データ数が 1,000 点以下であれば 1 秒以下で、30,000 点以下であれば 1 分ごと

Fig. 8 Visualization by specific energy consumption

のエネルギー情報の可視化と分析が可能であることを示している。一般的な工場におけるエネルギー管理において、生産ラインごとのエネルギー情報の計測点と、エネルギー情報に紐付ける生産情報の数は 30,000 点を上回することは少ないものと考えられる。したがって、本提案方式によるエネルギー情報の計測・収集方式は、工場の FEMS に適用可能であると考える。

5.2 エネルギー情報の可視化方式の評価と考察

Fig. 8 に提案システムを用いたエネルギー原単位の可視化画面の例を示す。図において、下段のグラフは 1 日の消費エネルギーの変化を示し、上段のグラフは、製品の生産数（棒グラフ）とエネルギー原単位（折れ線グラフ）を示す。ここで、それぞれの棒グラフにおいて、右側の棒は当日の値、左側の棒は前日の値を示す。下段グラフにおいて、13 時付近のエネルギー消費は、ほかの時間帯との差異がなく問題がないように見えるが、上段グラフを参照すると、その時間帯の生産数が少なくエネルギー原単位が増加していることがわかる。このようなエネルギー原単位の増加は、装置の無駄稼働や材料切れが原因であると考えられ、それらを改善することによって、無駄なエネルギー消費を改善することが可能となる。また、エネルギー原単位の目標値を定めておき、この目標値を超えた生産ラインを重点的に改善することによって、効率的なエネルギー管理が可能となる。さらに、このエネルギー原単位をほかの生産ラインや過去のデータと比較することにより、生産ライン全体のエネルギー消費の比較や時間経過によるエネルギー消費の劣化などを可視化することができる。

提案システムを適用した遮断器生産ラインにおいては、42 ヶ月にわたって、エネルギー原単位の可視化に基づく省エネルギー活動を実施した。この評価においては、本システムを導入してから 12 ヶ月間は、現状把握と省エネルギー対策の机上検討を実施し、13 ヶ月目以降に、可視化したエネルギー情報に基づいて設備に対する省エネルギー施策を実施した。Fig. 9

Fig. 9 Improvement effect of specific energy consumption

Fig. 10 Screenshot of drill down energy analysis

に本評価期間におけるエネルギー原単位の変化を示す。図に示すように、設備改善前のエネルギー原単位によるエネルギー消費は平均 0.62 kWh/個であったのに対して、本システムを導入したことにより、エネルギー原単位によるエネルギー消費平均 0.25 kWh/個に改善することができた。すなわち、提案システムの導入によって、エネルギー原単位が 60%改善できたことがわかった。これは、該当生産ラインの生産量が同

Fig. 11 Correlation analysis of specific energy consumption and short time breakdown

じと仮定すると、エネルギー消費を60%削減できたことを意味する。以上で述べたように、提案方式によるエネルギー情報の可視化方式は、工場の省エネルギー推進への効果が高い。特に、工場の生産量の増減に影響せずに、エネルギー消費の妥当性が判断できるため、着実な省エネルギー対策を継続的に実施することができる。

5.3 エネルギー情報の分析方式の評価と考察

Fig. 10 に提案システムのエネルギー分析のための管理画面の例を示す。管理画面の上部のグラフは、エネルギー原単位の目標値をオーバーした回数を生産ラインの設備ごとに示している。通常、管理者は上部の生産ラインの目標エネルギー原単位超過回数グラフを監視することで、エネルギー消費効率の悪化している設備を容易に特定できる。特異な原単位オーバー回数の増加があった場合は、下部の設備ごとのエネルギー原単位推移グラフを確認することにより、その悪化原因を分析する。

エネルギー情報の分析方式の評価として、設備のチョコ停との相関関係を分析した。チョコ停とは、計画的な停止や突発的な設備故障停止以外のオペレータによるリセットの処置で復旧可能な停止であり、その多発がエネルギー原単位の悪化の原因になる。Fig. 11 にエネルギー原単位とチョコ停の相関関係の分析結果の実例を示す。Fig. 11(a) に示した例では、エネルギー原単位によるエネルギー消費が増加と同時にチョコ停が多発しており、設備起因の問題であることがわかる。一方、Fig. 11(b) に示した例では、エネルギー原単位によるエネルギー消費が増加しているが、チョコ停が発生していないため、部品供給不足などの運用起因の問題であることがわかる。

Table 1 に提案システムを適用した生産ラインのネジ締め工程におけるチョコ停の改善結果を示す。改善前のチョコ

Table 1 Improvement effect of short time breakdown (before)

reason of error	A	B	C	D
time out error of screw (3) supply unit	62	3,406	1,464	4,870
time out error of robot (1)	14	959	1,152	2,111
supply error of screw (1)	11	73	2,701	2,774
time out error of screw (2) supply unit	5	144	21	165
supply error of screw (3)	4	71	25	96
time out error of screw (1) supply unit	3	18	8	26
ID read error of parts (B)	3	129	25	154
time out error of screw driver (2)	1	13	223	236
time out error of robot (2)	1	12	5	17
total	104	4,825	5,624	10,449

(after)

reason of error	A	B	C	D
time out error of screw (3) supply unit	19	1,953	481	2,434
time out error of robot (1)	9	644	63	707
time out error of screw (2) supply unit	2	147	24	171
clinchers3 supply not ready	1	8	1	9
time out error of parts (B)	1	0	0	0
time out error of ID read	1	237	21	258
total	33	2,989	590	3,579

A: number of occurrences

B: time between interrupt and start of repair (sec.)

C: time between start of repair and restart (sec.)

D: time between interrupt and restart (sec.)

停の1日の発生総数は104回、停止総時間は10,449秒であったのに対し、改善後は、それぞれ33回と3,578秒となり、チョコ停の発生回数を32%、発生時間を34%に低減することがで

きた。これは、無駄なエネルギー消費を約 30%削減することができたことを意味する。すなわち、提案したエネルギー情報の分析方式を適用することにより、チョコ停などの設備エラーについて、エネルギー管理の観点からその改善効果を定量化することができる。提案システムを導入することで、工程ごとに潜むエネルギーの無駄を可視化できるだけではなく、必要なときに、必要な所で、必要なだけエネルギーを効率よく使用することができる。また、設備の稼働率を向上させることにより、設備の待機時間や故障時間による無駄なエネルギーを削減することができる。このように、生産工程の均等なタイミングを図るためのタクトタイムを改善することにより、生産量を維持した上で設備稼働時間の短縮が可能となり、短縮時間分のエネルギーを削減することが可能となる。さらに、エネルギー管理として、スピーディな現状把握と対策の実施が可能となり、エネルギー削減と生産性向上の両立を図ることができる。

5.4 今後の課題

本稿では、生産系設備を対象としたエネルギー管理システムを提案した。第1章で述べたように、工場は、生産系設備のほかに、空調や照明とコンプレッサなどのユーティリティ系設備がある。工場全体の省エネルギーを推進する上では、これらのユーティリティ系設備を含めたエネルギー管理が必要となる。その際に、工場内の生産系設備の稼働状態と連動してユーティリティ系設備をきめ細かく制御する方式の研究が必要である。また、工場においてさらなる省エネルギーを実現するためには、生産ラインや設備ごとのエネルギー情報の可視化に加えて、その設備を構成する部品レベルでのエネルギー情報を可視化し、そのエネルギー消費を最小化するための省エネルギー制御が有効である。たとえば、生産系設備においてエネルギー消費比率が高いサーボモータなどの動力源ごとにきめ細かくエネルギー情報を可視化する方式や、今まで捨てていたブレーキ時の回生エネルギーの有効利用を可能とする省エネルギー方式の研究が必要である。

6. ま と め

工場の生産系設備を対象としたエネルギー管理において、生産情報と連携したエネルギー情報の収集方式、エネルギー原単位によるエネルギーの可視化方式、および設備ごとのエネルギー分析方式を提案した。本研究では、提案システムを実稼働の生産ラインに適用し、その有効性を示した。今後は、エネルギー対象をユーティリティ系設備に広げると共に、設備を構成する部品レベルでのエネルギー情報の可視化と省エネルギー制御に関する研究を推進する予定である。

参 考 文 献

- 1) 省エネルギーセンター：工場の省エネルギーガイドブック 2011-2012, (財) 省エネルギーセンター (2012)
- 2) グリーン IT 推進協議会：2009 年度グリーン IT 推進協議会技術検討委員会報告書「EEMS (Enterprise Energy Management System) —事業者視点のエネルギーマネジメントシステムに

- 関する検討と調査—」, (社) 電子情報技術産業協会 (2010)
- 3) 神村, 杵嶋, 平, 藤沼, 吉田, 内村：BEMS (ビルエネルギーマネジメントシステム) 導入による省エネの可能性, 国立環境研究所地球環境研究センター「家庭・業務部門の温暖化対策」, 143/151 (2008)
 - 4) Y.S. Son, T. Pulkkinen, K.D. Moon and C. Kim: Home energy management system based on power line communication, IEEE Transactions on Consumer Electronics, **56**-3, 1380/1386 (2010)
 - 5) 森田, 森本, 加藤, 林：技術革新と都市空間構造改変を考慮した運輸部門での CO2 削減シナリオに関する検討, 土木計画学研究・講演集, **34**, 0136 (2006)
 - 6) 資源エネルギー庁：平成 23 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書), <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2012/index.htm> (2013)
 - 7) 森 一之：工場トータルエネルギー管理システム, 三菱電機技報, **82**-8 (2008)
 - 8) 総務省：エネルギーの使用の合理化に関する法律, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S54/S54HO049.html> (2013)
 - 9) 西山哲司：工場における省エネソースの発掘方法—生産現場におけるテーマ発掘の仕組みと方法—, 紙バ技協誌, **65**-6, 560/565 (2011)
 - 10) 吉本, 牧田, 戸板, 信太, 野末：生産情報を活用した工場エネルギー管理システム (FEMS), 三菱電機技報, **86**-2, 19/23 (2012)
 - 11) 入江安孝：生産量比例による電力需給研究, 総合政策研究, **40**, 75/82 (2012)
 - 12) 森田宏利：インターネットを利用したビル・工場のエネルギー管理, 計測と制御, **40**-2, 178/183 (2001)
 - 13) 駒井, フェンデル：エネルギー管理指標としてのエネルギー効率の見える化, 日本エネルギー学会誌, **89**-7, 603/608 (2010)
 - 14) M. Endo, M.H. Nakajima and Y. Hata: Simplified Factory Energy Management System based on operational condition estimation by sensor data, 2012 IEEE Int. Conf. Automation Science and Engineering (CASE), 14/19 (2012)
 - 15) 北村, 信太, 戸板, 青木, 森：工場におけるデータ活用と省エネルギー, 電気学会 C 部門大会予稿集, TC17-5 (2012)
 - 16) 中村 実：MES (Manufacturing Execution System) の事例と今後の研究, 生産管理, **6**-2, 71/74 (1999)
 - 17) 水谷, 布施, 項：エネルギーソリューション, 富士時報, **75**-6, 39/43 (2002)
 - 18) H. Kawano, T. Sakai, Y. Saito, J.Y. Shen and D. Murai: Hitachi's Solutions for Environmentally Conscious Factory, Hitachi Review, **59**-4, 129/140 (2010)
 - 19) 加知, 吉本：e-F@ctory が拓く工場の最適生産, 電気学会 C 部門大会予稿集, OS5-10 (2011)

[著 者 紹 介]

加 知 光 康 (正会員)

1982 年名古屋大学工学部機械工学科卒業。同年三菱電機 (株) 名古屋製作所入社。CNC, 産業機械用サーボシステムの開発設計を担当。現在, コントローラからサーボモータに至る FA システムのトータルな生産性向上を目指す e-F@ctory の開発取りまとめに従事。

吉本 康 浩

1984 年福岡大学電気工学課卒業。同年三菱電機(株)福山製作所入社。業務用カラープリンタ、工業用ビジョンセンサーの研究開発に従事。現在は、名古屋製作所において、工場全体の生産性向上と省エネを実現する三菱 FA 統合ソリューション「e-Factory」の事業推進に従事。

二 眞 上 北

1983 年富山大学工学部電気工学科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。2013 年東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。主に、データベース技術、M2M サービスシステム技術、省エネルギー技術の研究開発に従事。電気学会、情報処理学会各会員。

小 泉 寿 男

1961年東北大学工学部通信工学科卒業，同年三菱電機(株)入社．基本ソフトウェア，ネットワークシステム，大規模応用システム開発に従事．98年より東京電機大学理工学部教授，2009年より同大客員教授，博士(情報科学)，電気学会会員，情報処理学会フェロー．

|||||