

# 富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2013  
Vol.86 No.



特集 エネルギーマネジメントシステム (EMS)



## 特集 エネルギーマネジメントシステム (EMS)

地球温暖化の防止や電力需給の逼迫（ひっばく）、エネルギー価格の上昇などへの対応として、エネルギーの効率的な利用がますます重要になっています。産業分野、民生分野、店舗流通分野などのさまざまな分野において、エネルギーの効率的な利用、特に省エネルギーを推進するエネルギーマネジメントシステム（EMS）の構築が進められています。

富士電機は、特徴ある制御技術を基盤とした製品を開発し、市場に提供することにより、社会・産業インフラの充実に貢献しています。本特集では、地域のエネルギー管理を行う CEMS や各分野向けの需要家 EMS などを中心に、富士電機の制御技術を生かした EMS への取組みと、EMS を支える最新技術を紹介します。

### 表紙写真

北九州市八幡東区の東田地区、地域節電所に設置された CEMS、スマートメータ、エコマックスコントローラ、300 kW 蓄電複合システム



# 目次

## 特集 エネルギーマネジメントシステム (EMS)

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 〔特集に寄せて〕 xEMS への期待<br>馬場 旬平 | 159 (3) |
|-----------------------------|---------|

|   |         |
|---|---------|
| 〔現状と展望〕 エネルギーマネジメントシステム (EMS) の現状と展望<br>白川 正広 ・ 小林 直人 ・ 桑山 仁平 | 160 (4) |
|---|---------|

|  |          |
|--|----------|
| 北九州スマートコミュニティ創造事業におけるダイナミックプライシング<br>社会実証<br>大賀 英治 ・ 榊澤 明裕 | 166 (10) |
|--|----------|

|   |          |
|---|----------|
| 製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システム<br>亀田 尚登 ・ 金平 芳司 | 173 (17) |
|---|----------|

|  |          |
|--|----------|
| 製鉄所のエネルギー管理を最適化する「鉄鋼 EMS パッケージ」<br>鳴海 克則 ・ 木村 隆之 ・ 渡辺 拓也 | 177 (21) |
|--|----------|

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| 大型商業施設向け EMS<br>小松原 滋 ・ 項 東輝 ・ 山田 康之 | 182 (26) |
|--------------------------------------|----------|

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| クラウド型 EMS によるエネルギー管理支援サービス<br>東谷 直紀 | 188 (32) |
|-------------------------------------|----------|

|  |          |
|--|----------|
| 店舗の EMS を実現する「エコマックスコントローラ」<br>城戸 武志 ・ 神崎 克也 | 193 (37) |
|--|----------|

|   |          |
|---|----------|
| 統合 EMS プラットフォームによる最適運用計画機能構築フレームワーク<br>川村 雄 ・ 堀口 浩 ・ 大野 健 | 197 (41) |
|---|----------|

|   |          |
|---|----------|
| 分散電源系統における需給制御システム技術<br>勝野 徹 ・ 飯坂 達也 ・ 林 巨己 | 202 (46) |
|---|----------|

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| 太陽光発電の発電量予測技術<br>石橋 直人 ・ 飯坂 達也 ・ 勝野 徹 | 207 (51) |
|---------------------------------------|----------|

## 新製品紹介論文

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| 太陽光発電システム用ストリング監視ユニット「F-MPC PV」 | 211 (55) |
|---------------------------------|----------|

|                     |          |
|---------------------|----------|
| 新型スマートメータ「Azos GFI」 | 213 (57) |
|---------------------|----------|

|  |          |
|--|----------|
| コンパクト形インバータ「FRENIC-Mini (C2S) シリーズ」の拡充 | 216 (60) |
|--|----------|

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| 住宅用火災 (煙式) ・ ガス ・ CO 警報器「KN-95」 | 219 (63) |
|---------------------------------|----------|

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| 高圧真空遮断器「MULTI.VCB」 (固定形) | 222 (66) |
|--------------------------|----------|

|   |          |
|---|----------|
| 高速 ・ 大容量ネットワーク対応コントローラ<br>「MICREX-SX SPH3000MG」 | 225 (69) |
|---|----------|

|         |          |
|---------|----------|
| 略語 ・ 商標 | 228 (72) |
|---------|----------|

## Contents

### Energy Management System (EMS)

|  |          |
|--|----------|
| <b>[Preface] Expectation for development of xEMS</b><br>BABA Jumpei  | 159 (3)  |
| <b>Energy Management System (EMS) : Current Status and Future Outlook</b><br>SHIRAKAWA Masahiro KOBAYASHI Naoto KUWAYAMA Jimpei                      | 160 (4)  |
| <b>Public Demonstration of Dynamic Pricing in the Kitakyushu Smart Community Creation Project</b><br>OGA Eiji KABASAWA Akihiro                       | 166 (10) |
| <b>Energy Optimization System for Cogeneration Plant of Paper Factory</b><br>TATTA Naoto KANEHIRA Yoshiji  | 173 (17) |
| <b>“Steel EMS Package” Optimizing Energy Management at Steelworks</b><br>NARUMI Katsunori KIMURA Takayuki WATANABE Takuya                            | 177 (21) |
| <b>EMS for Large-scale Commercial Facility</b><br>KOMATSUBARA Shigeru XIANG Donghui YAMADA Yasuyuki  | 182 (26) |
| <b>Energy Management Support Service with Cloud-based EMS</b><br>AZUMAYA Naoki   | 188 (32) |
| <b>The “ECOMAX Controller” Realizes an EMS for Use in Stores</b><br>KIDO Takeshi KANZAKI Katsuya   | 193 (37) |
| <b>A Framework for Optimal Planning Systems on the EMS Platform</b><br>KAWAMURA Yu HORIGUCHI Hiroshi ONO Takeshi                                     | 197 (41) |
| <b>Supply and Demand Control System for Power Systems with Distributed Power Supplies</b><br>KATSUNO Tohru IIZAKA Tatsuya HAYASHI Naoki              | 202 (46) |
| <b>Photovoltaic Power Generation Forecasting Technology for Supporting Energy Management Systems</b><br>ISHIBASHI Naoto IIZAKA Tatsuya KATSUNO Tohru | 207 (51) |
| <b>New Products</b>  |          |
| <b>“F-MPC PV,” String Monitoring Unit for Photovoltaic Power Generation Systems</b>  | 211 (55) |
| <b>“Azos GFI,” New Type Electrical Watt-Hour Meter</b>   | 213 (57) |
| <b>Line-Up Expansion of Compact Inverter “FRENIC-Mini (C2S) Series”</b>  | 216 (60) |
| <b>Residential fire, Gas and Carbon monoxide Alarms “KN-95”</b>  | 219 (63) |
| <b>Vacuum Circuit Breaker Fixed-Type “MULTI.VCB”</b>   | 222 (66) |
| <b>“MICREX-SX SPH3000MG” with Built-in High-Speed and Large-Capacity Network</b>   | 225 (69) |
| <b>Abbreviations and Trademarks</b>  | 228 (72) |



特集に寄せて

## xEMS への期待

Expectation for development of xEMS

馬場 旬平 BABA Jumpei

東京大学新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻  
准教授 博士(工学)

最近、本号の特集テーマともなっている“エネルギーマネジメントシステム (EMS)”に注目が集まっており、“xEMS”(xには“H”や“B”“C”などが入る)という言葉が次々と生まれている。xEMSはx固有の課題に応じて、さまざまな制御システムの提案・実証試験が行われ、興味深い知見も得られている。今後もxEMSに対する注目と期待が続いていくと思われるが、少しEMSについて考えてみたい。

“EMS”の定義は一意に定まらないと思われるが、“エネルギー利用を把握し、目的を損ねないように最適化を行い、最終的な導入者が支払うエネルギー費の抑制を実現するシステム”という意味合いで使われていることが多いのではないかと考えられる。このような定義をすると夜間と昼間の電力料金差を利用して、夜間にエネルギー貯蔵の可能な負荷(貯湯槽のある給湯器)を動かすことで、より安く目的を達する(湯を得る)こともEMSといえよう。もしタイマも含まれるとすると、EMSは単純な機構を利用してかなり古くから存在し実用化されているともいえる。技術の発達に伴い、複雑な動作が容易に実現できるようになったことや、エネルギーを取り巻く環境が変化したこともあり、従来、適用が難しかった場面にも活用が期待され、xEMSが非常に注目を集めているのでなかろうか。

タイマなどの場合、初期設定をすると動作が固定されるものがほとんどであると考えられるが、それだけでもシステム全体の効率化に大きな役割を果たしている。しかし、状況が変化した場合に柔軟に運用を変化させることが難しく、場合によると逆効果になる恐れもある。よく知られている例では、太陽光発電システムの普及が進むと晴天の昼間に電力が余剰となることが懸念されており、天候など、状況に応じたマネジメントを可能にすることが望まれている。電力に限った話ではないが、会社にとってクライアントの所有する機器に指令を出して操作することに対しては高い障壁がある。しかし、xEMSを上手に活用すれば、需給バランスを“給”のみで調整していたのに対し“需”も積極的に利用できる可能性があり、システム全体の効率

向上の実現が期待される。もちろん、巨大なシステムを変更するにはそれなりに時間も必要で、解決しなくてはならない課題も山積しており、研究開発活動を長期にわたって継続していく必要がある。

一方で高度なxEMSを実現するためには、センサ、演算装置、通信装置などさまざまな機器が必要となる。よりきめ細かい制御を実現するためには、多くのセンサと高機能な演算装置、高速な通信機器などが必要となるが、xEMSを実現するために必要なエネルギーについても忘れてはならないのではないかと考える。省エネという観点で考えると待機電力のように、電力でみると些細な負荷でも、数が増え連続して運転すると大きなエネルギー損失につながる。さまざまな実証試験設備を見る機会を頂いたが、現状ではxEMSの実装において長期安定性が求められるため汎用サーバを用いている場合も多く、特にHEMSの実証試験では大きなギャップを感じることもある。もちろん、実証フェーズが終了し、普及フェーズになれば小型化も進むと思われるが、“xEMSを実現するために必要なエネルギーがxEMSを実装することによって削減できたエネルギーを上回らないようにする”というものも、今後、検討すべき課題になるかもしれない。また、センサなどを多用することは故障のリスクを高めることにつながるため、システムの安定運用に寄与することを目指すのであれば適切な利用を検討することも必要であろう。よりxEMSの価値を高めるためにさまざまな機能を実現していることも重要であると確信しているが、“何でもできるということは、何もできないに等しい”という言葉を聞いたこともあり、あまりに多くのことをできるようにし、本来の目的を見失わないよう、時には省みることも必要かもしれない。

今後、xEMSの重要性は増すと思われ、タイマのみのような単純なシステムに逆戻りすることはなく、より高機能なシステムが求められるはずである。現在、積極的に行われているxEMSの研究開発が、社会に広く普及し役立っていくことを期待する。

# エネルギーマネジメントシステム (EMS) の現状と展望

Energy Management System (EMS) : Current Status and Future Outlook

白川 正広 SHIRAKAWA Masahiro

小林 直人 KOBAYASHI Naoto

桑山 仁平 KUWAYAMA Jimpei

## ① まえがき

わが国のエネルギー自給率は4%と低く、また、そのほとんどを石油やLNG（液化天然ガス）などの化石燃料に依存している。エネルギー自給率を向上させ、エネルギーセキュリティを確保することは第1次オイルショック以降、長年の課題となっている。また近年、中国をはじめ、新興国の経済成長を背景としてエネルギー消費が急増しており、エネルギーの安定確保の問題に加え、地球環境問題も深刻化している<sup>(1)</sup>。

その対策の一つとしてクリーンな再生可能エネルギーの積極的な活用が政策的に推進されており、2012年から「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」がスタートした。

一方、喫緊の課題は経済再生であり、持続的発展が可能となる経済社会の実現に向けた戦略的な取組みが必要となる。世界に先駆けてクリーンで経済的かつ安定した次世代のエネルギーシステムを実現することは、前述のエネルギーセキュリティの確保に加え、国際競争力の強化や、地域の資源を生かした地域再生につながる大きな柱となる<sup>(2)</sup>。

2010年から開始された経済産業省“次世代エネルギー・社会システム実証事業”では、四つの地域（横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市）で、

次世代エネルギーシステムの実現を視野にスマートグリッド<sup>(\*)1</sup>の先進的な実証が推進されている。本事業では、地域の再生可能エネルギーを安定かつ高効率に活用するとともに、BEMS<sup>(\*)2</sup>、HEMS<sup>(\*)3</sup>、スマートメータ<sup>(\*)4</sup>などの需要家側の省エネルギー（省エネ）システムにより、需要家も地域のエネルギー需給運用に参加するデマンドサイドマネジメントの技術的、社会的な実証・評価を行っている。また、この実証・評価の成果を海外向けエネルギーインフラや東日本大震災復興インフラに展開するための検討も進めている。

次世代のエネルギーシステムにおいては、需要家にさまざまなエネルギーメニューの選択肢が提供される。需要家がこれらを賢く使いこなすためにはエネルギーマネジメントシステム（EMS）<sup>(\*)5</sup>の普及が重要な条件となる。

本稿では、地域のエネルギー管理を行うCEMS<sup>(\*)6</sup>や各分野向けの需要家EMS、およびEMSを構成する各種技術について述べる。

## ② エネルギーマネジメントシステム (EMS) 技術

### 2.1 EMSの全体像

図1に富士電機が考えるEMSの全体像を示す。

#### (\*)1 スマートグリッド

エネルギー事業者と需要家がスマートメータなどで情報を連携し、大規模な電力系統と地域の電力グリッドを協調運用する電力流通システムのことである。これによって、再生可能エネルギーの大量導入やエネルギーの効率的な利用を行うことができる。

#### (\*)2 BEMS

Building and Energy Management Systemの略である。業務用ビルの空調、照明、動力などのエネルギー管理を行うシステムのことである。大規模なビルでは、ビル施設管理システムと情報を連携し、エネルギー設備や負荷のリモート制御を行うことができる。

#### (\*)3 HEMS

Home Energy Management Systemの略である。家庭用の太陽光発電や夜間電力を用いた給湯、空調システム、家庭用燃料電池などの普及に伴い、住宅のエネルギー需給に対する見える化を実現するためのものである。HEMSの形態はさまざまであり、各家庭にホームターミナルを設置して監視・制御を行うもの、パソコンやスマートフォンを利用してエネルギー管理サービスを提供するもの、家電自体をインテリジェント化するものなどがある。

#### (\*)4 スマートメータ

双方向通信機能を持たせた電力量計である。これにより、電力量の遠隔検針をはじめ、電圧・電流計測、契約電力量の遠隔変更や電力供給の遠隔停止、停止解除を行うことができる。

#### (\*)5 EMS

Energy Management Systemの略である。電気、熱、ガスなどのエネルギーの見える化や設備の最適運用などを実現するシステムのことである。管理する対象に応じて、BEMS、CEMS、FEMS、HEMS、REMSなどがある。

#### (\*)6 CEMS

Cluster Energy Management Systemの略である。地域のエネルギー需給最適化を行うシステムのことである。スマートメータや需要家の省エネルギーシステムと情報を連携し、需要家側負荷の直接制御および間接制御を行うことができる。

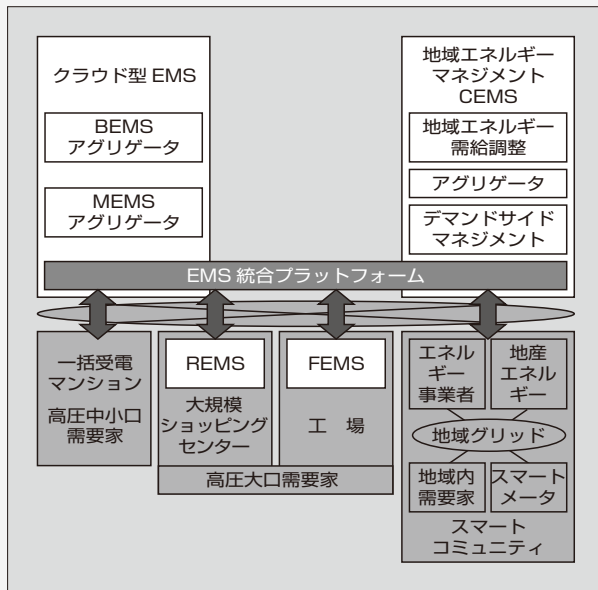


図1 EMSの全体像

富士電機では、スマートコミュニティ<sup>(\*7)</sup>において地域のエネルギー管理を行うCEMS、ならびに工場や店舗など各種分野の需要家のエネルギー見える化、省エネを推進するEMSをパッケージ商品化し、「EnergyGATEシリーズ」として2011年に発売した。

また、流通店舗や産業分野の需要家向けには、富士電機がこれまで顧客とともに蓄積してきた省エネや製造、施設運用などのノウハウを基に、より高度なエネルギー管理を実現する店舗流通EMS<sup>(\*8)</sup>や工場のEMS<sup>(\*9)</sup>（FEMS）を提供している。

さらに、小中学校や小規模店舗、一括受電マンションなどの高圧小口需要家では、エネルギー使用量が小さく、EMS設備を個別に導入するとコスト回収が難しい。そこで、クラウド環境<sup>(\*10)</sup>でEMSサービスを提供することにより、EMS設備の投資コストを抑制している。

## 2.2 EMSの開発ロードマップ

わが国では、1979年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）が制定されて以来、幾度

となく改正されてきている。1997年には地球温暖化防止を目指した「京都議定書」を批准し、さらに規制を強化する形で改正され、再生可能エネルギーの導入に向けて政策的な推進が図られてきた。

また、経済社会がグローバルに進展する中で、わが国への市場開放の要請に応えるため、1995年から電力自由化が段階的に拡大されている。一方で、国内の産業分野の国際的な競争力確保や市場拡大を目的とした国際標準への積極的な対応が進められている。

さらに、中東産油国の情勢不安に加え、2000年前後から中国や東南アジアの新興国の経済拡大により石油やLNGの消費量が拡大し、その価格が高騰している。

富士電機では1973年の第1次オイルショック以降、省エネに関するさまざまな製品・ソリューションを顧客に提供してきた。また、取り巻く環境変化や情報処理技術の進展を先取りし、高度なEMS製品を開発してきた。図2に、富士電機のEMSおよび主要な技術・コンポーネントの開発ロードマップを示す。次に、EMSを構成する主な要素技術の開発経緯とEMS製品について述べる。

### (1) 計測・制御コンポーネント

計測・制御コンポーネントは、EMSを構成する上で、現場の負荷機器のエネルギー使用状況を計測し、制御するものである。1985年にプログラマブルコントローラ「MICREX-F」を発売し、ビルや工場設備の状態監視や計測、自動制御など施設運用の高度化、省力化を実現する製造・施設管理システムを提供している。さらに、ユーザーニーズや情報処理技術の進化に対応し、オープンインタフェース化した「MICREX-SX」や顧客内の各種システムとのデータ連携が容易な「MICREX-NX」など、より高性能なシリーズを展開している。

1995年以降の省エネ法改正では、従来の大規模事業所に加え、中小規模の事業所にも継続的な省エネが義務化され、簡易なエネルギー計測システムのニーズが拡大した。富士電機ではこれに対応し、「F-MPC」や「PowerSATELITE」などの安価な計測端末によるエ

#### (\*7) スマートコミュニティ

自然環境と調和し、低炭素で安定、かつ経済的な社会インフラのことである。エネルギーの効率的な使用や資源の循環的活用、環境保全など、コミュニティ全体の持続可能な発展を目指したものである。

#### (\*8) REMS

Retail Energy Management Systemの略である。店舗流通分野におけるエネルギー需給の見える化の実現や設備の最適運用を行うシステムのことである。小売店舗における省エネルギーは、食品の安全衛生管理や利用者の快適性を最優先に確保した上で実施する必要がある。

#### (\*9) FEMS

Factory Energy Management Systemの略である。生産管理やサプライチェーン管理と連携し、製品のライフサイクルコスト低減に着目して高度な工場運営を行うシステムのことである。1998年の省エネ法の改正に基づいたエネルギー管理指定工場の規制に応えることができる。

#### (\*10) クラウド

クラウドコンピューティングの略である。ネットワーク経由で、分散したサーバやコンピュータにデータを保存したり、その中のソフトウェア資源を利用する技術をいう。

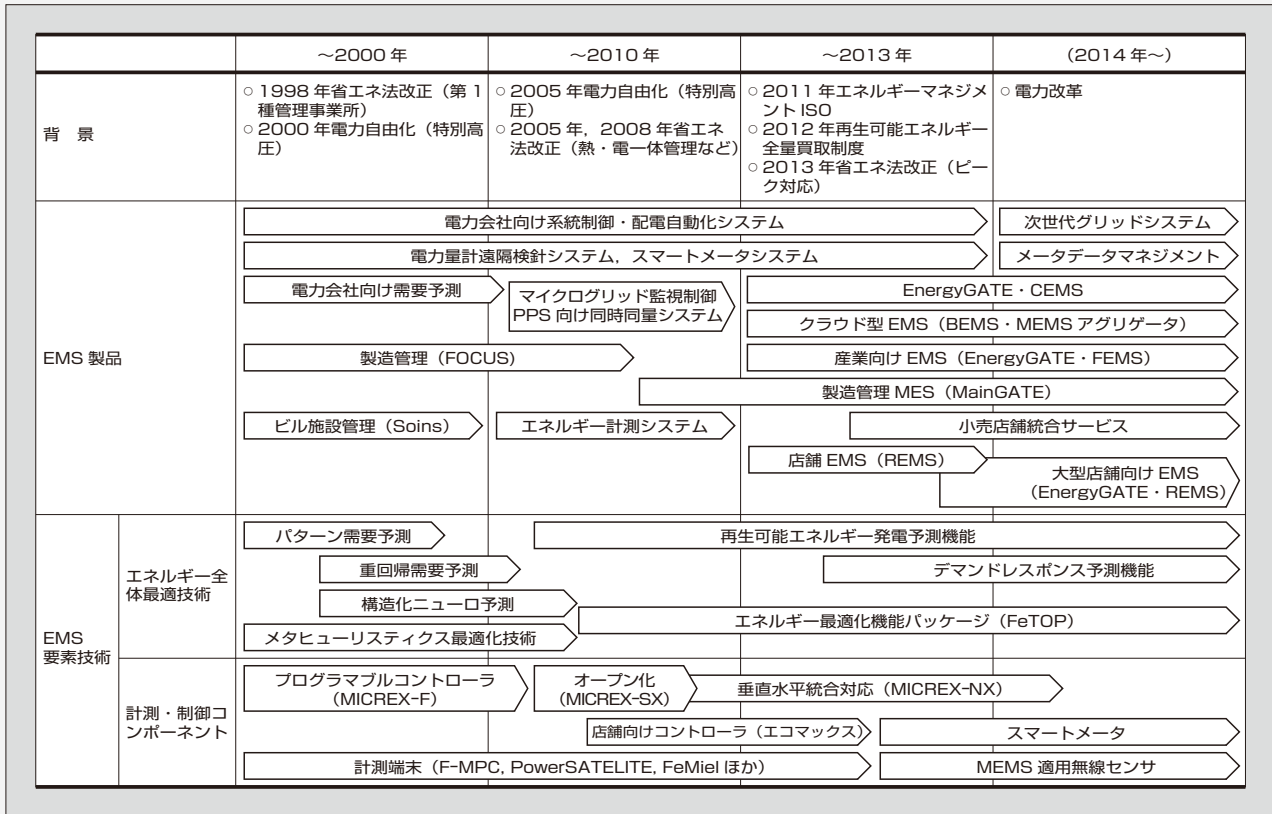


図2 EMSおよび主要な技術・コンポーネントの開発ロードマップ

エネルギー計測システムを発売した。

さらに、現場への計測端末の設置を簡素化するため、無線タグを適用した自己給電型の計測センサや、構内での検針情報の取得が可能なスマートメータを開発した。

(2) エネルギー全体最適技術

省エネ法の数度にわたる改正を通し、大規模な事業者を中心に、主要な個別の省エネ対策がほぼ実施済みとなり、さらなる省エネの達成にはエネルギー設備全体や製造計画に踏み込んだ運用改善が必要となる。加えて、電力自由化によるエネルギー調達の実現の増加や、不安定な再生可能エネルギーの利用促進など、需要家のエネルギー設備の運用が複雑化している。

富士電機では、複雑なエネルギー設備の全体最適運転計画を行う最適化パッケージ「FeTOP」を2003年に発売した。FeTOPは構造化ニューラルネットワークやメタヒューリスティクス最適化技術などの高度な情報処理技術を用いて、計画立案を自動化するものである。電気・熱・動力などのエネルギー設備のコストや環境負荷を最小にすることができる。エネルギーの全体最適のほか、水系制御や再生可能エネルギーの発電量予測など広範な最適化問題に適用できる。

(3) EMS製品

クリーンで安定、安価なエネルギー需給の実現に向け、エネルギー供給者と需要家間で情報連携を行い、

協調してエネルギー流通制御を実現することが大きな課題となる。そのためには、需要家へのEMSの導入を促進し、これらをエネルギー事業者や各種エネルギーサービスプロバイダのシステムと双方向で連携させるCEMSの導入が必須の要件となる。

富士電機では、これまで個々の顧客に提供してきたエネルギー計測・制御技術やエネルギー最適化技術、情報処理技術などを統合し、エネルギー管理システムパッケージ「EnergyGATE」を2011年に発売した。

図3にEnergyGATEのソフトウェア構成を示す。本パッケージは、エネルギー事業者、需要家双方を対象としている。特徴は、共通の統合EMSプラットフォーム

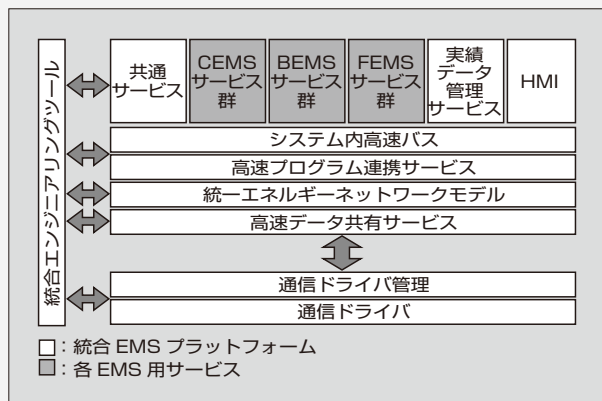


図3 「EnergyGATE」のソフトウェア構成



フォーム上にエネルギー事業者向けソフトウェア、需要家向けソフトウェアをそれぞれ搭載し提供する構成となっていることである。

統合 EMS プラットフォームでは、各サーバに分散配置された EMS サービスソフトウェアの連携を行う高速プログラム連携サービス「Fuji Service Bus」と、各ソフトウェアからのデータ参照や制御指示を管理する高速データ共有サービス「Field Connector」を実装している。これらの機能により、エネルギー事業者と需要家が設置した EMS において、シームレスかつ高速なサービスソフトウェア連携やデータ共有が実現できる<sup>(3)</sup> (197 ページ“統合 EMS プラットフォームによる最適運用計画機能構築フレームワーク”参照)。

### ③ 各分野向けの EMS 構築

#### 3.1 地域エネルギーマネジメントシステム

富士電機は 2010 年から経済産業省“次世代エネルギー・社会システム実証事業”の 4 地域の一つとして選定された“北九州スマートコミュニティ創造事業<sup>(※11)</sup>”において地域の需給制御を行う CEMS の実証・評価を推進中である。本 CEMS は、地域の再生可能エネルギーを当該地域で有効に活用するために、気象データと連携した再生可能エネルギー発電量予測や最適需給計画機能など先進の地域エネルギー管理機能を搭載している (202 ページ“分散電源系統における需給制御システム技術”および 207 ページ“太陽光発電の発電量予測技術”参照)。

加えて、実証地域内の全需要家に設置したスマートメータ、および参加各社で実証中の需要家 EMS と双方向に情報を連携し、需要家のピークシフト反応を創出するダイナミックプライシング<sup>(※12)</sup>の実規模実証を行っている。

2014 年度末までの実証期間中、前述のダイナミックプライシングの他、再生可能エネルギーを大量に導入したときのグリッドの電力品質の維持や、工場に近接した地域の特長を生かした水素利用、熱マネジメントなど各種の先導的な技術・社会システムの評価を行う予定である。

実証事業に並行して、実証終了後の CEMS 事業の継続や実証成果の国内外への展開に向けたビジネスモデルの検討を進めている。CEMS には需要家のエネ

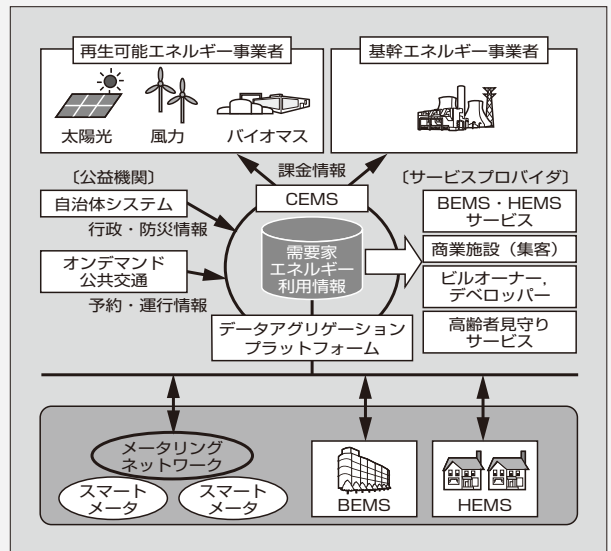


図 4 CEMS のデータアグリゲータのサービス連携イメージ

ルギー利用状況に関する情報が大量に集まる。事業化検討では、データアグリゲータ事業としても位置付け、その収益性の確保を評価している。その際、CEMS 運用者を、地域のエネルギー需給を最適化する地域エネルギーマネジメントサービス事業に加え、大量の需要家情報を需要家の承諾の下、各種のサービスメニューの拡大に活用することを検討している。

図 4 に CEMS のデータアグリゲータとしてのサービス連携のイメージを示す。CEMS で収集した需要家エネルギー利用情報は、エネルギーの見える化や省エネなどの EMS サービスのほか、高齢者見守りや交通、商業施設の集客などのエネルギー以外のサービスにも展開可能である (166 ページ“北九州スマートコミュニティ創造事業におけるダイナミックプライシング社会実証”参照)。

#### 3.2 FEMS

富士電機では、「MainGATE シリーズ」を中心とする製造管理パッケージをさまざまな業種に展開しており、バッチ・ライン・連続工程など、さまざまな製造設備の運用に関するノウハウを蓄積している。産業分野向け FEMS は、このノウハウを生かし、工場の製造計画と連携した工場ユーティリティ設備の最適運用を実現している点が特徴である。

大規模な製鉄工場ではエネルギーセンターを保有し

#### (※11) 北九州スマートコミュニティ創造事業

2010 年から経済産業省が推進している“次世代エネルギー・社会システム実証事業”の一つとして選定された。北九州市八幡東区の東田地区 (120 ha) で 2014 年まで実施される。特徴の一つとして、東田地区は、

東田コージェネ株式会社による自管線による電力供給地域で、同地区の電力需給組合の協力により、実規模のダイナミックプライシングの実証を行っている。

#### (※12) ダイナミックプライシング

需給状況の変化に応じて時間帯別に電力料金を変動させる制度である。需給の逼迫 (ひっばく) が予想される時間帯の電力料金を上げることで、需要家の節電行動を促す。

ており、製鉄に関わるガスや熱、電力などのエネルギー供給を行っている。富士電機は、エネルギー供給を製鉄プロセスと連動して最新のメタヒューリスティクス最適化技術を用い、最適運転計画を立案する鉄鋼EMSを開発した（177 ページ“製鉄所のエネルギー管理を最適化する「鉄鋼 EMS パッケージ」”参照）。

また、大量の熱消費が主体の製紙分野などでは、東日本大震災の後、老朽化したボイラ設備更新の際に、災害時の電源確保を考慮し、コージェネレーション<sup>(※13)</sup>に置き換える顧客が増加している。富士電機は、熱デマンドに対応してコージェネレーションやボイラを最適に運転する熱マネジメントシステムを開発した（173 ページ“製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システム”参照）。

### 3.3 ビルやマンションのクラウド型EMS

高圧小口需要家（契約電力 50kW 以上、500kW 未満）は、エネルギー使用量が小さく、省エネや EMS 設備を個別に導入するためのコストを回収することが難しい。小口需要家向けにクラウド環境で見える化や省エネなどの EMS サービスを提供することにより、EMS の設備投資におけるコストを抑制することが可能である。

図5にクラウド型 EMS の概要を示す。小口需要家側にはエネルギー関連の情報表示端末を設置し、外部の EMS アグリゲータから通信ネットワークを介してエネルギー見える化や省エネなどの EMS サービスを

提供する。需要家側でエネルギー見える化による設備運用の改善で 10% 程度の省エネを想定している。

また、対象施設のオーナーや小中学校を所管する自治体向けに当該のエネルギー情報を集約して定期的に配信する。

富士電機は、小中学校や業務用ビルなどを対象とした BEMS アグリゲータ事業を 2012 年に、高圧一括受電マンション向けの MEMS（マンション EMS）アグリゲータ<sup>(※14)</sup>事業を 2013 年にそれぞれ開始した（188 ページ“クラウド型 EMS によるエネルギー管理支援サービス”参照）。

### 3.4 REMS

コンビニエンスストアやスーパーマーケットなどの流通店舗の省エネは、食品の冷凍・冷蔵ショーケースの温度管理ならびに空調温度や照明といった店内環境の快適さの維持など特殊な要因との両立が求められる。

富士電機では、これらのニーズに応じて冷凍・冷蔵ショーケースをはじめとするコールドチェーン機器や環境に配慮した店舗工法「エコロユニット」をラインアップしている。加えて、店舗内のエネルギーを監視し、ショーケースや空調の温度および照明を自動制御する「エコマックスコントローラ」を開発し、店舗全体の省エネを支援している。

さらに、収集した各店舗のエネルギー消費データを BEMS アグリゲータによるクラウド型 EMS で収集し、チェーン店舗本部にエネルギー管理支援情報を送信したり、各店舗に省エネガイダンスを送信したりする REMS を構築した。図6に REMS の構成例を示す。

また、複数のテナントで構成される大規模ショッピングセンターを対象に、施設内のダイナミックプライシングを行う EMS を開発し、実証・評価中である（193 ページ“店舗の EMS を実現する「エコマックスコントローラ」”および 182 ページ“大型商業施設向け EMS”参照）。

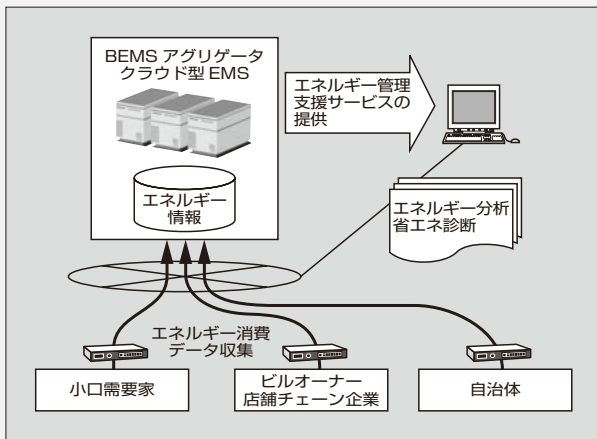


図5 クラウド型 EMS の概要

#### (※13) コージェネレーション

工場やビルなどの需要家側に発電設備を設置し、発生する熱を利用することである。LNG を燃料とした場合、商用電力に比べ約 30% の CO<sub>2</sub> 削減効果が得られる。燃料の高騰により導入が頭打ちとなっていたが、大規模災害時の自立電源としての利用や、電力需給逼迫時のピークカット協力に対するインセンティブ付与により再度注目されている。

#### (※14) アグリゲータ

電力自由化の環境において、中小小口需要家を取りまとめ、見える化やエネルギー調達などの各種エネルギーサービスを低コストで提供するものである。中小小口需要家は価格交渉力が弱く、個々のエネルギーコストに対する低減メリットを享受しにくいという課題を解決することができる。

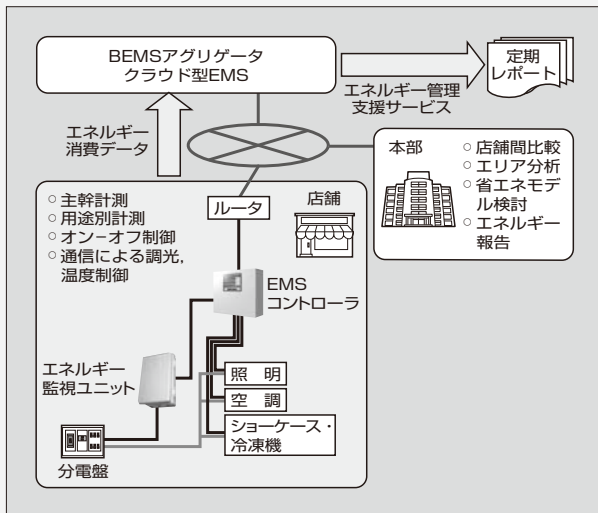


図6 REMS の例

#### 4 あとがき

本稿では、地域のエネルギー管理を行う CEMS や各分野向けの需要家 EMS、および EMS を構成する各種技術について述べた。

富士電機の EMS パッケージ「EnergyGATE」は、エネルギーの供給側から需要家までのスマート化を実現する上で重要なソリューションを提供するものと考えられる。今後は、海外展開を見据えた標準化動向や新しいエネルギー制度に対応した高度なエネルギーサービスの提供に努めていく所存である。

#### 参考文献

- (1) “平成24年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2013）”. 資源エネルギー庁. <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2013energyhtml/index.html>, (参考 2013-07-16).
- (2) “戦略市場創造プラン”. 首相官邸. [http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/rm\\_jpn.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/rm_jpn.pdf), (参考 2013-07-16).
- (3) 堀口浩ほか. 統合エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム. 富士時報. 2011, vol.84, no.3, p.214-218.



#### 白川 正広

エネルギー分野のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部長。日本原子力学会会員。技術士。



#### 小林 直人

エネルギー流通、スマートグリッド構築分野における技術および事業企画業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部電力流通システム部長。電気学会会員。



#### 桑山 仁平

スマートコミュニティ分野の商品企画、営業技術に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部スマートコミュニティ総合技術部担当部長。電気学会会員。

# 北九州スマートコミュニティ創造事業における ダイナミックプライシング社会実証

Public Demonstration of Dynamic Pricing in the Kitakyushu Smart Community Creation Project

大賀 英治 OGA Eiji

樺澤 明裕 KABASAWA Akihiro

福岡県北九州市八幡東区の東田地区で実施している“北九州スマートコミュニティ創造事業”は、事業開始から4年目を迎えた。本事業は、“地域節電所”を核とした地域エネルギーマネジメントシステム (CEMS: Cluster Energy Management System) により、市内の標準的な街区との比較でCO<sub>2</sub>排出量を50%以上削減することを目指している。事業の一環として、2012年度に国内初となるダイナミックプライシング社会実証が行われた。ピーク時間帯の電力料金単価を15～150円/kWhの間で5段階に変化させ、平均して9～13%の需要削減効果が確認された。

The “Kitakyushu Smart Community Creation Project” being conducted in the Yahatahigashida region of Fukuoka, Kitakyushu, celebrated its fourth year since inception. This project utilizes a regional energy management system based on a “cluster energy management system” and aims to reduce CO<sub>2</sub> emissions by at least 50% compared to that of typical urban areas. As part of this project, the first public demonstration of dynamic pricing in Japan was conducted in 2012. The price of electric power during peak hours was varied in five stages, from 15 to 150 yen/kWh, and an average reduction in demand of 9 to 13% was confirmed.

## 1 まえがき

“北九州スマートコミュニティ創造事業”は、2010年4月、“次世代エネルギー・社会システム実証事業”の4地域(横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市)の一つとして、経済産業省より選定された。わが国の成長戦略「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大戦略」におけるスマートグリッド構築と海外展開を実現するための取組みである。

本事業は、北九州市をはじめ、新日鐵住金株式会社、日本アイ・ピー・エム株式会社、株式会社安川電機、富士電機のほか60を超える企業・団体で構成される北九州スマートコミュニティ創造協議会が事業主体となり、32事業(2010年度から5年間で総額163億円)からなるマスタープランを策定し、その推進を図っている。富士電機は、本実証により高度な地域エネルギーマネジメントシステム(CEMS: Cluster Energy Management System)やスマートメータ、スマート蓄電システムなどの先進的な技術開発実証を行うとともに、社会インフラとしてのスマートコミュニティの構築・運用ノウハウを差別化アイテムとして、広く国内外のエネルギーインフラビジネスへの展開を計画している。

本稿では、2012年度に行われた国内初となるダイナミックプライシング実証の結果を中心に述べる。

## 2 北九州スマートコミュニティ創造事業

### 2.1 事業概要

本事業は、北九州市八幡東区の東田地区(約120ha)を対象としている(図1)。新エネルギーの導入拡大、建物への省エネルギー(省エネ)システム導入、“地域節電所”



図1 北九州市八幡東区の東田地区

を核としたCEMSによるエネルギーの効率利用、ならびに交通システムなど社会システムの整備を行うことで、20%の省エネ効果を獲得し、市内の標準的な街区との比較でCO<sub>2</sub>排出量を50%以上削減することを目指している。さらには、この事業を通じて開発した技術やノウハウを広く国内外に展開することにより、関連産業の振興、国際標準化を進め、環境エネルギー産業の競争力強化を目指している。

また、本実証地区は新日鐵住金株式会社 八幡製鉄所内のコージェネレーション設備から自営線により電力を供給している特定供給地域である。当該地区の北九州東田前田地区電力需給組合の協力により、実際の電力契約を変更し、電力料金単価を変動できることが特徴の一つである。

### 2.2 実証事業の全体像

本事業は地域節電所を中心にエネルギーマネジメントシステム(EMS: Energy Management System)を構築しているが、基本的な考え方は“需要家が参加する”新しい



エネルギーシステムを構築すること、つまりこれまでエネルギーの消費者、いわゆる“コンシューマー (consumer)”である需要家が生産消費者“プロシューマー (prosumer)”になっていくことである。従来のエネルギー供給者に加え、プロシューマーである市民や事業者が“考え”“参加する”ことで、人々が自ら使うエネルギーを自ら管理する“デマンドサイドマネジメント”を実現することである。こうしたデマンドサイドマネジメントの具体的な成果として考えているものは、次の五つである。

(1) 省エネルギー

スマートメータを経由して宅内表示器（タブレット端末）に表示する電気使用量、地域需給状況などの情報提供による“見える化”と、一部で導入する需要家のEMSにより、省エネを推進する。

(2) 負荷平準化

地域の電力需要負荷は、需要家の種類によって異なるが、情報通信技術や蓄電池などを活用し、さまざまなタイプの需要家を組み合わせるピークカットやピークシフトを行い、地域全体で負荷の平準化を実現する。

(3) 再生可能エネルギーの最大活用

再生可能エネルギーの大量導入社会に備えて、できる限り逆流による出力の抑制をすることなく、再生可能エネルギーの電力を賢く使いこなす仕組みを構築する。

(4) 災害時における自立運転システム

スマートグリッドは、基幹電力の系統と連系し、相互に協力関係にあることが重要である。一方、大規模電力系統につながっているために、災害などで万が一、大規模停電が発生した時は、スマートグリッドのシステムも使用できなくなる。本事業では、災害時でも必要最小限の範囲で自立運転できるシステムを構築する。

(5) 社会インフラへのスマートグリッド基盤活用

本事業を通じて整備するスマートメータなどの情報通信インフラを活用して、市民の利便性向上につながるよう、交通や安全安心など多くの社会インフラ（見守りサービス、オンデマンド型コミュニティバス、データアグリゲーションなど）を含む新規事業を創出する。

2.3 地域エネルギーマネジメント実証

実証事業で中核となるCEMSは、地域節電所に設置され、デマンドレスポンスに対応したHEMS (Home Energy Management System)、BEMS (Building and Energy Management System)、FEMS (Factory Energy Management System)、SEMS (Store Energy Management System)、スマートメータと情報連携を行う。また、東田地区におけるコージェネレーションや太陽光発電、風力発電、燃料電池などの分散型電源やコミュニティ設置型蓄電池システムとの情報連携も行い、発電量や需要量に応じて、発電機や蓄電池の制御を行う。同時に、時間帯別にエネルギー料金単価を変動させるダイナミックプライシングにより、需要家による省エネやピークシフトを誘導する。BEMSやHEMSを設置している需要家では、このダイナミックプライシング情報を基に、ビル内設備やEV充電設備、家庭内の家電品などの負荷制御を実施する。

2.4 地域エネルギーマネジメント実証システム

実証システムの全体構成を図2に示す。

実証システムは、家庭や企業、工場などの需要家側でエネルギーを最適に運用する需要家EMS (BEMS, HEMS, FEMS, SEMS など)、地域内にエネルギーを供給する分散型発電設備、コミュニティ設置型蓄電池システム、ならび

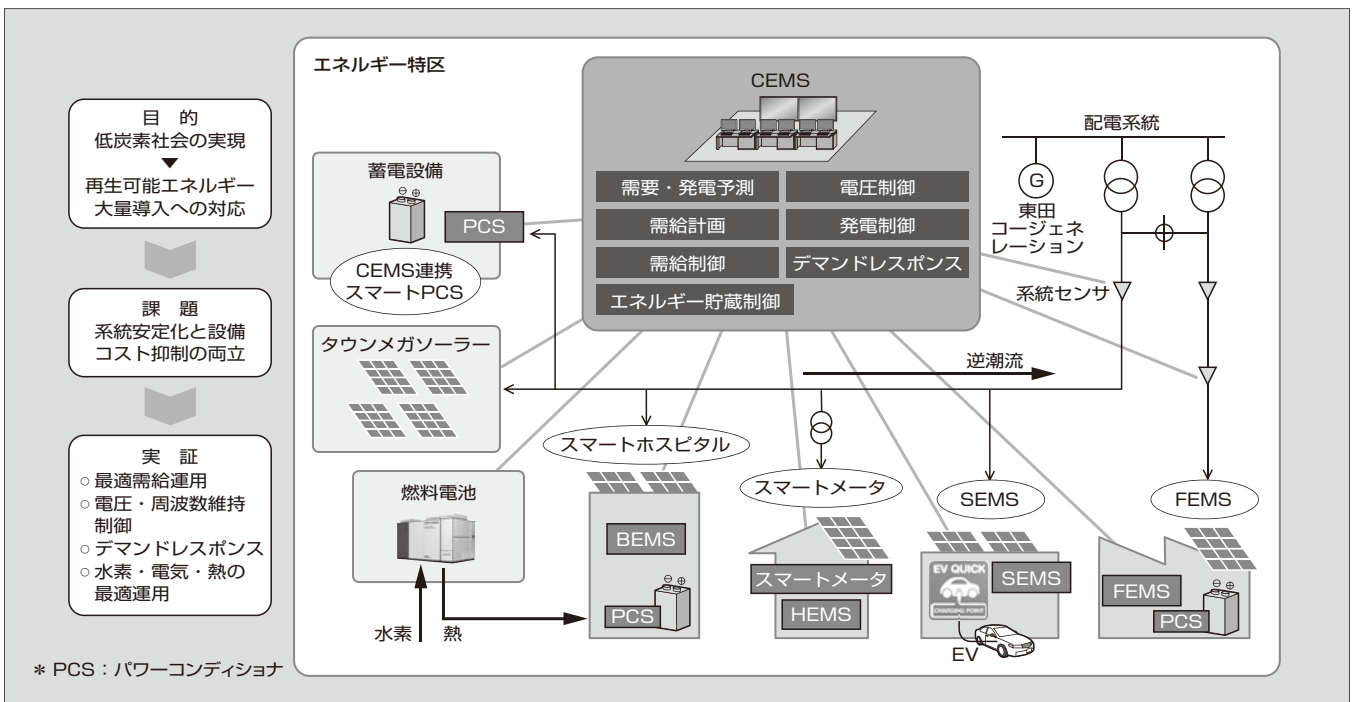


図2 実証システムの全体構成

にこれらを総合的に最適制御を行う CEMS から構成される。

また、全ての需要家には、スマートメータと CEMS からの各種エネルギー情報を表示する宅内表示器が設置される。

#### (1) CEMS

地域節電所に設置される CEMS は、地域全体のエネルギー需給を予測し、コージェネレーションや蓄電システムの運用計画を立案するとともに、スマートメータおよび需要家 EMS にダイナミックプライシング情報を配信する(図 3)。

#### (2) コミュニティ設置型蓄電システム

コミュニティ設置型蓄電システムは、CEMS と双方向の情報連携を行い、地域グリッドの負荷平準化と緊急予備力提供を行うとともに、瞬時周波数変動の抑制や無効電力による電圧制御などのグリッド電力の品質を維持する制御を行う。

また、地域に設置される太陽電池や燃料電池と連系することで、東日本大震災のような大規模災害時に重要負荷へ電力供給を維持する自立運転機能も実現している。図 4 に、コミュニティ設置型蓄電システムの例として、300 kW 蓄電複合システムを示す。

#### (3) スマートメータ

図 5 にスマートメータのシステム構成を示す。スマートメータは CEMS とコンセントレータを介して双方向通信を行う。

スマートメータとコンセントレータ間の通信方式は、全



図 3 地域節電所に設置された CEMS



図 4 300 kW 蓄電複合システム

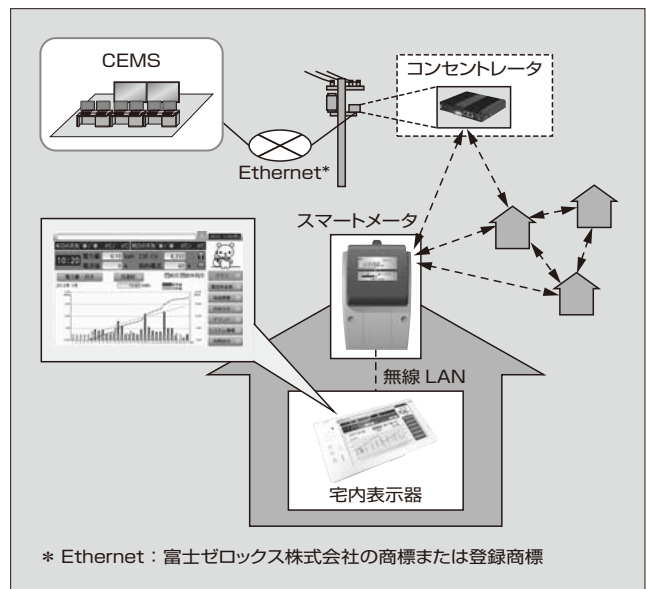


図 5 スマートメータのシステム構成

需要家への導入と今後の規模拡大に柔軟に対応することを配慮し、メッシュ無線通信方式を採用した。これにより、通信ネットワークの各戸への引き込みコストを低減すること、ならびにマルチホップ機能による通信ルートの変更やメータの増設に柔軟に対応することが可能となる。

CEMS からのダイナミックプライシング情報は、スマートメータを経由し、無線 LAN により宅内表示器に表示される。宅内表示器では、この他に地域全体のエネルギー需給状況および需要家個人のエネルギー使用状況を表示し、需要家が自らの判断で地域のエネルギー需給に関わるための情報を提供している。スマートメータ本体では 30 分値の電力量データを 44 日分保持する。日本電気計器検定所 (JEMIC: Japan Electric Meters Inspection Corporation) の型式認定を取得しており、電気料金取引に使用することができる。

2013 年 3 月現在、スマートメータは低圧用を 225 世帯、高圧用を 50 事業所に設置しており、地区内のほとんどの需要家に展開している。

#### (4) 需要家 EMS

需要家 EMS は、需要家内に設置された設備に関するエネルギーの最適計画を立案するとともに、CEMS にその計画情報を伝送する。CEMS からの情報 (料金テーブル) により、計画を変更し、その計画に基づいて運用することでダイナミックプライシングに対応する。

2013 年 3 月現在、HEMS は 10 世帯に導入、BEMS と FEMS はテナント・オフィスビル、業務用ビル、企業単身寮、病院、工場、市立博物館、商業施設など 8 か所に導入されている。

### ③ デマンドレスポンス制度設計

本実証におけるデマンドレスポンスは、ダイナミックプライシング (DP: Dynamic Pricing) とインセンティブプ

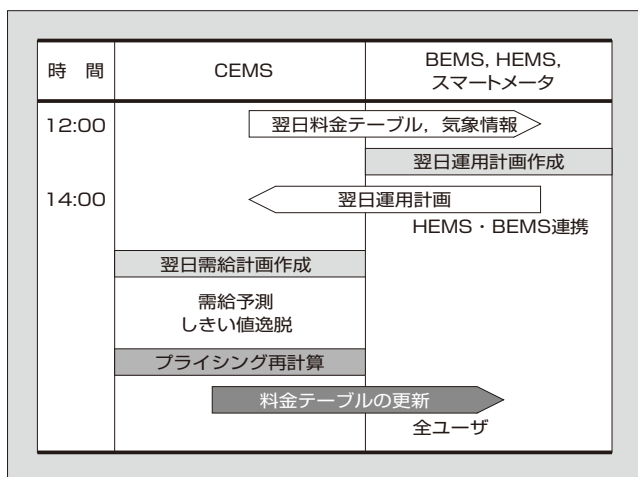


図6 ダイナミックプライシングの実施例

プログラム (IP : Incentive Program) の二つの手法を組み合わせて実施している。

ダイナミックプライシングは、電気料金単価をピーク時間帯に変化させることで、料金単価をトリガとして需要家の反応を得る手法である。ダイナミックプライシングの制度は、次の3種類としている。

(1) ベーシックプライシング

年度初めに設定するもので、過去の電力需要実績などから、当該年度の基本となる季節別時間帯別単価パターンを決定し、需要家に通知する。

(2) リアルタイムプライシング

翌日の気象予報などによる再生可能エネルギーの発電量や需要の予測に基づき、あらかじめ定めた係数をベーシックプライシング単価に乗じて翌日の単価を設定し、通知する。

(3) クリティカルピークプライシング

前日までに予測し得なかった状況変化 (再生可能エネルギーの発電量の大幅な変動、電力需要の大幅な変動など) が発生した場合に、あらかじめ設定した緊急時単価パターンに基づき単価を通知する。

図6にダイナミックプライシングの実施例を示す。CEMSでは当日に翌日の需要予測を行い、翌日料金テーブルを需要家EMS, スマートメータに配信する。これを基に需要家EMSにおいて翌日の運用計画を作成し、CEMSに返信する。この情報を基に翌日の料金テーブルを確定する。

4 ダイナミックプライシング社会実証

4.1 ダイナミックプライシング社会実証設計

2012年度から、時間帯別に電気料金単価を変更するダイナミックプライシングによるデマンドレスポンスの社会実証が行われている。実証試験は一般家庭向けと事業所向けがあるが、本稿では一般家庭向けの実証結果について報告する。

実証試験は、一般家庭を無作為抽出により、コントロー

ルグループ (デマンドレスポンスを実施しない) とトリートメントグループ (デマンドレスポンスを実施する) に分けて行われた。これは、米国エネルギー省のガイドラインにも記載されて無作為化比較試験 (RCT : Randomized Controlled Trial) の手法にのっとったものである。コントロールグループとトリートメントグループの両者を比較することで、ダイナミックプライシング適用の効果を分析することが可能となる。

ダイナミックプライシングの料金制度は、夏季や冬季などの電力需給逼迫 (ひっばく) が予想される日に、電力需要のピーク時間帯に限定して料金を高く設定するクリティカルピークプライシングが基本となっている。今回の試験では、料金水準と需要削減効果の関係を求めるためにピーク時間帯の料金水準を5段階に変化させる変動型クリティカルピークプライシングを実施した。

図7に実証試験における電気料金体系 (夏季および冬季) を示す。コントロールグループには、通常の時間帯別料金であるベーシックと呼ばれる料金が適用された。一方で、トリートメントグループには、ベーシックとは異なる時間帯別料金を適用するとともに、ピーク時間帯においてレベル1 (15円/kWh) ~レベル5 (150円/kWh) の料金が適用された。ピーク時間帯は、夏季は昼間の13:00 ~ 17:00とし、冬季は朝の8:00 ~ 10:00および晩の18:00 ~ 20:00とした。

なお、夏季試験 (6 ~ 9月) では最高気温予報が30℃以上の平日に、冬季試験 (12 ~ 3月) では最低気温予報

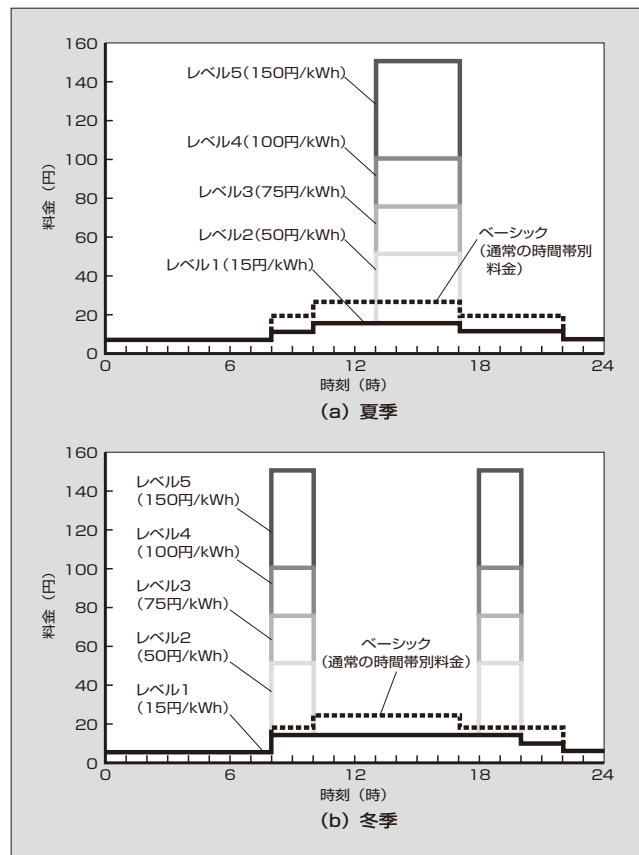


図7 ダイナミックプライシングの料金体系

が5℃以下の平日に、レベル2～5をランダムに実施した。

## 4.2 ダイナミックプライシング社会実証結果

### (1) 夏季試験結果

表1に、夏季期間内に実施したデマンドレスポンスの日数を示す。6月は最高気温予報が30℃以上の日がなくデマンドレスポンスは実施されなかったが、7～9月にかけて、レベル2～5の各レベルについて10日ずつ、合計で40日実施された。図8は、デマンドレスポンスを実施しなかった7月10日のコントロールグループとトリートメントグループの需要曲線（平均値）を比較したものである。両グループの需要はほぼ一致しており大きな差異は見られなかった。これは無作為抽出によるグループ化が適正に行われたことを示している。

表1 デマンドレスポンス実施日数（夏季）

| デマンドレスポンス | 料金水準 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|-----------|------|----|----|----|----|
| なし        | レベル1 | 30 | 16 | 11 | 25 |
| 実施        | レベル2 | 0  | 4  | 4  | 2  |
|           | レベル3 | 0  | 4  | 5  | 1  |
|           | レベル4 | 0  | 4  | 5  | 1  |
|           | レベル5 | 0  | 3  | 6  | 1  |

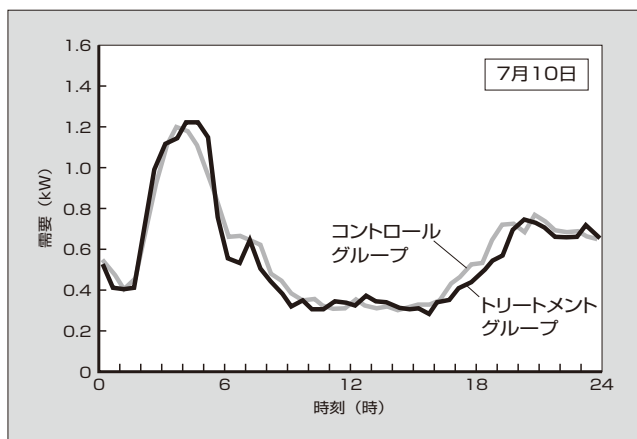


図8 デマンドレスポンスなしの需要曲線の比較

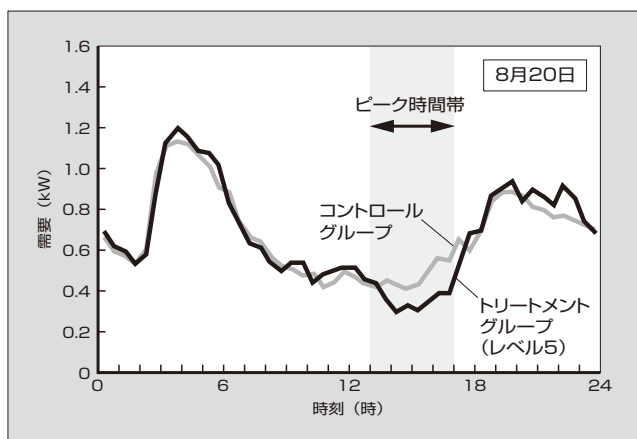


図9 デマンドレスポンス実施時の需要曲線の比較

一方、図9は、トリートメントグループにレベル5のデマンドレスポンスを実施した8月20日の両グループの需要曲線を比較したものである。電気料金が高くなるピーク時間帯において、トリートメントグループの需要が低下していることが確認できた。このような需要曲線の変化傾向はレベル2～5の全てで観察され、デマンドレスポンスによる一般家庭における需要削減効果が確認できた。次にデマンドレスポンスと気温の関係について解析を行った。図10は、トリートメントグループについて、16:00における需要をその日の最高気温に対してプロットしたものである（7～9月）。デマンドレスポンスを実施しなかったレベル1については、需要と最高気温の間に相関が見られ、最高気温が高くなるほど需要が大きくなる傾向であった。これは、夏季の主な需要要因が冷房機器であることを示唆している。

一方、デマンドレスポンスを実施したレベル2～5については、レベル4で需要と最高気温の間に相関が見られたものの、他のレベルでは統計的に有意な相関は見られなかった。これは、最高気温以外の因子が需要に影響しているためと考えられる。

デマンドレスポンスのレベルと需要削減効果の関係については、京都大学の依田教授を中心とした研究メンバーが、トリートメントグループとコントロールグループとを比較する計量経済分析の手法により解析を行った。図11は、

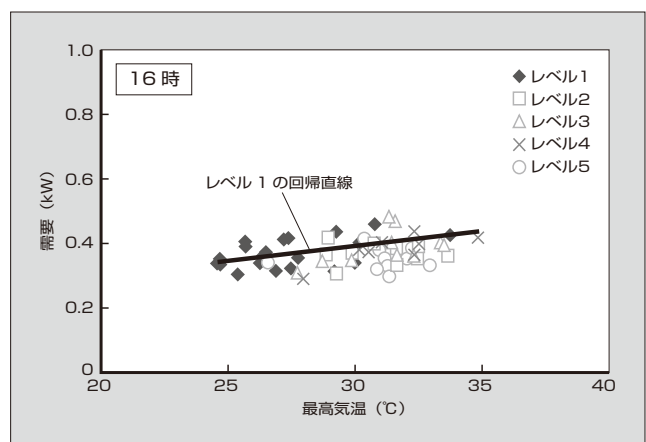


図10 日最高気温と16時の需要との関係

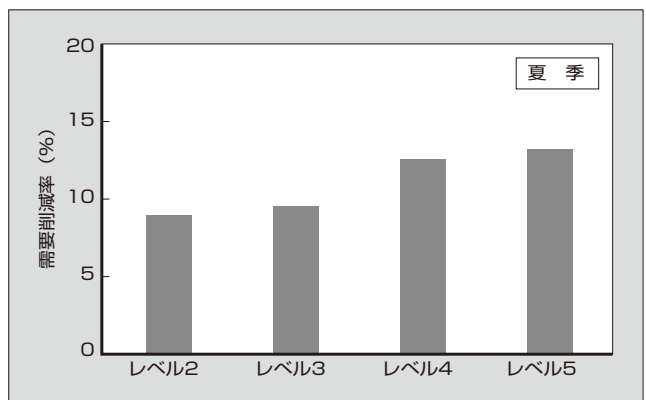


図11 需要削減率（夏季）



その解析結果を各レベルのピーク時間帯における需要削減率として示したものである。需要削減率は、各レベルに応じて約9～13%となりレベルが上がるほどその効果も大きくなる傾向があり、デマンドレスポンスの有効性を示す結果となった。

(2) 冬季試験結果

表2に、冬季期間内に実施したデマンドレスポンスの日数を示した。12～2月にかけて、レベル2～5の各レベル10日もしくは11日のデマンドレスポンスを実施し、期間合計で42日実施した。なお、3月は気温5℃以下の日があったが、デマンドレスポンスは実施しなかった。

冬季試験においても、デマンドレスポンスを実施しない場合は、トリートメントグループとコントロールグループの需要曲線はほぼ一致していた。

一方、図12は、トリートメントグループにレベル5のデマンドレスポンスが実施された1月28日の両グループの需要曲線を比較したものである。電気料金が高くなる朝晩二つのピーク時間帯において、トリートメントグループの需要が低下していることが確認できた。また、晩についてはデマンドレスポンスが終了した20時以降に需要が増大する挙動が見られ、電力を使う時間をシフトさせている可能性が示唆された。このような需要曲線の変化傾向は、レベル2～5の全てで観察され、冬季試験においても夏季試験と同様にデマンドレスポンスによる需要削減効果が確認できた。

図13は、トリートメントグループについて、9:00における需要をその日の最低気温に対してプロットしたものである。デマンドレスポンスを実施しなかったレベル1については、需要と最低気温の間に相関が見られ、最低気温

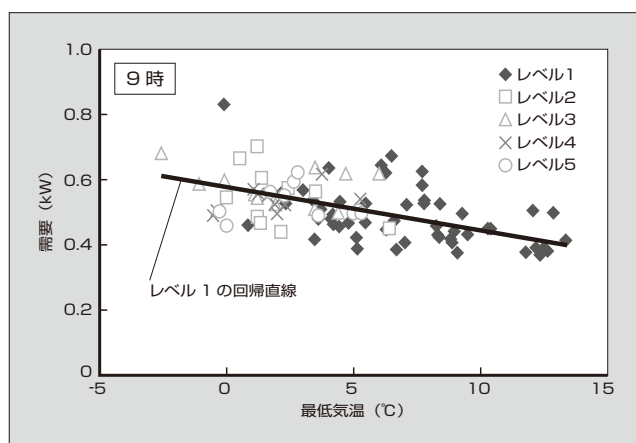


図13 日最低気温と9時の需要との関係

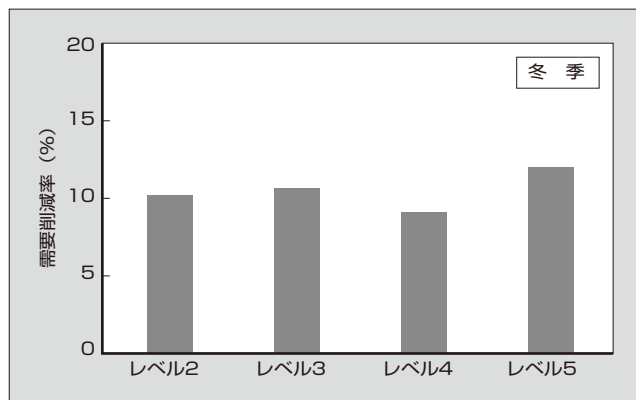


図14 需要削減率 (冬季)

表2 デマンドレスポンス実施日数 (冬季)

| デマンドレスポンス | 料金水準 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
|-----------|------|-----|----|----|----|
| なし        | レベル1 | 18  | 14 | 16 | 31 |
| 実施        | レベル2 | 3   | 4  | 3  | 0  |
|           | レベル3 | 4   | 3  | 4  | 0  |
|           | レベル4 | 3   | 5  | 3  | 0  |
|           | レベル5 | 3   | 5  | 2  | 0  |

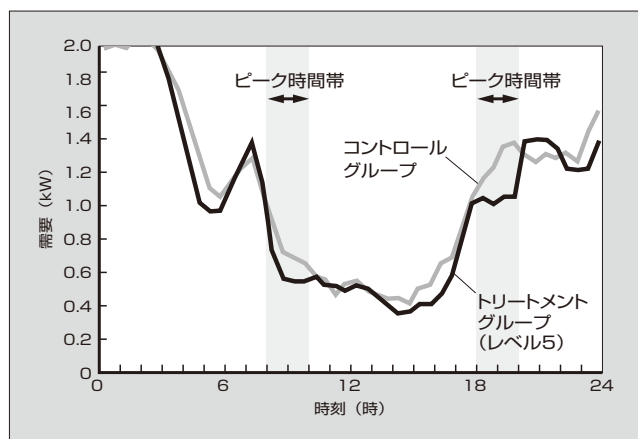


図12 需要曲線の比較 (1月28日, レベル5)

が低くなるほど需要が大きくなる傾向であった。これは、冬季の主な需要要因が暖房機器であることを示唆している。一方、デマンドレスポンスを実施したレベル2～5については、需要と最低気温の間に統計的に有意な相関が見られず、最低気温以外の因子が需要に影響していると考えられる。

図14は、京都大学の依田教授を中心とした研究メンバーが解析した各レベルの需要削減率(朝と晩のピーク時間帯の合計)を示したものである。需要削減率は約9～12%となり、冬季についても夏季と同程度の需要削減効果が得られた。

5) ダイナミックプライシング社会実証成果の展開

今回のダイナミックプライシング社会実証で、料金水準が上がるほどピークカット効果は大きくなるが、効果の伸びは減速傾向にあることが分かった。今後この成果を含めたデマンドレスポンスの仕組みを国内外に展開するためには、次の取組みが必要であると考えられる。

(1) デマンドレスポンス制度検討

デマンドレスポンスの制度については、現状は実証レベルにあるが、東日本大震災とそれに続く原子力発電所の停止によりその必要性が増大している。今後、社会インフラとしてその制度を継続的に定着させるためには、事業者や

需要家の協力が必要となる。デマンドレスポンスの制度は、国レベルの明確なエネルギー政策の下、事業者の創意工夫が生かされる形で普及していくことが望ましいと考える。

## (2) デマンドレスポンスの標準化

デマンドレスポンスの標準化は、経済産業省が中心となりスマートコミュニティアライアンス（JSCA）の“スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会”<sup>(4)</sup>の“デマンドレスポンスタスクフォース”で作業を進めている。標準化は、国際オープン標準を推進する国際コンソーシアムOASISが、エネルギー企業間のシステムの相互運用標準を定めたEI（Energy Interoperation）1.0で検討しているOpenADR（Open Automates Demand Response）をベースに推進作業を進めている。OpenADRはデマンドレスポンスの標準通信規格であり、OpenADRアライアンス（本部：米国カリフォルニア州パロアルト）が認証プログラムの開発と認証機関を行い、OpenADR準拠のシステムや製品の今後の普及を見据えた活動を行っている。

わが国もOpenADRを標準通信規格としたデマンドレスポンスサービス事業の展開を早急に展開する必要がある。

## (3) セキュリティの確保とプライバシー保護

デマンドレスポンスは、セキュリティやプライバシー保護に関する信用を得られなければ、実現は困難である。米国では、一部の州で部分導入が開始されていて、電力使用データが漏えいすると個人の生活パターンが明らかになる恐れがあるという点が指摘されている。また、スマートメータやそれらを管理するマネジメントシステムに外部から侵入があった場合、社会的な影響が大きく、セキュリティ強度の高いデマンドレスポンス・ネットワークを構築する必要がある。米国エネルギー省は、2011年に“エネルギー供給システムにおけるサイバーセキュリティ確保のための2011年ロードマップ”を発表し、安全なエネルギー供給システムを開発していくための、今後10年間にわたる戦略的枠組みを示している。

## 6 あとがき

本稿では、北九州市における2012年度のダイナミックプライシング社会実証の結果を中心に述べた。富士電機は、2014年度までの実証期間に、デマンドレスポンスの制度についてさまざまな検討および実証を行い、国内外の多種多様な地域に展開できる新しい社会システムの実現に貢献していく。

## 参考文献

- (1) “スマートメーターの最近の動向について”. 経済産業省. [http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011\\_03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011_03_00.pdf), (参照 2013-6-28).
- (2) 依田高典ほか. 北九州市における変動型CPP社会実証—2012年度夏季評価結果—. 北九州市プレスリリース. <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/files/000128666.pdf>, (参照 2013-6-28).
- (3) 依田高典ほか. 北九州市における変動型CPP社会実証—2012年度冬期評価結果速報—. 北九州市プレスリリース. <http://www.city.kitakyushu.lg.jp/files/000141802.pdf>, (参照 2013-6-28).
- (4) “スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会について”. 経済産業省.



### 大賀 英治

エネルギー管理システムの企画・開発・エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部電力流通システム部担当課長。



### 樺澤 明裕

デマンドレスポンスに関する研究・開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部主査。博士（工学）。



# 製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システム

## Energy Optimization System for Cogeneration Plant of Paper Factory

竜田 尚登 TATTA Naoto

金平 芳司 KANEHIRA Yoshiji

コージェネレーション設備は、製紙工場の操業に必要な蒸気や電力を供給するものである。富士電機は、製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システムを開発し、納入した。変動が大きい工場の電力負荷や蒸気負荷、廃熱回収ボイラの発生蒸気量など設備の状態を監視し、電力・蒸気の需給バランスに応じてリアルタイムで最適運転を行う。蒸気余剰時には契約受電電力の上限を超えないように、また、蒸気不足時には逆潮流しないようにぎりぎりの負荷で自動運転を行うことで、システム導入費用を1年で回収できることを確認した。

A cogeneration plant provides steam and electric power required for paper factories. Fuji Electric has developed and delivered an energy optimization system for the cogeneration plant of a paper factory. The system is capable of monitoring the state of various facilities, including power/steam loads and the amount of steam produced by an exhaust-heat recovery boiler, which fluctuate greatly in the factory. The system can thus optimize the operation in real time according to the supply-demand balance of power and steam. Since the system automatically optimizes loads so that contracted electricity limits are never exceeded at times of excessive steam loads, while also ensuring that there is no inverse power flow during times of steam shortages, the cost of installing the system can be confirmed to be recovered in one year.

### 1 まえがき

コージェネレーション設備は、1980年代に普及が始まった。電力需要が伸びる中で、省エネルギー（省エネ）・省コストを図る設備として、ボイラなどの設備更新や、重油から天然ガスへのエネルギー転換のタイミングで導入され、工場や業務用施設などで幅広く利用されている。近年、原油価格の高騰などにより、コージェネレーション設備の導入は伸び悩んでいたが、東日本大震災以降、需要家自らが電力を確保することを重視して、コージェネレーション設備を導入するケースも増えている。

本稿では、製紙工場のコージェネレーション設備の省エネ運用をより最適に運転するシステムを提案し、受注、開発、納入したので、その概要について述べる。

### 2 コージェネレーション設備

#### 2.1 コージェネレーション設備の概要

エネルギー最適運転システムを納入した製紙工場におけるコージェネレーション設備の概要を、図1に示す。この設備は、ガスタービン、発電機、排ガスボイラ、蒸気タービン、発電機、廃熱回収ボイラ、補助ボイラなどから構成されている。排ガスボイラは追いだきが可能な構造になっている。

工場で消費する電力（工場電力負荷）は、電力会社からの受電電力と、工場に設置されたガスタービン・発電機および蒸気タービン・発電機による発電電力とで賄われている。工場で消費する蒸気（工場蒸気負荷）は、蒸気タービンからの排気蒸気、廃熱回収ボイラの蒸気および補助ボイラの蒸気で賄われている。

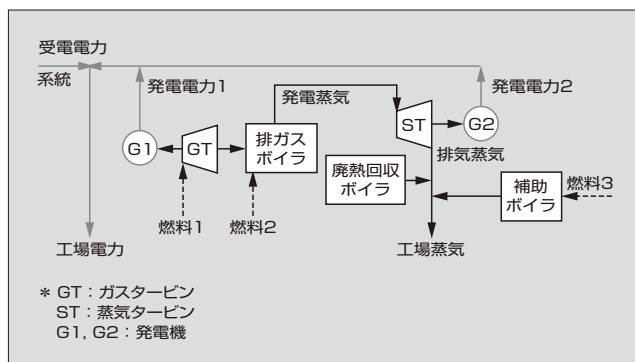


図1 コージェネレーション設備の概要

#### 2.2 コージェネレーション設備の運用

工場電力負荷や工場蒸気負荷は、工場の操業状態や季節により大きく変動する。同様に、廃熱回収ボイラの発生蒸気量も変動する。工場で大きく変動する電力・蒸気の需要に対し、遅滞なく過不足なく供給することが設備の運用の最優先事項となる。

工場蒸気負荷と蒸気の供給の状態により、次に示すように大きく三つのパターンで設備を運転し、運用している。

##### (1) 通常運転時

工場操業レベルが通常るときは、供給電力と発生蒸気量のそれぞれが、工場側の電力負荷や蒸気負荷とバランスしており、ガスタービンを最大負荷で運転し、蒸気タービンを背圧運転モードにして蒸気供給を自動調整する。

工場電力負荷がやや小さくなると受電電力を監視し、できるだけ逆潮流しないようにして無駄な発電を避けている。

##### (2) 蒸気余剰時

工場操業レベルがやや低いときは、工場蒸気負荷が下がり、廃熱回収ボイラが稼動すると蒸気が余剰になる。この

ようなときには、やむを得ず余剰蒸気を放出（放蒸）する。放蒸する量を少なくするため、蒸気タービンの排気蒸気量を一定にする出力運転モードとし、放蒸弁で圧力制御を行って運転している。発電量は減少するので、デマンドオーバー<sup>(注)</sup>にならないように監視している。

(3) 蒸気不足時

工場操業レベルが通常でも廃熱回収ボイラが停止し、短時間ではあるが工場蒸気が不足することがある。このようなときは補助ボイラを稼働させ、不足蒸気を補って運転している。蒸気タービンは背圧運転モードで運転している。発電量が増加するので逆潮流しないように監視している。

3 エネルギー最適運転システム

3.1 エネルギー最適運転システムの構成

今回導入したエネルギー最適運転システムの構成を図2に、機能を表1に示す。

本システムは、コージェネレーション設備の稼働状況のデータを既設のデータ収集PLCを介して収集している。データの蓄積・解析には富士電機の製造・エネルギー分析支援パッケージ「MainGATE<sup>(1)</sup>」を導入し、使用している。

エネルギー最適運転システム操作盤には3種類の最適運転モード（通常運転時の最適化、蒸気余剰時の最適化、蒸気不足時の最適化）スイッチがあり、いつでも入り切りができる。操作盤の画面にはコージェネレーション設備の状態や現在値などを表示し、本システムの運転状態が一目で分かる。また、チューニング用パラメータは全て画面から設定、変更でき、調整が容易にできる。本システムからの出力を、既設のガスタービンと蒸気タービンの各遠方制御盤および補助ボイラ流量調節計に直接入力している。

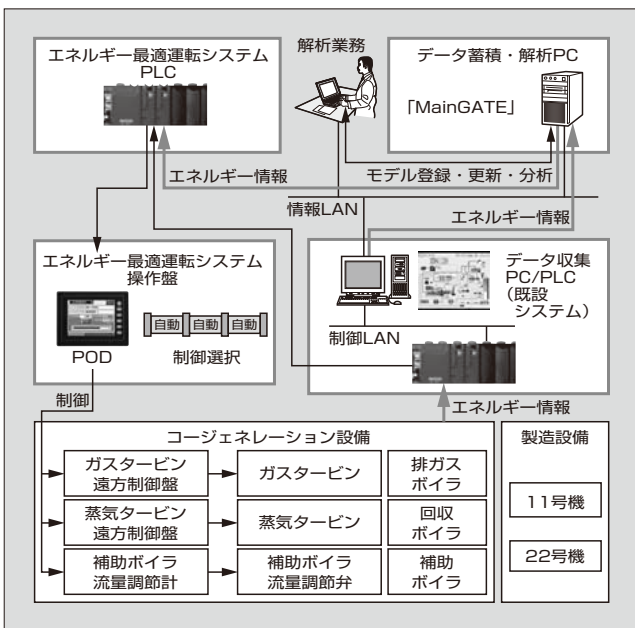


図2 エネルギー最適運転システムの構成

〈注〉 デマンドオーバー：契約受電電力量上限を超えること

表1 エネルギー最適運転システムの機能

| 装置               | 機能   |
|------------------|--|
| データ蓄積・解析PC       | 収集したデータを蓄積・表示し、見える化を促進する。  |
|                  | 収集したデータからボイラ、タービン特性を推定する。  |
| エネルギー最適運転システムPLC | 通常運転時の最適化<br>(既設ガスタービン遠方制御盤に、<br>負荷の上げ・下げ信号などを入力する。)                 |
|                  | 蒸気余剰時の最適化<br>(既設蒸気タービン遠方制御盤に、<br>負荷の上げ・下げ信号などを入力する。)                 |
|                  | 蒸気不足時の最適化<br>(補助ボイラ流量調節計に、設定値などを入力する。)                               |
| エネルギー最適運転システム操作盤 | 自動運転の入り切りを操作する。<br>自動制御の場合、必要な情報をPODに表示する。<br>定数やパラメータの設定値をPODで入力する。 |

3.2 エネルギー最適運転システムの特徴

最適運転とは、デマンドオーバーや逆潮流をさせず、放蒸量をなくし、安価な燃料を選択し、かつ燃料使用量を削減することである。ただし、実際に運用しようとする、常時監視が必要になったり、運転員の個人差が出たりして簡単には実現できない。エネルギー最適運転システムにより、自動運転を行うことで、大きな省エネ効果と運用効果が期待できる。

本システムには、次に示すソフトウェアとハードウェアの機能上の特徴がある。最適運転をリアルタイムで行う、安全性にも十分配慮したシステムであり、また、既設のガスタービン、蒸気タービンの計装制御装置を活用した最適運転を実現している。

(1) ソフトウェアにおける機能上の特徴

既設のガスタービン、蒸気タービンおよび排ガスボイラには、それぞれの制御をつかさどる既設の制御系がある。

本システムは、これらの系に対して設定値を与える設定制御（SPC：Set Point Control）システムとして位置付けた。既設の計測制御装置を活用するという観点と安全性の観点から、下位制御系に設定値そのものを与える位置形のSPCではなく、現在の設定値からの差分を与える速度形のSPCとした。このことから、本システムに異常が発生した場合、本システムを切り離すことにより、安全にコージェネレーション設備の運転継続ができる。

アルゴリズムにはヒューリスティクス手法を用い、既設計測制御装置からの該当するプロセス値によって最適値に近づけていくことを実現している。エネルギー最適運用支援パッケージ「FeTOP」などを用いたシミュレーションを実施しながらアルゴリズムの有効性を確認している。

(2) ハードウェアにおける機能上の特徴

既設のガスタービンと蒸気タービンには、専用の制御装置に付加してオペレータが運転しやすいように遠方制御盤が設置されている。この盤を本システムからのパルス信号を受けられるように変更することで、活用できるようにした。また、既設システムと併用できるため、本システムを使用しない場合は、既設の制御装置と遠方制御盤により、



従来の運転と運用が継続できる。本システムは省エネルギーを実現するシステムであり、緊急時などには機能を停止させ、直ちにオペレータによる運転に切り替えられるようにしている。

#### 4 導入効果

導入効果の試算を行うことにより、システムの規模や回収期間が推定できる。導入可否の判断などに大きな影響を与えるため、本システムのような最適運転システムでは導入前の効果試算が非常に重要である。同様に、導入後の効果の実績の検証も必要である。

##### 4.1 導入効果の試算

富士電機では、FeTOP を用いる際に、導入効果を試算する手順を標準化しており、今回もこの方法を活用した(図3)。

顧客からコージェネレーション設備の運転状態を表す時系列データの提供を受け、コージェネレーション設備の最適化モデルを使って最適化計算を行い、さまざまな条件で効果試算を行った。このコージェネレーション設備では、富士電機のデータ収集システム「BEST」により時系列データの採取が容易であった。これにより比較的短期間で効果的、効率的に効果試算を行うことができた。

これを基に、次に示す三つの運転パターンにおいてそれぞれの問題点と解決策を明らかにした。

##### (1) 通常運転時

工場電力負荷の減少時、ガスタービンを最大負荷で運転すると逆潮流が発生する。逆潮流を避けるためガスタービンの負荷を下げるが、受電電力を常時監視しながら設定し、運転することは難しい。このため、ガスタービン負荷を下げて、結果的に受電電力を必要以上に増加させて運転していた。

電力負荷をリアルタイムに予測し、ガスタービンを逆潮流しないぎりぎりの負荷で自動運転を行うことにより、受電電量を削減できる。

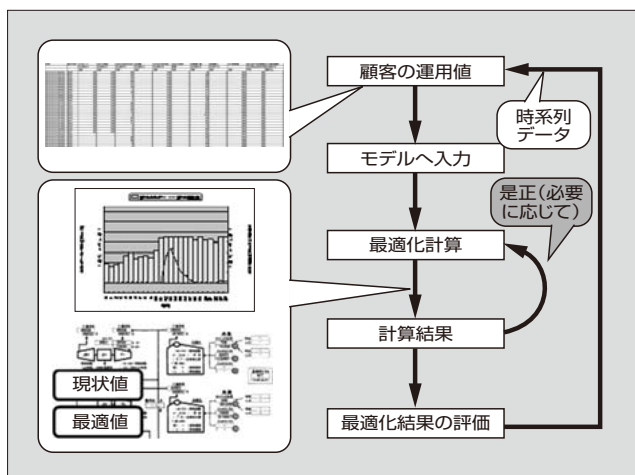


図3 導入効果試算の手順

##### (2) 蒸気余剰時

放熱量を減らすためには排ガスボイラの負荷を最小にして運転したい。このためには出力運転モードになっている蒸気タービンの出力設定値を、排ガスボイラの圧力変動などを監視しながら設定し、運転しなければならない。

しかし、常時監視しながら運転することは困難なため出力設定値が少し高めとなり、放熱量を減らすことができない運転をしていた。

排ガスボイラの負荷を安全に最小負荷近辺で自動運転を行い、放熱量を減らすことにより、排ガスボイラの燃料費用を削減できる。

##### (3) 蒸気不足時

省エネの観点からは補助ボイラの蒸気量を最少としたい。そのためには排ガスボイラの負荷を最大としたいが、蒸気タービンは背圧制御モードに入っているため排ガスボイラは流量変動を常に受けている。この状態で排ガスボイラの負荷を最大とするのはリスクも大きく、常時監視も必要となる。常時監視運転が困難なため、補助ボイラの負荷を多めにして運転していた。

排ガスボイラを安全に最大負荷近辺で自動運転を行うことにより、補助ボイラの燃料費用を削減できる。

これらの各運転パターンを基に解決策からそれぞれの口スを金額に換算し、年間で節約可能な金額を算出した。

効果試算の結果を合算すると、LNG 換算原単位を年間平均  $1.5 \text{ Nm}^3/\text{t}$  紙程度減少できる見通しを得た。これは、システム導入費用を2年で回収できるほどの効果になる。

##### 4.2 導入効果の実績

本システムによる導入効果は、全パターンを合算すると LNG 換算原単位が年間平均  $3.0 \text{ Nm}^3/\text{t}$  紙以上減少することを確認している。これは導入前の効果試算の約2倍の効果である。システム導入費用を1年で回収することに相当する。この理由として、次の3点が挙げられる。

(a) 蒸気余剰時は蒸気の発生を抑えるため、発電量も減少し結果的にデマンドオーバーになりやすい。従来は、これを避けるため発電量を必要以上に上げて運転していた。本システムでは、通常運転時の機能を拡張し、ガスタービンをデマンドオーバーにならないぎりぎりの負荷で自動運転することにより、燃料費用を削減した。この効果は、本システム導入後の調整運転により見出した。

(b) 蒸気不足時には蒸気の発生を増やすため、発電量は増加し結果的に逆潮流になりやすい。従来は、これを避けるため発電量を必要以上に上げて運転していた。本システムでは、通常運転時の機能をそのまま用いてガスタービンを逆潮流にならないぎりぎりの負荷で自動運転することにより、受電電力量を削減した。この効果も、本システム導入後の調整運転により見出した。

(c) エネルギー最適運転システムのエネルギーデータ解析機能により、早く安全に最適運転状態に近づけるパ

ラメータチューニングが可能となり、最適運転時間をより長く、効果幅をより大きくすることができた。

## ⑤ あとがき

製紙工場におけるコージェネレーション設備のエネルギー最適運転システムについて述べた。本システムは2012年11月に調整引渡しを行い、順調に稼動している。

電力・蒸気を多量に消費する他業種の生産工場のコージェネレーション設備においても、台数、容量の違いはあるものの、タービン、発電機、ボイラからなる構成および負荷パターンはほぼ共通である。したがって、本稿で述べた内容は、さまざまな業種の生産工場のコージェネレーション設備へ適用できる。

今後、スマートコミュニティのコンセプトが実現されていく中で、コージェネレーション設備を持った工場もコミュニティの一員として、周囲との協調やエネルギーのピークカットなど、より高度なエネルギー管理が求められていくと思われる。今後とも、本システムを活用したさらなる省エネルギー操業、運転の検討を進めるとともに、新しいエネルギー管理システムの検討も進

めていく所存である。

## 参考文献

- (1) 東谷直紀ほか. 省エネルギー活動を支援するエネルギー管理ソリューション. 富士時報. 2011, vol.84, no.4, p.234-238.
- (2) 小出哲也ほか. エネルギープラントの最適運用システム. 富士時報. 2008, vol.81, no.2, p.130-134.



### 竜田 尚登

製造管理・エネルギー管理・監視制御システムの企画・開発・技術に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部機電システム事業部FEMS技術部課長補佐。エネルギー管理士。



### 金平 芳司

地方拠点において産業・社会インフラプラント向けサービスソリューション業務に従事。現在、富士電機株式会社営業本部中国支社課長補佐。



# 製鉄所のエネルギー管理を最適化する「鉄鋼 EMS パッケージ」

“Steel EMS Package” Optimizing Energy Management at Steelworks

鳴海 克則 NARUMI Katsunori

木村 隆之 KIMURA Takayuki

渡辺 拓也 WATANABE Takuya

製鉄所では“エネルギーセンター”を設置して、多種多量のエネルギーを一元的に管理し、省エネルギー（省エネ）、省力・動力設備の運転合理化および環境管理を総合的に推進している。

富士電機は、エネルギーセンターの基本機能である需給予測と最適化に重点を置き、複雑に絡み合う製鉄所内のエネルギー管理とエネルギーの運用効率を向上させてトータルエネルギーコストを削減するために、「鉄鋼 EMS パッケージ」を開発した。このパッケージは、数時間先や日間・月間のエネルギー変動を予測し、エネルギー生産設備の最適運用を行うことで、製鉄所全体の省エネに貢献する。

With the installation of an “energy center” and the central management of various types of large quantities of energy at a steelworks, a comprehensive approach to energy savings, increased operational efficiency of labor saving and motive power equipment, and environmental management is being promoted.

Focusing on supply-demand forecasting and optimization, which is a basic function of an energy center, Fuji Electric has developed a “Steel EMS Package” for improving energy management and operational efficiency, which are complexly intertwined within a steelworks. This package forecasts the energy fluctuation for several hours in advance or makes daily or monthly forecasts, and optimally operates the energy production equipment so as to contribute to energy saving throughout the steelworks.

## 1 まえがき

わが国のエネルギー総消費量の10%以上を占める鉄鋼業では、“省エネルギー対策”が、エネルギー・環境問題を解決する上での最重要課題として捉えられている。

製鉄所では、“24時間365日安定的に操業するため、エネルギーを的確に監視・制御すること”“使用するエネルギーのトータルコストを削減するために最も効率的に運用すること”が重要不可欠である。多種多量のエネルギーの一元管理を行い、省エネルギー（省エネ）、省力化・合理化および環境管理などを総合的に管理することを目的として、“エネルギーセンター”を設置して運用している。

富士電機がお客さまと共に世界に先駆けて構築してきたこのエネルギーセンターにおいて、エネルギー管理を最適化する「鉄鋼 EMS パッケージ」を開発した。

## 2 エネルギーセンター

### 2.1 エネルギーセンターの目的

エネルギーセンターの目的には、次の四つがある。

#### (1) エネルギーの安定供給

生産に必要なエネルギーは一定量ではなく、生産状況により大きく変動する。このため変動するエネルギー需要を常に監視し、的確に制御することが必要である。

#### (2) 省エネ

製鉄所内で、複雑に絡み合う購入エネルギー（ガス、酸素、電力など）と副生エネルギー（副生ガス、蒸気、電力など）の需要と供給をバランスさせ、最も効率的に運用することで無駄なエネルギーを削減することが重要な役割である。

#### (3) 省力化・合理化

エネルギー設備の監視・操作の一元管理を行うことや、エネルギー設備の運転の自動化が必要である。

#### (4) 環境管理

近年、環境問題が深刻化しており、多くのエネルギーを消費する製鉄所では環境に配慮した設備の導入など、CO<sub>2</sub>の削減に積極的に取り組む必要がある。

### 2.2 エネルギーセンターの基本機能

図1に示すように五つの機能（生産・稼動計画、実績・設備監視、解析・診断、需給予測、最適化）をPDCAサイクルで回すことにより、エネルギーセンターの目的の達成を強力にサポートしている。

#### (1) 生産・稼動計画

生産計画や設備の稼動計画から、エネルギーの安定供給を行いつつ、最も省エネとなるエネルギーの配分計画を立案する。

#### (2) 実績・設備監視

オペレータは操業状態を確認し、生産計画と実績のずれや設備の稼動計画と実績のずれに基づいて、エネルギーの配分の見直しを行う。

#### (3) 解析・診断

工場や製品別にエネルギーの使用量や発生量などの実績を把握し、さらなる省エネの検討を行う。

#### (4) 需給予測

生産計画や設備の稼動計画からのずれを、実績情報を基に自動で判断し、工場や製品別にエネルギー使用量や発生量の実績を使って、数時間先や日間・月間のエネルギー変動を予測する。

#### (5) 最適化

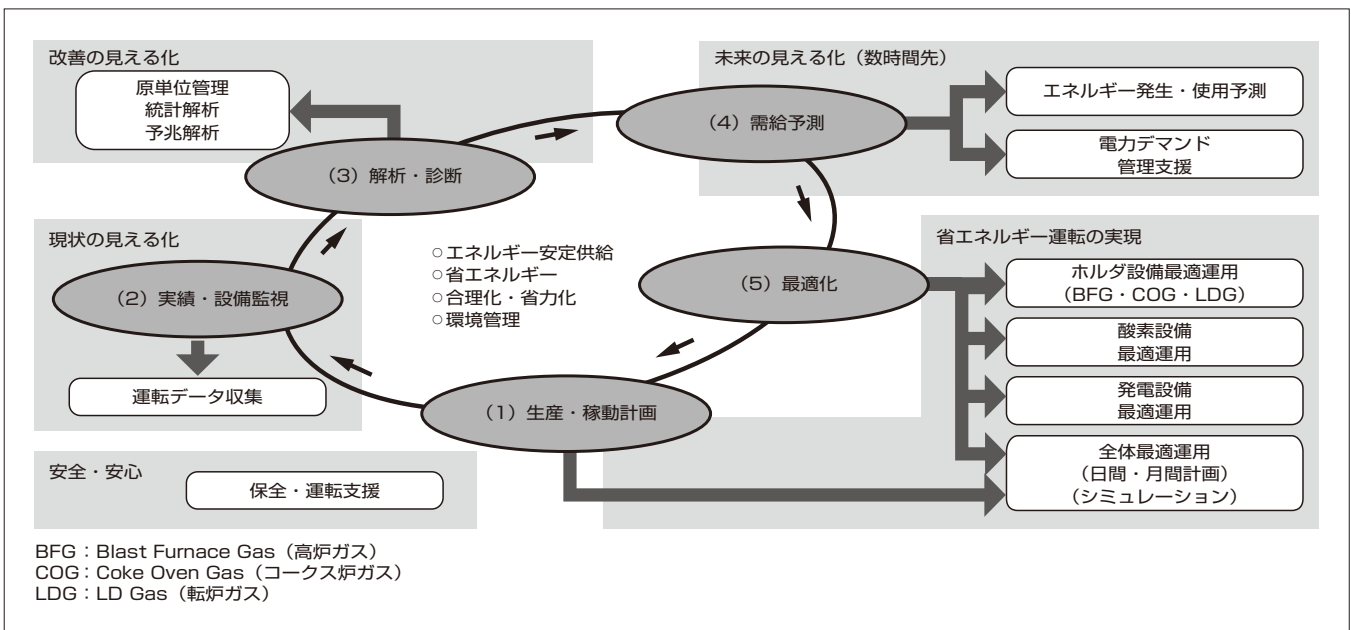


図1 エネルギーセンターの基本機能

エネルギーの予測データからエネルギー生産設備の最適運用計画を立案する。

### 3 鉄鋼 EMS パッケージ

従来は、顧客のニーズに合うようにエネルギーセンターの基本機能を一つ一つつなぎ合わせるような手法で構築していた。しかし、鉄鋼 EMS パッケージは、エネルギーセンターの基本機能の中で、特に重要な“需給予測”と“最適化（ホルダ設備・酸素設備・発電設備・全体）”の機能をさらに強化し、それぞれを統合 EMS プラットフォーム上で動作するパッケージである。必要なパッケージだけをインストールすることで、顧客のニーズに応じたシステムが構築できる。これにより、従来よりも簡単に各機能が実装でき、より柔軟かつ的確なシステムの提供が可能になった（図2）。

鉄鋼 EMS パッケージは、複雑に絡み合う製鉄所内で使用するエネルギーの運用効率をさらに向上させ、トータルエネルギーコストを最大限削減することができる。

統合 EMS プラットフォームは、鉄鋼だけでなく電力や

産業、店舗流通など各分野のエネルギーサプライチェーンに着目し、さまざまな現場ニーズに合った EMS 機能を迅速かつ廉価に提供するために開発されたものである。

### 4 需給予測による未来の見える化

需給予測は、鉄鋼 EMS パッケージにおける重要な基本機能の一つである。DCS (Distributed Control System) からの実績データと MES (Manufacturing Execution System) からの生産・稼動計画データを基にエネルギー変動（副生ガス発生量・負荷量、電力負荷量、蒸気負荷量など）を予測する。

オペレータは、エネルギー変動の見える化によって、先を見据えた運転が可能となり、省エネ運転できる。

#### 4.1 予測機能

##### (1) エネルギー発生・使用予測機能

###### (a) 生産・稼動計画からのエネルギー予測

現場の運転状況と生産・稼動計画にずれが生じた場合は、計画の補正を自動で行うことで精度の高いエネルギー

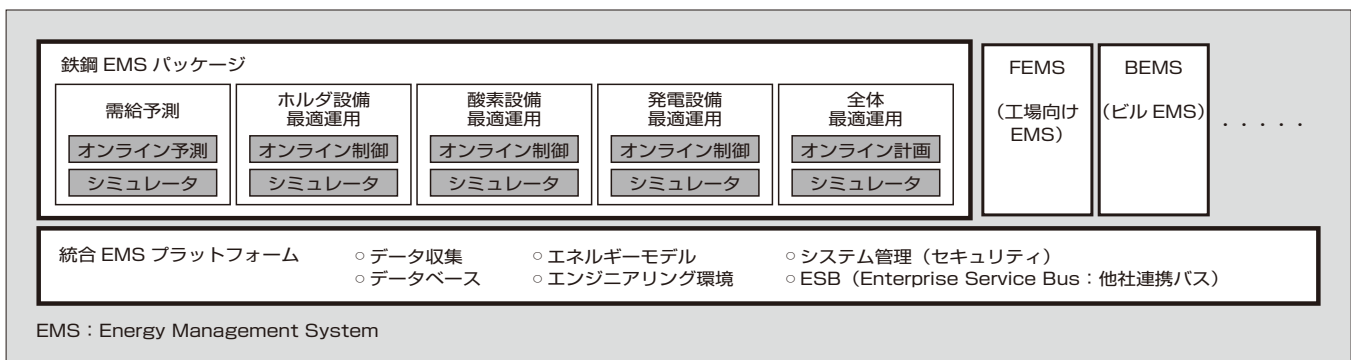


図2 「鉄鋼EMSパッケージ」



ギーの予測値を求めることができる。

(b) エネルギー原単位の作成

実績データから予測に必要なエネルギー原単位を自動で作成する。

(2) 電力デマンド管理支援機能

オペレータは、製鉄所内の各工場の電力使用量の監視を行い、契約値を超えそうな場合は警報を出力し、各工場に生産調整を依頼する。

また、電力会社からの受電量を監視し、契約値を超えそうな場合は、発電設備への出力調整や優先順位に従い工場の生産調整をガイダンスする。オペレータは、ガイダンスに従って該当する工場に生産調整を依頼する。

4.2 予測方式

(1) 稼働計画に基づく予測方式

MESの稼働計画とエネルギー原単位を基に工場やエネルギーの種別ごとのエネルギー需給予測を行う。また、MESの稼働計画と現場の運転状況を比較し、そのずれにより、稼働計画に補正を加える。

(2) 生産計画に基づく予測方式

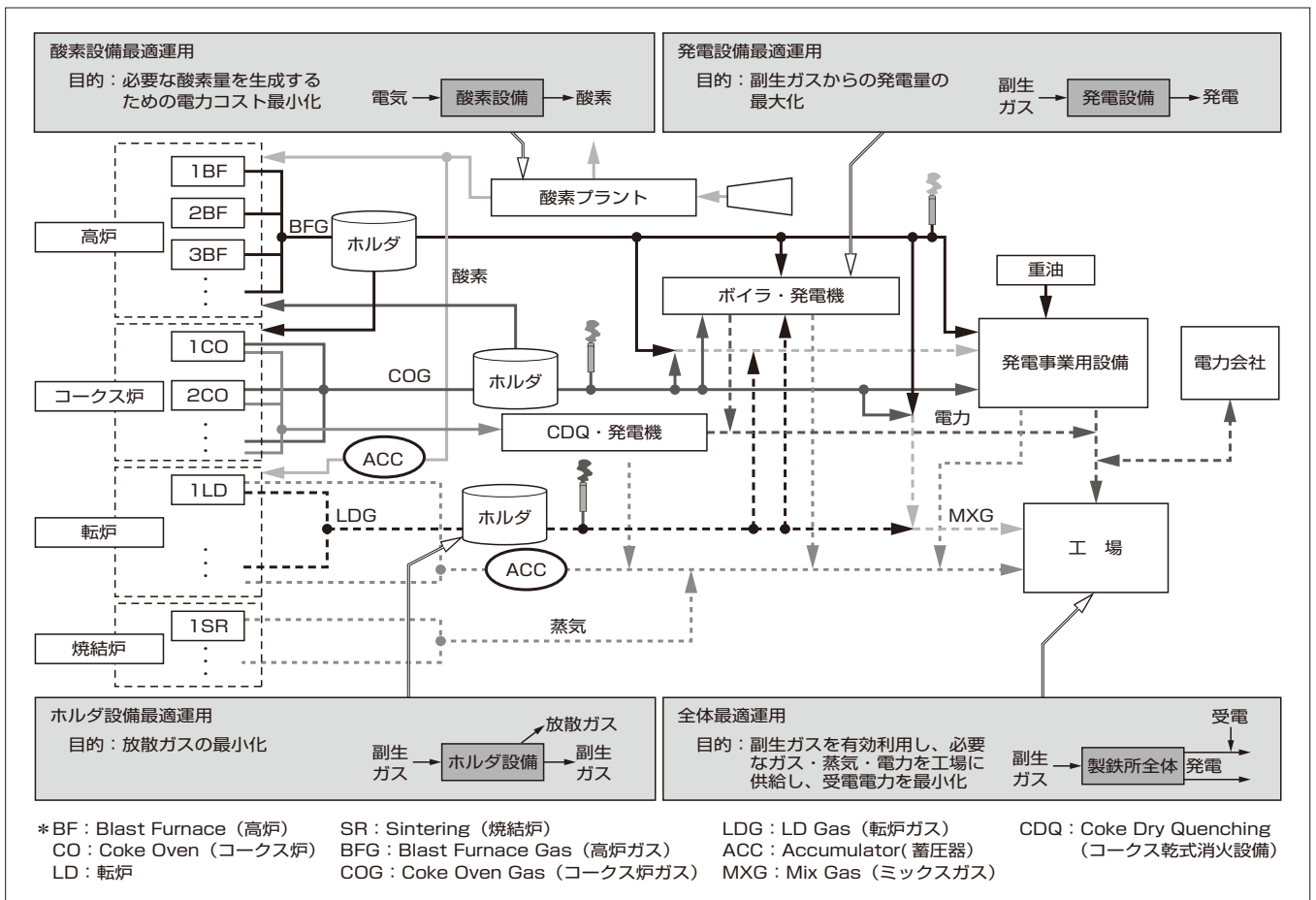
MESの生産計画とエネルギー原単位を基に製品ごとのエネルギー需給予測を行う。また、MESの生産計画と現場の運転状況を比較し、そのずれによって生産計画に補正を加える。

5 最適化による省エネルギー運転の実現

最適化は、鉄鋼 EMS パッケージにおける最も重要な基本機能である。製鉄所に最適化を適用することにより、省エネ運転を実現している。需給予測から求めた予測データ(工場、エネルギー別のデータ)を基に最新のメタヒューリスティクス最適化技術である PSO (Particle Swarm Optimization) 手法を使用し、製鉄所におけるエネルギーコストを最小化している。

最適運用は、製鉄所の中で省エネ効果が特に大きい、ホルダ設備、酸素設備、発電設備を対象とし、加えて全体最適運用(日間・月間計画)がある(図3)。

PSO 手法により、運用設備の最適な運転パターンを自



〈注〉エネルギー原単位:エネルギー効率を表す値である。製品(鋼)の単位生産量に必要な電力・熱(燃料)などのエネルギー量のことであり、一般に、省エネルギーの進捗状況を見る指標として使用される。

動的に抽出し、ロジックで作成した場合に実現できなかった設計外の運転や運転方法に変更が生じた場合なども最適解を求めることができる。設計外の運転とは、数式化できないあるいは複雑な数式になる場合、条件で数式が変わる場合および検証していない場合である。

### 5.1 ホルダ設備最適運用

製鉄所では、多量に発生する副生ガスをホルダに貯蔵し、エネルギー源として利用している。副生ガスのうち、高炉から発生するBFG（高炉ガス）やコークス炉から発生するCOG（コークス炉ガス）は発電用の燃料に、転炉から発生するLDG（転炉ガス）は熱風炉・焼結炉などの燃料として使用されている。最適運用では、この副生ガスの使用先を指示し、ガスの放散量を極力少なくすることでガスの回収効率を高めている。

ガスの回収が増加した分、発電所の購入燃料などが削減できるため、さらなる省エネが実現できる。効果試算では、放散量の90%削減を見込んでいる。

#### (1) COG・BFGホルダの最適運用

4.2節(1)で述べた稼動計画に基づく予測方式で求めたCOGやBFGの発生予測と使用予測を基に最適運用計画を作成し、放散量が最小となるように払出し量を決定する。3時間先まで5分間隔で予測できる。

#### (2) LDGホルダの最適運用

4.2節(2)で述べた生産計画に基づく予測方式で求めたLDGの発生予測と使用予測を基に最適運用計画を作成し、放散量・払出し量変動が最小となるように払出し量を決定する。3時間先まで1分間隔で予測できる。ホルダ設備の最適運用の画面例を図4に示す。

### 5.2 酸素設備最適運用

酸素設備では大気から酸素を取り出して酸素ホルダに蓄え、必要に応じて製鉄所内に送る。最適運用では、予測した必要な酸素量から消費電力を最小化することで省エネを実現している。8時間先まで5分間隔で予測できる。酸素設備最適運用の画面例を図5に示す。

効果の試算では、酸素設備の消費エネルギーは、2.8%

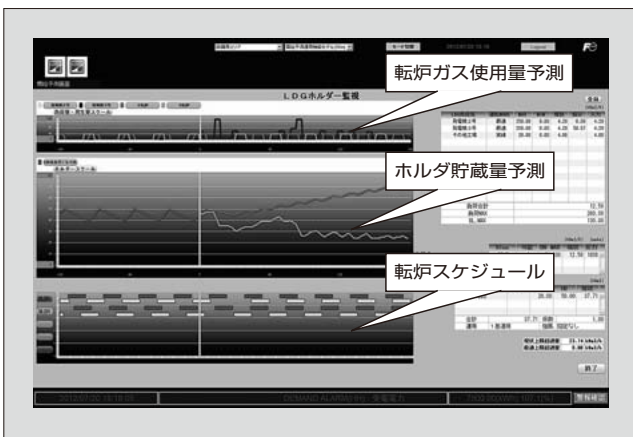


図4 ホルダ設備最適運用の画面例

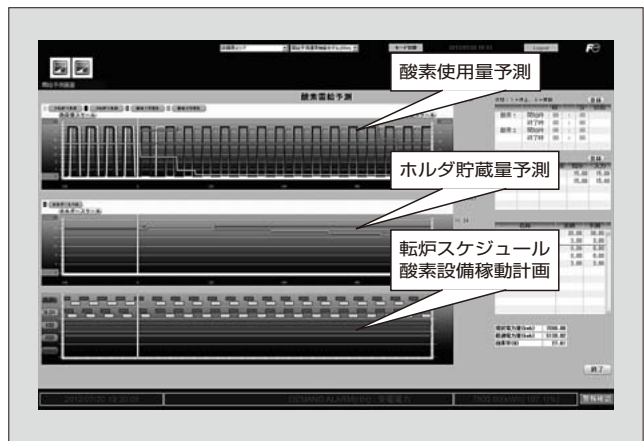


図5 酸素設備最適運用の画面例

削減（年）を見込んでいる。

### 5.3 発電設備最適運用

製鉄所の各設備を稼動するためには電力が不可欠である。電力は電力会社から購入しているが、製鉄所内の副生ガスを利用した発電設備で電力を賄っている製鉄所もある。最適運用では、複数の発電設備の効率の違いを把握し、副生ガスから最大発電量を得るためのボイラ用燃料の配分やタービン用蒸気の配分を行い、購入電力を最小化することで省エネを実現している。3時間先まで5分間隔で予測できる。発電設備最適運用の画面例を図6に示す。

効果の試算では、発電量2.0%増加（年）を見込んでおり、この分が購入発電量の削減につながる。

### 5.4 全体最適運用（日間・月間計画）

最適運用では、1日の運用コストを最小化することで省エネを実現している。これは、各種エネルギーの発生・使用予測を基に、製鉄所内で必要なエネルギーの需要を満たしながら、3種類の副生ガス、電気、蒸気に対して30分間隔で1日分の最適配分計画を行う。同様に1か月分の最適配分計画を行うことで、1か月の運用コストの最小化も実現している。温室効果ガスの排出量を最小化するように、各エネルギー設備の運用バランスの最適化も行う。

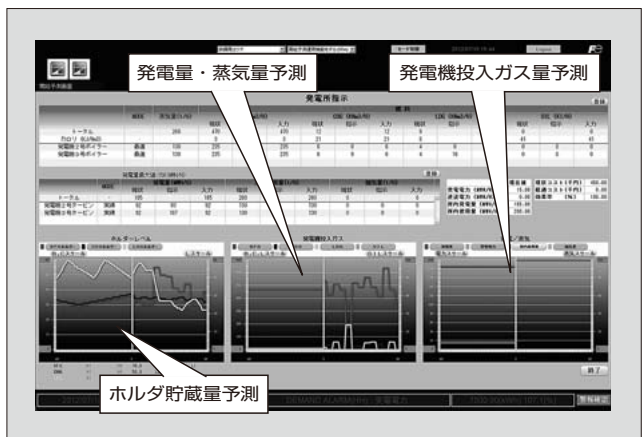


図6 発電設備最適運用の画面例

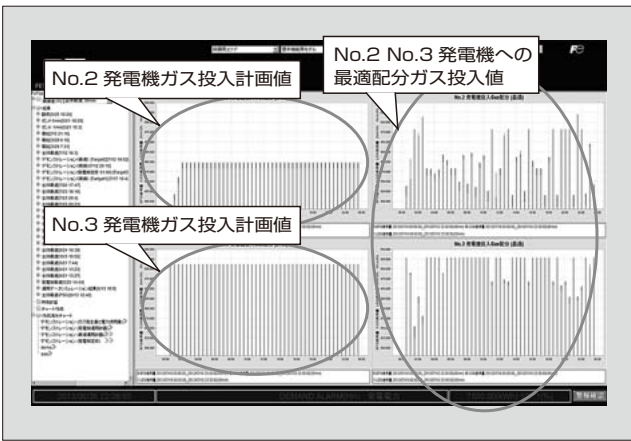


図7 シミュレーション画面例

また、エネルギー設備運用のケーススタディーのためのシミュレーション環境も実装しており、現状の運転を続けた場合と最適化後の運用結果をシミュレーションで比較できる。図7の画面例は、発電機へのガス投入計画と製鉄所内の各種エネルギーの発生・使用予測から最適配分のシミュレーションを行った結果である。効果の試算では、電力購入費用3.5%削減(年)を見込んでいる。

## 6 あとがき

本稿では、製鉄所のエネルギー管理を最適化する「鉄鋼EMSパッケージ」について述べた。エネルギーセンターの運用に関する長年の経験を生かして、最先端の制御技術、ソフトウェア技術を用い、最適化により省エネルギーを実現できるEMSである。エネルギーの消費量を予測し、無駄のない効率的なエネルギー運用を図り、エネルギーコス

トおよび最終的には生産コストを下げることで、お客さまの期待に応じていく所存である。

## 参考文献

- (1) 堀口浩ほか. 統合エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム. 富士時報. 2011, vol.84, no3, p.214-218.
- (2) 福山良和. メタヒューリスティック手法の電力・エネルギー分野への適用. 電気学会論文誌B.2004, vol.124, no.5, p.679-682.
- (3) Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle Swarm Optimization, Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, 1995, vol. IV, p.1942-1948.



### 鳴海 克則

鉄鋼分野の計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部産業計測システム部担当課長。



### 木村 隆之

鉄鋼分野向けエネルギー管理計算機システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所システム技術センターエネルギーシステム部主任。



### 渡辺 拓也

主に数値アルゴリズムを利用したエネルギーマネジメントに関する研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センター需要家ソリューション開発部主任。電気学会会員。

# 大型商業施設向け EMS

## EMS for Large-scale Commercial Facility

小松原 滋 KOMATSUBARA Shigeru

項 東輝 XIANG Donghui

山田 康之 YAMADA Yasuyuki

大量のエネルギーを消費する大型商業施設では、節電、省エネルギー（省エネ）ならびにエネルギーの効率的な利用が急務であり、これらの対策としてEMSの導入が進められている。

富士電機は、需要予測や発電量予測から最適需給運用計画を作成し、エネルギーの最適運用を実現する大型商業施設向けEMSを開発した。このシステムの導入により、消費特性の異なるテナントや施設内の設備に対して、きめ細かな節電・省エネ行動への誘導、ならびにエリア別使用量、用途別使用量、原単位などによるエネルギー管理ができるようになるため、エネルギー消費量およびCO<sub>2</sub>排出量の削減が期待できる。

In large-scale commercial facilities that consume vast amounts of energy, power conservation, energy savings, and the efficient utilization of energy are challenges requiring urgent attention, and the introduction of an EMS is being promoted as a solution.

Fuji Electric has developed a large-scale commercial facility EMS to generate optimal supply and demand management plans based upon demand forecasts and power generation forecasts, and to realize the optimal application of energy. With the introduction of this system, operation can be guided precisely toward power conserving and energy saving behaviors, energy management can be implemented by area, by application, and by basic unit or the like, and a reduction in energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions can be expected.

### 1 まえがき

東日本大震災後の電力不足により、節電や省エネルギー（省エネ）に対する社会的なニーズが高まっている。大量のエネルギーを消費する百貨店、ショッピングセンター、総合スーパーマーケット、複合施設などの大型商業施設では、省エネの徹底、エネルギーの効率的な利用が急務であり、節電対策としてEMS（Energy Management System）の導入が進められている。

富士電機では、従来のEMSをさらに進化させ、大型商業施設向けに特化したEMSを開発した。需要予測、発電量予測から最適需給運用計画を作成し、エネルギーの最適運用を実現している。

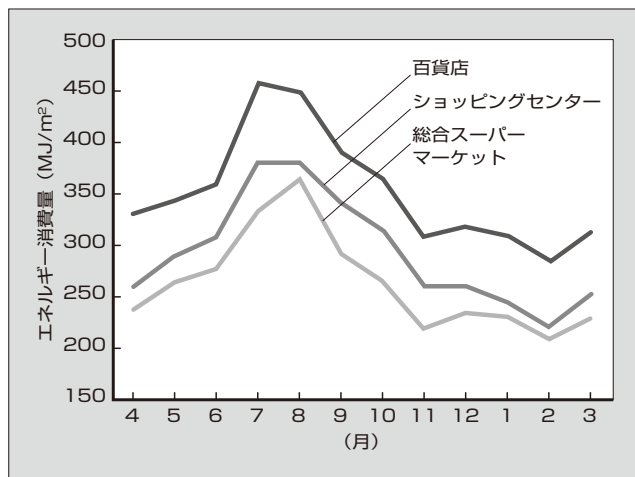


図1 大型商業施設の月別エネルギー消費量

### 2 大型商業施設を取巻く環境とエネルギー管理

#### 2.1 エネルギー消費傾向

大型商業施設は、一般的に業種の異なる多くのテナントで構成され、核となる大型店、専門店、飲食店および共用部からなる。施設全体の月別のエネルギー消費量を図1に、業態別のエネルギー消費の内訳を図2に示す。

月別のエネルギー消費の傾向は業態間で類似しているが、その内訳は異なる。しかしながら、どの業態の施設でも空調、照明および動力のエネルギー消費量が高い割合を示しているため、きめ細かなエネルギー管理や省エネ行動への誘導により、エネルギー消費量の削減が期待できる。

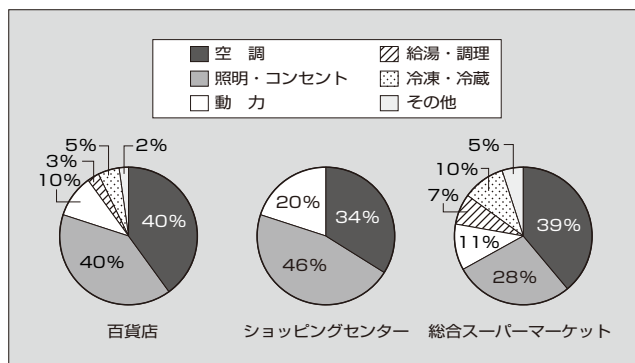


図2 エネルギー消費の内訳

#### 2.2 エネルギー管理状況

施設のエネルギー管理は、ビル中央監視システム (BAS: Building Automation System) により、電源、熱源、空調、照明、エレベータなどの各設備の監視・制御を

行うことで実施されている。しかし、従来のビル中央監視システムは、エネルギーマネジメントを効率的に実施するための機能が不十分であり、節電対策は、運用管理者が次のような対策を手動で実施することが多かった。



- (a) 館内照明の間引き点灯
- (b) 館内空調のコントロール
- (c) 昇降機（エレベータなど）の停止
- (d) 熱源のコントロール

大型商業施設向け EMS を導入すると、これらの操作を自動化できるとともに設備の運転情報を収集・分析し、経済性とエネルギー効率を評価した最適な運転が実現できる。

### 2.3 エネルギー管理における課題

#### (1) エネルギー管理の細分化と省エネ活動の全員参加

エネルギーの管理業務は、施設管理部門が兼務で行うことが多いため、エネルギー需要側と一体となったエネルギー管理に至っていない。需要側が供給側を意識した運用を行うか、供給側が負荷変動を意識した最適供給を行うなど、需給一体のエネルギー管理と省エネ活動が求められる<sup>(3)</sup>。

ショッピングセンターでは、需要側であるテナントが多数入居しており、エネルギー消費量の大きな割合を占める。区分別、業種別にエネルギーの使用状況を分析し、エネルギーの運用効率を向上するための課題を明確にし、実施可能な対策に結びつけるためのきめ細かな管理を行う必要がある。そのためには、需要側のテナントと供給側である施設部門がエネルギー情報を共有し、全員が省エネ活動に参加できる仕組みが求められる。

#### (2) 電気・熱（燃料）・新エネルギーの最適運用

エネルギー事情により、電気料金および燃料料金は中長期的に上昇する傾向にある。このため、施設における電気・熱（燃料）をベストミックスで積極的に運用する必要がある。電気・熱（燃料）の料金単価を考慮し、ランニングコストと CO<sub>2</sub> 排出量を最小にするために、電気・熱（燃料）を利用する設備の最適運用はますます重要になる。

#### (3) 電力負荷のピークカット・ピークシフトの実現

東日本大震災以降、原子力発電所の停止によって電力会社の最大供給力が低下し、電力供給が逼迫（ひっばく）する事態が発生した。電力需要の量だけでなく、電力需要のピークを抑えるため、「電気事業法」による電気の使用制限が発動され、電力需要のピークカット、ピークシフトなどの対応が大口需要家に求められた。

その対応には、再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電など）の利用や蓄電システム、蓄熱システムの導入が有効である。しかし、これらの設備の運用は、エネルギー管理者にとって、どの設備を、どの時間帯で運転すればよいかを判断することが求められ、非常に複雑な作業となる。

あらかじめ、気温・湿度、曜日、来客数などを考慮し、施設内のエネルギー負荷を予測すると同時に、天候の影響を受ける太陽光や風力などによる発電量も予測し、負荷設備の運転ならびに蓄電システムや蓄熱システムの蓄電・放電、蓄熱・放熱のスケジューリングを行う必要がある。

#### (4) 省エネ行動支援

エネルギー管理、省エネ活動は、担当者に負担を感じさせず、継続的に実施できるようにすることが必要である。

実績や運用ノウハウを生かし、エネルギー管理者やテナントの担当者に対して、デマンド調整ガイダンスや省エネ行動メッセージを的確に発信するなど、ソフト面からの支援機能があると良い。

#### (5) エネルギー見える化

一般に設備管理部門が、設備の運用・管理業務を遂行しながら、エネルギー分析・管理業務も行うため、効率良く行うことが求められる。特に、エネルギーの使用状況をさまざまな切り口で分析・管理できるエネルギー見える化の環境整備が重要である。

## 3 富士電機の大型商業施設向け EMS

2.3 節で述べたエネルギー管理における課題を解決するために、富士電機は、“統合 EMS プラットフォーム”技術を適用し、大型商業施設向け EMS を開発した<sup>(4)</sup>。

統合 EMS プラットフォームには、主な機能として次に示す四つがある。

- (a) 電力、ガス、水、熱などのさまざまな種類の計測情報を収集するデバイスのデータアクセス機能
- (b) エネルギーに関する時系列の予測・実績情報を統合的に管理する機能
- (c) 対象施設の規模に応じたカスタマイズが可能なエネルギーシステムのモデリング機能
- (d) 省エネ最適制御を実現する EMS ビジネスアプリケーションの動作管理機能

柔軟性・拡張性に優れた統合 EMS プラットフォームにより、単独の大型商業施設への導入からスマートコミュニティにおける他システムとの連携まで、幅広いビジネス領域への適用を実現している。

### 3.1 大型商業施設向け EMS の機能

エネルギー管理業務は、導入した大型商業施設向け EMS を中心に遂行される。大型商業施設向け EMS の全体構成を図 3 に、機能構成を図 4 に示す。

大型商業施設向け EMS では、施設の内部・外部で発生している各種条件を判断し、最適なタイミングで機器の制御を行い、さらにテナントの従事者だけでなく管理者への指示も行う。大型商業施設向け EMS の特徴的な機能を次に示す。

#### (1) 需要予測

需要予測（図 4-A）は、消費特性の異なる各エリアから集計した負荷実績を予測計算に使用することで、エリアごとのミクロな予測値を算出することができる。各エリアの予測値を合計することで、施設全体のマクロな需要予測を高い精度で算出している。また、予測精度のさらなる向上のため、大型商業施設に特化した補正機能を備えている。

図 5 に施設全体画面を示す。施設をいくつかのエリアに分割し、対象エリアの予測需要を示している。この画面では、エネルギーの需給計画・実績、テナントの電力使用状況を俯瞰（ふかん）して把握するとともに、ドリルダウン

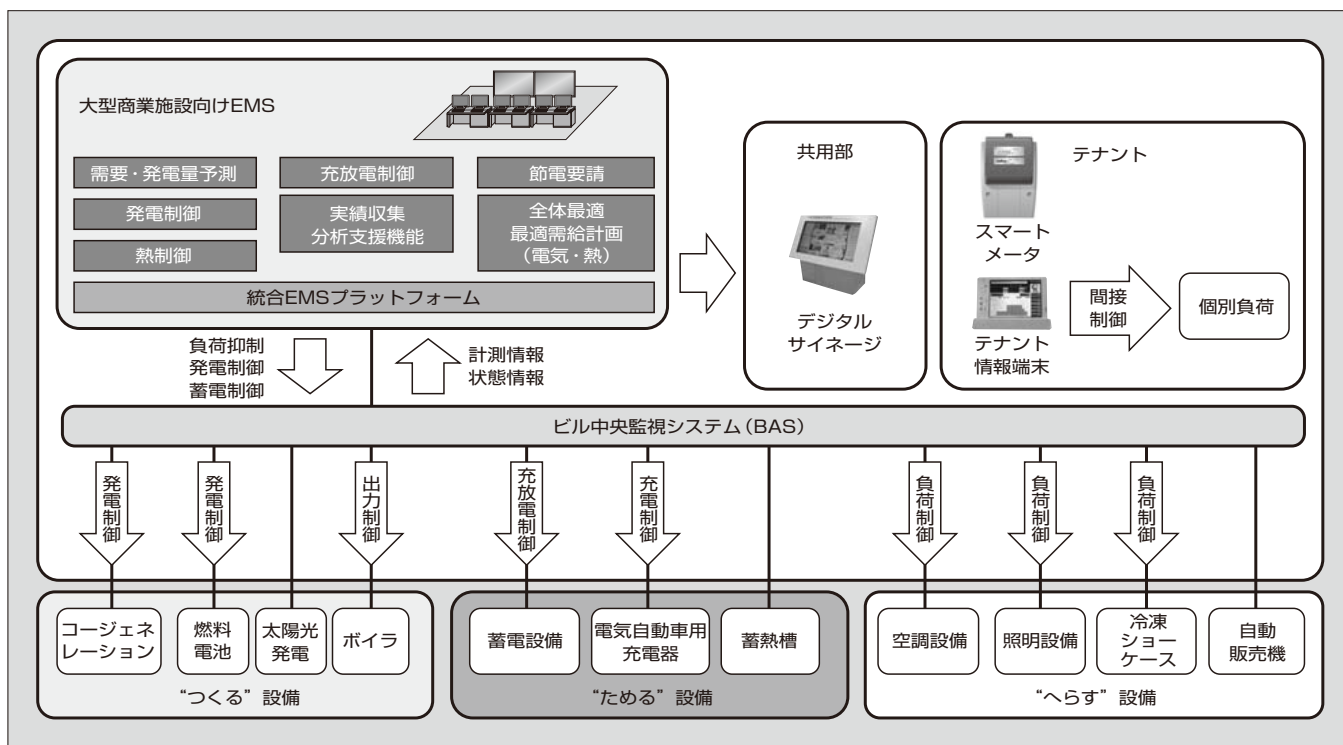


図3 大型商業施設向け EMS の全体構成

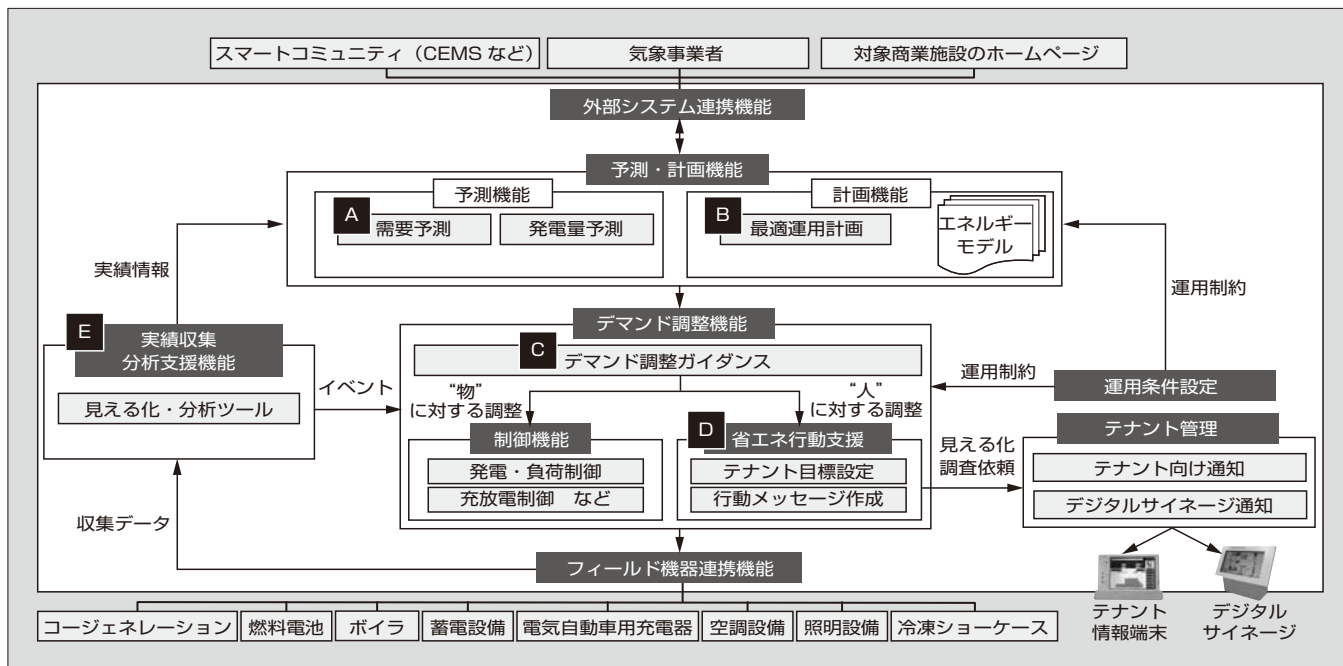


図4 大型商業施設向け EMS の機能構成

操作でエリアやテナントの詳細情報を容易に表示できる。

(2) 最適運用計画

最適運用計画（図4-B）は、発電、蓄電、電力搬送、負荷、熱源などのさまざまな設備で構成されるエネルギーシステムのモデル化情報と予測情報を基にエネルギー需給のシミュレーションを実行することで、高効率運転（コストおよびCO<sub>2</sub>の削減）を行うための需給計画と制御スケジュールを作成することができる。図6に最適運用計画（図4-B）の入出力情報を示す。作成された需給計画と制

御スケジュールに従い、各機器の制御や設定を最適なタイミングで実行することにより、エネルギーの高効率運転を可能とし、電力・熱（燃料）・新エネルギーの最適運用を実現している。

また、最適運用計画の基礎データとなる、設備の種類や関連性（エネルギーの入出力）を示すエネルギーシステムをモデル化するエンジニアリングツールを実装した。これにより、設備を更新する場合のモデルをオフラインで作成し、効果のシミュレーションを行うことで、設備投資計画の立

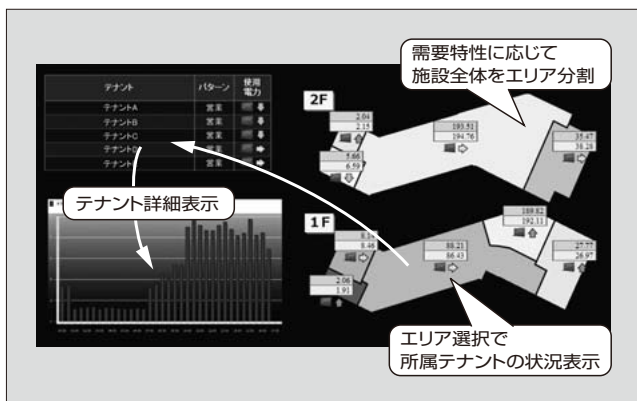


図5 施設全体画面

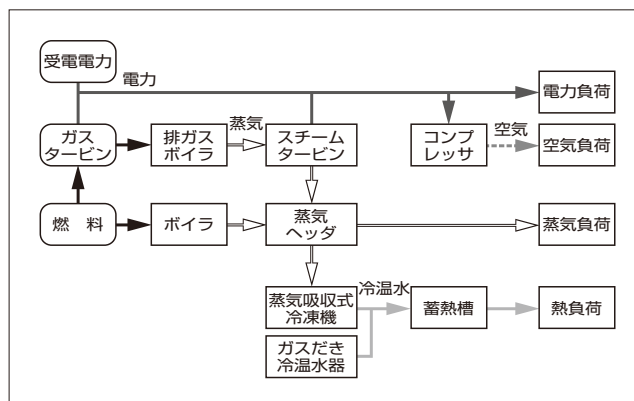


図7 エネルギー系統のモデル

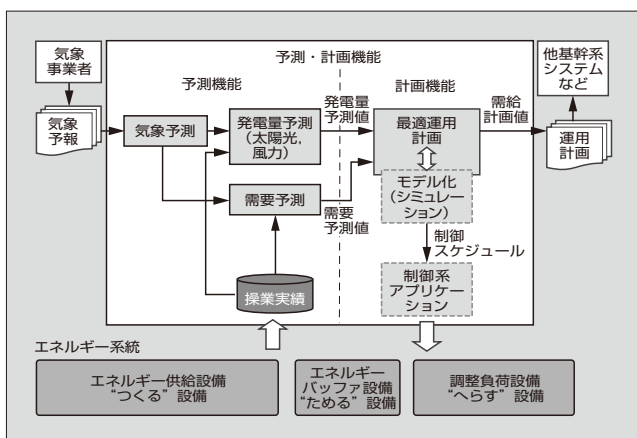


図6 最適運用計画の入出力情報

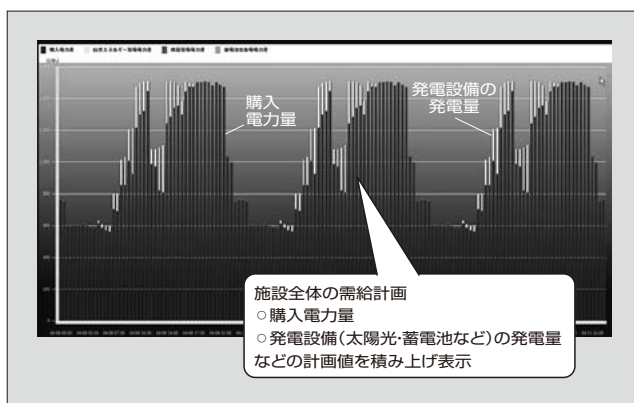


図8 最適運用計画による3日分の供給計画

案にも活用できる。

図7にエネルギー系統のモデルを、図8に最適運用計画による3日分の供給計画を示す。

### (3) デマンド調整ガイダンス

デマンド調整ガイダンス(図4-C)は、エネルギーの需給状況と機器の運転状態の変化を検出することで、運用管理者への推奨操作ガイダンスを作成することができる。“いつ”“何が発生”“把握すべき情報”“推奨する行動と効果”を運用管理者に通知し“気づき”を即時に与えるものである。

電力料金単価が上昇する時間帯となる前に通知される、デマンド調整ガイダンスの例を次に示す。

- いつ：30分後
- 何が発生：電力料金単価の上昇時間帯到達
- 把握すべき情報：需給計画・実績と料金情報
- 推奨する行動と効果：共有部の照度設定を100%から75%に変更(削減効果：200kW)

画面上で“把握すべき情報”を選択すると、関連する機能を表示する画面へ切り替わることにより、操作性の向上を図っている。

### (4) 省エネ行動支援

省エネ行動支援(図4-D)は、エネルギーの消費動向や需給状況を表示することで、省エネ行動を促すことを目的としている。大型商業施設では、テナントのエネルギー

消費量が多く割合を占めている。そのため、最適なエネルギーコントロール(省エネ、ピークカット、ピークシフトなど)の実現には、テナントの従事者(人)に“意識改革”を促し、需給逼迫時に具体的な“省エネ行動”を実行できるようにすることが重要である。省エネ行動支援の内容を次に示す。

#### (a) テナント情報端末の設置

各テナントにタブレット型の情報端末を設置し、テナント従事者自身がテナントのエネルギー消費動向をいつでも把握できる機能を構築した。図9に、テナント情報端末の画面例を示す。スマートメータと連携することにより、テナント単位で用途別(照明、空調、動力)実績を収集するとともに、テナントの規模や特性に応じた表示項目、表示スケールで見える化を実施し、テナント情報端末の視認性の向上を図っている。

#### (b) 省エネ行動の依頼メッセージの表示

各テナントで実施できる省エネ行動は、テナントの業種特性、規模、操業時間帯によってさまざまな種類がある。大型商業施設向けEMSでは、テナントの従事者が実際に行動できる具体的な依頼メッセージと省エネ目標値をテナントごとに管理・計算し、需給逼迫時にテナントの情報端末にアラームとともに通知する。

需給逼迫時間帯などは、1分間隔で実績の表示を更新することで、省エネ行動の効果をその場で確認・実感できる画面構成としている。これは施設全体の省エネの取



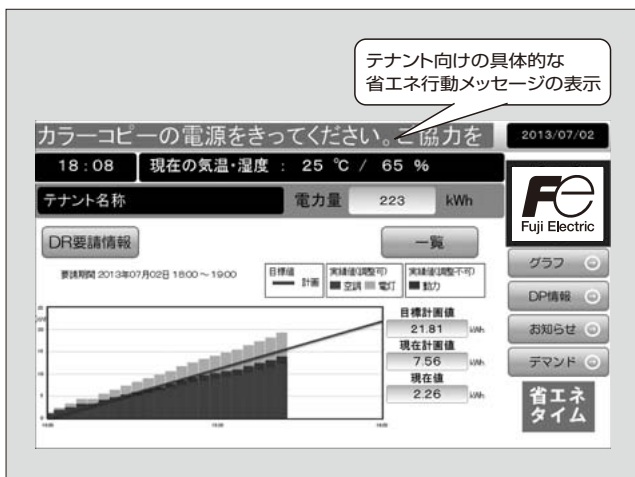


図9 テナント情報端末の画面例

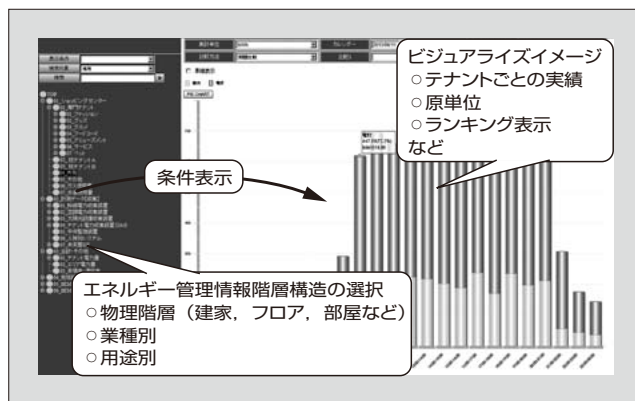


図10 見える化の階層集計画面

組みが、テナント従事者にとって“やらされ感”ではなく“納得感”“達成感”を感じてもらうための工夫である。

(c) テナントの協力度の定量評価

大型商業施設向け EMS では、省エネ行動に対する効果を定量的に管理し、テナントごとの協力度を分析できる。また将来、省エネへの協力度に応じた、インセンティブ制度の運用への展開も可能としている。

(d) デジタルサイネージとの連携

デジタルサイネージとの連携は、施設全体の省エネ状況や取組みを来場者（お客さま）に見せることで“企業ブランド価値”を高めることに貢献している。

また、スマートコミュニティに参画している施設においては、需給が逼迫して地域内の電力料金が高くなる時間帯にセールなどを告知し、地域全体から集客することで地域全体のエネルギー効率の向上を目指している。

(5) エネルギー見える化

エネルギー見える化（図4-E）は、エネルギー情報の参照や集計を容易にできるようにすることで、エネルギー管理者の効率的・効果的な分析・評価を実現することができる。次に示す二つの工夫を実施した。

(a) 知りたい情報にたどり着くまでの迅速化

図10に、見える化の階層集計画面を示す。エネルギー情報を検索するための情報構造をテナントの業種（物販、飲食、サービスなど）を軸とし、階層ツリーから検索できるインタフェースとした。

管理者は、階層ツリー配下の細分化されたエネルギー情報（業種別、用途別使用量、原単位、ランキングなど）を容易な操作でさまざまな切り口で参照・集計できる。

(b) 知りたい情報を加工する時間の短縮化

参照・集計しているエネルギー情報は、表計算用ソフトウェアで使用できるファイル形式で管理者用PCにダウンロードし、任意に報告用帳票などを作成することができる。

3.2 今後の技術的展開について

施設全体のエネルギー効率と投資コストの最適化には、維持管理コストも含め横断的に評価できる仕組みの導入が必要である。例えば、配管異常を検知した場合、維持管理コストとトレードオフ関係にあるエネルギーロスコストとリスクとを勘案し、最適な時期が決定される。

今後、富士電機が持つセンサ技術、設備維持管理ソリューションおよびEMSソリューションを融合し、業務情報を横串で評価できる分析環境を追加することにより、大型商業施設のさらなるビルエネルギー最適化を実現するEMSを目指している。

4 あとがき

大型商業施設においてエネルギーの見える化と最適運用を行うEMSについて、その機能・特徴を述べた。

これまでの成果を生かし、さらなる機能強化を実施することで、最適なエネルギー運用を実現させるとともに、電力需給調整に寄与し、効率的かつ合理的にエネルギーの利用を推進するスマートな社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

(1) 一般財団法人 省エネルギーセンター. “商業施設（百貨店・総合スーパー・ショッピングセンター）の省エネルギー”. p.2, [http://www.shindan-net.jp/pdf/commercial\\_bldg.pdf](http://www.shindan-net.jp/pdf/commercial_bldg.pdf), (参照 2013-07-19).

(2) 経済産業省 資源エネルギー庁. 各種商品小売業省エネルギー実施要領作成検討委員会. “各種商品小売業における省エネルギー実施要領”. 平成20年3月版, p.2, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/080804/3.pdf>, (参照 2013-07-19).

(3) 東谷直紀ほか. 省エネルギー活動を支援するエネルギー管理ソリューション. 富士時報. 2011, vol.84, no.4, p.234-238.

(4) 堀口浩ほか. 統合エネルギー管理システムプラットフォーム. 富士時報. 2011, vol.84, no.3, p.214-218.





**小松原 滋**

エネルギー管理システムの企画・開発・エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部電力流通システム部担当課長。情報処理学会会員。



**山田 康之**

エネルギー管理情報システムの企画・設計・開発に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所システム技術センターエネルギーシステム部。



**項 東輝**

製造管理・エネルギー管理システムの企画・開発・技術取りまとめに従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部機電システム事業部FEMS 技術部担当課長。工学博士。計測自動制御学会会員，電気学会会員。



# クラウド型 EMS によるエネルギー管理支援サービス

## Energy Management Support Service with Cloud-based EMS

東谷 直紀 AZUMAYA Naoki

国内の電力需要家を取り巻くエネルギー環境において、需給バランスや利用コスト面で大きな変化が起きており、エネルギー管理の強化、省エネルギー（省エネ）設備の導入などのエネルギーコスト対策が急務となっている。

富士電機は、大口需要家向け EMS の導入実績と、エネルギー管理運用支援で蓄積した省エネ分析ノウハウを集約し、クラウド技術を活用した共同利用型 EMS によるエネルギー管理支援サービスの提供を開始した。自社でのシステム導入・維持・管理が不要なため、中小口需要家における EMS 導入の促進が期待できる。

In the energy environment surrounding customers of electrical power in Japan, major changes are underway in regards to the supply-demand balance and the cost of energy usage, and energy cost-reducing measures such as strengthening energy management and introducing energy-saving equipment are urgently needed.

With a proven track record for successfully installing EMSs at major customers of electrical power, Fuji Electric has aggregated energy-saving analysis know-how accumulated in energy management operational support, and has begun supplying an energy management support service based on a shared-use EMS that utilizes cloud technology. Because a company will not have to install, maintain or manage the system, the introduction of EMSs to small and medium sized power customers is expected to accelerate.

### 1 まえがき

昨今の国内の電力需要家を取り巻くエネルギー環境は、原子力発電設備の再稼動が不透明な中、燃料費の急増を背景に電力各社の料金値上げが相次いでいる。また、従来レベルの供給体制に復帰することは当面望めない中で需給バランスを維持するためには、省エネルギー（省エネ）の徹底が必要である。

しかし、電力需要から見た大口需要家については、省エネ活動の継続的な努力を続けているものの、電気料金の値上げが改善力を相殺している状況にある。

一方、中小口需要家については、総合的な省エネの要望は強くなっているが、電力消費が小規模のため、投資対効果がネックになり、エネルギー管理の強化、省エネ設備の導入などのエネルギーコスト削減のための設備投資が進んでいない。

富士電機は、これらの課題やニーズに対し、大口需要家向けエネルギーマネジメントシステム（EMS：Energy Management System）の多数の導入実績とエネルギー管理運用支援で蓄積した省エネ分析ノウハウを集約し、クラウド技術を活用した EMS の基盤技術の開発を進め、2012年からエネルギー管理支援サービスとして提供を開始した。

### 2 エネルギー管理のあるべき姿と EMS の活用

#### 2.1 エネルギー管理のあるべき姿

エネルギー管理の第一歩は、“どれくらいエネルギーを消費しているか？”を“見える化”することである。しかしながら、一部の電力の大口需要家を除き、夏季・冬季の消費ピーク時の節電対策などをするための、“今”の利用状況の把握にとどまっている。

今後ますます厳しくなるエネルギー利用環境へ柔軟に対応するためには、より積極的なエネルギー管理が必要である。このため、次に示す点に着目した。

- (a) 上昇傾向にあるエネルギーコストに対する継続的な省コスト対策の推進
- (b) 安定しないエネルギー供給に対するリスクの見極めと対策の事前準備の実施

また、このようなエネルギー管理をするには、次に示す分析を可能とする運用基盤の整備が必要である。

- (1) コスト対策、省エネ観点での分析
  - (a) エリア別の用途と消費傾向の把握によるピーク電力時間帯の特定や電力消費の無駄・ロス消費の抽出
  - (b) 同一期間（前日、前週、前季、前年）の比較による省エネ活動の緩みの監視
  - (c) エネルギー消費と生産活動などの因果分析による仕事の実施順序の見直し
  - (d) 重点設備の効率監視による運転パターンの効率分析
  - (e) 老朽化および点検・清掃不備によるロス防止
- (2) 停電・節電時のリスク観点での分析
  - (a) 施設、エリアおよび設備の重要度による仕分け
  - (b) 重要度が高いエリア・設備の停電による人的、経済的被害リスクの分析
  - (c) 被害リスクの分析に基づく対策の検討と監視

#### 2.2 EMS の活用

エネルギー管理のあるべき姿を実現する一つの手段として、EMS の活用がある。EMS は、日常のエネルギー利用状況（供給と消費）の把握や、課題の顕在化、対策実施時の想定効果算出を支援することで、エネルギーに関する情報の把握と管理を行う。

EMS は、次に示す装置で構成される（図 1）。

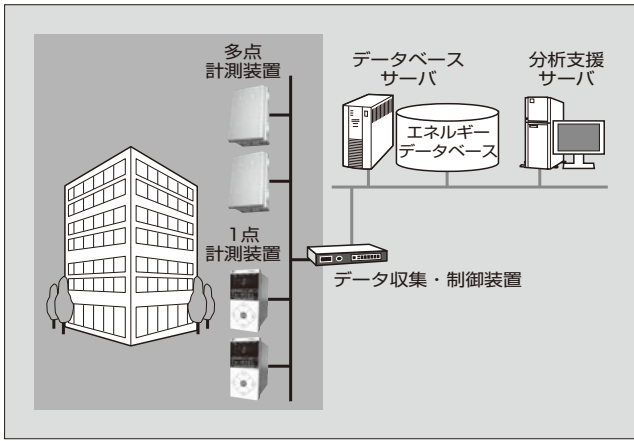


図1 EMSの構成

(1) 計測装置

エネルギーデータをリアルタイムに計測する。

(2) データ収集・制御装置

計測したデータを収集し、デマンド監視・制御や上位システムへのデータ転送などを行う。

(3) データベースサーバ

計測したデータを蓄積する。

(4) 分析支援サーバ

利用状況の傾向を把握するとともに、異常を検知する。

EMSを日常のエネルギー管理業務に組み込んで運用することで、今まで見えていなかったエネルギーの消費ロスや搬送ロス、設備のエネルギー効率の劣化、エネルギー供給設備の過剰供給、省エネ活動の漏れや緩みなどをリアルタイムかつ定量的に把握することが可能となり、より確実に迅速な対策行動が可能になる。

また、対策実施後についても、施策の効果測定が可能となり、次の施策の検討へフィードバックすることで、より精度の高いアクションプランの策定や、設備更新時の省エネ目標の定量的な設定を実現する。

2.3 EMS導入におけるニーズおよび課題

2.2節で述べたように、EMSの導入により省エネの実現が図れるようになるものの、実際に導入、運用、維持管理を行う上で次のような要望がある。

- (a) 製造拠点や営業拠点など、複数拠点全体を包括したエネルギー運用の統制がしたい。
- (b) 省エネのノウハウを共有し、各拠点に水平展開したい。
- (c) 停電・節電リスクへの迅速な対応と状況把握、実績評価を行いたい。
- (d) エネルギー需要の少ない拠点への投資は回収計画が課題となるので、システム導入への投資は最小に抑えたい。
- (e) 社内の運用管理対象システムを極力増やしたくない。
- (f) 専任のシステム管理者がいなくても、システムの維持・管理ができるようにしたい。

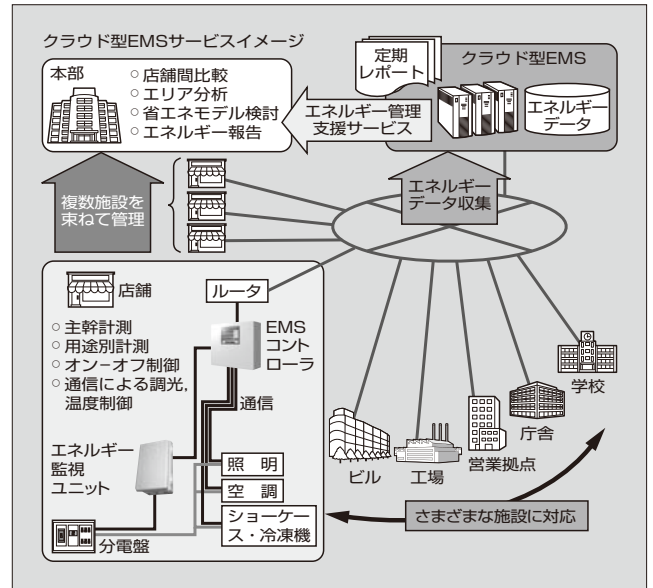


図2 クラウド型EMSサービスの全体像

3 クラウド技術のEMSへの活用

3.1 クラウド型EMS

クラウド技術を活用した、EMSによるエネルギー管理支援サービスの全体像を図2に示す。このサービスには、次に示す特徴がある。

- (a) 全国レベルでの共同利用型EMSサービスなので、エネルギー管理システム導入の初期費用およびランニングコストの低減を図ることができる。
- (b) システムの運用管理に係る人材の確保が不要になる。
- (c) 複数施設を所有する事業者については、施設個々のエネルギー利用状況の把握に加え、複数施設全体や、地域別、管理部門別などの階層での管理ができる。
- (d) 電力需給の逼迫(ひっばく)などのリスク発生時に、節電情報などの発信を一斉に行うことができる。
- (e) リアルタイムな状況把握や、通常時との比較・差異分析による改善ポイントの顕在化などが容易に実施できる。

3.2 クラウド型EMSの提供サービス・機能

富士電機のクラウド型EMSが提供するサービス・機能の概要を次に示す。

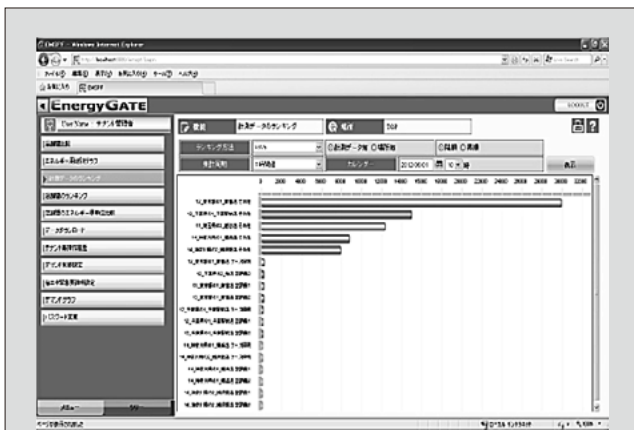
(1) データ分析支援機能

収集・蓄積されたエネルギー利用実績に関する情報を活用し、時間帯別や用途別の傾向の把握や、施設間の比較、床面積や生産実績をベースとした原単位比較など、多角的な分析を支援する。機能の画面例を図3に示す。

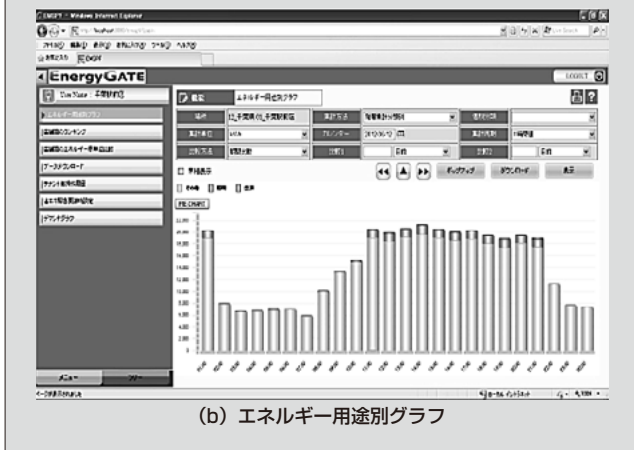
(2) レポート発行機能

エネルギー消費状況をまとめた日報・月報・年報などの帳票をExcel<sup>(注)</sup>形式で提供する。

<注> Excel: 米国 Microsoft Corp. の商標または登録商標



(a) 拠点間ランキンググラフ



(b) エネルギー用途別グラフ

図3 データ分析支援機能の画面例



図4 デマンド監視機能の画面例

(3) 省エネ分析サービス

エネルギー利用実績の簡易診断を実施し、省エネのためのアドバイスをを行う。

(4) デマンド監視機能

設定されたしきい値に従い、デマンド警告・異常アラームを通知する。機能の画面例を図4に示す。

(5) デマンド制御機能

設定されたしきい値・制御ルールに従い、空調、照明などを自動的に制御する。

(6) ゾーンデマンド監視機能

過去のエネルギー消費トレンドから算出した時間帯ゾ



図5 ゾーンデマンド機能の画面例

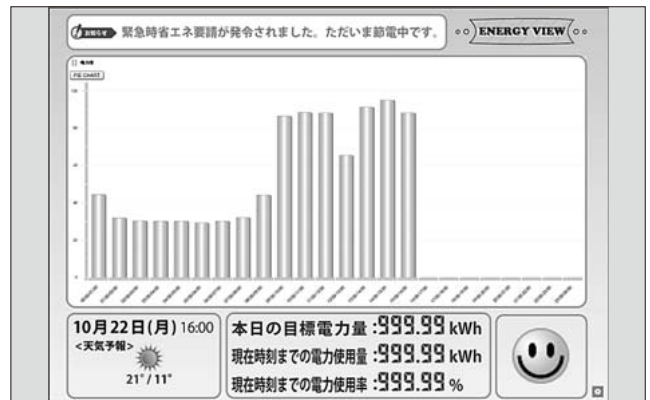


図6 デジタルサイネージ機能の画面例

ン別需要予測をベースに、当該時間帯のエネルギー消費状況を監視し、しきい値に従って警報による節電行動を促す。機能の画面例を図5に示す。

(7) デジタルサイネージ機能

参加型EMSを支援するため、大型モニタによる情報を配信する。機能の画面例を図6に示す。

4 クラウド型EMSの展望

4.1 サービス提供範囲の拡大

自社でのシステム導入・維持・管理が不要なクラウドサービスは、今後ますますニーズが高まっていくものと予想される。

富士電機は、システムの導入費用や維持運用管理費用の低減、複数拠点の統合管理といったクラウド型システムの特長を生かし、次に示すような多様な分野に合わせたエネルギー管理支援サービスの提供を目指している。

(1) 工場・ビル・商業施設分野

製造拠点の設備の稼働監視、保全管理支援、生産実績管理などのサービスを拡充することで、顧客の業務支援範囲を拡大するとともに、エネルギー利用実績との因果関係分析など、さらなる省エネのための課題を顕在化させる高度解析サービスを提供する。

大口需要家に対しては、営業拠点、倉庫、製造拠点、本社ビルなどを統合した総合エネルギー管理環境を提供することで、企業全体のエネルギー統制の支援を実現する(図7)。



(2) 一般家庭分野

今後、急速な普及が見込まれるスマートマンションの入居者向けに、エネルギー利用状況の見える化サービスを提供する(図8)。

また、高圧一括受電サービス提供事業者と連携し、時間帯別電力料金サービスを提供する。“北九州市スマートコミュニティ創造事業”でのダイナミックプライシング実証で得たノウハウを生かし、電力ピークの抑制や、さらなる省エネ行動の促進を実現する。

(3) 自治体との連携

自治体施設への EMS の導入と合わせて、地域住民、事業者向けのポータルサイトを立上げ、自治体が率先する省エネ行動を公開するとともに、その効果をリアルタイムに公開することで、地域の省エネ行動を促進する情報を発信する。

また、自治体との協力により、ポータルサイトに会員登録された地域住民、事業者による省エネコンテストなどのイベントを開催することで、地域の省エネ活動の活性化を

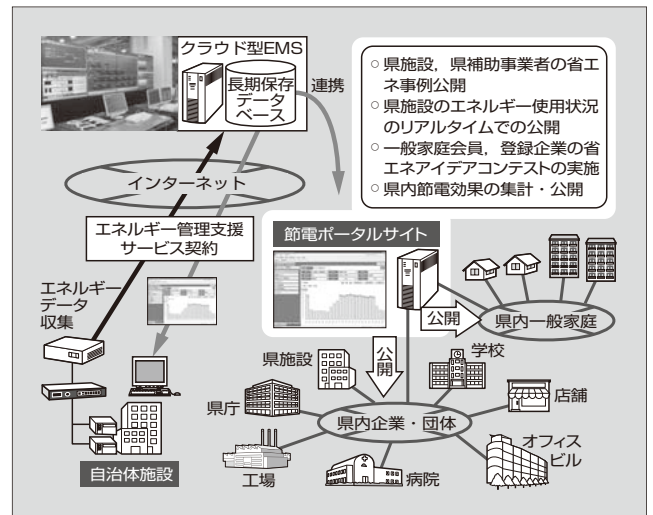


図9 自治体ポータルサイトとの連携

目指す(図9)。

4.2 システムおよび運用ノウハウの海外インフラ輸出

東南アジアにおけるエネルギー需給環境は、急速な経済発展に伴い、エネルギー供給インフラが需要に追いつかない状況にあり、企業活動への影響が表面化しつつある。また、電気料金が現地物価に比較し、割高な設定となっているケースも多く、企業活動におけるエネルギーコストは相対的に大きい。しかし、先進国並みの省エネのための対策、投資は難しい状況にある。さらに、省エネのノウハウを持った人材の不足、日常的な省エネ活動が定着していないことなど、運用面での課題も抱えている。

このような状況に対し、エネルギー管理運用支援と、分析支援とを一体化したサービスをクラウド型 EMS によって低価格で提供することができる。さらに、国内で培った先進的なエネルギー管理と省エネのノウハウを生かすことで、エネルギー管理支援サービスの展開を行っていく。

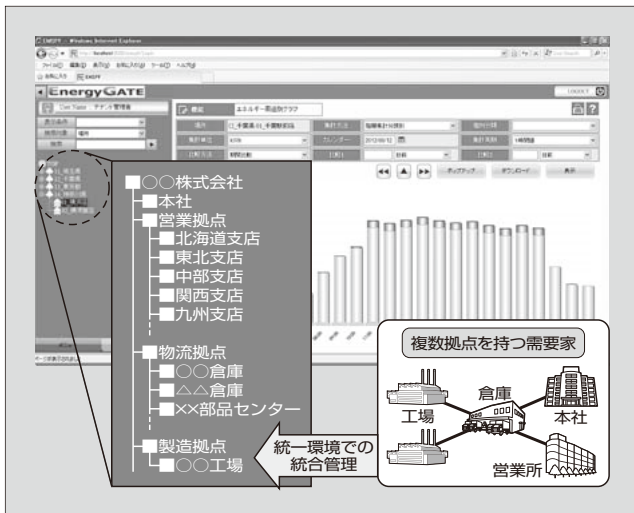


図7 複数拠点の統合管理

5 あとがき

今後の国内の電力需給環境においては、発電事業の規制緩和、発送電事業の分離、小売りの自由化など、大きな変化を迎えつつあり、エネルギー管理分野におけるサービス提供についても多様化することが想定される。

また、投資環境が厳しい中小口需要家や、アウトソーシング志向の高い大口需要家を中心に、システムの自社設備としての導入から、クラウド型サービスの活用へ移行する傾向が強まっている。

運用を開始したクラウド型 EMS によるエネルギー管理支援サービスの普及にまい進するだけでなく、需要家を取り巻くエネルギー環境の変化に柔軟に追随し、お客さまの新たなニーズにマッチしたサービスの拡充を図っていく所存である。

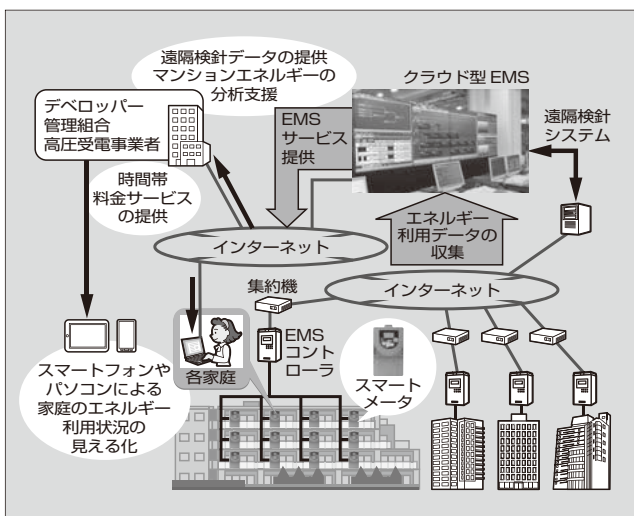


図8 マンション向けエネルギー管理支援サービス



### 東谷 直紀

産業分野の製造管理，エネルギー管理におけるシステム企画，プロジェクト取りまとめおよび商品企画業務に従事。現在，富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部スマートコミュニティー総合技術部課長。



# 店舗の EMS を実現する「エコマックスコントローラ」

The “ECOMAX Controller” Realizes an EMS for Use in Stores

城戸 武志 KIDO Takeshi

神崎 克也 KANZAKI Katsuya

日本の分野別エネルギー消費動向においては、小売業を含む民生分野の増加率が高い。中でも小売業はエネルギー消費量の85%を電力が占めており、省電力化の要求が高まっている。富士電機は、店舗内の冷設機器、空調・照明機器の管理制御を一括で行い、総合的な省エネルギーを実現する「エコマックスコントローラ」を開発した。各種インタフェースに対応可能な構成とすることで、設備機器の一括制御が可能となり、導入コストの抑制と機器の管理運用の効率化を実現している。また、電気、水道、ガスなどのインフラ管理機能を搭載したことにより、このコントローラ1台で店舗EMSを容易に構築することができる。

According to energy consumption trends by sector in Japan, energy consumption in the consumer product sector, which includes retail business, is increasing at a high rate. Moreover, 85% of the energy consumed by retail business activities is in the form of electric power, and power savings is increasingly being requested. Fuji Electric has developed the “ECOMAX Controller” that collectively manages and controls refrigeration, freezer, air conditioning and lighting equipment inside a store to realize comprehensive energy savings. A configuration that is compatible with various interfaces is used in order to enable collective control of the equipment, to reduce installation costs, and to increase the efficiency of the management and operation of the equipment. Additionally, infrastructure management functions for electricity, water and gas are incorporated so that a store-use EMS may be configured easily with a single controller.

## 1 まえがき

日本のエネルギー消費の現状を、産業、運輸、民生などの分野別に見た場合、民生分野における業務部門（家庭部門などを除いた第三次産業）のエネルギー消費増加率は41%増と突出している。中でも全体の23%を占める卸・小売業部門は、エネルギー消費量の約85%を電力が占めていることから、省電力化の要求が高まっている（図1）。

小売業は典型的な内需産業であり、国内の世情が色濃く反映される業界であるといわれている。特に近年は、改正された「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）の施行によるエネルギー管理の義務化や、東日本大震災以降のエネルギー供給の問題などを受けて、エネルギーマネジメントシステム（EMS：Energy Management

System）への取組みに高い関心が寄せられている。しかし、事業規模がそれほど大きくない小売業では、エネルギー計測機器の導入や、省エネルギー（省エネ）性能向上のために大きな設備投資を行うことは非常に困難である。

富士電機では、少ない設備投資でショーケースや冷凍機の省エネ運転を行う省エネ連携制御システム「エコマックスV」を市場に提供してきた。今回、これをさらに発展させ、店舗設備機器全般を総合的に管理できる「エコマックスコントローラ」を開発した。

## 2 「エコマックスコントローラ」の概要

エコマックスコントローラを用いた店舗設備管理のシステム構成を図2に示す。開発に当たっては次の点に狙いを

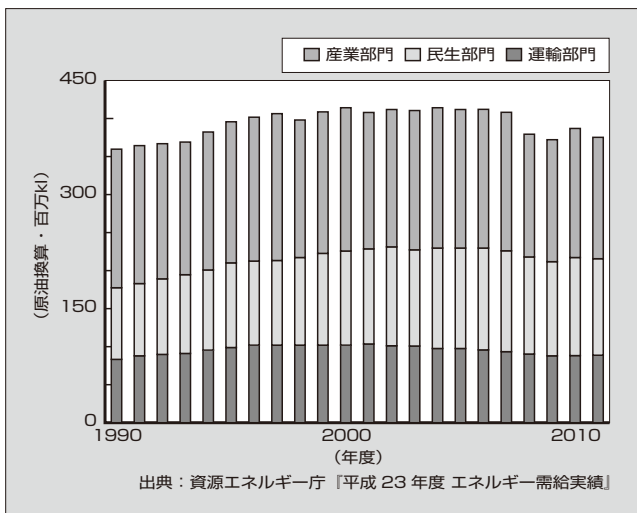


図1 分野別エネルギー消費量の推移

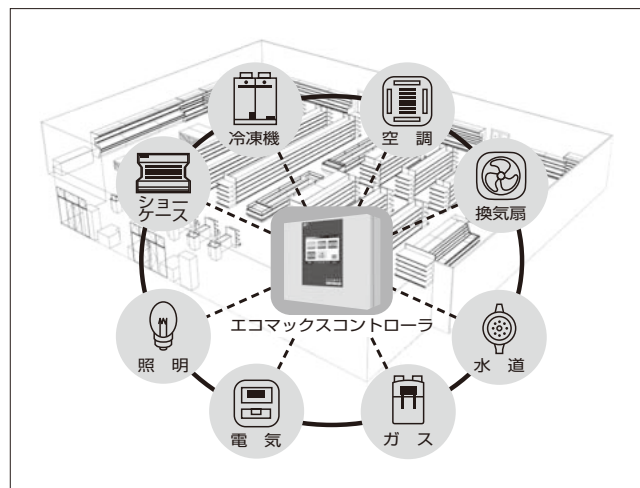


図2 「エコマックスコントローラ」を用いた店舗設備管理のシステム構成

定め、これらを達成したことにより、1台のコントローラで店舗のEMSが容易に実現できるようになった。

- (a) 店舗設備機器を一括で制御することで、システム導入コストの抑制と、機器の管理運営のさらなる効率化を実現する。
- (b) 店舗設備規模や機器構成に応じた最適システムを提供する。
- (c) ショーケースや冷凍機などの冷設機器と空調・照明機器との制御連携により、店舗の総合的な省エネを実現する。
- (d) 電気、水道、ガスなどのインフラの監視機能を搭載する。
- (e) 小売店舗以外の設備機器にも容易に適用可能な構成とする。

### ③ 「エコマックスコントローラ」の構成と特徴

#### 3.1 ソフトウェア構成

##### (1) プラットフォーム

エコマックスコントローラのソフトウェア構成を図3に示す。店舗設備機器の一括制御をプラットフォームの構築によって実現した。

プラットフォームは、次の三つの階層で構成している。

##### (a) カーネル層

デバイスドライバなどのハードウェア資源の直接制御や、ソフトウェアに対するリソース割り当て管理などを行う。

##### (b) 標準ライブラリサービス層

WebサーバやFTPサーバ、メールなどの汎用的なネットワーク通信サービスを提供する。

##### (c) アプリケーションフレームワーク層

入出力制御や通信制御、画面表示と操作、ログなど、アプリケーションプログラムが直接使用するインタフェースを提供する。

##### (2) 店舗向けアプリケーション

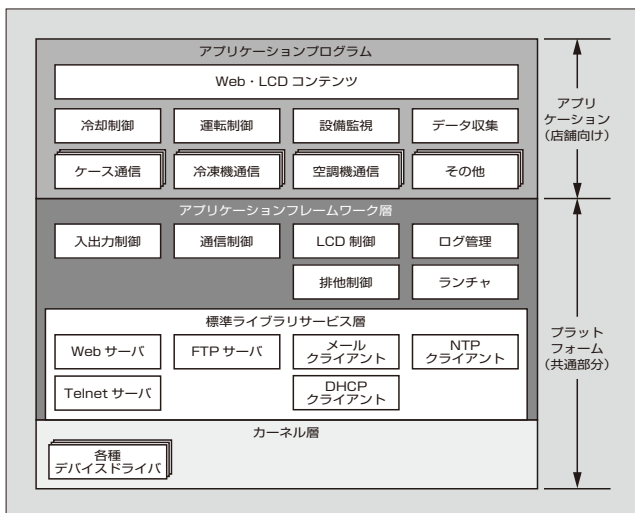


図3 「エコマックスコントローラ」のソフトウェア構成

アプリケーションプログラムは、機能ごとに独立したプロセスとして構築し、それぞれを効率的に動作させることを可能とした。

店舗設備機器を制御するアプリケーションプログラムは、プラットフォームが提供するサービスを利用して、冷凍機制御や空調機制御などの機能単位で構築した。これにより、必要な機能の追加や変更などが容易に行える。

##### (3) 制御干渉の回避

一つの設備機器に対して、複数の制御を同時に実行する場合、それぞれの制御干渉が問題となる。

例えば、空調機に対して、デマンド制御が目標電力量の超過を予測したことによる電力抑制要求と、空調最適運転制御が店内快適性の低下を検知したことによる空調機の出力増加要求とが、同時に発生した場合などである。

従来は、このような制御干渉を回避するため、同じ設備機器に対しては複数制御を行わない、などの制限を必要とされていた。しかし、エコマックスコントローラでは、プラットフォームに、それぞれのアプリケーションプログラムからの制御要求に対する、優先出力を判定する仕組みを搭載することで制限を解消した。

前述の例では、“デマンド制御は空調最適運転に優先する”と設定しておけば、空調最適運転制御が運転出力の増加を要求しても、デマンド制御が電力抑制を要求している場合は、プラットフォームはデマンド制御の要求に従った制御出力を行うようになる。

これにより、さまざまな省エネ制御機能を有効に活用することが可能となり、高い省エネ効果が期待できる。

#### 3.2 特徴

##### (1) 多彩なインタフェース

一般的な店舗設備では、機器の種類によって接続方法が異なる場合や、店舗によって導入する機器の台数が異なる場合が多く、これらに対応するため専用のインタフェース装置の導入や増設などを必要としていた。

エコマックスコントローラは、デジタル入出力や、汎用シリアル通信(RS-485)、ネットワーク通信(Ethernet)などのインタフェースを多数標準で搭載するとともに、機器の仕様に応じてインタフェースを柔軟に変更できる仕組みを提供している。

また、空調機器との接続には、設備管理用ネットワーク接続技術として広く普及しているLonWorksや、中小ビル管理を目的に一般社団法人日本冷凍空調工業会が仕様策定した空調システムHTTPインタフェースにも対応している。

これらにより、専用のインタフェース装置の導入や追加などを行うことなく、さまざまな設備機器との接続が容易に行える。

〈注1〉 Ethernet：富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標

〈注2〉 LonWorks：米国 Echelon Corporation の商標または登録商標



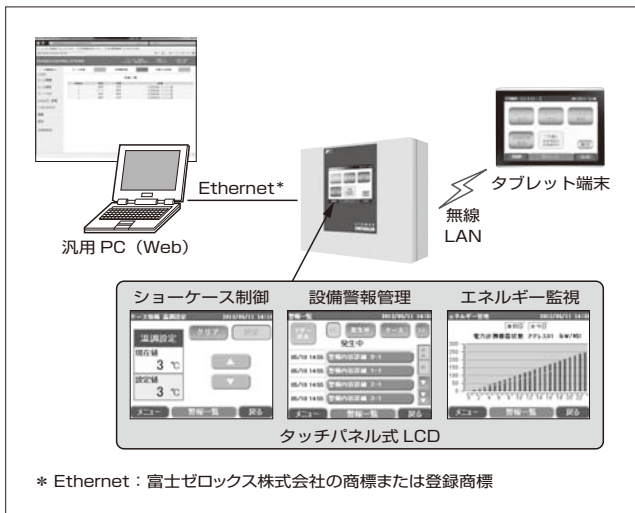


図4 「エコマックスコントローラ」のユーザインタフェース

## (2) 操作性の向上

エコマックスコントローラのユーザインタフェースを図4に示す。タッチパネル式のLCD (Liquid Crystal Display) を装備することで、店舗設備の状態把握や操作が容易に行える。

タッチパネル式のLCDは、取扱説明書などがなくても直感的な操作が行えるように工夫している。このため、専門的な知識がない従業員でも容易に設備管理が行える。

また、店舗設備の異常を検知した場合には、直ちに該当する設備の稼動情報監視画面に切り替わるとともに、警報ブザーやメールで通知する機能も搭載している。これにより、機器の管理運営の効率化が図れる。Webサーバ機能を内蔵することで、Ethernet経由でパソコンからより詳細な情報管理を行うこともできる。

さらに、近年急速に普及しているタブレット端末にも対応することで、操作画面を大きくする、あるいは端末を持ち運びながら情報管理を行うなど、さまざまな運用形態に対応できる。

## 4 小売店舗における機能

### 4.1 充実した省エネルギー機能

エコマックスコントローラは、従来の「エコマックスV」で実現した、冷凍機とショーケースの省エネ運転機能に加えて、次に示す四つの省エネ機能を標準で搭載している。

#### (1) 空調機最適運転機能<sup>(3)</sup>

外気の温湿度、店内の温湿度および店舗の換気稼動状態を基にして空調機と冷凍機の総消費電力が最小値となるように、空調機の運転モードと温度、風量を調整する機能である。これにより、季節の変わり目のように外気温湿度の変動が大きい時期の消費電力削減が可能となる。

空調機の設定を変更するに当たっては、ショーケース冷熱負荷への影響に加えて店舗内の快適性も考慮し、PMV (Predicted Mean Vote: 予想平均温冷感申告) による評

価を導入した。PMVは、温度、湿度、気流、輻射(ふくしゃ)、着衣量、活動量の六つの要素により人間がどのように感じるかを表した温冷感指標である。

#### (2) 給排気制御機能

CO<sub>2</sub>濃度などの店内空気環境に応じて最適な換気風量制御を行う機能である。換気扇の風量を抑制することで、空調機の負荷となる外気の熱侵入量を抑制し、省エネを図ることができる。

#### (3) デマンド制御機能

店舗全体の消費電力量が目標値を超えないように制御する機能である。エコマックスコントローラは、店舗設備機器を一括して制御できるため、顧客の設備運用状況に合わせた、きめ細かな電力抑制を行うことができる。

#### (4) スケジュール運転機能

設備機器の無駄な運転時間を減らすことは、省エネの有効な施策である。そのため店舗の営業スケジュールに合わせて設備機器の運転スケジュールを、最適かつ容易に設定する機能が必要である。

エコマックスコントローラは、例えば売り場や曜日ごとの開店・閉店時刻などを、営業パターンとして複数登録しておくことができ、必要に応じて変更できる。また、営業パターンと設備機器の運転スケジュールは連動するようにマスタ設定されている。このため、営業パターンの変更により一括で機器の運転スケジュールの設定変更が可能となり、店舗の営業形態に合わせて、きめ細かなスケジュール運転が行えるようになった。

## 4.2 エネルギー管理機能

エコマックスコントローラは、富士電機が既に展開しているセンター監視システム「エコマックスNet」との連携を実現しているため、店舗チェーン全体のエネルギー利用状況を監視するサービスを提供できる。

また、店舗単独でも省エネ活動を効果的に実行できるように、タッチパネル式LCDでもエネルギー利用状況を把握できる。

具体的には、1日ごとあるいは1時間ごとのエネルギー利用状況表示、過去のエネルギー使用量との比較表示などを簡単な操作で行うことができる。

エコマックスコントローラが蓄積しているエネルギー利用状況や、設備機器の運転状況などのデータを、プラットフォームの標準ライブラリサービスを介してネットワーク通信で取得できるようにした。これにより、専用のカスタマイズ開発などを行うことなく、顧客による独自のエネルギー管理システムの構築が容易にできるようになった。

## 4.3 BEMS アグリゲータ事業

BEMS (Building and Energy Management System) アグリゲータ事業は、中小ビルや商業施設などの高圧小口の電力需要家を対象とした経済産業省の補助金事業であり、契約電力の1割削減を目標としている。BEMS アグリゲータは、顧客にBEMSの導入を支援するとともに、クラウ

ドなどを利用した集中管理システムを自らが設置して、需要家の節電を推進するエネルギー利用情報管理運営者である。

富士電機は、BEMS アグリゲータとして登録されており、BEMS の導入を推進している。中小スーパーマーケットなど商業施設における BEMS の導入に際し、エコマックスコントローラが持つエネルギー監視機能、デマンド制御機能および省エネ運転制御機能を活用している。4.2 節で述べたエネルギー管理サービス機能を担う BEMS アグリゲータ・サーバとエコマックスコントローラが連携すると次のような機能が実現できる。

- (a) 登録機器に対して自動オン・オフ制御を行う機器スケジューリング制御機能
- (b) 過去のデータや当日の天気予報データに基づいてデマンド予測を行い、目標電力を設定するデマンド予測機能

#### 4.4 北九州スマートコミュニティ創造事業

“次世代エネルギー・社会システム実証事業”は、政府の新成長戦略に位置付けられる日本型スマートグリッドの構築と海外展開を実現するための取組みである。その一つとして、“北九州スマートコミュニティ創造事業”がある。

富士電機は参加企業の1社として、地域エネルギーマネジメントシステム（CEMS：Cluster Energy Management System）と連携する店舗のEMSを開発し、北九州市八幡東区東田地区の地域内の電力需給安定化に向けた電力消費量削減、ならびにピークカットやピークシフトに貢献する実証検証を行っている。図5に、その中の北九州ス

マートストア実証検証の構成を示す。

店舗のEMSは、店舗内の電力需要予測と太陽光発電予測に基づいて、常時、使用電力コストが最小となるように、機器運転計画と蓄電池システムの充放電計画を立案している。また、CEMSから発信される需給調整要求やダイナミックプライシング要求に従い、電力需給計画を再策定して店舗内機器運転計画に展開し、店舗内機器を制御している。

実証検証では、ショーケースなどの冷凍設備運転制御をはじめ、空調機器、換気機器および照明機器の最適運転制御ならびに蓄電池充放電の最適運用制御を行っている。2013年の夏に運用を開始し、エコマックスコントローラが、店舗内機器制御の中核システムになっている。

#### 5 あとがき

「エコマックスコントローラ」は、冷設機器だけではなく、空調や照明など店舗設備機器全般の総合的な管理を実現している。これにより、小売店舗では設備維持管理費の低減と消費電力削減を低コストで実現できるようになった。

また、エコマックスコントローラは、小売店舗以外の設備機器にも容易に適用可能な構成となっているため、個々の需要家の設備規模、機器構成に柔軟に対応したサービスを提供することが可能である。

今後は、各種需要家への適用拡大を進めるため、個々のニーズに適合した最適なシステムの構築に努める所存である。

#### 参考文献

- (1) “平成23年度エネルギー消費統計結果概要”資源エネルギー庁. 2013.
- (2) “空調システムHTTPインタフェース仕様共通化ガイド”. 日本冷凍空調工業会 インタフェース委員会. 2011.
- (3) 須藤晴彦ほか. 店舗向け省エネルギー制御システム. 富士時報. 2007, vol.80, no.4, p.280-283.



城戸 武志

店舗管理・省エネルギーシステムの研究開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センター需要家ソリューション開発部主任。



神崎 克也

冷凍・冷蔵ショーケースの制御開発に従事。現在、富士電機株式会社食品流通事業本部三重工場設計部担当課長。

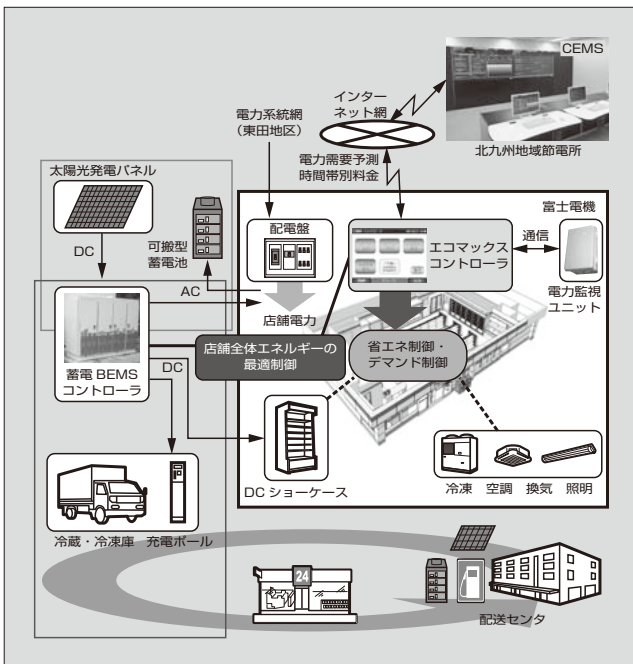


図5 北九州スマートストア実証検証の構成

# 統合 EMS プラットフォームによる最適運用計画機能構築フレームワーク

A Framework for Optimal Planning Systems on the EMS Platform

川村 雄 KAWAMURA Yu

堀口 浩 HORIGUCHI Hiroshi

大野 健 ONO Takeshi

省エネルギー化をいっそう進めるため、電気・熱などのエネルギー需要量と自家発電設備の電力供給量を統合して管理・運用することが必要となってきた。富士電機は、統合 EMS プラットフォーム上で動作する最適運用計画機能構築フレームワークを開発した。このフレームワークは、画面上で設備の配置と接続を行うことでプラントのモデルを自動で生成する統一エネルギーネットワークモデルと、このモデルを用いて運用計画を立案する最適運用計画立案機能を持つ。これにより、専門のエンジニアでなくても設備構成や特性の変更などのメンテナンスが行え、運用計画の立案が容易になる。

To promote further energy savings, the demand for electrical, thermal and other types of energy and the amount of energy supplied by self-generation facilities must be integrally managed and planned. Fuji Electric has developed a framework for optimal planning systems that runs on the integrated EMS platform. This framework has a uniform energy network model that automatically generates a plant model according to the arrangement and connection of equipment on a display screen, and an optimal planning function that develops operational plans. As a result, the configuration and properties of the equipment can be changed and maintenance can be performed without the need for a professional engineer, and operational planning becomes easier.

## 1 まえがき

世界のエネルギー需要と CO<sub>2</sub> 排出量が増え続ける中、持続可能な社会を実現するため、再生可能エネルギーの導入や省エネルギー（省エネ）への取り組みが進んでいる。工場やビルなどの需要家サイドにおいては、従来の省エネ型設備への置換えにとどまらず、太陽光発電設備やコージェネレーション設備などの自家発電設備の導入が増えてきている。さらなる省エネを実現するためには、電気・熱などのエネルギー需要量とユーティリティ設備（工場・事務所などにエネルギーを供給する発電・熱源などの設備）のエネルギー供給量を統合して管理・運用する仕組み作りが必要である。このため、エネルギーの見える化を主な目的とする従来の EMS (Energy Management System) の機能に加えて、エネルギーの発生量予測と需要予測に基づいたユーティリティ設備の運用計画の立案や制御を行う機能（最適運用計画機能）は、これまで以上に大きな役割を担うこととなる。

富士電機は、これまで電力、鉄鋼、水処理、産業、店舗流通などの分野においてエネルギーの需給に着目した最適運用計画機能を開発してきた<sup>(1)~(6)</sup>。今後ますますニーズが多様化する運用計画システムを迅速に提供するため、従来の開発で得た需要家サイドのエネルギー最適運用に関する知見を基に、統合 EMS プラットフォーム上で動作する最適運用計画機能構築フレームワークを開発した。このフレームワークの特徴は、プラントモデルの作成機能やシミュレーション機能などによる高いユーザビリティと、計画立案機能を柔軟に選択することで運用性の高い計画の立案ができることである。

本稿では、統合 EMS プラットフォームの概要、ならびに最適運用計画機能構築フレームワークの特徴と適用事例

について述べる。

## 2 統合 EMS プラットフォーム

図 1 に、統合 EMS プラットフォームとその周辺機能の構成を示す<sup>(7)</sup>。統合 EMS プラットフォームは、EMS を構築する上で核となるミドルウェアであり、実績データ管理と、センサやコントローラなどの現場機器との通信を管理するドライバ管理など、一般的な EMS が持つ機能を備えている。さらに、次に示す三つの機能も併せ持っている。

### (1) 高速プログラム連携サービス「Fuji Service Bus」

EMS のサーバ構成は、制御対象の規模、要求される機能の数、監視制御の周期、サーバの冗長性などに応じて、シングルサーバ構成から十数台に及ぶ分散サーバ構成までさまざまな形態を取る。Fuji Service Bus は、このようなサーバ構成を意識することなく、各サーバに分散配置されている各種プログラム間、あるいはプログラムと Web 画面間の処理を連携させる機能である。この機能により、ユーザは統合 EMS プラットフォーム上のプログラムの機能拡張や削除を容易に行うことができる。

### (2) 統一エネルギーネットワークモデル

統一エネルギーネットワークモデルは、電力、ガス、蒸気などのエネルギーが制御対象の各機器においてどのように変換・伝達されるかを定義したモデルである。電気、ガス、蒸気などの熱エネルギーの生成や消費を行うプラント内ユーティリティ設備の運用計画を立案するためのものである。

### (3) 高速データ共有サービス「Field Connector」

Field Connector は、統合 EMS プラットフォーム上の各種プログラムがサーバ構成を意識することなく、オンラインデータの参照や制御指示が行えるようにするための機



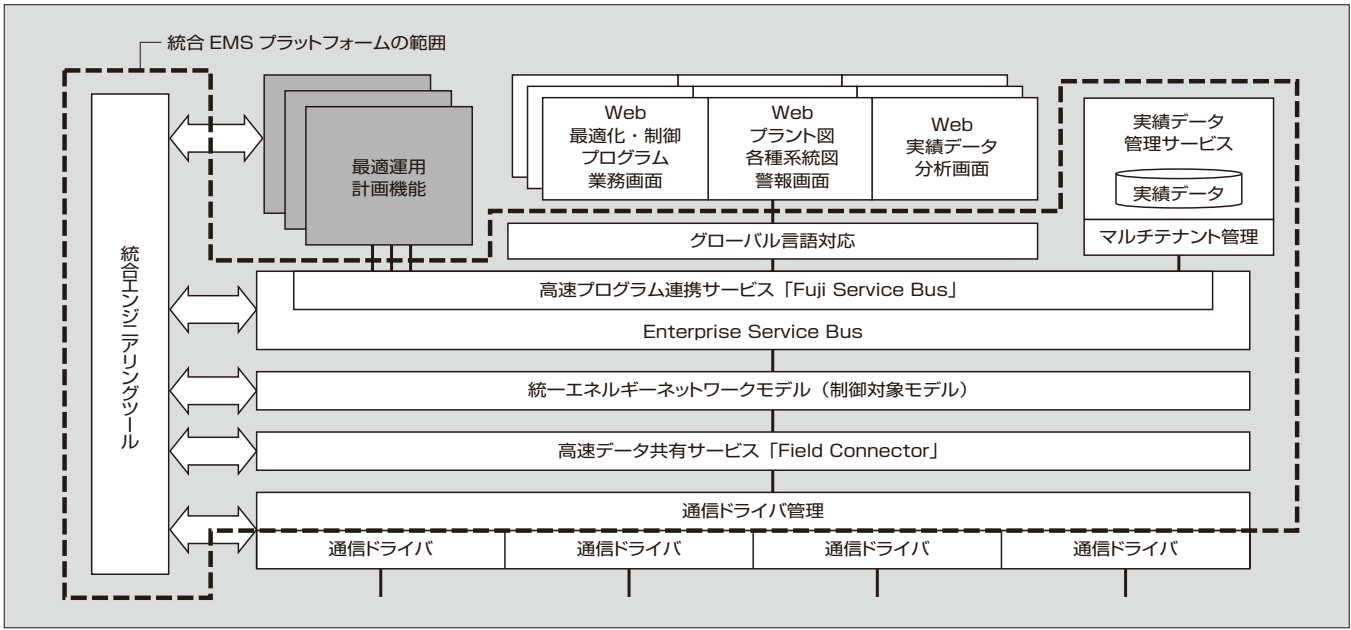


図1 統合EMSプラットフォームとその周辺機能の構成

能である。TAG 管理（“TAG001” などの TAG 名とその TAG 値でデータ管理する方式）によってオンラインデータや実績データ、予測データを管理する。

### ③ 最適運用計画機能構築フレームワーク

最適運用計画機能構築フレームワークは、統合 EMS プラットフォーム上で動作する最適運用計画機能を開発するためのプログラムの集合体である。主な特徴は次のとおりである。

- (a) 統一エネルギーネットワークモデルや計画立案アルゴリズム（最適運用計画立案機能）などの計画立案システムの構築において必要となる機能群を提供する。
- (b) 統一エネルギーネットワークモデルによって、対象とするプラントとエネルギー種別を限定することなく、エネルギーフローの観点からプラントのモデルを作成する。このプラントモデルの解析・変換ツールを提供する。
- (c) 最適運用計画立案機能は、ユーティリティ設備の運用計画を立案するため、消費電力を含むエネルギーコスト・CO<sub>2</sub> 排出量の最小化を目的関数とする最適化アルゴリズムを提供する。この最適化アルゴリズムは、複数の方式から、設備の入出力特性や制約条件などの対象プラントの特性に適した方式をプログラム構築段階で選択できる。

#### 3.1 最適運用計画機能構築フレームワークの構成

図2に、最適運用計画機能構築フレームワークとその周辺機能の構成を示す。最適運用計画機能構築フレームワークは、次の構成要素から成る。

- (1) 最適運用計画立案機能  
最適運用計画の立案を行う。この機能は次の要素から構

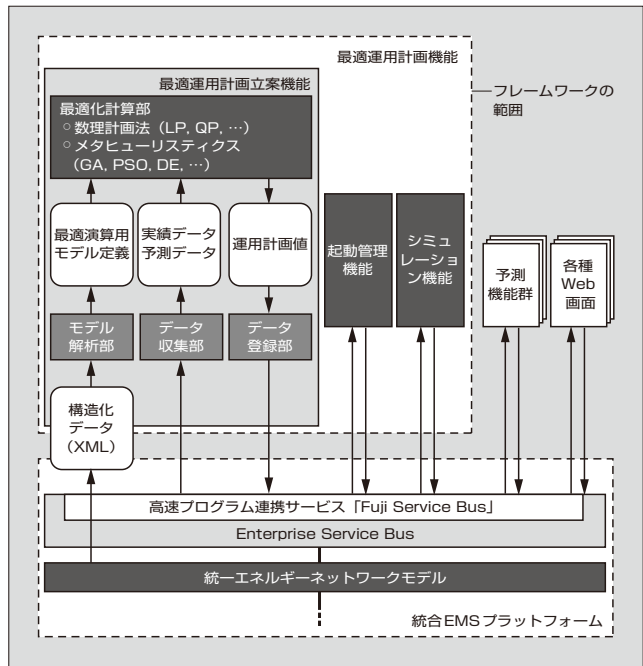


図2 最適運用計画機能構築フレームワークとその周辺機能の構成

成される。

- (a) 構造化データ [XML (Extensible Markup Language) ファイル]  
プラントのモデリングを行うための統一エネルギーネットワークモデルの出力ファイルである。
- (b) モデル解析部  
XML ファイルを解析して最適化計算部が要求するモデル形式（最適演算用モデル定義）に変換する。
- (c) データ収集部  
運用計画の立案に必要な実績データ・予測データを統合 EMS プラットフォーム配下のデータベースから



収集する。

(d) 最適化計算部

最適演算モデル定義と収集したデータから最適演算を行い、運用計画を立案する。

(e) データ登録部

計算した運用計画値を、統合 EMS プラットフォーム配下のデータベースに格納する。

(2) 起動管理機能

予測機能などの他の機能との連携起動、ならびに最適運用計画立案機能の起動タイミングを管理する。

(3) シミュレーション機能

実運用に入る前に、運用計画値の妥当性を検証するため、複数の運用ケースで運用計画を計算し、画面上に表示する。

また、最適運用計画機能構築フレームワークには含まれないが、運用計画を立案する上で重要となる機能として、電力需要予測や太陽光発電の発電量予測などを行う予測機能群と、最適運用計画立案機能や予測機能に関連する各種 Web 画面がある。

3.2 統一エネルギーネットワークモデル

消費電力を含むエネルギーコストまたは CO<sub>2</sub> 排出量を最小化する運用計画は、最適化アルゴリズムを用いて立案する。そのためには、計画立案対象のエネルギーの伝達関係を数式で記述する必要がある。従来は、最適化を熟知したエンジニアが、アルゴリズムに適したモデル表現方式を選んで、直接数式を記述することでモデリングを行ってきた。このような方式では、プラント内の設備の増減や、経年劣化などによる特性変化が生じると、その都度、数式モデルを修正しなければならなかった。

この問題を解決するため、一般のユーザがシンプルな作業によりプラントを定義し、プラントのモデルを自動で生成する統一エネルギーネットワークモデルを開発した。

統一エネルギーネットワークモデルでは、グラフによりプラントのエネルギーフローを表す。ここで木構造の接点(ノード)が設備を表し、枝が設備間の接続関係を表す。

図 3 に、統一エネルギーネットワークモデルの定義画面の例を示す。ユーザは、ノードを画面右端のシンボルリストから選択して、画面中央のモデル定義ウィンドウに配置し、プロパティ入力ウィンドウを開いて、変換効率の係数や上下限特性などの値を入力する。機器の接続関係は、配置されたノードの入出力を信号線で結ぶことで定義する。このようにして定義されたモデルは XML データとして出

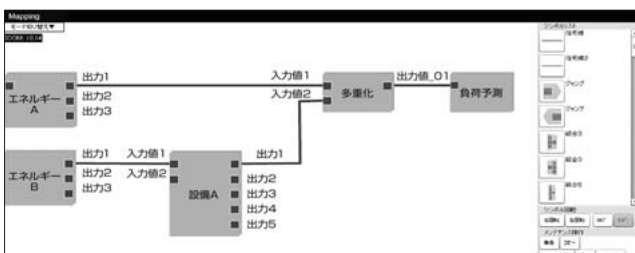


図 3 統一エネルギーネットワークモデルの定義画面の例

力され、モデル解析部により最適化計算部が要求するファイル形式に変換される。

3.3 最適化計算部

最適化計算部は、計画立案アルゴリズムの核となる機能である。統一エネルギーネットワークモデルに記載されたプラントの情報と、実績データおよび予測データに基づいて、エネルギーコストあるいは CO<sub>2</sub> 排出量を最小化するプラント内の各種ユーティリティの運用計画を出力する。

ユーティリティ設備の運用計画の最適化は、各エネルギーの需給バランス、機器の機械的制約および運用制約を考慮した上で、運用コストあるいは CO<sub>2</sub> 排出量の最小化を達成する機器の起動・停止(離散量)と機器の出力(連続量)を同時に決定する最適化問題となる。従来、このような運用計画の最適化問題では、機器の特性や制約などを線形近似した上で、混合整数計画問題として定式化して解いていた。しかし、より省エネ性が高く、実運用に耐えるだけの運用解を得るためには、厳密な機器の特性や現場の運用ルールなどの制約条件を考慮する必要がある。これらを考慮しない場合、エネルギー消費量の計算値が実際の値と異なった値となること、ならびに運用ルールを守らない運用計画値を出力し、必ずしも狙った通りの省エネにつながらないことなどの問題が発生する。したがって、機器および運用ルールの非線形特性を考慮した、混合整数非線形計画問題として定式化して解く必要がある。一般的に、このような問題は効率的に最適解を求めることが難しいとされている。

富士電機では、この問題を解決するために独自のアルゴリズムを開発した。最適解の探索方法として、PSO<sup>(8)</sup>(Particle Swarm Optimization) 手法や DE<sup>(9), (10)</sup>(Differential Evolution) などの最新のメタヒューリスティクス最適化技術<sup>(11)</sup>を核とし、ユーティリティ設備の運用計画の立案に関するさまざまなノウハウを加えたものである。これにより、従来は実用的な計算時間で解くことが困難であった混合整数非線形計画問題の高精度な解を、30分以内(30分同時同量を想定)で求めることを可能とした。

また、上述のアルゴリズム以外にも、ユーティリティ設備の入出力特性や制約などが1次もしくは2次関数でモデル化できる場合には、より短時間で問題を解くことができる数理計画アルゴリズムも用意している。

なお、計算機に搭載される CPU は、クロック数で処理性能を上げる方針から、コアを複数にすることで計算性能を上げるように設計方針が変化してきており、マルチコア CPU が一般的なものになってきている。このため、大規模な問題に対しても、所望の時間内で高品質な解を得られるように、最適化アルゴリズムの並列化の研究開発を進め、マルチコア CPU での高速演算を可能としている。

3.4 起動管理機能

最適運用計画立案機能は、30分または1時間ごとに定周期で起動要求がかかり、予測機能が立てた需要予測値あ

るいは別の運用計画プログラムが立案した運用計画値に基づいて、ユーティリティ設備の運用計画を立案する。

起動管理機能は、あらかじめ定義された起動周期（30分や1時間など）と起動順序（発電予測、需要予測、運用計画機能など）に従って、予測機能ならびに上述の最適運用計画立案機能に起動要求をかける機能である。本機能により、予測演算から最適運用計画の立案までの一連のタスクが定周期で管理・実行される。

### 3.5 シミュレーション機能

運用計画システムの導入の際や導入後に設備に変更があった場合、さまざまな運用状況を想定したデータを用いて、立案した運用計画の省エネ性能、運用可能性の検証が必要となる。この検証には、運用計画機能をバッチ処理で実行し、立案した結果をシミュレーション機能で確認する。

シミュレーション機能は、最適運用計画立案機能の入力データを所望のデータにした上でこれをバッチ的に呼び出す機能と、その結果を画面で確認する機能からなる。

シミュレーション機能では、さまざまなパターンのデータを入力する手段として、図4に示すデータ入力画面を用いる。任意の時刻を指定して、あらかじめ立案した予測データ群から入力データを取得する。このデータが検証内容に不適切な場合は、データ入力フィールドに展開された値をユーザが任意の値に変更することで調整できる。

運用計画結果を確認する手段は2種類ある。一つはデータ値を画面で確認する方法、もう一つはグラフで確認する方法である。データ値の確認は、データ入力画面で行う一方、グラフによって結果を確認する場合、プラント種別、評価・検討を行う事象によってグラフ化するデータや、用いるグラフの種類が異なる。そこで、シミュレーション機能では、グラフ定義という操作であらかじめデータやグラフの種類を定義して評価・検討を行う運用計画データをひも付けることにより、さまざまなグラフを出力できるようにしている。グラフ定義は図5に示すグラフ定義画面で行う。グラフ作成に関する一般的な設定項目を選択することができる。

| 項目種別 | 項目名   | 変動種別  | 固定値 | 取得有無 | delta値 | 単位               | 00:00:0000:30:00     |
|------|-------|-------|-----|------|--------|------------------|----------------------|
| 1    | dummy | 燃料消費量 | 固定  | 取得   | null   | kg/h, l/h, Nm3/h |                      |
| 2    | dummy | 燃料消費量 | 固定  | 取得   | null   | kg/h, l/h, Nm3/h |                      |
| 3    | dummy | 発電予測値 | 変動  | 取得   | null   | kW               |                      |
| 4    | dummy | 燃料消費量 | 固定  | 取得   | null   | kg/h, l/h, Nm3/h |                      |
| 5    | dummy | 燃料消費量 | 固定  | 取得   | null   | kg/h, l/h, Nm3/h |                      |
| 6    | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 268.42592; 268.32492 |
| 7    | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 8    | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 0; 0                 |
| 9    | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 0; 0                 |
| 10   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 0; 0                 |
| 11   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 0; 0                 |
| 12   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 268.42592; 268.32492 |
| 13   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 14   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 15   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 16   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 17   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            | 26891.936; 26867.154 |
| 18   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 19   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 20   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |
| 21   | dummy | 水入流量  | 変動  | 取得   | null   | Nm3/h            |                      |

図4 シミュレーション機能のデータ入力画面



図5 シミュレーション機能のグラフ定義画面

## 4 製鉄所向け EMS への適用

最適運用計画機能構築フレームワークを用いて開発した製鉄所向け EMS パッケージ「鉄鋼 EMS パッケージ」を適用事例として説明する（177 ページ「製鉄所のエネルギー管理を最適化する「鉄鋼 EMS パッケージ」」参照）。

「鉄鋼 EMS パッケージ」は、そのシステム構成を図6に示すように、最適運用計画立案機能群、起動管理機能、シミュレーション機能、予測機能から構成される。最適運用計画立案機能群は、ホルダ設備最適運用、酸素設備最適運用、発電設備最適運用、全体最適運用からなる。予測機能は、製鉄所内のガス需要量ならびに電力使用量を予測する需要予測からなる。最適運用計画立案機能群におけるそれぞれの最適化では、関連する予測機能が立案するエネルギーの発生・使用量の予測に基づいて運用計画を立案するため、需要予測と連携する。

ホルダ設備最適運用、酸素設備最適運用および発電設備最適運用には、5分に1回という高速な計算が要求される。このため、酸素設備最適運用と発電設備最適運用は、高速演算が可能なアルゴリズムを適用して実現している。ホルダ設備最適運用は、アルゴリズムに並列化メタヒューリスティクスを用いることで高速化を実現している。全体最適運用は、1日に1回定周期で起動されるが、運用計画を立案する規模が大きくなるため、この機能についてもマルチ

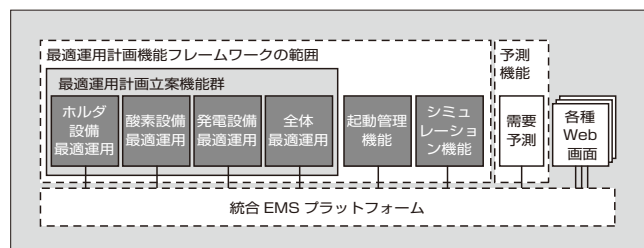


図6 「鉄鋼 EMS パッケージ」のシステム構成

コア CPU の並列化処理により高速化を実現した。

さらに、鉄鋼 EMS パッケージでも効果の試算や設備パラメータ変更時の検証が必須となるため、前述したシミュレーション機能を適用することで、事前に運用計画が妥当かを確認できる。

## 5 あとがき

統合 EMS プラットフォーム上で動作する最適運用計画機能構築フレームワークについて述べた。

今後は、最新の最適化計算アルゴリズムの追加、ならびに統一エネルギーネットワークモデルやシミュレーション機能などのエンジニアリングツールのユーザビリティの強化などの開発を継続し、運用計画機能の高度化を通じて、持続可能社会の実現に向けて貢献していく所存である。

## 参考文献

- (1) 東谷直紀ほか. 需要家向けエネルギー・環境ソリューション. 計測技術. 2010-9, p.16-19.
- (2) 西田英幸ほか. オンライン最適化技術と制御プラットフォーム「FeTOP」. 富士時報. 2006, vol.79, no.3, p.274-278.
- (3) 項東輝ほか. 原動力設備プラントの最適運用と適用事例. 富士時報. 2004, vol.77, no.2, p.166-170.
- (4) 北川慎治ほか. エネルギープラント最適運用ツール. 富士時報. 2002, vol.75, no.11, p.625-629.
- (5) 小出哲也ほか. エネルギープラントの最適運用システム. 富士時報. 2008, vol.81, no.2, p.130-134.
- (6) Kitagawa, S. et al. Development of an optimal operation planning system for energy plants in steelworks. Proceeding of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008, p.13950-13951.

- (7) 堀口浩ほか. 統合エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム. 富士時報. 2011, vol.84, no.3, p.214-218.
- (8) Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle Swarm Optimization. Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks. 1995, vol.IV, p.1942-1948.
- (9) Storn, R. et al. Differential evolution - A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. J. Global Optimization. 1997, vol.11, p.341-359.
- (10) Suzuki, R. et al. The  $\epsilon$  Constrained Differential Evolution Approach for Optimal Operational Planning of Energy Plants. WCCI 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2010, p.4312-4317.
- (11) 相吉英太郎ほか. メタヒューリスティクスと応用. 電気学会. 2007.



**川村 雄**

数値アルゴリズムの省エネソリューションへの応用に関する研究・開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センター需要家ソリューション開発部。IEEE 会員、計測自動制御学会会員、システム制御情報学会会員。



**堀口 浩**

監視・制御システム分野におけるソフトウェア技術基盤の企画・開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センター需要家ソリューション開発部主査。



**大野 健**

エネルギーマネジメントシステムの開発・技術部業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部社会システム事業部電力流通システム部課長。





# 分散電源系統における需給制御システム技術

Supply and Demand Control System for Power Systems with Distributed Power Supplies

勝野 徹 KATSUNO Tohru

飯坂 達也 IIZAKA Tatsuya

林 巨己 HAYASHI Naoki

太陽光発電や風力発電など再生可能エネルギーを利用した分散電源は、自然条件に応じて出力が変動するため、離島や電力過疎地域など脆弱な電力系統では需給バランスの維持が難しいという問題が懸念される。

富士電機ではこの問題を解決するために、需給運用計画、経済負荷配分制御、負荷周波数制御という制御周期の異なる三つの需給制御機能を備えた階層型需給制御システムを開発した。システムに対してシミュレーションによる性能検証を実施し、需給運用計画および負荷周波数制御の有効性を確認した。

The output of renewable energy sources such as solar and wind power fluctuate frequently. Therefore, it is concerned that maintaining the supply-demand balance in a rural area or an isolated island is difficult. To solve this problem, Fuji Electric has developed a hierarchical supply and demand control system with different control cycles for supply and demand planning, economic load dispatching control and load frequency control. The above functions of the developed system have been verified by digital simulations with promising results.

## 1 まえがき

世界的に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーを利用した分散電源に対する関心が急速に高まっており、導入拡大に向けた取組みが強化されている。わが国においては、エネルギー政策の基本である3E（エネルギーセキュリティ、温暖化対策、効率的な供給）の実現を図る上で、再生可能エネルギーの導入拡大が急務であると指摘されている。

2010年6月に改定された政府の「エネルギー基本計画」においても一次エネルギー供給に占める再生可能エネルギーを利用した分散電源の割合を2020年までに10%にするとの高い目標が掲げられた<sup>(1)</sup>。この目標に対して、2020年に2,800万kWの太陽光発電、490万kWの風力発電が導入される計画である。しかし、再生可能エネルギーを利用した分散電源は、日射量、風速などの自然条件に応じて時々刻々と出力が変動するため、離島などの脆弱（ぜいじゃく）な電力系統では系統の周波数に変動を生じさせ、負荷に悪影響を与えることが懸念されている<sup>(2)</sup>。

この問題を解決する技術としてマイクログリッドが注目されている。特に、再生可能エネルギーの導入により周波数変動の増大が懸念される離島では、エネルギーマネジメントシステム（EMS：Energy Management System）を活用した需給制御システムの早期普及が期待されている<sup>(3),(4)</sup>。

本稿では、分散電源に対応した需給制御機能を中心に、開発した階層型需給制御システムの概要およびシミュレーションによる性能の検証結果について述べる。

## 2 階層型需給制御システムの概要

図1に、階層型需給制御システムの概要を示す。太陽光

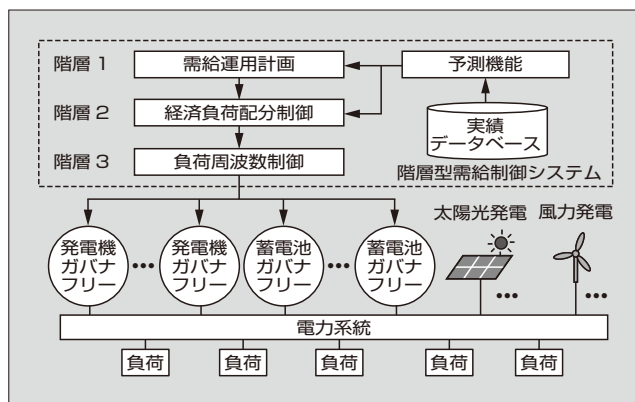


図1 階層型需給制御システムの概要

発電や風力発電などの分散電源の出力、および負荷の変動周期に応じた各種周波数制御によって、時々刻々と変化する負荷（需要）と発電（供給）を常にバランスさせるように発電機・蓄電池の出力調整を行う。日単位のゆっくりとした変動に対しては、需給運用計画により経済性を考慮して発電機・蓄電池の起動停止および出力配分を計画する〔図1（階層1）〕。次に、60分程度の変動に対しては、経済負荷配分制御（EDC：Economic Dispatching Control）で需給運用計画が決定した発電機・蓄電池の起動停止状態の下で出力配分の微調整を行う〔図1（階層2）〕。20分程度の変動に対しては、負荷周波数制御（LFC：Load Frequency Control）により周波数が規定範囲内に収まるように出力を制御する〔図1（階層3）〕。最後に、1分程度の速い変動に対しては、発電機・蓄電池に搭載したガバナフリー運転機能により出力を制御する。

### 2.1 需給運用計画<sup>(8)</sup>

需給運用計画は、発電機・蓄電池の起動停止状態とその



出力配分を決定する混合整数計画問題で定式化される。この混合整数計画問題は、計画対象の発電機や蓄電池の台数が増えるとその組合せが爆発的に増加する。このため、起動停止の組合せ全てに対して目的関数を評価することは実用上不可能である。そこで、発電機や蓄電池の起動停止パターンの決定に次の処理を導入することで処理時間の短縮を図っている。

- (a) 計算時間短縮のため制約条件を緩和し、二次計画法により発電機の起動停止状態を近似的に仮決めする。
- (b) (a)で仮に求めた発電機の起動停止状態にあらかじめ定めたロジックを適用し、発電機起動停止状態を最終決定する。
- (c) (b)までの処理で決定した発電機の起動停止に対して、発電機・蓄電池の出力配分を二次計画法で決定する。

本手法における目的関数は式(1)のとおりである。発電機運用コストと起動コストからなる経済コストの最小化とする。発電機運用コストは出力の二次関数で近似した。

$$Obj_{UC} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^N (a_k P_k^2(t) + b_k P_k(t) + c_k u_k(t)) + \sum_{k=1}^N \Delta u_k K_k \dots\dots(1)$$

- Obj<sub>UC</sub> : 需給運用計画の目的関数
- P<sub>k</sub>(t) : 発電機 k の時刻 t における出力
- u<sub>k</sub>(t) : 発電機 k の時刻 t における起動停止変数  
(0 : 停止, 1 : 運転)
- a<sub>k</sub>, b<sub>k</sub>, c<sub>k</sub> : 発電機 k の燃料費特性の係数
- Δu<sub>k</sub> : 発電機 k の起動の有無
- K<sub>k</sub> : 発電機 k の起動費
- N : 発電機の台数
- T : 現在からの時刻 T までの計算時間帯

考慮した制約条件は、需給バランス、発電機出力上下限、発電機出力変化率上下限、発電機最小連続停止時間、発電機最小連続運転時間、予備力、蓄電池充放電電力上下限、蓄電池最大充電電力量である。なお、蓄電池の充放電ロスも併せて考慮している。

## 2.2 経済負荷配分制御 (EDC)<sup>(9), (10)</sup>

需給運用計画で算出された起動停止計画に基づき、経済負荷配分制御 (EDC) により、発電機の出力の配分を計算する。EDC は、将来の一定期間において、発電機出力の上下限と変化率に関する制約を考慮してコストを最小化する。これを実現する手法として、等λ法を応用した準最適化法を用いている。次に EDC の定式化を示す。

$$Obj_{EDC} = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^N (a_k P_k^2(t) + b_k P_k(t) + c_k) \dots\dots(2)$$

制約条件を次に示す。

$$\sum_{k=1}^N P_k(t) = P_{load}(t) \dots\dots(3)$$

$$P_{k\_lower}(t) \leq P_k(t) \leq P_{k\_upper}(t) \dots\dots(4)$$

$$-\delta_k \leq P_k(t+1) - P_k(t) \leq \delta_k \dots\dots(5)$$

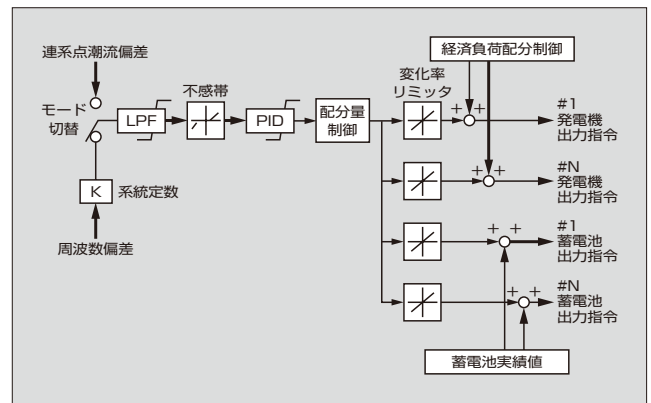


図2 負荷周波数制御のブロック図

- Obj<sub>EDC</sub> : 経済負荷配分制御の目的関数
- P<sub>load</sub>(t) : t 時点の総需要予測値
- P<sub>k\\_lower</sub>(t+i), P<sub>k\\_upper</sub>(t+i) : 発電機 k の出力上下限値  
(各時刻で上下限値の設定が可能)
- δ<sub>k</sub> : 発電機 k の最大出力変化率 (絶対値)
- N : 発電機の台数
- T : 現在からの時刻 T までの計算時間帯

なお、制約条件の式(3)は需給バランス制約、式(4)は発電機出力上下限制約、式(5)は発電機出力変化率上下限制約を示している。

## 2.3 負荷周波数制御 (LFC)<sup>(11), (12)</sup>

図2に、負荷周波数制御のブロック図を示す。負荷周波数制御は、制御対象となるシステムが他のシステムと連系している場合と、自立システムになっている場合で入力値が異なる。すなわち、他システムと連系している場合は入力値として連系点潮流偏差を、自立システムの場合は周波数偏差を入力値として、それぞれの偏差を最小にするように発電機および蓄電池の出力を制御する。負荷周波数制御は、系統連系の場合と自立システムの場合で入力値を切替えてできるようになっている。

負荷周波数制御の制御方法は、最初に最も応答速度の遅い発電設備が制御を担い、制御しきれなかった分については応答順に制御を担っていく方法とした。しかし、このような制御方法では、分散電源が対象システムに多数連系した場合、応答速度が最も早い蓄電池にしわ寄せが生じて、蓄電池残量が底をついてしまう可能性がある。そこで、応答速度の遅い発電設備に余裕がある場合、その発電設備の余力を使い、蓄電池の充電量 (SOC) を目標値に近づける制御機能を付加した。この制御機能を活用することで、分散電源が対象システムに多数連系した場合でも、蓄電池残量が底をついてしまう可能性を低減することが期待できる。

## 3 シミュレーションによる性能検証

階層型需給制御システムに対する有効性の確認は、需給運用計画、負荷周波数制御の性能検証および経済負荷配分制御の性能検証<sup>(11)</sup>が必要である。開発した階層型需給制御システムに対してシミュレーションを実施し、需給運用計画

および負荷周波数制御の性能を検証した。なお、経済負荷配分制御の性能検証結果については、参考文献(1)を参照されたい。

### 3.1 需給運用計画の性能評価

提案手法の有効性を確認するため、発電機と蓄電池からなるモデルシステムを対象として、1日48点分(計画時間間隔30分)のシミュレーションを行った。なお、負荷については、“京都エコエネルギープロジェクト”<sup>(注1)</sup>での負荷実績値から太陽光発電と風力発電の実績値を差し引いた値を基に、発電機の台数に合わせて適宜加工したものをを用いた。使用したPCは、CPUがPentium4 3GHz、メモリは1GBである。

#### (1) 厳密解法との比較

発電機台数を5台として、開発した需給運用計画機能により求めた計画と、混合整数二次計画法(厳密解法)により求めた需給運用計画を<sup>(注2)</sup>図3に示す。厳密解法は最適化パッケージソフトウェアのLINGOを用いた。表1に、提案手法と厳密解法の経済コスト(発電機の燃料費+起動費)と処理時間の比較を示す。なお、経済コストは厳密解法を100%とした相対値で示している。提案手法は厳密解法に比べて処理時間は約1/1000であるのに対し、経済コストは約0.3%増加にとどまっている。計画結果を比較す

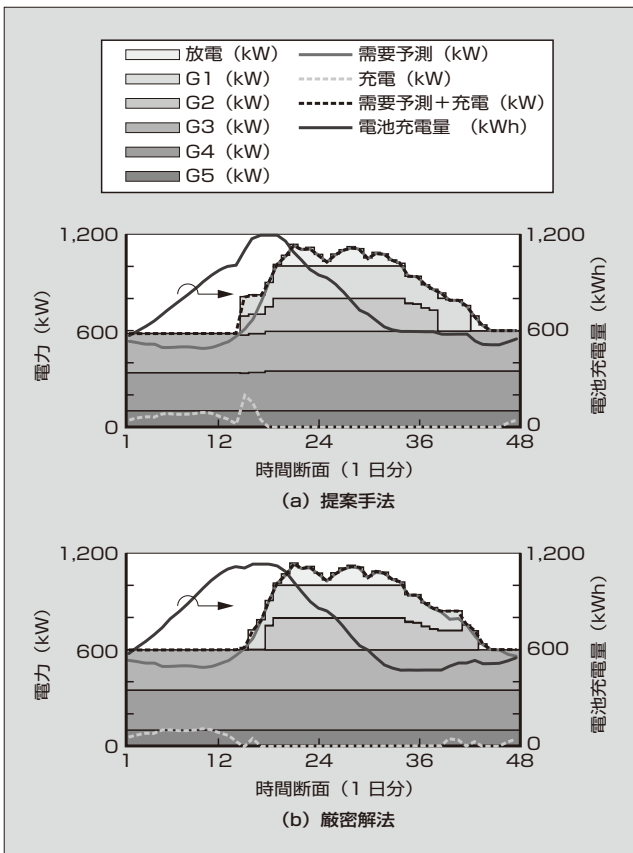


図3 需給運用計画の比較

<注1> Pentium4 : Intel Corporation の商標または登録商標

<注2> LINGO : LINDO SYSTEMS INC. の商標または登録商標

表1 経済コストと処理時間の比較

| 解法   | 経済コスト   | 処理時間             |
|------|---------|------------------|
| 提案手法 | 100.31% | 13秒 (0.13%)      |
| 厳密解法 | 100.00% | 9,907秒 (100.00%) |

表2 提案手法における発電機台数と処理時間の比較

| 発電機台数 | 5台  | 10台 | 15台  |
|-------|-----|-----|------|
| 処理時間  | 13秒 | 51秒 | 114秒 |

ると、負荷の立ち上がり時間帯において、提案手法では停止していた2台の発電機(G1, G2)を起動させ、余った電力を蓄電池に充電している。これにに対し、厳密解法では新たに起動した発電機は1台(G1)だけと違いはあるが、提案手法による計画結果は制約条件を満たしており、経済コスト・処理時間の観点から実用上問題ないことを確認した。

#### (2) 発電機台数と処理時間

発電機台数を変化させた処理時間を表2に示す。発電機台数が15台で処理時間114秒であり、マイクログリッドで30分ごとに需給運用計画を立案することを想定すると、十分な処理時間であることを確認した。

### 3.2 負荷周波数制御の性能評価

提案手法の有効性を確認するため、発電機、蓄電池、太陽光発電、負荷で構成されるシステムをリアルタイムシミュレータ上に構築して検証を行った。

#### (1) システムモデル

システムモデルは上位システム(無限大電源)と連系しているシステム容量500kWのシステムを対象とし、連系点での電力潮流一定制御を実施した。シミュレーションに使用したシステムモデルを図4に示す。システムモデルは発電機が2台、ならびに蓄電池、太陽光発電、負荷がそれぞれ1台で構成される。需給制御システムは、連系点潮流の計測値を入力とし、連系点潮流が目標値となるように発電機および蓄電池の有効電力を制御する。なお、本検証では、連系点潮流の目標値は0kWとした。図5に、検証で使用した太陽光発電の出力および電力需要を示す。なお、太陽光発電の導入率はシステム容量の30%とし、蓄電池の出力は太陽光発電出力の30%、容量は定格出力で30分放電できる値とした。本検証では、蓄電池SOCを60%に制御するように設定した。

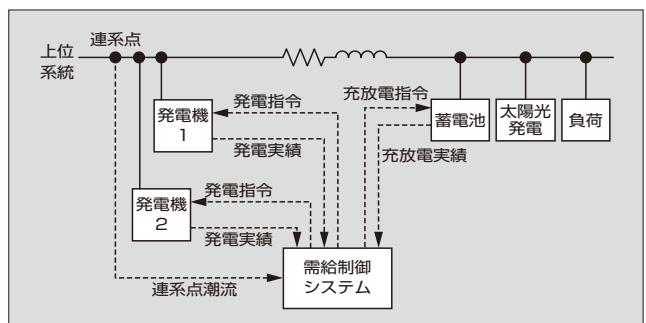


図4 システムモデル

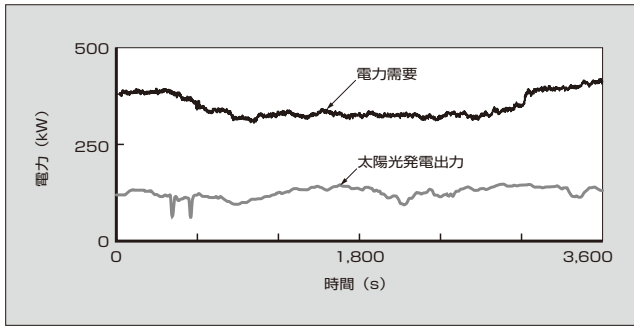


図5 太陽光発電の出力と電力需要

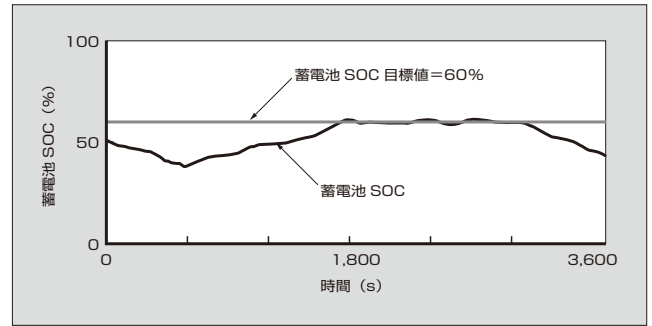


図8 太陽光発電の出力と電力需要

## (2) 検証結果

蓄電池 SOC を制御する機能を持つ負荷周波数制御に対して、上記システムモデルを用いてリアルタイムシミュレータにより性能評価を実施した。なお、連系点潮流制御の制御目標は、30分間で発電電力量と負荷電力量の誤差が3%以内と規定されている30分同時同量を考慮し、これよりも厳しめの目標として、5分間移動平均誤差で3%以内と設定した。図6、図7、図8に検証結果を示す。シミュレーションの結果、5分間移動平均は最大でも約0.1%となり(図6)、連系点潮流制御の評価目標である3%以内を満足できている。次に、蓄電池 SOC 制御機能の検証結果について考察する。

図8から、1,800秒から3,000秒の間では蓄電池 SOC を目標値である60%に制御できていることが確認できる。しかし、600秒以前と3,000秒以後は目標値の60%から遠ざかっている。これらの時間帯は太陽光発電や負荷の変動が大きいため、蓄電池の本来の機能として変動吸収を行った結果である。これに対し、600秒から1,800秒の間では

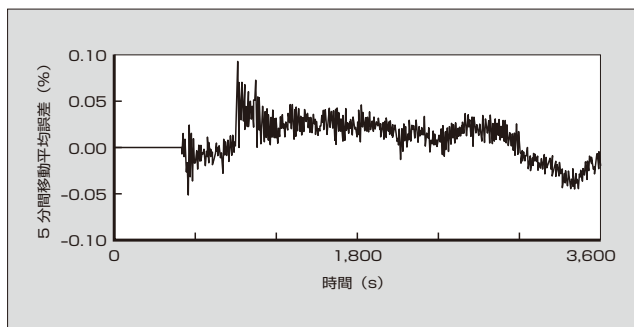


図6 5分間移動平均誤差

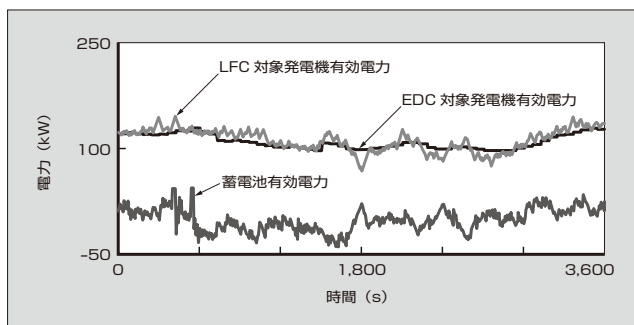


図7 発電機と蓄電池の出力

太陽光発電や負荷の変動が小さく、発電機のみでこれらの変動に対応できる時間帯が多い。この時間帯は発電機出力を大きめに出力し、蓄電池に充電指令を出すことにより、全体としては需給バランスを維持しつつ、蓄電池 SOC を60%に近づけており、開発した機能の有効性が確認できた。

## 4 あとがき

本稿では、分散電源連系システムを対象とした需給運用計画、経済負荷配分制御および負荷周波数制御で構成する階層型需給制御システムの概要、ならびにシミュレーションによる性能検証結果について述べた。今後は、本システムの実システムへの展開を図っていく所存である。

## 参考文献

- (1) エネルギー基本計画. 資源エネルギー庁. 2010.
- (2) 離島等独立系統における新エネルギー活用型電力供給システム安定化対策実用化可能性調査報告書. IAE-051544. NEDO, 一般財団法人エネルギー総合工学研究所. 2006.
- (3) 離島における新エネルギー導入グランドデザインの策定について～離島での新エネルギー導入促進のために～. 経済産業省. 2009.
- (4) 今吉忠利ほか. 小規模離島への再生可能エネルギー導入時のシステム構成の検討. 電気学会電力・エネルギー部門大会. 2009, no.161.
- (5) 電気学会技術報告. 電力系統における常時及び緊急時の負荷周波数制御. 2002, no.869.
- (6) 電気学会技術報告. 電力系統の需給制御技術. 1989, no.302.
- (7) 柳父悟, 加藤政一. 電力系統工学. 東京電機大学出版局. 2006.
- (8) 近藤英幸ほか. 離島マイクログリッド向け需給運用計画. 電気学会電力・エネルギー部門大会. 2010, no.227.
- (9) 餘利野直人ほか. 変化率制約を考慮したELD問題のオンライン時間準最適化法の提案. 電気学会論文誌 B.1988, vol.108, no.4, p.141-148.
- (10) 村上賢哉ほか. 離島マイクログリッド向け経済負荷配分. 電気学会電力・エネルギー部門大会. 2010, no.225.
- (11) 山田越生ほか. 離島マイクログリッド向け負荷周波数制御の検討. 電気学会電力・エネルギー部門大会. 2010, no.106.

- (12) 鳥崎祐一ほか. スマートグリッド向け需給制御システムのリアルタイムシミュレータによる検証(2)－蓄電池容量制御の検証－. 電気学会全国大会. 2012, no.6-119.
- (13) 伊原木永二郎ほか. 分散型エネルギーシステムを支える技術. 富士時報. 2005, vol.78, no.6, p.423-430.



**勝野 徹**

電力・エネルギー分野の解析・制御アルゴリズムの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部長。電気学会会員。



**飯坂 達也**

電力・エネルギー分野のインテリジェントシステムの適用研究・システム開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部マネージャー。博士（工学）。電気学会会員。



**林 巨己**

電力・エネルギー分野の解析・制御アルゴリズムの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部主任。電気学会会員。





# 太陽光発電の発電量予測技術

## Photovoltaic Power Generation Forecasting Technology for Supporting Energy Management Systems

石橋 直人 ISHIBASHI Naoto

飯坂 達也 IIZAKA Tatsuya

勝野 徹 KATSUNO Tohru

低炭素社会の実現に向けて、太陽光発電の導入が世界的に推進されている。太陽光発電は、発電量が気象条件により大きく変動するため、大量に導入されると電力系統に悪影響を与える。このため、発電量を予測し、需給制御を行う必要がある。富士電機は、安定した需給制御を実現するために、発電量予測技術を開発した。数値気象予報データから日射量を予測し、太陽光モジュールの特性を用いて発電量に換算することで、世界のどの地域においても数日先までの予測が可能である。

With the aim of realizing a low-carbon society, photovoltaic power generation is being promoted worldwide. The amount of photovoltaic power generation will fluctuate dramatically according to the weather conditions, and may adversely affect the power system if introduced in large quantities. Therefore, it is necessary to forecast the amount of power generation and to control the supply and demand. In order to achieve supply and demand control that is stable, Fuji Electric has developed technology for forecasting the amount of power generation. By predicting the amount of insolation from numerical weather forecast data, and converting that prediction into an amount of power generation based on the properties of photovoltaic modules, the amount of power generation can be forecasted for up to several days in the future in any region of the world.

### 1 まえがき

近年、低炭素社会に向けた取組みや東日本大震災後の電力不足を背景に、電力系統に太陽光発電を大量に導入することが計画されている。しかし、太陽光発電は、気象条件に依存して発電量が大きく変動するため、電力系統に悪影響を与えることが懸念される。このため、電力系統の安定的な需給制御を行うには太陽光発電の発電量を予測し、エネルギーマネジメントシステム (EMS: Energy Management System) <sup>(1)</sup> で発電機や蓄電池の計画や制御を行うことが重要である。

本稿では、開発した発電量予測手法とシミュレーションによる有効性の確認結果について述べる。

### 2 発電量予測技術の概要

太陽光発電における予測方式としては、発電量を直接予測する直接予測と、日射量を予測してから発電量に換算する間接予測の二つがある。直接予測は太陽光発電モジュールごとに発電量とさまざまな要因との関係をモデル化する必要がある。

一方、間接予測は、近年では汎用的に予測できる方式として主流となっている。この方式では、気象情報と日射量との関係をモデル化する必要があり、利用する気象情報により次の三つの方法に分類することができる。<sup>(2)</sup>

#### (1) 天気予報利用方法

晴れ、曇りなどの天気から発電量を予測する。天気予報は離散的な予報しかできないため、高い予測精度が望めない欠点がある。

#### (2) 数値気象予報データ利用方法<sup>(4), (5), (6)</sup>

気象庁では、地球水平面を数 km 間隔で地上数十層に格

子状に分割し、詳細な数値気象予報データを計算している。これを用いて発電量を予測する方法である。多くの気象要素を利用して予測することが可能であり、高い予測精度が期待できるメリットがある。一方、多くの気象要素を適切に処理する必要があり高い統計処理技術が要求される。

#### (3) 気象数値シミュレーション利用方法<sup>(7)</sup>

数値気象予報データを初期値にして計算の格子間隔をさらに細かく計算する方法である。分単位など詳細な予測ができる利点があるが、膨大な計算コストが必要になる欠点がある。<sup>(8)</sup> 計算条件にもよるが計算時間が 2 ~ 20 時間との報告もあり、EMS の計算更新周期 30 分に収まらない。

EMS では、需給バランスを制御する必要があるため、太陽光発電予測には、高い精度と早い計算が要求される。また富士電機では高い統計処理技術を保有していることから、(2)の数値気象予報データを利用した太陽光発電予測機能の開発を行った。

図 1 に、発電量予測システムの機能構成を示す。気象庁から発表される数値気象予報データを受信し、予測対象地域の気象予報を抽出する。これらの気象予報には日射量が含まれていない。そのため、発電量予測システムは、気象予報値から日射量を予測し、最後に予測対象地域にある太陽光発電モジュールの特性を用いて発電量に変換する。<sup>(9)</sup>

本システムの特徴を次に示す。

- (a) 世界中のどの地域でも、適用可能である。
- (b) 最大 192 時間先までの予測が可能である。
- (c) 多くの気象要素を用いているため、精度の高い発電量予測が可能である。
- (d) 計算時間が 1 分以内と EMS の計算更新周期 30 分よりも早く、システムへの負荷が小さい。

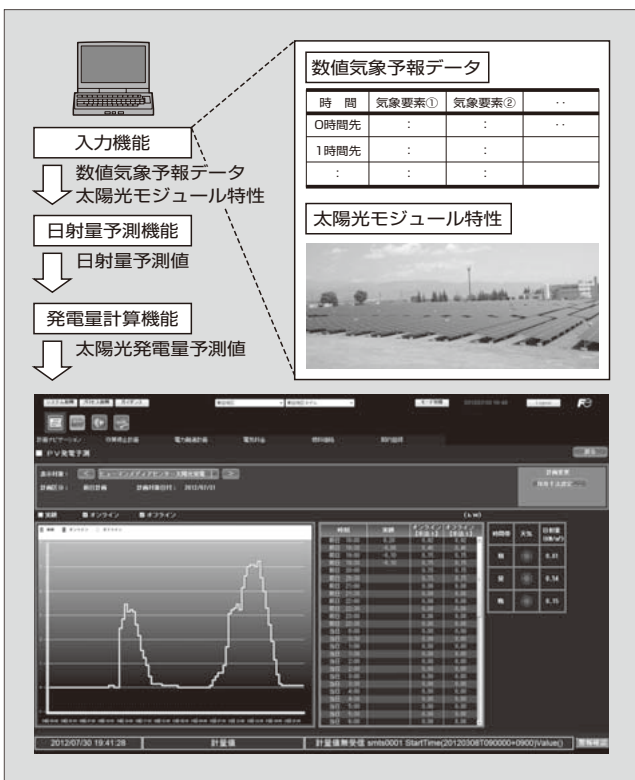


図1 発電量予測システムの機能構成

### 3 発電量予測手法

#### 3.1 数値気象予報

数値気象予報では、大気を数 km 間隔の三次元格子網で覆い、格子点上の大気（気温、風速、風向、気圧）や水蒸気（相対湿度、降水量、雲量）などの気象要素の時間変化を数値的に解くため、膨大な観測データと計算能力が必要である。そのため、主要国の気象庁でのみ実施されている。日本の気象庁では GSM（全球域）、GSM（日本域）、MSM（日本域）の三種類を計算している。表1に示すように、予報範囲、格子間隔、配信間隔、予報期間が異なる。数値気象予報ではさまざまな気象要素が予報されているが、発電量予測に必要な日射量については予報されていない。

なお、開発した発電量予測手法は、三種類の数値気象予報データのいずれも利用可能である。

表1 数値気象予報の予報内容

| 予報種別      | 予報範囲                         | 格子間隔                          | 配信間隔 | 最大予報期間 |
|-----------|------------------------------|-------------------------------|------|--------|
| GSM (全球域) | 全世界                          | 東西0.5°<br>南北0.5°<br>鉛直17層     | 6時間  | 192時間  |
| GSM (日本域) | 北緯20°～50°<br>東経120°～150°     | 東西0.25°<br>南北0.2°<br>鉛直17層    | 6時間  | 192時間  |
| MSM (日本域) | 北緯22.4°～47.6°<br>東経120°～150° | 東西0.05°<br>南北0.0625°<br>鉛直16層 | 3時間  | 33時間   |

#### 3.2 日射量予測方法

地上における日射量は、太陽からの日射量が大气において減衰したものである。この物理的な特性を考慮して日射量を予測するため、図2に示すとおり、(1)～(3)の三つのステップで計算を行った。

##### (1) 大気外日射量の算出

大気外日射量は、大気圏に入る前の太陽放射エネルギー量のことであり、次式に示すように位置と太陽の方位から算出することができる<sup>(10)</sup>。

$$H_0 = I_0 \sin(h) \dots\dots\dots(1)$$

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) \dots\dots\dots(2)$$

( $\sin(h) < 0$  のとき  $\sin(h) = 0$ )

$H_0$  : 大気外日射量

$I_0$  : 太陽定数

$h$  : 太陽高度

$\delta$  : 赤緯

$\phi$  : 緯度

$\omega$  : 時角

##### (2) 地上日射量予測モデルの構築

大気における大気外日射量の減衰は、大気中の湿度や雲量など多くの気象要素から影響を受ける。そのため、地上における日射量を精度高く予測するためにはこれら多くの要素を用いて予測することが望ましい<sup>(6)</sup>。

表2に、予測に用いる入出力データを示す。従来から予測モデルとして最も多く使われている手法は重回帰式であるが、重回帰式では多重共線性の問題によって、予測精度が悪化することがある。多重共線性とは、入力データの相互に強い相関関係が生じたとき、適切なモデルを構築できなくなる現象のことである。表2に示すとおり多くの入力データがあると、多重共線性の問題が発生する場合があります。重回帰式では適切な予測モデルができないことがあった。そこで、部分的最小二乗法（PLS：Partial Least Squares）と呼ばれる統計手法を用いてモデル化した。PLSでは説明変数間の多重共線性を扱うことができ、

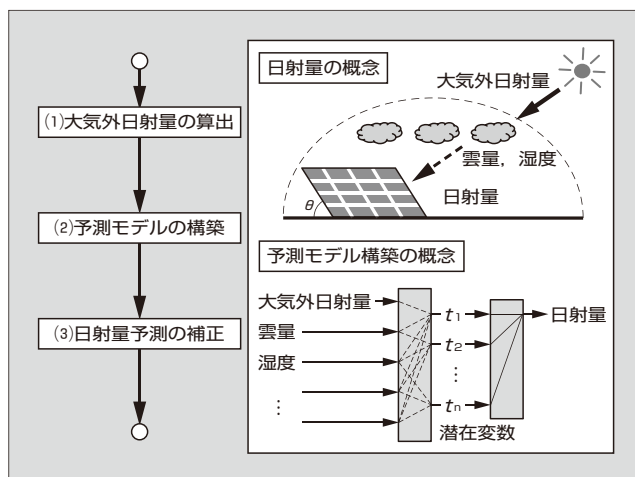


図2 日射量予測のフローチャート

表2 日射量予測モデルの入出力情報

| 入出力 | 大項目 | 詳細項目   |
|-----|-----|--|
| 入 力 | 雲 量 | 全雲量<br>雲量 (上層)<br>雲量 (中層)<br>雲量 (下層)   |
|     | 湿 度 | 1,000 hPa面湿度<br>925 hPa面湿度<br>850 hPa面湿度<br>700 hPa面湿度<br>600 hPa面湿度<br>500 hPa面湿度<br>400 hPa面湿度<br>300 hPa面湿度 |
|     | 日射量 | 大気外日射量   |
| 出 力 | 日射量 | 日射量  |

安定した回帰係数を求めることができるという利点がある。PLS では多重共線性を扱うために、説明変数を潜在変数と呼ばれる中間変数に集約した上で、出力変数を次式に示すように表現する。

$$t = (W^T P_C)^{-1} W^T x \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$y = Q_C t = Q_C (W^T P_C)^{-1} W^T x \quad \dots\dots\dots(4)$$

- $x$  : 入力変数
- $t$  : 潜在変数
- $y$  : 出力変数推定値
- $W$  : 重み行列
- $P_C$  : 入力変数に関する係数行列
- $Q_C$  : 出力変数に関する係数行列

(3) 地上日射量予測の補正

(2)で求めた地上日射量の予測値は、モデル構築に用いたデータのばらつきなどの影響により、わずかであるが物理的な値を逸脱する場合がある。そこで、日射量予測値が物理的に取り得る範囲を逸脱する場合は、最大日射量もしくは最小日射量に補正する。また、雨天のとき日射量は最小日射量になるため、予報降水量から雨天時と判断される場合は、最小日射量に補正する。

3.3 発電量予測方法

発電量は、次式によって日射量と太陽光パネルの効率から求めることができる。

$$P_{out} = y P_{rate} E_{trans} E_{temp} \quad \dots\dots\dots(5)$$

- $P_{out}$  : 発電量
- $y$  : 日射量
- $P_{rate}$  : 定格出力
- $E_{trans}$  : 変換効率
- $E_{temp}$  : 各温度におけるモジュールの変換効率の係数 (モジュール温度効率)

しかし、図3に示すように太陽光パネルのモジュール温度効率は、太陽光パネルの種類により効率の変化の度合いが異なる特徴がある。そこで、モジュール温度効率をテーブルとして持つことで、さまざまな太陽光パネルに対応できるようにした。

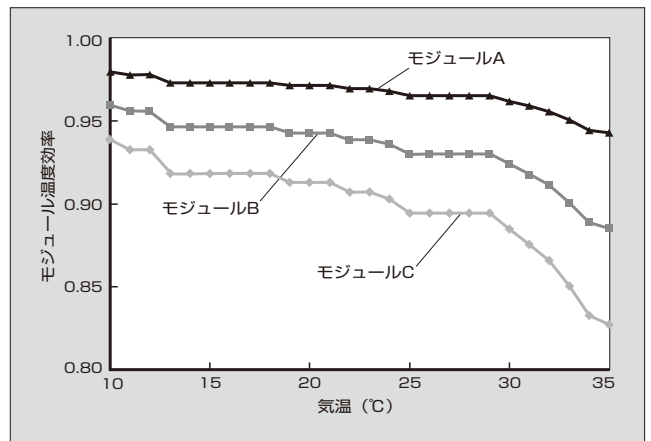


図3 気温とモジュール温度効率の関係

4 シミュレーション例

開発した発電量予測手法に基づきシミュレーションを行った。図4に日射量の予測と実績の比較を、図5に太陽光発電量予測と実績の比較結果を示す。数値気象予報データは、日の出前の3時発表のGSM (日本域)を用い、4時から翌日3時まで24時間分の予測を行った。評価月は、4月と7月のそれぞれ1か月間である。

解析結果は、おおむね良好な予測結果であった。一部で予測と実績の乖離(かいり)が生じているが、これは配信された数値気象予報自体の誤差によるものであることが分かっている。また、太陽光発電予測の予測精度を表3に示す。太陽光発電予測に求められる予測精度は、発電機の起動停止に悪影響を与えないためには発電機1台分以下である。EMSの制御対象発電機を10台(大規模離島での発電機数)、太陽光発電が系統容量の30%(国内の2030年導入目標)とすると、求められる太陽光発電予測の精度は太陽光発電量の定格が1.0p.u.ならば0.33p.u.(発電機1台分の定格容量)以下となる。表3から全ての

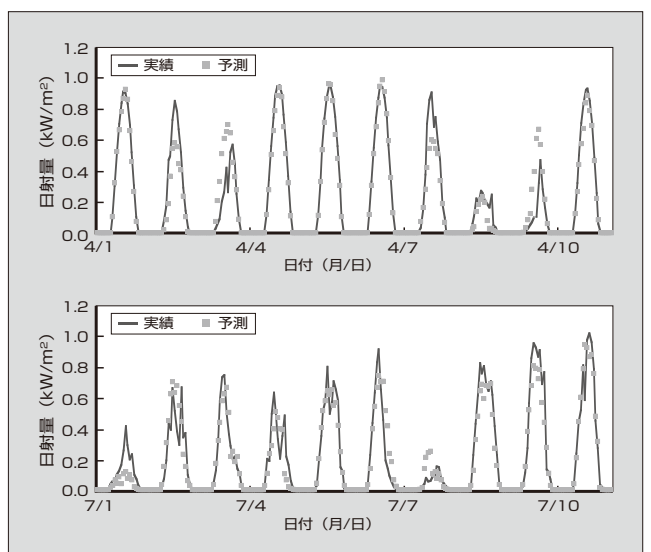


図4 日射量予測結果

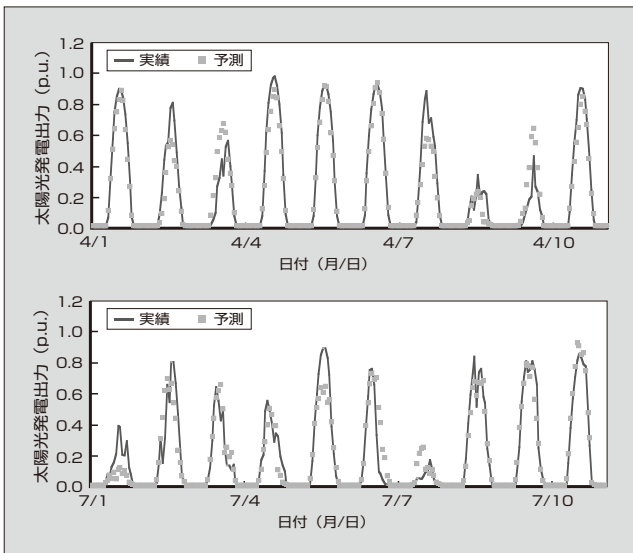


図5 太陽光発電の発電量予測結果

表3 太陽光発電予測精度

| 算出方法        | 6時   | 7時   | 8時   | 9時   | 10時  | 11時  | 12時  |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| RMSE (p.u.) | 0.01 | 0.04 | 0.07 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.20 |
| MAE (p.u.)  | 0.01 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.15 | 0.15 |

| 算出方法        | 13時  | 14時  | 15時  | 16時  | 17時  | 18時  | 平均   |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| RMSE (p.u.) | 0.18 | 0.16 | 0.16 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.12 |
| MAE (p.u.)  | 0.14 | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.06 | 0.03 | 0.09 |

RMSE : Root Mean Square Error  
 MAE : Mean Absolute Error  
 p.u. : per unit法 (単位法)

時刻において、0.2 p.u. 以下での予測が可能であり、本手法が有効であることが分かる。

## 5 あとがき

EMSにおいて発電機の起動停止計画を立案する上で欠かせない太陽光発電の予測技術について述べた。本技術は、数値気象予報で配信される雲量や湿度など多くの気象予報を用いて予測するため、予測精度が高いという利点がある。また、数値気象予報は地球全体を予測していることから、世界中いずれの地域でも適用可能な方法である。

この技術は、風力発電の発電量予測技術とともに、再生可能エネルギーの予測技術として、“北九州スマートコミュニティ創造事業”において実証試験中である。今後、予測精度の向上や予測対象時間の拡大などの改良を行っていく所存である。

## 参考文献

- (1) 荻本和彦. 太陽光発電と電力システム. 電子情報通信学会誌. 2010, vol.193, no.3, p.217-221.
- (2) 大関崇ほか. 太陽光発電の発電予測の現状と課題. メタボリズム社会・環境システム研究会. 2011, MES-11-004.
- (3) 工藤満ほか. エネルギーネットワークにおける太陽光発電予測技術. 電気学会B部門論文誌. 2007, vol.127, no.7, p.847-853.
- (4) 片岡裕次郎ほか. 雲量の数値気象予報データを用いた日射量予測. 太陽・風力エネルギー講演論文集. 2009, p.127-130.
- (5) 山岸良雄ほか. 北陸地域における日射量の基礎検討. 電気学会全国大会. 2010, no.6-076.
- (6) 大平涼子ほか. 部分的最小二乗法を用いた日射量予測. 電気学会全国大会. 2012, no.6-021.
- (7) 高山聡ほか. 予測誤差傾向を考慮した大規模太陽光発電所の計画運転. 電気学会B部門論文誌. 2011, vol.131, no.3, p.64-71.
- (8) 風力発電電力系統安定化等技術開発—気象予測システム—気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発. NEDO報告書. 2008, p.425-429.
- (9) 石橋直人ほか. 部分的最小二乗法を用いた日射量予測とその信頼区間の推定方法. 電気学会B部門論文誌. 2013, vol.133, no.1, p.304-312.
- (10) 日本太陽エネルギー学会編. 新太陽エネルギーハンドブック. 第4刷, 日本太陽エネルギー学会. 2000, 841p.
- (11) 加納学. プロセスケモメトリクスによる統計的プロセス管理. システム/制御/情報. 2004, vol.48, no.5, p.165-170.



### 石橋 直人

電力・エネルギー分野のインテリジェントシステムの適用研究・システム開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部。電気学会会員。



### 飯坂 達也

電力・エネルギー分野のインテリジェントシステムの適用研究・システム開発に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部マネージャー。博士(工学)。電気学会会員。



### 勝野 徹

電力・エネルギー分野の解析・制御アルゴリズム開発業務に従事。現在、富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センタースマートグリッド開発部長。電気学会会員、日本シミュレーション学会会員。



# 太陽光発電システム用ストリング監視ユニット 「F-MPC PV」

“F-MPC PV,” String Monitoring Unit for Photovoltaic Power Generation Systems

町田 悟志\* MACHIDA Satoshi

2012年7月に施行された「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づく「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」によって、太陽光発電設備の導入が急速に拡大している。

一方、太陽電池（PV：Photovoltaic）では、出力が低下するPID（Potential Induced Degradation）現象やほとんど不良などに起因したPVパネルの故障が、設置後10年間で10%を超えて発生しているという報告もあり、発電事業において看過することができなくなっている。

富士電機は、PVパネルを直並列に連結したストリング単位の故障を早期に発見するために、電流・電圧を計測する太陽光発電システム用ストリング監視ユニット「F-MPC PV」を発売した（図1）。

## 1 PV ストリング監視

太陽光発電システムの構成を図2に示す。

太陽光発電ではPVパネルを複数枚接続し、得られた電流および電圧をグループ化して扱う。このグループ化した単位を“ストリング”と呼んでいる。ストリングごとの発電電力は、接続箱や集電箱で統合されてパワーコンディショナ（PCS：Power Conditioner）に送られる。例えば、定格電圧DC500Vで1MWの発電システムを想定した場合、通常はDC10A以下で一つのストリングとしていることから、1ストリング当たりの定格電流をDC10Aで計算すれば200のストリングが必要となる。一般的にPVパネルが故障した場合のストリングにおけ



図1 「F-MPC PV」

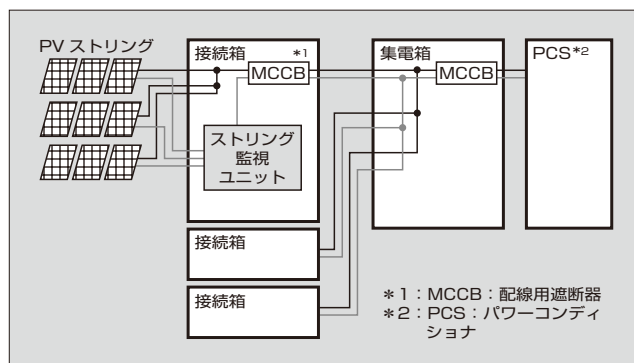


図2 太陽光発電システムの構成

る発電量は、健全時に対して10～20%低下する。ストリングでの発電量が20%低下すると発電口は1kWとなり、発電システム全体の1MWに対しては0.1%程度である。太陽光による発電電力は時々刻々と変化するので、このレベルの変化は集電箱以降での一括した電力の計測では判別が難しい。しかし、1kWの発電口を長期間放置することは、発電事業としては許容できない。また、広大な敷地に1,000枚以上もあるPVパネルを定期的に点検し、健全性を確認することは容易でない。こうした背景から、接続箱において、ストリングごとに発電電力を監視する要求が高まっている。

## 2 「F-MPC PV」の概要

### 2.1 特徴

F-MPC PVは、ストリング単位の電流・電圧を計測し、電流と計算した電力値とを上位監視システムに伝送する。

上位監視システムでは、接続箱に接続した複数のストリングによる発電電流および電力の平均値を基準にし、個々のストリングの発電電流および電力値が低下していることを異常と判断して警報を出力する。これにより、設備管理者にメンテナンスを促すことができる。故障部位の早期発見と故障箇所の特定が可能となり、発電ロスと設備点検工数の低減を図ることができる。

F-MPC PVでは、上位側での監視を容易にするために、回路ごとの電流・電力値に加えて、全回路の合計値などの演算結果の出力機能を備えている。

### 2.2 仕様

表1にF-MPC PVの仕様を示す。図3に接続箱内の配

\* 富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部開発部

表1 「F-MPC PV」の仕様

| 項目   | 仕様                 |   |
|------|--------------------|---|
| 計測仕様 | 電流                 | DC1.0~10.0A×12回路, FS±1%                 |
|      | 電圧                 | DC100~1,000V×1 (共通), FS±1%              |
|      | デジタル入力             | DC24V 定格5mA×2回路                         |
|      | アナログ入力             | 0~10Vおよび4~20mA 各1回路 (非絶縁)<br>%出力, FS±1% |
|      | 温度                 | -25~+75℃, ±5℃以内                         |
| 外形寸法 | W284×H128×D71 (mm) |   |
| 取付方法 | DINレール取付け          |   |

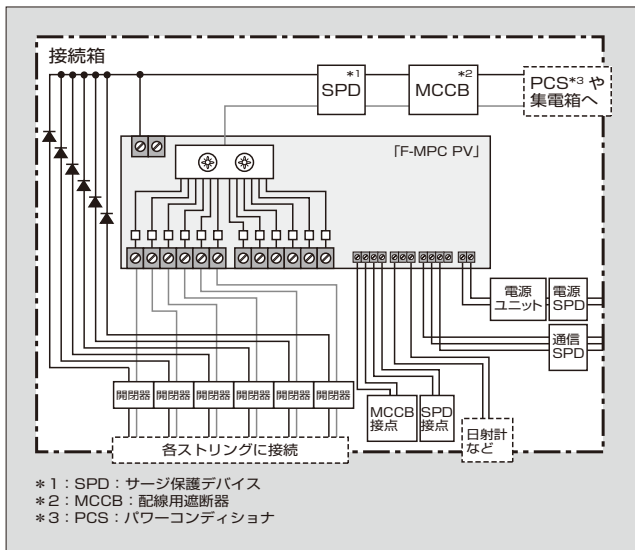


図3 接続箱内の配線例

線例を示す。

- (1) 発電電圧 DC1,000 V に標準対応
- (2) 1 ストリング当たり定格 (10 A) ×12 ストリングを計測
- (3) 監視計測機能
  - (a) Di (デジタル入力) ×2 回路: MCCB (配線用遮断器) 開閉状態, SPD (Surge Protective Device) 動作状態などの監視
  - (b) Ai (アナログ入力) ×2 回路: 0~10 V, 4~20 mA 入力各1回路 (非絶縁), 各種環境センサを接続
  - (c) 接続箱内温度計測×1点
- (4) 耐湿コーティングによる結露対策
- (5) RS-485 通信機能
 

(注) MODBUS RTU および「F-MPC-Net」(富士電機仕様) プロトコルを搭載 (スイッチ設定で切替え)

### 3 背景となる技術

#### 3.1 耐環境性技術

F-MPC PV を収納する接続箱は, PV パネルに隣接

〈注〉 MODBUS: フランス Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

した屋外に設置される。日差しの強い夏には箱内の温度は 70℃に達する一方, 冬には氷点下にさらされる。また, 広大なフィールドでは雷害も懸念されている。このような厳しい環境においても 10 年以上安定して動作し, PV パネルの一般的な保証期間や発電電力の買取価格保証期間である 20 年の間に, 交換は 1 回で済むようにしている。これを実現するため, 受配電システムにおけるキュービクルや電気自動車用充電器に利用している計測監視機器の製品化技術をベースとし, 車載用の温度範囲の広い電子部品を採用する一方で, 製品寿命に影響の大きい電解コンデンサは使用しないなどの耐環境性の高い設計手法を適用している。

雷害対策として, 発電電流や電圧を計測する主回路で, ユニット単独での耐圧・耐雷性能のレベルを向上させている。さらに, 実績のある低圧電源や通信回路用の SPD ならびに DC1,000 V 対応の主回路用 SPD を併用することで, システム全体の耐雷性能が強化できる。

#### 3.2 上位監視システムを考慮した計測技術

上位監視システムにおいて通常の状態把握の計測だけでなく, 次に示すような演算機能を加えることにより, ストリングの異常を判定できるようにした。

- (a) 電力現在値 (各ストリング×12, 全ストリング合計値)
- (b) 期間最大値・最小値・平均値 (各ストリング×12, 全ストリング合計, 最大ストリング・最小ストリング)

期間最大値・最小値・平均値は, 監視システムにおいて個々の計測箇所での急激な変化を把握する上で極めて有効なデータであり, 富士電機では従来から電力管理機器に搭載している。上位監視システムが数十秒から数分間隔で収集するデータは, 通信したタイミングの現在値である。

F-MPC PV では, 通信したタイミング以外の状態を把握するために, 100 ms ごとに測定した現在値を基に, 一定期間 (1, 5, 10, 15, 30 分から選択) 内の最大値・最小値・平均値を出力する。これにより, 高速サンプリングのデータロガーと同様に最大値・最小値が把握できる。

上位監視システムは, このような計測データを基に“発電ロスが生じているストリング”を容易に特定できる。

#### 発売開始時期

2013 年 8 月 19 日

#### お問い合わせ先

富士電機機器制御株式会社  
管理本部事業統括部業務部受配機器課  
電話 (03) 5847-8060

(2013 年 8 月 19 日 Web 公開)

# 新型スマートメータ「Azos GFI」

“Azos GFI,” New Type Electrical Watt–Hour Meter

江野本 隆\* ENOMOTO Takashi

一般ユーザ向けの新型スマートメータ「Azos GFI」を発売した。Azos GFI は、グローバルにメータ事業を展開する GE (General Electric Company) と、長年国内でノウハウを培ってきた富士電機のメータに関する技術を融合させたスマートメータである。

Azos GFI の主な用途は、市場が拡大している高圧一括受電の集合住宅における集中検針システムである。通信方式には近距離無線通信規格 ZigBee<sup>(注1)</sup> による無線マルチホップ方式を採用した。毎時 00 分、30 分における有効電力量のデータ収集や開閉器の遠隔操作を行うことができ、時間帯別の電気料金取引やデマンドレスポンスなどに使用できる。

## 1 特徴

Azos GFI の外観を図 1 に、型式・仕様を表 1 に示す。特徴は、次に示すとおりである。



図 1 「Azos GFI」

表 1 「Azos GFI」の型式・仕様

| 型 式      | 相線式   | 仕 様         |                         |                 | 検 定  |
|----------|-------|-------------|-------------------------|-----------------|------|
|          |       | 100V<br>60A | 通信機能付<br>(無線<br>ZigBee) | 50 Hz,<br>60 Hz |      |
| F2YWF-RA | 単相三線式 |             |                         |                 | 有, 無 |

〈注 1〉 ZigBee : ZigBee Alliance, Inc. の商標または登録商標

\* GE 富士電機メーター株式会社技術部

- (a) 通信方式に無線 (ZigBee) を採用し、さらに他社には例を見ない計量ボード、通信ボード、開閉器の全てを収めた一体型構造として、富士電機で初めて型式承認を取得した。
- (b) 筐体 (きょうたい) はプラスチック製とし、強化耐候形の機械式 30 A 計器と同等の大きさである。端子構造は JIS 配列で 60 A 用電線 (22 mm<sup>2</sup>) の接続ができる。また、屋外にも設置できるように強化耐候形とした。
- (c) 検定有効期間の満了時に計器交換を安全に行えるように、計器部と端子部を分離した構造とした。
- (d) 通信プロトコルの規格は、ANSI C12.18, C12.19 に準拠しており、この規格に準拠しているシステムに接続可能である。
- (e) 計器デザインは、設置環境に調和するシンプルなものにした。

## 2 「Azos GFI」を用いた集中検針システム

Azos GFI を使用した集中検針システムのシステム構成を図 2 に、機能一覧を表 2 に示す。集合住宅内では、集約機から ZigBee の無線マルチホップ方式 (パケツリレー方式によるデータ伝送) でデータ収集を行い、インターネット経由で通信親機に伝送する。このシステムは、高圧一括受電事業者の料金サーバなどの上位システムに、収集したデータを提供することが可能である。

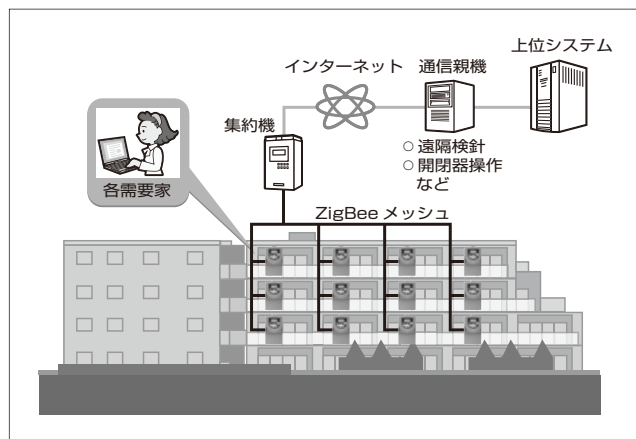


図 2 集中検針システムのシステム構成

表2 「Azos GFI」の機能一覧

| 項目     | 機能                              | 内容                               |
|--------|---------------------------------|----------------------------------|
| 計量     | 有効電力量                           | 順潮流のみ計量                          |
| 計測     | 電圧計測                            | 1側電圧, 3側電圧の1秒間の平均値               |
|        | 電力計測                            | 1秒間の瞬時値                          |
| 30分値記憶 | 有効電力量                           | 45日分                             |
|        | 30分使用量                          | 45日分                             |
| 表示     | 計量値表示                           | 有効電力量                            |
|        | 動作表示                            | エラー, 通信中, 計量象限, 計量状態, 電圧状態       |
| 開閉器制御  | 遠隔操作                            | 開閉器の開閉                           |
|        | DLP (Demand Limiting Period) 制御 | デマンドしきい値(kW)と現在デマンド値の比較による開閉器の開閉 |

### 3 背景となる技術

スマートメータは、基本的に遠隔検針（インターバル検針）、遠隔開閉、計測データの収集・発信といった機能を備えている。今回、これらの機能を実現するための構成要素である計量ボード、開閉器、通信ボードの全てを取めた一体型構造のメータを開発した。

#### 3.1 一体型構造の実現

Azos GFIの内部構造を図3に示す。計量ボード、通信ボードおよび開閉器をホルダで固定することで一体型構造を実現している。今回は ZigBee の通信ボードを内蔵しているが、通信ボードを入れ替えることにより他の通信方式にも対応できる。

#### 3.2 計器部と端子部の分離構造

電力量計の検定有効期間は10年と決められており、10年ごとに交換する必要がある。計器部と端子部が一体の構造では、計器交換時に接続電線を端子部から外すため、電線間の短絡の危険性がある。そこで、計器部と端子部が分離できる構造（図4）にすることで、接続電線を端子部に接続した状態で計器部だけを取り外して安全に交換することができる。

なお、端子部については、2回の検定有効期間の満了（20年）までの性能確保を長期信頼性試験によって確認している。

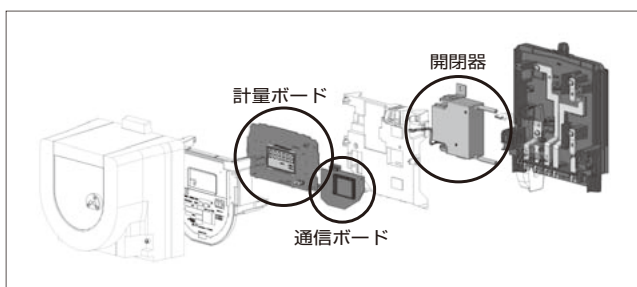


図3 「Azos GFI」の内部構造

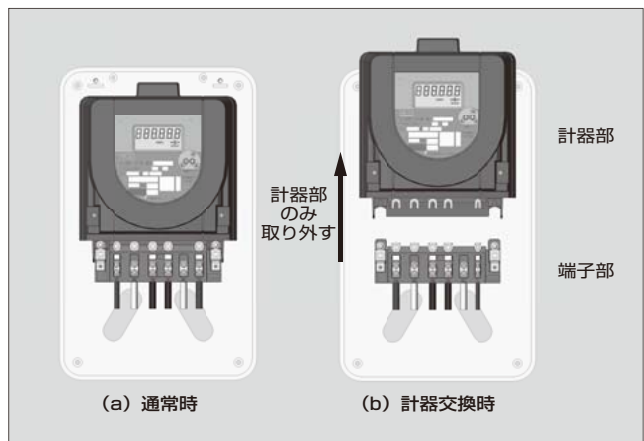


図4 計器部と端子部の分離構造

#### 3.3 計器部の表示内容

計器部は、計量値、動作状態および電圧状態を表示する（図5）。具体的には、次に示すとおりである。

##### (a) 計量値

整数5桁、小数1桁で累積電力量を表示する。文字サイズは、読みやすい11.5×5.6（mm）の大きさとした。

##### (b) 動作状態

計器の動作状態が分かりやすい機械式計器の円盤の回転を模擬して、三つの長方形と矢印のセグメントで表した。順方向で計量しているときは右矢印で表示し、逆方向および無計量状態のときは非表示にする。

##### (c) 電圧状態

欠相状態を目視で確認できるようにした。Aの表示は1側の電圧状態を、Cの表示は3側の電圧状態を示す。正常時は常に表示し、欠相時に点滅する。

#### 3.4 30分値記憶機能

毎時00分、30分における有効電力量のデータは、45日分の保存が可能である。通信機能を用いて上位システムとデータ連携を行うことにより、時間帯別電力量の算出やデマンドレスポンスに対応することができる。

#### 3.5 プラスチック製の筐体による強化耐候形計器

電力量計の耐候性能区分のうち、屋内耐候形や普通耐候形は通常、計器ボックスの中に取り付けるが、Azos GFIは、プラスチック製の筐体による強化耐候形である。

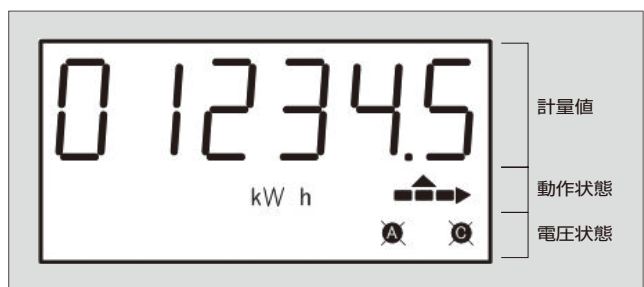


図5 計器部の表示



ため屋外にも設置できる。

### 3.6 QRコード

メータの管理を簡素化できるように、必要に応じて38桁のQRコード<sup>〔注2〕</sup>を銘板に記載できるようにした（図6）。例えば、メータの定格や計器番号などの情報を格納した

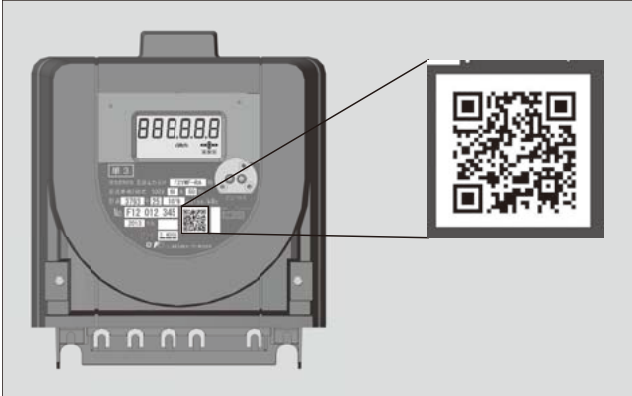


図6 QRコード

〔注2〕 QRコード：株式会社デンソーウェーブの商標または登録商標

QRコードをリーダーなどで直接読み込むことで、計器の管理用機器への転記作業を省くことができる。

### 3.7 開閉器の制御

Azos GFIは、遠隔制御およびDLP（Demand Limiting Period）制御を備えている。DLP制御では、ある一定時間における平均電力（デマンド）とデマンドしきい値（kW）を比較し、実際のデマンドがしきい値を超えていたときに開閉器を開くことができる。この制御によって、自動で負荷を遮断し、需要を抑制することもできる。

また、開閉器を内蔵する計器で課題となる電源端子の温度上昇を抑え、規格を満たしている。

### 発売時期（受注開始）

2013年8月1日

### お問い合わせ先

GE富士電機メーター株式会社  
技術部  
電話（0263）72-8385

# コンパクト形インバータ 「FRENIC-Mini (C2S) シリーズ」の拡充

Line-Up Expansion of Compact Inverter “FRENIC-Mini (C2S) Series”

水野 修\* MIZUNO Osamu

コンパクト形インバータ「FRENIC-Mini (C2S) シリーズ」において、三相 400 V 品と单相 200 V 品を発売し、機種を拡充した。図1に、富士電機製インバータ「FRENIC シリーズ」の機種構成を示す。

汎用インバータは、コンベアやファン、各種加工機械など幅広い分野で使われており、新機能の追加や性能の向上が求められてきた。特に最近では、使いやすさや省エネルギー（省エネ）効果で注目されている同期モータ駆動への対応などのニーズも増えてきている。

FRENIC-Mini (C2S) シリーズは、2002年に発売した「FRENIC-Mini (C1S) シリーズ」の後継シリーズである。2013年1月に三相 200 V 品を発売し、今回、三相 400 V と单相 200 V の機種をラインアップに加えた。上述のニーズに応えるとともに、お客さまの使い勝手の向上や置換えのしやすさを追求したものである。

## 1 特徴

FRENIC-Mini (C2S) シリーズの特徴は、次に示すとおりである。また、製品の外観を図2に示す。

- (1) 三相 200 V, 三相 400 V, 单相 200 V の各電源に対応
- (2) FRENIC-Mini (C1S) シリーズと同じ外形寸法  
既存シリーズからの置換えが容易にできる。
- (3) RS-485 通信インターフェースを標準で搭載

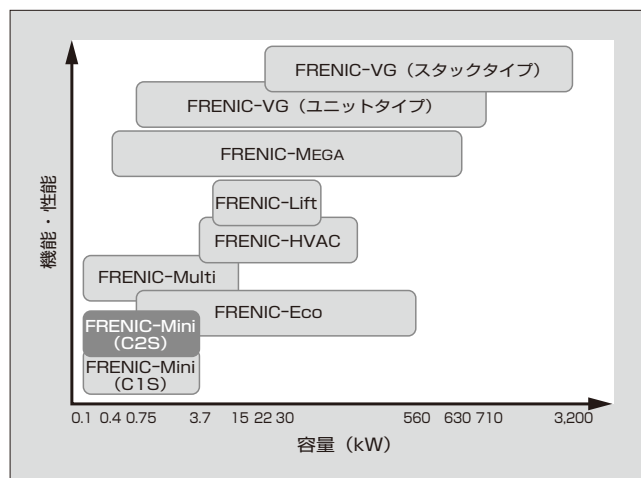


図1 富士電機製インバータ「FRENIC シリーズ」の機種構成

\* 富士電機株式会社パワーエレ機器事業本部生産統括部鈴鹿工場  
設計部

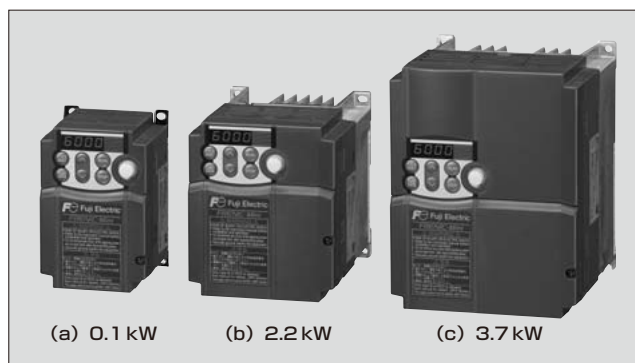


図2 「FRENIC-Mini (C2S) シリーズ」

表1 メンテナンス性の向上

| 機能        | 内容                     |
|-----------|------------------------|
| 模擬故障      | オン-オフ模擬アラームを発生させることが可能 |
| 起動回数      | 累計運転オン-オフ回数をカウント可能     |
| モータ累積運転時間 | モータ運転時間のモニタが可能         |
| 積算電力      | オン-オフ積算電力の測定が可能        |
| トリップ履歴    | 過去4回まで保存・表示            |

- (4) 同期モータ駆動に対応
- (5) 設計寿命を10年にアップ  
設定条件：平均周囲温度 40℃, 負荷率 80%, 稼働率 50%
- (6) メンテナンス機能を充実し、使いやすさを向上 (表1)
- (7) USB 付き遠隔タッチパネル (オプション)  
接続したパソコンのインバータ支援ロードソフトから USB 付き遠隔タッチパネルを介して、インバータの種々の設定やモニタリングが容易にできるようにした (図3)。

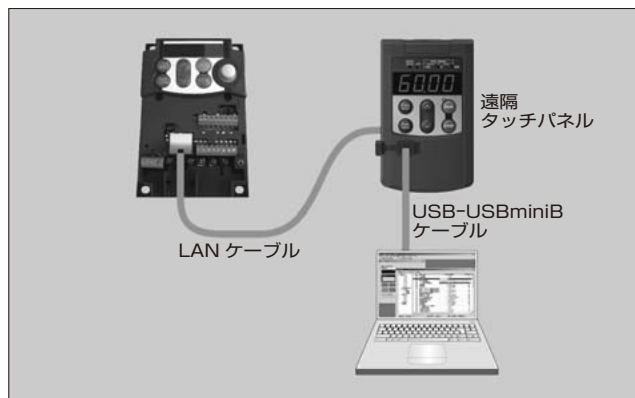


図3 USB 付き遠隔タッチパネル (オプション)

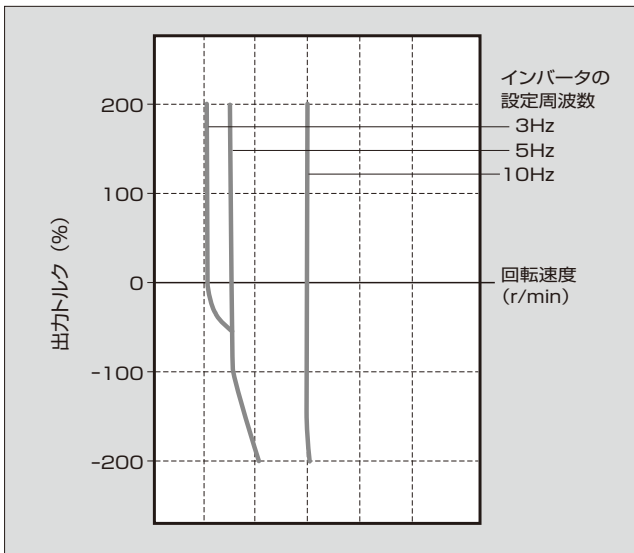


図4 速度-トルク特性

|                             |                            | 容量(kW) |     |     |      |     |     |     |
|-----------------------------|----------------------------|--------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|                             |                            | 0.1    | 0.2 | 0.4 | 0.75 | 1.5 | 2.2 | 3.7 |
| 標準形                         | 三相200V/0.1~3.7kW           | ■      | ■   | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
|                             | 三相400V/0.4~3.7kW           |        |     | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
|                             | 单相200V/0.1~2.2kW           | ■      | ■   | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
|                             | 单相100V/0.1~0.75kW<br>(開発中) | ■      | ■   | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
| EMC<br>フィルタ<br>内蔵形<br>(開発中) | 三相200V/0.1~3.7kW           | ■      | ■   | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
|                             | 三相400V/0.4~3.7kW           |        |     | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |
|                             | 单相200V/0.1~2.2kW           | ■      | ■   | ■   | ■    | ■   | ■   | ■   |

図5 製品ラインアップ

(8) 高性能化

(a) ダイナミックトルクベクトル制御の採用

上位機種で定評のある富士電機独自のダイナミックトルクベクトル制御を採用し、低速でもより安定したトルク (200% at 3Hz) が得られるようにした (図4)。これにより、高い始動トルクが必要な工作機械や搬送機械など幅広い用途に適用できる。

(b) 同一クラスで最速レベルのCPU

同一クラスのインバータにおいて最速レベルのCPUを搭載し、従来のインバータに比べて演算処理能力が2倍になり、制御性能が向上した。

(9) 豊富なバリエーション

FRENIC-Mini (C1S) シリーズと同様、EMCフィルタ内蔵形や单相100V品を開発し、ラインアップの拡充を図っている。これにより、豊富な電源入力系列と合わせてさまざまな地域や環境での用途が広がる (図5)。

2 適用事例

主な適用事例を図6に示す。小型の産業用・業務用機械をはじめ、食品加工機、健康・医療・福祉介護機器、かくはん装置などさまざまな用途に適用でき、機械や装置の高性能化、システム対応、省エネなどのニーズに応えることができる。

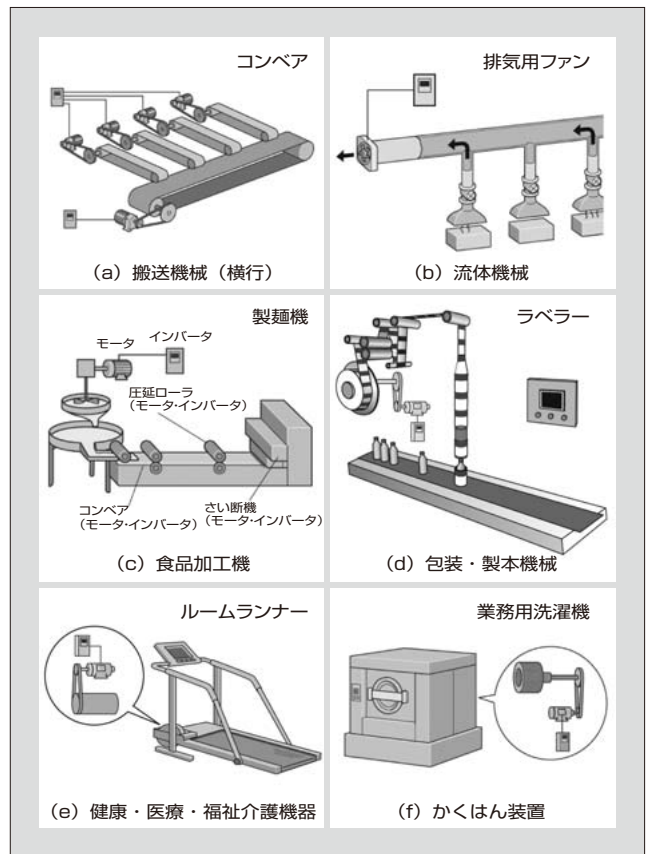


図6 適用事例

3 背景となる技術

3.1 RS-485 通信インターフェースの内蔵

既存のFRENIC-Mini (C1S) シリーズではオプションで対応していたRS-485通信インターフェース (RJ-45コネクタ) を標準で内蔵しており、遠隔タッチパネル (オプション) をLANケーブルで接続できる (図7)。

3.2 同期モータ駆動

標準で同期モータ駆動に対応した。制御方式はセンサレスV/f制御を採用し、あらかじめ電機子抵抗やインダクタンスなどを設定することでモータに最適な駆動が可能

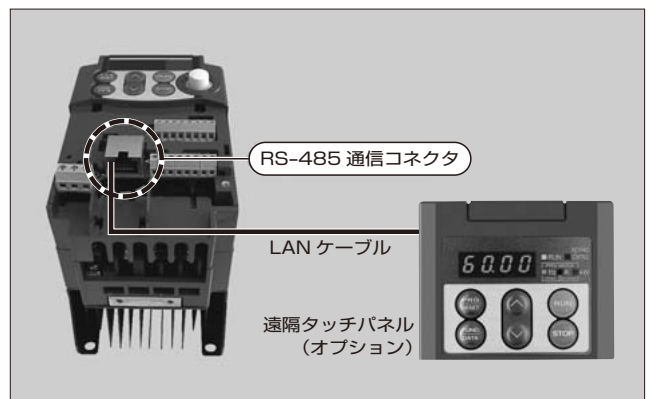


図7 RS-485 通信インターフェースと遠隔タッチパネル

能である。また、過電流による同期モータの減磁を防止するために過電流保護レベルを設定することもできる。

### 3.3 機能の拡充

さまざまな用途に適用できるように、これまで上位機種に搭載していたいくつかの機能を追加した。

アラーム履歴機能は過去4回分のアラームの記憶が可能であり、アラーム発生時の詳細情報(全23項目)を参照することで装置の復旧までの時間の短縮が可能になる。この詳細情報の抜粋を表2に示す。

また、ブレーキ用信号を出力することができ、これまで外部PLCなどで取っていたブレーキ投入や釈放のタイミングをインバータで取ることができるようになり、上下搬送の用途にも適用が容易となる。

表2 参照可能なアラーム発生時の詳細情報(抜粋)

|        |                             |
|--------|-----------------------------|
| 出力周波数  | 直流中間回路電圧                    |
| 出力電流   | 冷却フィン最高温度                   |
| 出力電圧   | 端子入出力信号状態                   |
| トルク演算値 | 連続発生回数                      |
| 設定周波数  | 多重発生アラーム                    |
| 運転方向   | 運転状態<br>(加速中, 減速中, 直流制動中など) |
| 累積運転時間 |                             |
| 起動回数   |                             |

この他、回転方向制限機能や模擬故障発生機能、PID制御における少水量停止機能なども搭載し、これまで上位機種での対応となっていた用途にも適用できるようになった。

## 4 展開地域

コンパクト形インバータ「FRENIC-Mini (C2S) シリーズ」は、CEマークやUL規格にも適合している。日本、アジア、中国、北米、欧州を中心に世界各国に展開していく。



### 発売開始時期

2013年7月

### お問い合わせ先

富士電機株式会社パワエレ機器事業本部  
ドライブ事業部ドライブ技術部  
電話 (03) 5435-7190





# 住宅用火災（煙式）・ガス・CO 警報器「KN-95」

Residential fire, Gas and Carbon monoxide Alarms “KN-95”

上岡 剛\* KAMIOKA Tsuyoshi

渡邊 匡\* WATANABE Tadashi

薄型化と低消費電力化とを実現した、住宅用火災（煙式）・ガス・CO 警報器「KN-95」を発売した。

ガス警報器は、万一、ガス漏れが起きたときに警報音やランプ表示によってユーザに危険を知らせる製品である。近年は、ガス漏れだけでなく、燃焼排ガス中の一酸化炭素（CO）や火災を複合的に検知するなど高機能化が進められている。また、設置のしやすさや見栄えなどの理由から薄型化が、省エネルギーの観点から低消費電力化が要求されている。

KN-95 は、煙検知による火災警報機能を新たに搭載しただけでなく、従来品に対して約 20% の薄型化と約 50% の低消費電力化も実現した。ガス消費者の安全確保に役立つとともに、ガス事業者の安全・安心な社会の実現に向けた取組みに貢献する。

## 1 特徴

図1に KN-95 の外観を、表1に仕様を示す。

### (1) 薄型デザイン（業界最薄）

厚さを 41 mm とし、従来製品に比べて約 20% の薄型化を実現した。また、白を基調とし、さまざまな台所にマッチする透明感のあるデザインである。

### (2) 低消費電力化（業界最小）

監視時の消費電力を 0.5 W（警報時 1.2 W）とし、従来



図1 「KN-95」

\* 富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所機器生産センター計測・情報機器部

表1 「KN-95」の仕様

| 項目   | 火災               | ガス漏れ   | 不完全燃焼          |            |
|------|------------------|--|----------------|------------|
| 検知対象 | 煙                | 都市ガス<br>(12A・13A)                                      | CO             |            |
| 検知方式 | 光電式煙センサ          |  | 半導体式ガスセンサ      |            |
| 検知性能 | 注意報              | 2種   | 爆発下限界濃度の約1/100 | 25~300 ppm |
|      | 警報               |  | 爆発下限界濃度の1/4以下  | 550 ppm以下  |
| 外部出力 | 相互鳴動用<br>火災連動入出力 | 有電圧出力 監視時 6V<br>ガス漏れ警報時 12V<br>CO検出警報時 18V<br>故障診断時 0V |                |            |

製品に比べて消費電力を約 50% 低減した。

### (3) ランプ表示の識別性向上

火災警報には赤色ランプのワイド表示を採用し、他の警報との識別が容易である。

### (4) 初期点検の容易化

設置時にガスを吹きかけることなしに点検ができる自動初期点検機能を搭載し、初期点検を容易にした。

## 2 適用事例

検知対象の都市ガス（主成分：メタンガス）は、比重が空気より小さく、CO や火災時の煙も同様に天井付近にたまるため、KN-95 は、一般ガス消費者の台所の高い位置に設置される（図2）。

ガス・CO 警報においては、有電圧の外部出力機能を備えていて、集中監視盤やマイコンガスメータと連動でき

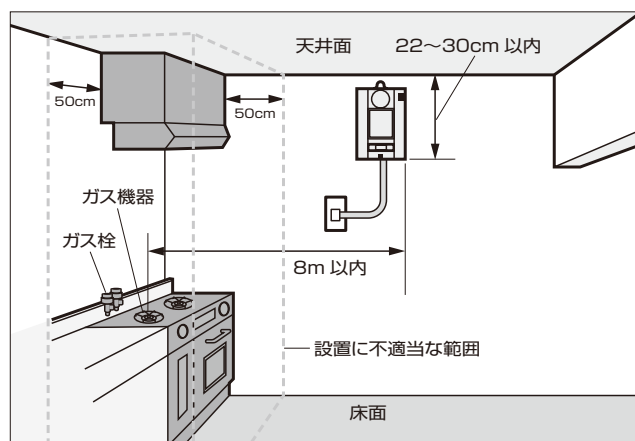


図2 「KN-95」の設置例

る。火災警報においては、外部出力機能を備えた火災警報器との連動が可能になっており、寝室やリビングなどに設置された他の火災警報器からの出力を受け、KN-95で火災連動警報を発報させることができる。

KN-95は、緊急度に応じ、2段階で音声警報を発する。火災を検知した初期には、“ウーウー ピーピー 火災警報器が作動しました 確認してください”と発報し、火災を検知し続けると“ウーウー ピーピー 火事です 火事です”とメッセージを変えて発報する。

### 3 背景となる技術

#### 3.1 煙検知技術

煙センサの外観を図3に示す。煙センサは光電式で、外光を遮断した暗箱の中に発光素子と受光素子を備えている。煙濃度の上昇に伴い煙粒子による散乱光が増加することを受光素子で検知し、その検知信号がしきい値を超えると火災と判断する。

暗箱外周のファインメッシュや感度補正機能で誤報をより低減させている。ファインメッシュは、検知対象の煙は通過させるが、誤警報の要因となる虫やほこりの侵入を防止している。感度補正機能は、常時、センサの感度変化の補正を行うことで、汚れや経年変化による誤警報を低減させている。

#### 3.2 ガス検知技術

KN-95には、一つのセンサで都市ガス（メタンガス）とCOガスの両方を検知可能なガスセンサを搭載している。図4に示すように、ガスセンサの素子温度を高温（400℃）と低温（80℃）に交互に制御して検知対象ガスの検出を行っている。高温で都市ガスを、低温でCOを検知しており、その中間温度では誤報要因となる雑ガスを検知し、雑ガスによる誤警報を抑制している。また、センサキャップ部には活性炭フィルタを備え、調理時のアルコールなどを吸着し、除去することで誤警報を抑制している。これらにより、誤警報を低減させて高信頼性を図っている。

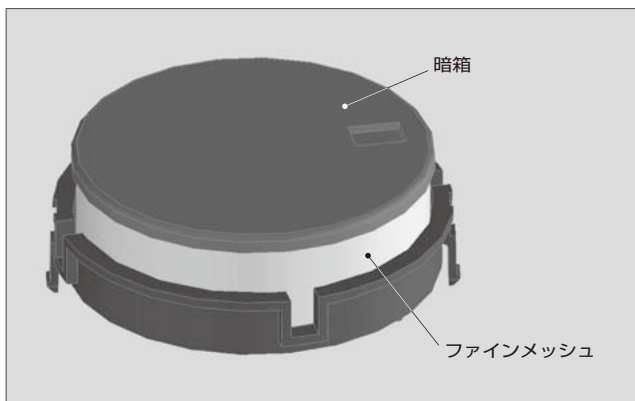


図3 煙センサ

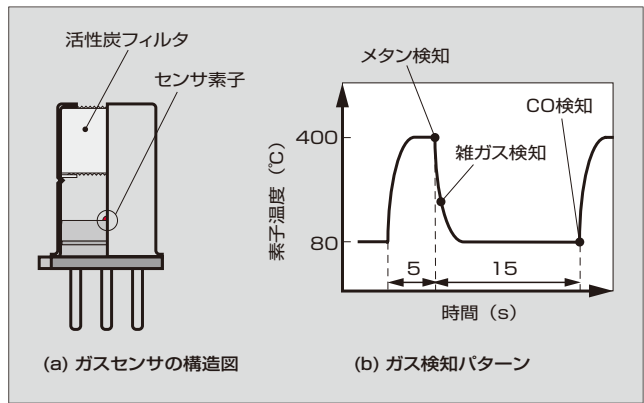


図4 ガスセンサの構造図とガス検知パターン

#### 3.3 火災検知技術（煙とCO発生挙動の把握）

KN-95で、ふとんくん焼（炎を伴わない燃焼）火災、ストーブ火災、天ぷら油火災などの実火災試験を行った。ふとんくん焼火災時の煙濃度とCO濃度の一例を図5に示す。火災初期に起きるくん焼火災では、煙より先にCO濃度が上昇することが分かる。一方、ストーブ火災や天ぷら油火災では、COより先に煙濃度が上昇する。KN-95のように煙とCOの両方を検知する警報器は、火災初期において確実に警報を発することができる。

#### 3.4 高信頼性への取組み

警報器は、万一の異常時に確実に動作しなければならない保安機器であるため高い信頼性が要求される。

センサ自体の高信頼化だけでなく、警報器のトレーサビリティや故障自己診断機能により、製品としての高信頼性を確保している。

##### (1) トレーサビリティ

部品ロット、作業員、使用設備などの製造履歴情報を1台ごとに管理し、製造工程全般の品質向上を図っている。異常時には、異常原因と影響範囲を迅速・的確に特定することができる。

##### (2) 故障自己診断機能

定期的に自己診断を行い、警報器が正常に動作してい

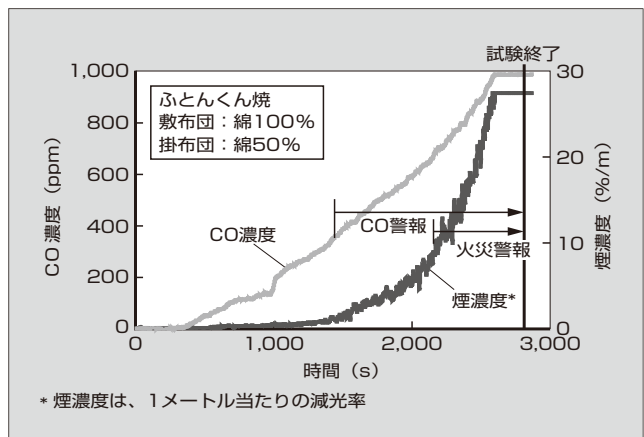


図5 ふとんくん焼火災時の煙濃度とCO濃度の一例

ることを自動的に試験する。煙センサ・ガスセンサのほか、電源回路などの主要部品の診断を行い、故障と診断したときは、故障警報でユーザに知らせる。

#### 発売開始時期

2013年7月1日

#### お問い合わせ先

富士電機株式会社営業本部

電力・社会インフラ営業統括部営業第一部

電話（03）5435-7002



# 高圧真空遮断器「MULTI.VCB」(固定形)

Vacuum Circuit Breaker Fixed-Type "MULTI.VCB"

岡崎 貴幸\* OKAZAKI Takayuki

日本国内における6kV系統から受電している高圧需要家では、主遮断装置として高圧真空遮断器(VCB: Vacuum Circuit Breaker)が広く使用されている。特に、JIS C 4620で規定するキュービクル式高圧受電設備のほとんどが、パネルに固定するタイプのVCBを搭載し、屋内だけでなくビルの屋上や店舗の屋外に設置されることも多い。このため、じんあいや高湿度など厳しい環境下での性能が求められる。

これらのことから、耐環境性を高め、かつメンテナンスや導入・更新を含めたライフサイクルコストを抑えることを主な目的として、新型の高圧真空遮断器「MULTI.VCB」(固定形)を開発し、発売した。図1に外観を、表1に仕様を示す。

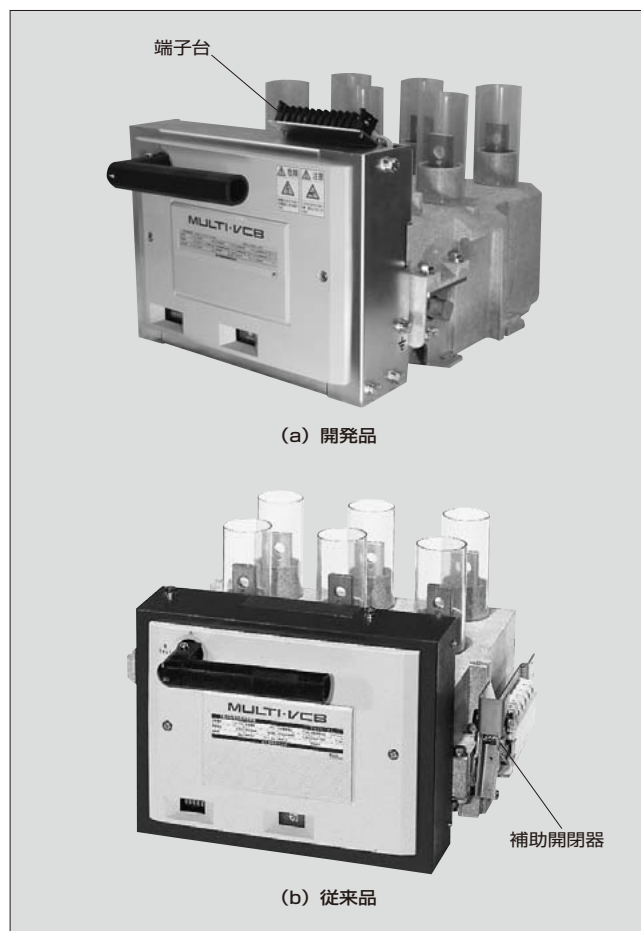


図1 「MULTI.VCB」(固定形)

\* 富士電機機器制御株式会社開発・生産本部開発統括部開発部

表1 「MULTI.VCB」(固定形)の仕様

| 形式        | HA08A-H                                  | HA12A-H |
|-----------|--|---------|
| 据付け方式     | ボード形, キュービクル形, ポータブル形                    |         |
| 投入操作方式    | 手動ばね操作                                   |         |
| 定格電圧      | 3.6/7.2kV                                |         |
| 定格遮断電流    | 8kA                                      | 12.5kA  |
| 定格電流      | 400A                                     | 600A    |
| 商用周波耐電圧   | 22kV 1min                                |         |
| 雷インパルス耐電圧 | 60kV                                     |         |
| 周波数       | 50/60Hz                                  |         |
| 投入電流(波高値) | 20kA                                     | 31.5kA  |
| 短時間耐電流 2s | 8kA                                      | 12.5kA  |
| 標準動作責務    | A: O*1-1min-CO*2-3min-CO<br>B: CO-15s-CO |         |
| 開極時間      | 0.035s                                   |         |
| 遮断時間      | 3サイクル                                    |         |
| 開閉寿命      | 1,000回                                   |         |
| 補助開閉器     | 2a+2b(最大3a+3b)                           |         |
| 引外し方式     | 電圧引外し方式または電流引外し方式                        |         |
| 質量        | ボード形, キュービクル形: 26kg<br>ポータブル形: 27kg      |         |
| 準拠規格      | JIS C 4603<br>JEC 2300                   |         |

\*1 O: 遮断動作

\*2 CO: 投入動作に引き続き、直ちに遮断動作

## 1 特徴

### 1.1 ライフサイクルコストの低減

#### (1) 注油周期の延長(注油頻度の半減)

操作機構部に使用するグリスの潤滑性を維持するためには、定期的な注油が必要である。開発品では、経年的に劣化しにくい高性能ふっ素系グリスを採用することで、これまで3年であった注油周期を6年に延長し、注油頻度を半減させた。

#### (2) 注油時間の短縮

点検に際して時間を要する操作機構部の注油作業を軽減するため、正面から注油可能な構造とした。さらに、注油箇所を13か所から6か所に削減した。

### 1.2 絶縁性能の耐環境性向上

#### (1) 絶縁フレーム

主接点である真空バルブを収納している絶縁フレーム



の相間絶縁構造を見直し、耐トラッキング性能を向上した。

## (2) 主回路保護カバー

絶縁フレームの開口部を塞ぐために備えている主回路保護カバーの材料を、従来のポリカーボネートから絶縁フレームと同じポリエステル樹脂に変更した。これにより、耐トラッキング性能と機械的な強度を向上させた。また、開口部を少なくし、真空バルブ部への外部からじんあいや飛沫(ひまつ)の侵入を抑える構造とした。

## 1.3 使いやすさの向上

### (1) パネルカット形状の簡素化

VCBをキュービクル式高圧受電設備に取り付ける際のパネル加工を簡素化するため、本体固定用の穴を除いたパネルカットを角穴一つとし、加工箇所を半減するとともに、正面から容易に注油できるようにした。

### (2) 端子台の標準付属

従来品の配線は、据付け方式により配置の異なる補助開閉器端子や、本体から引き出したリード線(電流引外し方式)に直接配線する方式であった。開発品では配線を集約し、据付け方式によらない共通した端子台を操作器フレームの上部に配置することで、配線の作業性を向上した(図1(a))。

## 1.4 取付けの互換性

本体の取付け寸法および主回路の配置は、従来品と互換性を持たせている。これにより、従来品が取り付けられているパネルに追加加工をすることなく、開発品を取り付けることができる。

## 1.5 小型化

本体外部に備え付けていた補助開閉器を操作器内部へ収納し、小型化を図った。ボード形、キュービクル形の容積は、業界最小クラスを実現している。

## 2 背景となる技術

設備導入後の点検時における作業時間を短縮するためには、注油箇所そのものを減らした機構構造にする必要がある。また、従来品との互換性を維持しながら小型化を図っていくためには、本体外部に設置している補助開閉器を操作機構内部へ取り込むためのスペースを確保する必要がある。

このため、従来の操作リンク機構の設計思想を抜本的に見直して、部品数の削減および操作機構の簡素化を図った(図2)。

従来品では主スプリングが開閉兼用の操作作用を持つことに対し、開発品ではそれが開極動作時のみに作用する構造とした。また、VCBとしての開閉特性を得るために、従来品では投入直前または開極直前までリンク機構を保持するためのラッチ部を用いていたが、開発品ではばね反転動作で投入または開極する構造とすることで、

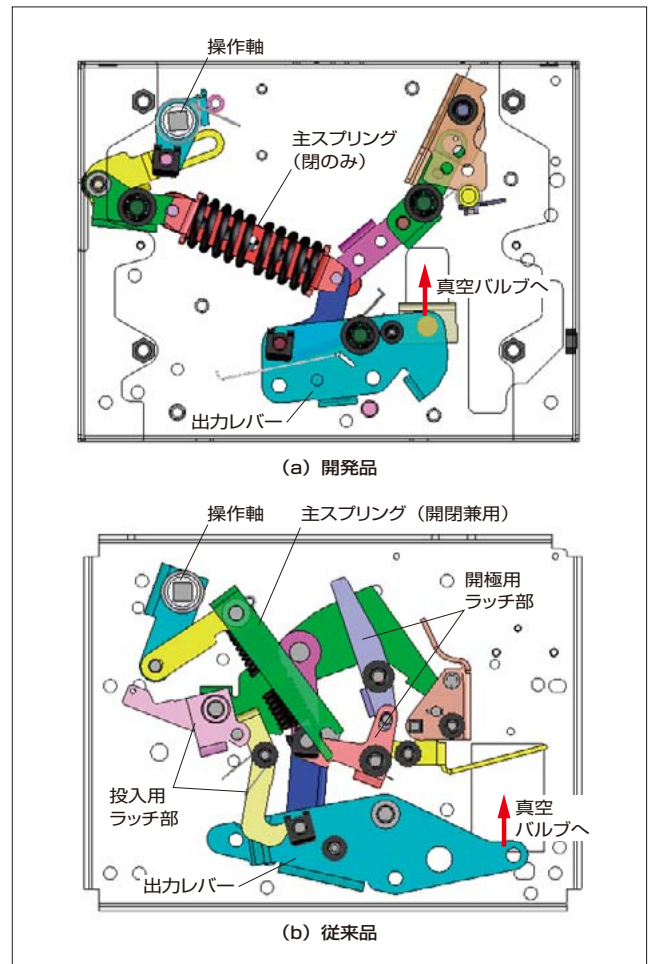


図2 操作リンク機構

投入用と開極用のラッチ部を不要とした。

操作機構の具体的な検討を進める上で、三次元CADと連携した三次元機構解析を活用した(図3)。新旧それぞれの構造で、手動ハンドルを模擬した閉路操作、開路操作、トリップ動作のシミュレーションを行い、操作負荷特性や開閉速度の確認・修正を行うことで構造の最適化を図った。

また、操作負荷特性については、簡易的な実器モデルで実際の操作感覚に対する官能評価を行い、最適な操作

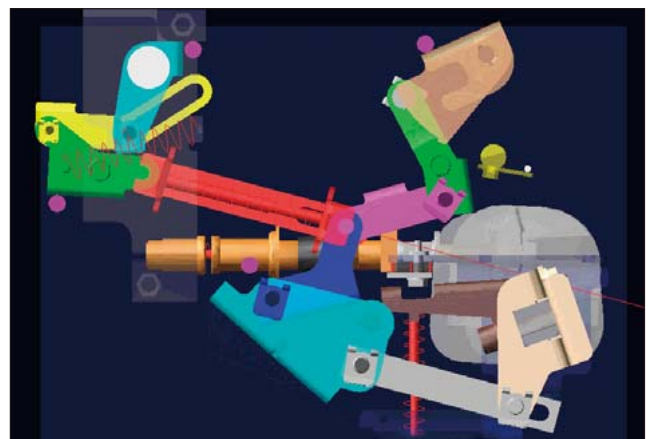


図3 三次元機構解析モデル

特性を見極め、シミュレーションと連動してチューニングすることで良好な操作感を得た。

**発売開始時期**

2013年5月

---

**お問い合わせ先**

富士電機機器制御株式会社

管理本部事業統括部業務部受配機器課

電話 (03) 5847-8060



# 高速・大容量ネットワーク対応コントローラ 「MICREX-SX SPH3000MG」

“MICREX-SX SPH3000MG” with Built-in High-Speed and Large-Capacity Network

乳井 直樹\* NYUI Naoki

湯尾 幸輝\* YUO Yukiteru

鉄鋼，製紙などのプラントでは，製品の品質向上と操業の効率化を実現するため，制御の高速性と大容量のデータ収集能力が求められている。

富士電機では，これらの要求を実現するため，高速・大容量の制御ネットワーク「SX-Net」と，これを搭載した高速・大容量ネットワーク対応コントローラ「MICREX-SX SPH3000MG」(図1)，およびSX-Netに対応したPCI Express <sup>(注1)</sup> パソコンインタフェースボード「SX-Net ボード」(図2)を開発した。

本稿では，SX-Net および MICREX-SX SPH3000MG の特徴と適用例について述べる。



図1 「MICREX-SX SPH3000MG」

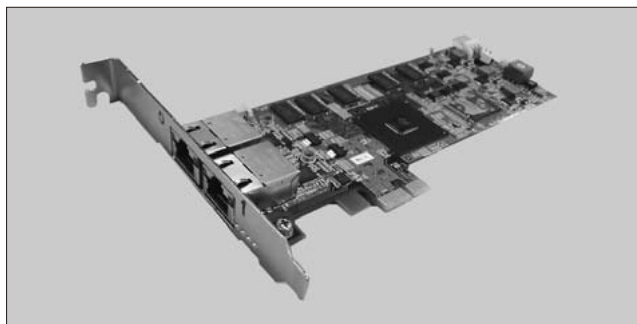


図2 「SX-Net ボード」

\* 富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部  
産業機器技術部

※ 富士電機株式会社技術開発本部製品技術研究所制御技術開発センター  
制御システム開発部

表1 「SX-Net」の仕様

| 項目           |       | 仕様                        |
|--------------|-------|---------------------------|
| 接続台数         |       | 126台                      |
| スキャン周期       |       | 0.5 ~ 30 ms (0.5 ms単位)    |
| 伝送方式         |       | コモンメモリ，メッセージ              |
| コモン<br>メモリ機能 | データ領域 | 128Kワード (64ワード×2,048ブロック) |
|              | 領域定義  | 64ワード固定ブロック選択方式           |

## 1 特徴

SX-Net の仕様を表1に示す。SX-Net は，コントローラ間およびコントローラとパソコン間を接続する制御レベルのネットワークであり，次の特徴を持つ。<sup>(注2)</sup>

- (a) ギガビット Ethernet ベースの独自プロトコル
- (b) コモンメモリ型高速データ伝送 (8K ワード/ms)
- (c) PCI Express ボードによるパソコン接続
- (d) データ収集のスループットが従来比 10 倍 (1K ワード/ms)

また，MICREX-SX SPH3000MG は，既存の「MICREX-SX シリーズ」を継承しつつ，次の特徴を持った高速・大容量ネットワーク対応コントローラである。

- (a) SX-Net の搭載
- (b) 高速・高精度モーション制御バス「E-SX バス」の搭載 {入力フレッシュ性能 512 ワード/ms (32 局時)}
- (c) SX-Net，E-SX バス，ユーザアプリケーションプログラムの同期実行機能

## 2 「SX-Net」と「MICREX-SX SPH3000MG」の適用例

鉄鋼プロセスラインの適用例を示す(図3)。数百台の電動機を駆動するドライブ装置，多数の電磁弁，検出器および監視操作機器などで構成される。鋼板を適切な速度・張力で搬送するために，電動機の高精度な揃速(せんそく)制御，張力制御，負荷バランス制御などが要求される。制御システムの制御周期は数十msであり，入出力規模は40,000点を超える。このようなシステムに求め

〈注1〉 PCI Express : PCI-SIG の商標または登録商標

〈注2〉 Ethernet : 富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標

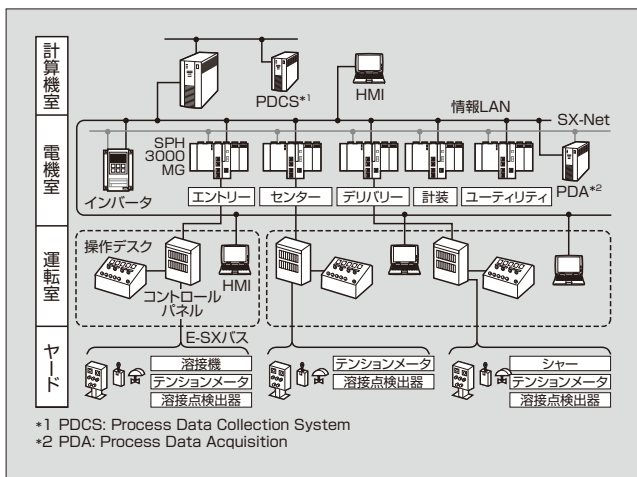


図3 鉄鋼プロセスラインの適用例

られる要件は次のとおりである。

- (a) システム規模に対応できる拡張性
- (b) 分散配置された機器との高速接続
- (c) 制御データの高速・大容量収集

MICREX-SX SPH3000MG は、これまでの MICREX-SX シリーズの資産の活用が可能であり、既存の多様な入出力モジュールや通信モジュールなどを活用することにより、フレキシブルなシステムが構築可能である。

さらに、SX-Net の持つ大容量データ転送能力、高速伝送性能を生かすことで、コントローラの分散配置が要求されるシステム構成を容易に実現できる。SX-Net 上を流れる制御データは、SX-Net ボードを通じて直接パソコンで参照でき、システム全体の分析・制御に活用できる。

### 3 背景となる技術

#### 3.1 高速・大容量制御ネットワーク「SX-Net」

SX-Net は、ギガビット Ethernet を使用し、コモンメモリ型の富士電機独自のプロトコルを採用している。物理層は Ethernet に対応した仕様であり、ソフトウェアでプロトコルを実現することにより、移植性とメンテナンス性の向上を実現している。

SX-Net に適用している技術を次に示す。

##### (1) 時分割による時間確定型の制御ネットワーク

SX-Net は設定された周期に応じて、順次通信処理を行う時間確定型ネットワークである。SX-Net の参加局は自局に与えられた送信タイミングにおいて、自局データを全局宛てにブロードキャスト送信を行う。これにより各局のアプリケーションは全ての局のデータを参照することができ、ネットワークを意識しない制御設計ができる。SX-Net のデータ更新周期は、局数やコモンメモリデータ容量により、0.5 ~ 30 ms の範囲で選択可能であり、データ転送性能 8K ワード/ms の高速なデータ交換が実現できる。

なお、ブロードキャストで送受信されるコモンメモリデータは 64 ワードを 1 ブロックとし、最大 128K ワード

(2,048 ブロック) のデータ領域を利用できる。

##### (2) タイマ同期機能

(1)の機能を実現するため、マスタ局は SX-Net 上の各局に対して、送信タイミングを補正するための同期フレームを送信する。

SX-Net 上の各局は、マスタからの同期フレーム情報とその受信タイミングを基に、マスタ局との周期のずれを補正する。

#### 3.2 モーション制御バス「E-SX バス」

MICREX-SX SPH3000MG に搭載されている E-SX バスは、超高速かつ高精度な同期伝送により、大容量の入出力データを扱うことができる。主な特徴は次のとおりである。なお、E-SX バスの制御は、富士電機が独自に開発した LSI で実現している。

- (a) 局間 100 m で総延長 1 km、最大接続局数 238 局、入出力最大サイズ 4,096 ワードの大規模構成
- (b) 67 ワード / 0.25 ms、512 ワード / 1 ms (32 局時) の高速リフレッシュ
- (c) 32 局の出力タイミングを誤差 ± 1 μs 以下で高精度同期

#### 3.3 通信と制御の高精度同期機能

MICREX-SX SPH3000MG は、上述の二つのネットワークである SX-Net と E-SX バスをモジュール前面に搭載し、既存の基幹バスである SX バスを背面に持つ高速・大容量ネットワーク対応コントローラである。MICREX-SX SPH3000MG では一体化したモジュール構造を最大限生かし、SX-Net と E-SX バスおよび演算周期の同期機能を実現している (図 4)。

SX-Net のデータ更新周期は、E-SX バスの制御周期の整数倍の設定が可能である。SX-Net に接続された MICREX-SX SPH3000MG はマスタ局から通知される同期フレームに基づき、E-SX バスの制御タイマを補正する。これにより、SX-Net と E-SX バス、さらにはアプリケーションの演算周期も同期化することができ、異なるコントローラで制御された複数の機器の出力タイミングを ± 80 μs の精度で同期化することができる。

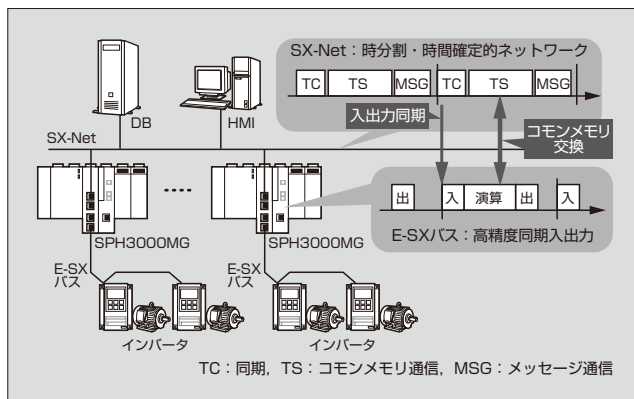


図4 「SX-Net」と「E-SX バス」および演算周期の同期機能



これらの高精度同期機能により、制御タイミング、制御データをシステム全体で同期して処理しなければならない大規模な高精度アプリケーションの構築を、分散配置されたコントローラで容易に実現できる。

**発売開始時期**

2013年10月

**お問い合わせ先**

富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部産業機器技術部  
電話 (042) 585-6239



## 略語（本号で使った主な略語）

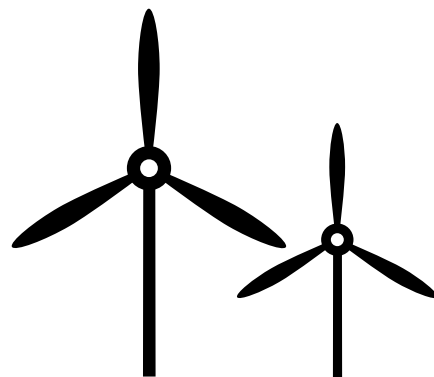
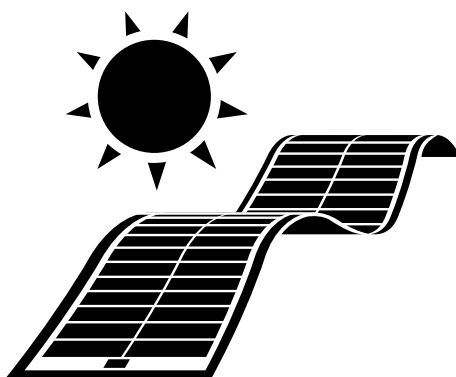
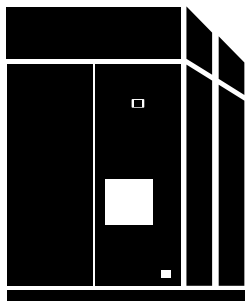
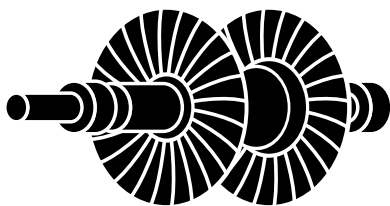
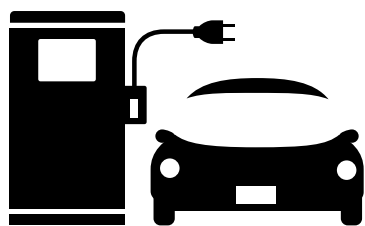
|      |                                       |                     |
|------|---------------------------------------|---------------------|
| BAS  | Building Automation System            | ビル中央監視システム          |
| BEMS | Building and Energy Management System | ビルエネルギーマネジメントシステム   |
| CAD  | Computer Aided Design                 | コンピュータ支援設計          |
| CEMS | Cluster Energy Management System      | 地域エネルギーマネジメントシステム   |
| CPU  | Central Processing Unit               |                     |
| DCS  | Distributed Control System            | 分散型監視制御システム         |
| DE   | Differential Evolution                |                     |
| DLP  | Demand Limiting Period                |                     |
| EDC  | Economic Dispatching Control          | 経済負荷配分制御            |
| EMS  | Energy Management System              | エネルギーマネジメントシステム     |
| ESB  | Enterprise Service Bus                | 他社連携バス              |
| FEMS | Factory Energy Management System      | 工場エネルギーマネジメントシステム   |
| FTP  | File Transfer Protocol                |                     |
| GSM  | Global Spectrum Model                 | 全球数値予報モデル           |
| HEMS | Home Energy Management System         | ホームエネルギーマネジメントシステム  |
| HTTP | Hyper Text Transfer Protocol          |                     |
| LAN  | Local Area Network                    |                     |
| LCD  | Liquid Crystal Display                | 液晶表示装置              |
| LFC  | Load Frequency Control                | 負荷周波数制御             |
| LNG  | Liquefied Natural Gas                 | 液化天然ガス              |
| MCCB | Molded-Case Circuit-Breaker           | 配線用遮断器              |
| MES  | Manufacturing Execution System        |                     |
| MSM  | Meso Scale Model                      | メソ数値予報モデル           |
| PCS  | Power Conditioner                     | パワーコンディショナ          |
| PDA  | Process Data Acquisition              |                     |
| PDCS | Process Data Collection System        |                     |
| PID  | Potential Induced Degradation         |                     |
| PLS  | Partial Least Squares                 | 部分的最小二乗法            |
| PMV  | Predicted Mean Vote                   | 予想平均温冷感申告           |
| PSO  | Particle Swarm Optimization           |                     |
| PV   | Photovoltaic                          | 太陽電池                |
| RCT  | Randomized Controlled Trial           | 無作為化比較試験            |
| REMS | Retail Energy Management System       | 店舗流通エネルギーマネジメントシステム |
| SEMS | Store Energy Management System        |                     |
| SOC  | State of Charge                       |                     |
| SPC  | Set Point Control                     | 設定制御                |
| SPD  | Surge Protective Device               |                     |
| VCB  | Vacuum Circuit Breaker                | 真空遮断器               |
| XML  | Extensible Markup Language            |                     |

## 商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

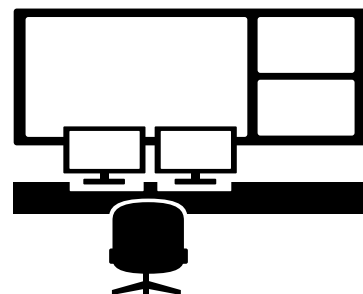
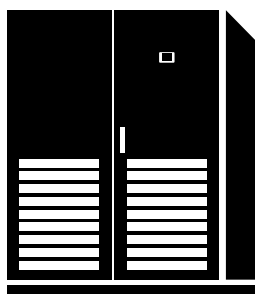
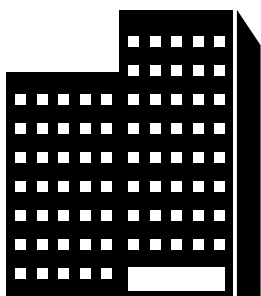
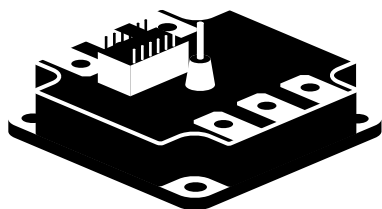
|             |  |
|-------------|--|
| Ethernet    | 富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標                      |
| Excel       | 米国 Microsoft Corp. の商標または登録商標              |
| LINGO       | LINDO SYSTEMS INC. の商標または登録商標              |
| LonWorks    | 米国 Echelon Corporation の商標または登録商標          |
| MODBUS      | フランス Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標 |
| PCI Express | PCI-SIG の商標または登録商標                         |
| Pentium4    | Intel Corporation の商標または登録商標               |
| QRコード       | 株式会社デンソーウェーブの商標または登録商標                     |
| ZigBee      | ZigBee Alliance, Inc. の商標または登録商標           |

その他の会社名、製品名は、それぞれの会社の商標または登録商標である。

# Innovating Energy Technology



エネルギー技術で、  
社会の明日に応えます。



クリーンエネルギーを生む「創エネ」、消費の無駄を抑える「省エネ」、  
その両輪を活かす「エネルギーマネジメント」。

富士電機は、電気を自在に操る独自のテクノロジーで、  
持続可能な社会に貢献していきます。

**FE** 富士電機

## 主要事業内容

### 発電・社会インフラ

環境にやさしい発電プラントとエネルギーマネジメントを融合させ、スマートコミュニティ社会の実現に貢献します。

#### 発電プラント

火力・地熱・水力発電設備、原子力関連機器

#### 社会インフラ

エネルギーマネジメントシステム、送变电設備、電力量計、放射線管理システム、輸送システム

### 産業インフラ

産業分野のさまざまなお客様に生産ライン・インフラ設備に関わる、「省エネルギー化」「ライフサイクルサービス」を提供します。

#### 産業プラント

産業用ドライブシステム、プラント制御システム、計測システム

#### ファシリティ

産業電源、民電向け受変電設備

### パワーエレクトロニクス機器

エネルギーの品質や効率利用が求められる市場にパワーエレクトロニクス製品を提供し、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。

#### ドライブ

インバータ・サーボ、モータ、EV用システム

#### パワーサプライ

無停電電源装置 (UPS)、パワーコンディショナ (PCS)

#### 器具

受配電・制御機器

### 電子デバイス

エネルギー・環境分野をはじめ、自動車・情報機器・産業機器に欠かせないパワー半導体、太陽電池、感光体、ディスク媒体を供給します。

#### 半導体

パワー半導体、感光体、太陽電池

#### ディスク媒体

ディスク媒体

### 食品流通

コア技術である冷熱技術に加え、メカトロ技術、ITを融合したシステム技術を生かし、最適な商材・ソリューションを提供します。

#### 自販機

飲料・食品自動販売機

#### 店舗流通

流通システム、ショーケース、通貨機器

## 次号予定

### 富士電機技報 第86巻 第4号

#### 特集 エネルギーマネジメントに貢献するパワー半導体

### 富士電機技報企画委員会

|        |       |       |       |       |  |
|--------|-------|-------|-------|-------|--|
| 企画委員長  | 江口 直也 |       |       |       |  |
| 企画委員幹事 | 瀬谷 彰利 |       |       |       |  |
| 企画委員   | 荻野 慎次 | 森岡 崇行 | 片桐 源一 | 根岸 久方 |  |
|        | 吉野 稔  | 大澤 千春 | 鶴田 芳雄 | 久野 宏仁 |  |
|        | 須藤 晴彦 | 吉田 隆  | 国府 教  | 真下 真弓 |  |
|        | 安納 俊之 | 大山 和則 |       |       |  |
| 特集委員   | 根岸 久方 | 富永 保隆 | 桑山 仁平 | 植木 芳照 |  |
|        | 須藤 晴彦 | 吉野 稔  |       |       |  |
| 事務局    | 柳下 修  | 木村 基  | 小野 直樹 | 山本 亮太 |  |

## 富士電機技報 第86巻 第3号

平成 25 年 9 月 20 日 印刷 平成 25 年 9 月 30 日 発行

編集兼発行人 江口 直也

発行所 富士電機株式会社 技術開発本部  
〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号  
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

編集・印刷 富士オフィス&ライフサービス株式会社内  
「富士電機技報」編集室  
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地  
電話 (042) 585-6965  
FAX (042) 585-6539

発売元 株式会社 オーム社  
〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地  
電話 (03) 3233-0641  
振替口座 東京 6-20018

定価 735 円 (本体 700 円・送料別)

\* 本誌に掲載されている論文を含め、創刊からのアーカイブスは下記 URL で利用できます。

富士電機技報 (和文) [http://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents\\_02\\_03.html](http://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents_02_03.html)

FUJI ELECTRIC REVIEW (英文) <http://www.fujielectric.com/company/tech/contents3.html>

\* 本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。

© 2013 Fuji Electric Co., Ltd. Printed in Japan (禁無断転載)





# 街の心臓。

北九州市八幡東区東田地区の地域節電所制御室

人の営みに欠かせない電力を、  
効率よく行き渡らせるスマートコミュニティ。  
その心臓部を、富士電機が担っている。

必要な所に必要なだけ、常に無駄なく電力を配分する、北九州市のスマートコミュニティ実証実験に、富士電機が参画しています。地域で得られる水素や熱エネルギー、太陽光発電、大型蓄電池などを活かし、電力を安定供給。一方スマートメーターで消費状況が見える化し、電力需要家による省エネルギー化を推進。そして地域エネルギーマネジメントシステムで、需要と供給のバランスをトータルに最適制御。これらを通じて、スマートコミュニティ実現への道を着実に歩んでいます。

---

スマートコミュニティに貢献する富士電機

---

**F** 富士電機  
Innovating Energy Technology

# *Innovating Energy Technology*



## エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新を通じて、  
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、  
安全で安心して暮らすことのできる  
持続可能な社会の実現に貢献していきます。

**FE** 富士電機