

MITSUBISHI
Changes for the Better

家庭から宇宙まで、エコチェンジ
eco Changes

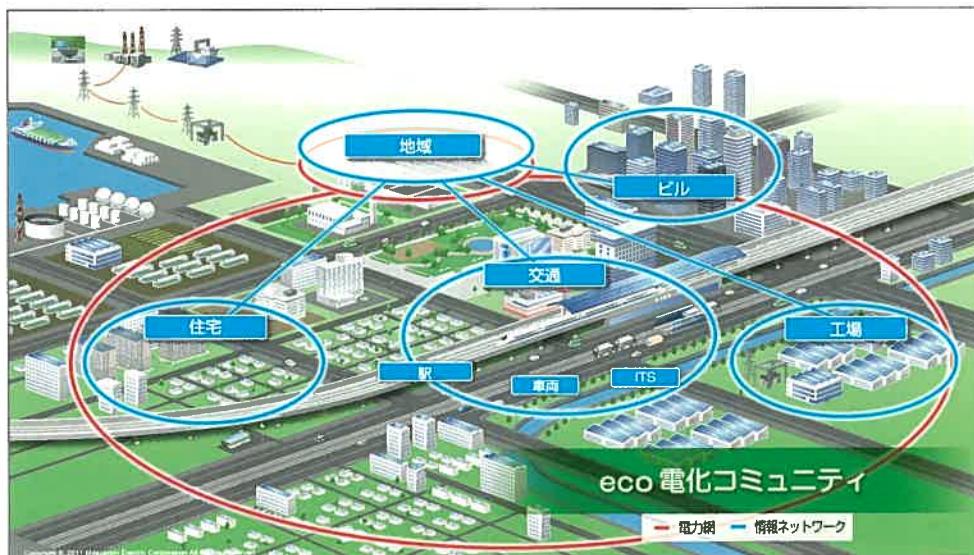
三菱電機技報

2

2012

Vol.86 No.2

スマート社会を実現する技術の展望



目 次

特集「スマート社会を実現する技術の展望」

スマートグリッド・スマートコミュニティの実現に向けて	… 1
小口邦雄	
スマートグリッド・スマートコミュニティの取り組み	… 2
松崎 正・松田春紀・齋藤 譲・金子博彦	
スマートグリッド実証実験	… 7
マルミローリマルタ・古塩正展・清水恒夫・永松靖朗	
地域エネルギー管理技術(CEMS)	… 11
鈴木浪平・田熊良行・井野本正樹・谷木昌彦	
ビルエネルギー管理システムの現状と動向	… 15
中村淳浩	
生産情報を活用した工場エネルギー管理システム(FEMS)	… 19
吉本康浩・牧田裕行・戸板滋人・信太優子・野末直道	
大船スマートハウスの概要と構成技術	… 24
久代紀之・伊藤善朗	
EV関連技術(V2G, V2H)	… 28
赤須雅平・崔本明彦	
スマート社会のデジタルサイネージ	… 32
宮原浩二・吉田 浩・田中 聰・小坂英明	
スマートグリッドを支えるネットワーク技術	… 36
鷗田 博・中瀬卓也・武田 博	
スマートグリッドを支えるシミュレーション技術	… 41
河野良之・北山匡史・高野富裕	
クリーンエネルギーPV技術	… 45
佐々木 明・鈴木吉輝	
蓄電池制御技術	… 50
吉岡省二・吉瀬万希子	

特許と新案

「データ処理装置」	… 54
-----------	------

The Prospect of Technologies for Smart Society

Strategy for Smart Grid and Smart Community
Kunio Oguchi

Business Approach of Smart Grid and Smart Community
Tadashi Matsuzaki, Haruki Matsuda, Yuzuru Saito, Hirohiko Kaneko

Smart Grid Facility Implementation
Marta Marmiroli, Masanobu Koshio, Tsuneo Shimizu, Yasuaki Nagamatsu

Technologies of Community Energy Management System (CEMS)
Namihei Suzuki, Yoshiyuki Takuma, Masaki Inomoto, Masahiko Tanimoto

Current Status and Trend of Building Energy Management System
Atsuhiko Nakamura

Factory Energy Management System Using Production Information
Yasuhiro Yoshimoto, Hiroyuki Makita, Shigeto Toita, Yuko Shida, Naomichi Nozue

Overviews of Ofuna Smart House and its Key Technologies
Noriyuki Kushiro, Yoshiaki Ito

Technologies around Electric Vehicle (V2G, V2H)
Masahira Akasu, Akihiko Sasamoto

Digital Signage in Smart Society
Koji Miyahara, Hiroshi Yoshida, Satoshi Tanaka, Hideaki Kosaka

Network Technologies for Smart Grid Application
Hiroshi Shimada, Takuya Nakase, Hiroshi Takeda

Simulation Environment for Smart Grid Application
Yoshiyuki Kono, Masashi Kitayama, Tomihiro Takano

Photovoltaic Power Generator Technology for Clean Energy System
Akira Sasaki, Yoshiteru Suzuki

Battery Charge Discharge Control Technology
Shoji Yoshioka, Makiko Kise

スポットライト

コンパクトなオールインワンデジタルサイネージ登場
“VISEO SMART”



表紙：eco電化コミュニティのイメージ図

eco電化コミュニティは、高度に情報化された“スマート社会”において、三菱電機が考える都市基盤である。

スマート社会においては、エネルギー系統を束ねるスマートグリッドから、情報通信を支えるバックボーンまで、幾重にも重層的に構成されたネットワークによって、経済活動、住環境などが相互に連携し、安全・安心で快適な都市空間を形成する。

巻/頭/言

スマートグリッド・スマートコミュニティの実現に向けて

Strategy for Smart Grid and Smart Community

小口邦雄
Kunio Oguchi



地球環境問題から低炭素社会の構築が不可欠とされ、国内外で様々な検討や試行が行われている。また、中国・インドなどでのエネルギー需要の拡大や産油国の政情不安による石油エネルギーへの懸念などから、エネルギー資源の少ない日本ではエネルギーセキュリティの面から多様なエネルギー源を持つべきという普遍的な課題がある。これらの答の一つとして再生可能エネルギーへの一定量のシフトは避けることはできない。

他方、2011年3月11日に発生した東日本大震災は日本人に新しい共同体意識の覚醒を問いかけているといわれている。共同体(コミュニティ)の形成には大規模集中から地域の小規模分散という概念が必要との認識に立っている。

スマートコミュニティの技術論においては“自然エネルギーの利用を最大化し、エネルギーを最適に利用する”という点に目的が定まつていくと考えるが、“できるだけ地域にある自然エネルギーを使う”“エネルギーを大切に使う”“余ったエネルギーを蓄えておいて必要になった時に使う”“緊急時にエネルギーを融通しあう”等という共同体精神に根ざした新たな価値概念とともに成立していくべきものである。これらが持続性のあるコミュニティの価値であり、よりよい社会を作る価値観をベースにした未来創造の原動力であろうと認識している。現に、復興構想においても地域に根ざしたエネルギーインフラのあり方、再生可能エネルギーの利用、地域エネルギー(エネルギーの地産地消)等がその要件とされている。

経済の安定化のためにエネルギー供給力の確保が不可欠であることは社会の共通認識であると考えるが、地球温暖化の対策やコミュニティのための新たな社会インフラの形成などを考慮すると、これまでのいつでも好きなだけ電気を使えた電力環境は転換期を迎えていると考えている。

経済性・効率性の観点では地域エネルギーのコストは都市部との格差は大きいが、技術によるコストダウンに加えて制度の力で克服することが重要であろう。すなわち都市と地方の共生が持続できるといった観点やエネルギーセキュリティの観点から、地域電源が大規模電源と共に存できる

制度設計が必要と感じる。

三菱電機は、これまでエネルギー及びそのインフラに関する様々な課題に取り組み、技術力とシステム構築力を駆使して、その時代に求められる最適な解を製品及びシステムで提供してきた。スマートグリッド・スマートコミュニティの実現についても三菱電機の使命であるとの認識であり、“低炭素社会と安全で豊かな社会への貢献”を理念に、来るべき時代のエネルギーインフラとして以下の目標を掲げている。

- ・低炭素で経済的かつ信頼性の高い電力系統の実現
- ・需要家の電力消費量の見える化と制御によるエネルギー最適利用の実現
- ・緊急時にも対応した堅牢(けんろう)なエネルギーインフラの実現

この目標の実現にかかるポイントは次のとおりであると考え、技術開発を進めている。

- ・低炭素化とともにエネルギーの安定供給、高品質を維持する
- ・時間的にも空間的にもエネルギーをシフトさせる
- ・平時のシステムを緊急時対応にスムーズに移行させる
- ・地域のグリッドを基幹グリッドに安定して連係させる
- ・需要家のエネルギー利用スタイルの変革を支援する

これらの開発は当社が整備した、尼崎・和歌山のスマートグリッド・スマートコミュニティ実証サイトや大船スマートハウスで技術陣によって研鑽(けんさん)されていく。

一方、電力環境のパラダイムが大きくシフトしようとしている中で、シフトする方向を見定めるだけではなく、その方向を自ら示していくことが重要であろう。だれもが納得できるエネルギーシステムのあり方を分かりやすく示していくことも三菱電機の使命である。常にるべき姿を明確にし、その方向に技術陣を誘導することはMarketing Divisionである営業陣の役割と考える。

以上のように、技術陣と営業陣が車の両輪になって次世代のエネルギーインフラを創造していく所存である。今後も皆様のご指導を賜るようお願いしたい。

巻頭論文

スマートグリッド・スマートコミュニティの取り組み

松崎 正* 金子博彦†
松田春紀** 齋藤 譲***

Business Approach of Smart Grid and Smart Community

Tadashi Matsuzaki, Haruki Matsuda, Yuzuru Saito, Hirohiko Kaneko

要 旨

低炭素社会の実現に向けた日本のエネルギーの新たなベストミックスを考えていく上で再生可能エネルギーは、従来にも増して重要視され、導入が加速されていく。東日本大震災の復興構想の中でもエネルギーは重要な要素となっており、再生可能エネルギーの整備は不可欠事項として位置づけられているが、これに加えて災害時でも一定のエネルギーが確保できることが新たな要件とされている。エネルギー消費の面では、これまでも政策面で省エネルギーの取り組みがされてきたが、今後は自然エネルギーを最大限利用しつつ消費を大幅に抑制する革新的な技術が必要である。スマートグリッド・スマートコミュニティはエネルギーの供給側・需要側を含めこれらを実現する次世代のエネルギーインフラである。

三菱電機は、これまで供給側である電力会社向けに発電・送電・配電の分野で種々の製品・システムを提供し、電力の安定供給や電力の高品質の確保に貢献してきた。また、需要側としての交通・ビル・工場・家庭の各分野では、パワーデバイス技術、パワーエレクトロニクス技術を基盤技術として高効率化、省エネルギー、創エネルギーに資する製品を提供しており、今後もこれらの製品・システムの個々の性能の進化を図っていく。

一方、個々の製品の進化だけではエネルギーを部分最適していることに留(とど)まる。天候に左右されやすい太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーを最大限活用してエネルギーの全体最適を図るためにには、情報通信技術によって各製品を有機的に接続することで供給側と需要側を一体とし、天候などの不確定要素があってもその状況において全体最適を図りたいエリア単位で最も望ましい需給を実現することが要件となってくる。

当社は尼崎・和歌山地区にスマートグリッド・スマートコミュニティ実証サイト、大船地区にはスマートハウスを整備し、これらの設備を用いて多角的な検証を進めており、次の目標を掲げ技術開発を進めている。

- ①低炭素で経済的かつ信頼性の高い電力系統の実現
- ②需要家での電力消費量の見える化と制御によるエネルギー最適利用の実現
- ③緊急時にも対応した堅牢(けんろう)なエネルギーインフラの実現

これらの目標を達成し、当社のスマートグリッド・スマートコミュニティの理念である“低炭素社会と安全で豊かな社会への貢献”を図っていく。



eco電化コミュニティ

スマートグリッド技術が反映された次世代配電網を利用し、自然エネルギー最大利用も含めたエネルギーのベストミックスをベースにコミュニティ全体のエネルギーを最適化することで、低炭素社会と安全で豊かな生活の両立を目指す。

1. まえがき

国内のスマートグリッドは再生可能エネルギーの大量導入に伴う電力品質の安定維持といった供給側の視点と、蓄エネルギーや蓄熱等のエネルギー移動の制御、電化によるより高度で最適なエネルギー利用といった需要家の視点双方で議論され、研究開発や実験がされてきている。一方、3月11日の東日本大震災から、災害時での電力インフラのあり方や電力不足への対応もその不可欠要件と認識されつつある。

当社が取り組むスマートグリッド・スマートコミュニティは“低炭素社会と安全で豊かな社会への貢献”を理念とし、そのための具体的な目標として、

- ①低炭素で経済的かつ信頼性の高い電力系統の実現
- ②需要家での電力消費量の見える化と制御によるエネルギー最適利用の実現
- ③緊急時にも対応した堅牢なエネルギーインフラの実現の3つを掲げ技術開発を進めている(図1)。

すでに製品として提供している各種エネルギー関連製品に対して、パワーデバイス、パワーエレクトロニクス技術を駆使して高効率化を図るとともに、ICT(Information and Communication Technology)技術によって各製品をつなげ、エネルギー最適化技術によってこれらを有機的に相互作用させる。

本稿では、当社のエネルギー関連製品及び共通キー技術との関連を示し、大規模エネルギーシステムであるスマートグリッド・スマートコミュニティの実現のプロセスとして、実証実験で多角的に検証を積み重ね、次世代のエネルギーインフラの技術構築を果たしていくことを述べる。

2. スマートグリッド・スマートコミュニティの定義と構成要素

スマートグリッドとスマートコミュニティについては、概ね表1のような定義と認識している。

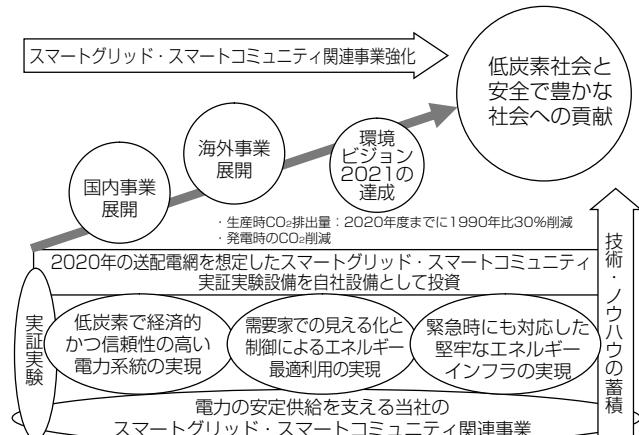


図1. 理念と技術開発の目標

図2はスマートグリッドとスマートコミュニティの関係を模式的に表している。概ねスマートグリッドは供給側のシステム、スマートコミュニティは需要側のシステムといえよう。これから分かるようにこれらを構成する要素は従来も存在、又はすでに出現している製品であり、個別に省エネルギー技術や節エネルギー技術が駆使されてきている。今後、更なる技術の進化の反映とともに、これらが有機的につながることでエネルギーの部分最適から全体最適に移るようスマートグリッドとスマートコミュニティが実現していくものと考える。

3. 当社のスマートグリッド・スマートコミュニティの取り組み

3.1 供給側の構成要素

電力供給の高信頼化や高い電力品質の実現のため、図3に示すように需給制御システム、系統安定化システム、系統安定化機器、配電制御システム、配電機器、自動検針システム等を提供してきた。

再生可能エネルギーが大量導入された場合、出力の不安定性への対応、需要量の正確な把握、配電電圧の適正值維持等、これらのシステムの重要性はますます高まる。さらに、緊急時、エリア内の分散電源で需給を成立させ、一定の生活が確保できるようなインフラとしての新たな要件も浮上している。これらの要件をとらえ、的確に対応できる技術を製品に反映していく。

3.2 需要側の構成要素

鉄道分野では、車両電機品や変電設備の高効率化、小型

表1. スマートグリッド・スマートコミュニティの定義

スマートグリッド
供給側としての電力システム及び需要家の各機器をネットワークでつなぎ、再生可能エネルギーの大量導入対策や全体としての省エネルギーのため、需要と供給のバランスを常に最適化し、効率的かつ安定的に高品質な電力供給を実現する仕組み

スマートコミュニティ
電力の有効利用に加え、熱や未利用エネルギーも含めたエネルギーの“面的利用”や地域の交通システム、市民のライフスタイルの変革等と複合的に組み合わせたエリア単位での次世代のエネルギー・社会システム（経済産業省2010年2月）

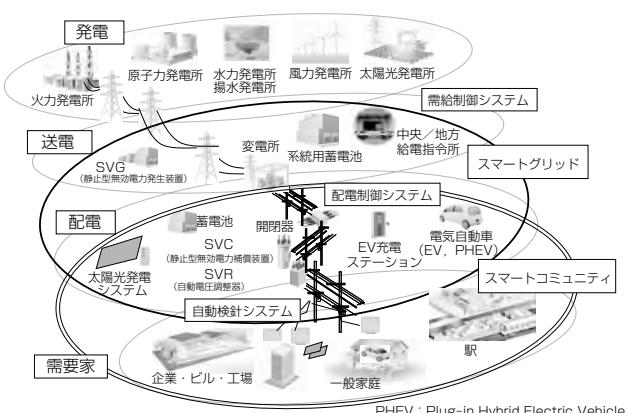


図2. スマートグリッドとスマートコミュニティの関係

軽量化を進めるとともに、回生電力を有効活用する電力貯蔵システムの開発や、駅への太陽光発電・LED (Light Emitting Diode) 照明の導入等様々な製品とシステムを提供している。

ビル分野ではエネルギー効率の高い空調、LED照明、エレベーター、省エネルギー支援を含んだビル管理システム“Facima”等様々なソリューションを提供している。

工場分野では空調・照明などのユーティリティ機器に加え、モータや変圧器等の高効率機器、エネルギー計測ユニットなどの省エネルギー支援機器や省エネルギーソリューションの“e&eco-F@ctory”やデマンド関連機器を提供している。

住宅分野では太陽光発電、空調・照明機器、給湯システム、床暖房、IH(Induction Heating) クッキング、等の省エネルギー製品を提供してきている。

今後も個々の製品の高効率化を図っていくが、これに加え鉄道、ビル、工場、住宅等のクローズした中でのエネルギーの融通や自然エネルギー再生可能エネルギー利用の最大化、エネルギー利用の工夫によるピーク抑制や緊急時のエネルギー消費抑制等を実現することが重要である。そのため、図4に示すように、BEMS、FEMS、HEMS等、各需要家単位でのエネルギー管理システムを中心としたエネルギーの見える化をきっかけとして、創エネルギー、省エネルギー、節エネルギー、蓄エネルギーの各システムを有機的につなげ、エネルギーの最適利用システムを実現できる機能を付加していくことが重要と認識している。

3.3 情報通信

スマートグリッド・スマートコミュニティを支える神経系統として情報通信インフラは各要素を確実につなげる使命を持った重要なインフラである。

電力システムで、基幹系統と呼ばれる電圧階級の高い送電網はすでに高速、高信頼な自営通信網が整備され、電力供給の高信頼化に大きく貢献してきており、今後も継続してその役割を果たしていくものである。

一方、再生可能エネルギーが大量に接続される配電網では電圧値を適正に維持するために面的なきめ細かい制御が求められ広域の通信ネットワークの整備が必要である。また、太陽光や風力等の電源が需要家側に分散配置されることによって需要量をより正確にリアルタイムに把握することが必要であり、そのための需要家との通信ネットワークの整備が必要になってくる。

当社は、光通信としてGE-PON(Gigabit Ethernet^(注1) – Passive Optical Network)、ツイストペアケーブル等の長距離メタル線向けの広域のOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)方式通信、需要家領域の通信として高速電力線通信や無線メッシュ通信等、多様な通信ソリューションを提供している。さらに、暗号技術や認証技術等、情報通信に欠かせないセキュリティ技術の強みを生かした情報通信インフラを実現していく。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

3.4 スマートグリッド・スマートコミュニティ技術の実現プロセス

3.1節の供給側、3.2節の需要側の各構成要素は、パワーデバイス技術、パワーエレクトロニクス技術、エネルギー最適化(制御)技術等の全社横断的なキー技術によって個々のエネルギー効率の向上など製品競争力を強化していく。

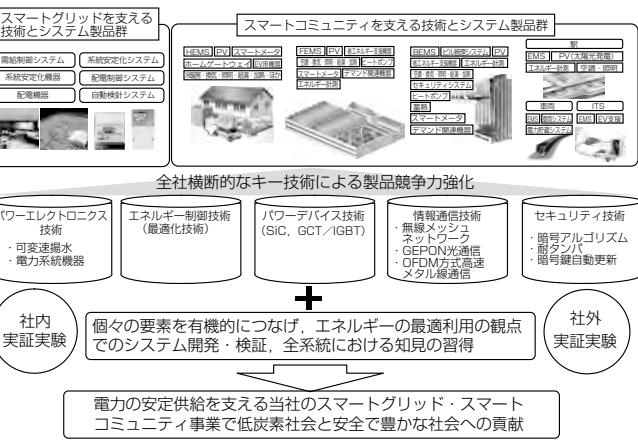


図5. 実現プロセス

スマートグリッド

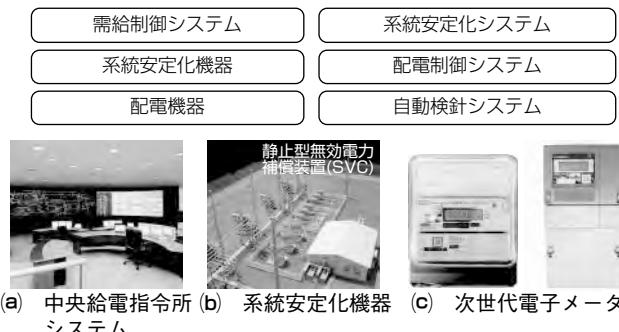


図3. 供給側の構成要素

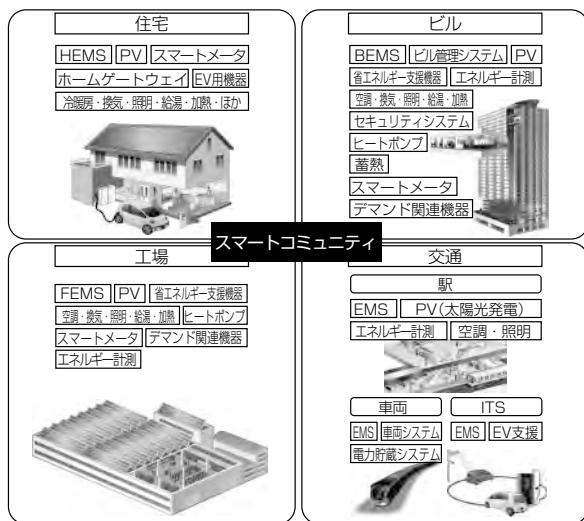


図4. 需要側の構成要素

くとともに、実証実験によって個々の要素を有機的につなげ、供給側・需要側すべてにわたってエネルギー最適利用の観点でのシステム開発・検証、知見の習得を行っていくことで、スマートグリッド・スマートコミュニティ技術の実現を図っていく(図5)。

4. スマートグリッド・スマートコミュニティの実証

4.1 尼崎・和歌山地区実証サイト

スマートグリッド・スマートコミュニティのキーは電力の安定供給と品質の維持が図られた最適なエネルギー利用にあり、大規模な最適エネルギー・システムといえる。このため、その実用性・実効性は多角的な視点での検討・検証を必要とする。当社は2020年の送配電網を想定したスマートグリッド・スマートコミュニティの実証実験サイトを尼崎・和歌山地区に整備した(図6)。

ここには、表2のように電力会社の発電・送電の基幹系、配電系、需要家系を構成する中核の設備を設置した。これらは実証実験用に各種ネットワークで有機的に接続されており、オペレーションセンターで各種実証実験の結果が視覚的に得られる。

実証システムはその目的に応じて自由に構成が可能で表3に示すように主要なモードでエネルギー需給など重要事項の検証が可能である。

4.2 大船地区実証スマートハウス

ゼロエミッション住宅の実現のために、大船地区では太陽光・熱・自然風等の自然エネルギーを最大限活用するとともに、電力ピークシフトや創エネルギー・蓄エネルギー、

エネルギー消費のリアルタイム把握と最適制御の実証を行うため、スマートハウスでの実証を継続している(図7)。

HEMSコントローラに接続されたパワーコンディショナで太陽光発電、家庭用蓄電池、電気自動車間での充放電、太陽熱給湯、ヒートポンプ、IHクッキングヒーター、エアコン、床暖房、ロスナイ換気等を無線ホームネットワークで連携させ、朝晩、四季を通じてエネルギー最適制御

表2. 尼崎・和歌山の実証実験サイトの設備

発電系統	4MWの太陽光発電、発電機模擬装置
送電系統	変電所、系統用蓄電池、火力・揚水・風力発電と基幹系統を模擬した系統シミュレータ
配電系統	SVR(Step Voltage Regulator), SVC(Static Var Compensator), センサ付き開閉器、配電網
需要家系統	スマートメータと自動検針システム、EV充電ステーション、ビル・住宅等の模擬需要家

表3. 主要モードと検証内容

	需給検証モード	配電検証モード	総合検証モード	特定地域離島検証モード
再生可能エネルギー電源増加時の需給バランス確保	○	-	○	○
配電系統への太陽光発電大量導入時、安定した電圧の維持	-	○	○	○
次世代電子メータによる見える化、省エネルギー・節電	-	○	○	○
系統事故や系統切替え時等での電力機器の検証	-	○	○	○
緊急時における需要家による消費抑制検証	○	-	○	○
実証実験設備を使用した事前検証	○	○	○	○

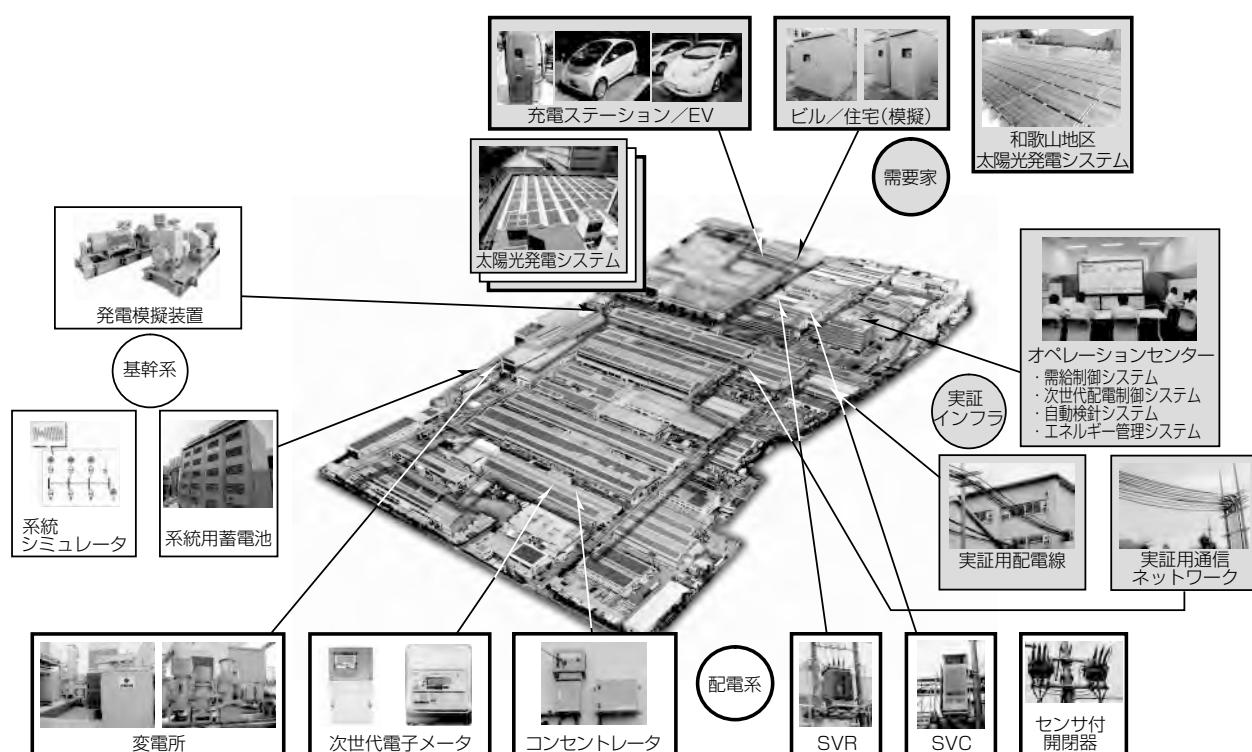


図6. 尼崎・和歌山の実証実験サイト

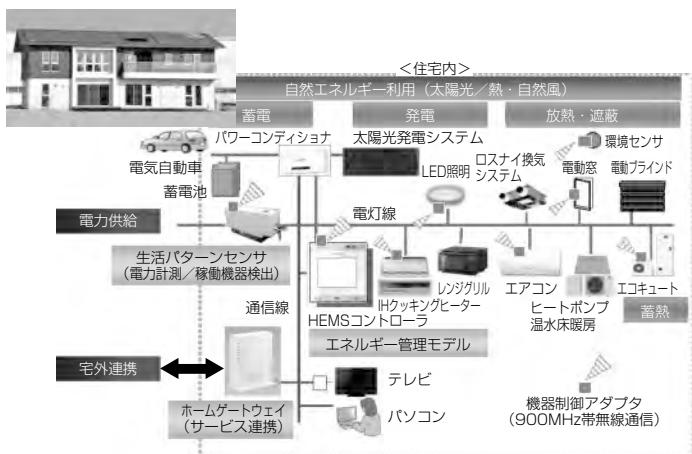


図7. 大船スマートハウス

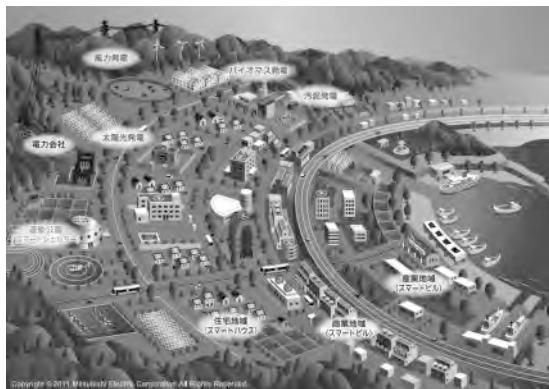


図8. 復興の街のエネルギーインフラ提案

の実績データの蓄積から知見を重ねている。また、将来、エネルギー情報管理サービスなどが立ち上がる想定し、HEMSコントローラに接続されたホームゲートウェイを設置しており、光のブロードバンドインフラからこれらのサービスを受けられるようにしている。

5. 震災復興の街作りへの貢献

スマートコミュニティの実現では街単位でのエネルギーシステムの設計が不可欠である。当社は、街作りのコンセプトとして需要家側には世界最先端の省エネルギー技術を駆使して従来より大幅にエネルギー消費を削減するとともに、地域の特質に応じた地域電源を整備してエネルギーの地産地消を図るため、一定比率の電力は地域でまかなうこととをコンセプトとした復興の街のエネルギーインフラを提案している（図8）。

平常時や系統脱落時、被災時等の異常時の各々の状態におけるエネルギー確保と状況に応じた需給制御を地域の単位でできることを目標としている（図9）。

尼崎の実証実験での特定地域・離島検証モード（表3）では街のエネルギーシステムを作り出し、平常時や系統脱落時、被災時のエネルギー環境を模擬することが可能であり、特に震災の復興街作りで強力なツールになるとを考えている。

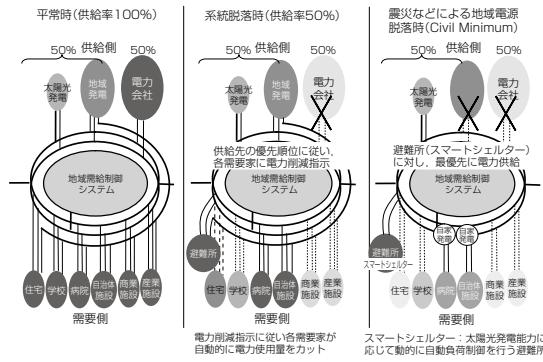


図9. 平常時、異常時のエネルギー確保と需給制御

6. むすび

当社は、供給側・需要側双方で長い歴史を持つ各種エネルギー関連の製品・システムを強みにしている。これらをICT技術によってつなげ、エネルギー最適化技術によって有機的に相互作用させることでスマートグリッド・スマートコミュニティの様々なモデルが構成できる。これらのモデルを尼崎・和歌山地区実証サイトと大船スマートハウスで多角的に検証を積み重ね、次世代のエネルギーインフラの技術構築を果たしていく所存である。

参考文献

- (1) 三菱電機広報：スマートグリッド・スマートコミュニティ実証実験設備を本格稼働開始
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2011/1019.html?cid=rss>
- (2) 三菱電機広報：スマートグリッド事業について
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2010/0517-1.pdf>
- (3) 復興への提言～悲惨のなかの希望～, 平成23年6月25日 東日本大震災復興構想会議
<http://www.cas.go.jp/jp/fukkou/pdf/fukkouhenoteigen.pdf>
- (4) 長坂寿久：リローカリゼーション（地域回帰）の時代へ（その1）—3・11後の日本と世界のビジョンへ向けて—, 国際貿易と投資2011, No.84 (2011)
- (5) 宮城県復興計画
<http://www.pref.miagi.jp/seisaku/sinsaihukkou/keikaku/index.htm>
- (6) 福島県復興計画検討委員会資料
http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet;jsessionid=9B0D2D0343BFA522203342A2E91EE591?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=25367
- (7) 岩手県東日本大震災津波復興計画 復興基本計画案について
<http://www.pref.iwate.jp/view.rbz?cd=32806>

スマートグリッド実証実験

Smart Grid Facility Implementation

Marta Marmiroli, Masanobu Koshio, Tsuneo Shimizu, Yasuaki Nagamatsu

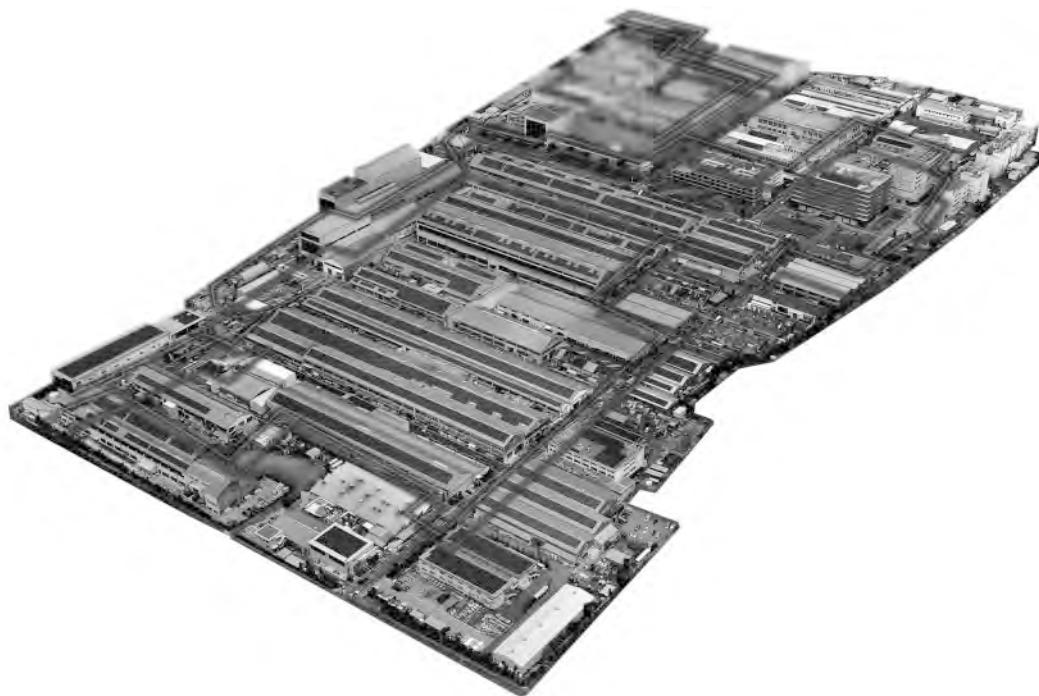
マルミローリ マルタ* 永松靖朗**
古塩正展**
清水恒夫**

要 旨

国際社会では、エネルギー、経済、環境という、いわばトリレンマの解決、つまりは低炭素社会実現に向けた動きが加速している。低炭素社会を実現するための手段は、供給側設備におけるエネルギー効率の向上、需要サイドの省エネルギーの更なる促進、及び自然エネルギーの活用である。二次エネルギーとしての“電気”は、経済の発展及び資源・環境問題の解決に不可欠なエネルギー源であり、環境負荷の小さな発電方式から、安定的な電力輸送、さらには効率的な電力消費を網羅するスマートグリッドの概念は世

界各国での話題となっている。

三菱電機では、スマートグリッドを構成する各種要素技術を開発するとともに、要素技術を結び付けた実証設備を構築し、技術検証並びに開発へのフィードバックを行っている。アナログ量である電力エネルギーを高度なデジタル技術を使って最適に運用するスマートグリッドは、これまでの電力系統技術と情報通信技術の融合によって実現するものであり、分野横断的な新しい社会インフラ体系構築への試みでもある。



当社尼崎地区的スマートグリッド実証設備

尼崎地区の実証設備には4MWの太陽光発電設備のほか、こう長7km（模擬インピーダンス装置によって16kmまで）に設定可能な模擬送電網、火力発電模擬装置、揚水発電模擬装置、交直変換装置(BTB(Back to Back))、系統シミュレータ、スマートメータシステム、各種監視制御システムが設置されている。これらの機器を活用して将来の電力流通システムを作り出し、様々な観点からの実証試験を行うことができる。

1. まえがき

世界的に太陽光発電や風力発電等の大規模な導入が進み、国内でも政府は2020年に約2,800万kWの太陽光発電の導入を目指す方針が示されている。

しかし、太陽光や風力をはじめとした再生可能エネルギーは天候の影響を受けやすく、発電量の変動が大きいため、周波数や電圧、安定度といった電力系統の品質に影響を与えることになり、それが電力供給の信頼性を低下させる懸念がある。そのため、電力流通の安定的な運用のためには、再生可能エネルギー大量導入の影響を送配電網全般にわたって検証し、様々な角度からそれを分析し、適切な対策を行なうことが必要となってきた。

当社では、次世代の電力流通システムのあり方を検証するために、自社事業所内にスマートグリッドの実証設備の構築を進めている。本稿では、次世代電力流通システムの課題と対策、並びに当該スマートグリッド実証設備の概要と技術検証内容について述べる。

2. 次世代電力流通システムの課題と対策

2.1 電力品質の問題と対策

2.1.1 配電線電圧変動問題

現在の配電系統は、原則的に変電所から負荷に向けて電力が一方向に流れることを前提に設計されている。しかし、家庭内に多くの太陽光発電設備が設置され、電力消費以上の発電が行われれば、配電系統に電力が逆流する逆潮流という現象が発生する。同一の配電系統に多くの逆潮流が発生することによって、電圧供給規定の規定値を逸脱する形で電圧が上昇する可能性がある。電圧の逸脱は、電気機器の故障を引き起こすなど安全上大きな問題となる。電圧変動の抑制対策としては、柱上変圧器の分割や配電線路の太線化、電圧調整装置の設置等がある。

2.1.2 余剰電力問題

太陽光発電設備が、天気の良い日に一斉に発電を始めると、系統需要を上回る電力が発生することが予想される。我が国の電力供給は、原子力、火力、水力等複数の発電所の最適な組合せで運用されており、需要の変動は火力及び水力で吸収されている。しかし、出力制御可能な発電所の発電出力を低下させても太陽光発電設備からの電力がそれを上回る場合、余剰電力という形で需要以上の発電量が発生する可能性がある。余剰電力に対する施策としては、揚水発電や他エリアへの融通、大型蓄電池による充電、将来的には電気自動車の小型蓄電池への充電などいろいろな方法が検討されている。

2.1.3 周波数変動問題

出力変動の激しい電源が多く連系されると、電力系統全体の需要と供給のバランスを確保することが困難となり、

需給バランスの逸脱による周波数の変動が起こる可能性が指摘されている。周波数変動は、電動機などの回転機の回転速度にむらを生じさせるなど電気機器の運転に影響を及ぼす。周波数変動への対策としては、火力、水力等の従来型電源の周波数調整能力の向上、系統に連系される蓄電池への周波数制御機能の付与、さらには温水器ON/OFF機能の周波数連動などがある。

なお、これらの問題(表1)以外にも、①インバータ型電源の相対的増大(回転機の相対的減少)に伴う系統慣性力の低下、②新エネルギー電源の一斉解列による需給アンバランスの発生、③電源多連系に伴う事故時復旧方法の複雑化など、様々な問題についての対策が必要となる。

2.2 技術開発

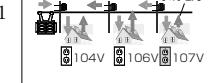
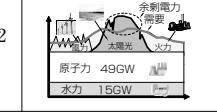
2.2.1 太陽光、風力の発電量予測

太陽光、風力は天候に左右されることから、気象シミュレーションに基づく気象データを活用し、地点ごとの発電量を予測することになる。太陽光の発電予測については、地点ごとの日射量データに基づいて、短期的及び長期的な発電量予測を行う。また、出力変動に対する平滑化効果を検証するために、複数地点での日射量に対する時刻同期データを収集することなどが行われる。一方、風力の発電予測については、太陽光と同じく、気象シミュレーションに基づく風況データを活用して、シミュレーション又は統計的分析によって発電予測を行う。

2.2.2 配電制御

太陽光発電が大量に連系された配電系統では、配電電圧の適正値運用、配電ロスの低減、事故区間の極小化等の最適系統運用が求められる。通信機能付き開閉器や遮断器に組み込まれたセンサ情報(有効／無効電力、電流、電圧、ステータス)を活用することで、より正確に配電系統をモニタリングするとともに、最近のパワーエレクトロニクス技術を活用した静止型無効電力補償装置(SVC)や多機能インバータによる配電系統制御の有効性が検討されている。

表1. 電力品質の問題と対策

問題	原因	対策案
1 配電線の電圧変動	配電線に連系された多数の太陽光発電の逆潮流による 	・変圧器の分割 ・電圧調整器の設置 ・太陽光発電の出力制御
2 余剰電力	低負荷期における需要を上回る太陽光などの一斉発電による 	・蓄電池の設置 ・太陽光／風力発電の出力抑制 ・需要側対策(需要側電気利用拡大)
3 周波数変動	瞬時の需要と発電のアンバランスによる 	・太陽光／風力発電の出力変動抑制 ・揚水発電高度化(可変速化) ・蓄電池の設置

2.2.3 蓄電池制御

蓄電池は、配電線の電圧問題、余剰電力問題、周波数変動問題を解決する手段として期待されている。配電線の電圧制御に対しては、配電系統に設置された蓄電池の有効電力及び無効電力を制御することで、電圧を規定値以内に保つように運用することが可能である。また、軽負荷時に、系統又は家庭内に設置された蓄電池に余剰電力を充電し、重負荷時に蓄電池の電力を系統に放電することで余剰電力に対する対策を行うことが可能である。さらに、周波数変動に対しては、蓄電池が持つ高速制御性能を活用して、需給アンバランス時の過不足電力分を高速に蓄電池で吸収させることで周波数を一定値に保つことができる。

2.2.4 電力流通向け通信技術

電力流通システムを高信頼かつ効率的に運用する上で通信技術の果たす役割は大きい。広域を管理する基幹系ネットワークでは、信頼性の高い光ファイバやマイクロ波を活用した通信網が整備されている。今後、配電系統に分散電源や各種配電機器、蓄電池等が多数設置されると、基幹系ネットワーク網を拡張したアクセス系の整備が必要となる。アクセス系ネットワークによって各機器情報を収集し、よりきめ細かな監視や制御が可能となる。さらに、各家庭に設置されるスマートメータとの双方向通信を可能とするラストワンマイルを整備することで、遠隔検針や遠隔開閉器制御のほか、電気利用の見える化などのサービス提供が可能となる。ラストワンマイルについては、対象となるスマートメータが数千万個に上ることから、センサネットワーク技術の適用が期待される。

3. 当社のスマートグリッド実証実験事例

3.1 実証設備の概要

当社では、将来の電力流通網を想定したスマートグリッドの実証設備を自社尼崎地区に構築している(図1)。実際の電力流通設備(実証設備)を活用して、想定される外部要因(天候変化、需要変化、各種事故、制度変化、事業環境変化)を人工的に与え、電力系統の動特性、静特性の連続的な挙動を把握し、電力流通全体の計画、運用業務を実設備を活用して検証できる。これによって、将来にわたる電力流通の経済運用、安定運用に求められる各種要件の洗い出し、並びに対策の検証を行う。

3.2 主要設備

尼崎地区に設置する主要設備を表2、表3、表4に示す。

3.3 実証環境で確認できる技術

実証環境の検証内容について、その一例を図2に示す。

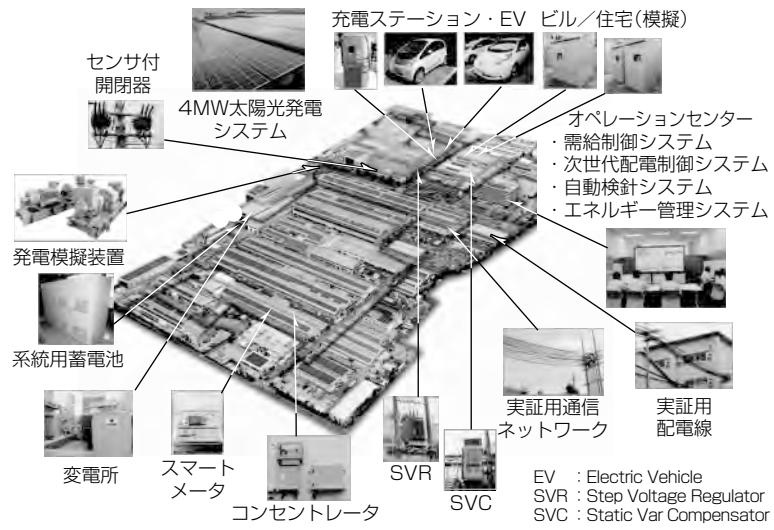


図1. 尼崎地区スマートグリッド実証設備

表2. 主回路機器

模擬送電線 (7~16km)	模擬送電線はインピーダンス可変。メガソーラーや負荷を含めた系統トポロジーの変更可能
模擬負荷	家庭用負荷からビル、工場の負荷をモデルする模擬負荷を設置
同期発電機 (200kW)	火力発電機を模擬する小型同期発電機を設置
揚水発電電動機 (200kW)	可変速揚水発電を模擬できる発電模擬装置を設置。電動発電機と励磁装置から構成
交直変換装置 (1 MW)	模擬送電線に対する電圧源、周波数源として様々な系統出力を作り出すことが可能
リアルタイム 系統シミュレータ	実際の電力系統モデルを作成することができ、BTBを介して実機と相互干渉を検証可能
LRT (Load Ratio Transformer)	実証系統と既設系統を連系。既設系統は工場連系設備を介して関西電力と連系
メガソーラー (4 MW)	事業所内の工場建屋の屋根を中心に設置
連系インバータ	有効、無効電力制御のほか、FRT(Fault Ride Through)機能を持たせ、系統との協調制御を行える仕組みを保有
系統用蓄電池 (NaS, Li, NiH)	個々の特性評価及び系統から見た制御性能について検証を行える仕組みを保有
通信機能付き 開閉器・遮断器	配電系統のモニタリング(有効／無効電力、電圧、電流)用にセンサ内蔵型機器を設置
SVC	配電網全般の電圧適正管理のために設置。通信機能付き機器
SVR	スマートメータ
	事業所内の各負荷の30分電力量、電流、電圧等の情報(150台)をオンラインで収集

表3. 通信機器

スマートメータ 通信端末(150台)	スマートメータ内部に設置され、小電力無線による通信に利用
コンセントレータ (10台)	電柱や建物内に設置され、スマートメータの情報を集約し、上位通信網に転送
光通信網	基幹系、配電系、スマートメータの基幹通信網として構内に敷設
GE-PON	光通信のための端末装置として、配電系統制御に利用
OFDM	ペア線を活用した電力線搬送装置として、配電制御に利用
無線通信網 (メッシュ通信)	小電力無線を活用した無線通信網として構内に設置
通信管理システム	構内の通信網全体を監視制御する装置として設置

GE-PON : Gigabit Ethernet Passive Optical Network

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

表4. 各種システム

基幹系監視制御システム	構内実証設備の基幹系に対する監視制御システム。メガソーラー、発電機、系統監視
配電制御システム	構内実証設備の配電系に対する監視制御システム。配電系統及び配電機器の監視
需給制御システム	構内実証設備の発電機、メガソーラー、蓄電池の需給制御
スマートメータシステム	構内実証設備の構内負荷に対するメタリング及びそれを活用したシステム

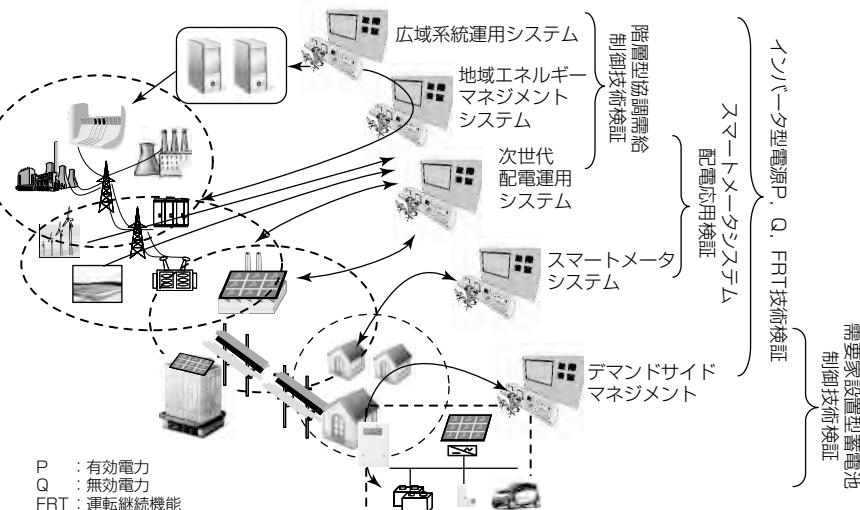


図2. 実証環境での検証技術

3.3.1 階層型協調需給制御技術

実証設備の模擬送電網及びリアルタイム系統シミュレータ上のモデル系統から構成される電力系統を活用して、需給制御技術を検証する。中央給電指令所に相当する需給制御システム、並びに膨大な数の新エネルギー電源(分散電源)や蓄電池を監視制御する新エネルギー監視制御システム及び低圧系管理の配電自動化システムが相互に協調を取りながら需給バランスの確保並びに最適運用を実現する。

3.3.2 配電系統における電圧監視制御技術

模擬送電網には、太陽光発電装置及び模擬負荷だけでなく事業所内の工場建屋の実負荷の連系が可能である。このため、新エネルギー大量連系を想定した次世代配電系統における電圧制御技術に加え、工場、ビル、一般需要家等様々な種類の需要家を対象とした太陽光発電、負荷等のマンドレスポンス制御技術についても検証することが可能となる。

3.3.3 スマートメータシステムの配電応用

スマートメータシステムでは、複数無線媒体を活用した無線通信の検証を行う。建物内部や金属壁に囲われた場所等の電波の届きにくい箇所に設置されるメータに対しても確実に通信できる技術としてメッシュネットワーク技術の検証や、スマートメータシステムによって収集したデータを活用した様々な配電アプリケーション(停電管理、状態推定等)の総合的な実証試験を行うことができる。

3.3.4 インバータ型電源に対する制御技術

実証設備では、太陽光発電及び蓄電池等の連系インバータに有効、無効電力制御機能やFRT機能を付与している。様々な系統事象で、既存電源との協調制御のあり方などを検証することができる。

3.3.5 需要家設置型蓄電池に対する各種制御技術

実証設備には、家庭用太陽光発電やエコキュート、空調、及びEV等の需要家内に設置される機器も導入されている。

EVや太陽光発電、蓄電池等の負荷特性の検証、需要家保有の各種電力設備に対する約款のあり方検討、さらには不特定多数の需要家保有の電力設備や負荷機器に対する監視制御のあり方等広範囲な検討が可能である。

3.3.6 各種配電新機材の系統試験

配電系統や需要家二次側系統には、今後も様々な電力機器の接続が予想される。実証設備では、系統構成を動的に変更することができ、また様々な事故なども模擬することができるため、将来予想される系統構成の中でのこれら新機種を系統接続して、各種設備の投入効果を検証することが可能となる。

4. むすび

次世代電力流通システムにおける課題とその対策並びに当社の事業所に構築しているスマートグリッド実証設備の概要並びに実証実験の目的などについて述べた。

低廉かつ安定した電力供給を維持しつつ、より環境にやさしい電力流通システムを実現するよう引き続き研究開発が必要である。今後、当社では実証設備を活用して将来の電力系統を模擬し、様々な角度から技術検証並びに安定運用に供する技術開発を継続する予定である。

参考文献

- (1) 経済産業省：低炭素電力供給システムの構築に向けて、低炭素電力供給システムに関する研究会報告書（2009）
- (2) 電力系統の利用を支える解析・運用技術調査専門委員会：電力系統の利用を支える解析・運用技術、電気学会技術報告調査書No. 1100（2007）
- (3) 塚本幸辰：次世代型送電網の主役となるか？スマートグリッドの概要としくみ、新電気、64、No.11、31～38（2010）

地域エネルギー管理技術 (CEMS)

鈴木浪平* 谷本昌彦***
田熊良行**
井野本正樹**

Technologies of Community Energy Management System(CEMS)

Namihei Suzuki, Yoshiyuki Takuma, Masaki Inomoto, Masahiko Tanimoto

要旨

世界各国で進められている“スマートコミュニティ”や“スマートシティ”は、地域で快適性を損なうことなく低炭素化社会の実現を目指すものとして、需要家側でエネルギーの効率的利用を図る各種EMS(Energy Management System)と、供給側で電力の安定供給を目指すスマートグリッド技術を組み合わせて実現される。電力品質を維持しながら電力不足への対応や、不安定な再生可能エネルギーの活用等、エネルギー利用を最適化する技術の開発が求められている。

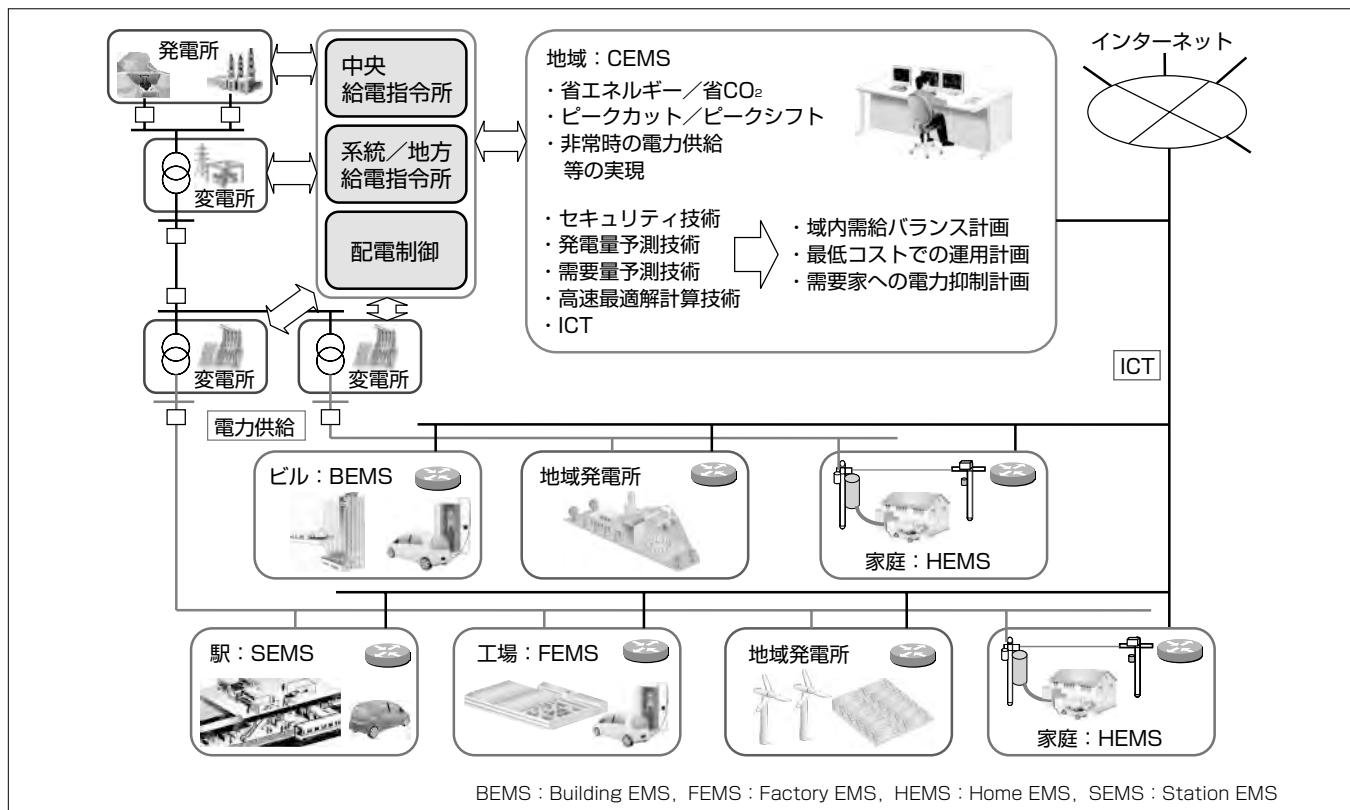
また大規模集中電源に対するリスク回避の面から、分散的に中小規模の電源を組み合わせて地産地消を目指すシステムや、非常時にも地域に対して一定の電力供給を行う自立型の電力インフラも検討され始めている。

このように需要家側と供給側をつなぎ、エネルギー利用

の効率化を図りつつ電力供給の安定化を実現するための仕組みとしてCEMS(Community Energy Management System)の開発が進められている。

CEMSを実現するためには、電力、熱を適切に制御するエネルギー制御技術とICT(Information and Communication Technology)の協調が必要である。三菱電機では、これまでに電力、交通、公共、ビル、家庭等様々な領域でICTを用いたエネルギーの監視、制御、管理を行うシステムを構築してきた⁽¹⁾。

本稿では、当社におけるCEMS構築技術の一例を述べるとともに、実際の取組み事例として、経済産業省の補助事業として進めている“けいはんな学研都市”実証実験の概要について述べる。



地域における電力系統・配電の構成とCEMSのかかわり

CEMSは電力系統・配電、地域における分散電源、各種需要家をICTで結び、電力品質の確保、省エネルギー化、そしてピークシフトによるCO₂削減を両立させるための、全体最適を行なうシステムである。

1. まえがき

近年，“スマートコミュニティ”や“スマートシティ”と呼ばれる社会実証試験が世界各国で進行している。その概念は、再生可能エネルギーを含めたエネルギーの供給と利用を、家庭やビル、工場などの個別単位ではなく地域(コミュニティ)全体で包括的に管理するエネルギーの最適運用であり、低炭素社会と快適な暮らしの両立を目指すものとされる。キーとなる再生可能エネルギー活用に向けて電力の供給／需要を適切に管理するシステム技術を開発し、それを実証で確かめることはスマートコミュニティを構築する上で大変重要である。

本稿では、スマートコミュニティの役割として、需要家側と供給側を結びつけ、効率の良いエネルギー利用を支援するCEMSについて、その役割・概念と当社の取組みを述べる。

2. CEMSの役割

低炭素社会を構成する上で、再生可能エネルギーの活用は重要である。しかしながら、太陽光発電に代表される再生可能エネルギーは出力が不安定になりやすい。再生可能エネルギーが大量導入された場合、逆潮流による電圧上昇など、系統への影響が避けられず、これに対応するためには、ICTを駆使した配電制御技術など、系統への負荷を低減するスマートグリッド関連技術が必要になる。さらに、2011年3月に発生した東日本大震災は大規模ベース電源に著しい被害を与え、関東・東北地方では近年体験したことのない電力不足を生じせしめた。この結果、電力の安定供給に対する信頼性を揺るがすこととなり、この影響は東日本のみにとどまらず、日本全国に広がっている。このことからエネルギー供給の頑健性を担保するうえで、発電の分散化や需要家側でのエネルギー消費の効率化が議論されるようになり、電力の地産地消の促進の必要性も認識されてきた。特に電力不足時には、太陽光発電なども含む分散化された電源と需要家側での電力消費抑制を連携させ、需要家間で協調しながらエネルギー利用の最適化を行う仕組みも求められる。

CEMSは、電力系統をベースに、地域に存在する分散電源や家庭・ビル・工場等の需要家群、さらに電力ストレージとしての活用が考えられるEV(Electric Vehicle)等を連携させ、需要と供給を適切に管理しつつ地域でエネルギー利用の最適化を図る。このため、ICTを活用してそれらに関連する情報をやり取りし、エネルギー有効活用促進のためのインセンティブや各需要家単位での見える化と連動する。このように、CEMSはより付加価値の高い低炭素社会を実現する地域社会、スマートコミュニティの基盤となる。

また、CEMSは電力だけでなく、エネルギー最終需要の

半分を占める熱エネルギー、近年需要の伸びの著しい輸送部門でのエネルギー利用の効率化も視野に入れ、全体最適を実現するシステムとして構築される。家庭・オフィス・商業施設・交通等、生活の様々なシーンを全体的・総合的に俯瞰(ふかん)し、エネルギーの最適利用を地域レベルで実現する。CEMSが実現する新しい社会インフラは、幅広い技術・製品群の上に構成されることが想定される。例えば、電力系統、需要家、再生可能エネルギーにかかる分散電源、蓄電等の各要素をパワーエレクトロニクス技術とICTによって最適に制御する新しい技術が求められており、当社では関連する技術開発に取り組んでいる。

3. CEMSを構築する上での中核技術

先に述べたように、CEMSを実現するためには、エネルギー制御技術とICTの協調が必要である。当社では、これまでに電力、交通、公共、ビル、家庭等様々な領域でICTを用いたエネルギーの監視、制御、管理を行うシステムを構築してきた。これまでに培ってきた技術を新しい技術と最適に組み合わせることによって、省エネルギー、安全、安心な社会を実現するインフラとしてのCEMSを構築することができる。この章では、当社のCEMS構築のための中核技術の一端を示す。

3.1 CEMSのためのICT基盤技術

地域のエネルギー管理を行うには、多種多様な情報を収集し、適切に管理、監視することが求められる。このようなオンラインデータの収集、管理機能は従来のSCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)同様、監視制御システム基盤上のアプリケーションとして実現される。これによって、時々刻々と変化するオンラインデータを様々なアプリケーションで共有することができる。また、現状では、CEMSの制御対象は、例えば空調設備などの機器や、HEMSやBEMSシステムなど様々なものが想定され、システム構成や制御周期もそのシステムの目的によって異なる。これら様々な制御対象、システム構成に対応したアプリケーションを効率的に開発し、動作させるためにエネルギー管理基盤がある。エネルギー管理基盤はアプリケーションのインターフェースやデータ構造の共通化、機能拡張性、処理フロー制御の容易性等を考慮して構成されている。

また、CEMSによって管理されたエネルギー情報を見える化サービスとして地域内の需要家に提供し、需要家の省エネルギー意識の向上を促すことができる。このようなエネルギーデータの適切な活用のため、CEMSは、地域や各需要家の情報をインターネットブラウザ上にグラフなどを用いて分かりやすく表示するためのユーザーインターフェース基盤、地域のエネルギー状況を分析するためのデータ処理基盤、需要家のプライバシーを守るためのセキュリティ

基盤等を組み合わせて構成される。

3.2 CEMSのためのエネルギー制御技術

従来のEMSは主として供給者の管理する設備に対する制御であったが、CEMSでは、需要家側の設備も制御対象に含まれる。需要家側の設備は、人間の生活パターンなどによってエネルギー消費が変動するため、制御が難しい設備もある。さらに、再生可能エネルギーや分散型電源の導入が進むにつれ、エネルギー供給側の変動も大きくなることが予想される。CEMS構築では、従来のエネルギー・マネジメントの技術⁽¹⁾に加え、これらの不確実性への対応が必要である。

不確実性への対応技術の一つとして、太陽光発電や風力発電等の出力変動、地域内の分散電源を含めた負荷変動を精度良く予測する技術がある。周期的に更新される気象情報と実績データを用いて予測データを随時更新することで予測精度を向上させ、立案した計画や制御の信頼性を高めることが可能となる。さらに、気象変動のみならず、需要家の属性や保有設備情報等を用いた需要変動モデル化技術によって、地域内需要をマクロにとらえる方法の検討も進められている。

また、これらの変動に対応した発電機や蓄電池の運用計画を立案する最適運用計画技術として、確率的手法を取り入れた運用計画手法を確立しており、安定供給とコスト上昇の抑制を両立させた運用計画立案が可能となる。

これらの計画立案や制御を高速に行うために、最適化問題を短時間で解く技術が必要である。当社では、内点法と有効制約法の組合せによる最適化手法(図1)など、最適化のための一連のライブラリを開発してきた⁽²⁾。これにエネルギー・マネジメントに適したチューニングを施すことによって、計算時間の大幅な短縮を実現し、制御のリアルタイム性を高めている。また、CEMSの目的は、省エネルギー、ピークカット、余剰電力抑制によるエネルギーの地

产地消、省CO₂、コスト低減等様々なものの組合せとなる。これらの目的関数や制約条件の設定を行うための最適化モデリングツールも開発している。制御対象となる機器やシステムの挙動、それらの接続関係をモデル化することで効率的なシステム構築が可能となる。

4. スマートコミュニティへの取組み

当社のスマートコミュニティへの取組み事例として、関西文化学術研究都市(愛称：けいはんな学研都市)で経済産業省の補助事業で取り組んでいる“けいはんなエコシティ次世代エネルギー・社会システム実証プロジェクト”(以下“けいはんな学研都市実証事業”という。)の概要を述べる。

4.1 けいはんな学研都市実証事業の概要

けいはんな学研都市実証事業は経済産業省の“次世代エネルギー・社会システム実証事業”的公募で採択された4地域(横浜市、豊田市、北九州市、けいはんな)の事業の一つで、2010~2014年度の5年計画によって産学公連携の基で遂行しているものである。本事業は、けいはんな学研都市における京田辺市、精華町、木津川市の新しく開発される地区をモデルとし、電力系統との連携を図りつつ、住宅、ビル、EV等のエネルギー使用の効率化と再生可能エネルギーの最大限有効活用を達成するためのCEMSを開発し、その有効性を実証する。家庭、ビル、EV管理センターの各需要家のエネルギー情報をCEMSが一元管理し、日々の環境条件によるデマンド、太陽光発電量等の成り行き要素に対して、需要抑制又は余剰抑制などの系統側の要請を受け入れながら、エネルギー利用の効率化を追求する。また地域としての蓄電池制御の効果検証や、需要家行動を促すインセンティブの効果を見る社会実験としての侧面を持っている。

4.2 CEMSの概要

けいはんな学研都市実証事業は、需要家に設置された複数のエネルギー・マネジメントシステムが相互に連携し、地域全体の消費エネルギーの効率化とCO₂排出量の削減を目的に実施する。

当社が開発を担当しているCEMSは、実証実験の中心的位置付けにある(図2)。HEMS、BEMS、EV管理センター(以下“需要家EMS”という。)からそれぞれのエネルギー使用状況情報を収集し、地域全体のエネルギー使用状況を把握する。このデータに基づいて、デマンドレスポンス要請(以下“DR要請”という。)やCO₂排出量目標を需要家EMSに示し、地域全体での再生エネルギー利用の効率化とCO₂排出量削減を目指す。

また、CEMSは、地域が接続する電力系統に悪影響を及ぼさないように、電力会社の系統運用を模擬した系統側システムと連携する。太陽光発電の余剰電力抑制対策や需給逼迫(ひっぱく)時の需要抑制対策等の協力要請に基づいて運用計画を立案し、需要家EMSと地域に接続するローカ

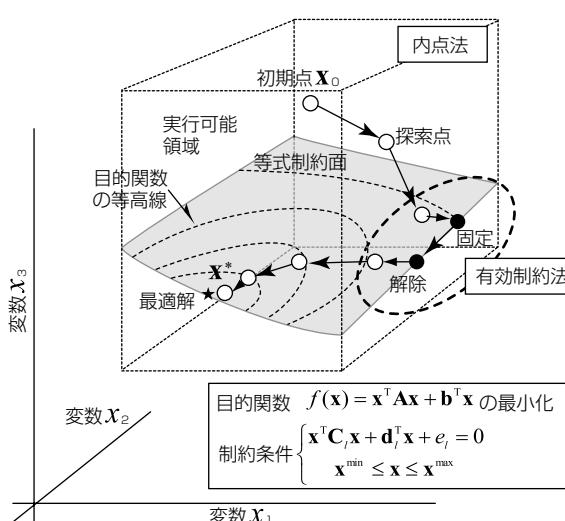


図1. 高速最適化手法を用いた最適解探索

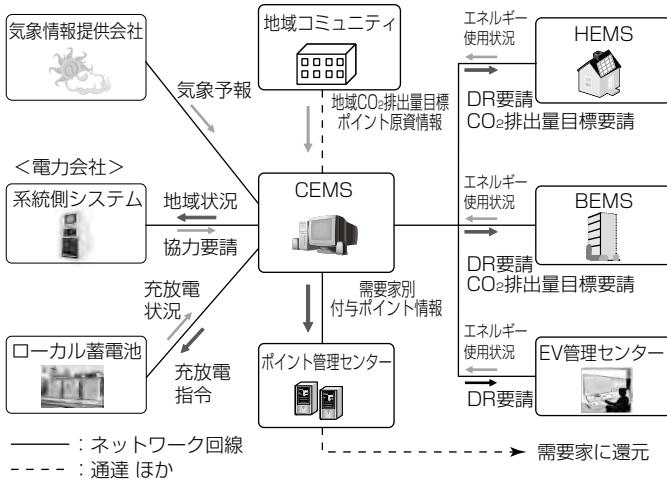


図2. けいはんな学研都市実証事業におけるCEMSの位置付け

ル蓄電池を協調させる。

需要家EMSへのDR要請やCO₂排出量目標要請に対し、需要家行動を促すインセンティブとして、CEMSからスーパー、コンビニで使用可能なポイントを提供する。ポイントの発行は、CEMSが地域コミュニティから与えられるポイント原資情報を基に需要家別に貢献度を評価し、ポイント管理センターから需要家に発行される。

次にCEMSの主な機能を示す。

4.2.1 モニタリング機能

モニタリング機能は、需要家EMSと連携して地域全体のエネルギー発生量や消費量及びCO₂排出量を把握する。HEMS、BEMSは送受電電力量、太陽光発電量、蓄電池使用量及びガス使用量を、EV管理センターは地域内のEVステーションにおける送受電電力量、太陽光発電量の合計を計測し、これらをCEMSが集約することで地域全体でのエネルギー使用状況の可視化を行う。開発中の全体監視画面を図3に示す。

4.2.2 予測機能

予測機能は、地域の運用計画の立案や、将来の天候変化等での運用計画の見直しを行うためのものである。気象情報サービスより提供される気象予報と需要家EMSの情報を用いて、需要家ごとの太陽光発電量、電力消費量、蓄電池運用パターンを予測する。このデータを集約することで、地域全体でのエネルギー使用状況を予測する。

4.2.3 エネルギーマネジメント機能

エネルギー マネジメント機能は、地域コミュニティからのCO₂排出量目標に基づいて、需要家の省エネルギー、再生可能エネルギーの有効活用を進めるとともに、系統側システムからの協力要請に応じて電力供給の安定化に貢献するようにエネルギー管理を行うものである。



図3. 全体監視画面

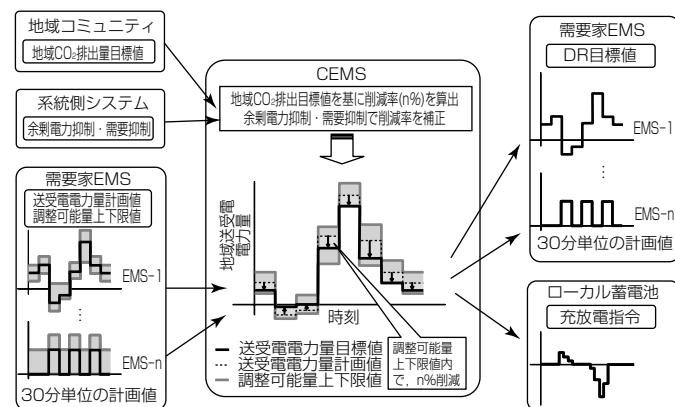


図4. エネルギーマネジメント方法

エネルギー マネジメント機能は、需要家EMSから収集する計画値・調整可能量とCEMSの予測値を基に、地域全体の運用計画を立案する。この立案した運用計画に基づき、需要家EMSへのDR要請やローカル蓄電池の制御を実行する。エネルギー マネジメント方法を図4に示す。

5. むすび

当社におけるCEMS構築技術の一例を述べるとともに、実際の取組み事例として、経済産業省の補助事業“けいはんな学研都市”実証実験にて開発しているCEMSの概要について述べた。当社では低炭素社会実現と快適な暮らしの両立を目指し、各種実証実験に参加しながら今後も継続してCEMSの開発を進めていく。

参考文献

- (1) 古塩正展, ほか:マイクログリッド需給制御システム, 三菱電機技報, 80, No.3, 209~212 (2006)
- (2) 橋本博幸, ほか:高速・安定な二次計画法の開発と实用問題への適用, 三菱電機技報, 83, No.5, 305~309 (2009)

ビルエネルギー管理システムの現状と動向

中村淳浩*

Current Status and Trend of Building Energy Management System

Atsuhiro Nakamura

要旨

東日本大震災で起きた電力不足に対する節電対策によって、ビルのエネルギー管理システムとしてBEMS (Building Energy Management System)が注目を浴びるようになった。

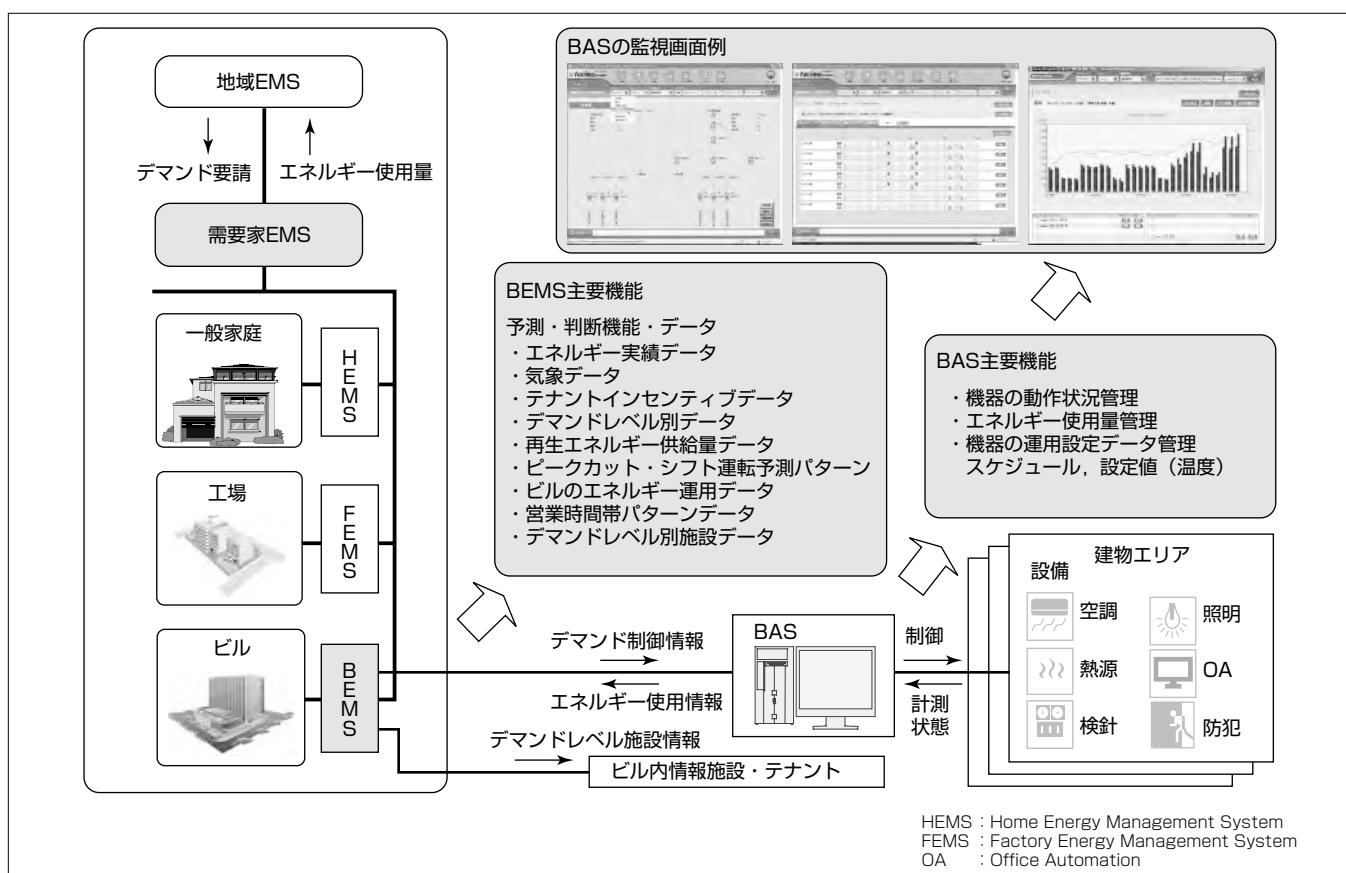
2011年夏の節電対策では、オフィス共有部であるエレベーターの間引き運転からホールの照明、オフィス専有部の照明の間引き・照度制御と空調の設定温度を今までより高めにすることによってビルの快適よりも我慢を優先した対応が行われた。

スマートグリッドにおけるBEMSは、地域EMS(Energy Management System)からのデマンド要請に対して、ビルのリアルタイムな需要量に、現在の使用量と過去の実績、気象、テナントデータから予測を取り入れたデマンド制御を行う必要がある。また、ビルによっては、供給エネルギー

のみならず、再生可能エネルギーである電気・熱の有効的な利用も取り入れられている。

BEMSは、ビルのテナントの運用パターン(営業時間帯)、制御対象である建物エリアの用途部門、設備種類別のエネルギー消費量とビルの設備管理の特徴を把握する必要がある。ビルの建物エリア、設備種類のエネルギーの使用量の把握や制御を行うのは、BAS(Building Automation System)であることから、スマートグリッドにおけるBEMSとBASの機能連携は重要となる。

三菱電機は、これら時代のニーズに沿う製品として“ファシーマシステム”を販売している。現在のファシーマシステムの特長と2011年夏の節電対策への対応内容及び今後のBEMS開発の方向について述べる。



スマートグリッドにおけるBEMSとBASの位置付け

スマートグリッドにおける地域EMSとBEMS、BAS、設備の位置付けを示す。

1. まえがき

建物の設備機器の情報の管理、制御の手段としてのBASは、1970年代から1980年代にかけて、社会インフラの進展とともに大きく変化を遂げた(図1)。

BASは、ICT(Information and Communication Technology)の進展とともに、装置、情報量、インターフェース、管理方法に至るまで大きく変化してきた。その後もBASと同様に各種設備のサブシステム側も高度なシステムとなり、BASと設備サブシステム間におけるデータ授受のインターフェースの方式も1980年頃から通信が採用されたことによって情報量が飛躍的に増加した。

1980年代中期のBMS(Building Management System)では既に、①エネルギー系管理、②設備系管理、③テナント系管理の三種類の管理概念が含まれていた。

1990年代後半からは、各種設備のシステムをマルチベンダーで低価格で構築することを目的としてオープンネットワーク(BACnet(Building Automation and Control networks)^(注1)通信など)の採用と多地点の建物管理と場所管理を実現するためWeb化技術とエネルギー管理を強化したBEMS(Building Energy Management System)の概念が導入された。

東日本大震災とそれに伴う供給電力不足への対応としてスマートグリッドのビジネスが展開しはじめ、ビル内のエネルギーを管理できるシステムとしてBEMSが注目を浴びている。

(注1) BACnetは、米国冷暖房空調工業会の登録商標である。

2. ビルにおけるエネルギー消費量の特徴

ビルにおける消費エネルギーは、建物の規模と種別によって大きく異なり、さらに、建物エリア用途部門、設備種類別のエネルギー消費量は、異なる特徴を持っている。ビルの建物エリア用途部門の概念を図2に示す。

(財)省エネルギーセンター調べによると、35,000m²程度のオフィスで、エリア用途部門の消費エネルギーは、図3のようにオフィス専有部と共用部の消費エネルギーが大きく占める結果となる。消費エネルギー量の最も多いオフィス専有部における、設備種別の消費エネルギーは、照明、コンセント(OA含む)、空調の割合は、図4の内訳となる。

したがって、BEMSでデマンド制御を行うためには、対象となるビルごとに次の事項が必要である。

- (1) エリア用途部門別の時間帯消費エネルギー実績データの把握
- (2) エリア用途部門別の設備種別の時間帯消費エネルギー実績データの把握
- (3) エリア用途部門別・設備種別デマンド制御対象優先レベルの決定

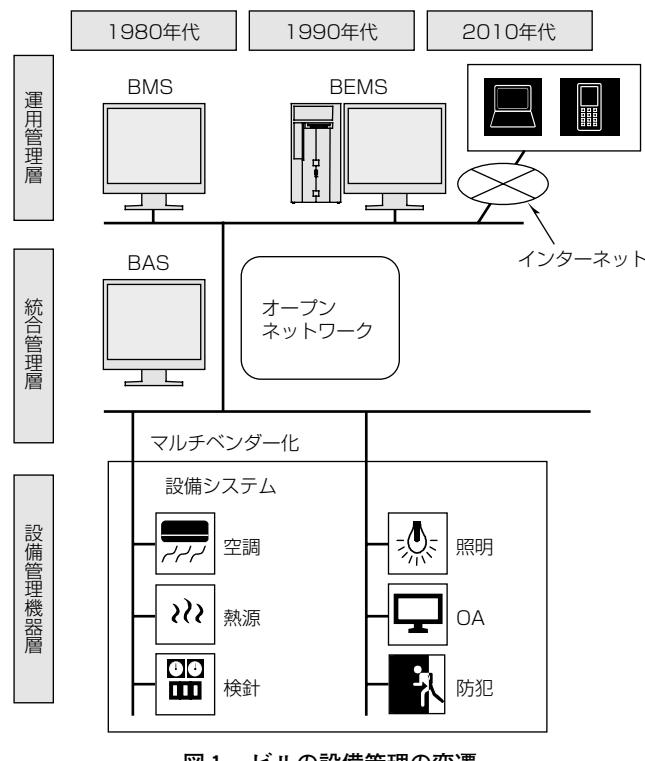


図1. ビルの設備管理の変遷

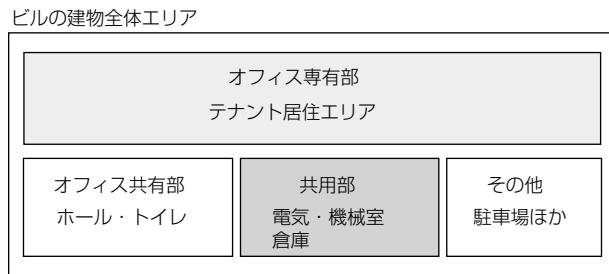


図2. ビルの建物エリア用途部門の概念

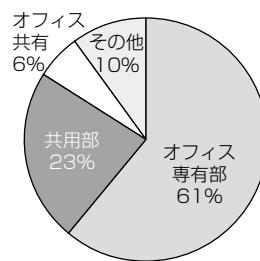


図3. ビルのエリア用途部門別消費エネルギー⁽¹⁾

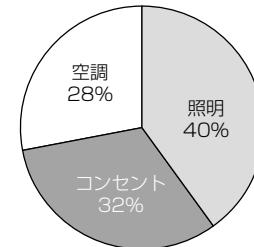


図4. オフィス専有部の設備種別消費エネルギー⁽¹⁾

3. BEMSの現状

東日本大震災後、一部の地域では、計画停電やビルの電力消費量の削減対策として過去にあまり経験のない業務の運用シフトや設備機器(空調・照明・搬送)の節電対策が行われた。

3.1 小口需要家のビルエネルギー管理

小口需要家(契約電力500kW未満)のビルを、概ね延床面積が10,000m²未満と考えると次に示すような特徴がある。

- (1) ビルの運用管理に対しての費用投資が低い。
- (2) (1)によって無人、半有人で設備を管理運用している。
- (3) 設備の統括管理を行うBASが導入されていないケースもある。

日常のビルにおける設備管理運用や省エネルギー、節電制御は、設備サブシステムごとに行われている。

2011年の夏には、2章で述べたオフィス専有部における設備種別の消費エネルギーとして空調が大きいことから各社でビル用マルチエアコン向けに省エネルギー運転機能を追加する、設備による節電が実施された。そのため、小口需要家でも、2章で述べたビル全体・エリア用途部門別・設備種別のエネルギー管理ができるようなインフラの導入が必要となり、小口需要家にも負担可能な導入方法の検討が課題となった。

3.2 大口需要家のビルエネルギー管理

大口需要家(契約電力500kW以上)のビルは、概ね延床面積が10,000m²以上と考えると、次に示す特徴がある。

- (1) 過去の環境対策、法規制によって小口需要家のビルと比較すると運用管理に対しての設備投資がされている。
- (2) (1)によって有人で設備の管理運用がなされている。
- (3) 設備の統括管理を行うBASやBEMSの導入率が高い。

また、最近の傾向としてエネルギーの見える化については、ビルを管理している側だけでなく使用しているテナントに対してのエネルギー使用状況の見える化サービスも進んでいる。

3.3 ファシーマ・ライトシステム

当社の“ファシーマ・ライトシステム”は、遠隔監視する新たな運用サポートサービスとの一括提供による設備の管理運用者がいない小規模ビル向けのシステムであり、2011年10月に発売した。

ファシーマ・ライトシステムの構成を図5に示す。

3.4 ファシーマBAシステム

当社の“ファシーマBAシステム”は、ビル内各設備情報を監視・制御する中大規模ビル向けシステム(図6)であり、2009年1月に発売し、次の特長を持っている。

- (1) ビル設備のサブシステム間の通信として世界標準である“BACnet通信”を利用することで、メーカーを問わない統合システムを実現している。

(2) 当社セキュリティ構築プラットフォーム“DIGUARD NET(ディガードネット)”の導入で、セキュリティシステムの中核となる入退室管理システムとも連携が可能で、より細やかな設備(照明や空調)運転制御を行うことができる。

(3) 2011年7月には、夏の電力不足に対応した節電プログラムの提供を開始した。節電プログラムの主な機能を次に挙げる。

- ①空調や照明等機器の消費電力を監視し、契約電力量との比較だけでなく、あらかじめ設定した節電目標値との比較が可能
- ②目標値を上回りそうな場合には、警報の出力や機器への電力供給を優先順位に従い遮断
- ③時間帯ごとに節電目標値を設定することで電力ピークカット対策が可能

3.5 今後のファシーマシリーズ

現状のファシーマシリーズでは、エネルギーの見える化、電力ピーク監視によるデマンド制御やスケジュール運転で、ビル内の空調・照明設備を自動制御する節電機能を持っている。

BEMSとの連携は、現在開発中であり今後のスマートグリッド対応については、更なる機能拡充の検討が必要と考える。

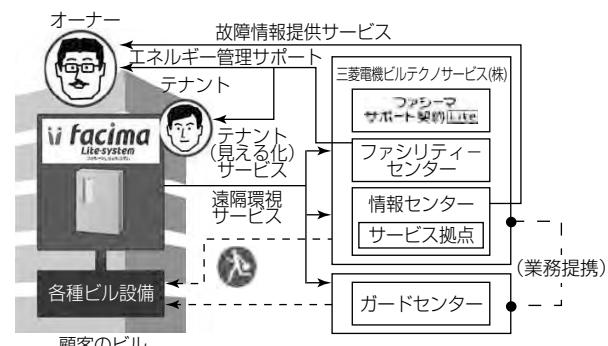


図5. ファシーマ・ライトシステムの構成

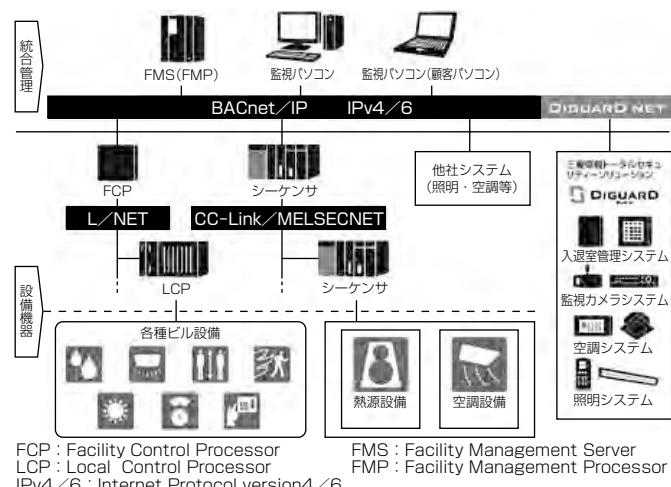


図6. ファシーマBAシステムの構成

4. スマートグリッドに向けたBEMS

4.1 BEMSのデマンド制御に関するデータの基本構築

地域EMSからのデマンド要請に対してデマンド制御を行うためには、ビルの用途やテナントの種類によって設備へのデマンド制御容量が異なる。したがって、ビルのエネルギー使用量の特徴を把握するために次に挙げる要素を取り入れてビルのエネルギー運用データを構成する必要がある(図7)。

- (1) ビルの全体のエネルギーをエリア用途部門別、テナントの設備種別のメッシュでリアルタイムに把握
- (2) (1)の結果によるテナントごとの営業時間帯パターンの把握
- (3) (1)の結果による過去の実績データからの今後の需要量予測
- (4) 気象データ(蓄電・蓄熱)利用による需要量の補正
- (5) (1)の結果と再生エネルギーの供給量とでビル全体のエネルギーを時間帯別に把握したピークシフト・カット運転パターンの予測
- (6) 地域EMSの供給容量に応じたデマンドレベル(通常・節電・緊急)の概念を取り入れた需要負荷パターンの把握
- (7) 節電・緊急時のデマンドレベルでは、デマンド制御の対象をオフィス専有部も含めることを考慮したテナントインセンティブデータ(電気料金・賃料・ビル内サービスポイント)の生成

4.2 BEMS構築のポイント

BEMSを構築するためには、次に示すエネルギー管理によるデマンド制御技術の確立、小口需要家対策、BCP(Business Continuity Plan:事業継続性)の支援技術がポイントであると考える。

- (1) ビルの用途やテナントの種類に応じたトータルエネルギー情報からのデマンド制御技術の確立
- (2) BEMS、BASの導入整備が進みにくい小口需要家に対してのクラウド技術を活用した遠隔地からエネルギーの見える化・デマンド制御サービスに加えて、設備の運用管理者がいないビルへの不測時の緊急体制の提供
- (3) デマンドレベルに応じたBCPのためのビル内エネルギー供給範囲や設備、施設利用可能状況、エリア別のセキュリティレベルの情報提供

5. 今後のBEMSの開発

スマートグリッドの促進を補助する制度の整備や機器の市場投入が行われている。需要家の一つであるビルに対して、4.2節で述べた3項目を念頭におきつつ総合電機メーカーとしての差別化を図る開発をしていく。実現にあたってのポイントは、ビルのエネルギー運用データや設備負荷

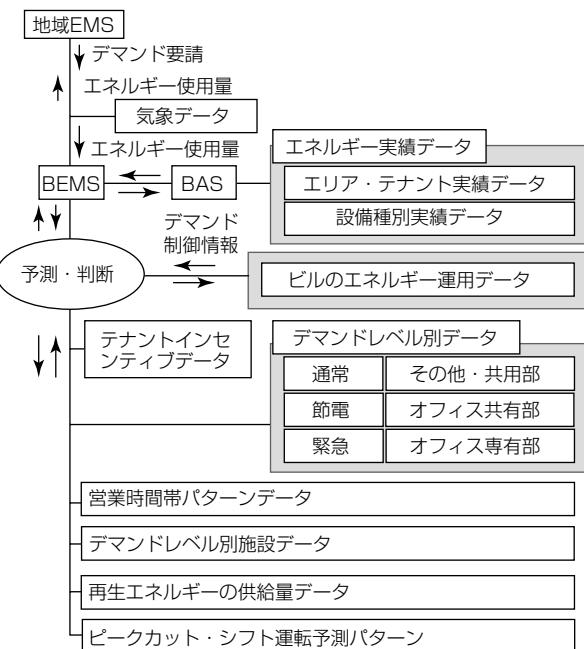


図7. BEMSのデマンド制御のデータ関係

予測と合わせてビルを活用しているテナントに対してのデマンドレベルに応じた安全・安心の提供も必要と考える。

したがって、入退室管理システムの動態監視から得られるビル内の空間エリアにいる人の情報が重要である。具体的には、デマンドレベルに応じてBCPのために、ビルのエリア単位の運用パターンや人の在室情報を考慮したデマンド制御を実現する必要がある。デマンド制御によって生じた建物の搬送(エレベーター、エスカレーター)、設備(照明、空調)の利用可能エリア、セキュリティレベル(入退室管理システム)の変更内容をテナントに対してセキュリティを確保したうえでデマンドレベル施設情報を発信する仕組みを構築することである。

6. むすび

2011年11月から当社は尼崎地区(兵庫県尼崎市)・和歌山地区(和歌山県和歌山市)の拠点でスマートグリッド・スマートコミュニティ実証実験設備の本格稼働を開始した。この尼崎地区では、ビルの空間モデルにおけるエネルギー負荷の予測と入退室管理システムによる人の情報を用いた照明・空調設備の省エネルギー／節電制御の検証を行う予定である。

当社の個々の強い製品と連携機能を生かしたBEMSの開発を進めることで総合電機メーカーとしての優位性を更に高めていく所存である。

参考文献

- (1) (財)省エネルギーセンター：オフィスビルの省エネルギー
http://www.eccj.or.jp/office_bldg/index.html

生産情報を活用した工場エネルギー管理システム(FEMS)

吉本康浩* 信太優子**
牧田裕行* 野末直道***
戸板滋人**

Factory Energy Management System Using Production Information

Yasuhiro Yoshimoto, Hiroyuki Makita, Shigeto Toita, Yuko Shida, Naomichi Nozue

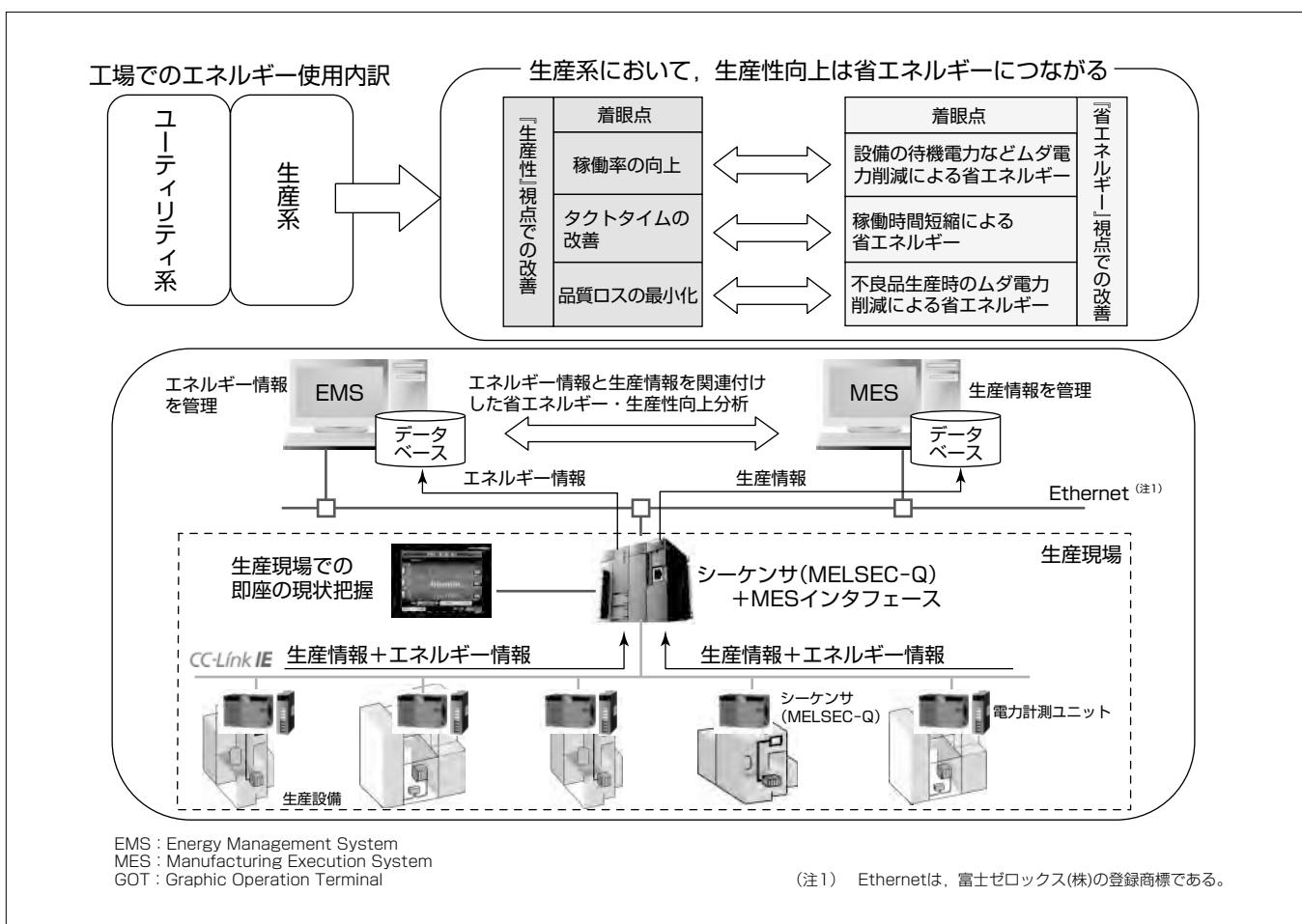
要旨

産業分野におけるエネルギー使用量は、国内全体のエネルギー使用量の約半分を占めている(経済産業省、エネルギー白書2010から)。化石燃料の枯渇が予想される将来のエネルギー問題への対処や低炭素社会実現のために、工場はエネルギーを大量消費する需要家として、省エネルギーの一層の推進が喫緊の課題となっている。また、東日本大震災を契機として、より一層の節電が社会的な要請となっている。

工場内におけるエネルギー使用の内訳は、業種によってその比率は異なるものの、“ユーティリティ系”(空調、照明、コンプレッサ等)と実際の生産活動に使用する“生産系”

に大別される。

本稿では、FEMS(Factory Energy Management System)の一環として、特に生産系で使用されるエネルギー使用総量を、生産数や設備稼働情報等の生産情報と紐(ひも)付けして管理することで、エネルギーのムダや改善点の発見を行うための三菱FA(Factory Automation)エネルギーソリューション“e&eco-F@ctory”について述べる。具体的には、e&eco-F@ctoryの概念及びそれを実現するための製品群・システムの紹介に加え、e&eco-F@ctoryの導入事例として、当社福山製作所の遮断器生産ラインの事例について述べる。



生産情報を活用した省エネルギー技術

生産系における生産性向上と省エネルギーの関連性、及び生産情報とエネルギー情報を関連付けして省エネルギー・生産性向上を分析するためのシステム事例を示す。

1. まえがき

産業分野におけるエネルギー使用量は、国内全体の使用量の約半分を占めている（経済産業省、エネルギー白書2010から）。エネルギー問題への対処や低炭素社会実現のために、工場はエネルギーを大量消費する需要家として、省エネルギーの一層の推進が喫緊の課題となっている。このような状況下で省エネルギー推進のため、工場全体のエネルギーを管理するFEMSが注目されつつある。工場全体のエネルギーの使用範囲は、生産設備によって実際の生産を行う“生産系”と工場のインフラ部分を担う“ユーティリティ系”に大別されるが、当社はFEMSの一環として、“生産系”での省エネルギーに寄与する三菱FAエネルギーソリューション“e&eco-F@ctory”を提案している。

“生産系”で、生産性向上は省エネルギーと密接な関係にある。設備の稼働率向上は、設備の待機時間や故障時間によるムダなエネルギー削減につながり、タクトタイムを改善することで、同じ生産量を維持しながらも、設備稼働時間短縮によって省エネルギーにつながる。また、品質（歩留り）を向上させることで、不良品生産時に消費したムダなエネルギーの削減に寄与する。

本稿では、生産情報とエネルギー情報を紐付けて管理し、生産時のエネルギーのムダを見つけることで省エネルギーを実現するe&eco-F@ctoryについて述べる。

2. 三菱FAエネルギーソリューションe&eco-F@ctory

2.1 FA統合ソリューションe-F@ctory

“e-F@ctory”とは、生産現場と情報システムの連携に

よる生産の見える化を実現し、PDCA(Plan Do Check Action)サイクルを回転することでTCO(Total Cost of Ownership)の削減を実現する三菱FA統合ソリューションであり⁽¹⁾，“e&eco-F@ctory”はこのe-F@ctoryにエネルギーの要素を追加したものである。

e-F@ctoryの概念を図1に示す。生産設備の動作シーケンスを制御し、生産設備の頭脳となるシーケンサや各種デバイス、センサ等のFA製品はFAネットワークによって接続され、様々な生産情報が収集される。

シーケンサとデータベースとを直接連携させるMESインターフェースは、シーケンサの1ユニットであり、生産設備と情報システムをパソコンなどの通信ゲートウェイなしで直接接続する。これによって、簡単かつ低コストで生産現場と情報システムとの連携を実現する。

2.2 e&eco-F@ctory概要

製造業者(メーカー)がグローバルな競争を勝ち抜くためには、生産性の向上だけでなく、エネルギー効率の向上が生産コストを抑える上での課題となっている。

e-F@ctoryでは、ネットワーク技術と情報システムを活用して生産性向上を実現した。さらに、当社の配電制御機器事業で展開する受配電分野で培ってきた計測技術を活用することによって、生産性向上とエネルギー効率向上の両立を実現する。

e&eco-F@ctoryでは、エネルギーを“計測する”“見える化する”“削減する”“管理する”的4つのステップで省エネルギーを実現する。

エネルギーを“計測する”ときには、単に生産現場のエネルギー使用量を収集するだけでなく、生産数などの生産情

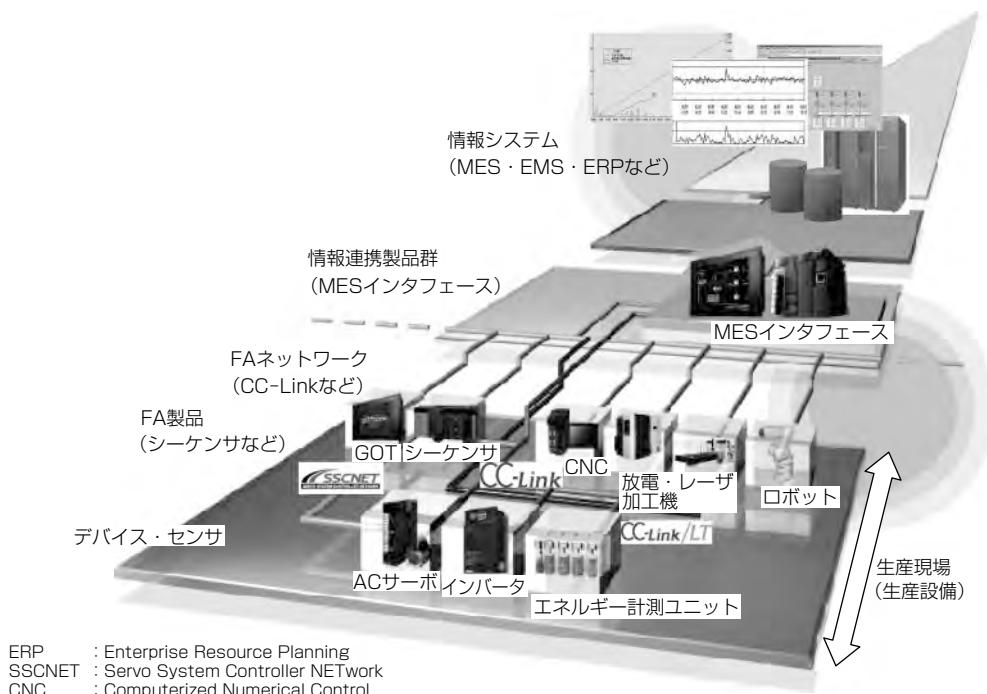


図1. e-F@ctoryの概念

報と関連付けしてデータ収集することが重要である。生産現場で生産情報を保持しているのはシーケンサであるため、シーケンサがエネルギー情報も取り込むことで、生産や設備稼働状況に応じたエネルギー計測が可能となる。そのため、当社はシーケンサ“MELSEC-Qシリーズ”に対応した電力計測ユニットをラインナップしている(図2)。

“見える化する”ステップでは、計測したエネルギー情報と生産情報をIT技術によって分析し、部品ごと、製品ごと、設備ごと等、あらゆる視点から多面的に“見える化する”ことがポイントである。MESインターフェースは、“計測する”ステップで、電力計測ユニットによって計測され、シーケンサへ取り込まれたエネルギー情報を、生産情報とともに情報システムに送信することで“見える化”に寄与する。

“削減する”ためには、エネルギー効率に優れた省エネルギー対策機器の導入が必要である。一例としては、インバータや高効率モータ等の駆動製品群を活用し、設備や装置のエネルギー消費を効率化することなどが挙げられる。

“管理する”ステップで、生産情報とエネルギー情報を結びつけて改善につなげるには、リアルタイムに設備・装置のエネルギー量や生産原単位の監視を行うことが重要である。生産原単位とは、製品1個を生産するために消費したエネルギーである。e&eco-F@ctoryでは、多様な管理ソリューションを提供し、エネルギー効率化のPDCAサイクルをスムーズに回転することで改善を図り、生産性とエネ

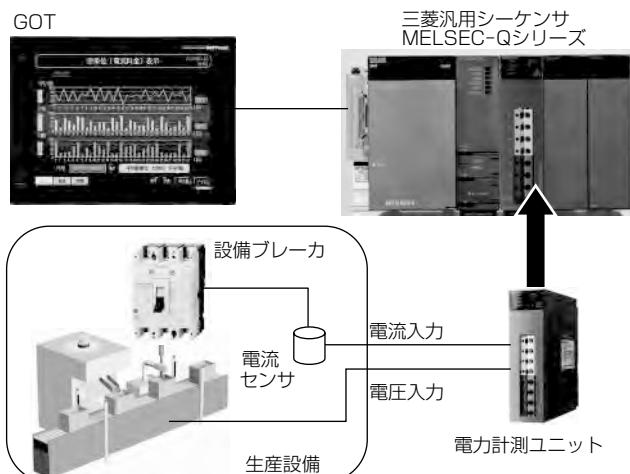


図2. 電力計測ユニットによるエネルギー計測

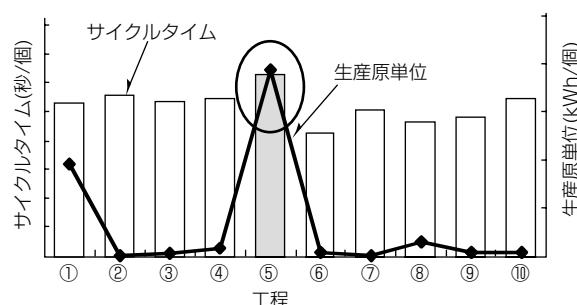


図3. 生産原単位を用いた見える化

ルギー効率の向上を実現する。

生産工程ごとに生産原単位を見る化した例を図3に示す。生産品種変更等に伴って工程⑤の原単位(折線グラフ)が悪化した例であり、エネルギー消費の観点から注目されるポイントである。生産情報として、サイクルタイム(棒グラフ)を重ね合わせると、工程⑤のサイクルタイムが大きくなり、生産ライン全体のバランスを乱していることが分かる。この場合、工程⑤の設備改善によってサイクルタイムを短縮することで、生産ライン全体の生産性向上に加え、全体のエネルギー消費量削減に寄与した。

3. e&eco-F@ctoryのシステム構成例

この章では、e&eco-F@ctoryの4つのステップのうち、“計測する”“見える化する”“管理する”ためのシステム構成例について述べる。

3.1 生産原単位の見える化システム

“EcoServerⅢ”は、組み込み型のデータ収集サーバであり、Webサーバ機能によって、Webブラウザによるエネルギーの見える化を可能にする。EcoServerⅢの主な機能は次のとおりである。

- (1) 世界標準のFAネットワークであるCC-Link(Control & Communication-Link)対応の計測端末から計測情報(電流、電圧、電力、電力量、漏電電流等)を収集
- (2) CC-Link端末機器からの計測情報に加え、シーケンサからの生産情報を収集し、内蔵コンパクトフラッシュ^(注2)メモリに蓄積
- (3) ユニット内に組み込まれたWebサーバ機能により、LAN(Local Area Network)経由でエネルギー使用状況と生産原単位が閲覧可能
- (4) 本格的なサーバ環境をベースとしたEMSを構築することなく、設定のみのプログラムレスで短期間にシステムの構築が可能(図4)。

(注2) コンパクトフラッシュは、Sandisk Corp. の登録商標である。

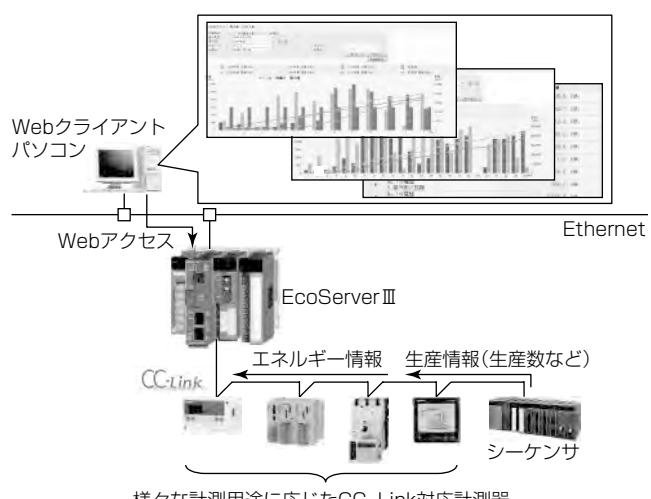


図4. 生産原単位の見える化システム

3.2 様々な生産情報と連動した見える化システム

e&eco-F@ctoryが目指す生産性向上と省エネルギーの同時実現のためには、生産・エネルギー使用の改善点の発見が不可欠であり、様々な生産情報とエネルギー情報を紐付けて管理する必要がある。例としては、各生産設備の稼働状態(稼働・待機・停止)に応じたエネルギー消費量を管理することで、待機・停止状態時のエネルギーのムダを発見し、待機の原因となる部品待ちや段取り替えの時間短縮を行うことなどが挙げられる。このような管理は、生産情報を管理するMESとエネルギー情報を管理するEMSを連携させることで実現可能である。図5は、当社FA機器を利用したシステム構成例である。各生産設備からは、生産情報に加え、電力計測ユニットによって収集された電力情報やエネルギー計測ユニット“EMU3”などによって収集されたエア流量などのエネルギー情報がMESインターフェースによってMES、EMSに送信される。

4. 当社工場のe&eco-F@ctory導入事例

3章で述べた“計測する”“見える化する”“管理する”事例として、当社の配電制御機器の生産拠点である福山製作所における遮断器生産ラインの事例について述べる。

従来、福山製作所では生産ラインごとの原単位管理を実施し、小集団活動の中で原単位悪化要因・改善策の洗い出しを行ってきたが、ラインごとの原単位管理では、詳細な生産情報とエネルギー情報がバラバラに存在していたため、原単位悪化要因の分析に膨大な時間と労力を要していた。また、ラインのどの設備がネックとなっているかまでは把握しづらい。そこで、図6に示すようにラインを構成する生産設備ごとに原単位管理を導入することで、即座にネック工程を把握し、さらにシーケンサの持つ生産・品質情報との突き合わせによって効果的な原単位悪化の要因分析・

対策を実施した。

このシステムの特長を次に示す。

(1) 生産設備ごとのエネルギー計測

小型装置(小型制御盤)の計測に最適なエネルギー計測ユニットEMU3を生産設備ごとに設置し、設備ごとのエネルギーを計測し上位データベースサーバで監視している。

(2) 生産情報、品質情報の取り込み

各設備のシーケンサが持つ生産情報(生産数)、品質情報(チョコ停回数／時間／エラー内容等)をMESインターフェースユニット経由で上位データベースサーバへ取り込むことによって、きめ細かい原単位管理と効果的な要因分析が可能なシステムとなっている。

(3) 上位データベースサーバでの可視化

①原単位のばらつき管理

従来の原単位管理画面はライン全体の電力量と生産数で原単位を算出し、時系列にトレンド表示していたが、このシステムでは設備ごとの1日分の原単位を1画面に全設備分表示している(図7)。5分ごとの原単位を1本の棒グラフの中にプロットし、原単位のばらつきを視覚的に表現している。棒が短い設備(例えば、設備(a), (b))はばらつきが少なく、よく管理された設備と言え、グラフ上の棒が長い設備(設備(d))はばらつきが大きくネック設備と言える。ネック設備(対策必要性の高い設備)を容易に把握することができる。

②原単位分析

原単位分析画面は各設備の詳細な原単位グラフとチョコ停回数、時間を時系列で表示している(図8)。原単位とチョコ停を1画面に表示することで原単位の悪化とチョコ停の相関関係を把握することができる。

③チョコ停分析

チョコ停分析画面では、各設備の1日のチョコ停発生

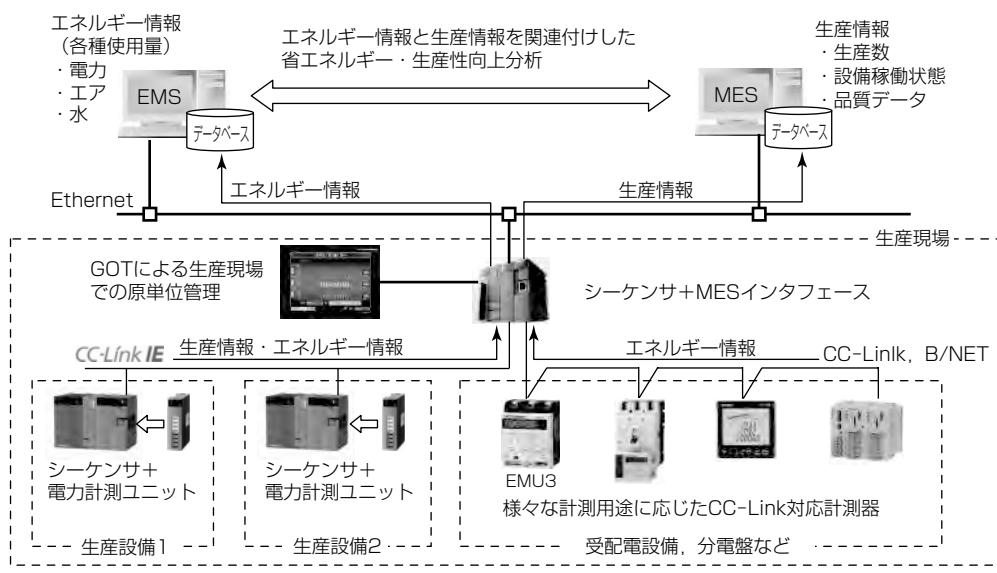


図5. 様々な生産情報と連動した見える化システム

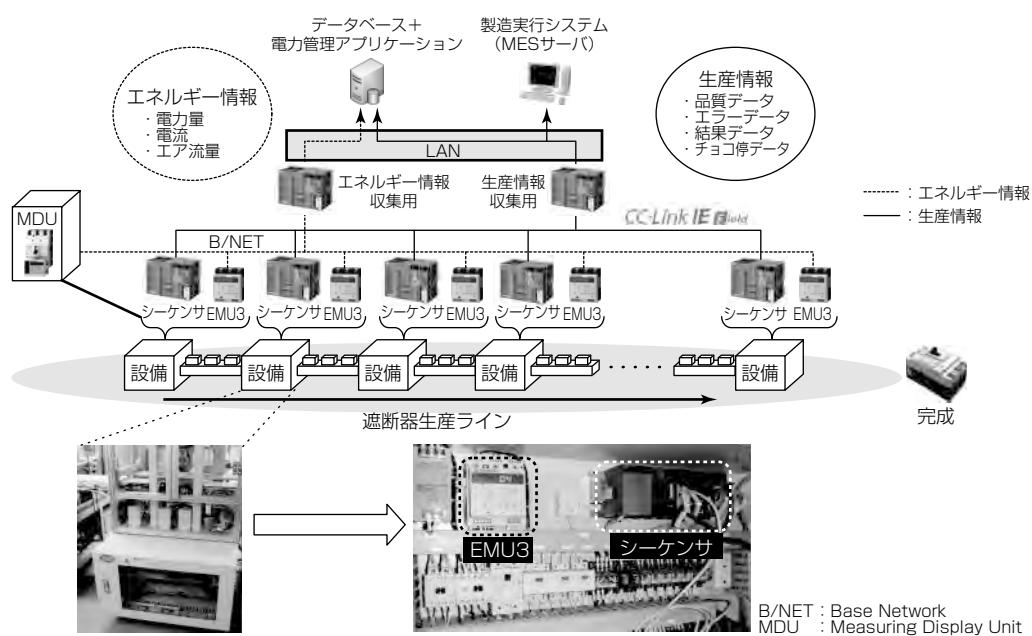


図6. e&eco-F@ctoryシステムと制御盤

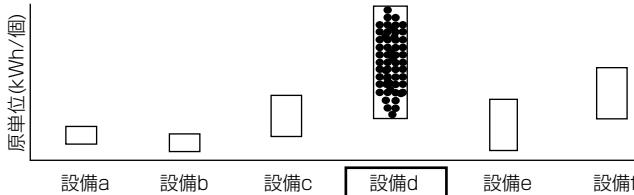


図7. 設備ごとの原単位ばらつき画面

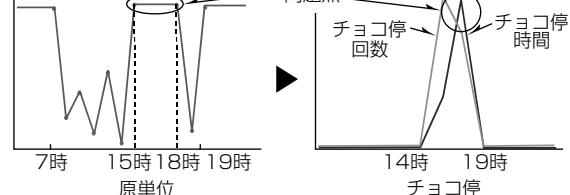


図8. 原単位分析画面

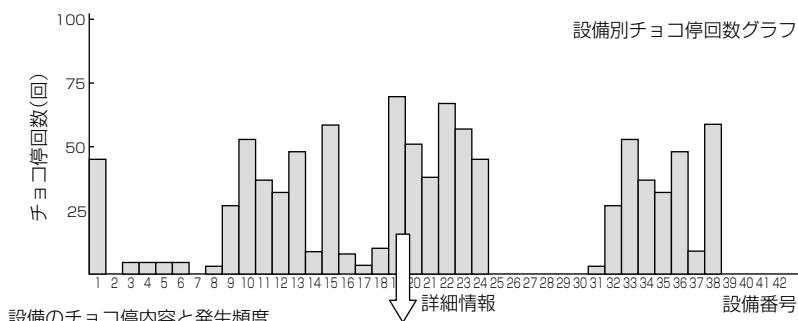


図9. チョコ停分析画面

回数及びその詳細情報(エラー内容、発生時間、設備復帰までに要した時間等)も表示して、設備改善のために効果的な分析・対策を打つことができる(図9)。

5. むすび

FEMSの役割の一つである工場全体のエネルギー総量削減のうち“生産系”に焦点をあてたソリューションとして、三菱FAエネルギーソリューション“e&eco-F@ctory”につ

いて述べた。今後は、工場の“ユーティリティ系”も視野に入れた工場全体の統括的なエネルギー総量削減及び創エネルギー・蓄エネルギーも含めた電力ピーク抑制についての手法を検討していく。

参考文献

- (1) 野末直道：e-F@ctoryを支える情報連携技術，三菱電機技報，85，No.4，219～223（2011）

大船スマートハウスの概要と構成技術

久代紀之*
伊藤善朗**

Overviews of Ofuna Smart House and its Key Technologies

Noriyuki Kushiro, Yoshiaki Ito

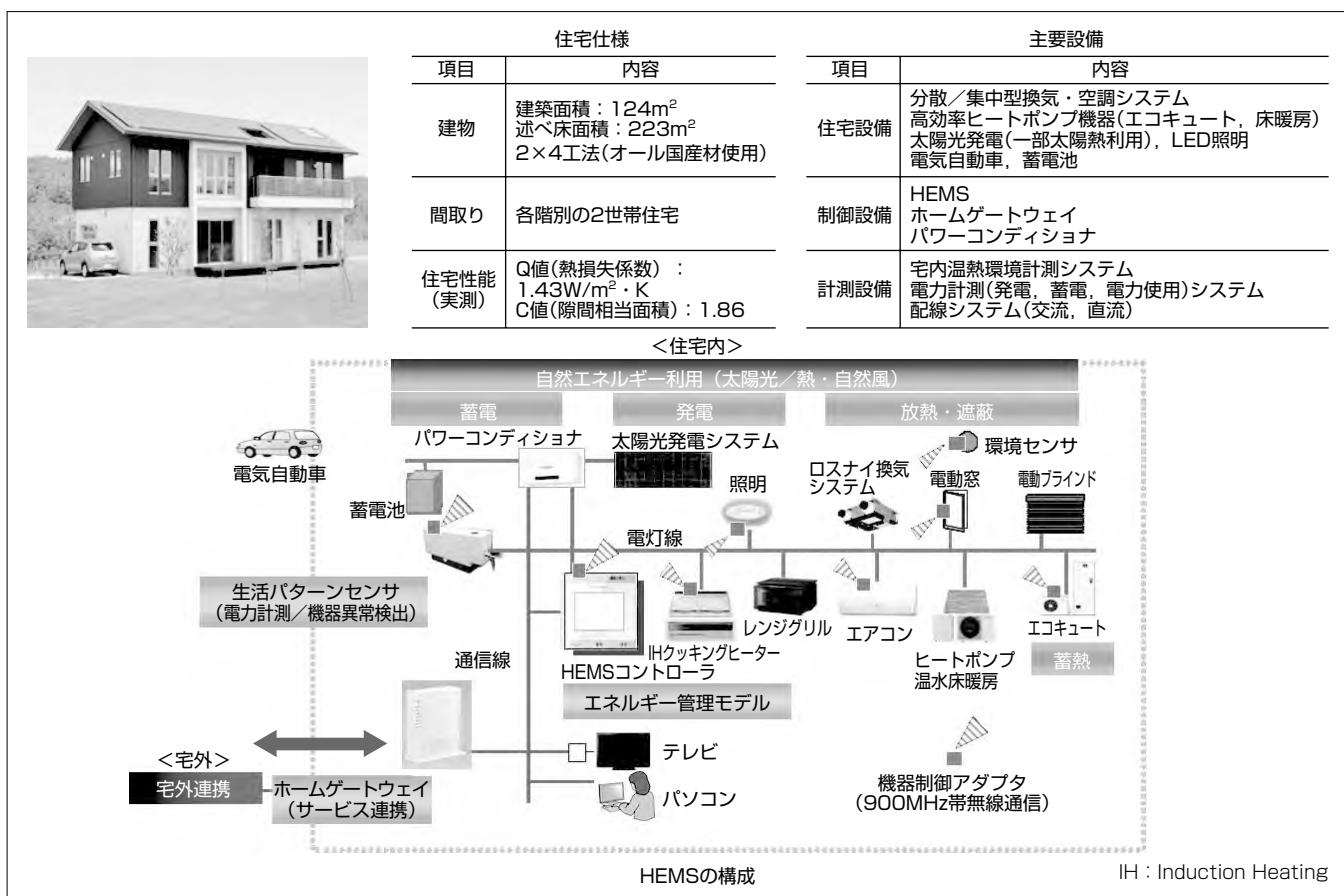
要旨

スマートグリッドに対応したスマートハウス(以下“大船スマートハウス”という。)を鎌倉市大船(以下“大船”といふ。)に建設し、HEMS(Home Energy Management System)の実証実験を開始した。

震災後の省エネルギー意識の高まりに対し、節電やピークシフトを実現するとともに、プライバシーを損なうことなく居住者の暮らしを見守り安全・安心を支援するシステムの実現とCO₂ゼロエミッション住宅の実現可能性の実証を目的とする。

大船スマートハウスには、当社最新の高効率家電・住宅設備機器のほか、太陽光・熱、自然風等の自然エネルギーを最大限に活用するとともに居住者の生活パターンに基づき各種機器制御を行うHEMSコントローラ、宅外と連携して種々のサービスを提供するホームゲートウェイが設置されている。

本稿では、大船スマートハウスの概要とスマートハウスを構成する技術について述べる。



大船スマートハウスと構成技術

左上はスマートハウスの外観で、右上の表は大船スマートハウスの住宅と設置設備の概要である。実証設備として、設備機器・制御設備機器のほかに、計測用の各種設備機器を設置している。下の図は、大船スマートハウスに設置したHEMSの構成を示す。

1. まえがき

地球温暖化防止に向け、太陽光など再生可能エネルギーを活用するスマートグリッドへの取り組みが世界的に活発化している。一方で、変動が大きいこれらエネルギーの大量導入による電力供給網へのインパクト(逆潮流)への懸念も顕在化してきている。これらを背景とし、家庭内の発電・蓄電とその消費を制御することで、省エネルギー・エコと逆潮流抑制を両立するスマートホームへの関心が高まっている。さらに国内では、震災後、節電と安全・安心機能の実現が喫緊の課題になっている。

2. 大船スマートハウスの概要

三菱電機では、2010年からスマートグリッド実証実験を尼崎・和歌山・大船で開始した⁽¹⁾。この実証実験は、電力供給、配電、需要家の全域をカバーするもので、電力供給から需要に至るシステム実現のための技術確立を行い、低炭素社会実現への貢献を目指すものである。大船では、当社最新の住設機器とHEMSを設置した大船スマートハウスを構築した(図1)。

大船スマートハウスでは、主にCO₂ゼロエミッション住宅実現可能性の検証と震災後に高まる安全・安心・節電システムの有用性の確認を目的とした実証試験を行う(表1)。

住宅仕様を表2に、主要設備を表3に示す。大船スマートハウスは、自立循環型住宅のガイドライン⁽²⁾に準拠した高気密・高断熱住宅となっている。将来的に宅内エネルギー融通などの実験に対応できるように2世帯住宅(1階高齢者、2階若年4人家族)として設計し、各フロアが独立



図1. 大船スマートハウスの外観

表1. 大船スマートハウスの目的とゴール

項目	内容
目的	ゼロエミッション住宅実現性の検証 安全・安心・節電システムの有用性の検証
ゴール	・ゼロエミッション制御のためのエネルギー管理モデルの構築 ・HEMS実現技術の確立 ①HEMSコントローラ ②ホームネットワーク ③生活パターンセンサ
実証期間	2010年 設備構築・一部実証実験開始 2011年 実証実験本格化(展開)

して動作する設備・システム設計とした。大船スマートハウスには、住宅設備・制御設備のほか、ゼロエミッション等各種検証のための計測設備が設置されている。

ゼロエミッション住宅の実現のために、太陽光・熱及び自然風など自然エネルギーを最大限活用するため種々の工夫が導入されている。実施例を図2に示す。同図(a)は、自然風を利用した夏場の廃熱制御、同図(b)は、床下蓄熱材を利用して冬場の日射の暖房に利用、同図(c)は、2階に上昇した熱を循環ファンを用いて床下に蓄熱し、サニタリ空間等に放熱することで、室温の均一化を実現している。

3. 構成技術

HEMSの構成を図3に示す。新築／既築を問わず容易に導入可能なことを目指し、900MHz帯域無線を用いた既築住宅にも配線や工事が容易なホームネットワークと小型・高性能な組み込み型HEMSコントローラで構成した。

HEMSシステムは、発電・蓄電・放電等主に宅内の電力関連を制御するパワーコンディショナサブシステム、宅内

表2. 大船スマートハウスの住宅仕様

項目	内容
面積	建築面積：124m ² 、延べ床面積：223m ²
建築工法	2×4工法(オール国産材)
間取り	各階別の2世帯住宅 1階：1LDK+インドアガレージ 2階：3LDK
住宅性能(実測値)	Q値(熱損失係数)：1.43W/m ² ·K C値(隙間相当面積)：1.86

表3. 大船スマートハウスの主要設備

分類	内容
住宅設備	・分散／集中型換気・空調システム ・高効率ヒートポンプ機器(エコキュート、床暖房) ・太陽光発電(3.8kW+2.28kW一部太陽熱利用のハイブリッドシステム) ・全館LED照明 ・電気自動車、蓄電池
制御設備	・HEMS ・ホームゲートウェイ ・パワーコンディショナ
計測設備	・宅内温熱環境計測システム ・電力計測(発電、蓄電、電力使用)システム ・配線システム(交流、直流)

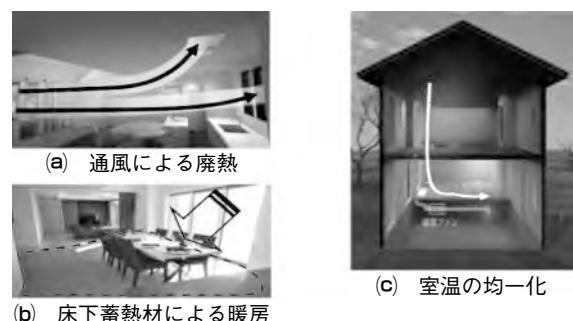


図2. 自然エネルギーの利用例

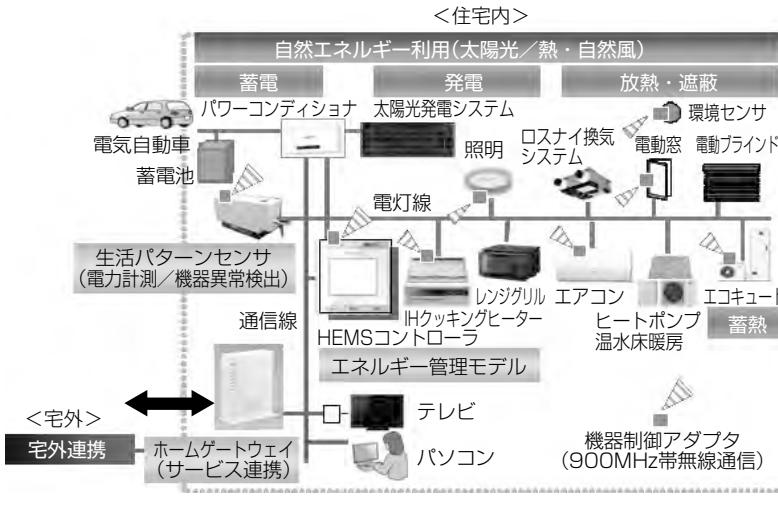
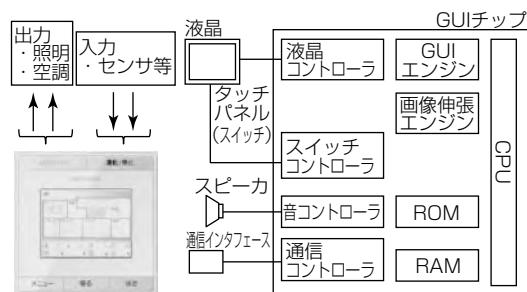


表4. HEMSコントローラへの要求仕様

機能	概要
通信	ホームネットワーク通信制御機能
制御	創電／蓄電、電力消費の現状を把握・予測し、最適に制御する機能
表示	わかりやすく情報を提示し、操作を受け付ける機能



ROM : Read Only Memory, RAM : Random Access Memory

図4. HEMSコントローラの構成とコントローラ専用チップ

に設置された各種家電・住宅設備機器及び環境を制御するHEMSコントローラサブシステム、宅外サービスとの連携を実現するホームゲートウェイサブシステムの3つのサブシステムで構成している。これらのサブシステム間は、IP(Internet Protocol)網で接続し協調させることで、ゼロエミッションのための制御や安全・安心・節電機能を実現する。

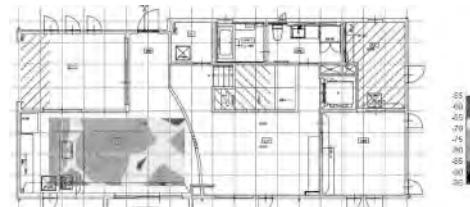
3.1 HEMSコントローラ

HEMSコントローラに要求される機能を表4に整理する。コスト制約の厳しい組み込みハードウェアで、一般的にこれら3つの機能を実現することは難しく、HEMSシステムのコストアップの要因の一つになっていた。

このシステムでは、最も負荷の重い表示機能を描画機能とメモリ伸張機能をハードウェア化するとともに、HEMSコントローラに必要となる周辺機能をワンチップ化したHEMSコントローラ専用チップと同チップ上で動作する省メモリGUI(Graphical User Interface)ライブラリを開発することで、これらの制約を解消した⁽³⁾。手間のかかるGUI画面のソフトウェア実装については、パソコン上の開発支援ツールを提供することによって、支援ツール適用なしの際の1/5の工数でHEMSコントローラ用のGUIソフトウェア実装を可能とした⁽³⁾。

さらにプログラム可能なI/O(Input/Output)拡張機能(インタプリタ)を搭載し、既存機器、コスト制約の厳しい照明やセンサを、HEMSコントローラの汎用I/Oとして接続し、HEMSコントローラ上で自在にプログラミング可能とすることでHEMSの適用対象機器を拡大した(図4)。HEMSコントローラの制御対象となる機器をネットワークに接続するために、機器接続アダプタを開発した⁽⁴⁾。家電機器と上記アダプタのインターフェースには、IEC62480(ECHONET)で標準化された仕様を適用した。

(a) A部分(分離盤)から送信した場合の2階フロアでの電波強度



(b) A部分から送信した場合の1階フロアでの電波強度

図5. 900MHz帯域無線を用いた通信性能
(大船スマートハウス実証試験結果)

3.2 ホームネットワーク

HEMSのもう一つのコストアップ要因は、ホームネットワーク設置コストである。ホームネットワークの候補として、専用線、無線、電力線搬送通信などが想定されるが、設置コストの点からは、配線、設置、調整コストに優れた無線方式が優位⁽⁵⁾である。

無線ネットワークとして、2.4GHz(ZigBee^(注1)、無線LANなど)が一般的であるが、このシステムでは、通信距離や障害物に対する信号の回り込みなど宅内での通信性能に優れる900MHz帯域を適用した⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

大船スマートハウスにおける900MHz帯域無線の性能評価実証試験結果の一部を図5に示す。宅内全域で中継が必要となる電波強度-90dBm以下の領域はなく、ホームネットワークとして十分な性能を持つことを確認した。

(注1) ZigBeeは、ZigBee Alliance, Inc. の登録商標である。

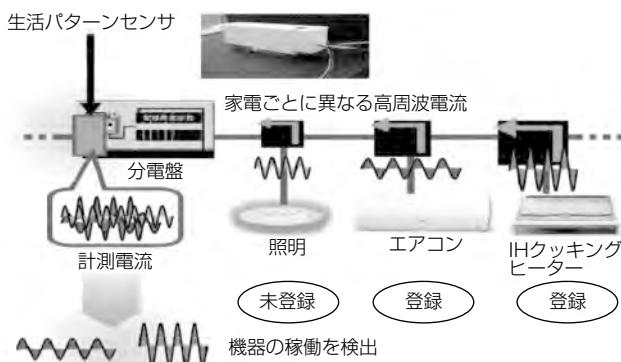


図6. 生活パターンセンサによる機器運転の検出原理

3.3 生活パターンセンサ

効果的なエネルギー管理には、機器がいつ使用されるかという情報が重要であるが、各需要家の機器使用実態は多様で、これを把握することは困難とされてきた。この課題解決のために、分電盤に一つセンサを設置するだけで、電力を計測するとともに主要機器の使用状況を検出する生活パターンセンサを開発した。生活パターンセンサの外観と原理を図6に示す。機器動作時に流れる特有の消費電流波形をあらかじめ識別子として学習しておき、パターン認識によって電力を計測するとともにリアルタイムに機器の動作を同定するものである。実際に人が居住する家庭5軒に設置し、生活パターン同定に十分な性能を持つことを確認した⁽⁷⁾。

4. むすび

大船スマートハウス及び設備システムの開発・設置を完了し、2011年7月より、ゼロエミッションの実現性及び安全・安心システムの有用性確認のための1年間の実証実験を本格的に開始した。

現在は、HEMSコントローラに搭載され、発電・蓄電・蓄熱、負荷制御、放熱等の各制御要素を変動の大きい自然エネルギー(太陽光／熱、風)を、各戸の生活パターンにあわせて最適制御するためのエネルギー管理モデル(図7)のパラメータを実験によって同定している。HEMSコントローラでは、発電・蓄電などの各制御対象要素の状況を計測し、将来の需要・供給バランスを予測し、最適制御することでゼロエミッションを実現する。机上計算では、高気密・高断熱、最新の高効率機器の導入による省エネルギー45%とHEMSの導入(自然エネルギーの有効活用、省エネルギー最適制御)による10%強の削減を見込んでいる。この差分を太陽光発電によって補完することでゼロエミッション住宅の実現ができることを見込んでいる。

住宅及び設備の基本設計と評価(気密性・断熱性)に関しては、東京大学大学院坂本雄三教授の監修をいただいた。

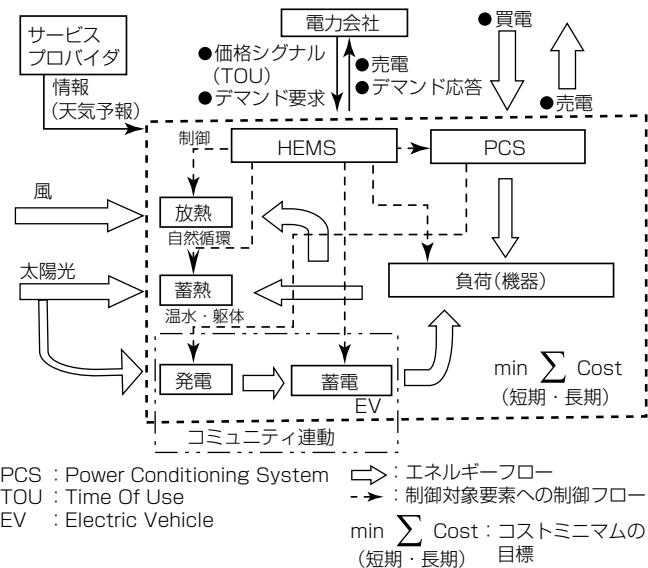


図7. エネルギー管理モデル

住宅建築では、三菱地所ホーム株に、またHEMSコントローラ用専用チップ開発に際しては、セイコーエプソン株に協力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) 三菱電機広報：スマートグリッド事業について
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2010/0517-1.pdf>
- (2) 財建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅プロジェクトとは
<http://www.jjj-design.org/project/index.html>
- (3) 久代紀之, ほか：組込み型GUIプロダクトライン開発への実践的アプローチ, 情報処理学会, 組込みシステムシンポジウム (2009)
- (4) Koizumi, Y., et al.: Program Downloadable Adaptor for Home Network, IEEE Trans. on Consumer Electronics, **53**, No.2, 357~362 (2007)
- (5) Kushiro, N., et al.: Practical Solution for Constructing Ubiquitous Network in Building and Home Control System, IEEE Trans. on Consumer Electronics, **53**, No.4, 1387~1392 (2007)
- (6) 小泉吉秋, ほか：950MHz帯の宅内電波伝搬特性, 電子通信学会ソサエティ大会 (2010)
- (7) Kushiro, N., et al.: Performance of Ad-hoc Wireless Network on 2.4GHz Band in Real Field, IEEE Trans. on Consumer Electronics, **54**, No.1, 80~86 (2008)
- (8) Kushiro, N., et al.: Non-intrusive Human Behavior Sensor for Health Care System, Human Computer Interaction International Conference (2009)

EV関連技術(V2G, V2H)

赤須雅平*
笹本明彦**

Technologies around Electric Vehicle(V2G, V2H)

Masahira Akasu, Akihiko Sasamoto

要 旨

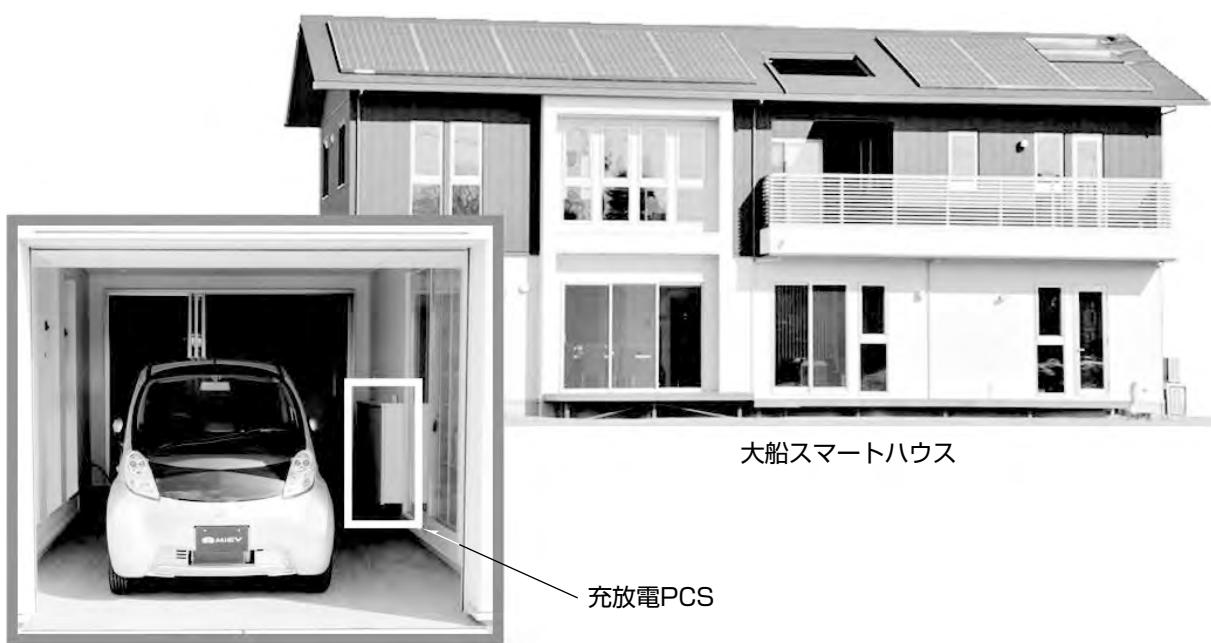
地球温暖化の有力な対応策として電気自動車(Electric Vehicle : EV)やプラグインハイブリッド自動車(Plug-in Hybrid EV : PHEV)が期待され、市場への投入が始まった。同時に、EV／PHEVの車載バッテリーを家庭で活用するV2H(Vehicle to Home)や、系統と連系し系統安定化手段として利用するV2G(Vehicle to Grid)の技術開発が進められ、特に東日本大震災後は、災害時に車載バッテリーを非常電源に利用したり、平常時の電力ピーク抑制のため車載バッテリーから家庭に電力を供給したりする機能の実現に向けた技術開発・検証が加速している。

V2GやV2Hでは、自動車としての利用に支障を来たさないよう、充放電量を適切に設定し電力源として有効に活用

していく技術が必要となる。また、太陽光発電(PhotoVoltaic : PV)やエネルギー・マネジメントシステム(EMS)との連携や、需給制御技術など系統に関する技術も必要である。

三菱電機はV2G及びV2Hの早期実現を目指し社内外の各種実証事業に取り組み、車載バッテリーの充放電技術、家庭や工場でのHEMS/Home EMS)やFEMS(Factory EMS)による制御、電力系統との連系技術の開発を行っている。

これら実証事業で開発するシステムと機器は近い将来、一般家庭、ビル、工場、コミュニティ等に導入されることによってEV／PHEVの付加価値が高まり、その普及が促進され、CO₂排出量削減ひいては地球温暖化対策に大きく寄与するものである。



大船スマートハウス

充放電PCS

大船スマートハウスにおけるEV充放電実証実験風景

当社のスマートグリッド実証設備の一つとして鎌倉市大船に建設した大船スマートハウスでは宅内車庫に設置したEV／PHEV用パワーコンディショナ(PCS)でEV／PHEVの車載バッテリーを充放電し、蓄電や宅内への電力供給をする。高度化したHEMSによってEV／PHEVを太陽光発電と連系して制御し、ピークカット、ピークシフト、負荷平準化等の実証実験を行っている。

1. まえがき

地球温暖化問題対処のため、我が国は2020年に温室効果ガスを二酸化炭素(CO₂)換算で1990年比25%削減する中期目標を掲げた。国内のCO₂換算総排出量の20%は運輸部門が占め、中でも自動車からの排出量は90%におよぶ。自動車産業には自動車の燃費向上とCO₂源となる化石燃料への依存度低減が強く求められている。

温暖化対策の切り札として、電気自動車(EV)やプラグインハイブリッド自動車(PHEV)等が期待され、市場に投入され始めている。同時に、EV/PHEVの車載バッテリーに注目が集まり、電力系統と連系し系統安定化手段として利用するV2G(Vehicle to Grid)や、家庭で活用するV2H(Vehicle to Home)の技術開発が始まった。

特に東日本大震災以降、災害時のEV/PHEV車載バッテリーの非常電源利用や、車載バッテリーから家庭への電力供給による電力ピーク抑制の実現に向けた技術開発・検証が加速され、当社も鋭意取り組んでいる。

本稿では、EV/PHEV車載バッテリーのV2G、V2Hによる有効活用について、当社で進行中の実証実験をふまえて述べる。

2. EV/PHEVの電力活用

2.1 次世代自動車

2008年に閣議決定された“低炭素社会づくり行動計画”では、運輸部門のCO₂削減達成のためハイブリッド自動車(Hybrid Vehicle: HV)・電気自動車・プラグインハイブリッド自動車・燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle: FCV)・クリーンディーゼル自動車(Clean Diesel Vehicle: CDV)・天然ガス(Compressed Natural Gas: CNG)自動車等を次世代自動車と定義し、2020年までに新車販売の2台に1台を次世代自動車にするとした⁽¹⁾。これを受け2010年4月に経済産業省は“次世代自動車戦略2010”で表1に示す普及目標を政府目標として発表した⁽²⁾。

欧州では自動車からのCO₂排出量規制が導入されている。自動車メーカーは欧州で販売する車両平均の排出量を2020年には95g/km以下にしなければならない。従来車でこの規制値を満足させるにはコンパクトカー以外ほとんど不可能であり、次世代自動車の投入は不可欠である。

表1. 2020～2030年の乗用車車種別普及目標(政府目標)

	2020年	2030年
従来車	50～80%	30～50%
次世代自動車	20～50%	50～70%
ハイブリッド自動車	20～30%	30～40%
電気自動車	15～20%	20～30%
プラグインハイブリッド自動車		
燃料電池自動車	～1%	～3%
クリーンディーゼル自動車	～5%	5～10%

2.1.1 ハイブリッド自動車

ハイブリッド自動車(HV)のほとんどは内燃機関と電動機の組合せによるハイブリッド電気自動車(HEV)であり、内燃機関の出力を直接駆動力として利用し、電動機を補助的な駆動や回生に利用するものが多い。動力の組合せによって内燃機関を効率の良い領域で運転し、かつ、減速時のエネルギーを回生利用することで、従来車に比べ大幅なCO₂排出量削減が可能となる。

現在市販されているHEVの代表車と言えるトヨタプリウス^(注1)のCO₂排出量は国内JC08モードで71g/km、欧州基準で89g/kmであり2020年規制値を満足している。ただし、HEVは燃料としてガソリン、軽油等を使用するため、脱石油とはならない。

(注1) プリウスは、トヨタ自動車株の登録商標である。

2.1.2 EV/PHEV

車載バッテリーを電力系統などから充電し、その充電電力で電動機を駆動する自動車にEVとPHEVがある。二次電池と電動機のみで常時動く自動車がEVである。また、HEVのバッテリー搭載量を増し外部から充電可とし、許容放電量内でEV走行を可能とした自動車がPHEVである。ともにバッテリー走行時に車両からのCO₂発生はない。しかし、電力源となる発電所でのCO₂排出を考慮する必要がある。

2.2 EV/PHEVのCO₂排出量

2009年度国内一般電気事業者10社のCO₂実排出係数データ、電力販売量から日本の電力でのCO₂実排出係数を求める411g/kWhとなる。例えば、市販EVである三菱i-MiEV^(注2)のJC08モード交流電力量消費率は0.11kWh/kmである。これにCO₂実排出係数を乗ずると、i-MiEVのCO₂排出量は45.2g/kmとなる。また、トヨタから発表されているプリウスPHEV⁽³⁾の電力消費率6.57km/kWhからCO₂排出量を求める62.6g/kmとなる。HEVに比べCO₂排出は少ない。EV/PHEVの充電を大量導入が進むPVなど再生可能エネルギーで行えば、CO₂排出は完全にゼロとなり、環境の面からは最も優れた次世代自動車となる。

(注2) MiEVは、三菱自動車工業株の登録商標である。

3. V2G、V2H技術

3.1 EV/PHEVの電力貯蔵、発電能力

国内の1家庭1日あたりの電力使用量は約9.2kWhである。EV/PHEVの車載バッテリーは5～30kWhの容量があり、これから家庭に電力供給すれば、1台でほぼ家庭1日分の電力を貯える。

ここで問題となるのがEV/PHEVを使用できる時間である。国土交通省統計データ(2009年度)によると、登録車の実働率(1年間に何日自動車を使うか)は64.7%，実働1日の自動車の走行キロは38.62kmとなる。例えば、走行時の平均車速を30km/hとすると走行している時間は1.5時

間程度となる。路上駐車など駐車場以外での駐車を同じく1.5時間見込んでも、稼働日の21時間は駐車場に駐車されている。非実働日は終日、実働日でも大半の時間を大容量バッテリーとして活用可能であることが分かる。

自動車の登録台数は2011年度で年間約460万台である。2020年度も同じ登録台数とすると、政府目標では年間92万台のEV、PHEVが日本国内に出る。電池として使う容量を10kWh、充放電能力を3kWとすると、その容量は920万kWh、出力が276万kWとなり、大規模火力発電所並の能力となる。これが毎年増設されるとすれば、その有効活用を真剣に検討しなければならない。

3.2 V2G, V2HでのEV/PHEV活用

EV/PHEVの有効活用策としてV2GやV2Hが検討されている。V2Gとは太陽光発電設備と同様にEV/PHEVを電力系統に連系し、車両と系統の間で電力の融通をすることを言う。また、V2HとはEV/PHEVの車載バッテリーに蓄えられた電力を住宅内に供給し家庭で活用することを言う。EV/PHEVを移動手段として使わないときに、車載バッテリーを蓄電設備として利用する点が共通する。

3.2.1 V2G

V2Gへの社会的ニーズは再生可能エネルギー大量投入時の余剰電力吸収、そして電力需要ひっ迫時のピークカット、ピークシフトへの対応等が考えられる。EV/PHEVの蓄電、放電能力は電力の需要と供給のバッファとなり、その応答性の高さから従来にないフレキシブルな電力設備となり得る。まずは風力発電や太陽光発電のように発電電力が短時間で大きく変動する電力源の変動吸収に期待がかかる。図1は太陽光発電が集中して導入された場合の電圧問題とV2Gによる対策を示す。太陽光発電が集中して系統に逆潮流すると、同図(a)のように系統電圧が上昇し、配電線末端側での逆潮流は制限され、太陽光発電電力を無駄に抑制することになる。これは太陽光発電設備導入家庭に不公平を生じることになり、社会問題化する可能性がある。この余剰電力を近傍に駐車しているEV/PHEVに充電すれば、同図(b)に示すように系統電圧を低下でき、末端の太陽光発電導

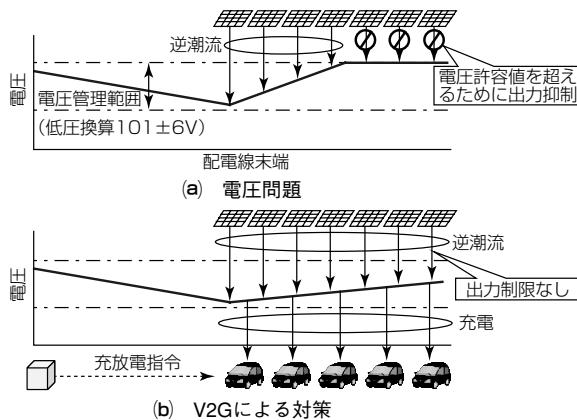


図1. PV集中連系における電圧問題とV2Gによる対策

入家庭も逆潮流できることになる。EV/PHEVに蓄電した電力は、もちろんEV/PHEVの移動に使うことができるが、移動予定がない場合は、系統側の需要にあわせ逆潮流すれば、電力需要平準化に貢献できる。電気事業者からの依頼や系統電圧の状況に応じてEV/PHEVの充電、放電をさせるには、当然その所有者には導入に際してのインセンティブと、V2G接続によるプロフィットが重要となる。ここに電気事業者と需要家の間を取り持つ新たなビジネスの発生も予測される。

3.2.2 V2H

EV/PHEVの所有者は、EV/PHEVを移動手段として使用しないときに、V2Hで家に接続するだけで省エネルギー、省コストが実現できれば新たなメリットを享受できる。

現状EV/PHEVをACコンセントにつなぐと、車載充電器は自動的に最大出力で車載バッテリーを充電する。太陽光発電の余剰電力分のような変動する電力の蓄電には充電制御が対応していない。V2Hで使用するEV/PHEVには外部コントロールによる充放電に対応できる仕組みの搭載が必要となる。

図2にV2Hの構成例を示す。EV/PHEVの急速充電口を利用して、DC接続で家と電力のやり取りをする。家に設置するEV/PHEV用PCSは系統からEV/PHEVの充電を行うためのAC/DC変換機能とEV/PHEVから宅内家電製品に電力を供給するためのDC/AC変換機能を持つ。EV/PHEVとDC接続することで、車載バッテリーの充放電をEV/PHEV用PCSが自由に制御できる。PCSの容量を大きくすることで短時間での充電なども可能となり、ユーザー満足度を上げることもできる。家とのデータ通信は充電ケーブル内のCAN(Controller Area Network)通信線を利用する。充放電制御プロトコルに関しては、急速充電インフラの普及を推進するために自動車会社、充電器メーカー及びこれを支援する企業・行政等によって構成されたCHAdeMO^(注3)(CHARGE de MOve)協議会で仕様化される。このCHAdeMO準拠による充放電制御技術をEV/PHEVだけではなく据置型のバッテリーへの適用を考えれば、家庭用DC電源設備の接続仕様の乱立を防ぐこともできるだろう。

ところで家への電力供給を可能とするV2Hの構成は、電力がEV/PHEVから系統に逆潮流する可能性があるため、実運用上はその連系方法、保護方法、設備の認証等に関する制度面での整備が必要である。これが実現に際しての喫

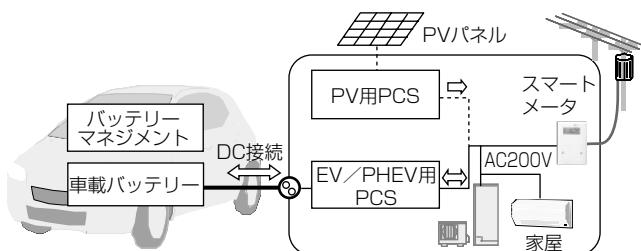


図2. V2Hの構成例

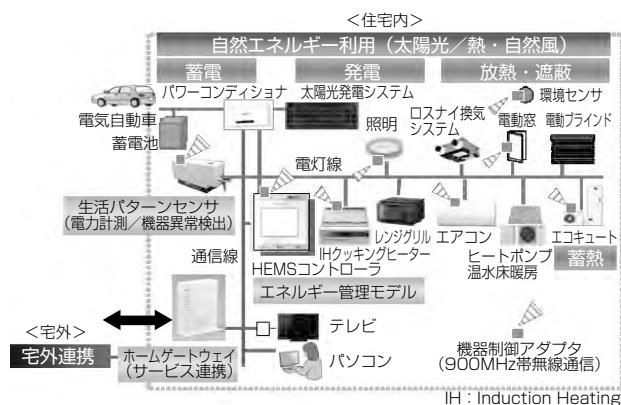


図3. 大船スマートハウスのHEMS実証実験

緊の課題と言える。

(注3) CHAdeMOは、東京電力株の登録商標である。

3.2.3 震災で見えたEVの新たな一面

東日本大震災直後、ガソリンの供給が止まる中、EVは真っ先に復旧した電気によって充電が可能となり、移動手段、輸送手段として復旧に重要な役割を果たした。医療関係での貢献は有名な話である。一方、電力不足の下、電力を大量に消費するEVは好ましくないという意見が一部に出た。しかし、問題は電力量よりむしろ夏、冬の特定時間帯での電力需要の高まりへの対処、すなわち発電能力であることが認識され、ピークカット、ピークシフトの有力な手段としてEVの蓄電力、電力供給能力が注目されている。また、計画停電が懸念される中、停電時のEVから一般家庭への電力供給も期待が高く、EVを販売するカーメーカーはそれへの対応を発表している⁽⁴⁾。

3.3 実証実験への取り組み

当社はスマートグリッド社内実証実験に取り組んでおり、大船スマートハウスはEVの接続を前提としてHEMSを構成し、車載バッテリーの充放電制御技術開発を行っている⁽⁵⁾（図3）。

社外では、経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業である次世代送配電系統最適制御技術実証事業に参画し、系統状況に応じた需要側機器の制御技術の開発に取り組んでいる。その一つとして太陽光発電の余剰電力をEVのバッテリーに蓄電し、蓄電した電力を家に供給するためのシステム、PCS開発にも取り組んでいる⁽⁶⁾（図4）。

また、経済産業省の補助事業“次世代エネルギー・社会システム実証事業”では“けいはんな”グループの一部として三菱商事㈱、三菱自動車工業㈱とともに、太陽光、EV、リユースバッテリーを利用したEMSによる工場需用電力の平準化技術の開発、検証を実施している⁽⁷⁾（図5）。

これら実証事業で開発するシステム、機器が近い将来、一般家庭、ビル、工場、コミュニティ等に導入されることによってEV、PHEVの付加価値が高まり、その普及が促進され、CO₂排出量削減ひいては地球温暖化対策に大きく寄与することになる。



図4. 次世代送配電系統最適制御技術実証事業

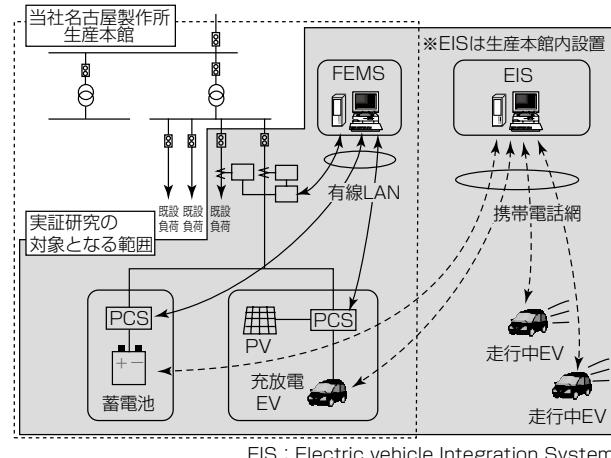


図5. 次世代エネルギー・社会システム実証事業

4. む す び

EV/PHEVはCO₂排出量を大幅に抑制でき地球環境改善に大きく貢献できる。また、搭載する大容量バッテリーによって、従来車にはない新しい価値を生み出す、高いポテンシャルを持っている。家、コミュニティ、系統等インフラ側の充実にあわせ、連携を強化することで、従来は個人所有の自動車という製品が、社会の共有資源として活用できるようになる。将来に向け、EV/PHEVの有効活用、新しい価値創造に注力していきたい。

参 考 文 献

- (1) 日本政府閣議決定：低炭素社会づくり行動計画(2008)
- (2) 経済産業省次世代自動車戦略研究会：次世代自動車戦略2010 (2010)
- (3) トヨタ自動車ニュースリリース：プラグインハイブリッド車を市場導入 (2009)
- (4) 日産自動車ニュースリリース：「日産リーフ」の駆動用バッテリーから一般住宅へ電力供給するシステムを開発 (2011)
- (5) 三菱電機ニュースリリース：「大船スマートハウス」でスマートグリッドの実証実験を開始 (2011)
- (6) 三菱電機ニュースリリース：「次世代送配電系統最適制御技術実証事業」の実施について (2010)
- (7) 三菱電機ニュースリリース：電気自動車を用いたスマートグリッド関連システムの開発に着手 (2010)

スマート社会のデジタルサイネージ

Digital Signage in Smart Society

Koji Miyahara, Hiroshi Yoshida, Satoshi Tanaka, Hideaki Kosaka

宮原浩二* 小坂英明***
吉田 浩*
田中 聰**

要 旨

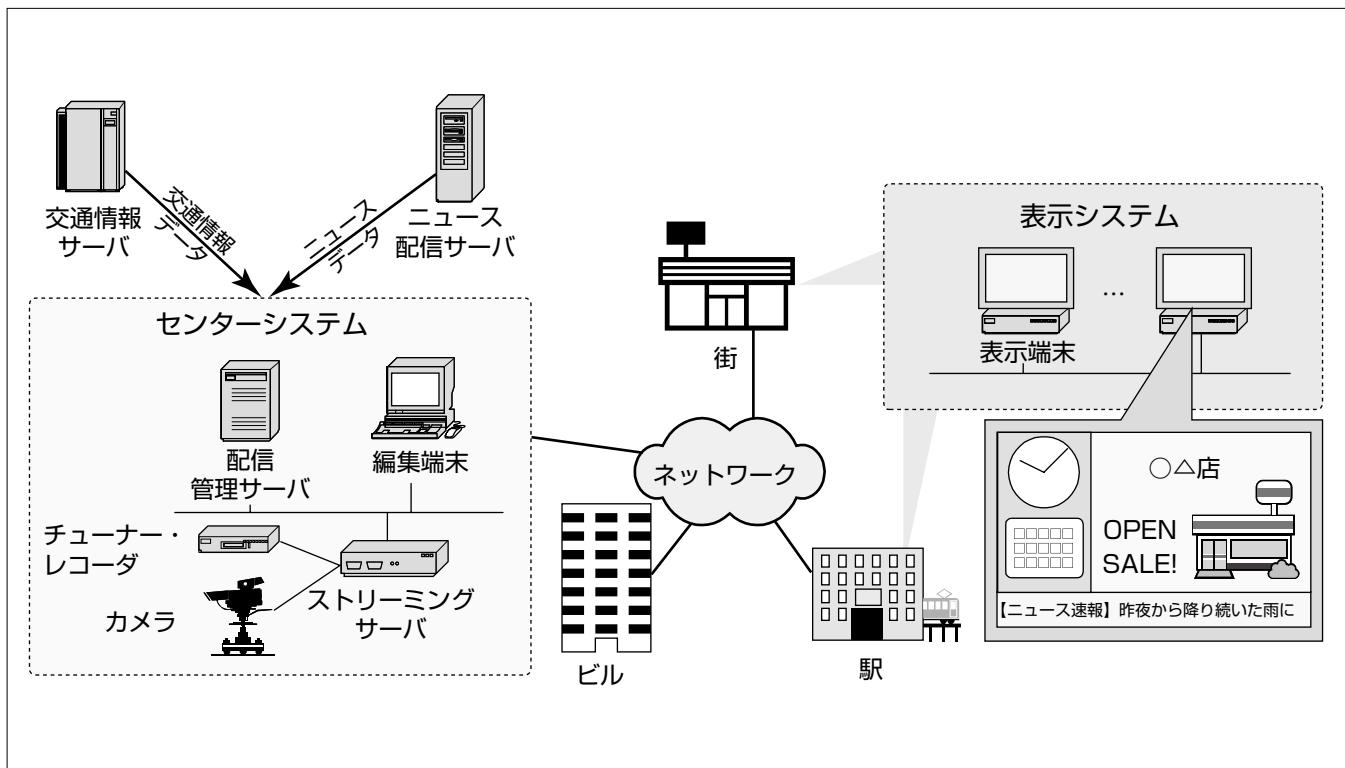
近年普及が進むデジタルサイネージは、マルチメディア技術とネットワーク技術によって多機能化が進み、単なる広告から多機能情報発信装置へと進化してきた。大型商業施設や大都市の主要駅など、大勢の人が行きかうエリアには、大画面ディスプレイが組織的に配置され、広告、案内、ニュース映像等、様々な情報を表示している。電車内でも、液晶ディスプレイに運行情報とともに、沿線の店舗広告やニュース映像等が表示され、さらにスーパーや量販店では、商品棚に設置された小型ディスプレイが、製品説明や利用シーンの紹介等を表示するなど、デジタルサイネージのある風景が日常化しつつあり、高度に情報化されるスマート社会の基幹インフラとしての役割も認識され始めている。

三菱電機では、LED(Light Emitting Diode)文字表示板、LCD(Liquid Crystal Display)ディスプレイ、DLP^(注1)方式

リアプロジェクト、マルチディスプレイ、さらにはオーロラビジョンまで、世界一とも言える多様な表示デバイスをそろえ、競技場などの巨大スクリーンから、街中の店舗の前に置かれる広告ディスプレイスタンドまで、幅広いデジタルサイネージ事業を展開している。

本稿では、多様化してきたデジタルサイネージのカテゴリー分類を行い、そこで必要とされるデジタルサイネージのシステム構成を提示する。社会インフラとして浸透しつつあるデジタルサイネージは、緊急情報などの速報手段としても期待されており、大規模な端末ネットワークでの高効率映像配信や多数端末制御、高精度マルチ画面表示制御等、スマート社会におけるデジタルサイネージのあるべき姿について述べる。

(注1) DLP(Digital Light Processing)は、Texas Instruments Inc. の登録商標である。



三菱デジタルサイネージソリューション“MEDIWAY”のシステム構成例

デジタルサイネージシステムは、コンテンツを作成・編集するセンターシステムと、作成したコンテンツを端末に配信するネットワーク、場所・時間等の条件に従って再生を行う表示システムによって構成される。図では、ニュース、交通情報等を外部サーバより収集し、広告などの自製映像と編集してコンテンツを作成し、ネットワーク経由で駅、ビル、街中ストア等に配信する様子を描いている。

1. まえがき

当初は電子看板として普及が始まったデジタルサイネージは、ネットワーク化による多機能化が進み、単なる広告表示端末から情報発信端末へと進化してきた。さらに、東日本大震災時の都内一部エリアでの緊急情報表示によって、社会インフラとしての役割も認識されるようになった。当社では、LED文字表示板、LCDディスプレイ、DLP方式リアプロジェクタ、マルチディスプレイ、さらにはオーロラビジョンまで、世界一とも言える多様な表示デバイスをそろえたデジタルサイネージ事業を展開している。

本稿では、デジタルサイネージの有用性を具体的なユースケースで紹介し、当社のデジタルサイネージ事業を支える映像配信、高品位表示制御技術を紹介し、スマート社会に必要とされるデジタルサイネージシステムを提示する。

2. サイネージの変遷

特定の対象向けに情報を提示する、いわゆる看板は、洋の東西を問わず何百年も前から活用されてきた。ネオンサインは1912年のパリ万国博覧会で始めて公開されてからちょうど100年を迎える。特定の場所にあり、特定の人に特定の情報を伝える看板は、21世紀になりデジタル化され、その成り立ちを大きく変ることになった。表示媒体(看板)のデジタル化は、次のような波及効果をもたらし、“看板”=「情報の一方的提示」は、「デジタルサイネージ」=「情報流通による価値創造」へと変貌した。

- (1) 表示内容の遠隔更新が可能(ネットワーク化)
- (2) 多様な表示デバイスが活用可能(マルチメディア化)
- (3) 多端末大規模システムが構築可能(サーバ機能搭載)
- (4) 利用者情報の収集が可能(センサデバイス適用)

サイネージの変遷を図1に示す。

3. デジタルサイネージへの取り組み

3.1 デジタルサイネージのネットワーク化

デジタルサイネージは利用目的と設置場所によって要求

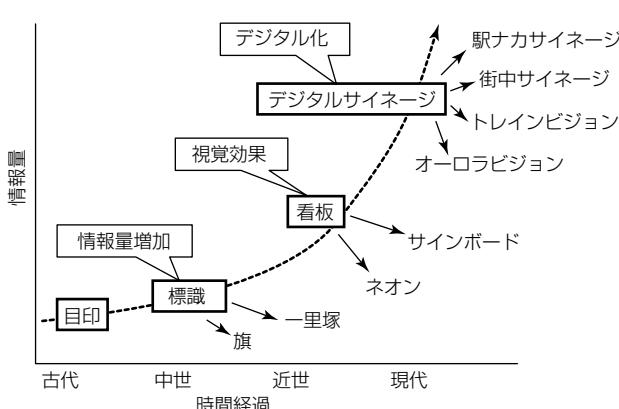


図1. サイネージの変遷

仕様やシステム規模が大きく異なる。表1に利用目的の分類を、図2にターゲット市場の分類を示した。デジタルサイネージは、システムの規模によって、数台～数十台程度の小規模システム、数百台までの中規模システム、それ以上の大規模システム等に分類できる。小規模システムの一部は、ネットワーク接続せずにUSB(Universal Serial Bus)メモリなどをを利用してコンテンツを更新する場合がある。スマート社会に必要とされるデジタルサイネージでは、緊急情報を即座に配信／表示し、正確な情報を利用者に伝達するリアルタイム性が要求されるため、ネットワーク接続が重要になる。さらに、インターネットや専用回線等を通じて、信頼できる情報を取得する手段も要求される。2007年6月に設立された業界団体“デジタルサイネージコンソーシアム(DSC)”でも、“屋外・店頭・公共空間・交通機関等、あらゆる場所で、ネットワークに接続したディスプレイなどの電子的な表示機器を使って情報を発信するシステムを総称して“デジタルサイネージ”と呼ぶ”としている⁽¹⁾。

デジタルサイネージは、大規模流通市場や交通市場で先行して普及してきた。流通ではセールスプロモーションが主であり、交通ではインフォメーション及び災害・緊急情報提供と広告を組み合わせた事例が多い。デジタルサイネージシステムは図3に示すように、編集系、配信系、表示系に分けられる。編集系は多様な形態・フォーマットの静止画や動画といった素材を入力し、デジタルサイネージで使用するコンテンツとして登録する部分である。登録したコンテンツを組み合わせた表示の最小単位をプレイリストと呼び、このプレイリストを表示する日時などを指定するデータがスケジュールである。作成したプレイリストとス

表1. 利用目的の分類

利用目的	説明
セールスプロモーション	特定商品の販売促進
アドバタイジング	広告主の宣伝広告
ブランディング	特定の印象を与えて差別化
アンビエント	映像を用いた空間演出
インフォメーション	場所に応じた情報提供
災害・緊急情報提供	公共空間での情報提供

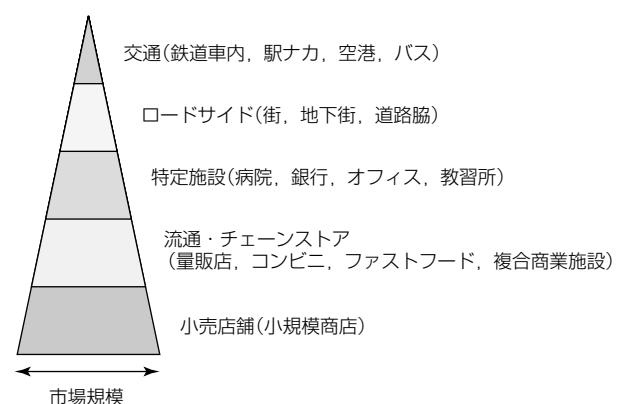


図2. ターゲット市場の分類

ケジュールは、編集系がコンテンツとともに管理する。

配信系は設定された情報を基に表示予定時間に間に合うようにコンテンツ、プレイリスト及びスケジュールを表示端末に送る機能を担う。また、広告収入を目的としたシステムでは、表示端末の状態管理、つまり広告がきちんと表示されていることを保証する仕組みが要求されるため、管理端末による表示ログ情報の収集機能も実装されることがある。緊急情報なども、配信系によって配信される。配信系は定期的に表示端末が配信サーバにコンテンツやスケジュール等の更新がないか確認してダウンロードするPull型と、配信サーバが能動的に表示端末に対して更新情報を配信するPush型に大別される。一般的に配信系のタイミングで即座に配信可能なPush型の方がリアルタイム性の高いシステムを構築することができる。

表示系は視聴者の目に触れる部分であり、通信機能と表示機能を持った表示制御端末とディスプレイで構成される。表示制御端末は、受信したコンテンツをスケジュール通りにディスプレイへ表示する機能を持つ。

コンテンツ表示のスケジュールについては、時刻に基づいてコンテンツを表示するテレビ放送の番組のような方法と、コンテンツの表示時間と順番のみ規定したロールと呼ばれる方法がある。ロールは繰り返し表示される回数によって管理される考え方である。デジタルサイネージの機能としては、どのような用途でも利用できるように両方の方法に対応可能とすることが望ましい。

3.2 種々の表示デバイス

デジタルサイネージでは、100型を越える大型のものは、LEDディスプレイ、100型未満には液晶ディスプレイが主に利用されることが多いが、近年、より人目をひくために様々な工夫がなされるようになってきている。液晶ディスプレイでは、狭額縫化に伴いマルチ構成による大画面化が進んでいる。また、これまでの矩形(くけい)のディスプレイではない、形状の面白さを実現するものが出現している。クリスティ・デジタル・システムズ社のMicroTiles^(注2)は、

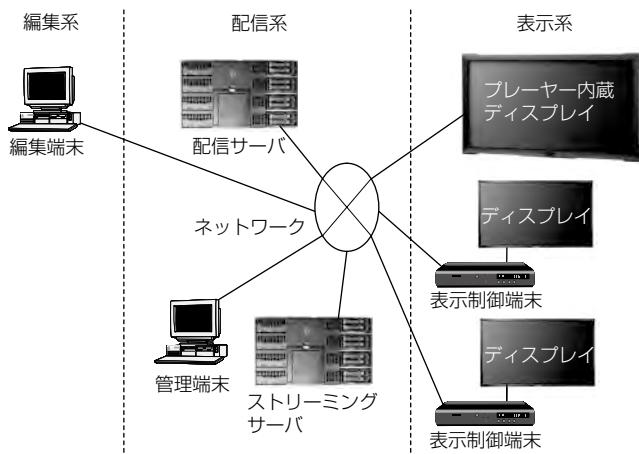


図3. デジタルサイネージシステムの構成

高さ31cm×幅41cm×奥行き26cmの直方体形状のユニットを積み上げることによって非矩形のディスプレイを構成できる。篠田プラズマ(株)では、直径1mmのプラズマチューブと呼ばれる発光細管を多数並べた曲面ディスプレイを製品化している。当社も、96mm角の有機EL(Electro Luminescence)モジュールを複数並べることによって曲面を構成したディスプレイを製品化している(図4)。

大掛かりなものでは、ビデオやコンピュータグラフィックス等の映像をスクリーンではなく、プロジェクタから建築物、車、自然物等に直接投影して、立体感のある映像表現を実現するプロジェクションマッピングと呼ばれる技術があり、欧米を中心に広がりを見せている。

一方、3D(立体視)に対する取り組みとしては、裸眼立体視を実現するものなどがあり、情報通信研究機構(NICT)では、フルHD(High Definition)(1920×1080画素)の解像度のプロジェクタ64台を使用して57観差の裸眼立体視ができる200型のスクリーンを実現している。

(注2) MicroTilesは、Cristie Digital Systems USA Inc. の登録商標である。

3.3 三菱デジタルサイネージソリューション“MEDIWAY”

サーバと表示端末をネットワークで接続したデジタルサイネージシステムが普及しつつある。このシステムは、サーバからネットワークに接続する表示端末にコンテンツをダウンロードしたり、ライブ映像をストリーミングで配信することが可能になる。また、配信するコンテンツの統合管理や入替え、ほかのシステムとの接続によって、様々な情報提供を行う。ここでは、当社のデジタルサイネージソリューション“MEDIWAY(メディアウェイ)”の概要について述べる。

3.3.1 システム構成

図5に“MEDIWAY”的システム構成例を示す。システムの構成は、主にセンターシステムと表示システムからなる。

センターシステムは、システム全体の管理、コンテンツ配信を行う配信管理サーバ、コンテンツ素材の登録・編集・表示スケジュールを作成する編集端末、ライブ等の映



図4. 半球形状有機ELディスプレイ

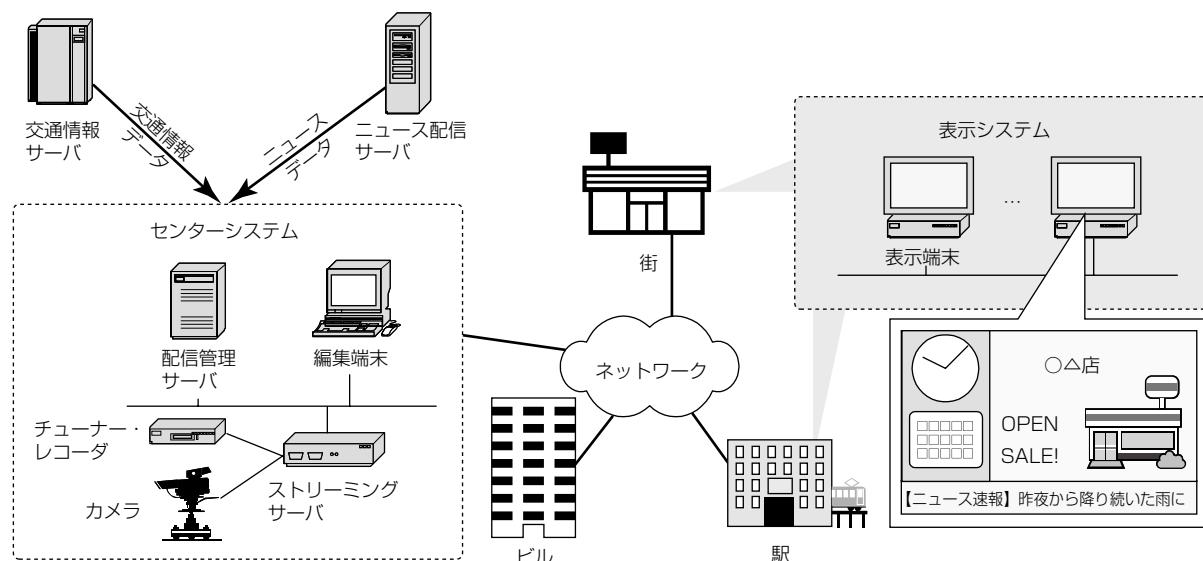


図5.“MEDIWAY”のシステム構成例

像のストリーミング配信を行うストリーミングサーバなどで構成される。

表示システムは、表示制御端末とディスプレイで構成され、センターシステムから配信されたコンテンツや表示番組のスケジュールに基づいて表示を行う。

3.3.2 特長

MEDIWAYは、次のような特長のある機能を持っている。

- ①約60種類の特殊効果によって表示演出効果を高める。
- ②広告や店舗情報等あらかじめ作成したコンテンツを、ネットワーク配信して表示制御端末に蓄積し、表示スケジュールにしたがって表示する。イベント実況や緊急放送等は、ストリーミング配信によって配信と同時に表示する(ハイブリッド配信)。
- ③HD映像などの大容量のコンテンツをネットワーク経由で多端末へ配信する場合、先にダウンロードを完了した端末がバケツリレーのようにほかの端末にコンテンツを再配信することによって、配信時間を従来方式の1/5~1/10に短縮する(スケールフリー配信)。
- ④各々の表示制御端末を同期制御することによって、ディスプレイを複数並べたマルチ画面を一つの画面と見立ててコンテンツを表示する(マルチ画面の同期表示)。

3.3.3 運用サービス

センターシステムは、ネットワーク上の運用サービスセンターに構築して、コンテンツの編集、表示スケジュールの作成、端末の監視等の運用請負サービス(Application Service Provider: ASP)を提供することができる。また、MEDIWAYは、ニュースや天気予報等、時々刻々変化するリアルタイム情報もほかのコンテンツと同様に配信できる。

3.4 インタラクティブデジタルサイネージ

ここまで述べてきたシステムは、基本的にはサーバから端末へコンテンツを配信する一方向システムであるが、近年、ユーザーに対して情報提供を行うだけでなく、画像センサによってサイネージを利用(視聴)する人の属性(性別や年代等)を推定し、視聴者にあわせてコンテンツを変更するサイネージや、タッチ操作やスマートフォン連携によってコンテンツを変更する双方向サイネージも導入され始めている。また、ディスプレイに搭載されたカメラによって、視聴者自身の映像を表示し、その上にCG(Computer Graphics)などを重畳するAR(Augmented Reality: 拡張現実)効果を提供するなど、多様化が著しい。今後、大画面化や3D化によるエンターテイメント性の追求や、個人向けにカスタマイズした情報の配信といった、用途の様(す)み分けが行われるものと思われる。

4. むすび

デジタルサイネージは、時間、場所、対象を考慮して、“いまだけ、ここだけ、あなただけ”に伝えるメディアである。公共性を備えながら個人情報も扱えることを期待されるため、安全・安心にも寄与する技術開発が今後は求められると考えられる。

参考文献

- (1) デジタルサイネージコンソーシアム：デジタルサイネージシステムガイドブック, Ver.1.0 (2009)
- (2) 藤本仁志, ほか：デジタルサイネージの最新動向, 情報処理, 52, No.10, 1280~1287 (2011)

スマートグリッドを支えるネットワーク技術

Network Technologies for Smart Grid Application

Hiroshi Shimada, Takuya Nakase, Hiroshi Takeda

嶋田 博*
中瀬卓也**
武田 博***

要 旨

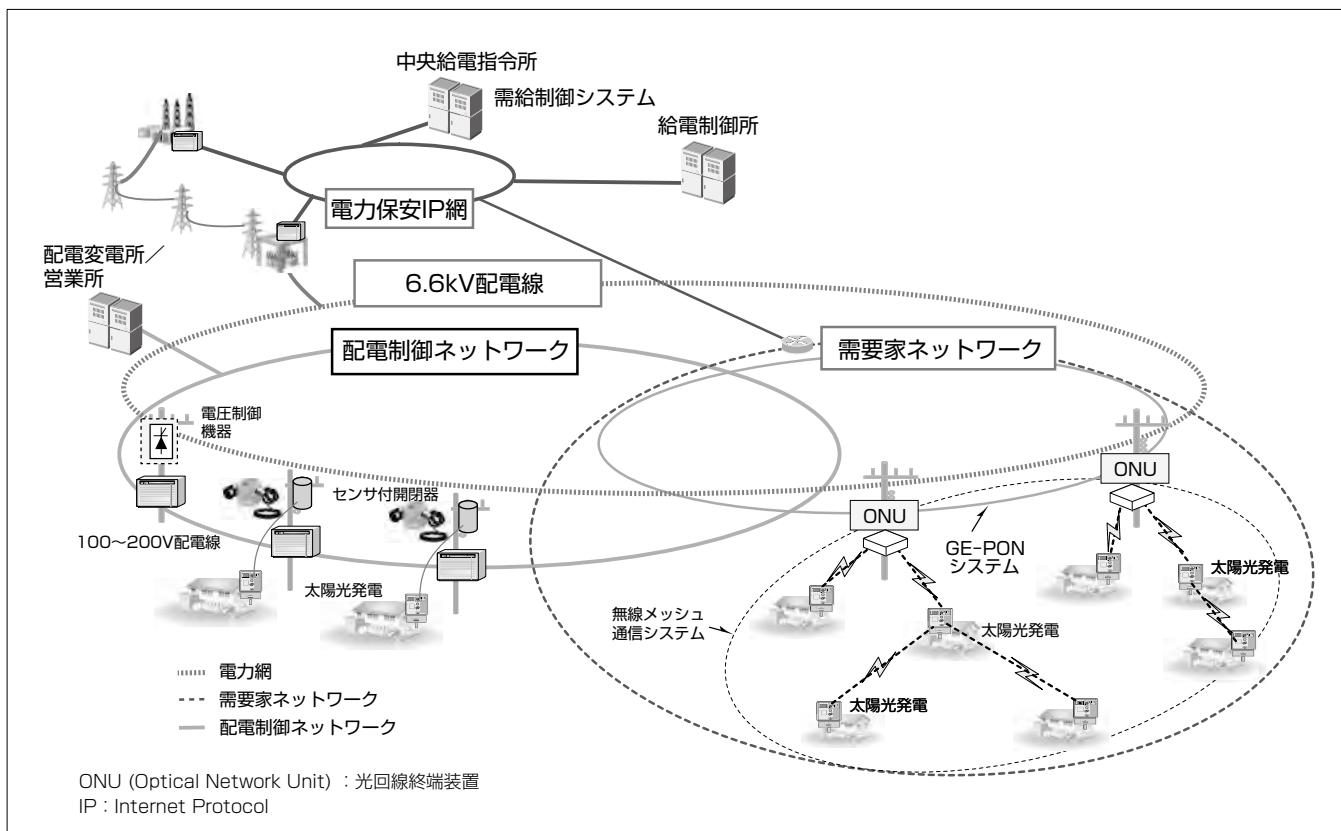
日本においては、太陽光発電が、主に住宅や公共施設の屋根に設置されていく。この結果、天候によって発電量が左右される分散電源が、配電網(6.6kV以下の電力網)に大量に接続されることになる。このときに発生する主な問題としては、(1), (2)に示すものがある。

- (1) 逆潮流が発生し負荷端の多地点で電圧上昇が発生することになり、配電網において、変電所から負荷に向かってリニアに電圧が降下する前提で整備されている電圧調整の設備では、電圧規定値に収めることができ難い
- (2) 経験的かつ、統計的な需要予測値と、地域単位で計測している電力消費量を基に行ってきた需給制御が困難
- (1)では、配電網の電圧を負荷端の各地点で計測し、無効

電力を最適に制御することが必要となり、このための通信ネットワークが求められる。これを配電制御ネットワークと呼ぶ。

(2)では、需要側の電力消費量を木目細かく計測することが必要となり、このための通信ネットワークが求められる。これを需要家ネットワークと呼ぶ。

三菱電機では、自社内にスマートグリッド実証サイトを構築して実証実験を2010年5月より開始した。実証サイトでは、当社が保有する多様な通信技術をベースに、再生可能エネルギーの導入が進む2020年の電力の送配電網に求められる需要家ネットワーク、配電制御ネットワークを実現している。



スマートグリッドを支える通信ネットワーク構成例

配電制御ネットワークは、故障からの自動復旧制御のための開閉器、電圧値を計測する電圧センサ（通常、開閉器に内蔵される）、遠隔からの電圧制御を実現する電圧制御機器が接続される。

需要家ネットワークは、各需要家から電力消費量を収集するための無線メッシュ通信システムと、そのシステムによって収集した電力消費量を高速に伝送するGE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) システムで構成される。

1. まえがき

天候に左右され発電量が大きく変動する再生可能エネルギーを活用しつつも、安定的な電力供給を行うスマートグリッドでは、配電網での配電電圧の適正維持を行う配電制御ネットワーク、電力の需給制御のための電力消費量の計測を行う需要家ネットワークの整備が必要である。

本稿では、この二つの通信ネットワークに関する当社の取り組みについて述べる。

2. スマートグリッドとしての通信ネットワーク

2.1 配電制御として求められる要件

配電系統においては、故障からの自動復旧制御を行うための通信ネットワーク（以下“配電自動化ネットワーク”という。）が整備されてきた。主たる用途は、時限的にある区間での開閉器の投入制御であり、通信速度600～1,200bpsのマルチドロップペア線によって構成される。

一方、配電網に再生可能エネルギーが大量に接続されると、逆潮流によって不規則な電圧上昇を生じ、電気事業法で定められた電圧許容幅($101\pm6V$, $202\pm20V$)の範囲内に電圧値を常に維持するため、従来の故障からの自動復旧制御に加え、配電網の電圧値を面的に収集し、遠隔から電圧制御を行える高速な通信ネットワークの整備が必要である。

図1に、この通信ネットワーク（以下“配電制御ネットワーク”という。）の構成例を示す。このネットワークが制御対象とする設備は、従来から整備されている、故障からの自動復旧制御のための開閉器に加え、電圧値を計測する電圧センサ（通常、開閉器に内蔵される）、遠隔からの電圧制御を実現するSVR（Step Voltage Regulator）、SVC（Static Var Compensator）、SVG（Static Var Generator）等である。

当社では、配電制御ネットワークについて、高速な通信を実現する通信機器を開発中である。

2.2 電力の需給制御として求められる要件

電力システムの基幹系統と呼ばれる送電網では、高信頼な自営通信網が整備されている。需給制御では、気象状況（気温、湿度、天候）や過去の電力需要データ等から得られた日々の電力需要予測値と、地域単位で計測している電力消費量を基に発電量を制御しており、この通信網が重要な役割を果たしている。

一方、多くの需要家が太陽光発電を導入する、又は一般家庭の一日の消費電力相当の蓄電池を保存する電気自動車が普及すると、需要予測の結果とは異なる電力消費パターンが想定されるため、日々の電力需要

状況を精度良く見積もることができず、これまでの需給制御では対応困難になると考えられている。

このため、各需要家から電力消費量を計測し、これらを基に需給制御を行える高速な通信ネットワークの整備が必要になると考えている。図2に、この通信ネットワーク（以下“需要家ネットワーク”という。）の構成例を示す。

このネットワークは、各需要家から電力消費量を収集するための無線メッシュ通信システムと、そのシステムにより収集した電力消費量を高速に伝送するGE-PONシステムで構成される。

需要家ネットワークの基本用途は、30分ごとの電力消費量を計測する自動検針である。将来的には、需要家による賢い電気利用のための電力利用状態の見える化、計画停電リスク低減のための需給制御高度化、省エネルギー支援等の新サービス提供が求められていくと考える。

3. 三菱電機の取り組み

3.1 配電制御ネットワーク

前述のように、故障からの自動復旧制御を行うための配電自動化ネットワークでは、配電線に沿ってマルチドロップペア線が敷設されており、その通信速度は600～1,200bps程度である。

当社は、低コストかつ短期間で高速な通信網を構築するため、既存のマルチドロップペア線を用いて、ノイズに強く、かつ高レートでのデータ伝送を可能とするOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）変調方式で通信を行うモジュール装置（以下“配電制御用OFDMモジュール”という。）を開発中である。配電制御用OFDMモジュールの仕様を表1に、配電制御ネットワーク構成例を図3に示す。

この配電制御用OFDMモジュールでは、表1に示す仕様と、IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers）1901に採用された、親機と子機間の確実な通信を行うダイナミックポーリングTDMA（Time Division Multiple

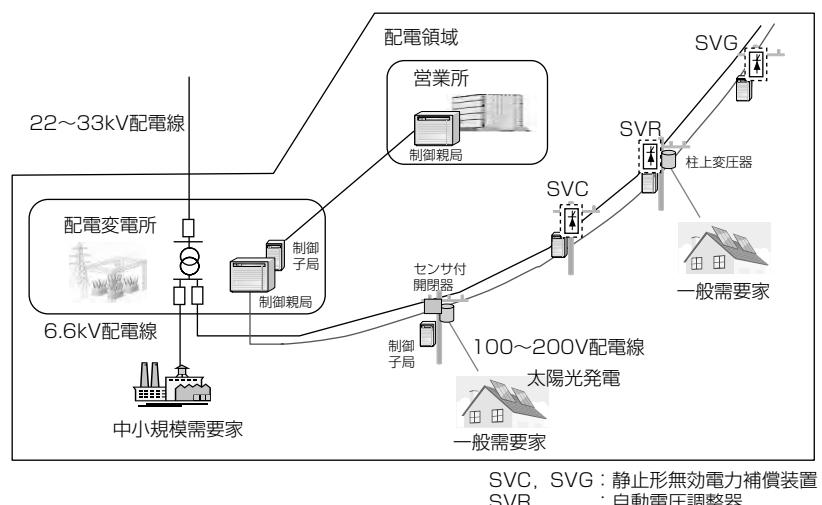


図1. 配電制御ネットワークの構成例

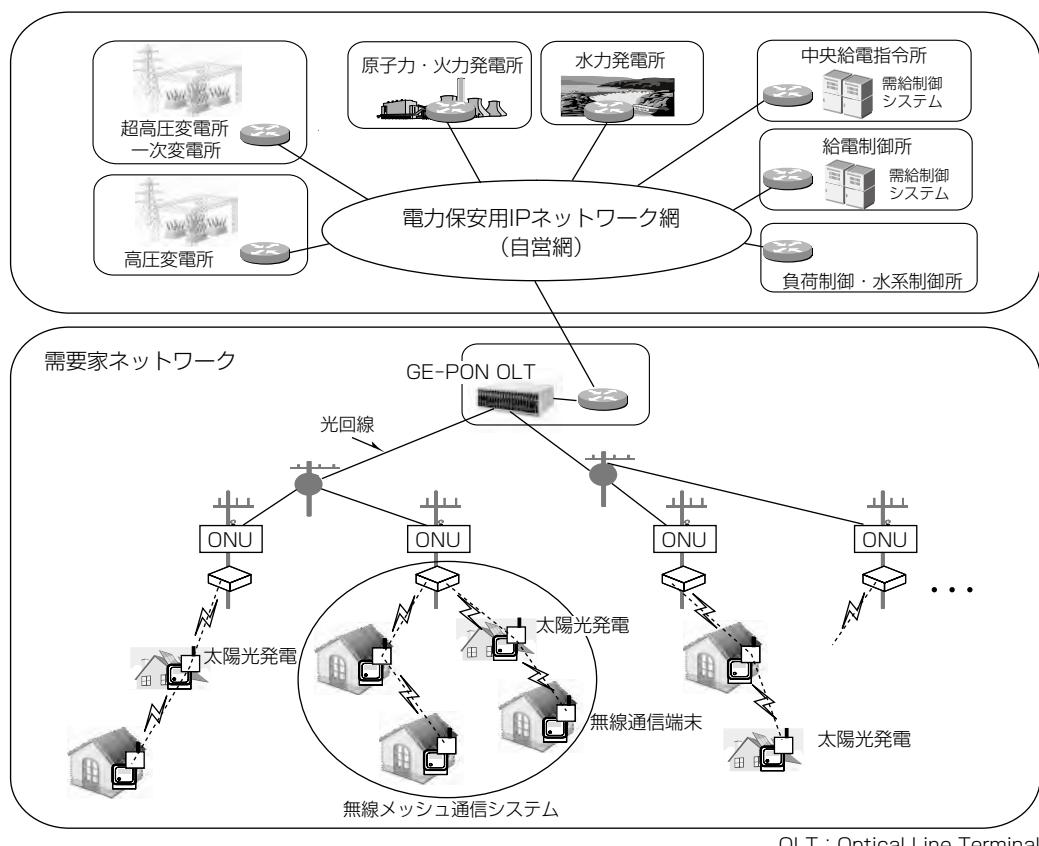


図2. 需要家ネットワークの構成例

表1. 配電制御用OFDMモデム仕様

項目	仕様
変調方式	適応変調OFDM
最大伝送距離	無中継10km, 中継40km
最大物理速度	2 Mbps
子機接続台数	100台
全子局データ収集時間	10秒以内

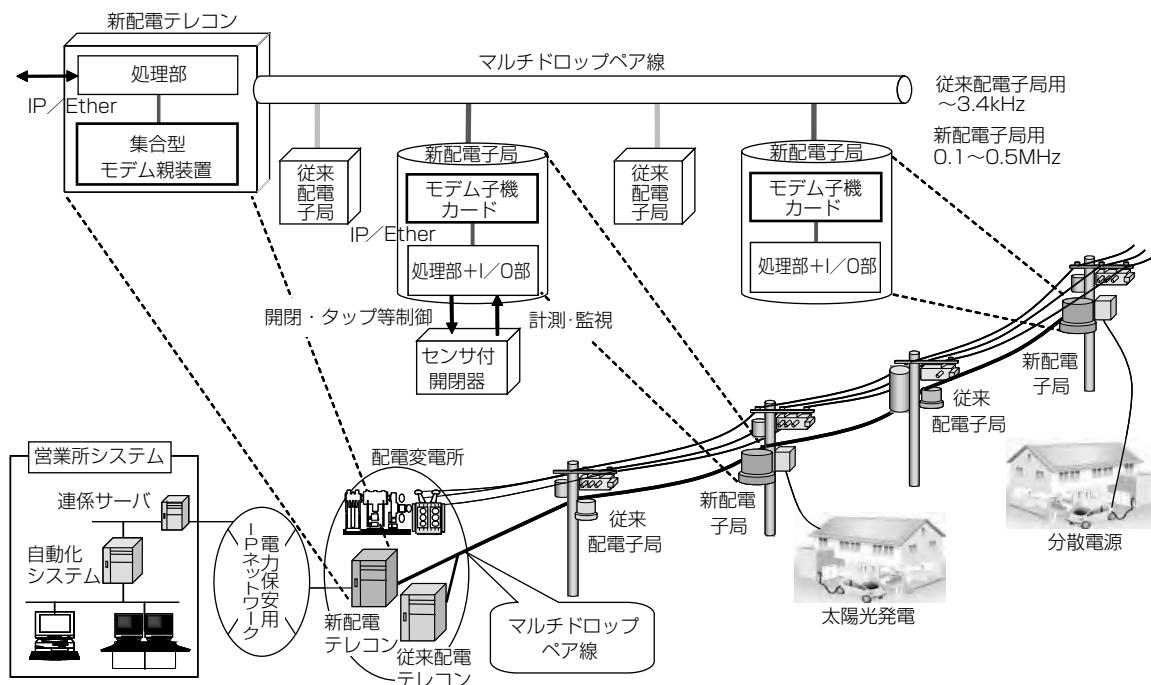


図3. 配電制御ネットワーク構成例

Access) 方式を実現するため、当社が開発した通信用LSI（Large Scale Integration）“MAICOD(Mitsubishi Access & Infrastructure Communication Device)”を採用している。

配電制御ネットワークでは、配電制御用OFDMモデムは、配電変電所に配置される遠隔監視制御局(新配電テレコン)内に親機と、配電網のある柱上に配置される被制御局(新配電子局)内に子機が設置される。また、従来からの配電自動化ネットワークでは3.4kHz以下の周波数帯域が利用されており、このモデムが利用する100kHz以上の周波数帯域と重ならないため互いに干渉せず通信可能である。つまり、従来からの配電自動化システムの運用を継続しつつ、新ネットワークに移行することが可能である。

3.2 需要家ネットワーク

3.2.1 GE-PONシステム

需要家ネットワークでは、数百万から数千万の需要家からの電力消費量の収集に加えて、今後、停電リスクの低減のための需給制御の高度化、省エネルギー支援の新サービス提供等のため、供給側と需要側の間で、より詳細な情報のやり取りが想定されることから、GE-PONのような大容量データの高速伝送を特長とするシステムが求められると考える。

需要家ネットワークへのGE-PONシステムの適用例を図4に示す。ここでは、無線メッシュ通信システムにより収集される各需要家からの電力消費量を、需要地点から供給地点へ高速に送信するための通信ネットワークとしてGE-PONシステムを活用する。

当社のGE-PONシステムは、主にブロードバンド通信市場において、国内出荷量としてシェアNo.1^(注1)の実績があるが、ブロードバンド通信では屋内設置を前提としたONU(Optical Network Unit)を利用しており、今般、需要家ネットワーク向けに、屋外設置向けのONU装置の開発を行った。

ONUの主な特長は次のとおりである。

- (1) 柱上への設置を考慮し、筐体(きょうたい)の小型化を実現
- (2) 広温度範囲対応光送受信機を搭載、放熱対策として金属筐体を適用し、屋外設置による厳しい温度条件(-10~60°C)での動作を保証

- (3) 雷サージ対策を強化し、落雷による故障を防止
- (4) 低消費電力ICの採用、ACアダプタの効率改善によって待機時省電力化を実現(7VA以下)

(注1) 2010年、当社調べ

3.2.2 無線メッシュ通信システム

すべての需要家との間で新設する通信ネットワークとしては、有線通信システムと比較して低コストかつ短期間にて構築可能な無線通信システムの適用が考えられる。さらに、需要家に設置する無線通信端末としては低消費電力化が求められることから、無線通信端末の送信出力を抑えられる無線メッシュ通信システムが有望である。

図5に、無線メッシュ通信システムの構成例を示す。一般的に、無線メッシュ通信システムにおいては、無線通信端末が、自律的に、通信経路を構築してデータを送信する。

当社では、特定小電力無線を用いて500軒の30分間隔の

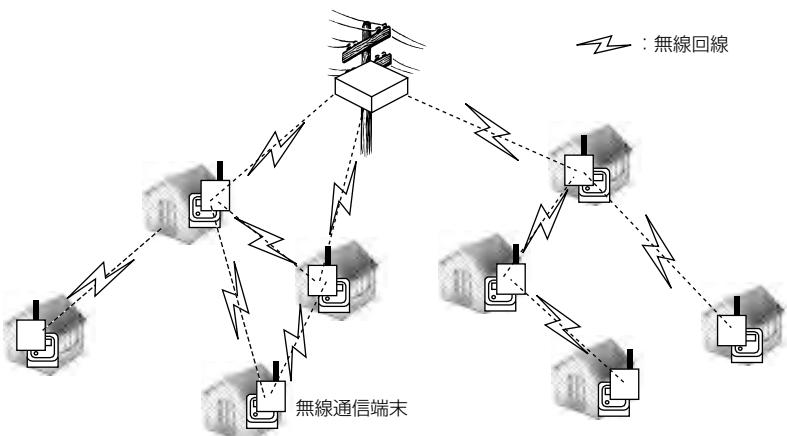


図5. 無線メッシュ通信システムの構成例

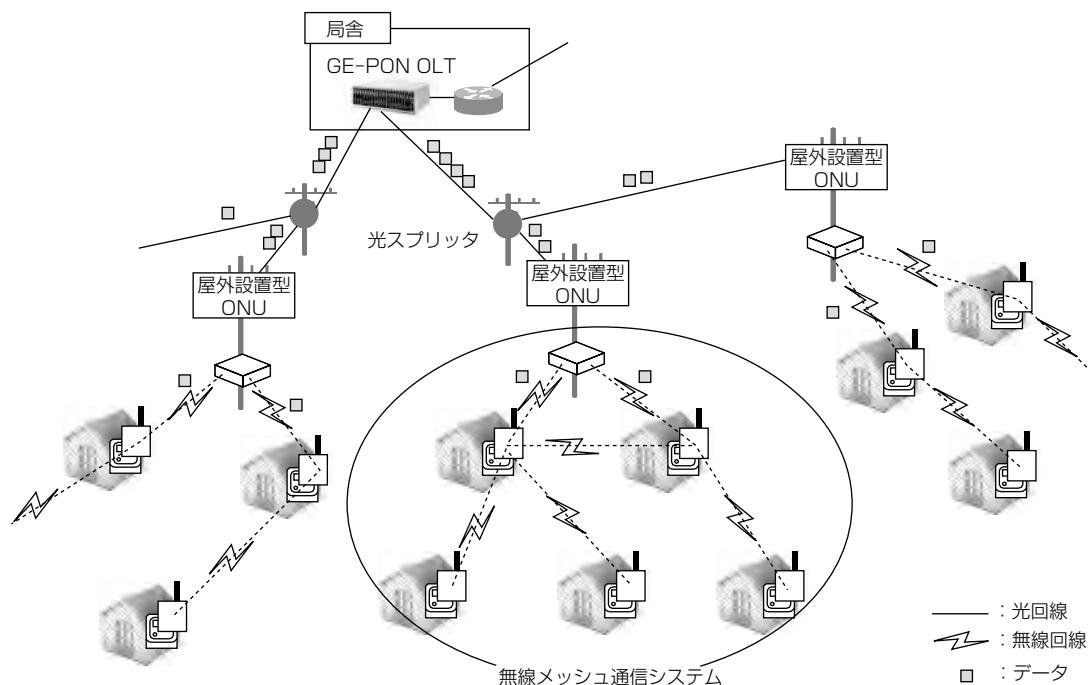


図4. 需要家ネットワークへの適用例

自動検針を実現する無線メッシュ通信試作システムを開発し、2010年5月より開始したスマートグリッド実証実験において、そのシステムの動作を検証している。このシステムの主な課題は次のとおりである。

(1) 無線帯域活用の効率化

システムを構成する無線通信端末が多くなると、各無線通信端末からの通信タイミングが重なり衝突する確率が高まり、衝突による不到達信号及びそれを補う再送信号が増加し、無線ネットワークの有効スループットが低下してしまう。近距離通信による省電力性を損なわずに、無線帯域を効率的に活用可能なトラフィック制御技術が必要となる。

(2) 障害発生時の通信経路再構築の効率化

無線メッシュ通信システムでは、無線環境の変動による通信障害発生時、すべての無線通信端末が自律的に障害を検知して通信経路の復旧処理を行う。このとき、システムを構成する無線通信端末が多くなると、復旧までに時間がかかるてしまう。メッシュを構成する端末数が多くても、通信経路再構築にかかる時間が増大しない経路制御技術が必要となる。

4. む す び

スマートグリッドを支える通信ネットワークとして、多

くの需要家が再生可能エネルギー電源を導入することによって必要となってくる配電制御ネットワーク、需要家ネットワークの要件を説明し、これらの通信ネットワークに関する当社の取り組みについて述べた。

今後も、当社が保有する多様な通信技術とスマートグリッド実証実験などで得た知見を基に、事業へ向けた通信ネットワークに関する技術開発を進めていく。

参考文献

- (1) 福井伸太：21世紀の電力流通を支える最新技術、三菱電機技報、83, No.11, 672～676 (2009)
- (2) 三菱電機広報：スマートグリッド実証実験「自動検針用無線メッシュネットワーク技術」
<http://www.mitsubishi-electric.co.jp/news/2011/0216-a.html>
- (3) 長瀬平明：暮らしを支えるネットワークの現状と展望、三菱電機技報、83, No.6, 352～356 (2009)
- (4) Shimada, H.: A NEW NETWORK SYSTEM UTILIZING HIGH SPEED PLC TECHNOLOGY, CIGRE SCD2, D2-03 B03 (2009)
- (5) 水谷良則、ほか：産業用電力線通信LSI及び装置、三菱電機技報、82, No.11, 715～719 (2008)

スマートグリッドを支える シミュレーション技術

河野良之*
北山匡史**
高野富裕**

Simulation Environment for Smart Grid Application

Yoshiyuki Kono, Masashi Kitayama, Tomihiro Takano

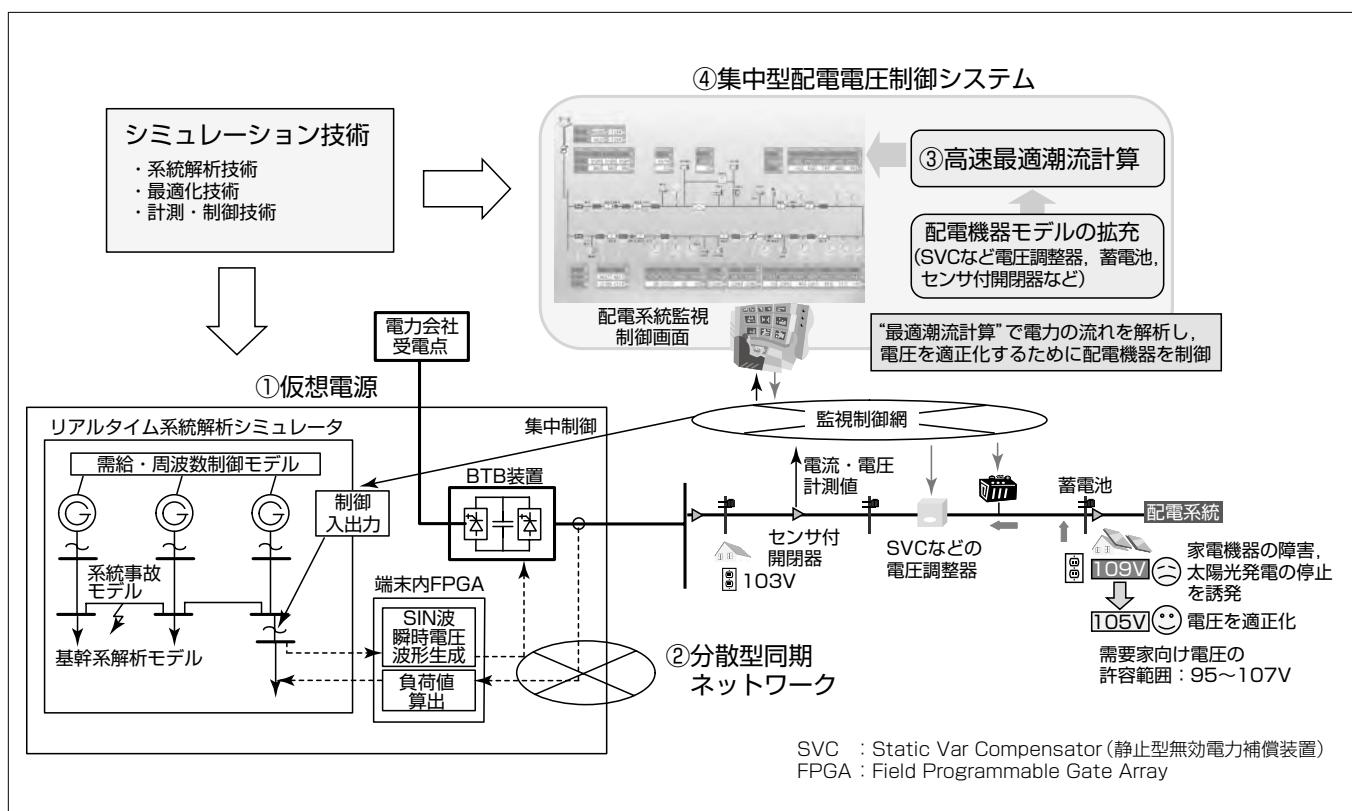
要旨

高品質な電力供給を維持しつつ、電力系統への自然エネルギー導入を促進するためには、全系周波数維持、系統安定度確保、配電電圧制御、高調波抑制等、多くの課題を解決していく必要があり、スマートグリッドとして情報・通信技術を活用して系統全体での統合化した運用・制御が期待されている。

これを実現していくためには、既存系統に対する解析技術に加えて、従来は別々に扱われていた基幹系統と配電系統を組み合わせた新たなモデリング・シミュレーション・実証が必要不可欠である。三菱電機は伊丹地区でスマートグリッド実証実験環境を構築中であり、パワーエレクトロニクス機器であるBTB(Back-To-Back)装置を系統解析シミュレータと組み合わせた仮想電源、及び複数地点での実時間計測制御環境である分散型同期ネットワークシステムを用いてこれを実現していく。

また、スマートグリッドでは、配電系統レベルに分散電源・電力貯蔵・デマンドレスポンス(Demand Response: DR)等、制御可能な機器が大幅に増えることになり、従来は基幹系のみで行われていた最適化の考え方を配電系レベルまで拡張することで得られるメリット(自然エネルギー連系可能量増大、損失削減による効率化等)は大きい。これに向けて当社では、配電系統向け高速最適潮流計算をコア技術とした、集中型配電電圧制御システムを開発した。

本稿では、当社の保有する系統解析・最適化技術の概略を述べた後、スマートグリッドに必要となる系統解析・最適化技術として、BTB装置と系統解析シミュレータによる仮想電源、最適潮流計算を用いた配電電圧制御システムについて述べる。これらは、当社伊丹地区での実証実験環境に適用中である。



スマートグリッド実証実験環境

仮想電源と配電電圧制御関連部分(①BTB装置とリアルタイム系統解析シミュレータによる仮想電源、②分散型同期ネットワーク、③高速最適潮流計算、④集中型配電電圧制御システム)を示す。

1. まえがき

東日本大震災後、政府方針によって、エネルギーのベストミックス、分散型エネルギーシステムの構築が重点課題となってきた。我が国における高品質な電力供給を維持しつつ、電力系統への自然エネルギー導入を促進するためには、全系周波数維持、系統安定度確保、配電電圧制御、高調波抑制等、多くの課題を解決していく必要がある。これらの課題解決には、基幹系統・配電系統のモデリング・シミュレーションが必要不可欠である。

本稿では、当社で保有する基幹系統・配電系統におけるシミュレーション技術と、現在進めている実証実験への展開について、実例を挙げて取り組みについて述べる。

2. 当社の保有する系統解析・最適化技術

電力系統の計画・運用・事故解析等のために、発電機、送変配電機器、需要家負荷を組み合わせて挙動を調べる電力系統解析技術が必要となり、当社では1960年代より技術蓄積を重ねてきた。数秒～数時間程度の系統全体の動きを模擬する、当社独自の実効値解析プログラムを開発し、近年は分散電源などの新規モデルの迅速な組み込み機能を強化している。マイクロ秒～数十秒程度の解析を行う瞬時値解析プログラムは標準化が進んでいるEMTP(電磁過渡解析プログラム)と市販ツールを組み合わせて使用している。いずれも高精度で効率的な数値解析手法と併せて、適正な機器モデル及び制御アルゴリズムの蓄積が重要となる。また、製品検証にはリアルタイムで信号を入出力できる系統解析シミュレータが必要となり、当社では高性能の自励式変換器に対応できるハイブリッド(アナログ+デジタル)シミュレータ(図1)と、他励式変換器用で運搬可能なフルデジタルシミュレータ4セットを保有し活用している。近年、パワーエレクトロニクス機器の適用が広がり、シミュレータによるリアルタイム検証の必要性が増している。

また、解析結果を踏まえて電力系統を適正に運用するための技術として、様々な組み合わせ候補の中からベストアンサーを求める最適化技術も並行して開発を続けており、中央給電所の発電制御を始め、系統制御へ幅広く適用している。



図1. 当社(神戸)のハイブリッドシミュレータ

3. スマートグリッドに必要となる系統解析・最適化技術

従来の電力系統解析では、発電所・超高压送電線等、大電力を扱う基幹系解析と、需要家・配電線などの低い電圧階級を扱う配電系解析とは独立して実施されていた。図2に示すとおり基幹系統解析では下位の配電系は集約して負荷として扱い、逆に配電系解析では上位の基幹系は固定電源として扱われていた。これは、両者の間の相互作用が少なく、また、運用・制御上も分離・階層化がされていたことに由来している。一方、スマートグリッドでは、基幹系と配電系の間の相互作用が密になると考えられる。表1に示すように、分散電源の大量導入時には、配電系での電圧・電力品質問題のほかに、基幹系での周波数問題等を発生しうる。例えば、系統事故時の瞬時電圧低下で分散電源が脱落すると基幹系の周波数・安定度に影響する。分散電源の事故時運転継続能力(Fault Ride Through: FRT)が重要となる。デマンドレスポンスも同様である。

これらの相互作用を解析する際の課題として、①分散電源・需要家機器などのモデル作成、②多数の分散電源・需要家機器の集約表現、③情報・通信系を含めた模擬方法などがある。当社では、風力発電機、太陽光発電等のモデルを既に作成し適用範囲を広めつつあるが⁽¹⁾、内部構造自体が明らかにされていない装置もあり、適切なモデルの導出には時間がかかる。このような場合、特に配電系では実機を用いて模擬配電系統で試験を行う方法が有効である。試

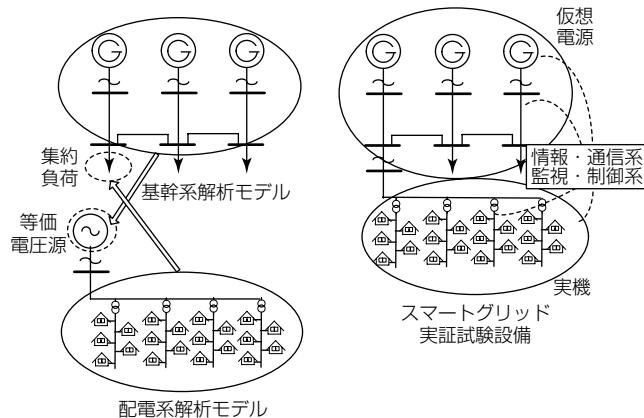


図2. 従来の系統解析モデルとスマートグリッド実証モデル

表1. 基幹系・配電系の系統課題と影響要素

解析対象	系統課題	影響要素		電力供給制御	系統運用	配電制御	フレックサ	分散電源	電力貯蔵	需要家機器	DR
		電力供給制御	系統運用								
基幹系	周波数変動	○						○	○	○	
	余剰電力	○						○	○	○	
	安定度(過渡、電圧)		○					○	○	○	
配電系	電圧上昇・変動				○			○	○	○	
	電力品質							○	○	○	
	単独運転・保護協調									○	

験結果を基に種々の現象に適したモデルを導出し、以後、実験とシミュレーション解析を組み合わせることで幅広い検討を行っていくことができる。4章ではこの考え方に基づき当社が伊丹地区に構築した実証設備について述べる。

また、スマートグリッドでは、配電系統レベルに分散電源・電力貯蔵・デマンドレスポンス等、制御可能な機器が大幅に増えることとなり、従来は基幹系のみで行われていた最適化の考え方を配電系レベルまで拡張することで得られるメリット(効率化、自然エネルギー連系可能量増大等)は大きい。5章でこの例を示す。

4. 系統解析環境の構築事例

4.1 仮想電源

従来の配電系実証設備では、上位電源を電力会社実系統から取る場合が多く、周波数変動・瞬低・高調波等の擾乱(じょうらん)を自由に設定することはできなかった。一方、電力用機器・保護リレー装置・FACTS機器(パワーエレクトロニクス応用電力制御機器)の試験には、図3(a)のように試験用の電圧波形を作成し、そのデータをアンプで所定の電圧に昇圧して試験対象機器に印加する方式が用いられている。この方式では、あらかじめ作成した電圧波形を再生する電圧源とみなすことができ擾乱を自由に設定することができるが、アンプの容量制約によって試験対象は機器単体に限られていた。

近年、図3(b)のようにパワーエレクトロニクス機器であるBTB装置(Back-To-Back変換器)を大容量アンプとして用いて擾乱の設定が自由な実規模配電試験系統が構築されている⁽²⁾。さらに、試験用の電圧波形をあらかじめ作成しておくのではなく、図3(c)のように基幹系統をリアルタイムシミュレータで模擬し、模擬配電系統での電圧・電流・有効電力・無効電力をリアルタイムで測定し、シミュレータにフィードバックして閉ループ制御を構成することによって、模擬系統に連系した複数の機器・システムと基幹系統の相互作用など系統全体での機能評価を行うことができる⁽³⁾。基幹系模擬では、需給／周波数制御・安定度・系統事故模擬等が重要となる。この方式では、試験対象機器から見ると基幹系統の挙動を模擬した仮想電源とみなすことができる。リアルタイムシミュレータを用いることによって、GUI(Graphical User Interface)による柔軟な系統モデリングやI/O(Input/Output)による実機との信号のやり取りが柔軟にできるため、試験作業の効率化・高品質化に寄与する。

流・有効電力・無効電力をリアルタイムで測定し、シミュレータにフィードバックして閉ループ制御を構成することによって、模擬系統に連系した複数の機器・システムと基幹系統の相互作用など系統全体での機能評価を行うことができる⁽³⁾。基幹系模擬では、需給／周波数制御・安定度・系統事故模擬等が重要となる。この方式では、試験対象機器から見ると基幹系統の挙動を模擬した仮想電源とみなすことができる。リアルタイムシミュレータを用いることによって、GUI(Graphical User Interface)による柔軟な系統モデリングやI/O(Input/Output)による実機との信号のやり取りが柔軟にできるため、試験作業の効率化・高品質化に寄与する。

4.2 分散型同期ネットワーク

実証実験では模擬系統の複数か所の電圧・電流値を計測するために、広域でリアルタイムのデータ計測・収集ネットワークが必要となる。系統擾乱時の挙動や電力品質(高調波など)を評価するためには、瞬時波形レベルで正確に同期の取れた計測が望ましい。また今回、仮想電源を構成するBTB装置と系統解析シミュレータは閉ループで制御を行うが、数百m離れた配置となりその間の高速制御用通信も必要となる。

これらの要求に対し、従来のイーサネット^(注1) LANを用いるとデータのリアルタイム性が保証されず、専用回線とすると費用が高くなる課題があった。

今回、変電所内監視制御を目的に開発中である“分散型同期イーサネットワークシステム”を適用した。15箇所の端末とそれぞれ電気角約1度(約45μs(60Hz))で通信し、電気角15度の一定周期で一巡する。親局と各端末は、誤差±0.1μsで同期できるため正確な同時刻データを瞬時波形として取得できる。独自の通信制御アルゴリズムをFPGA上に実装し、汎用イーサネット機器と組み合わせて実現しており、ノイズの多い所では光通信を使うなど柔軟な構成ができる。また、FPGAを採用することによって、通信処理だけでなく計測データのフィルタ処理・高調波分析等の各種の高速リアルタイム演算を自由に実装することができる。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス株の登録商標である。

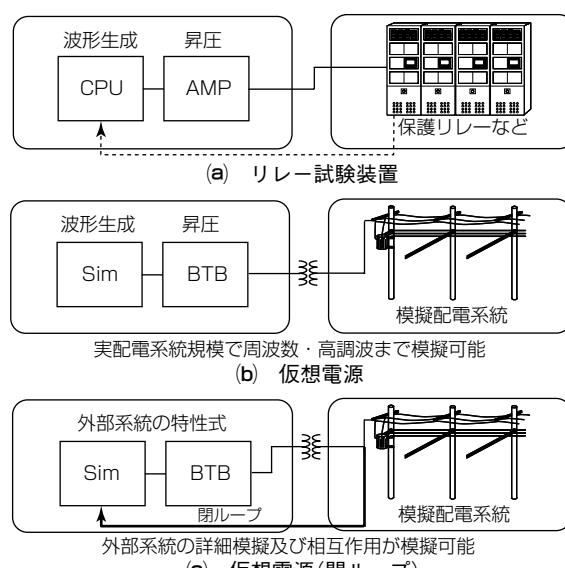
5. 最適化技術

5.1 配電系統向け高速最適潮流計算

住宅用太陽光発電普及による配電系統での潮流複雑化に対応するための、基幹系統の解析・制御向けに保有する最適潮流計算(Optimal Power Flow calculation: OPF)パッケージを拡張し、配電系統向けの高速OPFを開発した。主な特長は次のとおりである。

(1) 系統解析高速化

樹枝状系統である配電系統の特性をいかし、潮流計算も



CPU : Central Processing Unit, AMP : AMPlifier, Sim : Simulator

図3. 仮想電源を用いた試験環境

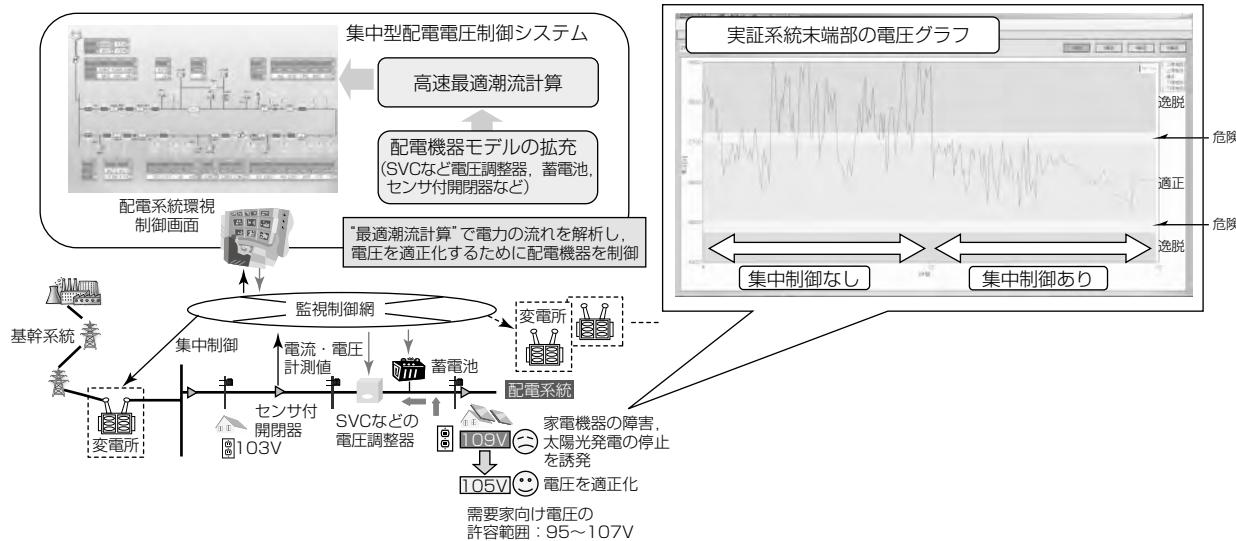


図4. 集中型配電電圧制御システムの構組み

配電系統向けにカスタマイズする。配電特有の短距離プランチやゼロインピーダンス機器による難取扱性にも対応できる。

(2) 配電モデルの充実

配電向け電圧調整器にはLRT (Load Ratio Transformer: 変電所のタップ制御付変圧器) やSVR (Step Voltage Regulator: 配電線上に設置するタップ制御付変圧器) といった従来の離散制御型電圧調整器に加え、SVC (Static Var Compensator: 静止型無効電力補償装置) やPV-PCS (PhotoVoltaic-Power Conditioning System: 太陽光発電向けパワーコンディショナ) といった新たな連続制御型電圧調整器が存在する。そのため、異なるタイプの高速最適化技術である高速内点法(連続変数対応)と問題空間探索法(離散変数対応)を組み合わせ、離散型/連続型制御機器の同時最適化に対応できる。

これらの配電向け潮流計算と高速最適化技術との融合によって、従来に比べて数十倍の高速化を実現した。数千台の配電機器を含む系統でも、1秒で系統を解析し、最適制御を決定できる⁽⁴⁾。

5.2 集中型配電電圧制御システム

太陽光発電が普及するにつれ、それによって生じる逆潮流や潮流変動によって、配電系統の電圧が規定電圧を逸脱することが懸念されている。それら配電系統の諸問題に対応するための、5.1節で述べた配電系統向け高速OPFをコア技術とし、図4に示す集中型配電電圧制御システムを開発した。

図4に示すように、配電系統に設置されたセンサ付開閉器から電流・電圧計測値を取り込み、集中制御システムの配電OPFで電力の流れや電圧分布を解析する。その結果電圧逸脱が認められれば、最小の制御で最大効果が得られる制御機器と制御量の組み合わせを決定し、各機器へ指令として配信する。ここでは、最適の指標として下記を考慮している。

- (1) 系統電圧が、全域にわたって目標上下限内に収まること

- (2) 機器制御量が最小であること

- (3) SVCなど無効電力制御によって生じる配電ロスが最小であること

図4の吹き出しへは、3,000kWの太陽光発電が連系した模擬系統での電圧変動例であり、左半分が集中制御前、右半分が集中制御後の配電線末端電圧を示している。集中制御によって、電圧が目標内に維持されていることが分かる。

このシステムは、当社のスマートグリッド実証実験設備で、2011年度から2012年度にかけ、通信や機器応答性も含めて性能と効果を評価し、その後、実フィールドへ展開していく予定である。

6. むすび

スマートグリッドの実現のためには、従来の電力系統解析技術に加えて、パワーエレクトロニクス技術、情報通信技術、最適化技術を組み合わせた総合的な取り組みが必要である。また、上位系の動きを模擬した仮想電源を用いた実証実験によってより実際的な多くの知見が得られると期待している。

参考文献

- (1) S.C.Verma, ほか: 風力発電機のシミュレーションモデルの高速化, 電気学会全国大会講演論文集 (2008)
- (2) 小林広武, ほか: 瞬時電圧低下が太陽光発電と風力発電に与える影響の実験解明, 電力中央研究所報告 R10037 (2011)
- (3) 高崎昌洋, ほか: アナログ-デジタルシミュレータの結合技術の開発, 電気学会全国大会講演論文集, 6-118 (2005)
- (4) 大野哲史, ほか: スマートグリッド対応の配電系統向け最適制御技術, 電気学会B部門大会論文集, 27-1~27-2 (2010)

クリーンエネルギーPV技術

佐々木 明*
鈴木吉輝**

Photovoltaic Power Generator Technology for Clean Energy System

Akira Sasaki, Yoshiteru Suzuki

要 旨

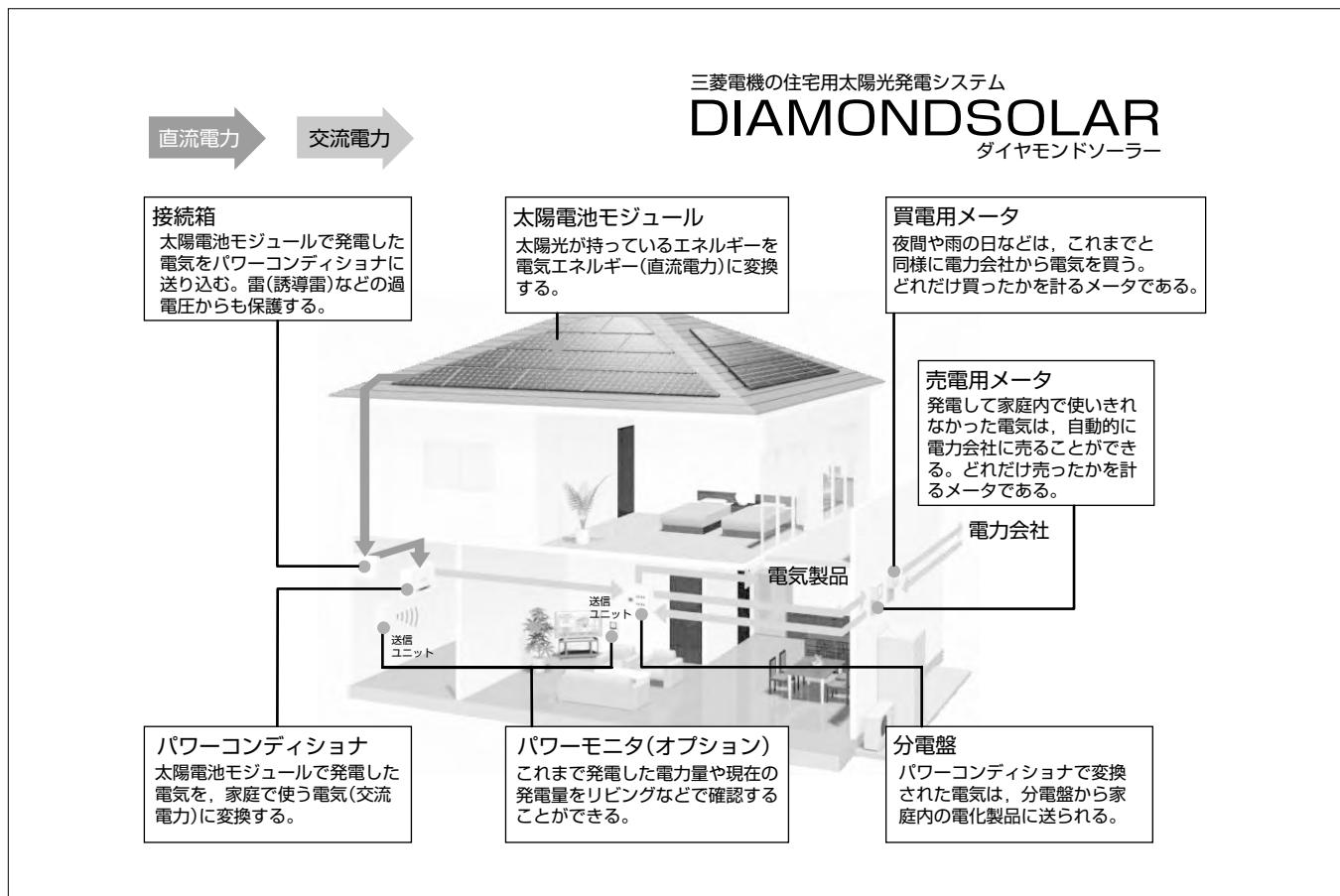
東日本大震災とそれに伴う福島第一原発事故は、需要家レベルの節電、自立電源系に対する関心を俄(にわか)に高めた。太陽光発電や風力発電等で代表される自立電源系は家庭用から公共・産業用まで、広範囲な需要家から期待されており、今後の導入増加が見込まれている。

太陽光発電では、太陽エネルギーを限られた設置面積で効率よく電力に変換し、かつ、長期にわたり性能を維持できるかどうかが重要な技術課題の一つである。

本稿では、まず、三菱電機太陽光発電システムの特徴である大出力PV(PhotoVoltaic)モジュールの“屋根たっぷり発電”，垂木固定方式を採用した“しっかり設置”，パワーコンディショナ電力変換効率業界No.1^(注1)技術の“きっちり変換”について述べる。

次に、太陽光発電による発電量と主要な電力消費機器の電力消費パターンを示し、太陽光発電システムと無線などの情報通信手段によって制御可能な家電製品群(以下“スマート電化”という。)との協調、さらに、蓄電システムとの連携も考慮したHEMS(Home Energy Management System：ホームエネルギーメントシステム)構築例を述べる。これらによる平常時の電力消費時間ピークシフト、地震など天災による電力網の寸断を想定した非常時での自立電源系を議論する。最後にスマートハウスにおけるエネルギーシステム構成と運用例を述べ、東日本大震災以降の電力事情に対する社会の節電行動方向性について述べる。

(注1) 2011年10月現在、当社調べ



当社の住宅用太陽光発電システム“DIAMONDSOLAR”

高効率な太陽電池モジュールと業界最高の電力変換効率をもつパワーコンディショナで構成される当社の太陽光発電システムを示す。

1. まえがき

2011年8月に開催された通常国会で，“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”(再生エネ法)が参議院本会議で可決成立、2012年7月1日から施行される。この法律では住宅用の太陽光発電(以下“PV”という。)は除外されているが、再生可能エネルギー源(太陽光、風力、水力、地熱、バイオマス)を用いて発電された電気を、一定の期間・価格で電気事業者が買い取ることを義務付けるものであり“全量買取り法”とも呼ばれる。住宅用PVの余剰電力買取り制度は2009年11月から施行され、2011年度に住宅用(10kW未満)は48円/kWhから42円/kWhへ減額、非住宅用(10kW以上)は24円/kWhから40円/kWhに大幅増額されている。日本は従来住宅用PV普及に注力しているが、加えて産業用PV普及に再生エネ法は大きな力を發揮することが期待されている。

福島原発事故に端を発するエネルギー政策の転換で、“再生可能エネルギー”“分散型エネルギー”的実現は喫緊の課題であり、PVはその中心的な役割を果たす。とくにパワー・コンディショニング・サブシステム(以下“PCS：Power Conditioning Subsystem”という。)を核としたスマートハウス、HEMS関連事業は電機産業にとって新たな需要産業として魅力的である。東日本大震災を経験した上でのエネルギー需給体系のパラダイムシフトによって、独立したエネルギー・システムへの欲求が高くなっている。従来の省エネルギー、創エネルギー、蓄エネルギーが、節電を意識してシステム化されることで“我慢の節電”から“快適な節電”に進化する。当社のリビングデジタルメディア事業本部では、快適な節電を実現する機能を搭載した“節電アシスト”製品群の発売を開始している。

本稿では当社の太陽光発電システムの特長を述べ、さらに、太陽光システムと家電製品の協調制御によるゼロエミッション実現性の検討について述べる。

2. 当社PVシステムの特長

2.1 “屋根たっぷり発電”

まず、単結晶材料を用いたPVセルの採用によって、同一サイズのPVモジュールで出力を5%向上させるモジュールを新たに製品ラインアップに追加した。図1に多結晶と単結晶の表面外観を示す。単結晶の方が黒っぽく、反射が少ないと、つまり太陽光の利用率が高いことが分かる。

次に、PVで発電する電力を取り出すバスバー電極構造で業界初^(注2)の4本バスバー電極を採用することによって、モジュール発電量はハイパワーな単結晶タイプで200W、通常の多結晶タイプで190Wを実現する。PVセル表面上のバスバー電極を従来の2本から4本に増やすことでセル内の電気

抵抗を低減し、セル1枚あたりの出力を従来品に比べ3%向上させた。図2に2本バスと4本バスの2種類のセルを示す。

さらに、グリッド電極の細線化技術と、PVセルの保護ガラスへの低反射ガラス採用によって標準モジュールで従来比5%アップの210Wの大出力を実現した。図3に示すようにグリッド電極を従来比約20%細線化したことによる受光面積の増加及び低反射ガラスによる光反射の3%抑制の結果である。

また、屋根面積を最大限に活用するために、日本の住宅の屋根に多い奥行・間口・勾配の243パターン(切妻屋根144パターン、寄棟屋根99パターン)でPVモジュールの設置シミュレーションを実施し、ハーフモジュール、台形モジュールを用意した。寄棟屋根の検討例では、標準モジュールだけの場合、出力は2.4kWであったが、台形モジュールを活用することで出力を4.2kWまで増加させることができた(図4)。

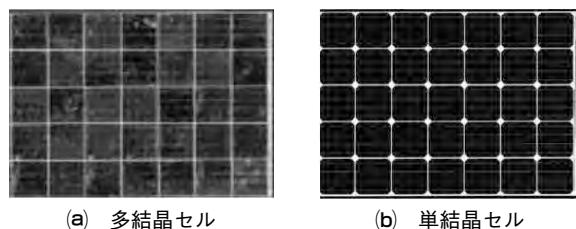


図1. 多結晶セルと単結晶セルの外観比較

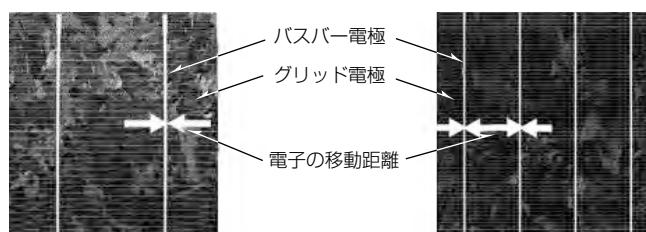


図2. 2本バスと4本バスの外観比較

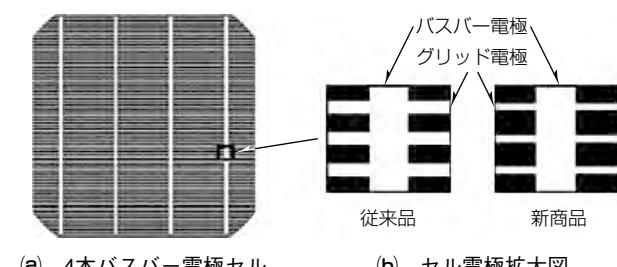


図3. グリッド電極の細線化

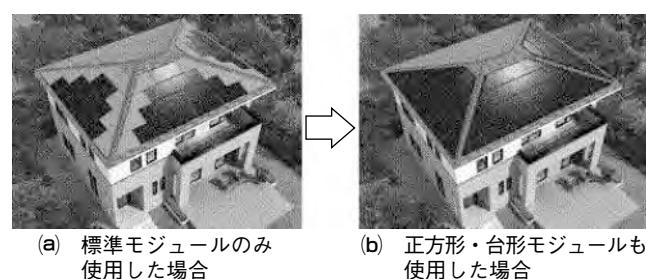


図4. “屋根たっぷり発電”状況

(注2) 2010年2月16日現在、当社調べ

2.2 “しっかり設置”

PVを長く安定的に使用し続けるためにはPVモジュールの設置方法及び設置工事も重要なポイントである。従来の瓦をおく野地板にではなく構造材である垂木に固定する“垂木固定施工方式”を採用し、さらに、4重防水処理やアルミニウム架台を採用することで高い設置強度と防水構造を特長としている。さらに、当社認定のエキスパートが信頼性の高い施工工事を実施する。また、垂木に固定することで、冬場の温度差によるねじの結露を防止、さらに図5に示すように防水シート・コーティング材・取付け金具のブチルシート・木ネジパッキン部分による4重防水処理によって雨水の浸入を防止する。

また、耐候性・耐湿性・密閉性に優れた3層構造バックフィルムをはじめ耐食性めっきを施したフレームやねじ類の採用によって、塩害地域(直接塩水がかかる重塩害地域を除く)でも専用のモジュールや架台等を必要とせず、標準品のままで設置可能である(図6)。

2.3 “きっちり変換”

PVからの直流電力を家庭で利用する交流電力に変換するのが、PCSの主な機能である。直交変換による損失を最小に抑えるPCS単体の高効率化、時々刻々変動する日照条件への対応に加え、昨今は系統へ電力を供給する再生可能エネルギー発電システムとしての総合的な信頼性向上への取組みも加速している。

PCS単体の高効率化で特筆すべきは、電圧の異なる複数のインバータの出力を組み合わせて擬似正弦波を出力する階調制御方式である。従来のパルス幅変調(Pulse Width

Modulation: PWM)方式では高周波・高電圧スイッチングによる損失増加に加え大容量の平滑フィルタを必要とするのに対し、階調制御方式は低周波スイッチング、かつ、チョッパ機能のバイパスが可能で、また、小容量の平滑フィルタで系統に電力を連系することができる。図7に構成、図8に動作波形を示す。

階調制御方式PCSの特性を図9に示す。定格4kWに対し25%負荷から100%負荷までの領域で業界最高の97.5%以上、最大で98.2%の電力変換効率を達成している。

次にPVモジュールに影がかかる場合、直列接続するPVモジュールごとの特性ばらつきによる出力低下の対策について述べる。現在主流の制御方式であるMPPT (Maximum Power Point Tracking)ではこの多数直列接続したPVモジュール全体の発生電力を最大電力出力点で動作させるように制御回路が作用する。一般に日陰などのない状態では、PVモジュールの出力-電力特性は図10の点線のようになり、一点に最大電力を得られる山型の特性となる。しかし、PVモジュールの一部に日陰ができると、発電特性が複数のピークを示すようになる。図10の実線はPVモジュールの一部に日陰がある場合の発電特性の一例を示している。

従来のシステムでは電圧の高い側(図10の右側)から見て発電電力が最大となる最初の頂点を検出するのに対し、すべての頂点から発電電力が最大となる頂点を検出する技術を開発した。日陰や汚れによってPVモジュールの発電特性が時間とともに変化する場合でも、常に最大電力出力点を選択するため、PVモジュールの発電能力を最大限に引

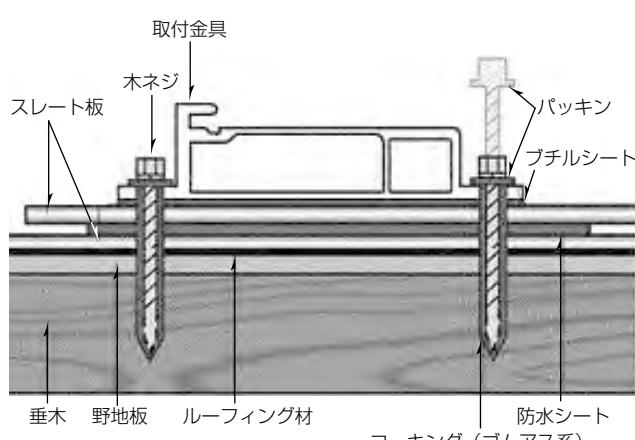


図5. 4重防水処理



図6. 塩害対応

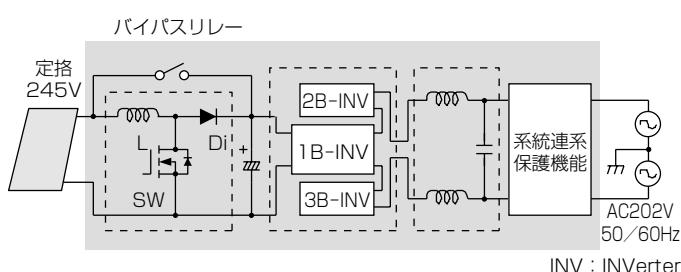


図7. 階調制御方式PCSの構成

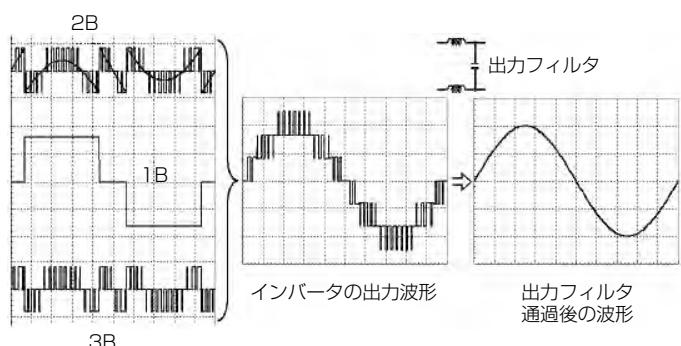


図8. 階調制御方式PCSの動作波形

き出すことが可能である。この技術は今後の製品への搭載を検討していく。

3. 需要家におけるシステム構築

日本の電力系統に安定的に接続できるPVなどの再生可能エネルギーの発電容量は、特別な処置をしない場合1,000万kW程度が限界と言われている。2010年度末でのPVシステム導入量は400万kWに迫り、2020年度導入目標は2,800万kWと言われ、今後数年で系統の許容値を超えててしまう。現在想定される限界値を超えて電力系統を安定に保つために、PCS側での高度な制御機能は不可欠であり、電力系統の安定化を目的としたスマートグリッドの実証実験の必要性は高い。当社は自社内に実証実験設備を構築し、配電系統側の観点と需要家側の観点の両面から技術開発を進めている。

住宅における夏季一日の太陽光発電による発電量と主要な電力消費機器である空調機(ルームエアコン)と給湯機(エコキュート)の電力消費パターンを図11に示す。太陽光発電の発電量は日射量の多い正午ごろにピークを示す一方、ルームエアコンによる電力消費は、在室人数の多い朝

8時前後、昼12時前後、夕方から夜間(16時~22時)に発生する。エコキュートは一般的に深夜電力料金が適用される23時~翌朝7時に運転され、同時間帯に電力が消費される。

このようにPV発電量と家庭の電力消費量は時々刻々合致しない場合が通常である。つまりスマートハウスでは創ったエネルギーを適切に活用する蓄エネルギーの技術開発が必要となる。熱源機である空調機、給湯機は熱による蓄エネルギーが可能であるためスマートハウスの実現に重要な機器と言える。エコキュートは1日分の使用湯量を昼間に比べて外気温が低い夜間、給湯タンクに貯湯する方式が現状主流である。一方、外気温度が高くなると、熱源機の理論効率は高くなる。外気温度の高い昼間、太陽光発電の余剰電力発生時にエコキュートの運転を実施することで、蓄エネルギーに加え省エネルギーも実現できる。また給湯では太陽熱利用も効果的である。昼間の日射より得られた熱を給湯タンクに貯湯し、必要なときに用いることで、エコキュートの運転を抑え、省電力(エネルギー)を図ることができる。PVと太陽熱の併用も今後の開発課題と考える。

図12に2世帯オール電化住宅を想定した当社大船地区

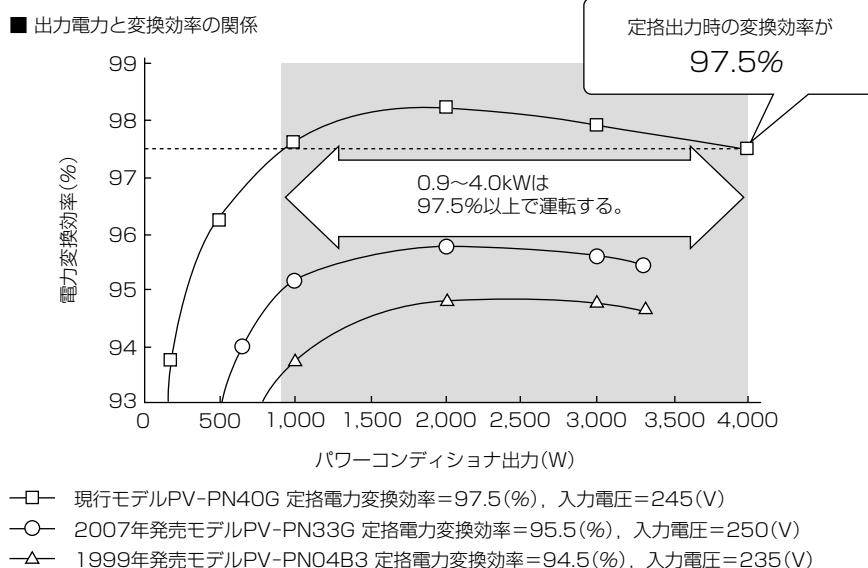


図9. 階調制御方式PCSの特性

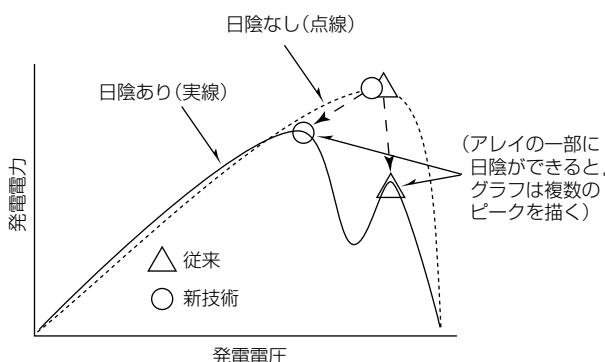


図10. 日陰がある場合のPVモジュール発電特性

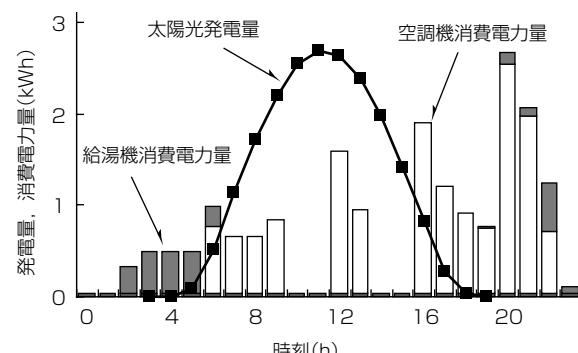


図11. 住宅におけるPV発電量と主要な電力消費

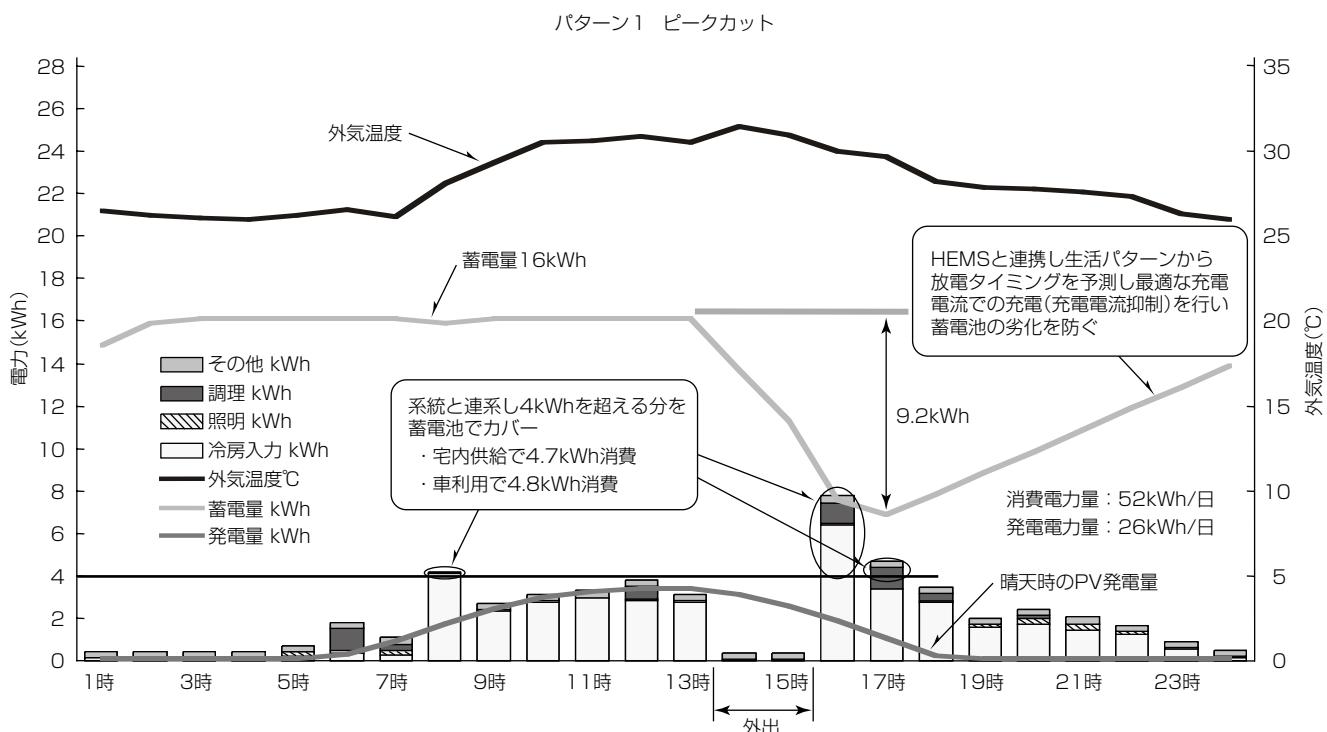


図12. 大船スマートハウスにおける電力ピークシフト対応例

にある実証実験住宅“大船スマートハウス”における電力ピークシフト対応例を示す。系統から受電する最大電力量を4 kWhに制限するために、PVと電気自動車(Electric Vehicle: EV)搭載の蓄電池を活用する。

4. む す び

“再生可能エネルギー”“分散型エネルギー”的根幹にPVが位置付けられる。本稿では、まず、当社PVの特長をPVモジュール、設置法、PCSで述べた。次にスマートハウスにおけるエネルギーシステム構成と運用例を述べ、東日本大震災以降の電力事情に対する節電社会の方向性について述べた。今後、実証実験の積み重ねによる需要家システムの提案によってPVの更なる普及拡大を目指す。

参考文献

- (1) 三菱電機広報：国内住宅用「単結晶無鉛はんだ太陽電池モジュール210Wシリーズ」発売、2011年8月31日（2011）
- (2) 東 聖, ほか：最新技術動向から学ぶ太陽電池(第8回：パワー・コンディショナ), NIKKEI ELECTRONICS, 2011年8月22日号, 92~97 (2011)
- (3) 浦壁隆浩：太陽光発電用パワーコンディショナとその高効率化技術, 電気評論, 95, No.11, 38~42 (2010)

蓄電池制御技術

Battery Charge Discharge Control Technology

Shoji Yoshioka, Makiko Kise

吉岡省二*
吉瀬万希子**

要旨

太陽光、風力等の自然エネルギーで発電した電力の有効利用には、変動する発電電力を効率良く貯蔵し、需要に応じた電力を供給することが条件となる。再生可能エネルギーを本格導入するには、電力需給バランスの精密制御が必要で、それを可能にする電力インフラがスマートグリッドである。家庭、ビル、工場等に設置された太陽電池モジュールで発電される電力と、需要家の電力消費は一致しないため、電力の過剰供給と過負荷防止には、電力バッファとなる蓄電池システムがスマートグリッドには不可欠である。

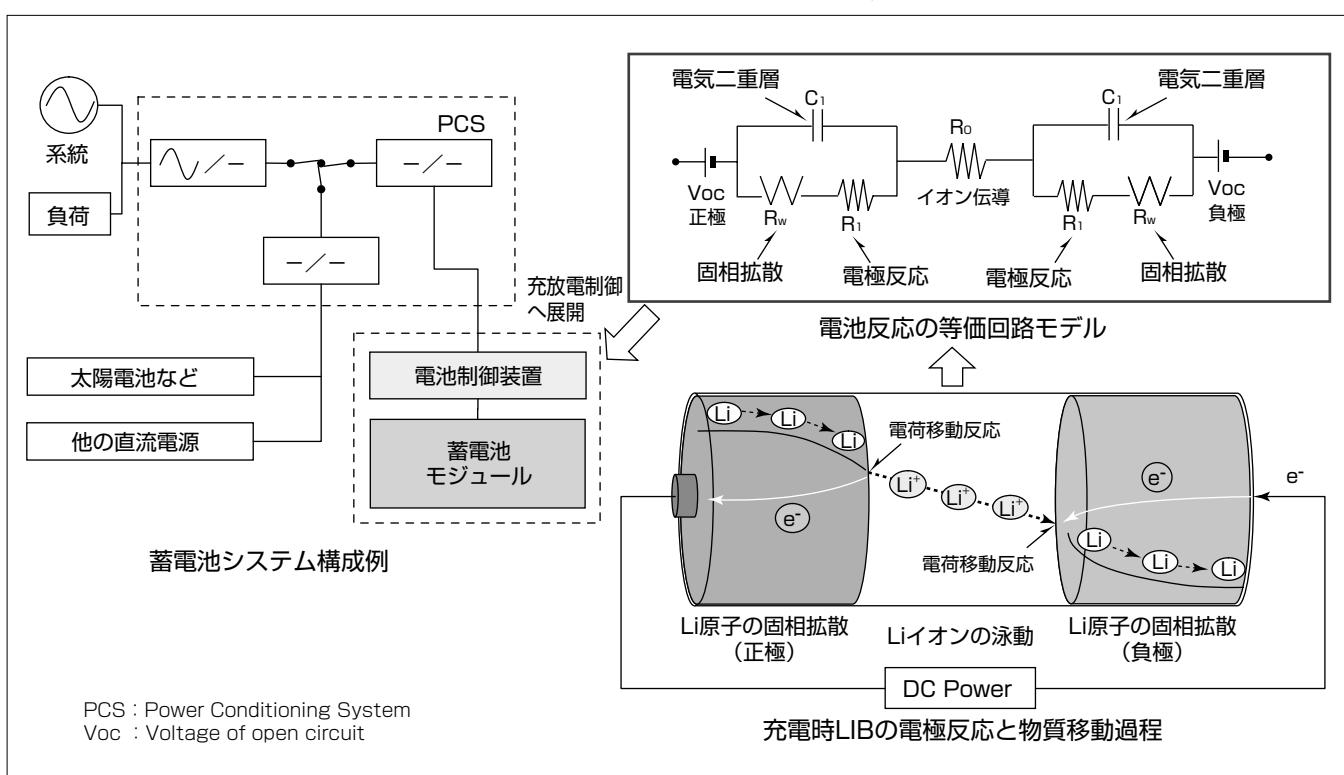
蓄電池には、電力貯蔵可能な二次電池である鉛蓄電池、ニッカド電池、ニッケル水素電池等があるが、エネルギー密度、環境負荷、自己放電性能を考慮すると、自動車用に普及拡大の始まったリチウムイオン二次電池(Lithium Ion Battery : LIB)が現在最も有力である。LIBには出力密度^(注1)1,000W/kgを超える高出力型とエネルギー密度^(注2)

200Wh/kg以上を持つ高エネルギー密度型があり、高出力型はより速く電力を貯蔵又は放電できる電池、高エネルギー密度型は単位重量あたり、より多くのエネルギーを貯蔵できる電池であり、スマートグリッドなど大規模な定置用電力貯蔵には、高エネルギー密度型が適している。一方、LIBは寿命特性に課題があり、充放電特性の経年劣化と使用条件による安全性低下等の問題がある。現状は電圧や電流の制御によって必要寿命を確保しているが、蓄電池システムの信頼性、安全性を更に追求するためには、電池特性を熟知して構築した制御技術が必要である。特に電池使用条件と環境条件は寿命特性への影響が大きい。

本稿では、蓄電池を長期間最適状態に保ち、システムの信頼性を優先した蓄電池制御技術について述べる。

(注1) 電池充放電時の電池出力(W)を電池重量で除した値

(注2) 電池出力(W)と出力可能時間(h)の積である蓄電エネルギー(Wh=3,600ジュール)を電池重量で除した値



蓄電池システムの構成例と充放電制御に用いるリチウムイオン電池反応の等価回路モデル

正極の固相からリチウム原子が脱離し、エネルギーレベルの高い負極固相内に挿入されることでリチウムイオン電池に電力が貯蔵される。貯蔵の過程で複数の電荷移動反応とイオン移動を経由するため、抵抗(イオン伝導抵抗 R_o 、電極反応抵抗 R_1 、固相拡散の抵抗 R_w)と、電極界面の電気二重層に蓄えられるキャパシタンス成分 C_1 を考慮することで電池反応は等価回路で表せる。このモデルを基に、正確なSOC、充放電可能最大電力、電池寿命の推定によって、安全性と信頼性の高い蓄電池システムの構築が可能となる。

1. まえがき

三菱電機は、衛星携帯電話、人工衛星用電源等、リチウムイオン電池を使った蓄電池システムを開発している。リチウムイオン電池はエネルギー密度が高く、小型軽量化が可能であるが、高コストと寿命特性の観点から⁽¹⁾、これまで本格的な普及拡大には至っていない。コストに関しては、電気自動車などの普及に伴う生産量拡大によって、2010年の約¥110/Whから、5年後には¥80/Whに低下する予想もある⁽²⁾。一方、充電時の熱安定性、高温環境下の化学的安定性等、電池材料や構造に起因した寿命と安全性に関する課題があるため、関係する多くの規格が国内外に存在する⁽³⁾⁽⁴⁾。寿命と安全性は、電池制御技術で確保できる。しかし、蓄電池システムの効率的動作と両立させるには、電池制御の高度化が必要となる。電池制御とは、簡単に言うと“電流を流すか、止めるかを電圧と温度で判断し、実行する”ことであるが、高度な制御とは、電池容量、温度、内部抵抗、充電レベル等の電池状態を正確に把握した制御を意味する。

本稿では、リチウムイオン電池の寿命と安全性を考慮した制御方法について述べる。

2. 蓄電池システム

自然エネルギーと電力貯蔵を組み合わせた蓄電池システムの一例を図1に示す。蓄電池モジュールの電圧、電流、温度等、電池状態のデータを電池制御装置に送り、これを基に、充電状態、余寿命、充放電可能電力・電力量等、制御上重要なパラメータを算出し、充放電動作の判断に使用する。太陽電池や風力発電機で発電された電力は電圧変換器を通った後、コントロールされた電流値で電池に蓄えられ、同時に、最も効率的なタイミングで系統に送電、又は負荷で消費される。パワーフローの制御はパワーコンディショナ(PCS)が行い、電池制御装置からの情報を基に電力をコントロールする。

2.1 制御アルゴリズム

蓄電池システムの最も簡単な制御は、上下限電圧範囲を

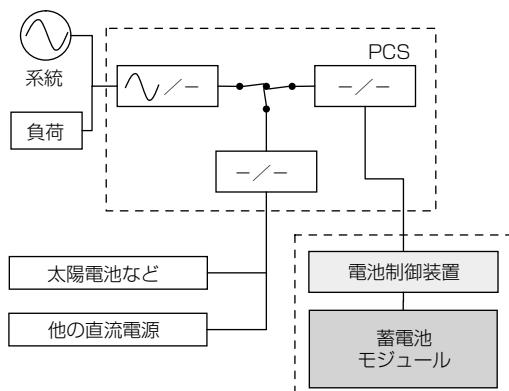


図1. 蓄電池システムの構成例

逸脱したときに電力を遮断する制御であり、電池保護優先の制御である。この場合、システムの動作状態に関係なく充電や放電が急停止するため、負荷、系統、発電装置の故障など、ユーザーの利益・利便性を損なう場合がある。図2は、電池保護と蓄電池システムの効率的利用を両立させる基本的な蓄電池制御アルゴリズムである。システムの動作開始直後に各単電池電圧、温度を測定し、各種電池パラメータを推定する。電池のパラメータはいくつかあり、電力貯蔵レベルを表すSOC(State Of Charge)もその1つである。SOCは放電可能、又は充電可能電気量を電池容量に対する割合で表現した値であり、SOC=100%を超えると電池は過充電状態となる。その他、現時点の使用可能最大電力、又は充電可能最大電力を表すSOP(State Of maximum Power)、電池の健全度を表すSOH(State Of Health)等が主要な制御パラメータである。制御では、各電池パラメータの推定値から、電池がダメージを受け、システム停止が予想される場合は、動作指令の変更を要求する。問題がなければ要求にしたがって充放電が実行される。電池状態が急変して予見不可能状態となって、電池パラメータが制御範囲を外れると、システムの保護動作が機能してシステムは緊急停止する。

2.2 等価回路モデルによる電池制御

電池パラメータとして最も重要なSOC推定は、電流積分法と開回路電圧(Voc)演算法を組み合わせる方法が一般に用いられる。充放電時の電流積分値から通電電気量を算出し、初期値からの加減によって現在のSOCを算出できるが、検知される電流値には誤差が含まれる。また、電池が劣化するとSOC=100%に相当する容量の絶対値が減少するので、電流積分法だけでは、正確なSOC推定ができない。そこで、Voc演算法で補うことで正確なSOC推定が

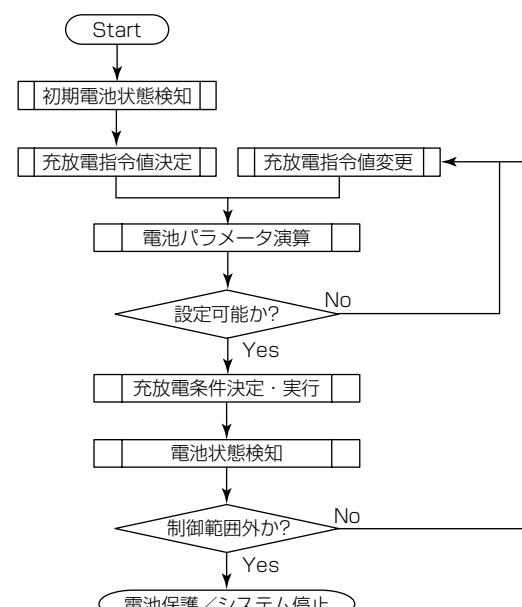


図2. 電池システム制御アルゴリズム

可能になる。 V_{oc} は図3のようにSOCと一対一に対応するので、 V_{oc} を測定すれば厳密なSOCが得られる。ただし、SOCと V_{oc} の関係は電池材料に強く依存し、ハードカーボン系の負極を用いたリチウムイオン電池は V_{oc} のSOC変化が大きく、グラファイト系負極は変化が小さい。しかし、充放電停止直後の V_{oc} は、電池のコンデンサー成分に蓄えられた電荷の放電によって、電池電圧が変化するため、 V_{oc} の真値を得るには数分、数時間をする場合もある。この問題を解決するため、無負荷時を含む任意の電流における電池電圧を計算できる数理モデルを構築した。まず、電池反応を、図4に示した集中定数系の等価回路でモデル化した。電池反応による電気的特性を抵抗 R_0 、 R_1 、ワールブルグインピーダンス R_w 、キャパシタンス C_1 とするとき、電池電圧は式(1)、式(2)で表せる。電流遮断後に I_1 がゼロになる時間を計算・推定し、その時の電圧から得られる V_{oc} と、図3の関係からSOCの真値が推定できる。

$$V = V_{oc} - (R_1 + R_w) \times I_1 - R_0 \times I \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$I_1 = I - I_2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

また、式(1)、式(2)からは通電時の電池電圧も推定できる。任意の放電電流における電池電圧を予測し、下限電圧を下

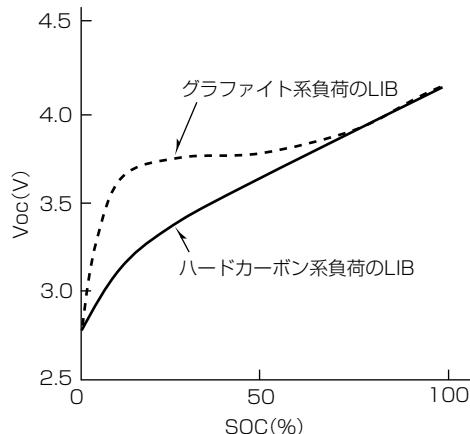


図3. 充電レベル(SOC)と開回路電圧(V_{oc})の関係

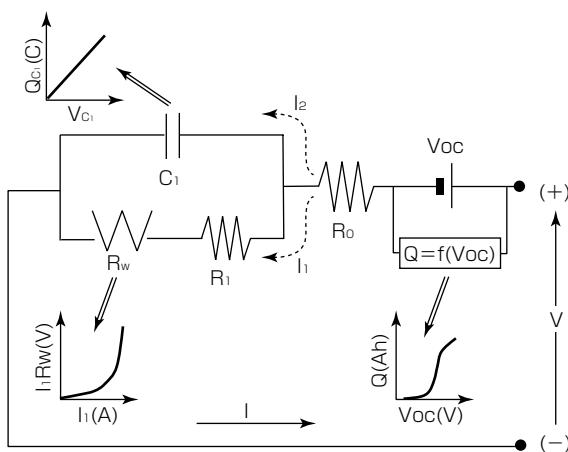


図4. 充電方向の電流をプラスとした時の集中定数系のLIB等価回路モデル

回る条件が事前に把握でき、電池保護による電流遮断を事前に回避できる。また、充電時の電圧を計算することで、定電流制御から上限電圧値における定電圧制御へ移行するタイミングが予測できる。等価回路の時定数は、電池の種類によても異なるが、数分から数時間である。特に低温で抵抗、ワールブルグインピーダンスが増大して時定数は大きくなる。このように等価回路による電池制御では、使用環境の変化に応じた電流電圧応答を予測できる特長を持つ。

3. 寿命評価技術

スマートグリッドなど据置き用のリチウムイオン電池は、最低でも10年の寿命が必要とされている。しかし、温度環境、充放電電流／電圧、充放電サイクル数等、使用条件によって寿命が短くなるため、メンテナンスや電池制御で寿命予測が必要になる。リチウムイオン電池の寿命評価技術によって、電池システムの寿命設計と余寿命診断が可能になる。

3.1 劣化メカニズム

リチウムイオン電池の劣化は、繰り返し充放電によるサイクル劣化と、充電状態で長期間、高温下に暴露されたときの保存劣化によって、蓄電容量(Wh又はAh)、充放電可能電力(W)，安全性が低下する。蓄電容量の低下は、負極又は正極活性物質表面に生じる不可逆な化学反応によって、リチウムイオンが挿入脱離するホスト構造の消失に起因する現象である。その他、充放電可能電力が低下するという劣化モードがあり、内部インピーダンスの上昇と共に述べたホスト構造消失による局所的電流密度の上昇が主要因である。内部インピーダンス成分は、電極反応抵抗、電子伝導抵抗(接触抵抗を含む)、電解液中のイオン伝導抵抗と、電極部材と電解液との固液反応によって電極表面に沈着・生成するSEI(Solid Electrolyte Interface)の抵抗からなる。SEI層は、電解液中の溶媒と、電極部材中のリチウムが反応して電極粒子表面に生成する数ナノメートル程度の薄い固体層であり、固液界面におけるSEI成長反応を自ら抑制する役割がある。また、SEI層はリチウムイオン伝導層と考えられており、リチウムイオン電池の充放電サイクル特性の安定に寄与している。しかし、高温暴露や長時間の高電圧保持等によるSEI層の過度な成長は、大きな内部抵抗の原因となり、また、溶液中のリチウムイオン濃度の低下など、寿命劣化の主要因である。

3.2 寿命設計技術

容量が初期から一定量低下するまでを寿命と呼ぶ。寿命は、電池材料、電池構造の他に、充放電制御、環境温度等の外部要因の影響を受ける。図5は、保存劣化の環境温度依存性、図6はサイクル劣化の電流値依存性を示している。長期保存時における保存劣化は、式(3)に示すように、温度

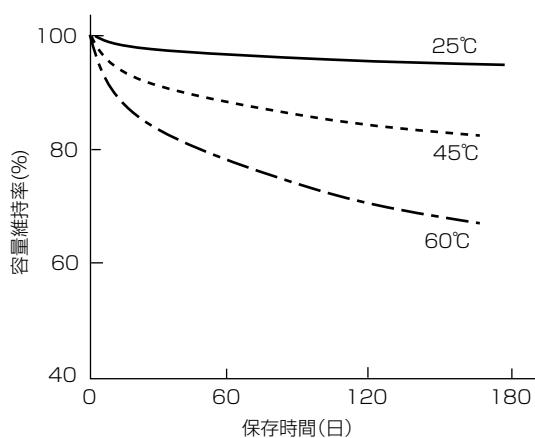


図 5. 保存劣化の温度特性SOC=100%

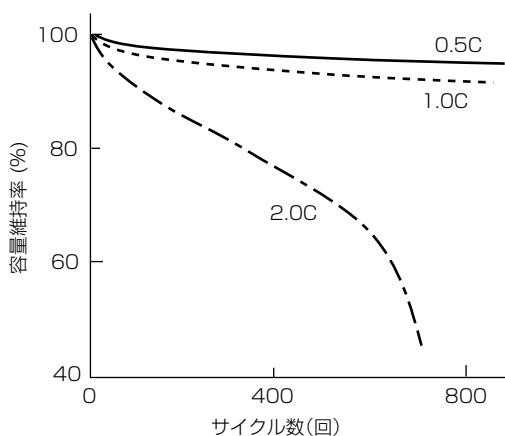


図 6. サイクル劣化の充放電電流依存性

TとSOCの関数となる。一方、サイクル劣化は、サイクル数nと電流Iが因子に加わり、劣化量は時間又はサイクル数で積分したFs又はFcで表され、劣化後の蓄電容量Cpは次式で求められる。なお、Cp_iniは初期容量を意味する。

$$C_p = C_{p_ini} \times \{1 - F_s(T, SOC) - F_c(T, SOC, n, I)\} \quad \dots \dots (3)$$

リチウムイオン電池の劣化は、使用材料、構造によって異なるがこれは、寿命予測式(3)に含まれる関数形の違いに相当する。したがって、精度の高い寿命予測式は、電池種ごとのパラメータ評価が必要となる。

3.3 余寿命測定技術

劣化が進行し、現在の状態からあらかじめ設定した許容劣化レベルに達するまでの時間、又は充放電サイクル数を余寿命と定義する。この評価には現在容量、出力特性を正確に把握する測定技術が重要となる。電池容量のリアルタイム検出は困難である。通常はシステムを停止させ、100%充電の状態から、電池の放電下限電圧まで一定条件

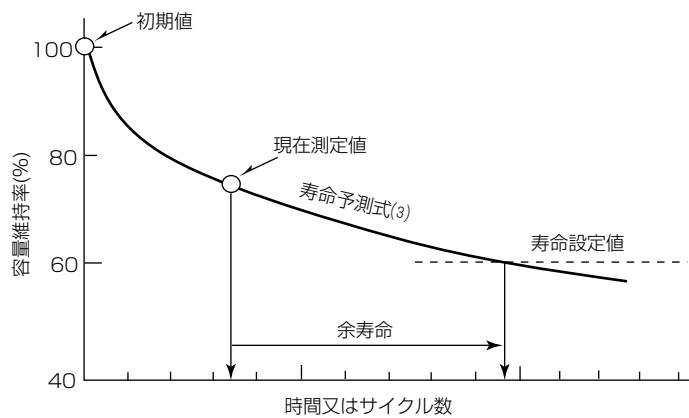


図 7. 蓄電容量の劣化曲線と余寿命予測

で放電させた容量を測定する。初期容量から低下した容量が、寿命予測式(3)に一致すると仮定し、図7のように寿命設定値までの時間又はサイクル数を余寿命として推定する。

また、電池の寿命は容量低下だけではなく、内部抵抗の増大による放電電圧の低下(回生時は上昇)を示す場合もある。放電電圧の低下は、環境温度が低い条件でも生じるので、寿命評価には、電池状態の正確な測定が重要である。

4. む す び

リチウムイオン電池の制御は、一言で言えば、電池の保護と負荷・回生機器の要求を両立させることである。電池の保護だけであれば、電圧、電流、温度の範囲を逸脱したときに動作する保護回路だけあればよい。一方、回生を頻繁に繰返すシステムでは、電池寿命を管理する高度な制御が必要となる。特に、リチウムイオン電池は多種多様であるため電池種ごとに適した制御がある。各電池パラメータの予測と計測に基づいたリチウムイオン電池制御は、リチウムイオン電池の能力を最大限活用し、システムの要求に的確にこたえることができる。

参 考 文 献

- (1) Tobishima, S., et al.: A consideration of lithium cell safety, Journal of Power Sources, 81~82, 882 ~886 (1999)
- (2) エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望2011：富士経済 (2011)
- (3) 産業用リチウム二次電池の安全性試験(単電池及び電池システム), 電池工業会規格 (2011)
- (4) SECONDARY LITHIUM-ION CELLS FOR THE PROPULSION OF ELECTRIC ROAD VEHICLES (IEC-62660), IEC (2010)