

新たなエネルギーサービスに向けた取り組み

Projects on New Energy Services

● 園田俊浩

● 吉田宏章

● 松倉隆一

● 竹林知善

あらまし

地球温暖化や資源枯渇への対応、安全性の保証など電力システムに対する要望が多様化する中、再生可能エネルギーはこれらの要望を満たす重要な選択肢として、その普及への期待が高まっている。しかし、再生可能エネルギーによる発電は、太陽光や風力などのように自然現象に依存しているために、発電量の変動が激しい。また、その予測が難しいことから、需給バランス維持という観点で取扱いが困難である。この問題を解決するために、今後の電力システムは電力系統側と連携した電力の消費側の情報化が不可欠になってきており、この領域での標準化が活発化している。一方、コンピュータなどの情報機器だけでなく、あらゆるものがインターネットに相互接続されたIoT(Internet of Things)が実現されつつある。今後は、高度に情報化された電力システムと、IoTが融合しながら、新たなエネルギーサービスが実現されていくと考えられる。

本稿では、電力システムやIoTの標準化動向と富士通研究所の取り組み、および新たなエネルギーサービスの実現に向けた活動を紹介する。

Abstract

Demand for electric energy systems is diversifying to counter global warming, address resource depletion and secure safety. In this context, renewable energy is an important option that meets all these requirements, and its wide diffusion is highly expected. However, renewable energy generation systems are characteristically unpredictable due to the fluctuation of power generation as they depend on natural phenomena such as the sun and winds. This aspect makes it difficult to adopt them in terms of supply-demand control. To address this point, the future power generation systems must utilize information on power consumption in coordination with the power supply system, and this is stimulating efforts to develop standards in this field. Meanwhile, the Internet of Things (IoT) is increasing its utility, connecting all kinds of items including computers and other information devices. We consider that the future will see a new form of energy service that amalgamates highly IT-enabled energy systems with IoT. This paper describes the trend to standardize energy systems and IoT, and it explains Fujitsu Laboratories' projects in this area and its efforts to realize a new energy service.

ま え が き

地球温暖化や資源枯渇への対応、持続可能性という観点で再生可能エネルギーの普及が期待されている。しかし、再生可能エネルギーは、発電量の変動が激しいために予測が難しく、需給バランス維持という観点では取扱いが困難である。この需給バランス維持のために、電力の消費側での調整力が重要となってくると考えられている。このような需要家との協調により、需要調整を実現するための仕組みがDR（Demand Response）である。DRの実用化で先行する米国では、様々な契約形態のDRサービスが提供され、その標準としてOpenADR（Automated Demand Response）の普及に向けた取組みが活発化している。日本でも電力自由化を契機に、DRサービスの導入が拡大すると思われる。このため、富士通研究所ではOpenADRの標準化活動に参画し、最新の規格であるOpenADR2.0bに準拠したソフトウェアを世界に先駆けて開発した⁽¹⁾。

一方、コンピュータなどの情報機器だけでなく、あらゆるものがインターネットに相互接続されたIoT（Internet of Things）が実現されつつある。今後は、高度に情報化された電力システムと、IoTが融合しながら、新たなエネルギーサービスが実現されていくと考えられる。

本稿では、まず電力システムとIoTの標準化動

向について解説し、次に、電力システムやIoTの標準化における富士通研究所の取組みとして、OpenADRとIEC 62746の情報交換、OpenADRとECHONET Liteの連携メカニズム開発について解説する。更に、新たなエネルギーサービスの実現に向けた活動として、電力利用分析サービスと需要調整力確保の取組みを紹介する。

電力システムとIoTの標準化動向

電力システムとIoTが融合されながら新たなエネルギーサービスが実現されている様子を図-1に示す。本図に示す電力システムの情報モデルの標準化は、IEC（International Electrotechnical Commission）や米国NIST（National Institute of Standards and Technology）において検討が進められている。^{(2)~(6)} 電力市場の取引を対象としたIEC 62325⁽⁷⁾、系統運用を対象としたIEC 61970⁽⁸⁾、配電管理や変電管理を対象としたIEC 61968⁽⁹⁾、およびIEC 61850⁽⁹⁾の情報モデルの標準化が進んでおり、これらの規格を需要家領域にも拡張し、適用していく方向にある。

図-1の需要家領域は、電力システムでは新しい領域であり、NISTによる検討が先行している。デマンドレスポンスを対象としたOpenADR、ビル・産業を主な対象としたFSGIM（Facility Smart Grid Information Model）、一般家庭を主な対象としたZigBee SEP2.0（Smart Energy Profile）などの標準化が進められている。^{(10)~(13)} 最近では、電力供給

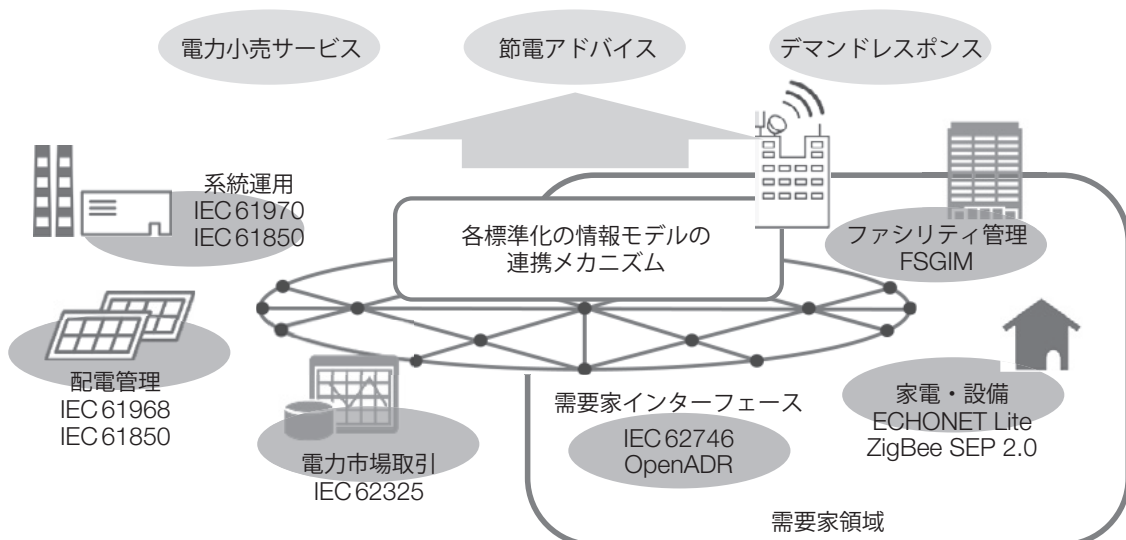


図-1 電力システムとエネルギーサービス

者・電力市場と需要家（工場・ビル・家庭）を連携するインターフェースの標準化がIEC 62746として進められている。⁽¹⁴⁾

IoTでは、例えば住宅内においては家電や住宅設備がネットワークに接続され、新しいアプリケーションを実現する動きが出てきている。このような家電や設備系の通信プロトコルとして、ECHONETとECHONET Lite⁽¹⁵⁾がある。ECHONETは、トランスポート層以下の伝送メディアと、メディアによる仕様の差異を吸収し、機器を制御するための通信処理レイヤーから成っている。現在、広く利用されているECHONET Liteは、ECHONETの仕様のうちトランスポート層以下は規定せずに、IPアドレスもしくはMACアドレスを利用するものである。この下位レイヤーの規定は、情報通信技術委員会（TTC）が技術レポートTR-1043⁽¹⁶⁾として公開している。TR-1043では、おおむねIP通信をベースとして、Ethernet、無線LANのほか、PLC（Power Line Communications）や920 MHz無線（ZigBee, WiSUN）などでの接続について規定している。

このような環境においては、各標準化で規定された情報モデルの連携メカニズムが必要となってくる。

以降では、連携メカニズムに対する富士通研究所の取組みの例として、OpenADRとIEC 62746の情報交換、OpenADRとECHONET Liteの連携について紹介する。

OpenADRとIEC 62746の情報変換

電力供給者や電力市場と需要家を連携するインターフェースの標準化（IEC 62746）が進められている。一方で、アメリカを中心とした既存のDRの国際標準としてOpenADRが制定されており、両規格間での情報交換の検討作業が進められている。この情報交換は、DR向けに拡張されたCIM（Common Information Model）とOpenADR間の情報モデルを変換するアダプター（以下、CIM OpenADRアダプター）によって実現される。富士通研究所では、CIM OpenADRアダプターを開発した。

図-2を用いてCIM OpenADRアダプターを利用した情報交換の例を説明する。電力供給者は

1.0 MWの電力削減要求を行うDRイベントをIEC 62746で規定されている情報モデルでDRアグリゲータへ送信する。DRアグリゲータは、CIM OpenADRアダプターを利用して、OpenADRで規定されている情報モデルに変換して電力需要家に送付する。

OpenADRでは以下のようなIDが存在し、今後はこのようなIDをCIMへマッピングする必要がある。

- (1) eventID：DRイベントを特定するID
- (2) requestID：DRイベントの応答を管理するID
- (3) signalID：イベントの詳細を区別するID
- (4) VTN ID, VEN ID：DRイベント送信側（Virtual Top Node：VTN）と受信側（Virtual End Node：VEN）のID
- (5) partyID, groupID：需要家のグループを示すID
- (6) mRID：需要家が保有するリソースを特定するID

OpenADRとECHONET Liteの連携

OpenADRとECHONET Liteの連携イメージを図-3に示す。この例では、電力会社はOpenADRによって電力抑制イベントを送信し、需要家はECHONET Lite対応機器を保有していると想定している。中間のDRアグリゲータは、OpenADRお

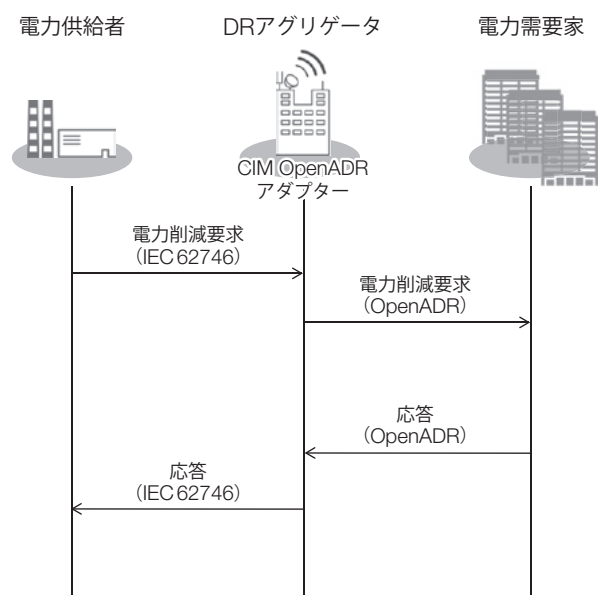


図-2 CIMとOpenADRの変換

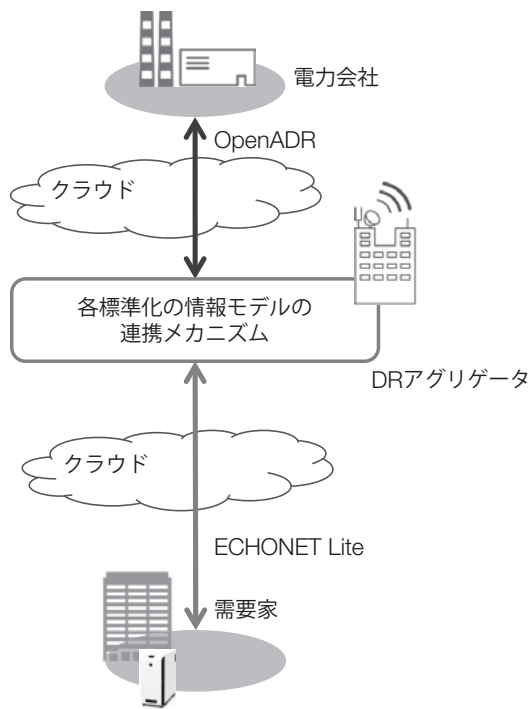


図-3 OpenADRとECHONET Liteの連携

よび需要家領域のプロトコルの双方に対応している。OpenADRとECHONET Lite連携を行う場合は、機器の特定情報、制御時刻、制御する項目、指示量など、該当する要素を抽出、あるいは補足して伝達する。

ECHONET Liteは、需要家機器への制御命令の入力、応答の取得が主な機能であり、機器のIPアドレスやゲートウェイのIPアドレスなどを基に機器を特定する。OpenADRは、特定の機器への直接制御を指示する場合と、時間帯別の電力価格や特定時間帯の削減電力量を指示する場合がある。直接制御の場合は、制御内容の解釈と機器の特定が必要となる。削減電力量を指示する場合は、要求された削減量を満たすように各需要家へ削減量を振り分け、制御計画を作成する必要がある。ここでは両ケースに関して、アグリゲータから需要家への通信について説明する。

● 直接制御DRイベント

直接制御に必要な情報は、機器の特定情報、制御時刻、制御する項目、指示量である。まず、機器の特定情報についてOpenADRは需要家をVEN IDで識別し、機器の種類もしくはリソースIDで機器を特定する。DRアグリゲータは、ECHONET

Liteに対応する需要家機器のIPアドレスやゲートウェイのIPアドレスを管理しており、OpenADRのIDと需要家機器の対応付けを管理しておくことで制御対象の機器を特定する。

OpenADRのDRイベントのSignalの中で各動作を実行する期間が記述されており、その開始時刻と期間から動作の開始と終了の制御時刻を決定し、特定された時刻にECHONET Liteの制御命令を送信する。

OpenADRでは、例えば、蓄電池に対する充放電の命令やエアコンの温度の指示を制御内容として設定することになる。OpenADRは、signalNameおよびsignalTypeの組合せによってDRイベントの種類を表し、Intervalの中で期間ごとの指示量を指定している。それらの情報から、ECHONET Lite側の機器クラスのプロパティのうち設定する必要のあるプロパティを選定し、等価な指示量を指定することで連携する。

上記の方式に従い、OpenADRとECHONET Liteが連携した蓄電池の充放電制御を実装した例を示す。OpenADRのDRイベントとして、signalName=CHARGE_STATE, signalType=delta, DR期間の指示値=-1.0 kWhを想定した場合、1.0 kWhの放電を意味する。蓄電池を制御するためには、ECHONET Liteの蓄電池クラスを利用し、プロパティ充放電量設定1 (EPC=0xE0) に対して値-1000 Whを指定することとなる。

● 電力価格および削減電力量のDRイベント

OpenADRでは、電力価格や削減量に対するインセンティブのDRイベントを扱うことができる。DRイベントの種類は、RTP（リアルタイム料金）、CPP（ピークタイム料金）、PTR（ピークタイムリベート）などを表現できるようになっている。インセンティブ型では、最大使用量を決めるものと、ベースラインからの削減量を基にインセンティブを決定するものがあり、OpenADRでは時間帯ごとの最大使用量、ベースライン、削減量を表現できるようになっている。

これらの情報は消費電力を抑制するための内容を含んでいるが、個別の機器に対する制御内容の情報は含まれていない。このため、アグリゲータは需要家機器に制御を指示するために、DRイベントの要求に見合った機器の制御計画を作成するロ

ジックを持ち、決定された時刻にECHONET Liteの制御命令を送信する。制御計画の作成については、例えば電力価格のDRイベントであればコスト最適な制御計画を作成し、ベースラインからの削減量のDRイベントであれば時刻ごとの消費電力がベースラインを超えないような制御計画を作成することとなる。

企業向けエネルギーサービスへの取組み

DRサービスの導入により、電力供給者はピーク需要に備えた過剰な設備投資を避けられる。一方、需要者にとってもDRサービスを活用することで、エネルギーコストの削減が可能となる。今後、企業などではDRサービスを活用して、時間帯で変化する料金構造に合わせて企業グループ全体の需要を調整し、エネルギーコストを削減する取組みが進んでいくものと思われる。企業グループ全体で最適な需要調整を行うためには、図-4のように購買部門あるいは総務部門が企業内DRアグリゲータとなり、オフィスや各事業所・部門での電力需要の要因分析を行い、企業内でその情報を共有し、需要を調整する仕組みが必要となる。

この企業全体の需要調整の仕組みを実現するためのサービスに向けて、電力の需要を分析し、コスト最適な運用方法を算出する料金シミュレーターを開発した。本料金シミュレーターは以下の電力利用分析と運用シミュレーション機能からな

るサービスを提供する。電力利用分析では、各部門・事業所の電力需要の発生要因を分析することで、DRサービスを活用する際のコスト削減効果を見積もる。運用シミュレーションでは、実際に需要調整を行う場合の、例えば事業所が有する発電設備の利用や生産計画変更などの運用方法やコスト削減効果を評価する。

● 電力利用分析

まずは、電力需要の実績データについてパターン分析や変化点検知などの統計分析技術を用い、DRに対応した需要調整やピークカットによる契約電力最適化のコスト削減効果を予測する。

(1) 電力需要の要因分析

DRサービスなどの新しい料金プラン活用の基礎は、オフィスや工場などの事業所ごとの需要予測のための分析である。過去数年間にわたり、時間帯別、季節別に実績を分類し、電力需要と電力コストの傾向を分析する。事業所のタイプにより、夏の午後に年間需要のピークがくる一般的なケースや、冬季に暖房需要を電気で賄うため、夏と同程度の電力需要が発生するケースなどが分類できる。また将来、太陽光発電の供給過剰が懸念される5月や10月の昼間などの電力需要の傾向も把握し、DRサービスに適した事業所かどうかなどの分析を行う。

更に、気温や湿度などと電力需要との相関を分析し、気象条件に依存する要因の抽出や電力削減対策の可能性を分析する。

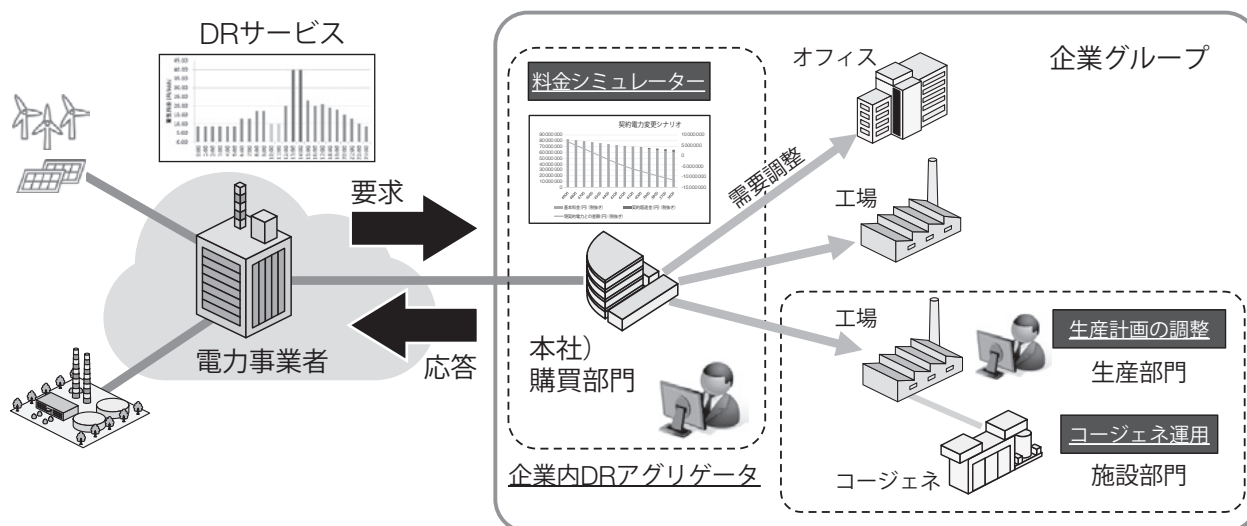


図-4 企業グループ全体のエネルギーコスト最適化

(2) 料金プランの選択と料金シミュレーション

電力需要の変動パターンや季節などの特徴を考慮して、複数の電力会社の料金プランから最適な電気料金プランを抽出する。

分析した電力需要の傾向を基に、DRサービスを利用した場合の電力コストをシミュレーションする。最適なコストを実現するため、需要予測技術に基づいて日々の電力の運用方法などの指針を明確にする。

以上のような分析・評価結果を、企業内DRアグリゲータである購買部門が施設部門や生産部門にクラウド上で提供する。

● 運用シミュレーション

企業内の需要調整手段としては、例えばガスで発電し、その際の排熱を空調に活用するコージェネレーションシステム（以下、コージェネ）などの共通設備の運用や、生産計画調整が考えられる。これらの需要調整手段について、全体としてコスト最適となる運用を実現するためのシミュレーションサービスが重要になると考えられる。

(1) コージェネ運用による需要調整シミュレーション

コージェネ運用では、電気と熱がどの時間帯のエネルギーコストで製造され、また電力需要のピー

クカットにどれくらいのコスト効果をもたらすのかを予測・管理する必要がある。DRイベント時の需要調整量の算出や、電気・ガスのコストを最小化するコージェネの運用時間など、日々の運用方法をシミュレーションする。

(2) 生産計画変更による需要調整シミュレーション

現状の生産計画は平準化が基本とされているが、エネルギーコストの観点では必ずしも最適な運用になっていない。平準化の制約を維持しつつ、数理最適化手法を用いて、異なる消費電力の生産工程をコスト削減効果が最大となるように工程順序を変更する。このような生産計画立案サービスを想定し、生産計画スケジューラーの開発を進めている。

これらのシミュレーションを行う際、それぞれの需要調整は独立事象ではなく依存関係にある。このため、図-5に示すように、コージェネや冷凍機などの共通機器と、オフィスや生産ラインで消費させる電気と熱のエネルギーの流れをモデル化し、総合的な需要調整のシミュレーションを実現した。

このようなエネルギーフローのモデル化により、生産実績ごとのエネルギーコストが容易に算出され、各部門へのコスト^{あんぶん}按分と各部門の需要調整に

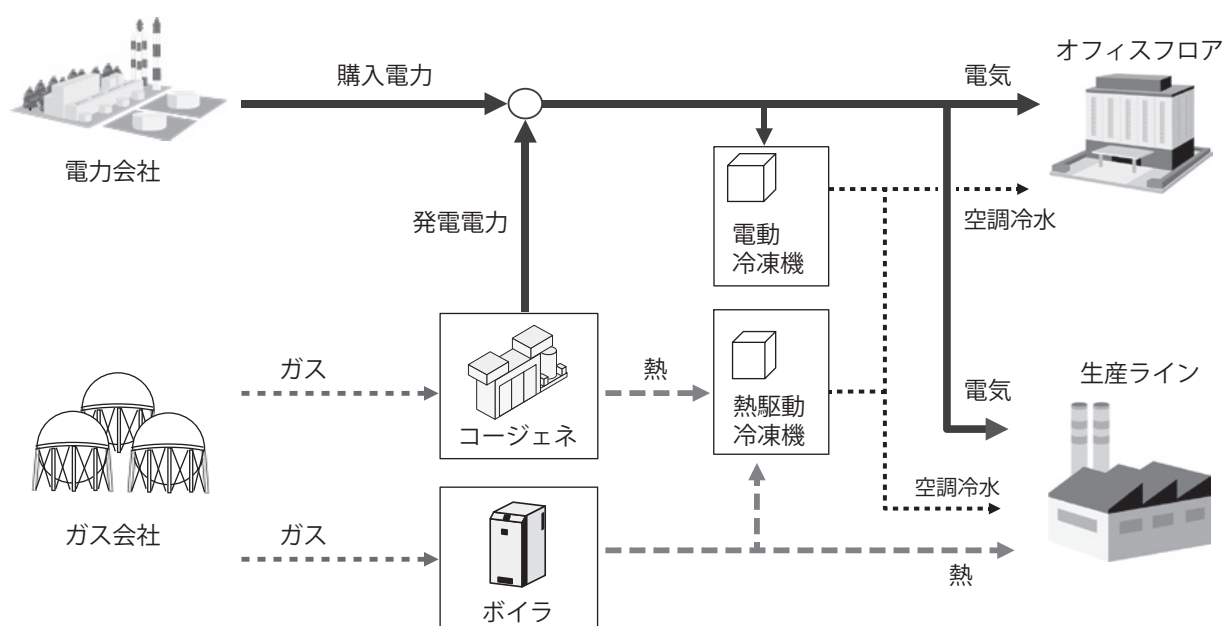


図-5 エネルギーフローモデルの例

よるコスト削減効果を見える化できる。更に、機器や工程ごとに細かく電力が計測されていない通常のケースにおいても、生産計画などエネルギー以外のデータとエネルギーフローとの照合により、より詳細なコスト按分が可能となる。このような運用シミュレーションを利用してコストを詳細に把握し、企業内での需要調整の効率化を推進できる。

む す び

本稿では、電力システムやIoTの標準化推進動向と富士通研究所の取組み、および新たなエネルギーサービスの実現に向けた活動を紹介した。

再生可能エネルギーは普及への期待が高まっているが、発電量の変動が激しくその予測が難しい。そのため、需給バランス維持という観点では取扱いが困難である。この問題を解決するために、電力系統側と連携した需要家領域の情報化が不可欠になってきており、この領域での標準化が活発化している。一方、IoTが実現されつつあることから、今後は高度に情報化された電力システムと融合しながら、新たなエネルギーサービスが実現されていくと考えられる。

参考文献

- (1) 竹林知善ほか：スマートシティに向けたエネルギー需給の最適化技術。FUJITSU, Vol.64, No.5, p.535-540 (2013).
<http://img.jp.fujitsu.com/downloads/jp/jmag/vol64-5/paper12.pdf>
- (2) IEC detailed technical reference document for Smart Grid standardization - Roadmap discussion. IEC SMB Smart Grid Strategic Group(SG3) (2010).
- (3) NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2. NIST 1108R2 (2012).
- (4) 経済産業省 次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に関する研究会：次世代エネルギーシステムに係る国際標準化に向けて。2010.
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g100129d01j.pdf>
- (5) 田中立二ほか：スマートグリッドに関わる情報・通信の国際標準化動向（IEC TC57の標準化動向と日本委員会の対応）。平24電気学会全国大会，2012.
- (6) 園田俊浩ほか：需要家施設エネルギー管理情報モデルデマンドレスポンスから制御への展開－。平26年11月スマートファシリティ研究会，2014.
- (7) IEC 62325-101 ed1.0 withdrawn corrigendum Framework for energy market communications - Part 101 : General guidelines (2005).
- (8) IEC 61970-301 Ed. 2.0 Energy management system application program interface (EMS-API) - Part 301:Common information model (CIM) base (2009).
- (9) IEC 61968-1, 4, 9, 11, 13 Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management (2003-2010).
- (10) OpenADR 2.0 Profile Specification B Profile, OpenADR Alliance (2013).
- (11) Energy Information Standards (EIS) Alliance Customer Domain Use Cases, EIS Alliance (2010).
- (12) Facility Smart Grid Information Model (Review Draft), ASHRAE (2013).
- (13) Zigbee Smart Energy Profile 2.0 Public Application Protocol Specification, Zigbee Alliance (2011).
- (14) IEC Draft TR 62746-2 System Interface between Customer Energy Manager and Power Management System - Part 2:Use Cases and Requirements(2014).
- (15) エコネットコンソーシアム：ECHONET Lite.
<http://www.echonet.gr.jp/>
- (16) 情報通信技術委員会：ホームネットワーク通信インタフェース 実装ガイドライン。TR-1043 v4.1 (2013).

著者紹介



園田俊浩（そのだ としひろ）

ソーシャルイノベーション研究所 所属
現在、エネルギーソリューション関連
の研究に従事。



松倉隆一（まつくら りゅういち）

ネットワークシステム研究所
フロントネットワーク運用管理プロ
ジェクト 所属
現在、ネットワークソリューション関
連の研究に従事。



吉田宏章（よしだ ひろあき）

知識情報処理研究所
データアナリティクスプロジェクト
所属
現在、エネルギーソリューション関連
の研究に従事。



竹林知善（たけばやし ともよし）

知識情報処理研究所
データアナリティクスプロジェクト
所属
現在、エネルギーソリューション関連
の研究に従事。