

# 日本におけるスマートグリッドの動向

林 泰弘 早稲田大学大学院先進理工学研究科



## スマートグリッドの概要

スマートグリッドとは、情報通信技術（ICT）を活用して、電力供給や需要にかかわる課題に対応する次世代の賢い（スマートな）送配電網（グリッド）という概念である。「スマートグリッド」が世界的に注目を集めるようになったのは、2008年に米国のオバマ大統領が、「グリーンニューディール政策」の一環でスマートグリッドへの補助金を導入したのが発端と考えられる。米国では、老朽化が進んだ電力供給のインフラを高度化することがそもそもの目的であったが、温室効果ガスによる地球温暖化防止やエネルギー安全保障の確保の重要性などのいくつかの要因が原動力となり、「スマートグリッド」が世界的に脚光を浴びるようになってきた。

日本では、2011年3月の東日本大震災による電力需給問題を契機に、再生可能エネルギーの固定価格買取制度の導入（2012年7月）や、日本卸電力取引所による分散型・グリーン売買市場の創設（2012年6月）が実施され、今後のエネルギー・環境・経済問題を同時解決する1つのソリューションとして、スマートグリッドへの期待がより一層高まっている。本稿では、スマートグリッドのこれまでの日米欧の動きを概説し、さらに情報処理との関連が深い、我が国のスマートメーターの動向やスマートハウス・ビルの動向、ならびにスマートグリッド関連実証事業の動向を概説する。

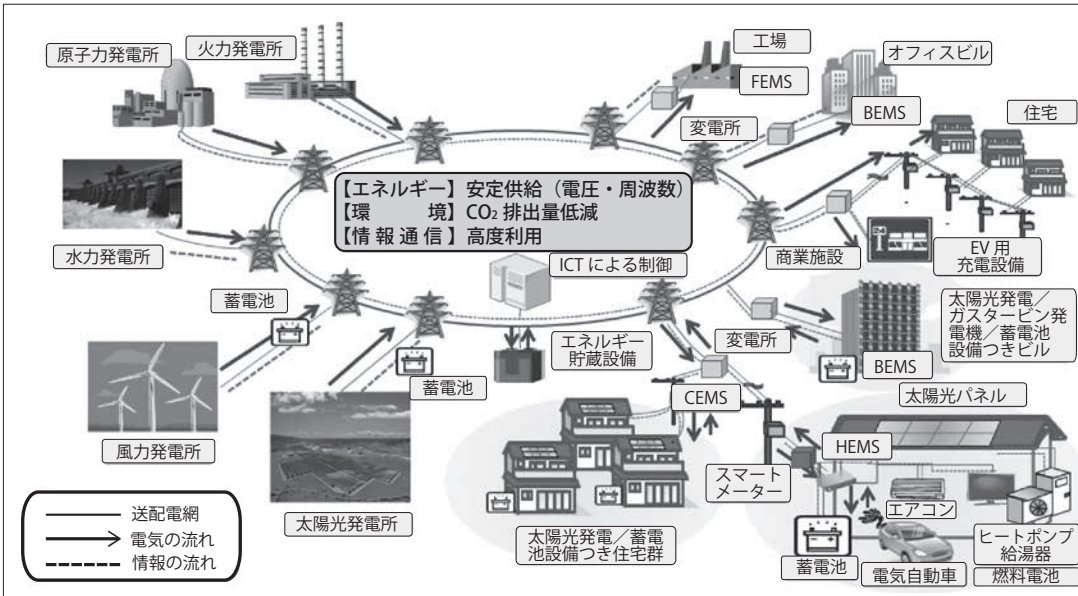
## スマートグリッドを取り巻く動き

スマートグリッドの定義は必ずしも明確ではない

が、あえて一言で述べると、送配電網と情報網の高度融合ネットワークである。その目的は、①需要のスマート化（省エネ、デマンドレスポンス（電力を使う側（需要家）が電力の消費パターンをインセンティブをもとに変更すること）等）、②再生可能エネルギー電源の普及拡大、③送配電網の高度化に大別できる。図-1に示すように、送配電網を構成する電力設備に加え、その運用・制御を支える情報通信機器、電気を利用する需要家機器など電力ネットワークに接続されるすべての設備を含んだ巨大なネットワークとして括ることができる。

スマートグリッドの導入の契機、目的、ならびに対象はそれぞれの国で多少異なり、グリッドの設備形成を含むエネルギー供給政策の進展や、エネルギー戦略、環境政策、経済成長戦略に深くかかわっている。日米欧のスマートグリッドの契機・目的・対象の比較を表-1に示す。

米国では、電力自由化の進展により、多大な設備投資が必要となる電力ネットワークの増強に対する投資が停滞しており、停電発生頻度が高くなっていった。2003年8月の北米大停電では、東京電力の全供給エリアに匹敵する約6,000万kW（完全復旧までには2日以上）が停電し、約5,000万人に影響を与え、その被害額は約50億ドルにもおよび、電力の安定供給能力の強化が喫緊の課題となっていた。加えて、米国では今後も堅調な人口増加が予想され、需要が伸び続ける一方で、発電設備、送配電設備への投資は遅れていることから、これら需要増へ対応しつつ、供給信頼度を維持する方策の1つとして需要抑制やピークカットへの期待や、配電自動化などの設備高度化への期待が高まっている。このような



◀ 図-1 スマートグリッドのイメージ図

▼ 表-1 日米欧でのスマートグリッドに関する比較

	米国	欧州	日本
契機	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電・送電設備のインフラ不足</li> <li>送電混雑多発</li> <li>大規模停電（2003年8月）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電の大量導入</li> <li>大規模停電（2006年11月）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポスト京都議定書</li> <li>太陽光発電の大量導入</li> <li>東日本大震災による大規模電源停止（2011年3月11日）</li> </ul>
主目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>ピーク需要削減</li> <li>需要家情報の積極活用による新たな情報産業育成</li> <li>電力の安定供給能力強化</li> <li>地球温暖化ガス排出量削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電の大量導入に伴う環境産業育成</li> <li>電力の安定供給能力強化</li> <li>地球温暖化ガス排出量削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電の大量導入に伴う環境産業育成</li> <li>電力の安定供給能力維持</li> <li>地球温暖化ガス排出量削減</li> </ul>
主な対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要家を含む配電系が中心</li> <li>マイクログリッド</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>送電系と需要家を含む配電系が別々に対象</li> <li>マイクログリッド</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発送電系と需要家を含む配電系</li> </ul>
優位技術	情報通信技術（ICT）	<ul style="list-style-type: none"> <li>風力発電技術</li> <li>太陽光発電技術</li> <li>標準化技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽光発電技術</li> <li>省エネ技術</li> <li>蓄電技術</li> <li>監視・制御技術</li> </ul>

背景から、ICTを活用し、需要家の電力消費を直接的、あるいは間接的に制御することにより、送配電線の混雑等を回避し、電力の安定供給の確保を図ろうとしている。

欧州では、各国土が陸続きであることから、それぞれの国の電力ネットワークが国際連系されており、図-2に示すようなメッシュ状のネットワーク構成となっている。このネットワークに、CO<sub>2</sub>排出量の抑制やエネルギー安全保障の両立を目的として再生可能エネルギーの導入が促進されており、特に大規模な風力発電の大量連系がなされてきた。一方で、風況に伴う不規則な風力発電電力が大量に電力ネットワーク内に流れ込むことにより、電力ネットワーク全体の安定供給運用が難しくなってきた。2006年には、風力発電出力の想定のがずれがきっかけで、ドイツ、フランス、イタリアなど欧州の11カ国で

大停電（約1,700万kWの停電が2時間）が発生している。欧州では電力の供給力拡大と環境政策の双方の推進のために、風力発電の大量導入をさらに進めており、風力発電の監視・制御の高度化などスマートグリッドの技術開発を中心とした安定供給を維持する取り組みがなされている。

日本は、欧米に比べて人口密度や電力消費密度が高いことに加え、電力系統が図-2に示すようにシンプルな「くし形」に連系しているため、系統上の電気の流れ（潮流）についての監視・制御が容易である。また、早くから配電自動化や系統安定化リレーなどのICTが活用されており、加えて設備建設・保守が適切に行われてきたことなど供給信頼度向上に対する費用対効果が高いことから、各国と比較して高い供給信頼度となっている。その一方で、CO<sub>2</sub>の排出削減や新たな産業の創出を目的に、国策とし

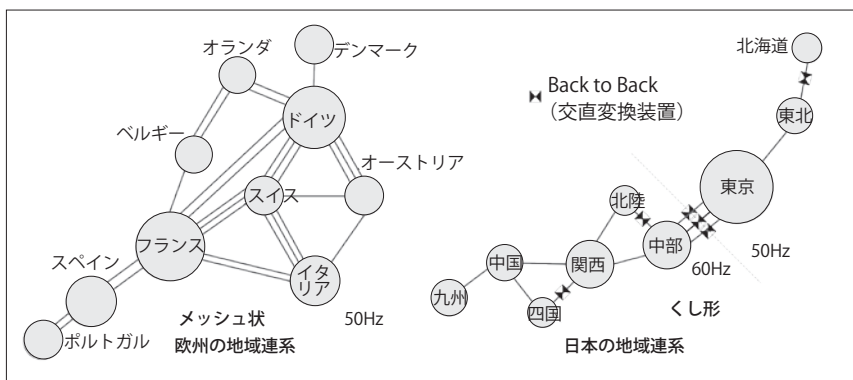


図-2 欧州と日本の電力ネットワーク

て再生可能エネルギー導入量の拡大目標が出されるなど、環境面を配慮した導入が進められてきた。東日本大震災以降は、再生可能エネルギーの固定価格買取制度の施行など制度面での動きが後押しするかたちで、導入量は急増している。

日本の再生可能エネルギー導入の特徴は、補助金や高い買い取り価格の設定などの理由から、住宅用太陽光が導入量の大半を占めている。これらは主として低圧配電系統に設置されるが、連系地点や連系量によっては配電系統の適正電圧逸脱問題（コンセントの電圧が適正範囲の95V～107Vを逸脱してしまう問題）が生じることに加え、需給バランスを崩す恐れがあることなどが指摘されている。したがって、再生可能エネルギーの導入拡大と電圧を含む電力品質の両立が急務となり、スマートグリッドによる高度エネルギー管理への期待が高まっている。

このような我が国の状況下で電力品質を確実に管理していくためには、グリッド側で、住宅、マンション、ビル等の消費電力や発電電力をスマートメーターにより一定時間間隔で自動計測し、計測データを活用しながら電力品質（電圧や周波数）をより高度にコントロールしていく必要がある。一方で、スマートメーターが導入された住宅やビルでは、30分ごとの消費電力や発電電力データが見える化されるようになり、住宅やビル内の消費電力のピークのシフトやカットが格段に管理しやすくなるとともに負担の少ない節電を推進することが可能となる。消費電力等の情報データをスマートメーターとICTで取得し、そのデータを電気事業者側は電力品質のコ

ントロールに活用し、需要家側では建物全体の節電のための監視とコントロールに活用することで、グリッドの電力品質管理と、需要家の無理のない節電を同時に進めることができる。スマートグリッドという、巨大なエネルギーのセンサネットワークを構築する上で、スマートメーターと

それらが設置されたスマートハウス・ビルは重要なコンポーネントとなる。

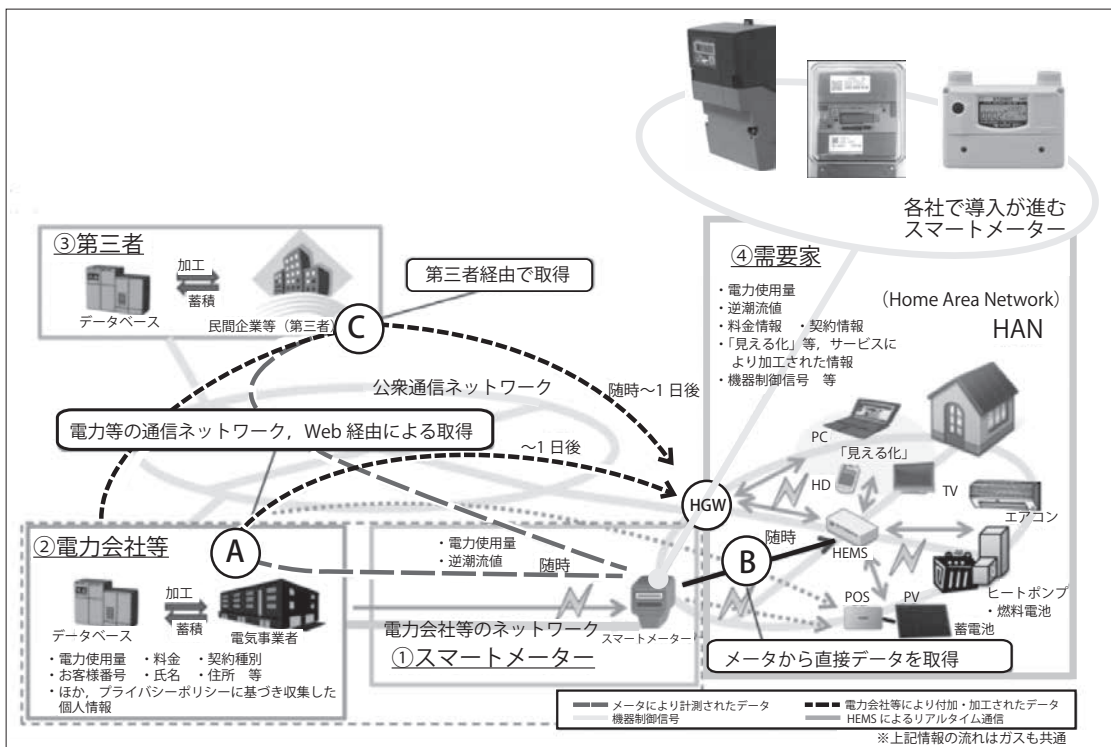
以降では、我が国のスマートメーターやスマートハウス・ビルの導入・促進に向け、国レベルでの動きや、現在の動向および、それらに関連するスマートグリッドの国内実証事業を紹介する。

## スマートメーターの動向

「スマートグリッド」への関心が世界的に高まる中、スマートグリッドを構成する重要な要素の1つである双方向通信機能を有する電子式メータ、いわゆる「スマートメーター」の導入が、さまざまな国において検討または実施されている。

我が国においても、経済産業省は、2010年5月に「スマートメーター制度検討会」<sup>1)</sup>を設置し、2011年2月までの10回にわたる検討会での検討結果等を踏まえ、我が国の省エネ・低炭素社会を実現していくために、エネルギー使用情報を需要家に提供し、需要家はその情報を把握、利用することで、省エネ意識を高め、行動変化を促すことが重要であるとしている。また、電力等使用情報についても、需要家による情報の自己コントロールを確保するという基本的考え方にに基づき、当該情報は電力会社等から需要家に対して適正に提供されるべきものと結論づけている。図-3に、需要家の電力等使用情報の取得ルートと情報内容を示す。情報取得ルートとしては、電力会社等の通信ネットワーク・Web経由による取得（Aルート）、メータから直接デー





タを取得 (B ルート)、第三者経由で取得 (C ルート) の3つのルートが定義されている。報告書では、「費用対効果等を十分考慮しつつ、2020年代の可能な限り早い時期に、原則すべての需要家にスマートメーターの導入が実現されるよう、官民一体となって取り組んでいくことが期待される」という基本的な考え方が示され、スマートメーターの基本要件、導入に向けた課題および今後の対応についてもまとめられている<sup>1)</sup>。また、2010年の約65万台から2020年代のスマートメーターの全戸導入に対し、電力・ガス会社の実証実験と国の対応がどのように連携されていくかが示されている。さらに、メータ情報・機能は必要に応じて適宜見直されることが示されており、ユースケースについては「見える化」からリアルタイム情報を活用した HEMS (Home Energy Management System) による家庭内機器制御への展開が示されている。

一方、2010年6月には、総合的なエネルギー安全保障の強化を図りつつ、地球温暖化対策の強化とエネルギーを基軸とした経済成長の実現を目指すため、改定エネルギー基本計画が閣議決定された。同計画においては、需要家との双方向通信が可能な次

世代送配電ネットワークの構築とともに、「2020年代の可能な限り早い時期に、原則すべての需要家にスマートメーターの導入を目指す」ことが示されており、2020年代に全国で約8,000万個の導入規模になると言われている。また、スマートメーターの導入により、提供されるエネルギー使用情報を活用した新サービスの創出による国民の生活の質の向上、さらには関連産業の創出による経済の活性化 (グリーンイノベーション等) も、期待されている。

## スマートハウス・ビルの動向

スマートメーター、および家庭のエネルギー管理システム (HEMS) の標準化を推進するために、経済産業省は2011年11月のエネルギー・環境会議における決定を踏まえ、スマートコミュニティアライアンス (JSCA : Japan Smart Community Alliance) の国際標準化WGの中に専門の検討を行う場として「スマートハウス標準化検討会」<sup>2)</sup>を立ち上げた。これまではHEMSと家庭内機器とのインターフェースが標準化されておらず、異なるメーカー間の機器の相互接続が困難な状況であったことから、

本検討会では、公知なインタフェースの標準化を行い、異なるメーカー間の機器の相互接続を可能とすることで、「見える化」や自動制御による節電・省エネ等を実現することを目的として検討が進められた。2012年2月に公表の検討会報告書<sup>2)</sup>では以下の決定事項が示されている。

- HEMSの導入と家庭内機器およびHEMSとスマートメーター間の標準インタフェースとしてECHONET-Liteを推奨
- 国内市場への普及と海外市場の開拓のための国際標準化の推進等

また、日本型スマートハウス・ビルのさらなる普及拡大に向けた課題について議論を行うため、経済産業省は前述のJSCAの中に「スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会」<sup>3)</sup>を2012年6月に設置した。この検討会では、重点機器として、スマートメーター、太陽光発電、蓄電池、燃料電池、電気自動車/プラグインハイブリッド車、エアコン、照明機器、給湯器の8機器を特定し、

- ① 重点機器の下位層(伝送メディア)の特定・整備
- ② 重点機器の運用マニュアルの整備
- ③ 他社機器との相互接続検証と機器認証
- ④ 国際標準規格との融合・連携
- ⑤ デマンドレスポンス技術・標準の調査研究

の5つの課題について取り組むこととなっている。特に、課題③への取り組みとしては、相互接続検証や機器認証をサポートするため、神奈川工科大学に「認証センター」が開設され、課題④への取り組みとしては、需要家側のエネルギーマネジメントシステム(EMS: Energy Management System)の海外規格との融合・連携を検証していくために、早稲田大学に「EMS新宿実証センター」が設置された<sup>4)</sup>(2012年11月)。課題⑤では、全国共通に用いるデマンドレスポンスの手法として、既存方式である「OpenADR: Open Automated Demand Response」をベースとして、我が国のニーズに合わせた詳細仕様を策定していくため、「デマンドレスポンスタスクフォース」を検討会内に設置し、現在作業を進めている。

## スマートグリッド関連実証事業

グリッドという大きな対象だけでなく、コミュニティや住宅・ビルなどの需要家を対象とした、グリッドとは異なる目的でのエネルギー管理がスマートグリッドの運用・制御に深くかかわってくる。ここでは、スマートグリッド関連の実証事業として、次世代グリッド、スマートコミュニティ、需要家側エネルギーマネジメントの3つの切り口から、主な事例を取り上げる。

### 次世代グリッド実証事業

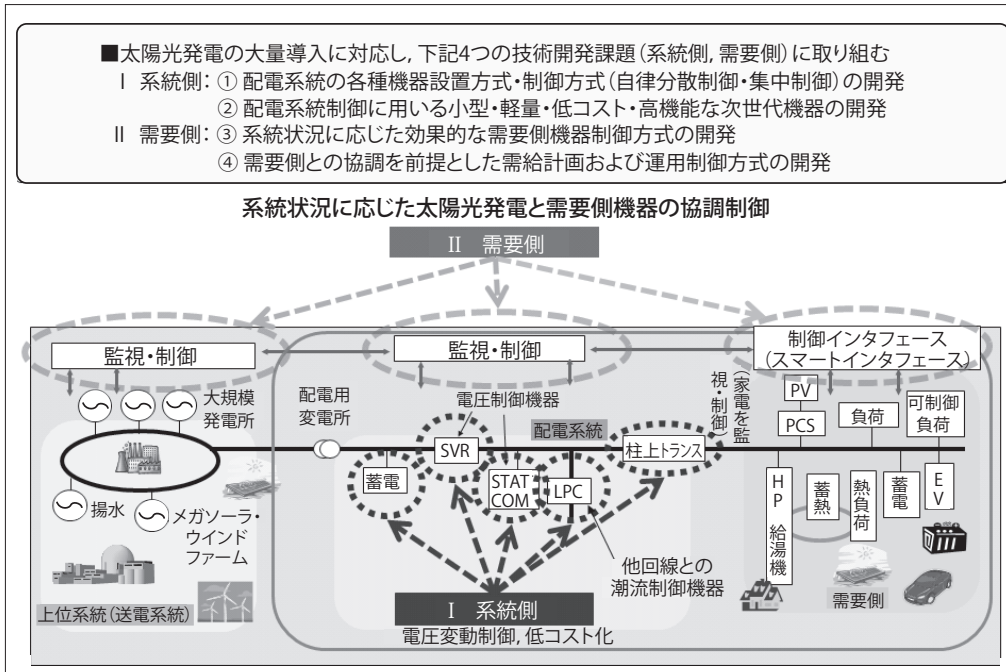
再生可能エネルギーとの調和を目指した実現可能な日本版スマートグリッドの構築に向けて、表-2に示すようなさまざまな実証事業がなされている。とりわけ、「次世代送配電系統最適制御技術実証事業」は、電力系統への再生可能エネルギー大量導入と系統安定化を両立するための諸課題の解決を目的に、経済産業省が公募し、2010年度から2012年度の3年間の実証期間で、東京大学をはじめとする28法人が受託した<sup>5)</sup>。この事業の概要を図-4に示す。電力系統側では、さまざまな電圧制御機器を最適に組み合わせることで配電系統の電圧変動を抑制する技術の確立や、高機能な次世代電圧制御機器の開発などが行われ、配電系統シミュレータ、または配電系統を模擬した実験設備を用いて効果が検証される。需要側では、系統状況に応じて太陽光発電の余剰電力を需要家内に設置された蓄電・蓄熱機器(電気自動車、ヒートポンプ式給湯機など)で効率的に活用する需給制御技術の確立や、需要家内機器制御機能(スマートインタフェース)の開発などが行われ、中央給電指令所の機能を備えた全系統シミュレータを用いて実現可能性の検証が行われる。

### スマートコミュニティ実証事業

地域を対象としたスマートコミュニティに対する実証に向けた取り組みも推進されている。経済産業省より、次世代エネルギー・社会システム実証地域(2010～2014年度)として、神奈川県横浜市、愛

実証事業名称	期間	採択事業者	概要
離島マイクログリッド実証事業	2009～2013	九州電力 沖縄電力	独立した系統となっている離島において、相当量の太陽光発電等を導入するとともに、蓄電池等を活用した系統システムの制御を実証的に行うことを通じて、今後の太陽光発電の大量導入に対応した次世代送配電ネットワーク構築に向けての課題を整理
分散型新エネルギー大量導入促進系統安定化対策事業	2009～2011	10 電力会社	太陽光発電の大量導入による電力系統への影響を見極めるため、全国 100 力所以上で太陽光発電出力や日射量データ等を収集し、太陽光発電の出力変動幅や広域的視点で見た出力の平滑化効果を分析、併せて、太陽光発電の総出力量を推定するための基盤データも取得。
分散型電源大量導入系統影響評価基盤整備事業	2009～2010	電力中央研究所	新エネルギー大量導入時における電力系統への影響等を評価するため、模擬太陽光・模擬風力発電設備、模擬電力設備（発電所、変電所、送電線）や模擬負荷設備等から構成される電力系統シミュレータを構築し、電力系統への影響や系統事故時の現象について実験検証。
次世代送配電系統最適制御技術実証事業	2010～2012	東京大学 東京工業大学 早稲田大学 東京電力 他 24 社	参加事業者の大学・企業・電力会社が共同で、政府が掲げる 2020 年度までに太陽光発電 2,800 万 kW の導入目標の達成に向けて必要不可欠となる、大規模電源から家庭まで発電・送電・配電システム一体となった全体制御・協調による高信頼度・高品質の低炭素電力供給システムの実証。具体的には、配電線電圧上昇・余剰電力発生などを解決するための技術確立や機器開発などを、系統側・需要側両面で取り組む。

▲表-2 次世代グリッドにかかわる主な国内実証事業



◀図-4 次世代送配電系統最適制御技術実証事業の概要<sup>4)</sup>

知県豊田市、京都府けいはんな学研都市、福岡県北九州市の4地域が公募選定され、2010年8月には、各地域の次世代エネルギー・社会システム実証マスタープランが公開されている<sup>5)</sup>。

一例として、横浜市の『横浜スマートシティプロジェクト (YSCP)』のイメージを図-5に示す。集合住宅に太陽光発電、燃料電池、太陽熱、電気自動車 (EV : Electric Vehicle) を導入し、住棟内で、電力・熱を融通したり、大規模のリチウムイオン電池 (1MW) を変電所に設置し、家庭の蓄電池と仮想的に1つの蓄電池として制御 (蓄電 SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition) を行

い、HEMS, BEMS (Building Energy Management System), EV データセンターと連携して太陽光発電の出力変動を吸収する実証試験等のさまざまな取り組みを行っている<sup>6)</sup>。

### 需要家側のエネルギーマネジメント実証事業

東日本大震災以降の電力需給の逼迫を背景に、需要家のエネルギー管理、制御の重要性が高まり、電力使用情報の見える化や、柔軟な電気料金メニューなどを起点にした需要応答 (デマンドレスポンス) を実現するための、通信・制御技術に基づく枠組みの構築が急務となった。これを受け、複数メー



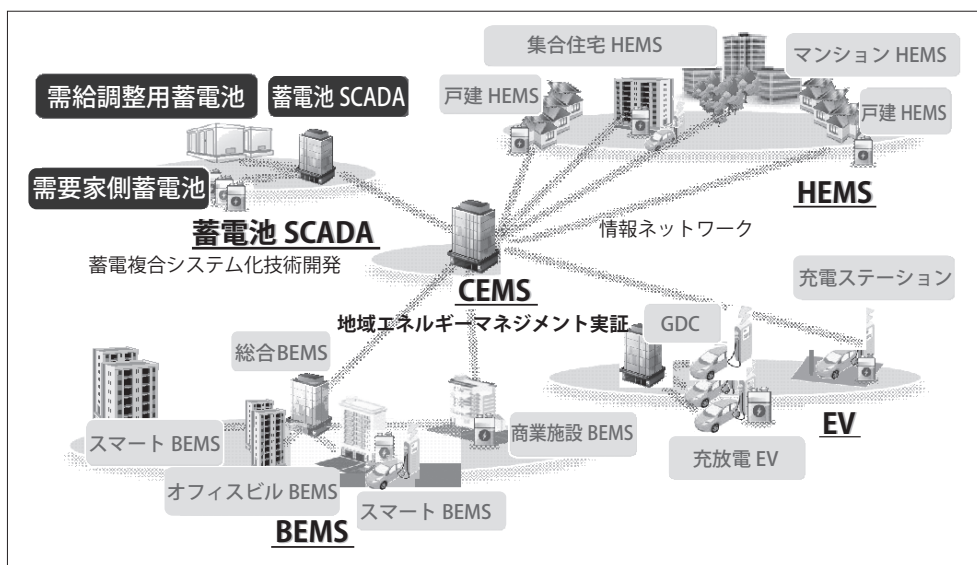


図-5 横浜スマートシティプロジェクトの実証イメージ

カの機器をまとめたエネルギー管理・制御技術開発を実施するための中立的な支援環境、および電気事業者で今後開発されるスマートメーターやデマンドレスポンス・システムとの連携を検証する環境を提供するために、経済産業省スマートハウス・ビル標準化・事業促進検討会の活動の一環として、電気事業者、通信事業者、関係メーカーなど業界を代表する25社と共同で、早稲田大学に実証環境を構築し、2012年11月にEMS新宿実証センター<sup>4)</sup>を開設した。実証期間は2012年度から2014年度の3年間を予定している。同センターでは、図-6に示すように、デマンドレスポンスサーバ (Grid EMS)、配電系統模擬システム (Active Network Simulator With Energy Resources : ANSWER)、スマートメーター、HEMS、エネルギー機器を統合的に接続したエネルギーマネジメントシステムの通信・制御環境を構築している。この環境下で、標準通信規格(日本推奨のエコーネットライト (ECHONET Lite) や米国のSEP (Smart Energy Profile) を実装したHEMSを用いて、電力のピークカットやピークシフト等のデマンドレスポンス技術の実証・評価を行う。さらに、国内の関係企業のさまざまな技術検証ならびに異なるメーカー間の相互接続実証を通じて、日本の目指すデマンドレスポンス技術の標準的な枠組みを提言するとともに、各企業の事業化支援も目的としている。

## まとめ

海外に端を発したスマートグリッドであるが、東日本大震災以降、その構築に向けての動きが加速され、今後、我が国では、再生可能エネルギー電源の導入、スマートメーターやスマートハウス・ビルの普及などが促進されていくであろう。再生可能エネルギー源による不確定な発電出力や、デマンドレスポンスによるスマートハウス・ビルの需要家主体の消費電力変動など、これまではほとんどなかった双方向の電力の往来がグリッド内で頻繁に発生することとなる。これに伴い、電力の監視、予測、運用、制御にかかわる電力、電圧、電流、メッセージなどの情報データもこれまでにないほど往来する。

このような状況下で、安定に電力を供給して、経済的な長期運用を実現可能とするスマートグリッドを確立させるためには、先進技術(情報通信技術、情報処理技術、最適化技術、高度監視・制御技術、パワーエレクトロニクス技術、蓄電池技術など)を駆使して、グリッドのエネルギーフローをこれまで以上に高度に予測・運用・制御していく必要がある。再生可能エネルギー電源の発電電力や、住宅やビルなどの消費電力を少ない入力データで高精度に予測する予測技術の開発、配電線に設置された少数のセンサから計測される電圧データにもとづく自律型や集中型の電圧制御プログラムの開発、時間帯別電気

料金メニューに対応した住宅内の蓄電池やヒートポンプ給湯機などの可制御機器の自動予測制御技術の開発など、どのような情報をどれだけ取得し、それらをどのように最適に処理して目的を最小コストで達成するのかは、まさに情報処理技術の今後の研究開発にかかっているといても過言ではない。

我が国も含め、世界各国のグリッドがその未来をも含めて、社会からこれほど注目されたことは過去にない。すべてのエネルギー機器はスマートグリッドにつながり、電気エネルギーだけでなく、これまでは測定されずに利活用されていなかった多種多様な情報も行き来することから、周辺機器も含めてその市場規模は大きく、さまざまな業種のビジネスチャンスを生む可能性がある。また、国際規格を満たせば、海外のさまざまな国のグリッド市場への参入も可能となり、ビジネスチャンスはさらに広がる。社会インフラであり国民の生活を支えるグリッドは、上手くいかなかったから新しくグリッドをゼロから造り直すというわけにはいかず、年月をかけて、現在のグリッドからスマートグリッドへと着実に移行していかなければならない。

スマートグリッドの構築には、情報分野の技術が不可欠である。情報分野と電力・エネルギー分野との融合／境界領域による技術開発も含め、情報分野の今後ますますの技術研究・開発に期待したい。

参考文献

1) 経済産業省, スマートメーター制度検討会, [http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/report\\_001.html](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/report_001.html)

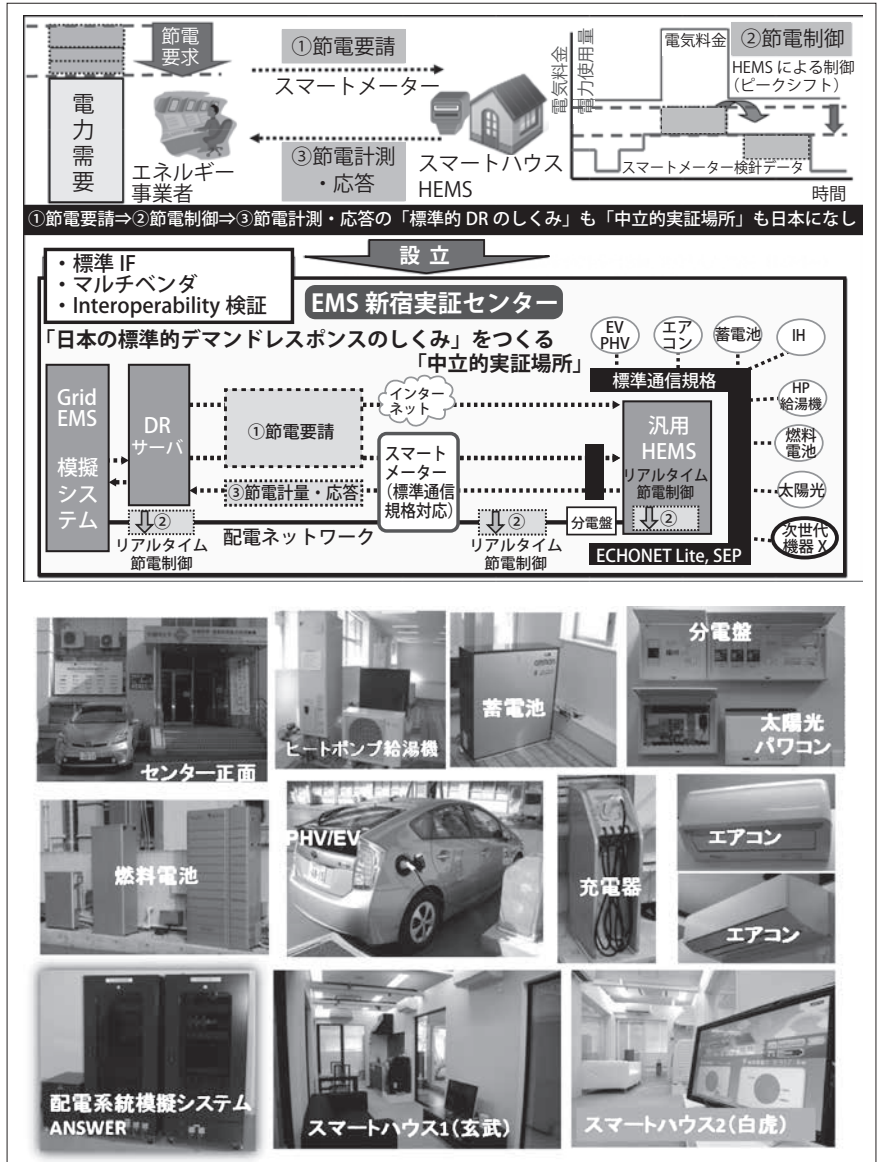


図-6 EMS 新宿実証センターの概要

2) 経済産業省, スマートハウス標準化検討会, [http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011\\_04\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011_04_01.pdf)  
 3) 経済産業省, スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会, <http://www.meti.go.jp/press/2012/06/20120622010/20120622010.html>  
 4) 東京電力, <http://www.tepco.co.jp/cc/press/10052103-j.html>  
 5) 経済産業省, 次世代エネルギー・社会システム協議会, <http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004633/index.html>  
 6) 経済産業省, スマートハウス・ビル普及のための実証センター・認証支援センター開所, <http://www.meti.go.jp/press/2012/11/20121101003/20121101003.html>  
 (2013年2月19日受付)

林 泰弘 hayashi@waseda.jp

1994年早稲田大学院理工学研究科博士後期課程(電気工学専攻)修了。茨城大学講師、福井大学准助教授を経て、2009年より早稲田大学大学院先進理工学研究科電気・情報生命専攻教授に至る。早稲田大学先進グリッド技術研究所所長を併任。主に分散型電源が連系された電力システムの計画・運用・制御の高度化、スマートグリッドの最適な計画・運用・制御の技術開発に従事。電気学会上級会員、IEEE会員、博士(工学)。2008年電気学会学術振興賞(論文賞)受賞。