

連携記事

日本型スマートグリッドの現状と今後の動向

The Present Status and Future Trend of Smartgrid in Japanese Context

横山明彦

東京大学 新領域創成科学研究科
教授

Akihiko Yokoyama

1 はじめに

今、世界中でスマートグリッドに注目が集まっている。スマートグリッドとは「賢い電力系統」のことであるが、この電力系統のスマート化には、各国それぞれに違いがある。わが国では、すでに、送電網には大停電防止のために、また配電網には停電事故区間の検知とその切り離しのためにそれぞれ自動化システムが導入されており、情報通信システムを用いた高信頼度な電力系統が構築されている。今後、CO₂排出削減を目指した低炭素電力系統を実現するために、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギー電源を大量に系統に連系することが期待され、また計画されているが、それによって発生する電力系統における課題をできるだけ低コストで効果的に解決する新たなシステムを構築することがわが国の電力系統のスマート化である。この日本型スマートグリッドを構築するのに必要な要素技術、システム化技術を実証するための国家プロジェクトもすでに始まっている。

一方、本年3月11日の東日本大震災とそれに伴う福島第一原子力発電所の事故により、東京電力管内では計画停電も実施され供給信頼度が大きく崩れた。今後も需給逼迫が懸念される東日本50Hz地域においても、これまで検討されてきた電力系統のスマート化は貢献できるものである。

本稿では、この日本型スマートグリッドの背景、機能、実証プロジェクトなどについて述べる。

2 大量の再生可能エネルギー導入時の系統課題

わが国は、太陽光発電 (Photovoltaic Generation 以降、PVと呼ぶ) を2020年までに2800万kW、2030年までに5300万kW導入する目標を掲げ、このために、昨年よりPVの余剰電力買取制度を始めている。加えて風力発電や地熱発電、バイ

オマス発電などの再生可能エネルギー電源もできるだけ導入するために、PVの余剰電力買取制度を改め、再生可能エネルギーの全量買取制度を始めようとしているところである。

特にわが国では、再生可能エネルギー電源の中でもPVを全国に大量導入することから、電力系統において次の3つの課題が発生することが懸念されている。

- ①余剰電力問題：電力需要の極めて少ないゴールデンウィーク、年末年始、春秋の土日などの特異日に総供給電力が電力需要を上回ることがある。
- ②周波数変動問題：PVや風力発電の天候の変化からくる出力変動により電力需給の短周期成分の不均衡度合いが大きくなるとともに、並列運転する火力発電所数が減少し、周波数制御のための調整容量が不足し、周波数変動が増大することがある。
- ③配電線の電圧上昇問題：PVの電力の家庭から配電線への逆潮流により配電線の電圧が制限値を超えて、PVが停止することがある。

以上の課題を解決するために、わが国の資源エネルギー庁では次世代送配電ネットワーク研究会、次世代送配電システム制度検討会、スマートメーター制度検討会などを立ち上げ、技術的な検討とともに制度的な検討も行い、日本型スマートグリッド実現へ向けてのロードマップを作成し、短・中期の検討課題を整理したところである¹⁾。

3 日本型スマートグリッドの要素技術

スマートグリッドは、世界中のそれぞれの国、地域の事情に応じて検討されていると言ってよい。日本型スマートグリッドとは、図1に示すように、今後大量に導入されるPV、風力発電などの再生可能エネルギー電源を、電力系統の火

力、水力、揚水発電所、蓄電池などの蓄電装置、需要家機器である電気自動車、ヒートポンプ式給湯機などと双方向通信システムを介して協調制御し、安定的に電力供給を行う電気エネルギー供給システムと言うことができ、社会コストを最小にして実現することが求められている。以下に、要素技術について述べる。

3.1 蓄電池による余剰電力制御

図2に示すようなPV大量導入時の系統課題の一つである特異日などに発生する余剰電力に対しては、大量の電力を貯蔵する装置を設置するのが有効な対策である。現在の電力系統では、揚水発電所が唯一の大容量電力貯蔵設備であるが、将来、経済的かつ大規模に開発可能な地点は少ないと言われている。そこで、大容量の蓄電池に期待が集まっており、現在、NaS（ナトリウム・硫黄）電池が商用化されており、この他にリチウムイオン電池やニッケル水素電池などが研究開発されている。しかし、これらの蓄電池のコストは現在かなり高く、先の資源エネルギー庁の研究会において、2030年時点での5300万kWのPV導入に対して、次節で述べるように特異日にPV出力を抑制しても6兆円程度、2020年時点での

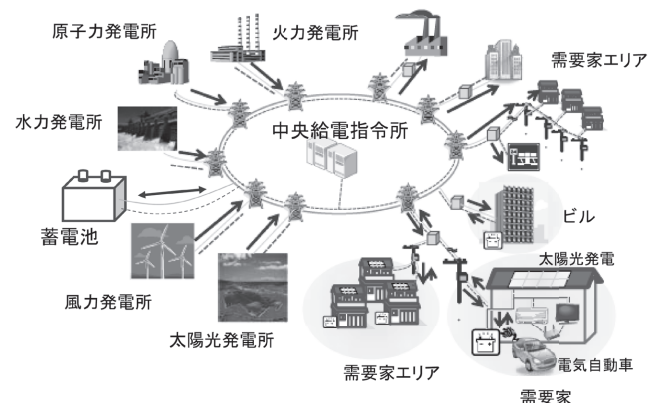


図1 日本型スマートグリッドの概念図
矢印は電力の流れ

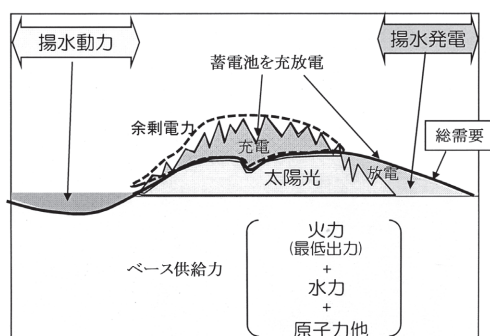


図2 余剰電力の発生

2800万kWのPV導入に対しては、3.5兆円程度かかると試算されているところである。PV出力を抑制しない場合は、2020年で16兆円程度とも試算されている²⁾。したがって、この莫大な費用をできるだけ削減する工夫をすることもスマート化の一つとなる。

本年3月11日の東日本大震災によって、東京電力、東北電力管内は電力不足に陥っているが、ベース電源である原子力発電の停止による電力不足を補うために大量のPVや風力発電が導入された場合においても、この電力貯蔵装置が需給調整に大きく貢献することは言うまでもない。現在、これらの大容量蓄電池を送電網、配電網などに導入する際の系統との統合的な制御方法について検討する実証試験も行われている。

3.2 PVの出力抑制制御

前述の蓄電池の設置量をできるだけ少なくするために、低コストで確実な方法としては、まずPVのパワーコンディショナー（PCS）に外部から出力抑制信号を送信し、出力抑制を行うことが考えられている。図3に示すように、PCSに出力を抑制する日、時間帯などをあらかじめメモリーしておくカレンダー機能に加え、外部からFM多重放送や携帯電話の一斉配信機能を用いてこのカレンダー情報を書き換えるなどの技術が必要となる。この機能を装着したPCSについては、通信も含めた実証試験とともに標準化も重要となる。これは、現在、次の4章で述べる実証試験の中で実施されているところである。

3.3 需要家機器の協調制御

需要家では、今後、CO₂排出削減のためにエネルギー利用効率のより高いヒートポンプ式給湯機（HPWH）、電気自動車（EV）が普及するものと期待されている。今回の東日本大震災で、停電に備えて、非常用電源として小容量の蓄電池を導入する家庭も少なからずあるのではと思われる。このような需要家機器には、電力を貯蔵する機能があり、これを需要家の利便性を損なわないように、需給制御に利用できる可能

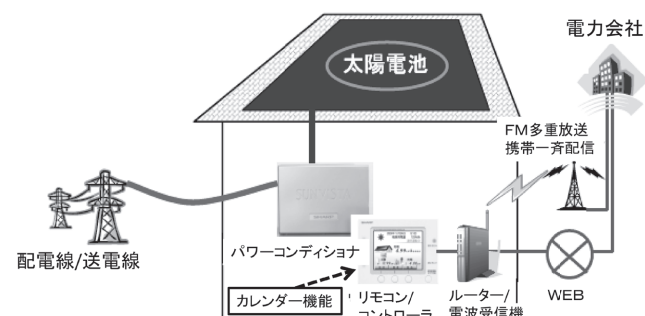


図3 通信によるPVの出力抑制制御

性がある。また、PVの大部分は、一戸建ての屋根に設置される。そこで、図4に示すように、これらの需要家のPVと可制御負荷機器を、電力系統の需給状態つまり供給力不足、供給力過剰の状態に合わせて協調制御するのである。

一つの考え方は、系統側から、PVの大量出力により系統全体で供給過剰にあるという信号が来ると、需要家の中で、PVの出力をHPWHの貯湯槽に熱エネルギーとして貯蔵したり、EVや蓄電池に充電したりする。これらの機器が利用者の利便性の観点から使用できない場合には、PVの出力を抑制する。他方、供給力不足にあるという信号が来ると、HPWHの使用を止めるなど電力使用をできるだけ別の時間帯にシフトし、EVや蓄電池から放電を行う。

このような制御を行うスマートインターフェースの機能は、需要家のホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)やスマートメーターにあっても、テレビやパソコンにあってもよい。将来、需要家にこれらの機器が大量に導入されると、需要家の利便性を考慮しても相当量の需給バランスを調整する容量を期待することができるのではないかと考えている^{3,4)}。

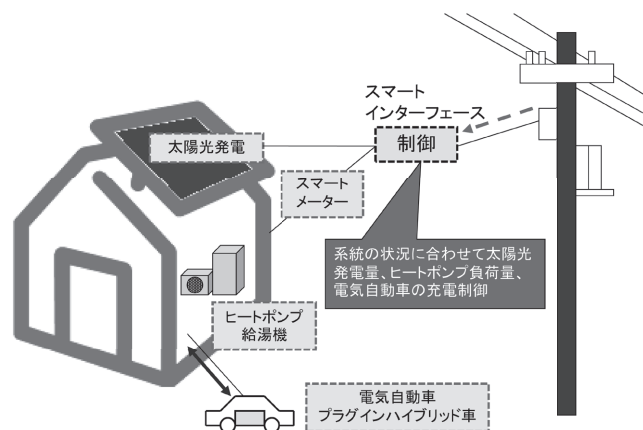


図4 スマートインターフェースと需要家機器の制御

3.4 スマートメーター、スマートインターフェースによる 需要の見える化、遠隔制御

東日本大震災に伴う電力需給逼迫により、今夏にかけて節電を行わなければならない状況になっているが、各家庭では、現在、どの機器がどれだけ電力消費をしているかの見える化ができていないために、節電を効果的に行うことが難しいのではとされている。前節3.3で述べた需要家機器の協調制御をつかさどるスマートインターフェースに、スマートメーターなどからのデータを表示する機能、及びスマートメーターによる需要家への引き込み線を遠隔でオンオフ制御する機能、これを一段とスマート化した各需要家で使用可能な上限電力を遠隔で設定する機能などを持たせることで、効果的なピーク電力の削減、電力系統との協調制御を行うことが可能になると考えられる。

3.5 配電網自動電圧制御

需要家のPVより配電線に大量の電力が流れ込み、配電線の上流の配電用変電所に向かって流れることを逆潮流と呼んでいる。通常は、配電用変電所から放射状に延びている高圧配電線の末端に向かって電力が流れており、電圧が配電線に沿って下がってくる。これを、配電線の途中でSVR (Step Voltage Regulator) と呼ばれる自動電圧調整機器のタップを調整して電圧を上昇させて、すべての配電線において電圧を適正範囲内に収めようと制御している。PVによる逆潮流によって、図5に示すように、この電圧分布が大きく変わり、配電線末端の電圧が上昇し、配電用変電所に向けて電圧が下がることになり、配電線末端付近の需要家などで電圧が適正範囲の上限値を超えることがある(図5中①)。この場合、現在では、PVのPCSがその需要家のPVを停止するようになっている。この問題を解決するためには、配電線にパワーエレクトロニクス技術を応用したSVC (Static Var Compensator) やSTATCOM (Static Synchronous Compensator) と呼ばれ

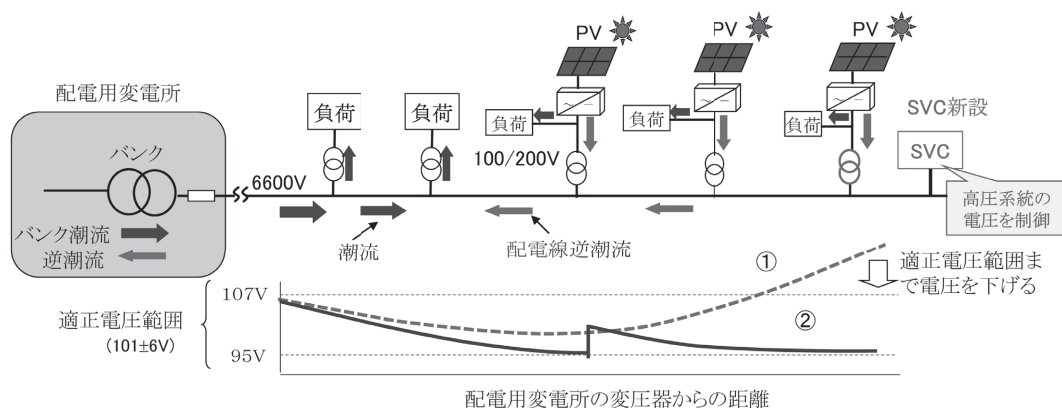


図5 PVによる配電線の電圧上昇

る静止型無効電力補償機器を設置し、各需要家のPVのPCSも含めて無効電力制御を行うことで電圧を適正範囲内に維持することができる(図5中②)。この機器を配電網で使用できるようにコンパクト化、低損失化するハードウェア技術及びその制御技術、配電網とこれらの機器との通信技術の開発などが必要となる。

3.6 大量のPVを考慮した系統需給制御技術

将来、PVを始めとする再生可能エネルギー電源が大量に導入され、それによって天候に依存した不確実な発電量が多くなると、需要家の制御可能な負荷機器や系統に設置された蓄電池も含めて火力、水力、揚水発電所を電力会社の中央給電指令所(中給)がリアルタイムで最適に制御する必要がある。これには、20分くらい先から1時間先、そして1日先、2日先までの幅広い時間レンジのPVや風力発電の出力(kW)をできるだけ精度に予測することが重要で、それによって中給から発電所や需要家に、需給バランスをとるための適切な制御信号を送信することが可能となる。

大量のPV発電量の予測できない急激な変動は、需給制御を難しくし、需給アンバランスによる周波数異常、停電を回避しようとする、バックアップとして大量の調整用火力発電機や蓄電池を並列運転する必要がある、それによって経済性が悪化することを認識しておく必要がある。

3.7 双方向通信技術

以上述べてきた制御には、需要家内でのスマートインターフェースと需要家機器との通信、ある数の需要家群とその近くの配電網内の情報集積装置との間のいわゆるラストワンマイルの通信、及び電力会社の中給やローカル制御センターと配電網内の情報集積装置との通信がキーとなる。家庭などの需要家内では、電力線搬送(PLC)、Blue Tooth、ZigBeeな

どの小電力無線による通信が、ラストワンマイルでは、PLC、小電力無線、WiMAXなどが、電力会社と配電網内の情報集積装置との間では、光ファイバ、メタル(xDSL)、PLCなど様々な方式が考えられ、地域、用途などに応じてどのような通信手段と通信データ項目が適切であるかなどを検証する必要がある。

4 日本型スマートグリッド 実証プロジェクト⁵⁾

2020年のPVの2800万kW導入に対して、余剰電力問題と配電線電圧上昇問題を社会コストミニマムの観点から解決するために、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協調制御技術を開発実証する資源エネルギー庁の補助事業「次世代送配電系統最適制御技術実証」が昨年度より3年間の予定で始まっている。本事業は、東京大学を始めとする大学、電力会社、重電・家電等のメーカー、商社など28法人が結集し、オールジャパン体制で行われている。図6に本事業の概要を示す。ここでは、系統の上流から下流の需要家までの幅広い範囲で、4つの課題に分けて開発実証を行っている。以下にその課題について簡単に説明をする。

4.1 配電系統の電圧変動抑制技術の開発(課題①)

配電線の電圧を適正範囲に維持するために、配電網に設置される負荷時タップ切替変圧器、自動電圧調整装置(SVR)、静止型無効電力補償装置(SVC、STATCOM)、配電線ループコントローラーなど新旧の電圧調整装置そしてPVのPCSなどを用いた新しい集中型や分散型の制御方式を考案し、配電系統アナログシミュレータを用いて検討する。

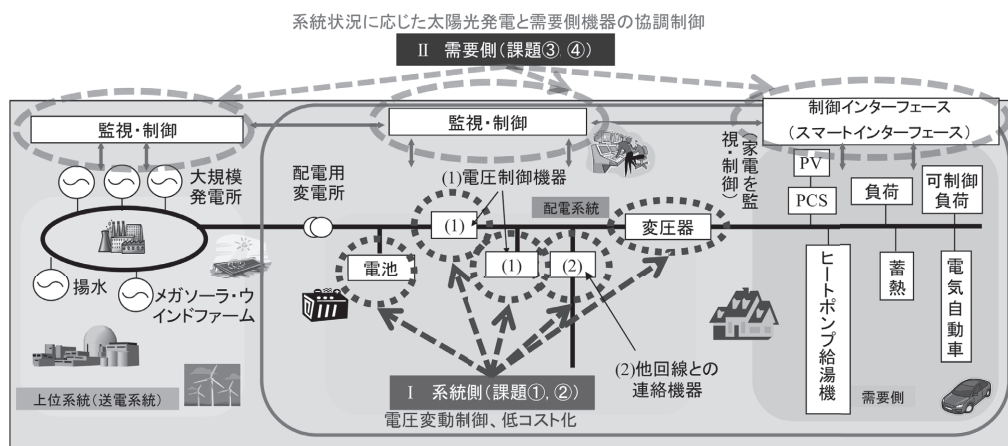


図6 次世代送配電系統最適制御技術実証の概要

4.2 次世代変換器技術を応用した低損失・低コスト機器開発 (課題②)

上述の課題①の配電線の電圧制御のために、新しい回路方式を適用した電柱の上に設置が可能なコンパクト、軽量で、低損失、低コストの機器を開発し、テストフィールドで試験評価を行う。

4.3 系統状況に応じた需要側機器の制御技術の開発 (課題③)

前節3.2、3.3、3.4に述べた需給バランスが崩れた場合に対する需要家に設置されるスマートインターフェース、PV、HPWH、PVの協調制御について、実機を用いて実運用を想定した制御ソフトウェアとハードウェアの動作検証試験、双方向通信の信号伝送試験を行うとともに、次の課題④の系統需給制御システムに適用可能な負荷モデルの作成を行う。

4.4 系統全体での需給計画・制御、通信インフラの検証 (課題④)

前節3.6で述べた中給における電力系統の需要・PV予測機能、運用計画機能、需給制御機能からなる需給制御システムの開発を行い、それを組み込んだ電力系統全体のデジタルシミュレータを用いて、対策装置コスト、CO₂排出削減量、運用リスクなどを定量的に評価し、最適な系統全体の需給制御方式の検証を行う。また、電力系統と需要家との間の双方向通信におけるセキュリティについて検討を行う。

みについて、系統課題、それを解決する技術、実用化に向けた実証試験を紹介した。このスマートグリッドは、再生可能エネルギーを最大限電力系統に取り入れ、低炭素社会を実現するためのハードウェア、ソフトウェア技術である。本年度からは、配電網と家庭のスマートインターフェースとの間の双方向通信に関する実証試験も予定されている。この日本型スマートグリッドの概念に、熱・水素エネルギーシステム、交通システム、家庭のHEMSなどを幅広く取り込んだ社会システム全体をスマート化する次世代エネルギー・社会システムを構築する実証事業もわが国の4地域で行われている¹⁾。このような取り組みにも、日本型スマートグリッドと同様に、社会コストを最小にすることが重要であることは言うまでもない。それには、標準化も重要な要素である。今後の技術開発、社会実証、世界標準の動向に注目したい。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁ホームページ,
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/k_9.html
- 2) 資源エネルギー庁, 次世代送配電ネットワーク研究会報告書2010年4月,
<http://www.meti.go.jp/report/data/g100426aj.html>
- 3) 益田泰輔, 郡司掛安俊, 横山明彦, 多田泰之: 電気学会論文誌B, 131 (2011) 1, 9.
- 4) 清水浩一郎, 益田泰輔, 太田豊, 横山明彦: 電気学会電力・エネルギー部門大会, (2010), 4, 02-29.
- 5) 横山明彦, 赤木泰文, 石井英雄: 電気評論, (2010), 10, 26.

5 おわりに

本稿では、日本型スマートグリッド構築に向けての取り組

(2011年5月10日受付)