

高効率・高信頼度の電力供給システムの開発

スマートグリッド技術

小林 広 武

太陽光発電等の再生可能エネルギー利用電源の電力系統への円滑な導入と有効利用、エネルギーの効率的利用、省エネルギー等、環境問題や電力供給力不足問題への有力な対応策の一つとして期待されているスマートグリッド技術について、(財)電力中央研究所の取り組みを中心に、研究開発状況と今後の課題について示す。

キーワード：スマートグリッド、太陽光発電、系統連系、電力品質、余剰電力、HEMS、HP 式給湯機

1. はじめに

低炭素化社会の実現に向け、我が国では、太陽光発電(PV)を中心とした分散形の再生可能エネルギー電源の電力系統への導入が進められている。一方、これによって、送電線や配電線といった電力系統の電気の品質、事故時の安全性、および安定性が低下する可能性がある。このため、将来に渡って、電力系統と調和の取れた導入と有効利用を図るためには、電力系統側、分散形電源を含めた需要家側ともに、新たな対策が必要になるものと考えられている。また、3・11震災後は、供給力不足により、エネルギー有効利用や省エネへのニーズが更に高まっている。

これらの課題への対応として、情報通信により、電力系統、分散形電源、需要家間を有機的に結び、全体で効率よく安定的にエネルギーの供給・利用を図るスマートグリッドへの注目が高まっている。国レベルでは、2009年度から2010年度にかけて、政府補助事業を中心に、スマートグリッドに関わる各種の実証プロジェクトが開始された。これに先立ち、電力中央研究所(電中研)では、2003年度より、PVを中心とした分散形電源大量連系時の技術的課題の解明と、配電レベルでの対策技術開発として、通信やパワーエレクトロニクスを活用した次世代形配電システムである「需要地系統」の研究開発を進めて来た。さらに、2008年度からは、PV 5000万kW超の将来の系統全体への大量導入に対応するための技術として、送電系統や、負荷調整などの需要家側の対策を含めた将来の電力供給・利用システム「次世代グリッド」の概念を提案し、総合的な研究・開発を進めている。

本稿では、再生可能エネルギー電源のうち、我が国で最も大量に導入されることが見込まれているPVに焦点を当て、大量導入時の電力系統運用上の課題、ならびに、対応策として、電中研が提案している次世代グリッド技術を中心とした日本型スマートグリッドのコンセプト、および、その中の要素技術である、需要地系統技術、PV余剰電力対応の需給一体化形運用・制御技術、通信ネットワーク技術等のこれまでの研究成果について述べる。

2. 日本の電力供給システムとPV大量導入時の課題

(1) 電力供給システムの現状

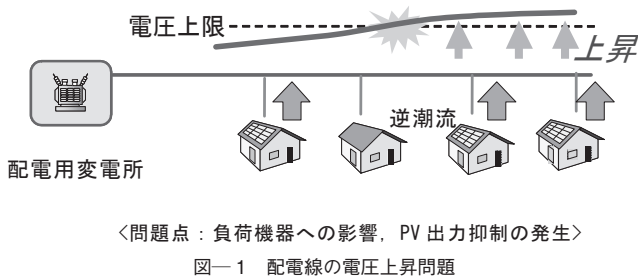
現状、電力会社では、天気予報や季節・曜日などの情報をもとに翌日の需給計画を立て、当日運用においては需要と供給のバランスを常に保ち、電圧や周波数が適正値になるように各発電設備の運転を行っている。また、送電線や配電線からなる電力流通ネットワークでは、各需要家に品質の高い電気を安全に送り届けることができるように、落雷などによる事故時を含め、時々刻々変わる系統状況に対応した的確な監視制御を行っている。これらにより、わが国の電力系統は、これまで世界一の供給信頼度を保ってきた。

(2) PV大量導入時の課題

このように高い供給信頼度を確保しているわが国の電力系統だが、PVを中心とした分散形電源が大量に導入された場合には種々の問題の生じる可能性がある。PVについては、その導入ポテンシャルの高さか

ら、国では2030年までに住宅を中心に5300万kWの導入を目標（2011年5月時点）としているが¹⁾、この5300万kWという値は、電気事業用の全発電設備容量の2割を超えた大きな量となる。

このように、PVが電力系統に導入されると、住宅など需要家内で余った電力が配電線に逆潮流として流れ込み、この結果、図-1に示すように、配電線の電圧が上昇し、負荷機器に悪影響を及ぼす可能性がある。また、導入量が1000万kW程度以上になると、需要の少ない中間期（春、秋）において系統全体での供給電力が消費電力を上回り余剰電力が発生したり、日射量の急変により系統全体での出力変動量が大きなものとなり、周波数の変動を招くなど、系統全体の安定運用に支障を来す可能性がある。このため、将来にわたり、PVの電力系統と調和のとれた円滑な導入と最大限の利用を図って行くためには、これらの課題に対する新たな対策技術を構築して行く必要がある。



3. 提案する日本型スマートグリッド（次世代グリッド）の概念と開発課題

わが国では、表-1に示すように、政府補助事業

を中心に、上述した各種課題への対応技術、さらには分散形電源を含めたエネルギー有効利用技術や省エネ技術を含めた、スマートグリッドに関わる種々の実証プロジェクトが進められている。これらのプロジェクトはいずれも開発の緒についたところであり、今後の成果が待たれるところである。ここでは、一部国プロの技術的ベースにもなっているもので、電中研が提案している日本型スマートグリッドの概念と開発課題を中心に紹介する。

電中研では、PV大量導入への対応を中心に、日本型スマートグリッドともいうべく、将来の低炭素社会に向けた日本型の電力供給・利用インフラの研究、開発を進めている。これを次世代グリッドと呼んでいる。次世代グリッドの構成イメージを図-2に示す。これは、前述したわが国の現状の電力供給システムをベースに、これらを更に改良・発展させるものである。

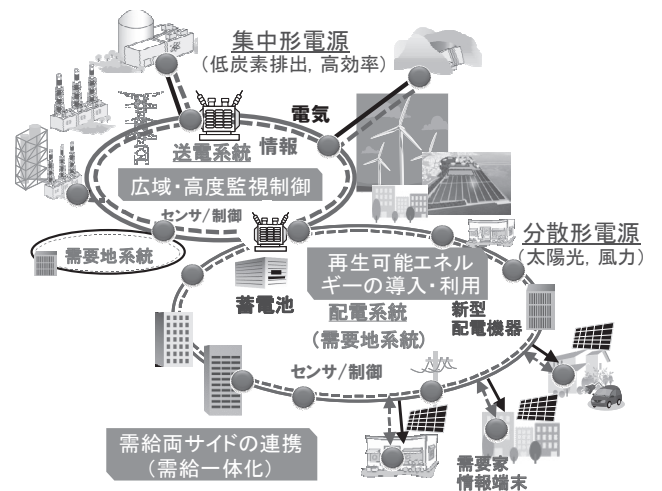


表-1 国が関与する主なスマートグリッド関連実証プロジェクト

事業名	内容	実施者
離島独立型系統新エネルギー導入実証事業 (エネ庁, H21-)	離島マイクログリッドの開発	沖縄電力, 他
分散型電源大量導入系統影響評価基盤設備事業 (エネ庁, H21-)	電力系統シミュレータによる系統影響実験・評価	電中研
分散型新エネルギー大量導入促進系統安定対策事業 (エネ庁, H21-)	全国300地点の日射量・PV出力の同時実測・評価	電力各社
負荷平準化機器導入効果実証事業 (エネ庁, H21-)	スマートメーターの実証	東電, 関電
米国ニューメキシコ州における日米スマートグリッド実証 (NEDO, H22-)	日米共同でのスマートグリッド技術の実証	メーカー等
次世代送配電系統最適制御技術実証事業 (エネ庁, H22-)	次世代スマート送配電技術の実証 (電圧変動, PV余剰電力対策)	大学, 電力各社, 電中研, メーカー等 (28法人)
分散型エネルギー複合最適化実証事業 (エネ庁, H22-)	コージェネと再生可能エネルギーの運用最適化	都市ガス振興センター
次世代エネルギー・社会システム実証事業 (エネ庁, H22-)	スマートコミュニティの実証	横浜市, 豊田市, けいはんな学研都市, 北九州市

すなわち、電気と情報・通信との融合によって、電気の供給・利用を相互に結びつけ、経済性（社会コスト最小化）も考慮しながら、低炭素電化社会に向けて必要と考えられる3つの要件、①不安定なPV大量導入の中でも安定運用を確保すること、②導入された再生可能エネルギー電源については、その最大限の利用を可能にすること、③全体対策コストの低減を目標に、系統側と需要家側が一体となった運用制御を可能にすることを満たす全体調和的なインフラの構築を目指すものである。

また、電中研では、これに先行して、2003年度より、PVを中心とした分散形電源大量連系時の技術的課題の解明と、配電レベルでの対策技術開発として、通信やパワーエレクトロニクスを活用した次世代形配電システムである「需要地系統」の研究開発²⁾を進めてきた。現在は、需要家を含めた需要地系運用制御技術に加え、送電系の運用制御技術、共通インフラである情報通信技術、パワーエレによる変換機技術、等の全体を網羅した以下の各種研究開発を進めている。

①需要地系統の需給一体化運用・制御

上述の電中研が提案した「需要地系統」において、新たに供給側と需要家側を連携し、PV大量導入時の余剰電力問題や電圧問題、さらにはピーク削減などの負荷平準化問題に低コストで対応する需給一体形の運用制御手法の開発。

②次世代情報・通信インフラの構築

自動検針、情報提供、需給一体形の運用・制御など、需要家との双方向通信を行うための高セキュリティ需要地系通信インフラの開発。また、高度な系統監視制御のための広域・高速制御ネットワークや設備保全のためのセンサネットワークの開発。

③需要地系統と協調した基幹系統の運用・制御

PV等が大量導入された場合の予備力確保など需給運用への影響や、基幹系（送電系）への影響を定量的に検討するための解析技術の開発。また、これを用いた影響評価と需要地系等との協調を考慮した対応技術の開発。

④デマンドレスポンスの評価

需要家が電気の利用状況や価格情報を受けて、機器の利用を変化させる「デマンドレスポンス」について、わが国での効果や、考えられるメニューについて検討・評価。

⑤次世代流通機器の開発

送配電設備や変電設備の経年リプレース時での導入を考えた、環境性、コンパクト性、効率性、安全性に優れた電力流通機器の要素技術の開発。

4. 研究開発結果

(1) 次世代型配電システム（需要地系統）技術

需要地系統の概念構成を図-3に示す。同系統は、①コスト抑制の面から、既存の配電設備の有効活用を図りながら極力シンプルな構成で、分散形電源の導入・運用形態や負荷の需要形態によらず、電力品質の維持や事故時の保護保安を可能とする系統、および、②情報通信技術を利用した分散形電源を含む需要家機器の間接的または直接的制御により、省エネ、経済性、安定供給を達成する系統、を基本コンセプトに置いたものである²⁾。①に関しては、分散形電源が一つの配電線に集中連系した場合、配電線電圧・潮流制御技術として、図-4に示すパワーエレクトロニクスを利用した双方向形の電流・電圧調整装置のループコントローラ（LPC）を開発した²⁾。これにより、長さ3km～4kmの配電線（住宅1000軒～1500軒に配電）の末端部同士を接続し、例えばPVにより電気の余っている配電線から負荷のみの配電線に電気を流し、安定に利用するものである。太陽光発電等の分散形電源の無効電力制御との協調も考慮した、本装置による配電線電圧・潮流の集中制御方式を開発し、実証評価した結果、図-5に示すように、本技術により、住宅地域でPVが一つの配電線に集中連系した場合、配電線設備容量の100%までの導入が可能になることを明

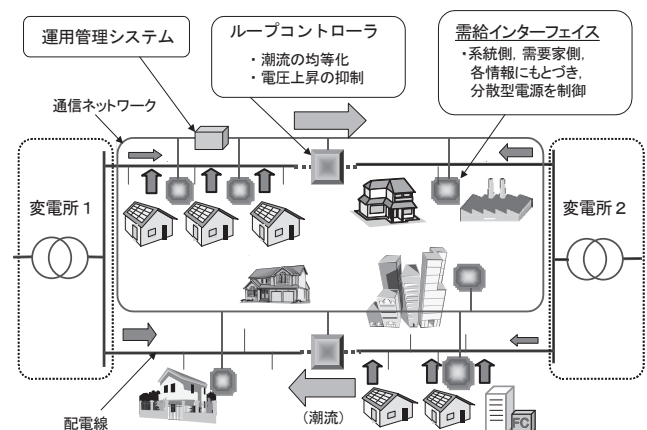


図-3 需要地系統の基本構成

・二つの配電用変電所からの配電線をLPCによりループした例

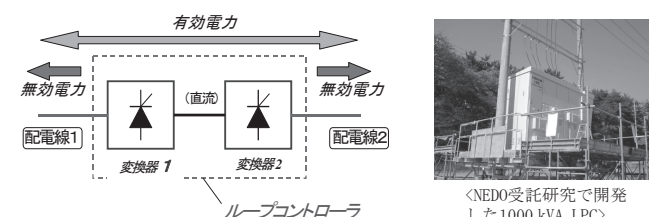
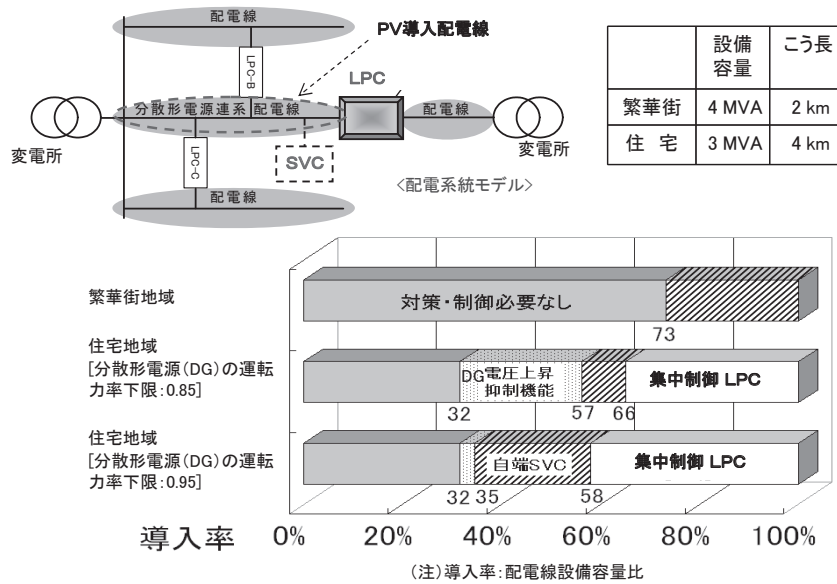


図-4 ループコントローラ（LPC）の構成と開発試作機



図一5 分散形電源 (PV) の導入地域・導入率に応じた電圧適正化方式

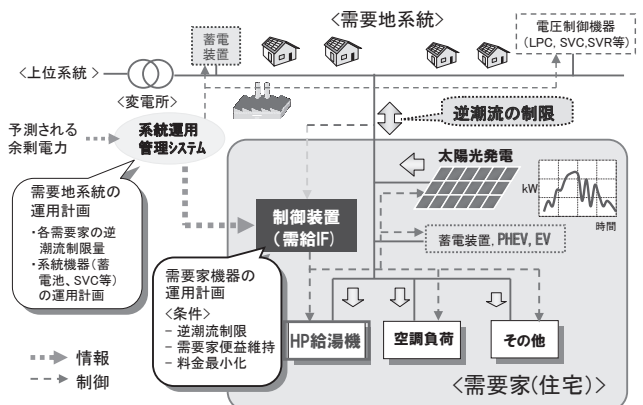
らかにした。また、分散形電源を併用し、配電線事故時に健全区間を自立運転させて停電区間の最小化を図る系統運用制御方式を開発した²⁾。②については、各需要家において、需要家内情報や料金等を含めた各種の系統情報をもとに、分散型電源や負荷を自律的に管理・制御する装置(需給インターフェイス)の適用を考え、これまでに、概念設計を行うとともに低圧需要家を対象とした系統事故時の自立運転方式を開発した²⁾。

以上の開発技術については、シミュレーションによる解析ならびに実証試験により妥当であることを検証し、これにより、一つの配電線のみへのPV集中導入に関しては住宅3軒に2軒程度、配電系統への分散導入に関してはループ系の特徴を生かせるレベルとして、住宅3軒に1軒程度までの導入を可能とする基本技術を確立した²⁾。これは、PVが今後とも住宅を中心に導入が進むものとする、2030年までの国の導入目標5300万kWの半分程度に相当する。

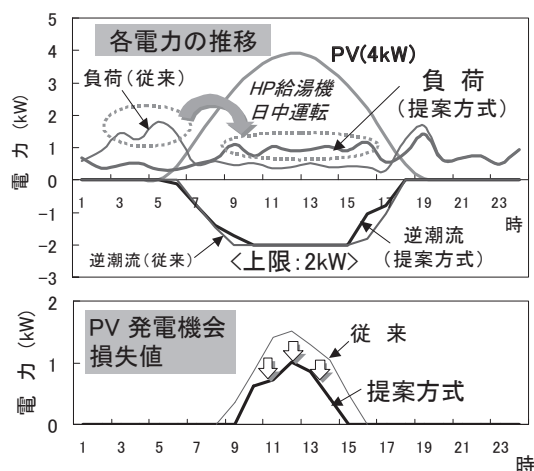
(2) 需給一体化運用制御技術

需給一体形運用・制御に関しては、将来技術として、PVの大量導入量時の余剰電力対応技術の開発を進めてきた。余剰電力への対策としては、カレンダー機能等により、余剰電力の発生が見込まれる期間において、PVの出力を自動的に絞ったり、蓄電装置の利用が考えられているが、ここでは、PV設置需要家を対象に、給湯機等の負荷を自動的にPV発生時間帯に移行し、余剰電力を有効活用するものである。これにより、PVの有効利用を図りながら、発電機会損失(発電出力を絞ることによって失われる電力量)や高価な蓄電装置の必要容量を低減させ。さらに、本技術は、逆潮

流の抑制につながるため、配電線の電圧制御機器の容量低減効果も期待できる。図一6は、太陽発電導入システムの余剰電力を有効活用する需給一体化運用・制御の一例で、PV大量導入時において、需要家内の温熱機器等の運用を工夫することによって、系統への逆潮流の抑制や軽負荷時におけるPVの余剰電力を有効活用するものである。これにより、PVの発電機会損失の低減、変動を吸収する蓄電装置や電圧制御機器、さらにはPVの出力変動を補償する他の発電設備の必要容量を低減させる。こうした需給一体的な運用を実現するためには、電力会社との双方向通信の構築、PV出力の予測、利便性への影響など様々な課題を解決する必要がある。電中研では、これまでに、HP式給湯機を対象に、統計的手法を取り入れ、翌日等のPV出力の予測がある程度はずれた場合でも、系統への影響や需要家の利便性への影響を最小限に抑える需要家内の需給運用計画手法などを開発した³⁾。また、図一7に示す例のように、実証とシミュレーションにより、



図一6 PV余剰電力対応の需給一体形運用・制御方式の概念



図一七 需要家内運用計画手法適用時の各電力とPV発電機会損失の時間推移例（5月快晴日、シミュレーション結果）

PV発電機会損失を30～50%低減できる見通しを得ている⁴⁾。

今後は、国プロでの実証も含めて、系統との連携・協調を考慮しながら、太陽光発電の余剰電力対策や出力変動対策の検討をさらに進めるとともに、ピーク需要削減等の負荷平準化も同時に実現する、需給一体化運用制御方式を構築して行く予定である。

(3) 次世代通信ネットワークシステム

次世代グリッドにおける通信インフラ技術として、①需要家との連携や分散形電源・配電系統の運用管理などのための需要地系セキュア通信ネットワーク、②広域系統の監視・保護制御のための広域・高速制御ネットワーク、および、③電力設備保全高度化のための設備保全センサネットワークについて、それぞれ要素技術開発を進めている。

このうち、需要地系セキュア通信ネットワークについては、需要家と電力会社が情報連携するための需要家ゲートウェイについて、自動検針用の国際標準通信規格（IEC 62056）を適用した場合のデータ伝送性能について、計算機を用いた模擬装置により評価した。その結果、一部、分散形電源の高速制御（遅延制約が数十ミリ秒）に対しては適用できない可能性があるが、その他のアプリケーションは支障なく情報伝送できることを明らかにした⁵⁾。その他、広域・高速制御ネットワークでは、多様な系統監視・保護制御システムを低コストで一元的に実現するための技術として、標準的な広域イーサネット技術や高精度時刻同期方式

（IEEE 1588）、ならびに計測・演算・制御などの機能や各種アプリケーションをモジュール的に実装する方式について、複数のプロトタイプ装置を試作して評価した。その結果、保護に必要なマイクロ秒オーダの時刻同期や、異なる装置の機能モジュール間での連携動作が実現できることを確認した⁶⁾。

5. おわりに

我が国において、大量導入が見込まれる太陽光発電を中心に、再生可能エネルギー電源大量導入による電力系統の運用に与える影響を示すとともに、対策技術として、電中研が提案している次世代グリッド技術を中心に、日本型スマートグリッドのコンセプト、ならびに、その要素技術である、需要地系統技術、需給一体化運用・制御技術、次世代通信ネットワーク技術、等のこれまでの研究開発成果について報告した。

今後、日本型スマートグリッド技術の構築のためには、さらにピーク需要削減などの負荷平準化や省エネルギー化も目標におきながら、これらの要素技術開発をさらに進めるとともに、標準化や制度面の整備も視野に入れた、総合的な実証開発が重要となる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 総合資源エネルギー調査会 需給部会「長期エネルギー需給見通し」平成20年3月
- 2) 小林、石川、浅利、岡田、上村、八太、大谷：「需要地系統の運用制御技術の開発」、電力中央研究所総合報告R08、2008年
- 3) 浅利、所：「需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流制御方式—予測の不確実性を考慮したヒートポンプ式給湯機の運用計画—」、電力中央研究所研究報告R08025、2009年
- 4) 浅利：「需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流制御方式の開発（年間シミュレーションと実証試験）」、電力中央研究所研究報告R09023、2010年
- 5) 大谷：「自動検針用国際標準通信プロトコルの基本特性と次世代グリッドへの適用可能性評価」、電力中央研究所研究報告R09009、2010年
- 6) 芹澤、藤川、大場、田中、松浦、佐藤：「汎用・標準技術に基づく次世代広域系統監視・保護制御ネットワークのプロトタイプ設計と評価」、電力中央研究所研究報告R09011、2010年

【筆者紹介】

小林 広武（こばやし ひろむ）
 勸電力中央研究所
 システム技術研究所 需要家システム領域
 上席研究員

