特集「太陽光発電とスマートグリッド」

解説

太陽光発電大量導入時の課題と日本型スマートグリッドの開発

小林 広武

Issues on Large Penetration of PV Power Generation
and Development of Japanese Style Smart Grid

Hiromu KOBAYASHI

Synopsis: In Japan, large penetration of PV power generation is expected as a measure to cope with global environmental issue and energy security. The penetration may cause deterioration of stability, power quality and safety of the utility grid. In the paper, issues on the grid operation due to the large penetration of PV power generation are introduced. Concept of proposed Japanese style smart grid including distribution system area, transmission system area and customer side to cope with the issues and R&D results concerning the smart grid techniques using ICT, power electronics, demand side management, etc. are indicated based on CRIEPI's research experiences to date.

Keywords: Demand side management; ICT; power electronics; PV power generation; smart grid

1. はじめに

低炭素化社会やエネルギーセキュリティの確保に向けて、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大量導入が見込まれている。これにより、電力系統における電力品質、安全性、および安定性が低下する可能性があり、将来に渡って、電力系統と調和の取れた円滑な導入と有効利用を図るためには、電力系統サイド、分散形電源を含めた需要家サイドともに、新たな対策が必要になるものと考えられる。また、これら分散形電源のエネルギーを効率よく活用するための技術開発も必要とされている。

これらへの対応として、2009年度から2010年度にかけて、国の補助事業を中心に、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。これらに先立ち、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きた。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、基幹系統や負荷調整などの需要家サイド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・開発に着手している。

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分散形のPVに焦点を当て、同電源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、当所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

2.1 電力供給システムの現状

わが国の電力供給システムは、戦後復興期の全国的な需要の急増に対応するため、全国を9地域に分け、地域内での需給バランスの確保と緊急時の相互融通を基調として計画的に整備が進められてきた。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。

例えば、こうしたきめ細かな監視制御に必要となる通信インフラについては、原子力発電や火力発電の集中形電源を含んだ基幹系統から配電系統まで整備されている。これにより、基幹系統では、事故時を含み、電源と送電系統が一体となった高度な系統制御が行われている。配電系統でも配電自動化に活用され、配電線に分散配置された開閉器を遠隔制御し、事故時等の停電時間の極小化を図っている。これらにより、わが国の電力系統は海外と比較して既に十分スマート化されており、世界一の供給信頼度を保っている。

2.2 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系統であるが、PVを中心とした分散形電源が大量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の導入を目標としているが¹⁾、この5300万kWという値は、現在運転中の原子力発電設備容量を若干上回る極めて大きな量であり、電気事業用の全発電設備容量の2割を超える。

このように、PVが電力系統に導入されると、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、配電線全体の電圧の上昇を招き、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以上の大量になると、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、これらにより、周波数の変動を招くなど系統全体の安定性に支障を来す可能性がある。さらに、PVに使用されるインバータ（太陽電池の直流電力を交流電力に変換する装置）は、従来の回転形発電機と異なり慣性がなく、一般的に瞬低などの系統の過渡的なじょう乱に対して運転状態を維持する能力が弱い。これにより、同じょう乱時にインバータが一斉に停止し、その結果、系統全体の需給バランスが崩れ、同じく系統安定性に大きな影響を与える可能性がある。

このため、今後、PVの電力系統と調和の取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といえる。例えば、電力系統の電圧や潮流を能動的に制御する系統制御機器や電力貯蔵装置の系統への導入が挙げられる。また、これらの新型装置や通信システムを利用した系統全体の新たな需給計画・運用制御方式の開発も必要となろう。さらに、対策に要する費用（社会コスト）の低減を図るため、各需要家への情報・通信ネットワークの整備とともに、必要に応じた需要家個々の分散形電源の制御や、消費電力

〈問題点：負荷機器への影響、PV出力抑制の発生〉

図1 配電線の電圧上昇問題

など各種情報のリアルタイムでの提供とそれにもとづいた負荷の自律的調整（需給一体形制御）なども検討すべき課題と考えられる。

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の有効活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開始された。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。ここでは、一部国プロの技術開発の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述べる。

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称している。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。すなわち、電気と情報・通信との融合によって、電気の供給・利用を相互に自律的に結びつけ、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、基幹系の運用制御技術、共通インフラである情報通信技術、パワーエレクトロニクスによる変換機技術等、全体を網羅した以下の各種研究開発を進めている。

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

図2 次世代グリッドのイメージ

①需要地系統の需給一体化運用・制御

新しい配電系統として当研究所が提案してきた「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、需給一体型の運用・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統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統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. これまでの研究開発成果

4.1 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・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。①に関しては、分散形電源が1フィードに集中連系した場合を想定し、同フィード設備容量の100%までの導入を可能にすることを目標に、配電線のループ運用を考えるとともに、同ループ点に設置し、線路事故時の対応を含め、配電線電圧・潮流を能動的にコントロールする装置として、図4に示すパワーエレクトロニクスを利用したBTB形ループコントローラ（LPC）を開発した。また、同装置を活用したもので、通信利用の集中制御による配電線の適正電圧維持方式、ならびに分散形電源を併用し、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、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、シミュレーションならびに実証試験により妥当性を検証し、これにより、配電線1フィードのみへのPV集中導入に関してはフィード容量の100%、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、50%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。

図3 需要地系統の基本構成

(a) LPCの回路構成

(b) 開発したLPC装置(実証用)

図4 LPCの構成と開発装置(NEDO受託研究)

今後の課題としては、上記LPC等の特にパワーエレクトロニクスを利用した配電系統制御機器の一層の低コスト化、コンパクト化が挙げられる。例えば、SiC等の次世代型半導体デバイスや、マルチレベル変換方式等の新しいスイッチング方式を採用した機器開発が望まれる。

4.2 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大量導入量時の余剰電力対応技術の開発を進めている。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律的にPV発生時間帯に移行し、余剰電力を有効活用しようとするものである。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）や蓄電装置の必要容量を低減させる。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5は、太陽発電導入系統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発電機会損失（余剰電力発生防止により失われる電力量）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6に示す例のように、実証

図5 PV余剰電力対応の需給一体形運用・制御方式の概念

図6 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)

とシミュレーションにより、PV発電機会損失を30～50%低減できる見通しを得た⁴⁾。

今後、基幹系統との連携・協調を考慮しながら、余剰電力対策や出力変動対策の検討をさらに進め、国プロでの実証も含めて需給一体化運用制御方式を構築して行く予定である。

4.3 基幹系統の運用・制御

PV大量導入の系統大での影響評価に必要な評価技術、ならびにモデルの開発を進めている。このうち平常時については、電源の構成(供給力の構成)への影響が考えられることから、長期的な需給計画の評価技術として、PVを考慮した見込み不足日数(LOLP)の評価手法を開発した。また、PV出力は正確な予測が難しいことから、その出力予測誤差を補償するための火力発電などによる大きな調整力が必要になると考えられる。このため、これらのPV出力予測誤差対応分も含めた必要調整力の評価手法を開発した。これらの手法を用いたモデル検討により、長期の需給計画の評価ではPV出力が時間帯により変化することへの考慮が必要であること、必要調整力においてはPV出力予測誤差の影響が大きいことなどを明らかにしている。

一方、基幹系統における事故時の影響評価を行うためには、基幹系から見た系統事故時のPV応動モデルを構築する必要がある。このため、電中研既設の電力系統シミュレータ設備を拡充し、導入時の系統事故時の特性を実験的に把握する作業を進めている(国補助事業による)。

4.4 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を、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⁾。

広域・高速制御ネットワークについては、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⁾。

4. あとがき

我が国において、将来、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時の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述べた。

今後、日本型スマートグリッド技術の構築のためには、これらの要素技術開発を進めるとともに、さらに、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考える。

(平成23年2月3日受付)

参考文献

- 1) 総合資源エネルギー調査会 需給部会 (2008): 長期エネルギー需給見通し, 68
- 2) 小林広武 (2008): 需要地系統の運用制御技術の開発, 財団法人 電力中央研究所 システム研究所, 電力中央研究所総合報告R08, 2
- 3) 浅利真宏 (2008): 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法-, 財団法人 電力中央研究所 システム研究所, 電力中央研究所研究報告 R08025, 2

- 4) 浅利真宏 (2010) : 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), 財団法人 電力中央研究所 システム研究所, 電力中央研究所研究報告R09023, 2
- 5) 大谷哲夫 (2010) : 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, 財団法人 電力中央研究所 システム研究所, 電力中央研究所研究報告R09009, 2
- 6) 芹澤善積 (2010) : 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, 財団法人 電力中央研究所 システム研究所, 電力中央研究所研究報告R09011, 2