

太陽光発電の大量導入に対応した 次世代配電監視制御技術

Next Generation SCADA and Control Technologies for Large-scale PV Integration in Distribution Network

渡辺 雅浩 Watanabe Masahiro
大西 司 Onishi Tsukasa
大森 隆宏 Omori Takahiro
寺田 博文 Terada Hirofumi
足立 昌宏 Adachi Masahiro
稲垣 勝敏 Inagaki Katsutoshi

今後の太陽光発電の大量連系を想定すると、配電系統では電圧面などの電力品質維持と設備の高効率利用が重要になる。日立グループは、これに対応し、センサー内蔵開閉器や自動検針システムの導入と情報通信網の整備、制御機器の開発、運用監視制御の高度化に向けて技術開発に取り組んでいる。

このうち、配電系統の電力品質維持に貢献する配電監視制御システム技術、電圧制御装置の研究開発は、太陽光発電など分散電源の大量導入時の品質維持、対策コストの最小化、事前対策検討の迅速化に寄与し、CO₂削減にもつながるものと考えられる。

1. はじめに

近年、太陽光発電〔以下、PV (Photovoltaic) と記す。〕の導入量は年々増加しており、国内では2020年に28 GW相当、2030年には53 GW相当が政府の導入目標として掲げられている。また2020年の導入目標のうち、7割が一般住宅への導入と想定されており、大半が配電系統に連系されることが予想される。こうした配電系統へのPV大量導入に対する課題として、次のような項目を考慮する必要があると、対応技術の開発が進められている。

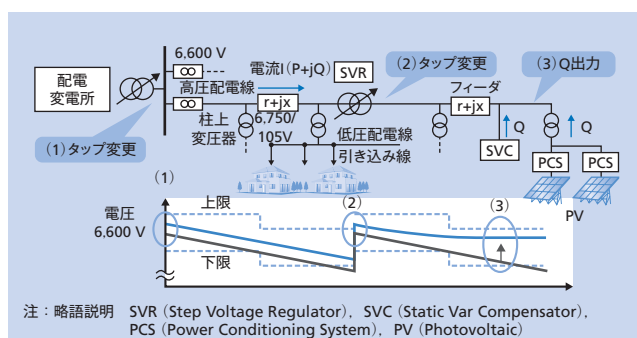
- (1) 電力品質：PVの出力変動による電圧上昇、変動対策
- (2) 系統運用：PVの発電量把握が難しいことによる潮流管理の複雑化、各一般需要家の実負荷の把握の困難化
- (3) 保護・保安面：保護リレー誤動作回避、単独運転防止

ここでは、配電系統の電力品質の維持に貢献する配電監視制御システム技術、特に今後、課題となる配電系統内の電圧への対策である電圧制御技術について述べる。

2. 次世代配電監視制御のコンセプト

2.1 配電系統の電圧制御の概要

国内の配電系統では、配電用変電所を起点に高压配電線、柱上変圧器を介した低压配電線、および引き込み線によ



注：略語説明 SVR (Step Voltage Regulator), SVC (Static Var Compensator), PCS (Power Conditioning System), PV (Photovoltaic)

図1 | 配電系統の電圧制御の概要
配電用変電所変圧器、SVRタップ変更、SVC無効電力(Q)制御で電圧を調整する。

て一般家庭に電力が送られている（図1参照）。分散電源のない系統では、電圧は末端となるのに従って低下する。電圧調整は、配電用変電所のLRT (Load Ratio Transformer：負荷時タップ切換変圧器) 変更や、線路途中に設置されるSVR (Step Voltage Regulator) のタップ制御で行われる。PVが大量導入された場合、出力変動に伴う電圧変動が発生すると考えられ、これに対して高压配電線では、既存のLRTやSVRの有効な活用に加え、高速に電圧を制御可能なSVC (Static Var Compensator) の導入や、PVのPCS (Power Conditioning System) による無効電力制御での電圧変動抑制効果が期待される。一方で、一般需要家のPVによる低压配電系統についても、同様の電圧変動が発生することになり、今後の配電系統は電圧問題が最大の課題になると考えられる。

2.2 配電監視制御の方向性

配電系統の電圧を監視制御するには、二つのアプローチが考えられる。

- (1) 系統状態の把握（可観測性の向上）

これまでの配電系統では、高压配電線の自動開閉器から

の一部データの低速な計測にとどまっていたが、近年は各電力会社とも、センサー内蔵開閉器による相別の計測や配電網通信インフラの高速化を試行している。さらに、自動検針の普及、また将来的にはPVや電気自動車状況などの把握が、系統状態把握高精度化のポイントとなる。

(2) 電圧制御の高度化（可制御性の向上）

既存のLRT、SVRに加えて電圧制御可能な機器が設置され、自律的もしくは協調して電圧維持に貢献することが考えられる。電圧制御機器として、配電用SVC、電圧制御機能付き柱上変圧器の導入や、無効電力・有効電力の制御のために、分散電源のPCSや電気自動車の蓄電池の活用が考えられる。また、需要家機器の制御を行うDSM（Demand Side Management：デマンドサイドマネジメント）も検討されている。

このように、可観測性、可制御性を向上させ、きめ細かな監視制御とすることで、PV導入時には効率的に、多様な負荷設備の増大に対する電圧対策が可能となる。そのためには、各種計測・通信・系統状態把握技術・制御機器の開発、自律・協調・集中制御技術が重要となる。

制御技術については、上記の制御性能の向上に伴って、次のように推移していくと考えられる。

(1) ローカル制御

自端情報に基づく制御（従来技術）や重負荷／軽負荷の2断面程度の整理

(2) 機器整定の高度化

計測情報に基づく機器の制御パラメータ最適化

(3) 自律・協調・集中制御

通信で得られた他地点情報に基づく広域制御、他の機器動作を考慮した協調制御、広域情報を用いて全体を最適化する制御など

2.3 配電監視制御のシステム構成例

計測データの収集、制御への展開に対応するシステム構築を考える必要がある。配電系統網のセンサー、子局、通信網や、フロントオフィス系（監視制御系システム）・バックオフィス系（配電業務系システム）の計算機ネットワークシステムで、計測データを密連係した総合的なシステムを構築することが考えられる。

システム構成の一例を図2に示す。

フロントオフィス系は、高速な通信網が構築され、開閉器センサー情報の相ごとの各種情報が高速に監視制御サーバに集められ、系統の状態把握に活用される。一方、各需要家の検針端末データは、検針系ネットワークを介して自動遠隔検針データ収集管理システムへ集められる。これらのデータと各種設備データを、フロントオフィスとバックオフィスの仲介を行う配電系統設備管理支援サーバが、柱上変圧器や配電系統各区分ごとに諸情報を集約する。これにより、例えば、配電系統各区分の負荷量推定が可能となり、配電自動化の系統解析技術や業務系の設計システムと組み合わせて、より適切な配電系統運用や配電設備形成、特に、より詳細な配電網の電圧管理が可能となる。

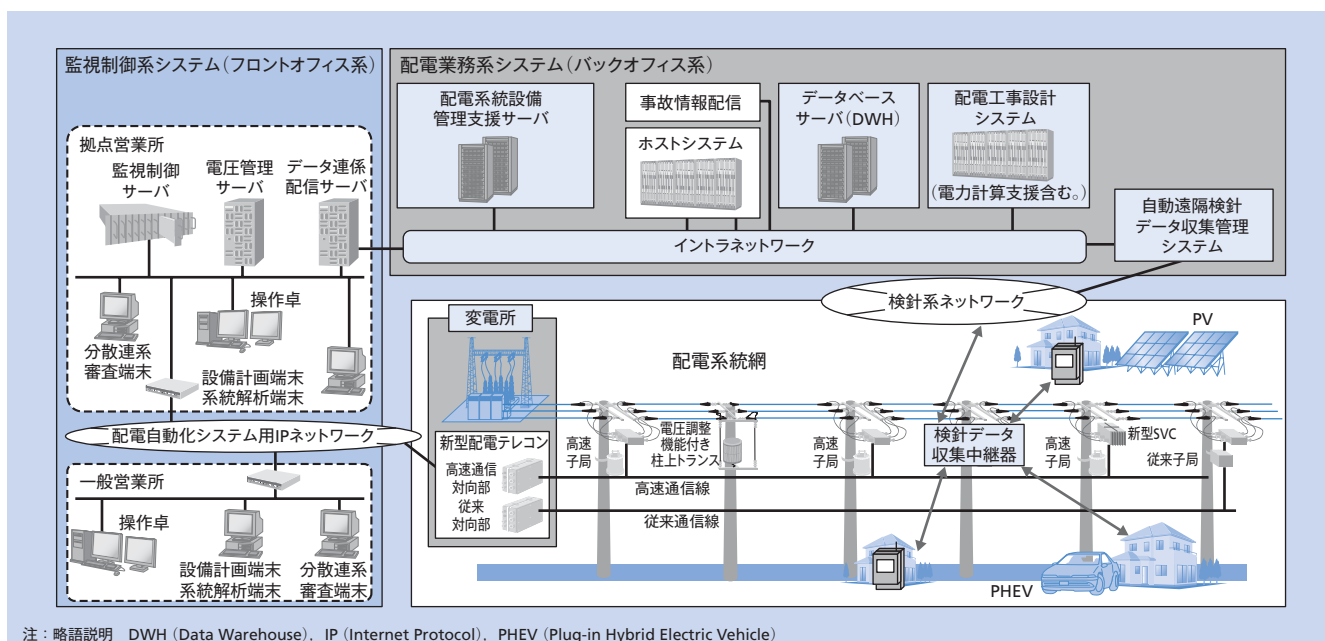


図2 配電監視制御システムの構成例

センサー、子局、通信網から、フロントオフィス／バックオフィス系の計算機ネットワークシステムを連係し、総合的なシステム構成とすることで、配電網の効率的な電圧管理、設備管理を可能とする。

3. 配電機器技術

3.1 無効電力補償装置 (SVC)

配電システムの電圧制御機器として、自動式SVCや電圧制御機能付き変圧器の開発が進められている。

配電用自動式SVCの概要を図3に示す。

これまでに、東北電力株式会社、東北電機製造株式会社との共同開発により、自端情報からSVRとの協調運転を可能とする300 kVAの配電用SVCが実用化された。これは、SVCで短時間(数十ミリ秒～数十秒)の電圧変動を担当し、長周期や日負荷変動に対応する電圧制御はSVRが分担する方式である。開発当初は、誘導電動機タイプの風力発電機が配電系統に連系される際の突入電流による瞬時電圧対策が主眼であったが、PVの速い出力変化に伴う電圧変化に対しても同様に効果を発揮できる。今後、最新のパワーエレクトロニクス技術を活用することで、コンパクト化および低コスト化を進めていく。

3.2 電圧制御機能付き変圧器

低圧系統の電圧制御の対策としては、高圧系統から100/200 Vに電圧を変換する変圧器に、電圧制御機能を持たせることが考えられる。変圧器の低圧側に設けられた直列巻線に、変換器で可変電圧を印加することによって、低圧配電線の送り出し、電圧の連続的な調整を可能としている。東京電力株式会社と共同で開発した地上設置タイプの

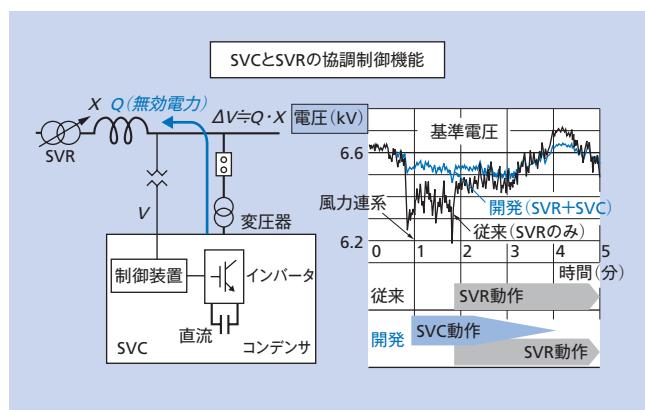


図3 | 配電用自動式SVC (300 kVA)

自端情報を基にSVRとの協調動作を可能としている。

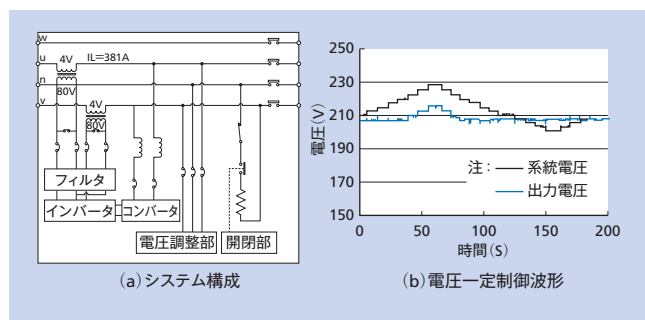


図4 | 電圧制御機能付き変圧器の電圧制御部

系統に直列に電圧を加えることで、系統電圧を目標値に制御する。

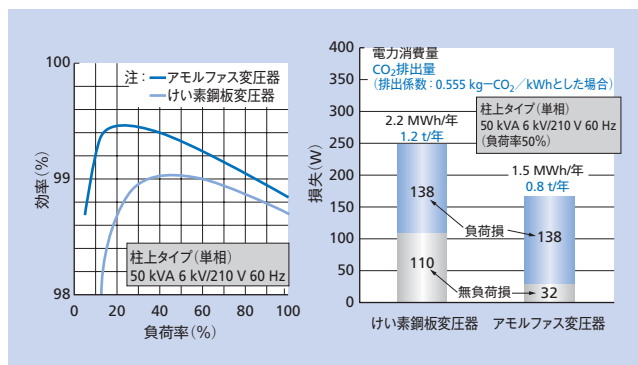


図5 | アモルファス変圧器の損失軽減効果

太陽光発電時などの低負荷時の電力損失を低減する。

電圧制御機能付き変圧器の試作例を図4に示す。

また、PVの逆潮流によって、変圧器を通過する電力が減少する潮流状態となることが考えられる。そのような場合、低負荷時の電力損失が小さいアモルファス変圧器の適用も有効になると考えられる。

アモルファス変圧器の損失軽減効果を図5に示す。変圧器の鉄心に損失の小さいアモルファス合金を採用することで、無負荷損を低減することが可能となる。

4. 配電電圧制御・解析技術

4.1 配電電圧制御システム

次に、複数の電圧制御機器を協調して動作させる制御システムについて述べる。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の実証研究設備向けの監視制御システムの例を図6に示す。配電システムの監視制御技術については、「新電

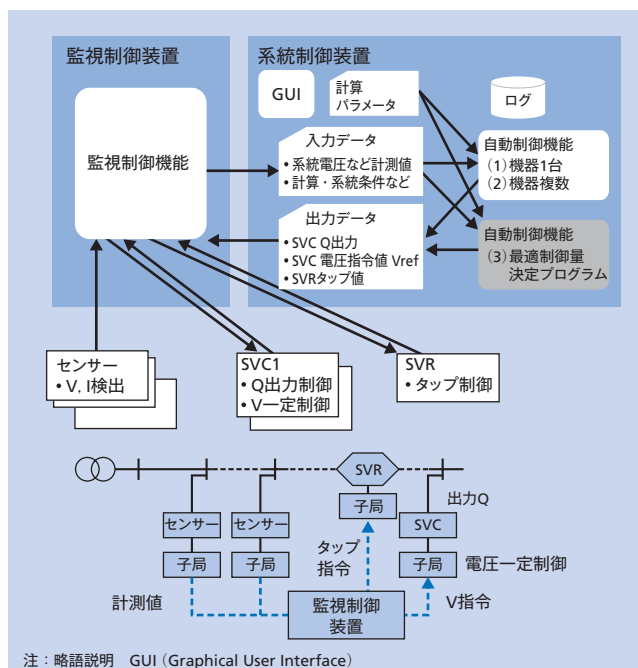


図6 | 配電システムの監視制御システム概要

ネットワークを介してセンサー情報を集め、各機器の制御指令値を計算する。

力ネットワークシステム実証研究(2004～2007年度)」向けとして、財団法人電力中央研究所の赤城試験センターに監視制御システムを納入したものである。このシステムでは、センサーで測定した情報や各制御機器の情報は、高速な通信ネットワークを介して監視制御装置へ伝えられ、制御装置が、配電系統内の最も厳しい地点の計測値を用いて制御量を決定するモード(簡易方式)と、配電系統全体の電圧分布を潮流計算で把握し、最適計算を用いて各機器の制御量を決定するモード(最適制御量決定方式)の検討を可能とした。

最適制御量決定方式では、計測情報から負荷を推定し、潮流計算とタブーサーチ手法を用いて、各機器の最適な制御量を求めている。各制御機器の指令値は、無効電力出力などの制御量に加えて、電圧目標値も与えることができ、各機器は目標値に従ってローカルに電圧一定制御動作を行う。これにより、短周期の電圧変動抑制は各機器がローカルに対応し、長い周期の変動に対しては監視制御装置が全体最適となるように指令する制御分担が可能となる。

現在、日立グループは、この機能を基に、各電力会社の通信インフラ(通信速度、帯域)に応じたシステムへの適用の検討を行っている。

4.2 高低圧系統解析、分散電源連系システム

計測値から系統状態を把握し、制御装置動作による系統状態の変化を把握するためには、配電系統のシミュレーションが必要となる。

シミュレーションツールの一例として、分散電源対応高圧系統解析システムの概要を図7に示す。潮流計算を用いて、分散電源連系可能容量の算出、分散電源連系時の電圧分布、短絡容量、フリッカなどの計算を可能としている。また、配電自動化システムの計測データを連係することで、電柱、高圧線、開閉器、電圧調整器など設備諸元などのデータを自動で取り込み、実態に即した解析を可能としている。これにより、分散電源の連系可否検討、対策検討を中心とした配電系統の計画/管理業務を、効率的かつ定量的な判

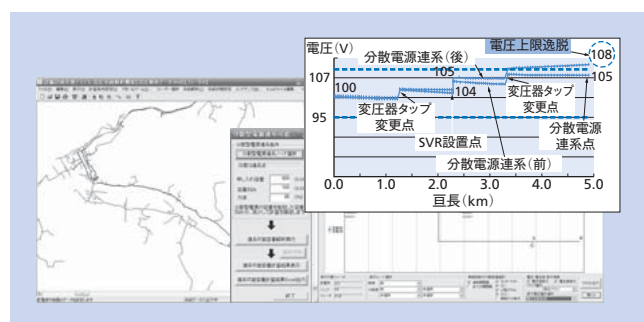


図7 | 分散電源対応高圧系統解析システムの概要
ネットワークを介してセンサー情報を集め、各機器の制御指令値を計算する。

断基準によって行うことができる。

また、今後さらに増加する低圧配電線の一般需要家のPV連系審査を行うシステムの開発も行っている。

5. おわりに

ここでは、配電系統の電力品質の維持に貢献する配電監視制御システム技術、特に今後、課題となる配電系統内の電圧への対策である電圧制御技術について述べた。

日立グループは、これらのシステム、機器により、CO₂削減やPV大量導入に対しても、従来と同じ高水準の電力品質維持に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 高杉, 外: 新制御自動式SVCの適用による配電系統安定化技術, 日立評論, 82, 4, 287～290 (2000.4)
- 2) 満山, 外: 分散型電源集中連系に対応した単独運転防止装置用低圧遮断器の開発, 平成20年電気学会全国大会, No.6-269 (2008)
- 3) 記野, 外: 分散型電源対応高圧系統解析システムの開発・実用化, 平成18年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.156 (2006)

執筆者紹介



渡辺 雅浩

1991年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御研究センタ スマートシステム研究部 SS3ユニット 所属
現在, 送配電系統の解析制御技術の研究に従事
電気学会会員, IEEE会員



大西 司

1992年日立製作所入社, 情報制御システム社 電力システム本部 電力システム設計部 所属
現在, 中央給電指令所システムからPPSシステム, 配電自動化システムまで, 各電圧階級のシステム開発後, 次世代配電自動化システム開発に従事
PMP (Project Management Professional), 電気学会会員



大森 隆宏

1993年日立製作所入社, 情報制御システム社 電力制御システム本部 送変電システム設計部 所属
現在, パワーエレクトロニクスシステムおよび配電系統制御保護システムの設計に従事
電気学会会員



寺田 博文

1999年日立製作所入社, システム開発研究所 情報サービス研究センタ 第一部 所属
現在, 次世代配電監視制御システムアーキテクチャの研究開発に従事



足立 昌宏

1981年株式会社日立情報制御システム入社, 株式会社日立情報制御ソリューションズ 電力システム本部 電力システム部 所属
現在, 電力系統監視制御システム, 配電自動化システムの設計に従事



稲垣 勝敏

1990年日立製作所入社, 株式会社日立産機システム 事業統括本部 受配電・環境システム事業部 変圧器設計部 所属
現在, 配電用変圧器の設計, 開発に従事
電気学会会員