

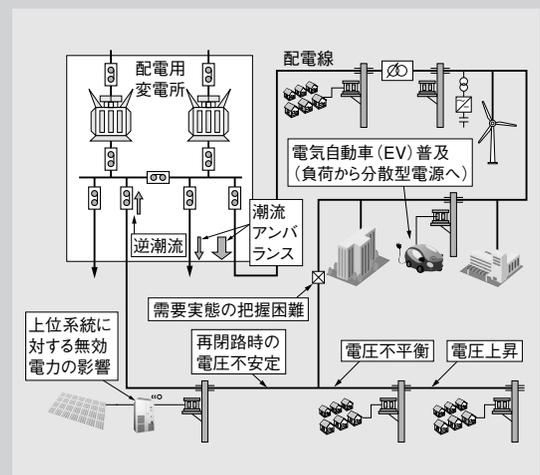
今後の配電系統に対する課題と対策

🔗 電力系統安定化, 配電系統, 電圧制御, 自律分散, シミュレーション

* 田中 明 Akira Tanaka

概要

太陽光発電 (PV)・風力発電は、日射・風況によって発電出力が大きく変動する特性を有することから、電力系統の安定的な運用に悪影響を及ぼすことが懸念されている。PV・風力発電などの再生可能エネルギーが大量に普及した際に問題となる配電系統上の課題を抽出し、その対策を検討した。課題は、電圧上昇・電圧不平衡・逆潮流・潮流アンバランスなどがあり、この対策として、変電所電圧制御機能と配電線電圧制御機能の高度化を進めるとともに双方の協調方法を検討した。さらにこれらの対策がコストミニマムで実現できるように、変電・配電製品への展開を実施している。



配電系統の課題

1. ま え が き

温室効果ガスの排出削減に対する要求が高まる中、2009年4月に太陽光発電システムの導入目標として、2020年に2,800万kWという政府目標が掲げられた。また、我が国は2011年3月に未曾有の被害をもたらした東日本大震災に見舞われ、温室効果ガス排出削減効果の高い原子力発電所が、安全性を精査するため次々と利用できない状況となった。さらに原子力発電所の長期間の停止は、度々の需給ひっ迫という状況をも生むこととなった。

このような状況の下で、2012年7月1日から再生可能エネルギーの固定価格買取制度が施行された。これによって、従来の住宅用太陽光発電設置に加え、発電事業用のメガソーラー太陽光発電所建設が急速に拡大している。2011年度末で住宅用発電設備容量は491万kWとなっている⁽¹⁾。太陽光発電所

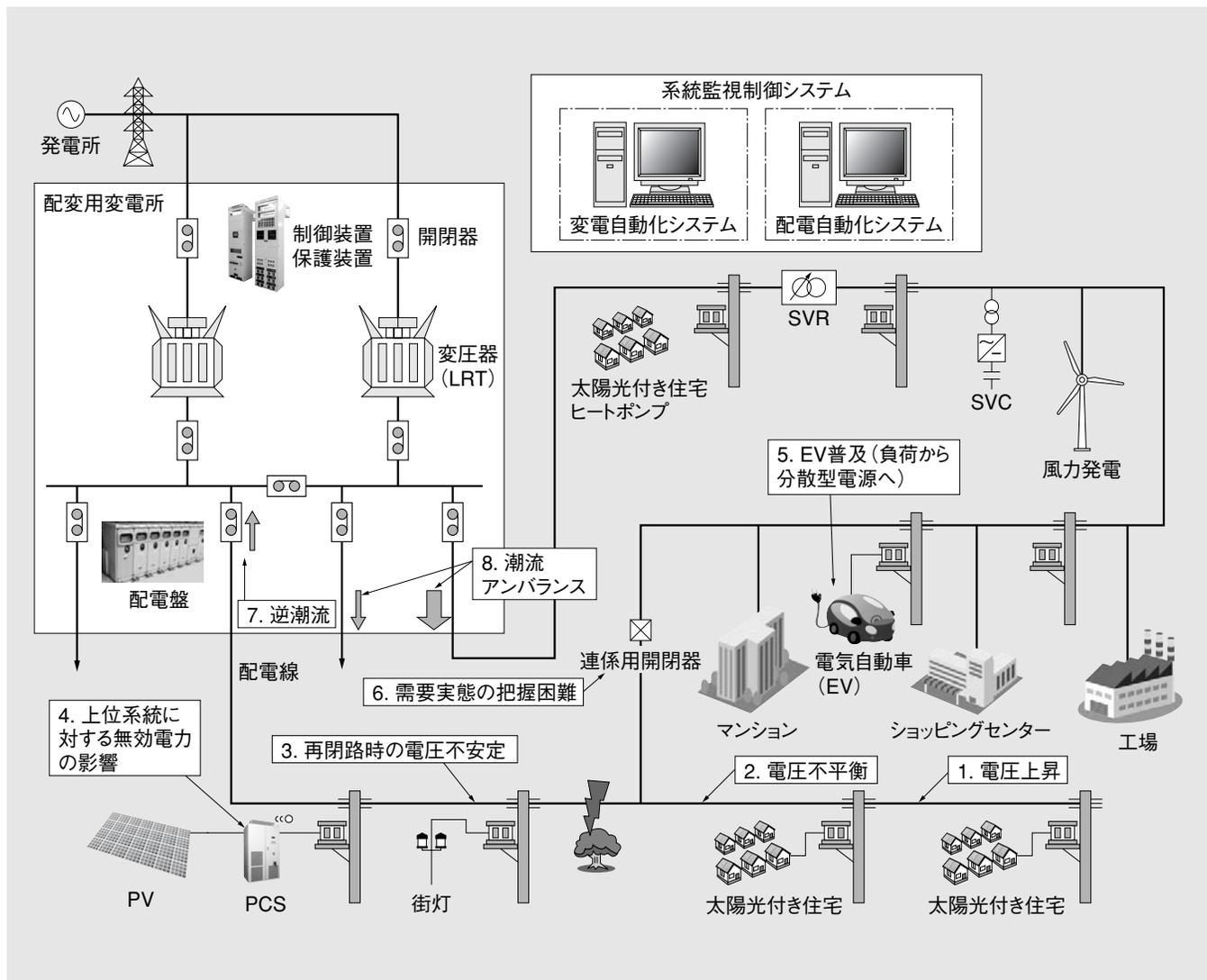
*電力システム事業部

建設拡大によって、2012年度の上半期の国内向け発電セル・モジュールの総出荷量は100万kW以上となっている⁽²⁾。今後、原子力発電縮小や再生可能エネルギーの導入拡大といった政策継続の可能性は高いと考えられる。

一方、太陽光発電 (PV)・風力発電は、日射・風況によって発電出力が大きく変動する特性を有することから、電力系統の安定的な運用に悪影響を及ぼすことが懸念されている。本稿では、PV・風力発電などの再生可能エネルギーが大量に普及した際に問題となる配電系統上の課題と対策、それに関わる実証事業の一例について紹介する。

2. 配電系統運用の課題

従来は発電所から送電・配電・需要家まで一定方向に電気が流れていた。この電力システムの条件で、変圧器・開閉器・保護装置・制御装置など



第1図 配電システムの課題と発生箇所

再生可能エネルギーの大量導入による配電システムの課題と発生箇所を示す。

(電力流通設備)が設計されている。すなわち電力流通設備は、一定方向の潮流を前提とした設計となっている。

一方、再生可能エネルギーは、今後継続的に分散型電源として電力システムに接続される。大量の分散型電源が接続されると電力システムの潮流方向が一定でなくなり、前記の電力流通設備の設計条件が崩れることになる。このため電力システムの再設計が必要となる。また、電力会社の発電設備は集中型電源であり、監視制御可能な電源である。そのため電圧・周波数など電力品質を確保する制御ができた。これは電力供給の安定化につながり、経済活動の継続性に寄与していた。しかし再生可能エネルギーの導入によって、監視制御不可能な分散型電源が大量に導入され始めると電力安定供給維持が困難な状況になる。

第1図に分散型電源の大量導入による配電システムの課題と発生箇所を、第1表に各課題の概要を示す。

3. 課題解決への取り組み

前項の課題解決のために、電力システムを構成する電力流通設備を改良・改善していく必要がある。その際重要なことは、最低限のコストで目的を達成することである。個々の課題に対して、コストパフォーマンスが優れた対策方法を導き出す必要がある。

当社は配電用変電所の変圧器・開閉器・保護装置・制御装置・配電盤・配電自動化システム・配電線のSVC (Static Var Compensator)・監視端末などの設備を製造・納入・保守しており、これらの設備に必要な性能と機能を熟知している。この



第1表 課題の概要

配電システムの課題の概要を示す。

課題	内容
1. 電圧上昇	通常は変圧器から配電線末端へ向かうに従って電圧降下が発生する。これまでは配電線の途中にSVCやSVRを設置することで対処していたが、配電線の各所に分散型電源が接続されることで配電線の電圧が上昇し、需要家に対して法定電圧で電力供給することが難しくなる。
2. 電圧不平衡	住宅用太陽光の連系量が增大すると、太陽光設置住宅と非設置住宅の負荷プロファイル(負荷推移曲線)が大きく異なるため、柱上変圧器の接続相管理だけでは平衡度を保つことが困難になる可能性がある。
3. 再閉路時の電圧不安定	配電系統停電後の再閉路時、停電時に解列した複数の分散型電源が少し遅れて系統と並列運転を始めるため、一時的に電圧が不安定となる可能性がある。
4. 上位系統に対する無効電力の影響	太陽光用パワーコンディショナ(PCS)による無効電力制御が制度化された場合、PVパターンに応じて無効電力が大きく変動する現象が発生し、上位系統の電圧管理に影響を及ぼすことが懸念される。
5. EV普及(負荷から分散型電源へ)	今後普及が予想されるEVは当面負荷(需要)扱いとなるが、将来的には低圧側の分散型電源に位置付ける必要がある。これにより需要パターンが大きく変化し、配電系統の新たな電圧不安定要因となる。
6. 需要実態の把握困難	分散型電源の連系量が增大すると、常時計測される配電線の送り出し電流から総需要を把握することができなくなる。すなわち配電系統が停電した場合、その後の再閉路時には分散型電源は解列されているため、再閉路完了から一定時間は、送り出し電流が増大する。この一過性の需要に対する供給予備力を推定して確保しておく必要がある。
7. 逆潮流	住宅用太陽光の連系量増大、市街地でのメガソーラー建設などが進むと、配電線の逆潮流が変電所に波及する可能性がある。これによって、変電所の電圧調整機能と保護機能が正常に機能しなくなるおそれがある。
8. 潮流アンバランス	住宅用太陽光を中心として分散型電源の普及が進むと、配電線どうしで導入量が変わってくる。配電線ごとに潮流プロファイルが昼夜で大きく異なる現象が発生する。配電線間の潮流のアンバランスは、電圧管理を困難化する要因となる。

知見を基に配電系統安定化のため、それぞれの設備に追加すべき機能・性能を検討している。すなわち配電系統安定化のために配電用変電所に具備すべき要件、配電系統設備に具備すべき要件を洗い出し、コストパフォーマンスに優れた電力システムを提案していく。

3.1 電力システムシステム条件整備

以下に配電系統課題の解決のために必要となる共通的な施策について示す。

- (1) 計測情報の高度化 適正な電圧管理を行うためには、配電線上の潮流分布や電圧分布をよりきめ細かく把握する必要性が高まる。また、過去の計測情報を蓄積していくことも重要である。
- (2) 分散電源の発電量の推定 住宅用PVは、監

第2表 課題と対策

各課題に対する対策を示す。

課題	対策
1. 電圧上昇	変電所での電圧調整高度化。配電線のSVR・SVCの運用高度化。両者の協調運用
2. 電圧不平衡	SVR・SVCの運用高度化
3. 再閉路時の電圧不安定	分散型電源発電量把握・予測と配電自動化システム高度化
4. 上位系統に対する無効電力の影響	分散型電源発電量把握・予測と配電自動化システム高度化
5. EV普及(負荷から分散型電源へ)	HEMS(スマートグリッド)によって、デマンドコントロール・負荷準化機能の管理下に置く
6. 需要実態の把握困難	分散型電源発電量把握・予測と配電自動化システム高度化
7. 逆潮流	逆潮流を考慮した新電圧調整機能と新保護機能の適用
8. 潮流アンバランス	分散型電源設備情報の管理

視制御不可能な電源である。これら発電の現在値の推定と将来の予測を行い、分散型電源の発電量を把握する。

(3) コストミニマムな全体設計

(a) 配電用変電所での対策と配電系統での対策の協調 変電所の主回路機器・保護制御装置などで対策することと、配電線のSVR(Step Voltage Regulator)・SVCなどで対策することの棲み分けを検討する。さらに相互の協調を検討し、より高度な効果を導き出す。

(b) 配電自動化システムと配電系統設備の協調制御 配電自動化システムで対策することと配電用変電所・配電系統の現場機器・装置で対策することを検討する。集中化を進めると設備投資運用コストの増大と、災害時・故障時の危険度が増大するため、集中制御と現場機器自律制御の機能分担を見極める。

3.2 課題への対策

第2表に課題と対策を示す。

現在、変電所の機器・制御・保護をモデル化した変電所モデルと配電系統モデルを統合した配電系統デジタルシミュレータによって、以下の課題解決に取り組んでいる。

- (1) 変電所の電圧制御機能と配電線の電圧制御機能の協調方法
- (2) 送電線・変電所事故時の保護機能の見直しと統合化
- (3) 送電線・変電所事故時の自動復旧機能の見直しと高度化

4. 配電システムの自律分散型電圧制御

前項で挙げた各課題のうち、電圧制御にフォーカスして実証事業に取り組んでいる。この活動を紹介する。

2010年度から2012年度の間、経済産業省資源エネルギー庁の補助事業として「次世代送配電システム最適制御技術実証事業」に参画した。当社は、系統側の対策技術の一つである配電システムの電圧制御技術の高度化に向けた技術開発を担当している。早稲田大学 林教授のご指導の下、参加する電力各社の配電システム技術者の皆様の助言や協力を仰ぎ、各社分担して研究を進めているものである。

4.1 電圧制御技術の高度化に向けた取り組み

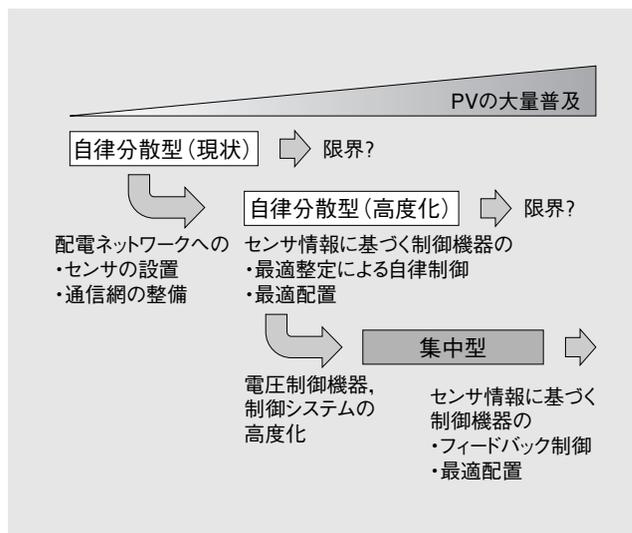
本実証事業では、今後の太陽光発電システムの普及に伴い、配電システムの電圧制御技術を、現行の自律分散型制御方式から適宜、高度化を図っていくシナリオを想定して、制御方式の開発及び検証・評価を進めている。第2図に実証事業におけるシナリオを示す。

現状では、電圧制御機器（SVR・SVCなど）を自端情報に基づいた自律分散制御で、かつ固定的な制御整定値によって運用している。なお本実証事業では、インフラ整備によって配電線路上の計測情報が取得可能であることを前提としている。高度化の初期段階では、電圧制御機器の最適な配置、自律分散制御による電圧制御機器の制御パラメータを最適に整定することで運用することを想定している。さらに将来的には自律分散制御から、直接電圧制御機器を遠隔から操作する集中制御へと移行していくシナリオを想定している。当社はこのうち、自律分散型制御方式を高度化した方式を担当している。

4.2 自律分散制御技術の高度化

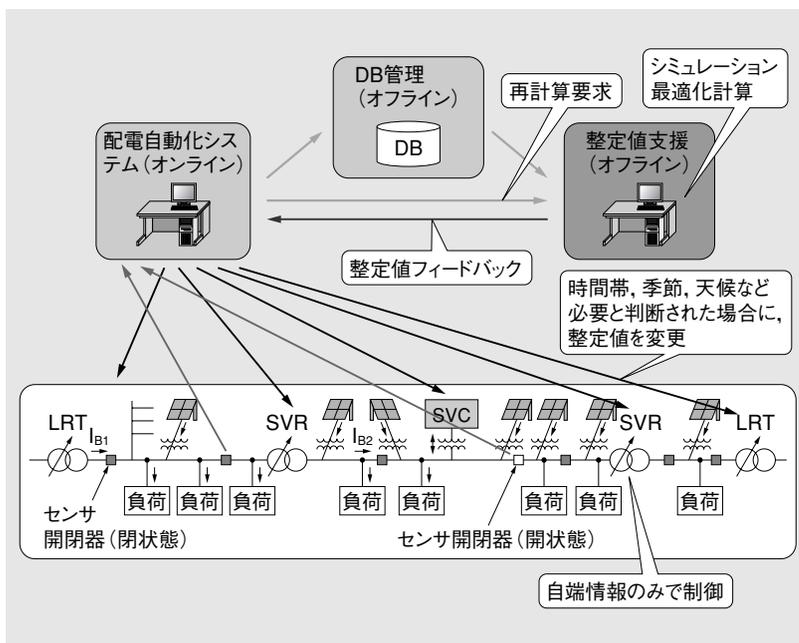
太陽光発電システムの普及の初期段階では、電圧制御機器の新設や増設で対応可能と考えられるが、将来の現実的な機器数を考慮すると、従来の自律分散型制御だけでは対応が困難になるケースが想定される。これに対して、自律分散制御機器の制御パラメータを

配電自動化システムなどから変更可能な環境を整え、季節や時間帯、天候に合わせて制御パラメータを適宜変更する方策が一つの有効な手段であると考えられる。本高度化手法(A)では、配電線の電圧プロファイルの履歴をデータベースから参照し、LRT (Load Ratio control Transformer) 及びSVRの制御パラメータをオフライン支援ツールで最適化する。第3図に自律分散制御の高度化手法(A)を示す。配電線路上の計測情報を利用して制御パラメータを最適化することで、自端情報の



第2図 実証事業におけるシナリオ

実証事業のうち、配電システムの電圧制御技術に関する検討課題を扱っているサブWGのシナリオを示す。

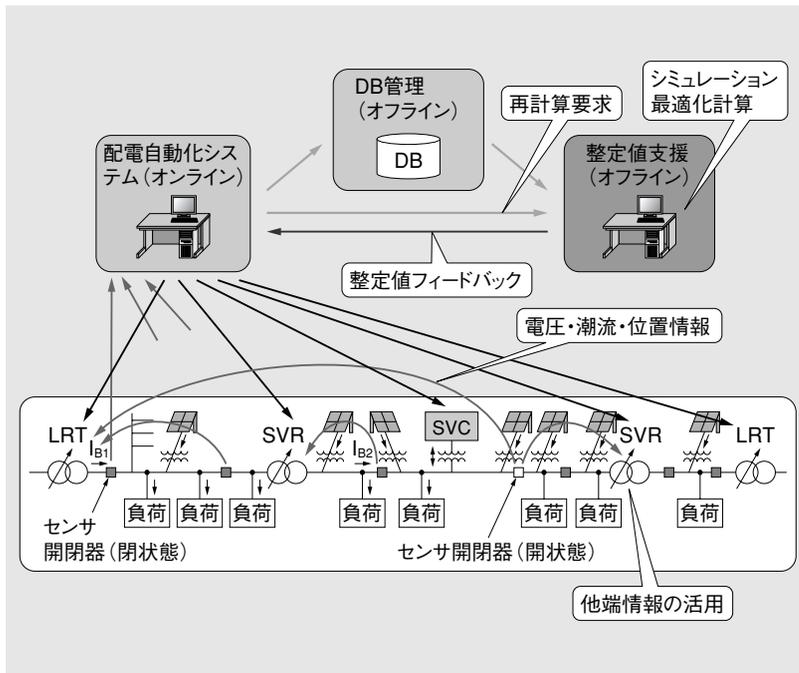


第3図 自律分散制御の高度化手法(A)

自律分散電圧制御を高度化した手法(A)の全体システムの概念図を示す。電圧制御機器は現状と同等の自律分散制御のままとして、制御パラメータのみを最適化して、適宜変更可能とすることを想定する。

みに基づく制御ロジックではあるが、配電線路全体の電圧プロファイルが考慮された制御性能を得ることが可能となる。

さらにPVの普及が進むと、自端情報だけでは電圧のプロファイルを的確に捉えられない状況が発生すると想定される。このような場合には、電圧制御機器の自端情報に加えて、他点の計測情報を活用する手法が有効であると考えられる。本高度化手法(B)においても常時の電圧制御は自律分散制御を基本として、過去の電圧プロファイルからの制御パラメータの最適化を図る。第4図に自律分散制御の高度化手法(B)を示す。



第4図 自律分散制御の高度化手法(B)

自律分散電圧制御を高度化した手法(B)の全体システムの概念図を示す。電圧制御機器は自律分散制御であるが、自端のみでなく線路上の他の点も計測値として利用可能な状況を想定する。運用管理手法は高度化手法(A)と同様である。

4.3 評価結果

電圧制御の観点から非常に過酷な配電システムモデルを設定し、当該モデルに対してデジタルシミュレーションを実施した。その評価結果について示す。現行の自律分散制御方式と高度化方式(A)のPV導入率の限界は、全住宅設置を100%として、それぞれ14%と20%との結果が得られた。第3表に評価結果を示す。

本実証事業では一つの目安として、2020年度時点で2,800万kW、2030年度時点で5,300万kWの太陽光発電システムが普及した場合に、一般住宅へのPV導入率を第4表に示した値と想定している。この目安は、PV導入目標に対する住宅の割合を70%、全国の住宅軒数を3,000万軒、住宅一軒当たりの平均的なPV容量3.5kWとして設定したものである。 $(2,800\text{万kW} \times 0.7 / 3.5\text{kW} = 560\text{万軒}, 3,000\text{万軒} / 560\text{万軒} \approx 1/5)$

このような想定を行った場合には、2020年時点では高度化方式(A)の適用限界を超えるケースが発生するおそれがあり、電圧制御機器の増設、自律分散制御の更なる高度化、集中制御の適用など、次のステップへの移行を図っていく必要があると言える。

今後は、この実証事業で確立したシミュレーション技術や最適化技術などを拡張して、電圧制御以外の課題解決にもつなげていく。

第3表 評価結果

シミュレーションにより得られた、現行手法の自律分散制御と高度化手法(A)のそれぞれが耐えうる太陽光発電システムの導入量の評価結果をまとめたものである。

PV 導入率 (%)	現行手法 [固定整定方式]		高度化手法(A) [動的整定方式]	
	夏期	中間期	夏期	中間期
10	0	0	0	0
11	0	0		
12	0	0		
13	0	0		
14	0	0		
15	0	2		
16	0	0		
17	0	0		
18	0	4		
19	1	13		
20	8	18	0	0
30			0	1
40			1	16

注. 表中の数字は、1か月間で電圧逸脱が発生した日数を示す。

□ : 導入量限界, ■ : 逸脱発生, ▨ : 未評価

第4表 PV導入目標と太陽光普及割合の想定

実証事業で想定している将来の太陽光発電システムの導入量の目安をまとめたものである。

	PV導入目標	一般住宅への普及割合(軒数)
2020年	2,800万kW	約1/5 (20%)
2030年	5,300万kW	約1/3 (33%)

5. む す び

今後想定されるPV・風力発電の導入拡大に伴って顕在化する可能性が高い配電システムの課題を抽出し、系統安定化検討の状況と当社製品への展開について紹介した。また取り組み事例として、経済産業省資源エネルギー庁の補助事業「次世代送配電システム最適制御技術実証事業」の中で進めている配電システムの電圧制御方式の検討（自律分散制御の高度化方式）について紹介した。

当社は、長年にわたり多くの変電配電製品を電気事業者に提供してきた。さらにその経験と技術に立脚して再生可能エネルギー導入時の電力系統安定化に関する技術開発を実施してきており、本分野において国内トップクラスの豊富な実績を有している。

今後もこれらの経験を生かして環境にやさしい製品を提供し、電力安定供給に大きく貢献していきたいと考える。皆様の一層のご指導・ご鞭撻をお願いする次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《参考文献》

- (1) 資源エネルギー庁新エネルギー対策課：「再生可能エネルギーの固定買取制度について（平成24年7月）」
- (2) 日本発電協会 統計資料：「日本における四半期ごとのPV電池出荷量の推移」

《執筆者紹介》



田中 明 Akira Tanaka
電力システムエンジニアリング業務
に従事

