

創業100周年記念特集シリーズ
情報・制御融合システム

低炭素社会を支える 電力系統安定化ソリューション

Power System Stability Solutions to Sustain a Low Carbon Society

小海 裕

Kokai Yutaka

河原 大一郎

Kawahara Taichiro

福井 千尋

Fukui Chihiro

佐藤 康生

Sato Yasuo

将来の電力系統においては、分散電源の大量導入に伴い、周波数や電圧の変動、事故時の対策や、余剰電力対策などへの対応が重要になる。日立グループは、これらの課題を解決するために有効な系統安定化ソリューションとして、可変速揚水発電システム、オンライン系統安定化システム、FACTS機器、電力貯蔵装置を用いた系統制御システムを提供している。

1. はじめに

低炭素社会の実現に向けて、風力発電や太陽光発電などの分散電源の大量導入が検討されている。海外では欧州などを中心に、多数の風力発電機から成るウィンドファームが建設されている。日本では風力発電に加え、太陽光発電の導入が今後積極的に進められる見通しである。CO₂削減のため、2020年に28 GW相当、2030年には53 GW相当の太陽光発電を導入することが政府の目標である。

風力発電や太陽光発電の出力は、天候変化に大きく影響されるため、分散電源がつながる電力系統の電圧・周波数などの変動が大きくなり、また落雷などによる瞬時電圧低下発生時に、分散電源が一斉脱落することによる不安定現象や事故復旧対策の複雑化などの問題が発生するおそれがある。

このような不安定現象の対策として、今後各種の系統安定化システムの導入が必要になると考えられる。

ここでは、日立グループが開発している電力系統安定化ソリューションについて述べる。

2. 将来の電力系統で予想されるリスク要因

今後の電力系統には、従来の火力、水力、原子力などの大規模集中電源に加え、ウィンドファームやメガソーラーなどの大型の分散電源が接続され、また需要家側では、家庭の屋根に設置する小型の太陽光発電装置や、EV (Electric

Vehicle:電気自動車)が普及するとみられている(図1参照)。

このような将来の電力系統においては、気象変動により、ウィンドファームやメガソーラーなどの大型分散電源の出力変動に加え、家庭に設置される小型の分散電源の出力変動、EVの充電タイミングや充電場所の変化による地域の負荷変動が多くなり、その結果、電力系統に予期せぬ電力の流れが発生して以下に示すような各種の問題を引き起こすおそれがある。

配電系統における分散電源が引き起こす電圧変動問題の対策や、双方向通信を用いた遠隔自動検針システムAMI (Advanced Metering Infrastructure) については、本特集掲載の論文「情報・制御の融合による自動検針(AMI)ソリューション」、「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」で紹介する。

2.1 発電効率低下や周波数調整能力不足

従来は、一日の電力需要の変化を事前に予測し、発電電力が不足しないように周波数調整能力を確保し、燃料コストや送電線のロスが最小になるように、火力発電機や揚水発電機を組み合わせた最適な発電機起動・停止のタイミングを決定していた。今後、分散電源が多く普及すると、予測した気象との違いで必要電力が大きく変動する可能性がある。この対策として火力発電機の出力を急峻(しゅん)に変化させたり、緊急に起動・停止させて周波数調整を実施することになり、その結果、発電効率が低下する可能性がある。

2.2 電圧変動

今後の日本では、太陽光発電の多くは家庭用が占めると予想されるため、家庭に近い配電系統における電圧変動への対応が必須になると考えられる。配電系統の電圧を維持

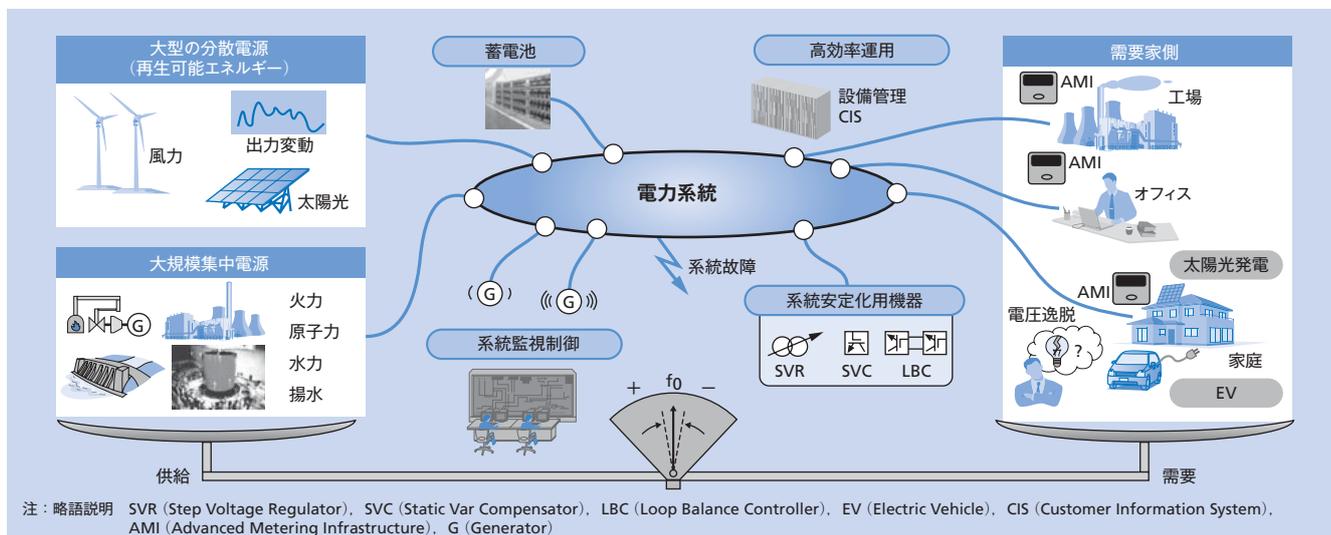


図1 | 次世代電力システムシステムのイメージ

分散電源やEVの普及により、電力システムに流れる電力潮流の変化が大きくなり、適切な系統安定運用が必要となる。

するため、現在は配電用変電所に設置されている変圧器や電柱上に設置した変圧器のタップを切り替えて電圧調整を行っている。今後、家庭用太陽光発電装置の普及が進み、家庭で消費しきれない量の電力が配電系統に逆流すると、配電系統の電圧が上昇してしまい、電圧調整が困難になるおそれがある。

2.3 事故時の広域停電波及

電力システムに落雷などの事故が発生すると、保護リレー装置や遮断器が働き、故障部位は速やかに切り離される。また大事故の場合には、さらに発電機の遮断や負荷遮断を行い、事故波及を防止する対策がとられる。

太陽光発電が多く普及すると、落雷などに起因する瞬時電圧低下により、太陽光発電装置が停止する可能性が高く、事故発生時に既存の大型発電機の不安定動作(脱調)を引き起こしたり、系統周波数の変動や系統電圧の大幅な上昇・低下の原因になる場合がある。その結果として、広域停電につながる危険性がある。

また、地域的な気象変化で、地域ごとの電力需要のアンバランスが発生する頻度が高くなり、落雷などの系統事故が予期せぬ送電線や変圧器の過負荷を招き、広域停電につながる可能性がある。後述するように、欧州では風力発電が多いことから、すでにこれらの問題が顕著になってきている。

3. 海外の実例

3.1 ドイツの実例

ドイツで2006年11月に人為的な操作ミスが原因で送電線に過負荷が発生し、広域に事故が拡大して欧州の電力系統が東西分離される事故が発生した。その際、風力発電の影響で事故復旧が遅れる現象が起こった。東地域は発電に

比べ需要が少なく、系統分離時に周波数が上昇し多くの風力発電機が停止した。事故復旧のため東西の周波数を定格に近づけ、連系線をつなぐ操作を実施した。周波数を定格に戻すために、まず火力発電機の出力を調整したが、東地域では周波数が定格に近い値に戻ってきた段階で、停止していた風力発電機が再起動し始めたため発電量が多くなり、再び東地域の系統周波数が上昇してしまう現象が発生し、東西の連系線の接続に手間取った。

3.2 スペインの実例

スペインでは風力発電が多く導入されており、落雷などの事故が発生した際の瞬時電圧低下が原因で、風力発電機の一斉停止が問題になっている。一斉停止が発生するとスペイン側の需要が多くなり、フランス側との連系線潮流が連系線容量を超えるため、保護リレーが働いてスペイン側が分離系統になるおそれがある。

この対策として、10 MW以上の風力発電所の状況を常時把握する「CECRE (Control Center for Renewable Energies: 再生可能エネルギーコントロールセンター)」が設置された。ここでは、系統内に事故が発生したときの瞬時電圧低下の影響をシミュレーションし、風力発電の停止量を把握、分散電源の出力を抑制する予防制御を実施している。

4. 系統安定化ソリューション

分散電源の持つ不確実性に起因する電力システムの不安定現象を防止するために、各種の安定化対策が考えられる。

周波数変動を抑えるためには、比較的長時間にわたって迅速に電力を供給・吸収できる可変速揚水発電が効果的である。系統故障時などの過渡的な安定度維持には、短時間ではあるが急峻に電力を供給できる点から、フライホイールや

超電導電力貯蔵装置に加え、高密度の大容量蓄電池装置が効果的であると考えられる。また、分散電源の余剰電力を吸収するためには、大容量蓄電池や揚水発電が有効である。

4.1 可変速揚水発電システム

可変速揚水発電機は、高速に電力を調整することが可能な発電機であり、分散電源の出力変動に起因する系統周波数変動を抑制する効果が期待される。日立製作所が実用化した可変速揚水発電機では、有効電力優先制御と呼ばれる制御方式により、フライホイールエネルギーの吸収・放出によって速やかに有効電力の出力を変化させることが可能である^{1), 2)}。これにより、将来、落雷事故などが原因で配電線の電圧が低下し、家庭用太陽光発電機が一斉に脱落した場合の急激な需要増加に対しても迅速に有効電力の供給が可能であり、系統事故時の周波数維持対策に大きな効果を期待できる(図2参照)。

4.2 オンライン系統安定化システム

電力系統に発生した事故がトリガーとなり、擾(じょう)乱が系統全体に広がり大規模停電に至る事象は、近年においても世界でしばしば発生している。日本においては、1965年の系統事故を契機に、大規模停電を防止するための系統安定化技術の研究開発が行われ、現在の高い供給信頼度に貢献している。

最新のITを用いた代表的な系統安定化システムとして、オンラインTSCシステム(On-line Transient Stability Control System)と呼ばれる系統安定度維持システムが実用化され

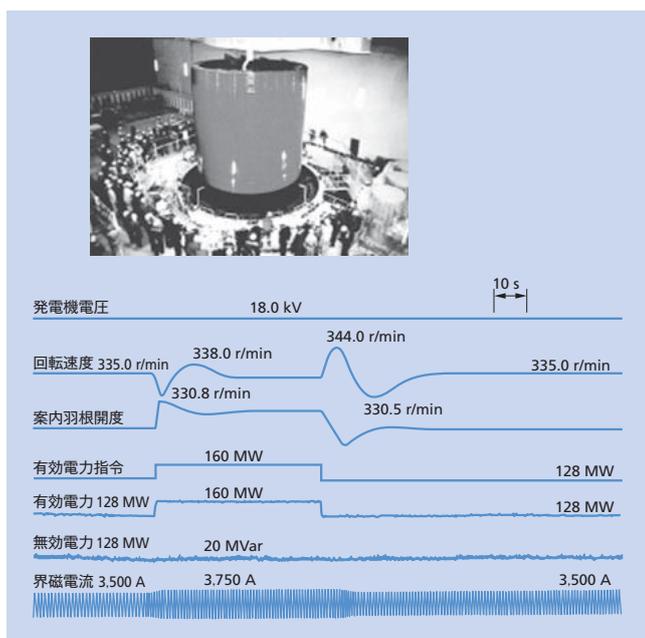


図2 | 関西電力株式会社大河内発電所納め可変速揚水発電システム
有効電力指令を増やすと、フライホイールエネルギーを放出し、速やかに有効電力を増加させることができる。

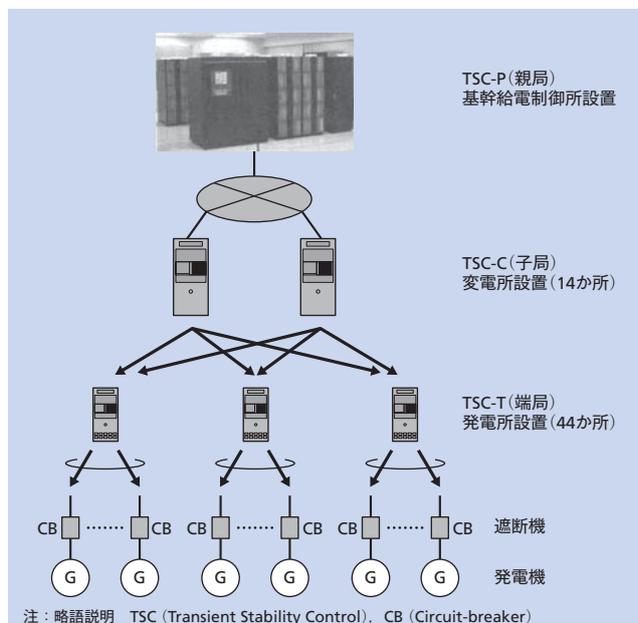


図3 | 中部電力株式会社納めオンライン系統安定度維持システム
TSC-P(親局)は30秒周期で系統データを取り込み、100ケース程度の系統事故を想定した安定度計算を実施し、安定化対策を決定する。実際に系統事故が発生すると、TSC-C(子局)とTSC-T(端局)により、事故発生から150ms以内に発電機を遮断し安定化を図る。

ている。2009年には、親局TSC-P(Parent)として、最新の制御用ブレードサーバを導入したシステムを運用開始した³⁾(図3参照)。

このシステムでは、基幹給電制御所に設置された親局装置TSC-Pで、30秒周期で電力系統の状態を正確に反映した系統モデルを作成し、落雷などの系統事故を想定した安定度計算を行い、系統が不安定になる事故に対して安定化対策(発電機遮断など)を決定し、変電所の子局装置TSC-C(Child)へ30秒ごとに伝送しておく。実際に系統事故が発生すると、子局装置TSC-Cと端局装置TSC-T(Terminal)で瞬時に安定化制御を実施する。

今後、分散電源が増え、さまざまな予期せぬ電力の流れが発生する場合でも、オンライン系統安定化システムは、30秒ごとに系統状態を把握できるので、より柔軟な安定化対策を提供できると考えられる。さらに実際の事故後の系統動揺状態に応じた適切な制御を実現するため、オンライン安定度計算を用いた事前予測制御と事故後の系統状況に応じた補正制御を組み合わせた統合型系統安定化システムISC(Integrated Stability Control)の開発を進めている⁴⁾。

4.3 FACTS機器

日立グループは、系統安定度向上や電圧変動抑制、電力品質向上を目的として、パワーエレクトロニクスを応用した各種のFACTS(Flexible AC Transmission Systems)機器を開発している。代表的な機器として、高速応答IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を採用し系統擾乱に強

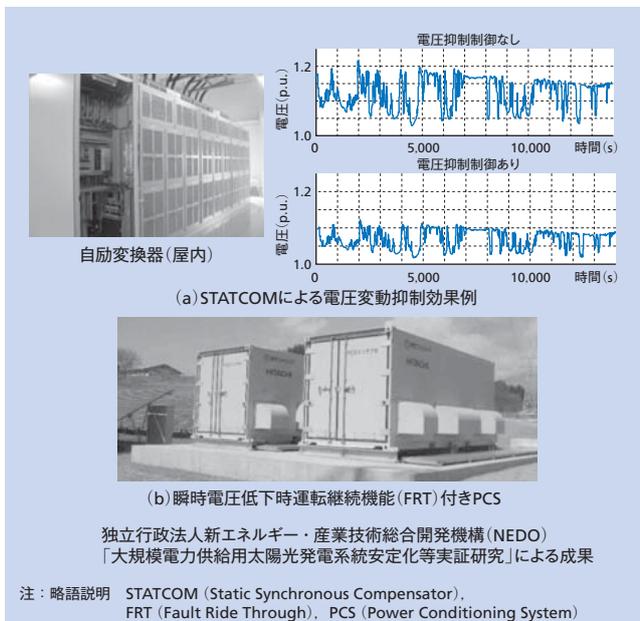


図4 | パワーエレクトロニクス技術応用製品
電力系統の無効電力電圧制御や分散電源用の交流変換器に利用する。

い特長を持つSTATCOM (Static Synchronous Compensator : 自励式無効電力補償装置) や、大規模分散電源用の瞬時電圧低下時運転継続機能FRT (Fault Ride Through) 付きの交流変換器PCS (Power Conditioning System) などがある⁵⁾ (図4参照)。このようなパワーエレクトロニクス技術の活用により、電力系統の安定化を図ることが可能になる。

4.4 電力貯蔵装置を用いた系統制御システム

分散電源の出力変動による電圧変動や周波数変動などを抑えたり、発電余剰分を吸収することを目的に、蓄電池など電力貯蔵装置の導入が検討されている。日立グループは、長寿命の鉛電池を用いた風力発電出力変動抑制システムを実用化している⁶⁾。現在その技術を生かして高密度なリチウムイオン電池の開発を進めるとともに、系統安定化のための蓄電池の充放電制御方式などについて、実用化に向けた研究開発を進めている。

将来の電力系統制御の一つとして、電力系統を小規模な需要地域から成る階層的な集合と見て制御する考え方がある。需要地域内の負荷量と需要地域内の分散電源出力の差分を地域内の蓄電池で補償し、上位の電力系統との間の連系点潮流を自律的に制御する考え方である (図5参照)。

5. おわりに

ここでは、日立グループが開発している電力系統安定化ソリューションについて述べた。

今後、分散電源やEVの普及により、さまざまな系統問題が発生する可能性がある。日立グループは、これらの問題を解決するために効果的であると考えられる可変速揚水

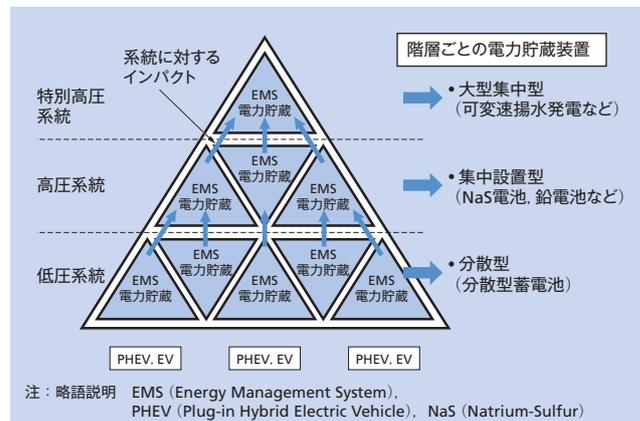


図5 | 将来の電力系統における電力貯蔵の考え方
蓄電池により、需要地域の太陽光発電やEVの影響をローカライズし、系統全体の安定度や電力品質の維持を図る。

発電システムやオンライン系統安定化システム、FACTS機器を開発しており、さらに電力貯蔵装置を用いた電力系統制御システムの開発を進めていく。

参考文献

- 1) 北, 外: 400 MW可変速揚水発電システム, 日立評論, 76, 10, 733~738 (1994.10)
- 2) 名倉, 外: 地球温暖化防止に貢献する可変速揚水発電システム, 日立評論, 92, 4, 309~313 (2010.4)
- 3) 竹内, 外: 簡略安定度計算を用いた過渡安定度ランキング手法の開発, 電気学会B部門誌 (2008.1)
- 4) 林, 外: 電力系統の高度利用の課題解決のためのシステム技術, 電気学会全国大会シンポジウム予稿 (2010.3)
- 5) 加藤, 外: フリッカ抑制機能付き自励式無効電力補償装置の開発, 日立評論, 89, 2, 204~207 (2007.2)
- 6) 五味, 外: 新エネルギー導入をサポートする電力貯蔵を用いた系統安定化技術, 日立評論, 92, 3, 234~237 (2010.3)

執筆者紹介



小海 裕
1981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 電力流通エンジニアリング部 所属
現在, 電力系統安定化システムの開発設計に従事
博士 (工学)
電気学会会員, IEEE会員, CIGRE会員



福井 千尋
1980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 電力流通エンジニアリング部 所属
現在, 電力系統解析・制御システムの開発設計に従事
電気学会会員, IEEE会員



河原 大一郎
1993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, 電力系統監視制御システムの開発設計に従事
電気学会会員



佐藤 康生
1994年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御研究センター スマートシステム研究部 所属
現在, エネルギーシステムの研究開発に従事
電気学会会員, IEEE会員