

北米における電力系統安定化ソリューションの紹介および今後の展望

堀井 博夫
Horii Hiroo

齋藤 直
Saito Nao

本澤 純
Honozawa Atsushi

別府 賢一郎
Beppu Kenichirou

武田 賢治
Takeda Kenji

小海 裕
Kokai Yutaka

近年の北米の電力業界においては、電力流通インフラの老朽化の問題がある一方で、再生可能エネルギー普及を促進している。さらには、電力取引市場も活発化しており、電力系統運用上のさまざまな課題が発生している。これらに対応するため、電力取引市場の制度改革や、規制機関からの送電事業者に対する系統信頼度向上のための施策強化が指示されている。本稿では、これらの制度改革

や規制強化に対応した電力系統運用を実現するために必要な技術として、アンシラリーサービス向けの蓄電システムや広域保護制御システムといった電力系統安定化ソリューション技術への取り組みを紹介する。さらに、これらの技術確立が、日本で2020年に予定されている発送電分離やエネルギーミックスの変化に寄与することを論じる。

1. はじめに

近年、世界的に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーが大量に導入されている。再生可能エネルギーは気象条件によって出力が変動するため、電力系統の安定性に多大な影響を与える。本稿では、先進的な取り組みが行われている北米に注目して、電力系統安定化ソリューション技術とその実証成果を紹介するとともに、今後の展望について述べる。

2. 北米の電力事情と課題

北米では発送電分離や再生可能エネルギー導入が日本よりも先行し、世界的にも先進的な取り組みが行われている。

米国エネルギー省の報告書Wind Vision¹⁾によると、全米における風力発電導入量が2050年に35%に達する可能性が示唆されている。一方、カリフォルニア州では太陽光発電の導入量が多いのが特徴であり、2020年までに再生可能エネルギーの導入量を33%とする方針をRenewables Portfolio Standard²⁾において示している。

太陽光発電が大量に導入された結果、昼間の太陽光発電量が増加し、見かけの電力需要が低下する特徴的な事象（ダックカーブ）が現れることが指摘されている。また再生可能エネルギーの出力は変動しやすいため、電力系統の不安定化が課題となっている。

こうした電力系統の不安定化への対策の一つとして、電力の需要と供給のバランスをとることを目的とした、アンシラリー市場が立ち上がってきている。

一方、北米では電力流通インフラの老朽化という課題も抱えている。さらに、2012年のハリケーン・サンディに代表される異常気象による大規模災害も増加傾向にある。こうした電力流通インフラの老朽化や異常気象が原因の停電は増加傾向にあり、その対策として、広域電力系統の大停電を防止することを目的とした、RAS (Remedial Action Scheme) などの系統安定化システムの導入が進められている。

このように北米では、電力流通インフラにおいて多数の先進的な取り組みが行われている。以降の章では、日立の北米における電力系統安定化ソリューションへの取り組みについて、紹介する。

3. アンシラリー市場の動向と蓄電システムへの取り組み

3.1 北米におけるアンシラリー市場の動向

電力系統は電力の需要と供給のバランスをとることで周波数の安定化を図っている。北米では地域の系統運用者がアンシラリーサービスとして需給バランス調整用の電力を市場取引で調達する制度を設けている。加えて、2010年10

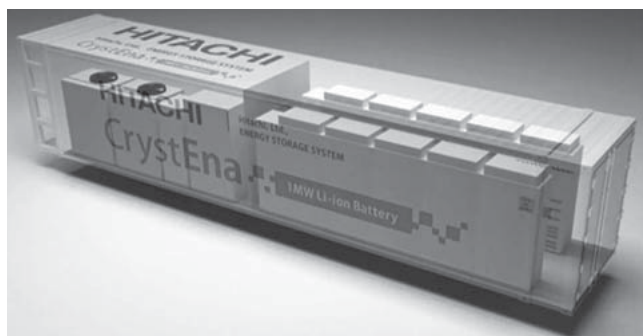


図1 | コンテナ型パッケージの外観

PCS (Power Conditioning System), リチウムイオン電池, 制御装置などを40フィートクラスのコンテナに搭載した。

月には系統運用者の指令値に対し正確に応答したサービス事業者の電力をインセンティブとして高く買い取る規定が設けられた。その結果、高速な応答が可能な蓄電システムの需要が高まっており、2015年には数十メガワット単位で急速に蓄電システムが導入されている。

3.2 蓄電システム(CrystEna)および実証成果の紹介

電力需給バランスを維持しながら、電力を安定的に利用していくため、日立の蓄電システムの総称を「CrystEna^{※)} (Crystal + Energy)」と名付け、日本を含めたグローバル市場におけるソリューション事業の1つとして普及に取り組んでいる。

アンシラリサービス向けに、PCS (Power Conditioning System), リチウムイオン電池, 制御装置などを40フィートクラスのコンテナに実装したオールインワンパッケージのCrystEna (1 MW コンテナ型蓄電システム)を開発した(図1参照)。コンテナ1台のシステム構成とともに、コンテナ複数台による大容量システム構成も見据えた共通仕様をパッケージに実装することで、容易に大容量システムに対応できる仕様とした³⁾。

一般に蓄電池は充放電運転の経過に応じ性能が低下するため、寿命の管理が重要となる。そこでシステムの開発に並行し、図2のようなCrystEnaの運用性能を試算する運用制御シミュレータを開発した。蓄電池の劣化は使用する電圧、電流、温度といった因子によって、容量や内部抵抗などの性能が影響を受けるため、コンテナで使用するリチウムイオン電池の劣化因子に関して多変量解析を適用し、さまざまな使用条件に対して高精度に電池寿命を予測する手法を確立した。運用制御シミュレータには、系統運用者から送信される指令値を解析した運用戦略の設定、PCSと蓄電池の組み合わせの選択、寿命予測による劣化推定、および市場パラメータを用いた収益計算の4機能を搭載して

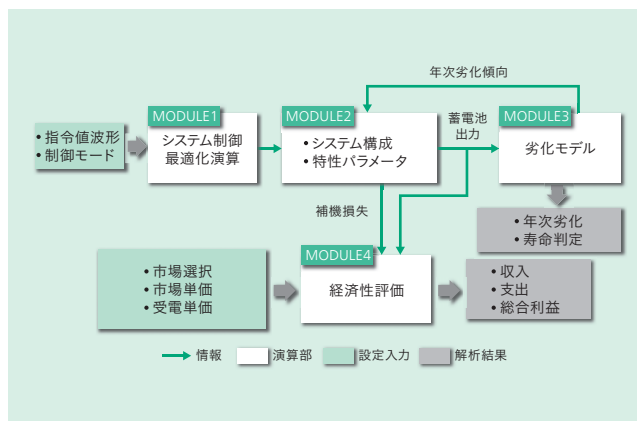


図2 | 運用制御シミュレータ

リチウムイオン電池の劣化モデルにより、寿命到達時の運用収入が推定可能となった。

いる。

運用シミュレータの寿命予測の機能によって経時劣化が収益性に与えるリスクを反映した運用評価が可能となる。また系統運用者の指令値に対する追従性を維持しながら蓄電池の寿命を延長できる運転方式が提案できるため、さまざまな事業者の投資回収に応じた最適なシステム構成を提供できる。

図3に、蓄電池の長寿命化による収益最大化のイメージを示す。図3では、蓄電池の寿命を考慮せずに系統運用者の指令どおりに充放電を行う単純応答方式と、指令値に対する追従性を維持しながらも蓄電池の寿命を考慮して充放電出力を調整する出力最適化方式の、おおよその収益を示している。出力最適化方式を採用することで、蓄電池の寿命を延ばし、蓄電システムの運用期間を長くすることができるようになり、最終的に得られる収益を増やすことが可能となる。

2015年2月より、米国アンシラリ市場におけるCrystEnaの実証事業を開始している。実際の電力取引を通じて蓄電

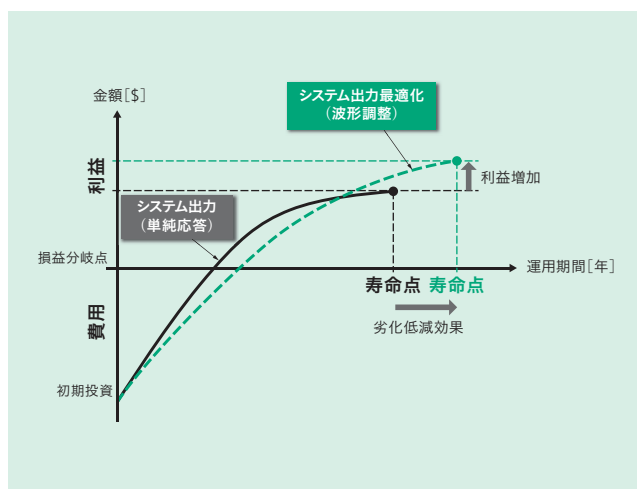


図3 | 長寿命化による収益最大化のイメージ

蓄電池の運用を緩和した場合には、寿命延長による生涯収益増加が見込まれる。

※) CrystEnaは、日立製作所の登録商標である。

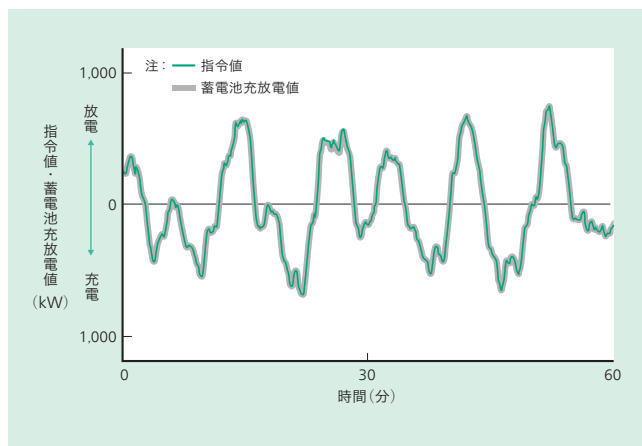


図4 | 指令値に対する蓄電システムの応答

系統運用者の指令に対し、遅れなく応答ができています。

システムの性能評価と信頼性、有効性の検証を行い、指令値に対し、良好な応答性を確認している（図4参照）。

4. 広域保護制御システム（RAS）の概要と今後の取り組み

本章では、米国の電力流通業界が抱える課題を示し、この課題解決を目的として日立が米国BPA（ボンネビル電力局：Bonneville Power Administration）と進めているR&D（Research & Development）プロジェクトの概要について紹介する。

4.1 北米の電力流通の課題とRASによる対策

北米では、電力流通インフラの老朽化や災害などにより、停電発生頻度が増加し、大規模停電の防止が求められている。また、再生可能エネルギーの導入拡大により、需給アンバランスや電圧変動を誘発させ送電系統運用が複雑となり、系統解析への投資が増大し、既存設備の能力を有効に引き出す技術が必要となってきた。さらに、運用制約により、再生可能エネルギーの出力抑制が発生するなどの課題も抱えている。電力流通における課題を図5に示す。

系統安定化技術としては、SVC（Static Var Compensator）やHVDC（High Voltage Direct Current）などのパワーエレクトロニクスの発展、PMU（Phasor Measurement Unit）やIED（Intelligent Electronic Device）などの変電所機器の標準化が世界的に進められつつあるが、それらを全体で制御して、最適な運用に結びつける技術開発は遅れている。このため、広域系統を対象とした、統合型の系統安定化システムであるRASの構築が求められている。RASとは、事前に定義された故障の予兆を検知したとき、北米電力信頼性評議会NERC（North American Electric Reliability Corporation）の運用基準を維持するために、事前に設定

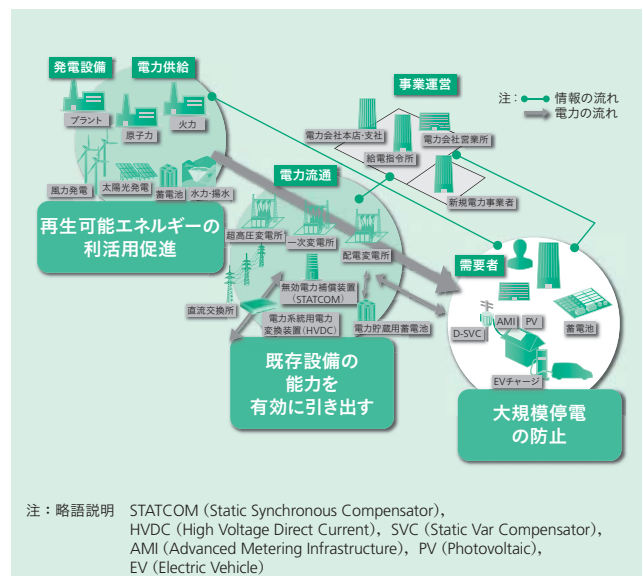


図5 | 電力流通における課題

電力の安定供給のために、さまざまな課題を解決する必要がある。

した正しい動作を自動で行う機構(Scheme)のことである。

4.2 米国BPAとのR&Dプロジェクトの概要と今後の展開

BPAは、オレゴン州ポートランドに本部を置く、米国エネルギー省（U.S. DOE：United States Department of Energy）管轄下の非営利の電力系統運用機関である。BPAは、系統安定化対策として、現在RASを導入している。

現状BPAでは、系統事故発生前のオフラインデータを用いたオフライン型RASを採用している。RAS運用時には、系統事故発生前のオフラインデータを用いた系統解析を行っており、このため、系統安定化を目的として、発電機の電源制限（電制）を行う際には、あらかじめ設定した条件下で電制量を算出している。

オンラインデータを用いた制御を行う、オンライン型RASの実績を有する日立は、この実績を基に、現在、より最適な電制量で電制を行えるようにすることを目的として、BPAと共同でR&Dプロジェクトを推進中である。本プロジェクトでは、実際の系統のオンラインデータを元に系統保護方策をリアルタイムで算出する特徴を有する、オンライン型RASのプロトタイプシステムを開発し、導入実現性や導入効果について今後、検証を進める予定である。具体的には、複数台の計算機を用いた並列演算処理を行うことにより、カナダから米国西部における系統全域を対象として、系統事故発生時における送電線の過負荷や母線電圧異常、発電機の脱調などに対する最適な対策を立案し、評価を進める予定である。電力流通の課題と日立のオンライン型RASによる対策の関係を表1に、オンライン型RASの制御フローを図6に示す。

表1 | 電力流通の課題と、日立のオンライン型RAS (Remedial Action Scheme) による対策

オンライン型RASの導入による課題解決により、電力システムの安定化に貢献する。

No.	課題	対策
1	大規模停電の防止	- 異常兆候を検出し、過去に蓄積されたナレッジを用いた対策立案支援により事故を未然に防止 - 広域保護制御スキームの構築により事故発生による影響を局所化
2	既存設備の能力を有効に引き出す	- 事前定義の送電可能容量ではなく、現在状態での電力システムシステムの送電可能容量で運転、既存設備の能力を最大限利用 - 安定状態を維持しながら、最適な電流量を算出するなど経済性を追求した、系統運用者への意思決定支援
3	再生可能エネルギーの活用を促進	- 再生可能エネルギーの連系量拡大に伴う運用リスクの正確な把握と低減対策 - 再生可能エネルギーの出力変動への対応として、再生可能エネルギー以外の制御可能な調整力の有効利用による信頼度維持

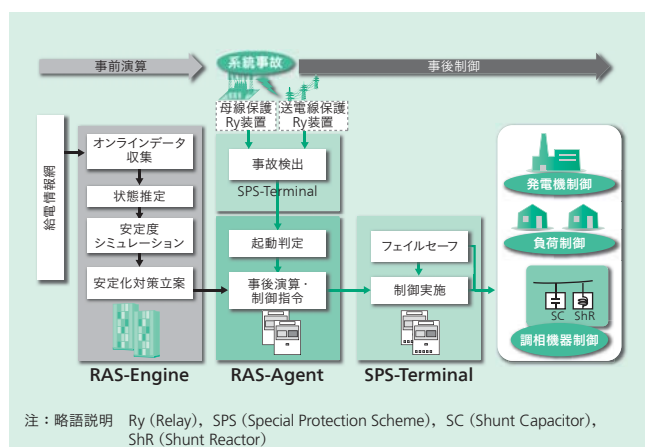


図6 | オンライン型RASの制御フロー

オンライン型RASは3階層で構成され、事前演算と事後制御を行う。

5. 日本の電力業界への貢献と展望

日本では再生可能エネルギーの導入量が増し、また、発送電分離が進められていくなど、電力業界を取り巻く環境は変化しつつある。米国では、日本に先駆けて、再生可能エネルギーの導入や発送電分離が進んでおり、本稿で述べた日立の北米での取り組みを、今後、日本へ展開していくことが可能であると考えられる。例えば、電力システムの広域連系が今後進展する場合、BPAと進めているプロジェクトから得られる知見を活用し、日本の電力システムの安定化に寄与するソリューションの提供が可能になることが期待される。また、北米のアンシラリー市場における蓄電システムを活用したプロジェクトから得られる知見の、日本で導入拡大する再生可能エネルギーの急峻（しゅん）な出力変動の抑制を目的とした蓄電システムによるソリューションへの活用が見込まれる。

6. おわりに

本稿では、日立の北米における系統安定化に向けた取り組みを紹介した。日立は今後も、北米のみならず、日本を含め、グローバルに電力システムの安定化に貢献するべく活動を進めていく。

参考文献など

- 1) 米国エネルギー省ホームページ, Wind Vision: A New Era for Wind Power in the United States, (2015.3)
<http://energy.gov/eere/wind/downloads/wind-vision-new-era-wind-power-united-states>
- 2) California Energy Commission Renewables Portfolio Standard (RPS) ホームページ,
<http://www.energy.ca.gov/portfolio/>
- 3) 本澤, 外：電力系統安定化に寄与するコンテナ型蓄電システム, 日立評論, 96, 5, 355~358 (2014.5)

執筆者紹介



堀井 博夫

日立製作所 エネルギーソリューション社
ソリューションシステム事業部 電力情報制御部 所属
現在、北米における電力系統安定化システムの事業展開に従事
技術士（総合技術監理部門、情報工学部門）
電気学会会員



齋藤 直

日立製作所 研究開発グループ エネルギーイノベーションセンタ
エネルギーマネジメント研究部 所属
現在、電力系統安定化システムの研究・開発業務に従事
IEEE会員、電気学会会員



本澤 純

日立製作所 エネルギーソリューション社
ソリューションシステム事業部 プロジェクト推進部 所属
現在、電力系統安定化ソリューション、特に蓄電システムの事業化に従事
PMP（プロジェクトマネジメント・プロフェッショナル）



別府 賢一郎

日立製作所 インフラシステム社 電力システム本部
電力エネルギー制御システム設計部 所属
現在、蓄電システムの設計・開発業務に従事



武田 賢治

日立製作所 研究開発グループ 材料イノベーションセンタ
エネルギーストレージ研究部 所属
現在、電力変換器、各種電池を活用した電力システムの研究・開発に従事



小海 裕

Hitachi America, Ltd. Infrastructure Projects Office 所属
現在、北米における電力系統安定化システムの事業展開に従事
博士（工学）
電気学会会員、IEEE会員、CIGRE会員