

成果報告書（概要版）

〔機関名〕 国立研究開発法人 産業技術総合研究所

〔テーマ〕 再生可能エネルギーの導入制約解消に向けた各種蓄電システムの特徴と最適な

役割分担の調査

目的

再生可能エネルギーは、地球温暖化対策と持続可能な社会を実現する最も現実的な解決策の一つと考えられている。一方で、太陽光発電や風力発電に代表される自然変動電源は、電力品質（周波数・電圧）の確保と安定供給の観点から、大量導入に対し懸念が生じている。蓄電池システムを含む各種エネルギー貯蔵システムは、自然変動電源の出力平滑化や、電力需要ピーク時及び緊急時に系統安定性を高めるための調整力として重要な電源設備である。

エネルギー貯蔵システムは、定置用大型蓄電池設備や電動自動車（EV 等）の充放電設備（ユビキタス利用）、水素等による大容量エネルギー貯蔵設備のような多岐に渡る応用手法が実現されている。固有の技術的特徴と社会経済的制約等を踏まえて、各種蓄電システムを最適な調和で電力系統に導入することによって、再生可能エネルギーの導入制約の解消に異なるインパクトを与える事が出来る。例えば、太陽光発電の大量導入時に見られるダックカーブと呼ばれる従来と異なる電力需要トレンドに対する電力調整力の不足を、規模や設置場所、充放電の応答速度の異なる蓄電池システムを組み合わせる場合、各種エネルギー貯蔵システムの分担の仕方によって費用対効果が異なってくる。

本調査では、現在の電力貯蔵技術とその性能、利用規模、再エネの普及による系統運用への影響、および機能試験の標準化に関する国内外の調査を行った。さらに、主にパワーコンディショナの応答性と大量の当該設備の制御を想定した通信応答性に着目し、弊所が有する実証・試験プラットフォームを活用した試験を実施。調査および試験結果に基づき当該分野の現状、取り組むべき課題を提示する。

成果概要

1. 各種エネルギー貯蔵システムの技術的特徴と経済性の調査

本報告では、電力系統からの期待する技術仕様の観点から様々なエネルギー貯蔵システム（Energy Storage System: ESS）の技術的特徴や経済的仕様についての調査・分類を行った。

調査対象は、技術的成熟度として開発中、開発済み、実証中、成熟、製品化の5つの分類から論文等の資料が公開されている可能な限りの抽出し、次の18種類を比較した結果が表1である。機械的エネルギ

一貯蔵が水力発電（PHS）、フライホイール（FES）、圧縮空気エネルギー貯蔵（CASE 地上、地下）の 4 種類、電氣的エネルギー貯蔵がスーパーキャパシタ（SCES）、超伝導エネルギー貯蔵（SMES）の 2 種類、熱的エネルギー貯蔵が低・高温 TES の 2 種類、化学的エネルギー貯蔵が水素（FC）の 1 種類、電気化学的エネルギー貯蔵が Pb-A, Ni-Cd, Mi-MH, Li-ion, Na-S, Na-MeCl₂ の 6 種類、Zn 金属空気貯蔵、レドックスフロー電池（VRFB）およびハイブリッドフロー電池（HFB）である。経済性を含めた調査の結果、電力品質の向上やオフグリッド等に CAES, FC, FES, SCES, SMES, VRFB, HFB および Zn 金属空気貯蔵技術の小中規模の実用化や低コスト化が期待される。エネルギー貯蔵システムの多種性は、電力システムの運用および計画策定に新しい可能性を生むことになる。そこで、電力品質、需給調整等の目的に応じて最適な特性の重要項目として定格出力（kW）、定格エネルギー（kWh）、応答時間の内、応答時間に着目しさらなる検証を進めた。さらに定置型に加えて、EV のような移動式エネルギー貯蔵システムにより電力システムの新たなサービスが期待されこれらの活用に向けた通信等の応答性評価も実施した。

2. システム運用を想定した応答速度試験

（ア）パワーコンディショナの応答試験

様々なシステム運用の柔軟性を向上するために重要な応答時間について、最も実用化が進んでいるリチウムイオン蓄電池（Li-ion）システムに着目し、直流を交流に変換するパワーコンディショナの応答性能試験を実施。これにより、充電から放電、放電から充電など 7 種類 10 モードの試験を策定し、応答時間の違いを確認した（図 1）。結果、各制御指令を受信してからの応答時間は、最も遅い試験項目である充電と放電の切り替わりを含む試験モードにおいても 10msec 程度で応答可能であることが確認された。これにより、指令を受信してからの応答は、将来想定される 1 次調整力市場への対応に十分な応答速度を備えており、さらなる高速な周波数対応が可能であることが示唆された。一方で、従来型の系統連系型（Grid-following）の PCS の場合、系統周波数の計測に基づく制御であるため、より早い周波数応答への対応に向けた新たな機能の開発や、同期発電機と同様に電圧源として模擬可能な系統形成型（Grid-forming）PCS の開発を進めることが再生可能エネルギーの導入比率の飛躍的向上に重要になる。

（イ）通信応答性能試験

主に配電系統に接続が想定される小型分散型のエネルギー貯蔵システムは、スマートインバータ等の活用により外部制御による系統サポート機能やアグリゲーションによる需給調整への新たなサービスに活用されることが期待されている。システム運用システムとしてその可能性を確認するためには通信を含めた応答時間の検討が不可欠である。そこで、HEMS, PV, ESS, EV 等の制御対象（IED）とのインタフェースとなる国際標準規格 IEC61850 の通信モデルに準拠した EV-PV 連系通信のシミュレーション試験環境を構築し、エンドツーエンド（ETE）の遅延（時間応答）に関する性能評価を実施。EV 充放電の通信制御に必要なメッセージ交換は十分少なく、生じた通信量も少ない。そのため、制御対象である EV や家庭の増加による遅延への影響は、十

分小さいことが確認された。これらの試験は、有線／無線それぞれのネットワークで比較され、無線使用時においても十分満足する応答性能を示した。これにより、EV等の限られた通信制御の場合、IEC61850の通信規格に基づく制御方法が妥当である。今後、日本独自の通信スキームや他の通信プロトコルについても検証を実施する必要がある。

3. まとめ

電力系統の運用およびサービス構造の根本的な変化から、エネルギー貯蔵システムへの期待やニーズは高まることが想定される。特に再生可能エネルギーが主力電源として再エネ比率が増加するのに伴い、調整力の不足や既存同期発電機の減少による低慣性化が懸念される。この問題を緩和するためにはより応答時間の短いエネルギー貯蔵システムが求められ、それらのサービス化に向けた通信制御を考慮したエネルギー貯蔵システムの系統安定化にむけた機能の開発が重要となる。もちろん従来から言及されている需給調整力に向け、各調整力ニーズ（短周期から長周期）に応じて、中規模から大規模までのエネルギー貯蔵システムの技術開発が必要であることは言うまでも無い。さらに水素等を利用したよりエネルギー定格(kWh)の大きな技術開発は必要である。すなわち、単位容積当たりより多くのエネルギー貯蔵が可能なシステムと低コスト化が重要である。さらに、系統の安定化に向けたサービスを念頭としたエネルギー貯蔵システムの実用化として、応答性能に着目したPCS応答速度と通信遅れについて試験を実施した。多くの系統に連系されるエネルギー貯蔵システムは、電力変換機器であるPCSを必要とする。将来的に重要度が増すアンシラリーサービスとして、通信制御を見据えたPCSの新たな機能開発や高性能化が重要となる。

表1. 各種ESS技術の技術的及び経済的仕様 - I

ESS 技術	定格容量 (MW)	エネルギー 定 格 (kWh)	エ ネ ル ギ ー 密 度 (Wh/kg)	電 力 密 度 (W/kg)	放 電 時 間 (ms-h)	応 答 時 間 (ms-h)	往 復 効 率 (%)
機械的エネルギー貯蔵システム							
PHS	10～5000	2x10 ⁵ ～ 5x10 ⁵	0.5-1.5	—	1～24+ 時間	分	70～85
FES	0.01～0.25	25～5k	5-80	700- 12000	秒～15 分	秒	90～95
CAES(地下)	5～300	2x10 ⁵ ～10 ⁶	30～60	—	1～24+時間	分	41～75
CAES(地上)	3～15	2～8.3	140～300 気 圧	—	2～4 時間	秒～分	70～90
電気的エネルギー貯蔵システム							
SCES	0.01～0.3	10 ⁻³ ～5	0.05 - 15	10 - 10 ⁶	ms～分	ms	85～95
SMES	0.01～10	15-100, 5x10 ⁶	0.5 - 5	500 - 2k	ms～秒	ms	90～97
熱エネルギー貯蔵システム							
低温 TES	0.01～300	—	100-200	10 - 30	1～8 時間	より遅い	30～50
高温 TES	1～60	—	80-250	—	1～24+時間	早くない	80
化学エネルギー貯蔵システム							
水素 (FC)	0.3～50	< 200k	600～1.2k	5～800	秒～24 時間	秒	30～50
電気化学的エネルギー貯蔵システム							
従来型 Pb-A	< 20	18k～100k	30～50	200-400	秒～5 時間	ms	70～90
Ni-Cd	< 40	6.75k	15～55	150-350	1～8 時間	ms	75
Ni-MH	< 0.03	0.01～500	60～80	150-460	時間	ms	70～80
先進型 Li イオン	0.05～100	250～25k	120～230	150-2k	分～1 時間	ms	85～95
Na-S	10～34	245k	150～240	150-230	6～7.2 時間	ms	75～90
Na-MeCl ₂ (ZEBRA)	0.005～1	120～5k	86～140	180-245	秒～時間	ms	90
金属空気 Zn 空気	0.01～1	60～150	1k～1.3k	90-105	10～15 時間	ms	50～65
フロー電池 VRFB	0.01～10	4k～40k	25～35	—	5～10 時間	ms	60～75
HFB (ZBB)	2～10	50-500	65～75	—	8～10 時間	ms	60～80