

「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」
(事後評価)分科会
資料7

「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 スマートコミュニティ部
-----	--

—目次—

概要

プロジェクト用語集

第Ⅰ章 事業の位置づけ・必要性について	1
1. 事業の概要	1
2. 事業目的の妥当性	4
2.1 系統安定化のための大型蓄電システム利活用の期待	4
2.2 再生可能エネルギーの導入動向	6
2.3 大規模蓄電システムの導入動向	10
2.4 大規模蓄電システムの市場動向	32
2.5 大規模蓄電システムの技術動向	37
2.6 国際標準化の状況	47
3. NEDO事業としての妥当性	49
3.1 関連する上位政策・戦略への寄与	49
3.2 NEDOの関与の必要性	53
3.3 実施の効果	55
第Ⅱ章 研究開発マネジメントについて	57
1. 研究開発目標	57
2. 研究開発計画	60
2.1 研究開発内容	60
2.2 研究開発スケジュール及び予算	63
3. 研究開発の実施体制	64
3.1 研究開発実施者	64
3.2 技術委員会の設置	65
3.3 実施者間の連携	66
4. 研究開発の進捗管理	70
4.1 プロジェクトの進捗管理	70
4.2 情勢変化への対応	71
5. 知的財産に関する戦略	71
6. 中間評価結果への対応	72
7. 評価に関する事項	75
第Ⅲ章 研究開発成果について	76
1. 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果	76
2. 「共通基盤研究」の成果	118
3. 成果の普及及び知的財産権の確保に向けた取り組み	135
第Ⅳ章 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて	137
1. 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し	137
2. 「共通基盤研究」の成果の実用化に向けた取り組み及び見通し	139

概要

		最終更新日	2016年11月15日
プログラム (又は施策)名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発	プロジェクト番号	P11007
担当推進部 /担当者	スマートコミュニティ部 桜井 孝史(2014年4月～現在)、細井 敬(2012年5月～現在)、 大島 直人(2014年6月～現在)、判谷 弘嗣(2015年7月～現在) 古田土 克倫(2015年8月～現在)、下山田 倫子(2015年8月～現在) 木内 幸浩(2014年1月～2016年10月)、森 伸浩(2013年2月～2015年1月)ほか		
0. 事業の概要	<p>本プロジェクトにおいては、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大と蓄電分野における国際競争力の維持・向上を目的として、低コスト化、長寿命化、安全性向上を追求した系統安定化用蓄電システムの開発とその劣化診断技術の開発を実施した。</p> <p>「系統安定化用蓄電システムの開発」は、主に企業からなる7グループが、周波数変動調整用途や余剰電力貯蔵用途の大型蓄電システム(数十MWh～数GWhを想定)の低コスト化、長寿命化、安全性確保のための技術開発を行った。開発目標はシステム効率80%以上、寿命20年以上、コストは余剰電力貯蔵用が2万円/kWh以下、短周期の周波数変動調整用が、7万円/kWh以下とした。また、予期せぬ誤動作・内部短絡等に対しても安全性が担保することとした。さらに、実際に国内外ユーザーサイトの実電力系統に設置・運用することで、その蓄電池の系統安定化効果を実証するとともに、一連の実証試験の中で、大規模蓄電システムの輸送・設置、現地系統への接続及び蓄電池の実運用の経験を通してノウハウを蓄積し、事業化への道筋も確立することとした。</p> <p>「共通基盤研究」は、2大学が蓄電池の内部インピーダンスを高価なポテンシオスタットや周波数応答アナライザを用いることなく、蓄電システムのパワーコントローラーを用いて、運用中に測定可能な手法として、矩形波を入力してその応答波形から解析を行う技術と電圧・電流の過渡現象から解析する劣化診断技術を開発した。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>1. 事業目的の妥当性</p> <p>(1)系統安定化対策 大型蓄電システムは電力系統の安定化に貢献する技術として期待されているが、現状のシステムコストは他の系統安定化策に対して高く、採算性が低い。余剰電力貯蔵用途として、蓄電池が3.1万円/kWhよりも低コストとなれば最も低コストである揚水発電より事業性が高くなり、また、周波数変動調整用途として、蓄電池が18万円/kWhを下回れば、最も低コストであるLNG火力発電より事業性が高くなる。</p> <p>(2)再生可能エネルギーの導入動向 再生可能エネルギーの導入は、地球温暖化を助長する温室効果ガスの排出抑制策の一つとして特に欧州で進んでいるが、最近では、世界中で再生可能エネルギーの普及が社会にもたらす効果(環境保全、地域活性化、雇用創出、エネルギー安全保障、輸入燃料への依存度低下等)について認識が深まっており、導入拡大に向けた取組みが強化されている。全世界の総発電量に占める再生可能エネルギーの発電量の割合は、2013年が22%であるが、2020年には約26%、2030年には約30%まで上昇するとされている。</p> <p>(3)大規模蓄電システムの導入動向 米国エネルギー省(DOE)が公開しているデータベースによると、世界全体の電池種別の蓄電システム導入量は、2008年頃から再エネ電源の出力安定化向け、電力タイムシフト向けとしてNAS電池とリチウムイオン電池、2009年頃から周波数変動抑制向けとしてリチウムイオン電池、2014年以降送電混雑解消向けのNAS電池の導入が増加している。2015年までの累積電力量は出力800MW、容量1,550MWhに達している。 IEAの予測では、世界全体で今後、再生可能エネルギーが積極的に導入されるため、2050年までに揚水発電も含めた蓄電システムの需要が最大305GWに拡大するとしている。</p> <p>(4)大規模蓄電システムの市場動向 系統用蓄電システム向けの蓄電デバイスの世界の市場規模は、2015年で約500億円であるが、2025年には約1,900億円と約4倍に成長すると予測されている。</p>		

	<p>2. NEDO 事業としての妥当性</p> <p>(1)政策上の位置付け 本プロジェクトは、経済産業省の「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」の一環として 2011 年から実施した。 低コスト・長寿命・安全性の高い蓄電システムの実用化により、新エネルギー大量導入時における系統電力の安定化が可能となり、同基本計画の達成目標である、「新エネルギー等の開発・導入促進」が図られる。 また、蓄電システムを送電系統に分散設置することで、従来の集中型から分散型へのエネルギー構造のシフトを促進し、従来の化石燃料由来の電力も有効・効率的に利用することが可能となり、同じく「化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」が図られる。</p> <p>(2)NEDO の関与の必要性 ・NEDO は、様々な領域・分野におけるプロジェクトの推進等を通じて蓄積された技術及び市場・産業動向に関する知見やマネジメントの経験・ノウハウを有し、それらが活用できる。 ・NEDO は、ビジネス上の競合関係にある複数の民間企業が参画したプロジェクトにおいて、各参画企業に対し、公平な予算配分管理や進捗管理等を行い、日本全体としての競争力を向上させていくことができる。 ・NEDO は、異なる大学の研究グループが互いに情報を共有しつつ、連携・協力して研究の効率化や質の向上を図るように関与することができ、また、これらの大学の先進的な技術について産業界とのマッチングを図ることができる。</p> <p>(3)実施の効果 ①産業競争力強化:7つの企業グループの技術開発を加速し、世界の情勢に乗り遅れることのないよう早期の事業化を後押し。 ②費用対効果:助成先企業の売上見通しは、2020 年度まで 5 年間、7 企業グループの合計額で約 1,400 億円。5 年目の 2020 年度には約 600 億円の規模の事業まで成長。 ③我が国の系統安定化対策コストの削減:本プロジェクトの蓄電システムが実用化されれば、我が国の系統安定化対策コストの削減に貢献できる。 ④学術成果の産業技術への引き上げ:大学が実施した劣化診断技術の研究内容・成果を企業など他の実施者にも紹介し、産業界における活用及び実用化が実現。 ⑤ビジネス展開及び人材育成:各助成先企業の他用途市場におけるビジネス展開に寄与。蓄電システムには広範囲で高度な設計・製造技術が必要なため、若手工学技術者の育成に寄与。</p>
<p>II. 研究開発マネジメントについて</p>	
<p>事業の目標</p>	<p>[最終目標](平成 27 年度末) ・開発した蓄電システムを送電系統に接続した場合の効果をフィールドテスト等によって実証する。 ・次の蓄電システム目標値を満たす蓄電デバイスや蓄電システムの実用化の目処を得る。 (a)余剰電力貯蔵用として、2 万円/kWh、寿命 20 年相当 (b)短周期の周波数変動に対する調整用として、7 万円/kW、寿命 20 年相当 (c)予期せぬ誤動作や内部短絡等に対してもシステムとして安全性が担保されていること ・将来的に大規模蓄電システムへ展開可能な劣化診断法等の研究により技術の見通しを得る。 ・必要に応じて蓄電システムの設置・輸送に係わる法改正等に向けた安全性評価等の取り組みを行い、系統安定化用蓄電システムの普及のための基盤作りを進める。</p> <p>[中間目標](平成 25 年度末) ・系統安定化用蓄電システム開発を実施し、それに求められる機能や安全性等の性能を満たしたベンチマークとなる実用化技術を確立する。 ・蓄電システムの「要素技術」の開発により、従来と比較して飛躍的に低コスト、長寿命で安全性の高い蓄電システムの実現可能性を示す。 ・必要に応じて送電系統へ設置する蓄電システムの設置・輸送の規制等に係る検討を開始する。</p>

■「系統安定化用蓄電システムの開発」に対する指摘事項と対応	
指摘事項	対応
⑤今後の進捗状況に応じ、材料開発とシステム開発のバランスを見直す。	各助成先は、本プロジェクトと自社研究を同時並行で進めており、総合的バランスは取れている。実証試験で課題が抽出された場合には、材料開発や要素技術開発にフードバックした。
⑥電池について今後の開発の中でも十分な安全性試験を行って欲しい。	各助成先は、本プロジェクト及び自社研究で安全性技術の開発等を進めている。安全性は、技術委員会でも議論し、助言や実証試験の結果等も踏まえて、取り組んだ。
⑦電力会社との連携が弱い。NEDO 側からも積極的に電力会社との連携を図ること。	NEDO から沖縄電力等の電力会社に、本プロジェクトの全体像を説明し、実証試験の実施や実証データの公開について協力してもらえるよう、直接働きかけ、必要な情報提供を頂いた。
⑧実施者に FMEA を義務付けるなど、論理的に安全性を担保。	フライホイールの助成先も含めたすべての助成先で、FMEA に取り組み、安全性評価に反映させた。
⑨実証試験実施後は、そのデータを可能な限り公開及び積極的な発信に期待。	ビジネスチャンス創出のため、実証成果は積極的に発信するよう各助成先に提案した。実証開始については各助成先及び NEDO から発信済。
■「共通基盤研究」に対する指摘事項と対応	
指摘事項	対応
⑩劣化診断法が、実際の大容量電池でどの程度正確に劣化診断ができるか明確に。	実用蓄電池の評価に向けて、委託先の 2 大学で診断結果を比較しながら、有用性を明確にした。各大学で大型蓄電システムにおける診断を継続中。
⑪診断技術を制御技術と一体化して、システム全体としての長寿命・高信頼化を目指すべき。	診断技術の発展として、指摘された方向を将来的に目指すべき。本プロジェクトにおいては、まずは電池としての劣化診断技術を確立した。
⑫メーカの技術者など実務者（産総研、電中研を含む）から見た評価を聴取。	本事業の助成先電池メーカ、産総研、電中研等の実務経験者が参加する技術委員会を開催し、評価や一般性検証手段など様々な助言をもらった。
⑬同じ電池で提案の測定を行い、結果比較して検討が必要。	両大学の研究交流会で比較方法を検討し、同じ電池を用いて同等の診断結果が得られることを確認した。診断時間、測定精度、コスト等、診断技術全般の比較も行った。
⑭診断技術の一般性を検証すること。実際の系統で使用されるメーカ電池を診断して欲しい。	電池メーカの特定された市販電池を用いて、診断技術の一般性を検証した。各大学で大型蓄電システムにおける診断を継続中。
中間評価	H25 年度 中間評価実施
事後評価	H28 年度 事後評価実施
III. 研究開発成果について	<p>1. 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・いずれの実施者もコスト・寿命ともに現行品から大幅に改善し、目標を達成した。 ・また、システム効率についても、前提である 80%以上をクリアした。 ・安全性については、蓄電デバイスの種別に応じて実施者が評価法を選定又は開発して進めた。 <p>実施者ごとの成果は以下の通り。</p> <p>(1)安全・低コスト大規模ハイブリッド型蓄電システム技術開発(日立製作所、日立化成) 低コスト、長寿命で安全性の高い鉛蓄電池をもとに、更なる長寿命・高入出力な蓄電デバイスを開発し、周波数制御に有利なリチウムイオンキャパシタ(LiC)と組み合わせ、短周期変動対策と余剰電力の発生対策の両立を図ったハイブリッド型蓄電システムを開発した。伊豆大島において、電力系統と接続し実証を行った。</p> <p>(2)低コスト・高性能リチウム二次電池を用いた大規模蓄電システムの研究開発(三菱重工業) 蓄電システムの低コスト化や耐久性・安全性向上を目指して、リチウムイオン電池の開発及びコンテナ型システムの設計を行った。開発電池の性能データや蓄電システムの性能・安全性予測ツールを用いて、蓄電システムの寿命や安全性等を見積もり実用化の目処を得た。英国オークニー島に設置し、周波数調整パターンでの各種運転データを取得・評価した。</p>

	<p>(3)系統安定化用の低コスト高出力蓄電システムの技術開発(東芝) リチウムイオン電池のガス発生による経時劣化を改善した長寿命セル、低コストで耐震性・冷却性に優れた電池盤、蓄電池のオンライン監視及び劣化診断技術、を開発した。国内外の実証試験からこれらの有用性を検証し、グローバル対応の基本設計を確立した。米国で周波数変動調整、欧州で配電線負荷変動平滑化の実証試験を実施した。</p> <p>(4)安全・低コスト・高性能ニッケル水素電池および蓄電システムの開発(川崎重工業) 安全・低コスト・長寿命で内部抵抗の低いニッケル水素電池及びSOC算出精度向上や劣化診断等の電池監視システムを開発した。南大東島に設置し、風車出力変動による周波数変動抑制、ディーゼル発電機の出力変動抑制を実証した。</p> <p>(5)大規模システムを想定したMn系リチウムイオン電池の安全・長寿命化基盤技術開発(日本電気、NECエナジーデバイス) ラミネート型Mn系リチウムイオン電池の安全性を更に向上するためにゲルポリマー電解質を用い、コスト目標を実現可能な低コスト材料に寿命改良策を導入した安全・低コスト・長寿命のセル技術を開発した。開発したセルを小規模蓄電システムに搭載し、システムレベルでの安全性を実証した。</p> <p>(6)次世代フライホイール蓄電システムの開発(鉄道技術総合研究所、クボテック、古河電工、ミラプロ、山梨県企業局) 軽量、強靱な大口径CFRPロータの製造技術、高い浮上特性を有する超電導磁気軸受技術等を開発し、世界最大級の大容量フライホイール蓄電システムを完成させた。山梨県米倉山太陽光発電所で実証試験を行い、太陽光発電出力の平滑化を実証した。</p> <p>(7)短周期周波数変動補償のためのネットワーク型フライホイール蓄電システムの開発(サンケン電気) 1kWhクラスの小容量フライホイール蓄電システムと、ネットワークにより最大4,000台のフライホイールを接続可能な監視・制御システムを、汎用部品をできる限り採用して低コストで設計し、接続台数により装置容量の柔軟性の高い蓄電システムを開発した。</p> <p>2. 研究開発項目②「共通基盤研究」の成果</p> <p>従来法と比較して低コストで導入可能であり、運転中のオンラインで診断が可能な劣化診断技術を開発した。早稲田大学が開発した矩形波インピーダンス法は精度に優れ、同志社大学が開発した過渡現象診断法はコストに優れるが、両大学の劣化診断技術のそれらの特徴を定量的に比較した。</p> <p>実施者ごとの成果は以下の通り。</p> <p>(1)系統安定化用蓄電池システムの劣化診断基盤技術の開発(早稲田大学) 蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳しインピーダンスを測定することにより、蓄電池運用中に診断が可能な劣化診断技術及び劣化診断システムを開発した。電力変動プロファイル生成システムを構築し、これを用いて開発技術は大型蓄電施設へ適用可能な手法であることを実証した。</p> <p>(2)過度現象を利用する大規模蓄電システムの非破壊劣化診断技術の開発(同志社大学) 大規模蓄電システムに用いられる大型・長寿命のリチウムイオン電池の性能評価、余寿命予測のため、機器稼働時の電池端子電圧と電流の時間波形(過渡応答)から、稼働中の大規模蓄電池の劣化状態を非破壊で簡便に診断できる劣化診断技術を開発した。</p> <table border="1" data-bbox="391 1467 1444 1624"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>46件(うち査読付19件)</td> </tr> <tr> <td>特許出願</td> <td>108件(うち海外出願39件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表(プレス発表等)</td> <td>研究発表・講演:138件、受賞実績2件、新聞・雑誌等への掲載:66件 展示会への出展:56件</td> </tr> </table>	投稿論文	46件(うち査読付19件)	特許出願	108件(うち海外出願39件)	その他の外部発表(プレス発表等)	研究発表・講演:138件、受賞実績2件、新聞・雑誌等への掲載:66件 展示会への出展:56件
投稿論文	46件(うち査読付19件)						
特許出願	108件(うち海外出願39件)						
その他の外部発表(プレス発表等)	研究発表・講演:138件、受賞実績2件、新聞・雑誌等への掲載:66件 展示会への出展:56件						
<p>IV. 実用化・事業化の見通しについて</p>	<p>1. 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の事業化の見通し</p> <ul style="list-style-type: none"> ・7つの企業グループが開発した技術は、商品、製品、サービス等の販売・利用に直接繋がり、高信頼性・安全性、長寿命といった大型蓄電システムの市場で強みを発揮する技術である。コストも、海外の技術開発目標と比べても競争力を有した目標を達成しており、市場で優位を確保できると考える。 ・7つのうち5つの企業グループは、電気事業者等との協力関係を構築し、開発成果を取り込んだ大型蓄電システムを国内外の実電力系統に設置しての実証試験を行い、その系統安定化効果の検証を進めており、本プロジェクト期間中において既に開発成果の実用化(社会的利用、顧客への提供)は開始されたと言え、事業化のステージに進めることは確実である。 ・7つの企業グループの事業展開シナリオは、本プロジェクトの開発成果を2016年度からは既存市場向け又は比較的小型システムに適用し、2020年度前後からは新たな市場向け又はより大型システムに適用し事業化していく見込みである。なお、本プロジェクトにおける実証試験の実施に際して協力関係を構築した国内外の電力会社は、今後市場が拡大する大型蓄電システムの市場におけるアーリーアダプターになり得る存在であり、ビジネス展開に向けた足掛かりになると考える。 						

	<p>・各企業グループの売上計画は、プロジェクト終了から5年後に約600億円/年(システム容量で約780MWh/年)のビジネスに成長する見込みであり、経済効果が期待できる計画となっている。なお、各企業グループの売上計画が実現するには、ビジネスの初期段階において生産量を確保していく必要がある。</p> <p>・NEDOが各企業グループから個別にヒアリングした商談状況によると、顧客との商談中・商談成立・出荷済の案件は、2016年9月時点で合計約135億円(システム容量で約185MWh)となっており、2017年度までの売上計画累計である約165億円(システム容量で約190MWh)の実現に向けて、各企業グループは、鋭意、営業活動を展開している。</p> <p>2. 研究開発項目②「共通基盤研究」の実用化の見通し</p> <p>・本プロジェクトで開発された劣化診断技術は、大型蓄電システムが社会に普及していく上で必要不可欠な技術である。早稲田大学では、44kWh級の蓄電システムに組み込んだ技術検証を済ませており、同志社大学でも14.4kWh級の太陽光発電ハイブリッド蓄電池システムに組み込んだ技術検証を済ませている。従って、両大学の劣化診断技術は、既に実用の蓄電システムでも技術検証が済んでいることから、成果の実用化は確実であると言える。</p> <p>・本プロジェクトの成果の実用化に向けて、両大学は幅広く情報発信しており、現在、両大学合わせた合計で18件の共同研究が実施されている。その内訳は定置用システムメーカー及び蓄電池メーカーが4件、電力会社が3件、測定器メーカーが4件、自動車用途などの定置用以外の分野で7件となっている。</p> <p>・インピーダンスによる蓄電池の劣化診断技術は、蓄電池の種類としてとしてリチウムイオン電池だけでなくニッケル水素電池等にも適用でき、また、電気自動車、ハイブリッド自動車、鉄道、船舶等の移動体用の蓄電池の診断にも適用できることから、今後、成果の実用化の拡大が期待できる。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	2011年3月 作成
	変更履歴	なし

プロジェクト用語集

用語	説明
18650 型電池	直径 18 ミリ、長さが 65 ミリの円筒形状をした二次電池。
CCCV	Constant Current/Constant Voltage 定電圧 (CV)・定電流 (CC) での二次電池充電方法。
BMU	Battery Management Unit 組電池を制御する制御システムは、通常、電池セルを管理する複数の CMU (Cell Monitoring Unit) と、これらの CMU の動作を管理する BMU によって構成される。
C	定電流充放電したときに、ある時間で放電終了となる電流値。Ex) 1 C…1 時間、0.2 C…5 時間で放電終了となる電流値。
CFRP	Carbon-Fiber-Reinforced Plastic 炭素繊維強化プラスチック
Cole-Cole プロット	並列回路の抵抗と容量を求めるのに、いろいろな周波数でインピーダンスの抵抗的成分と容量的成分を測定し、それぞれを横軸、縦軸にとってプロットすると半円になり、この直径が元の抵抗になる。このようなプロットを Cole-Cole プロットと呼ぶ。
CR 回路	コンデンサ (C)、抵抗器 (R) で構成され、電圧または電流で駆動される電気回路。
CTL	Coal-to-Liquid 石炭を原料として化学反応でガソリン・軽油等の液体燃料に転換したもの。
DEC	ジエチルカーボネート。リチウムイオン電池の電解液として用いられる。
EC	エチレンカーボネート。リチウムイオン電池の電解液として用いられる。
EES	Electrical Energy Storage 電力貯蔵
EPRI	Electric Power Research Institute 米国電力研究所 (主に米国の電気事業者が設立した研究開発機関)
FIT	Feed-in Tariff 再生可能エネルギーの固定買取価格制度。
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis 故障モード影響度解析
FPGA	Field-Programmable Gate Array 製造後に購入者や設計者が構成を設定できる集積回路。
FRA	Frequency Response Analyzer 二次電池の電気的特性を解析・評価するための交流インピーダンスの周波数特性を測定装置。
FW	→フライホイール
FWED	→フライホイール蓄電素子
FWES	→フライホイール蓄電装置
FWES-SYS	→フライホイール蓄電システム
IEC	International Electrotechnical Commission 電気、電子、通信、原子力などの分野で各国の規格・標準の調整を行う国際機関。1906 年に設立され、1947 年以降は ISO の電気・電子部門を担当している。
in-situ	「その場で」「反応系中で」。
ISO	International Organization for Standardization 電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための民間の非政府組織。本部はスイスのジュネーブ。
ISO	Independent System Operator 独立系統運用者
JIS	Japanese Industrial Standards 日本工業規格。工業標準化法に基づき、日本工業標準調査会の答申を受けて、主務大臣が制定する工業標準であり、日本の国家標準の一つ。

用語	説明
LiCo	LiCoO ₂ コバルト酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
Li	→リチウム
LIB	→リチウムイオン電池
LiOH	水酸化リチウム（すいさんかりチウム、lithium hydroxide）。蓄電池の電解質として利用される。
LiPF ₆	六フッ化リン酸リチウム。リチウムイオン電池の電解質塩として使用される。
LMO	LiMn ₂ O ₄ マンガン酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
LNO	LiNiO ₂ ニッケル酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
NaS 電池	負極にナトリウムを、正極に硫黄を、電解質にβ-アルミナを利用した高温作動型二次電池である。特に大規模の電力貯蔵用に作られ、昼夜の負荷平準などに用いられる。
NCA	Li[NiAlCo]O ₂ 正極活物質材料
NCM	Li[NiMnCo]O ₂ 正極活物質材料
PCS	Power Conditioning System 電池等の直流電源を系統等の交流電源に変換するため、若しくはその逆のための設備。
RTO	Regional Transmission Organization 新規送電機関
SC-EIS 法	Electrochemical Impedance Spectroscopy セルに非常に微小な交流信号を印可し、電圧/電流の応答信号からセルの矩形波インピーダンスを測定する電気化学測定手法。
SEI	Solid Electrolyte Interface リチウムイオン電池の電解液/電極界面では、Li イオンと電解液の電気化学反応によって、皮膜が形成され、それによりLi イオンの拡散が抑制される。
SOC	State of Charge 充電状態、満充電に対する充電率のこと。
圧縮空気貯蔵	圧縮空気を地下の空洞等に溜めておき、必要時にこれを解放し、普通の燃焼型タービンの排気熱でその空気を熱し、空気を膨張タービンに使い発電する方法。
アンシラリーサービス	電力品質を維持するために電力を取引市場を通じて売買する仕組み。米国等において、電力系統運用者や電力公理事業者が発電者から必要に応じて電力を購入する。
インダクタンス	一つのコイルに流れる電流が変化して誘導起電力が現れる場合に、この起電力が電流の変化する速さに比例するときの比例定数。電磁誘導の大きさを表し、単位はヘンリー。
インピーダンス	電池を電気回路と見なしたときの抵抗成分。
エネルギー密度	電池から取り出せるエネルギー量の単位体積または単位質量当りの値。前者は (Wh/L)、後者は (Wh/kg) で表す。
エネルギー容量	電池から取り出せるエネルギー量。電圧と電気容量の積であり、(Wh) で表す。
過充電	蓄電池や蓄電器を充電しすぎること。異常な発熱や内圧の上昇が起こり危険なため、ふつう安全回路を取り付けてこれを防止する。
活物質	電極活物質ともいう。化学電池で、その電池の起電反応のもととなる主要物質のこと。リチウムイオン電池では、正極活物質として、コバルト酸リチウム、マンガン酸リチウム、リン酸鉄リチウムなどが、負極活物質として、黒鉛などが使用されている。

用語	説明
過渡応答	入力がある定常状態から他の定常状態に変化したときの応答のこと。入出力の関係を調べることにより、その動特性を知ることができる。
金属空気電池	正極に空気中の酸素を利用する触媒材料を使い、負極に亜鉛やアルミ、リチウムなどの金属を使用。正極の容積を小さくして小型・軽量化が期待できる蓄電池。
クーロン効率	充電容量に対する放電容量の割合。充電で用いた容量のうちどれだけが放電で取りもどせるかを示す。
矩形波	非正弦波形の基本的な一種であり、電子工学や信号処理の分野で広く使われる。2レベルの間を規則的且つ瞬間的に変化する波形。
系統ブラックスタート	外部からの電力供給無しに発電を開始できる能力であり、これにより系統のオペレーターは、再起動に数時間から数日を要するより複雑な電源に補助電力を供給することが可能となる。
結着材	→バインダー
ゲル	コロイドのなかで、液体を分散媒とする分散系が流動性を失って固化したもの。身近なものではこんにゃく、ゼラチン、シリカゲルなどがある。
黒鉛	炭素の同位体の一つであり、炭素原子六員環が同一面に連なったグラフェン面が積層した構造となっている。商品化されているリチウムイオン電池の負極材料として使用されている。
サイクル特性	一定条件下での充放電サイクル数と容量維持率の関係をプロットした図で表され、エネルギー密度、レート特性と並ぶ重要な電池特性。通常、室温、1Cで充放電を繰り返したときの容量値の推移を見る。二次電池のような充放電をしながら使用するデバイスでは、充放電サイクルを重ねても劣化が少ないことが要求される。
再生可能エネルギー	自然現象を利用した永続的に使用可能なエネルギー源のこと。例えば太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、バイオマス等がある。
周波数応答	信号伝達要素の固有の性質を表現する方法の一つ。信号伝達要素に一定周波数、一定振幅の正弦波状に変化する信号を加えると、過渡的な状態を除いた定常状態の出力は定振幅の正弦波となる。そこで周波数を線形要素の使用周波数帯域で変化させ、両者がどのように変わるかを調べると、それが線形要素固有の性質を示すので、この表現を周波数応答という。
充放電サイクル	充放電の繰り返し回数。電池の劣化していく主な原因は充放電繰り返しにより、セルの内部抵抗も増大していくため。内部抵抗が増大すると電池容量、放電レートや温度特性も低下。
需要家用	電気やガスなどについて、その供給を必要とし、供給を受けて使用している者。消費者、コンシューマー。
初期容量	電池が最初に持っている放電容量。
スマートコミュニティ	街全体でエネルギーを有効活用できるような仕組みを取り入れた街作り。
スラリー	リチウムイオン電池やニッケル・カドミウム蓄電池に用いられる電極活物質、導電材、バインダーを混合したもの。
セパレータ	電池の中で正極と負極を隔離し、かつ電解液を保持して正極と負極との間のイオン伝導性を確保する重要な材料。
セル	単電池。電池の内部構造で、正極・負極・電解液の1組。またはそれを1組だけ持つ電池。
短周期周波数変動	数分から20分間程度までの周期の系統周波数変動のこと。

用語	説明
超電導	特定の金属や化合物などの物質を超電導転移温度以下に冷却したときに、電気抵抗がゼロになる現象。また、物質内部から磁力線が排除されるマイスナー効果によって「磁気浮上」現象を示す。
デジュール化	JIS、ISO、IEC等の公的機関によって標準として決定すること。
電解液	電解質を含んだ溶液で、電極に直接接して用いる。リチウムイオン電池では、極性が大きく溶解力の高いカーボネート系有機溶剤が使用される。
電極	電解質溶液などの系に外部から電流を通すために、あるいはこれらの系から電流を外部に取り出すための導体。
電力系統	電力を需要家の受電設備に供給するための、発電・変電・送電・配電を統合したシステムである。
電力タイムシフト	電気の使用時間帯を昼間時間から夜間時間に、シフトすることで、電気料金の低減を図る手段。
ナイキストプロット	制御理論における周波数応答の実部を横軸に、虚部を縦軸にとる極座標系において、角周波数 ω を0から ∞ まで変化させた軌跡を描いた線図。
内部ガス	充放電に伴い、電解液が分解して発生するガス。
鉛蓄電池	正極（陽極板）に二酸化鉛、負極（陰極板）には海綿状の鉛、電解液として希硫酸を用いた二次電池。自動車のバッテリーとして広く利用されている。
二次電池	充電することにより何度も繰り返して使用できる化学電池。蓄電池ともいう。
ニッケル水素電池 (NiMH)	二次電池の一種で、正極に水酸化ニッケル、負極に水素吸蔵合金、電解液に濃水酸化カリウム水溶液 (KOH (aq)) を用いたもの。
バインダー	活物質同士あるいは活物質と集電体を結着させ、導電ネットワークを形成し構造を維持するために、電極合剤に添加される。塗料特性、柔軟性、電解液への不溶性、電気化学的な安定性など様々な性能が要求される。
ハブ	回転体の中心部にあって、回転体の外周と車軸とを接続する部分
パワースペクトル	信号が周波数ごとに含んでいるエネルギーを、グラフにしたもの。
フィラメント	細かな糸状の構造。
負極	電池で、両極を導線で連結した場合、導線に電流が流れ込む極。
フライホイール	FlyWheel 弾み車（はずみぐるま）。回転させることで運動エネルギーの形でエネルギーを蓄える装置。
フライホイール蓄電システム	フライホイール蓄電装置を複数台接続し、ICT ネットワークを用いて一括制御・監視するシステム。
フライホイール蓄電装置	フライホイール蓄電素子のモータ駆動に電力変換器を用いたもの。
フライホイール蓄電素子	フライホイールにモータを接続したもの。
ホットボックス試験	電池を加熱した状態で保管しておき、性能の劣化、安全性の低下の程度を評価する試験法。
ポテンシオスタット	作用電極の電位を参照電極に対して一定にする装置。作用電極と対極間の電流を正確に測り、参照電極には電流を流さないようにする仕組み。
ポリマーゲル	高分子が架橋されることで三次元的な網目構造を形成し、その内部に溶媒を吸収し膨潤したゲルで漏液安全性やポジションフリーでの特徴に優れる。

用語	説明
マイクログリッド	小規模の発電施設を地域内に作って連結し、その電力需要をまかなおうという構想。建設費用が安価で、送電によるエネルギーロスが少ないなどのメリットがある。分散型電力網。分散型電源。
揚水発電	夜間などの電力需要の少ない時間帯の余剰電力を使用して、下部貯水池（下池）から上部貯水池（上池ダム）へ水を汲み上げておき、電力需要が大きくなる時間帯に上池ダムから下池へ水を導き落とすことで発電する水力発電方式である。
容量密度	電池から取り出せる容量の単位体積または単位質量当りの値。前者は (Ah/L)、後者は (Ah/kg) で表す。
ラミネートセル	正極と負極を、セパレータを挟んで交互に重ねたものをラミネートで封止した構造の電池。
リチウム	元素記号 Li。原子量 6.941。銀白色の金属結晶。酸化還元電位が全元素中で最も低く、原子量が小さいことから、電極材料として使用すると、エネルギー密度の大きい電池が作製できる。反応性に富み、水、窒素、ハロゲン等と激しく反応する。
リチウムイオンキャパシタ (LIC)	一般的な電気二重層キャパシタの原理を使いながら負極材料としてリチウムイオン吸蔵可能な炭素系材料を使い、そこにリチウムイオンを添加することでエネルギー密度を向上させたキャパシタ。
リチウムイオン電池	二次電池の一種。リチウムイオン電池の充放電における反応は、リチウム原子が正極・負極、両極の層状物質の層間を往復するだけのシンプルなものである。(1) 起電力が約 4 V と高い、(2) エネルギー密度が高い、(3) レート特性が良い、(4) 温度特性、自己放電特性が良い、(5) メモリ効果が見られない、という特徴を持っている。これらの特徴から、家電、通信機などの幅広い分野で応用されている。今後は、自動車など輸送機器用の電源としての用途が期待されている。
レドックスフロー電池	イオンの酸化還元反応を溶液のポンプ循環によって進行させて、充電と放電を行う流動電池。構造が単純で大型化に適するため、1,000 kW 級の電力用設備として実用化されている。
ロータ	回転体

第 I 章 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の概要

近年、地球温暖化問題への対応が世界的に求められており、温室効果ガスの大部分を占めるエネルギー起源の二酸化炭素の抑制は重要な課題となっている。そのため、2015 年 12 月の COP21 では地球温暖化対策として、新たな法的枠組みとなる「パリ協定」を含む国連気候変動枠組条約が採択され、我が国でも 2015 年 6 月に 2030 年度には温室効果ガスの排出量を 2013 年度比で 26%削減する目標を打ち出している。

こうした温室効果ガス削減に向けた取組みとして、世界全体で太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの大量導入が図られているが、これらはその出力や発電量が天候に左右され、需要に対する追従力がない自然変動電源である。このため、短周期の周波数変動に対する調整力確保や長周期の余剰電力貯蔵などの系統安定化対策が不可欠となる。例えば、我が国では 2014 年 9 月、九州電力が再生エネルギーの送電網への接続申し込みの回答を保留した「接続保留」問題が発生するなど、電力系統に及ぼす影響が無視できなくなってきた。この問題の解決策の一つとして大規模蓄電システムが挙げられ、2014 年 4 月に閣議決定された「エネルギー基本計画(第四次計画)」において低コスト化に向けた技術開発の必要性が述べられている。また、この基本計画に基づいた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」では、電力貯蔵技術は系統安定化対策として必要であり、大型蓄電池などの電力貯蔵システムの低コスト化、長寿命化、安全性確保に向けた技術開発を進めることが示されている。

近年、世界各国において再生エネルギーの導入拡大や電力の安定供給を目的とした大規模蓄電池の実証試験が行われており、一部の国では政策面での後押しによって市場が立ち上がり始めている。例えば、米国では 2011 年に、独立系統運用機関(ISO)や地域送電機関(RTO)に対して、「設備容量あたりの固定価格」と「業績に応じた価格」による二段階式価格制度の導入を義務付ける指令「Order755」が発令されたことにより、アンシラリー市場における、大型蓄電池の商業ベースでの運用が始まっている。しかし、更なる市場の拡大に向けては蓄電池のコストが課題となっており、低コスト化が求められている。この低コスト化には初期導入のイニシャルコストだけではなく、運用・メンテナンス等も含めたトータルコスト(ライフサイクルコスト)を低減する必要があり、蓄電池を長寿命化し、交換による追加コストを発生させないことが重要となる。

また、大型蓄電池は極めて大きなエネルギーを蓄積するため、事故の規模が大きくなる可能性が高いということや、事故による系統や需要家への影響も懸念されるため、高い安全性が求められる。実際、2011 年に国内でナトリウム硫黄電池システムが火災事故を起こしており、原因究明と対策が完了するまで、運転停止や制限が行われた。

さらに、大型蓄電池システムを管理・運用するにあたっては、蓄電池の状態(劣化状態、異常個所の有無等)を正確に知っておく必要があり、蓄電池の安全性、信頼性及び寿命を担保する劣化診断は極めて重要である。劣化診断方法として蓄電池の内部インピーダンス測定や充放電曲線を用いた解析等が行われているが、測定には運用を中断する必要があるほか、高価なポテンショスタットや周波数応答アナライザが必要な場合もある。そのため、運用中に安価で十分な精度の劣化診断可能な技術開発が必要である。

そこで、本プロジェクトにおいては、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大と蓄電分野における国際競争力の維持・向上を目的として、図 I-1 に示すように低コスト化、長寿命化、安全性向上を追求した系統安定化用蓄電システムの開発とその劣化診断技術の開発を実施した。

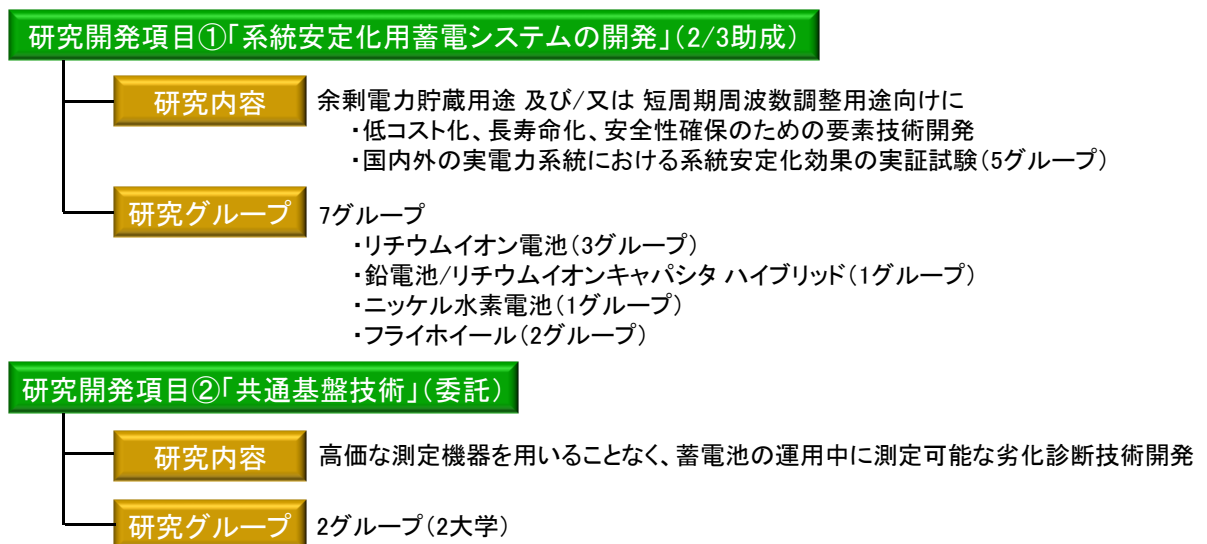


図 I -1 本プロジェクトの研究開発項目

研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の概要を図 I -2 に示す。周波数変動調整用途や余剰電力貯蔵用途の大型蓄電システム(数十 MWh～数 GWh を想定)の低コスト化、長寿命化、安全性確保のための技術開発を行った。開発目標はシステム効率 80%以上、寿命 20 年以上、コストは余剰電力貯蔵用が 2 万円/kWh 以下、短周期の周波数変動調整用が 7 万円/kW 以下とした。また、予期せぬ誤動作・内部短絡等に対しても安全性を担保することとした。さらに、実際に国内外ユーザサイトの実電力システムに設置・運用することで、その蓄電池の系統安定化効果を実証するとともに、一連の実証試験の中で、大規模蓄電システムの輸送・設置、現地システムへの接続及び蓄電池の実運用の経験を通してノウハウを蓄積し、事業化への道筋も確立することとした。

研究開発項目②「共通基盤研究」の概要を図 I -3 に示す。蓄電池の内部インピーダンスを高価なポテンシオスタットや周波数応答アナライザを用いることなく、蓄電システムのパワーコントローラーを用いて、運用中に測定可能な手法として、矩形波を入力してその応答波形から解析を行う技術と電圧・電流の過渡現象から解析する技術を開発した。

開発目標

- システム効率80%以上で寿命20年以上相当
- 2020年度に余剰電力貯蔵用として2万円/kWh以下、短周期変動調整用として7万円/kWh以下
- 予期せぬ誤動作・内部短絡等に対して安全性を担保

実証試験

- 国内外の実電力システムに設置・運用することで、その蓄電システムの系統安定化効果を実証
- 実証試験の中で、大規模蓄電システムの輸送・据付、現地系統への接続、蓄電システム運用等のノウハウを蓄積することで、事業化への道筋をつける

実施者	実証サイト	蓄電システム	実証機	電力会社	運転開始	実証目的
日立製作所 日立化成	伊豆大島 	鉛電池/ リチウムイオン キャパシタ のハイブリッド	 1.5MW/8MWh	東京電力	2015年6月	再エネの短・長周期変動抑制 DGの焚き減らし
三菱重工業	英国 オークニー 諸島 	リチウムイオン 電池	 2MW/0.8MWh	英国 SSE	2013年8月	系統安定化 周波数調整(2016年5月より)
東芝	米国 オハイオ州 	リチウムイオン 電池	 2MW/0.785MWh	米国 Duke Energy	2015年1月	周波数調整
	スペイン マドリッド 市郊外 	リチウムイオン 電池	 0.5MW/0.776MWh	スペイン Gasnatural Fenosa	2015年9月	配電線負荷の電力変動平滑化
川崎重工業	南大東島 	ニッケル水素 電池	 300kW/130kWh	沖縄電力	2013年4月	再エネ比率の高い離島の周波数及び電圧変動安定化
鉄道総研 クボテック 古河電工 ミラプロ 山梨県企業局	山梨県 米倉山 	フライホイール	 300kW/100kWh	東京電力	2015年9月	PVの出力変動抑制

図 I -2 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の概要

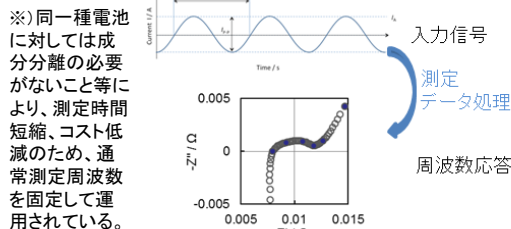
劣化診断の必要性

- 大型蓄電システムの実用化に向けて、蓄電池の安全性・信頼性・寿命を担保する劣化診断技術は極めて重要。
- 蓄電池運転中に診断可能で、精度とコストのバランスのとれた診断技術が開発できれば普及に展望が広がる。

従来の技術

専用の周波数応答解析装置を用いて、蓄電池に様々な周波数の正弦波を入力し、インピーダンスを測定。必要に応じて等価回路とフィッティングし、各成分由来のインピーダンスを分離。

高精度な診断が可能だが、システムコストは高価で^{※)}、蓄電池の運転を停止して診断する必要がある。



開発する技術

蓄電システムのパワーコントローラを用いて、蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳し、インピーダンスを測定(早稲田大学: 下図左)、又は、外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定(同志社大学: 下図右)。

必要な精度をもって、比較的安価に、蓄電池運転中に診断が可能となる。

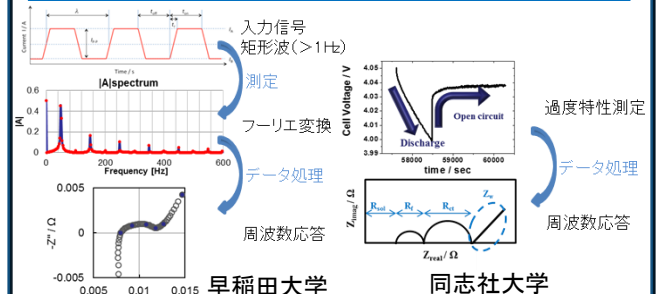


図 I -3 研究開発項目②「共通基盤技術」の概要

2. 事業目的の妥当性

本プロジェクトは、2020年代において、大量導入が予想される再生可能エネルギーの効率的な運用や課題に対応した低コスト、長寿命で安全性の高い大型蓄電システム及びその要素技術を開発することを目的としている。

この目的が関連する上位施策への寄与、国内外の再生エネルギー導入動向、大型蓄電システムの導入・市場動向及び技術開発動向等に照らし、妥当であることについて、以下に述べる。

2.1 系統安定化のための大型蓄電システム利活用の期待

大型蓄電システムは表 I-1 に示すように、様々な側面から電力系統の安定運用に貢献する技術として期待されている。しかし、電気事業者の立場において、現状のシステムコストは高く、単純な経済計算では採算性が低いため、経済的な観点から複数の用途を 1 つの蓄電システムで賄うことも検討されている。

全世界で再生可能エネルギーの導入が進められているが、太陽光発電や風力発電では時刻や気象条件で出力が変動し、需要に対する追従力がないため、余剰電力による電力需給のインバランスや周波数調整力不足等の課題が発生する。図 I-4 に示すように、昼間に太陽光発電の発電量が増大し、夕方から夜間にかけて太陽光発電の発電量が低下する等、地域全体の需給バランスが崩壊することが懸念されている。この需給バランスの調整を火力発電で行う場合、設備稼働率が低下し、採算性が低下することや急激な電力需要の増加に対して設備の発電スピードが追従できない場合もあり、また CO₂ の排出を伴うため、蓄電池の設置や揚水発電、地域間連携線による需給調整が必要とされている。揚水発電のシステム価格は 3.1 万円/kWh と言われており、蓄電池がこれよりも低コストとなれば揚水発電よりも事業性が高くなる。図 I-5 に示すように、需要を大きく超える電気が系統に流れ込み、電気の周波数変動すると需要家側の電気機器に影響を及ぼすだけでなく、在来型電源の保護機能が働いて系統からの連鎖的な解列が起こり、停電が発生するおそれがある。そのため、蓄電池の設置や火力・水力発電等の運用(ガバナフリー、負荷周波数制御、経済付加配分制御)による周波数調整が必要とされているが図 I-5 に示すように、蓄電池が 18 万円/kWh を下回れば事業性が高くなる。このように、蓄電池は余剰電力及び周波数調整の双方に対応でき、今後の技術開発によって低コスト化が見込まれる系統安定化対策として注目されており、世界各国において実証研究、実現可能性調査及び市場環境整備(制度設計等)が精力的に進められている。

表 I-1 大型蓄電システムの主な用途

用途	概要
送電混雑解消	送電網の混雑やピーク需要期間中の混雑を緩和する。
再生電源のタイムシフト	制御不能な風力・太陽光の発電電力を、蓄電システムに蓄積し、使用する。
再生電源の出力安定化	風力・太陽光発電の風速・日照変化等の急激な出力変動を抑制する。
周波数変動抑制	系統周波数維持のために、電力システムの需要と供給の調整を秒単位で行う。
電力供給予備能力	電力システムの需要と供給のバランスを維持するために、瞬時もしくは 10 分程度で電力の供給量の調整を行う。
電力タイムシフト	電力消費が少ない時間帯に電力を蓄積し、消費が多い時間帯に使用する。
電力料金管理	需要家の電気代を削減するために、深夜などの低価格の時間帯に電力を蓄積し、高価格の時間帯に使用する。
再生用配電設備更新	風力・太陽光発電の増加に対応するために、蓄電池を変電所等に導入し、送配電網の増強を回避する。
ブラックスタート	広範囲な停電時の系統復旧のために、系統からの電源供給を受けずに蓄電システムから起動する。

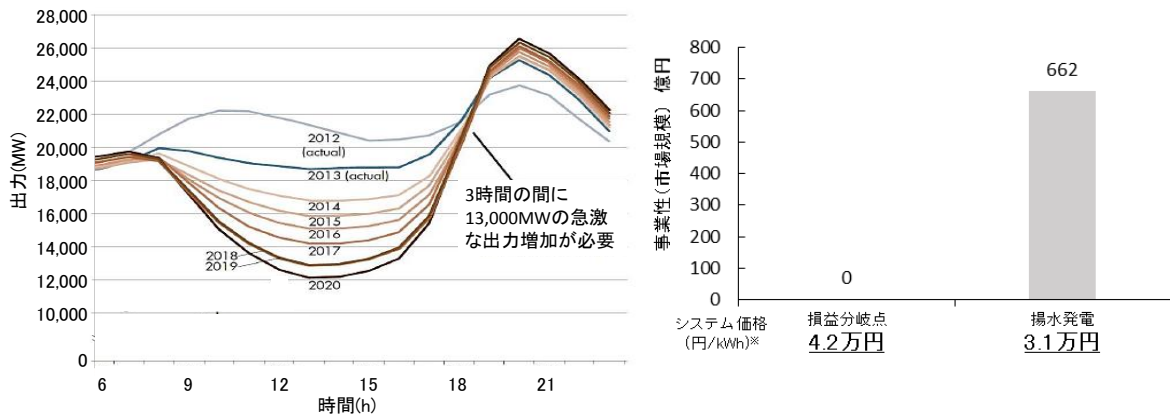


図 I-4 余剰電力の発生と対策技術の事業性

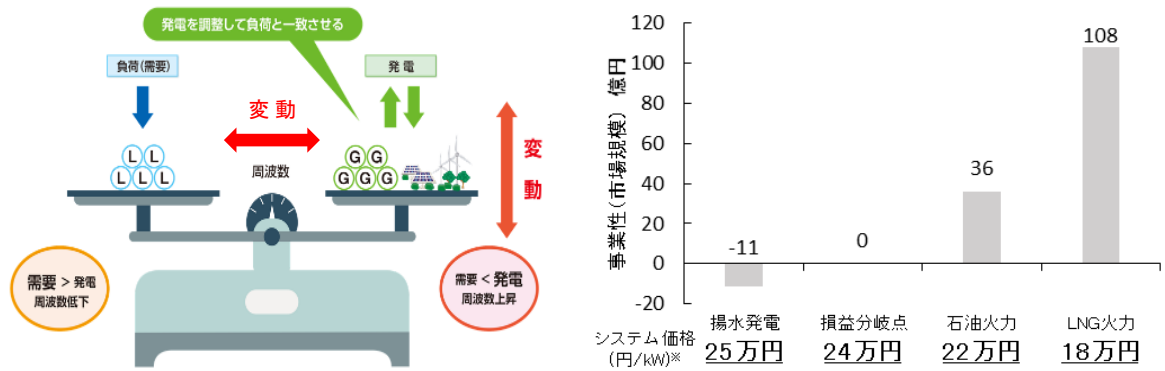


図 I-5 周波数変動の発生と対策技術の事業性

2.2 再生可能エネルギーの導入動向

2.2.1 全世界における再生可能エネルギー導入の拡大

再生可能エネルギーの導入は、地球温暖化を助長する温室効果ガスの排出抑制策の一つとして欧州を中心に行われてきた。しかし、最近では、世界中で再生可能エネルギーの普及が社会にもたらす効果（環境保全、地域活性化、雇用創出、エネルギー安全保障、輸入燃料への依存度低下等）について、認識が深まっており、各国において導入拡大に向けた取組みが強化されている。

図 I-6 は、国際エネルギー機関(IEA)の「World Energy Outlook 2011, 2015」を基に作成したものであるが、各種再生可能エネルギーの発電電力量の中で、特に風力発電と太陽光発電が大きく伸びるとされている。具体的な導入量は、太陽光発電は 2009 年が 0.2 億 MWh だったのに対して、2013 年は約 1.4 億 MWh と約 7 倍になり、2020 年には約 4.6 億 MWh に達すると予想されている。風力発電は、2009 年が約 2.7 億 MWh だったのに対して、2013 年は約 6.4 億 MWh と約 3 倍になり、2020 年には約 14 億 MWh に達すると予想されている。2030 年には風力発電と太陽光発電がさらに増加し、合計で約 35 億 MWh と予想されている。また、総発電量に占める再生可能エネルギーの発電量の割合は、2013 年が 22%であったが、2020 年には約 26%、2030 年には約 30%まで高まると予想されている。

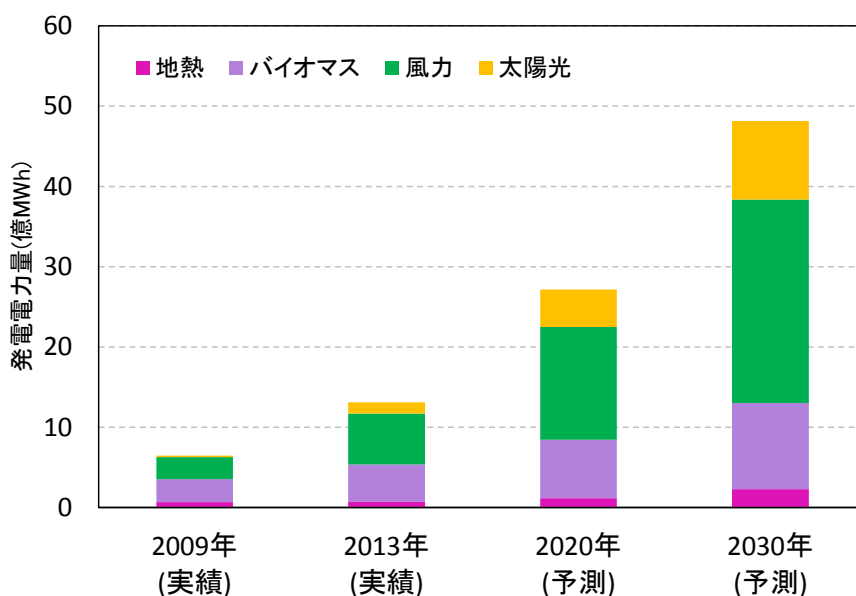


図 I-6 世界の再生可能エネルギーの発電電力量の推移

World Energy Outlook (IEA) 2011、2015 より NEDO 作成

2. 2. 2 主要地域における再生可能エネルギー導入に関する政策と動向

(1) 日本の再生可能エネルギー導入に関する政策と動向

我が国において再生可能エネルギーはエネルギー自給率の向上、エネルギー源の多様化、エネルギー輸入依存度の低減を図る上で、非常に重要な位置付けであり、その導入拡大を図るための様々な政策や戦略が策定されている。経済産業省では、「エネルギー基本計画」(平成 26 年 4 月 11 日閣議決定)の方針に基づき、総合資源エネルギー調査会の長期エネルギー需給見通し小委員会における取りまとめを踏まえ、平成 27 年 7 月 16 日「長期エネルギー需給見通し(エネルギーミックス)」を決定した。この中で、各電源の個性に応じた最大限の導入拡大と国民負担の抑制を両立するため、地熱、水力、バイオマスでベースロード電源を確保しつつ、太陽光や風力についてはコスト低減を図りながら、国民負担の抑制の観点も踏まえた上で、大規模風力の活用等により最大限の導入拡大を図るとしている。その具体的な取組としては、固定価格買取制度の適正な運用を基礎としつつ、環境アセスメントの期間短縮化等の規制緩和等を今後とも推進するとともに、高い発電コスト、出力の不安定性、立地制約といった課題に対応すべく、低コスト化・高効率化のための技術開発、大型蓄電池の開発・実証や送配電網の整備などの取組を積極的に進めていくとしている。また、長期エネルギー需給見通し関連資料では、2030 年の再生可能エネルギーの発電電力量を 2 億 5,000 万 Wh(総発電電力量の最大 24%)、そのうち太陽光発電 7,490 万 MWh、風力発電 1,820 万 MWh と想定しており、設備出力は太陽光と風力の合算で 7.4 万 MW になると見込まれている。

実績推移として風力発電は 2009 年が 300 万 MWh であったが、2013 年は 500 万 MWh と増加した。太陽光発電は 2009 年が 300 万 MWh であったが、2013 年は 1,400 万 MWh、2014 年は 2,200 万 MWh と大きく増加した。総発電量に占める再生可能エネルギーの発電量の割合は、2009 年が 10.1%、2014 年が 12.6%と 3.5%増加している。また、IEA の予測によると、風力発電の発電電力量は 2020 年には 900 万 MWh、2030 年には 2,200 万 MWh であり、太陽光発電の発電電力量は、2020 年には 6,100 万 MWh、2030 年には 7,700 万 MWh に達するとされている。

(2) 米国の再生可能エネルギー導入に関する政策と動向

第 2 期オバマ政権のエネルギー基本戦略は、「Green New Deal」から「all-of-the-above energy strategy」(全方位的エネルギー戦略)へと転じており、利用可能なあらゆるエネルギー資源を活用してエネルギー自給率を高め、海外から輸入する石油の依存度を軽減していく戦略を推進している。直近の動きとしては、2015 年 8 月にオバマ大統領と米・環境保護局(EPA)が国内発電所から排出される CO₂ を 2030 年に 2005 年比で 32%削減すること等を盛り込んだ「Clean Power Plan」を策定した。こうした戦略に基づく再生可能エネルギーの導入促進の支援策として、連邦レベルでは投資税額控除(ITC)や風力発電を対象とした発電税額控除(PTC)を実施している。この他、米国再生・再投資法(ARRA)における債務保証制度やネットメータリング(余剰電力買取制度)、再生可能エネルギー利用基準制度(RPS)等がある。また、州レベルで供給電力の一定割合を再生可能エネルギーで賄うことを義務づける RPS が 29 州とワシントン DC で導入されている。

こうした中で、総発電量に占める再生可能エネルギーの発電量の割合は、2014 年で 13%となっており、このうち、水力発電は 48%を占めるが、次いで風力発電が 34%となっている。IEA の予測によると、再生可能エネルギーの発電電力量は 2030 年には 2009 年比で約 2 倍に増加し、その中でも風力発電と太陽光発電が大きく増加するとされている。風力発電の発電電力量は 2009 年が 7,400 万 MWh、2013 年で 1 億 7,000 万 MWh と 2 倍以上に増加しており、2030 年には 4 億 7,400 万 MWh と約 6 倍以上にも達する

と予想されている。太陽光発電の発電電力量は、2013 年が 1,500 万 MWh であるが、2030 年には 1 億 500 万 MWh と約 7 倍に増加すると予想されている。

カリフォルニア州においては、全米と比較して再生可能エネルギーの導入が進んでおり、IEA によると 2015 年 3 月の発電量において、大規模太陽光発電の割合が 5%を超え、2014 年の太陽光発電の電力量は 990 万 MWh に達している。また、再生可能な発電量を 2020 年までに 33%とすることを電力業者に要求しており、2014 年の同州の再生可能発電量(水力を除く)は 22%に達している。さらに、Jerry Brown 州知事は 2015 年の就任式で 2020 年までに再生可能エネルギーの比率を 50%に高めると発表した。

(3) 欧州の再生可能エネルギー導入に関する政策と動向

EU は、2007 年に EU 全体の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギーの割合を 2020 年までに 20%とする戦略を決定し、この目標の達成に向けて、欧州排出量取引制度(EU-ETS)の導入と強化、固定価格買取制度の導入、建築物の省エネルギー基準の強化などの施策を進めてきた。2014 年には、提言書「2030 年気候とエネルギー政策枠組み」の中で、2030 年の温室効果ガス排出量を 1990 年比で 40%削減し、再生可能エネルギーの導入を最低 27%とする目標を掲げた。なお、この 27%という目標のうち、電力部門の割合を最低でも 45%にするという意欲的な見通しがあるとされている。また、2014 年には市場拡大を推進するため、「環境保護及びエネルギーの国家補助に関するガイドライン」を制定した。これは、再生エネルギーの発電事業者が電力市場取引を通じて売電することを義務付けるとともに、この市場価格と政府が設定した補助の基準との差を支給するというものである。

こうした中で、EU 各国でも独自の政策も行われており、特に、ドイツ、スペインで再生可能エネルギーの導入が進んでいる。

ドイツは EU 全体の方針に則り、2000 年に再生可能エネルギー法(EEG)を施行、その後、2014 年に改正されているが、その第一条には、電力消費に占める再生可能エネルギーの割合を継続的かつ費用対効果の高い形で、2050 年に 80%以上に引き上げるという目標を掲げた。

スペインは 2010 年に「国家再生可能エネルギー行動計画」(NREAP2011-2020)、翌 2011 年には「持続可能な経済法」(Law2/2011)を制定し、再生可能エネルギー導入に関する目標値を法制化した。その後、2012 年に NREAP を改定し、2020 年における再生可能エネルギーの導入目標を 20.8%とした。さらに、2014 年には、EU における「環境保護及びエネルギーの国家補助に関するガイドライン」に基づき、再生エネルギー発電設備の建設と操業に対して合理的な投資利益率を再生可能エネルギー発電業者に保障する新たな政令(Royal Decree413/2014)を定めた。

EU 全体の再生可能エネルギー導入について、全エネルギー消費量に占める割合は、2005 年が 8.7%、2012 年は 14.1%、さらに 2014 年は 15.3%まで増加しており、これは総発電電力量の 26%に達した。また、2007 年から 2014 年の間に新設された発電設備は再生可能エネルギーに関するものが過半数を占めており、この間の新規発電容量の 78%にも達した。欧州再生可能エネルギー委員会(EREC)によると電力消費量に対する再生可能エネルギーの割合は 2020 年に約 39%、2030 年に 65~67%にも達するとされている。このうち水力を除く再生可能エネルギーの割合は 2020 年では風力が約 37%、太陽光が約 18%、2030 年では風力が 42%、太陽光が 28%と大きな割合を占める。

(4) 中国の再生可能エネルギーに関する政策と動向

中国では、エネルギーセキュリティ確保を目的とした資源利用の最適化、経済発展に伴う電力需要増大への対応といった観点から、再生可能エネルギーの利用促進を進めている。2014 年 11 月に発表され

た「エネルギー発展戦略行動計画(2014-2020年)」では、2020年の再生可能エネルギーの発電量増強目標が示されており、累計設備出力として、風力発電が20万MW、太陽光発電が10万MWとなっている。この具体的な取り組みとして、北京市、天津市、河北省に国内最大級の風力発電、太陽光発電、光熱プロジェクト群などの国家レベル新エネルギー最先端技術モデルプロジェクト基地を建設する計画が発表されている。このプロジェクトの設備出力の総規模は2万MWを超え、投資総額は1兆元以上に達する見込みとなっており、太陽光発電5千MW、風力発電1万5千MW、太陽熱発電5千MWが建設予定となっている。

こうした中で、総発電量に占める再生可能エネルギーの発電量の割合は2011年が17%、2013年が21%と増加しており、増加分の約50%は風力発電であった。また、水力を除く再生可能エネルギーの発電電力量は2009年が2,900万MWhであったが、2013年が2億MWhと約7倍に大きく増加した。IEAによる予測では、2020年には約7億MWh、2030年には約13億MWhまで増加するとしている。これらを牽引しているのは、風力発電と太陽光発電であり、再生可能エネルギー全体に占める割合は、2013年は風力発電が68%、太陽光発電が8%、2020年以降は風力発電が58%、太陽光発電が18~20%となっており、併せて80%近い部分を占めている。なお、風力発電の累計設備出力は2014年で11万4千MWであり、世界1位の導入量となっている。

2.3 大規模蓄電システムの導入動向

2.3.1 全世界における大型蓄電システム導入の拡大

前記したように、今後、世界全体で再生可能エネルギーが積極的に導入されるため、IEA の予測では、図 I-7 に示すように、2050 年までに全世界のストックベースで大型蓄電システムの需要が最大 305GW (風力発電の正味出力変化を 30%とした場合)に拡大するとしている。なお、本予測は、2050 年の世界全体の CO₂ 排出軽減目標を 50%とし、そのうちの 21%を再生可能エネルギーの導入で担保することが前提となっており、この場合、発電における再生可能エネルギーの割合が 2050 年に 46%になることを意味する。

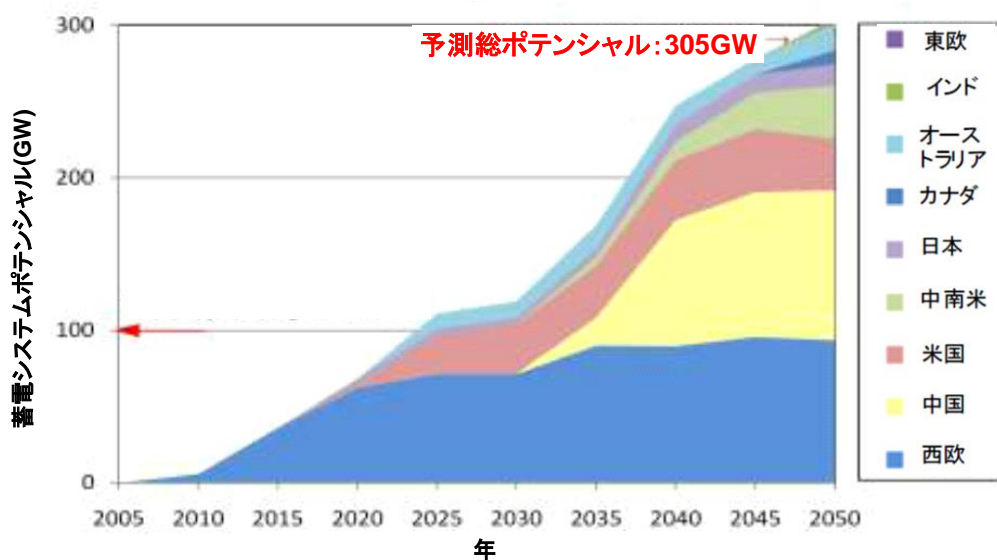


図 I-7 世界全体の蓄電システムの導入ポテンシャル

出典: “Prospects for Large Scale Energy Storage in Decarbonized Power Grids” (2009, IEA)

次に、米国・サンディア国立研究所が、今後 10 年間を対象として、米国内及びカリフォルニア州内における大型蓄電池の導入ポテンシャルを試算した結果を表 I-2 に示す。米国全体の導入ポテンシャルは 355GW となっており、内訳としては「使用時間帯別料金にもとづくコスト管理」(Time of use Energy Cost Management) が 64GW で最大あり、以下、「負荷追従」(Load Following)、「送電線混雑解消」(Transmission Congestion Relief)、「再生可能エネルギーのタイムシフト」(Renewables Energy Time-Shift)、「短時間需給調整」(Renewables Capacity Firming)と続いている(「負荷追従」以下は、いずれも約 37GW)。

上記した IEA 及びサンディア国立研究所の試算からも明らかなように、大型蓄電システムは今後、大きな市場の拡大が想定される成長産業分野であると言える。

表 I-2 米国における蓄電システムの導入ポテンシャル

分類	サービス形態	導入ポテンシャル (MW, 10年)	
		カリフォルニア	全米
給電	電力タイムシフト	1,445	18,417
	電力供給能力	1,445	18,417
アンシラリーサービス	負荷追従	2,889	36,834
	周波数変動抑制	80	1,012
	電力供給予備能力	636	5,986
	電圧支援	722	9,209
送電線網	電送支援	1,084	13,813
	送電混雑解消	2,889	36,834
	送配電設備更新延期 (50%分の送配電設備)	386	4,986
	送配電設備更新延期 (90%分の送配電設備)	77	997
	変電所オンサイト電力	20	250
エンドユーザ/ユーティリティ顧客	時間帯別料金に基づくコスト管理	5,038	64,228
	需用電力管理	2,519	32,111
	電力信頼性確保	722	9,209
	電力品質確保	722	9,209
再生可能エネルギーの統合	タイムシフト	2,889	36,834
	短時間需給調整	2,889	36,834
	風力発電の系統連系(短時間)	181	2,302
	風力発電の系統連系(長時間)	1,445	18,417
合計		28,078	355,899

出典: “Energy Storage for the Electricity Grid: Benefits and Market Potential Assessment Guide” (2010, Sandia National Laboratories)

米国エネルギー省(DOE)の「DOE Global Energy Storage Database」を基に作成した世界における用途別の蓄電システム導入量、電池種別の蓄電システム導入量の推移を図 I-8 及び図 I-9 に示す。世界全体の傾向として、2008 年頃から再生可能エネルギー電源の出力安定化向け、電力タイムシフト向けとして NAS 電池とリチウムイオン電池、2009 年頃から周波数変動抑制向けとしてリチウムイオン電池、2014 年以降は送電混雑解消向けの NAS 電池の導入が増加している。2015 年までの累積電力量は出力 800MW、容量 1,550MWh に達している。

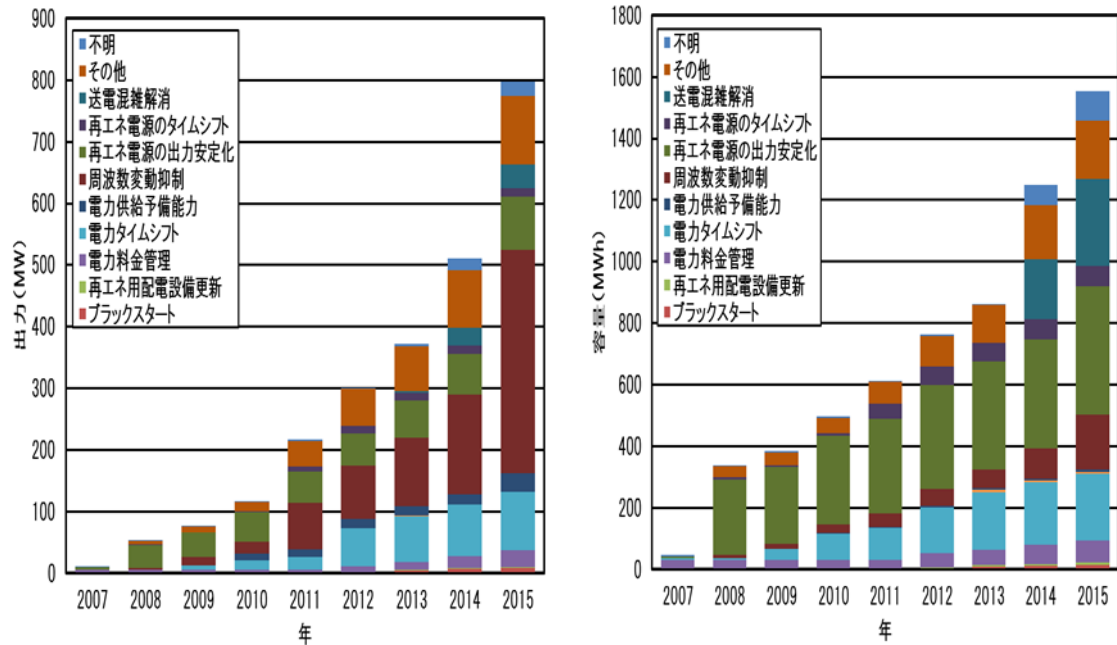


図 I-8 世界における用途別の蓄電システム導入量の推移

出典:DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

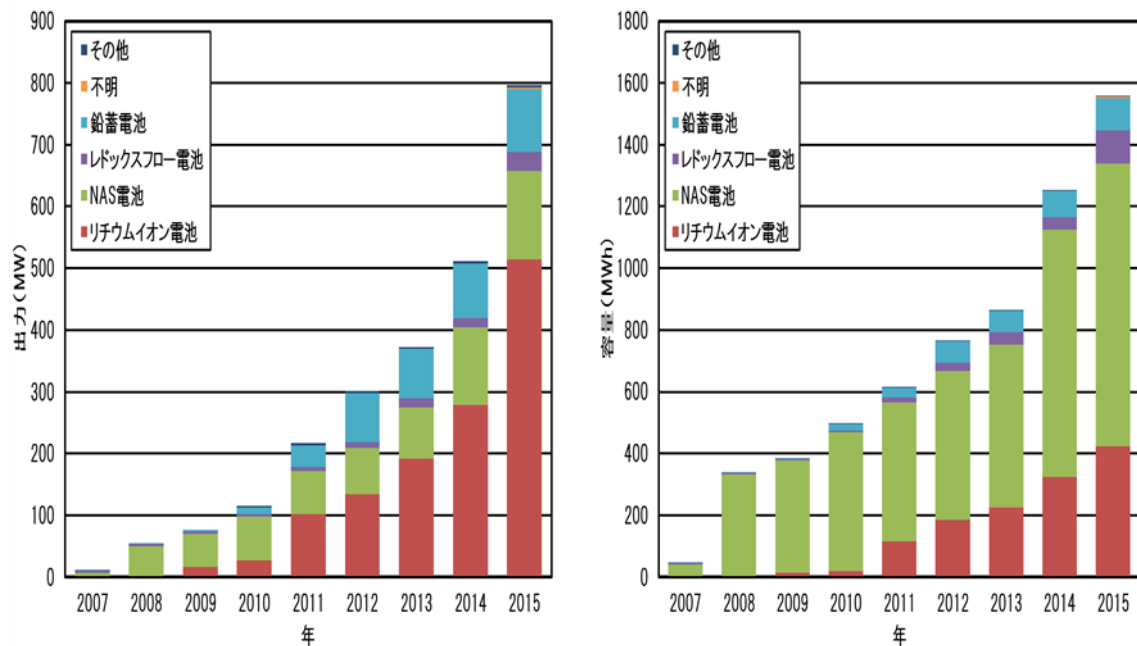


図 I-9 世界における電池種別の蓄電システム導入量の推移

出典:DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

2.3.2 主要地域における大規模蓄電システムの導入動向

(1) 日本の大規模蓄電システムの導入動向

2015年までに日本で稼働した蓄電システムの累積電力量は出力165MW、容量570MWhに達している。図I-10に用途別、図I-11に蓄電池種別の導入量の推移を示す。出力で見ると、再生可能エネルギー電源の出力安定化、周波数変動抑制向けの導入が多く、リチウムイオン電池が67MW、NAS電池が62MWを占めており、容量で見ると、再生可能エネルギー電源の出力安定化向けの導入が多く、NAS電池が415MWhを占めている。

また、表I-3に2005年以降の導入事例を、図I-12に導入された大規模蓄電システムの代表例を示す。2005年から2007年にかけて、東京水道局により、夜間の割安な電気を活用する電力料金管理を目的として、NAS電池が導入された。また、2008年には、風力発電の出力安定化を目的として、二又風力発電所(青森県六ヶ所村/定格出力51MW)に34MW、238MWhの巨大なNAS電池システムが導入されている。

その後、積極的な再生可能エネルギー導入拡大に向けて2012年に固定価格買い取り制度(FIT)の運用が開始されたことに伴い、太陽光発電や風力発電の導入が増加した結果、再生エネルギーの短周期の変動成分の影響による周波数調整力が不足する等、電力系統に及ぼす影響が無視できなくなった。この対策のため、経済産業省による「平成24年度風力系統連系量拡大実証事業」で長崎県壱岐・芦辺変電所に、再生可能エネルギー電源の出力安定化のための4MW、1.6MWhリチウムイオン電池システム(GSユアサ製;表I-3⑬、図I-12)が、「平成24年度大型蓄電システム緊急実証事業」で北海道南早来変電所に、周波数変動抑制及び需給変動対策のための15MW、60MWhレドックスフロー電池システム(住友電気工業製;表I-3⑭、図I-12)と宮城県西仙台変電所に、周波数変動抑制のための40MW、20MWhリチウムイオン電池システム(東芝製;表I-3⑯、図I-12)が導入されている。また、環境省による「平成24年度再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」で秋田県男鹿市に2.7MW、6.9MWh鉛蓄電池システム(新神戸電機製;表I-3⑰、図I-12)、秋田県六ヶ所村風力発電所に10MW、60MWhのNAS電池システム(日本ガイシ製;表I-3⑱)、長崎県対馬・豊玉変電所に3.5MW、1.4MWhのリチウムイオン電池システム(三菱重工業製;表I-3⑲)、鹿児島県種子島・中種子変電所に3MW、1.15MWh、奄美大島・竜郷変電所に2MW、0.77MWhのリチウムイオン電池システム(東芝製;表I-3⑳、㉑)が、「平成26年度離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業」で島根県隠岐島・西ノ島変電所に4MW、25.2MWhのNAS電池システム(日本ガイシ製;表I-3㉒)と2MW、1.35MWhのリチウムイオン電池システム(GSユアサ製;表I-3㉓)の実証案件が導入されている。

政府の補助金なしでの大型蓄電池を併設した国内最初のメガソーラーは、2015年4月に鹿児島県徳之島で売電を開始した「御船徳之島太陽光発電所」である。これはエジソンパワーによる出力2MWのメガソーラーであり、2MW、1MWhのリチウムイオン電池システム(Samsung SDI製;表I-3㉔)が設置されている。九州電力は、系統電力の規模が小さな離島にメガソーラーを設置する場合、1秒当たりの出力変化率を±5kW以内に収めること、また、太陽光発電所が急停止した場合でも7分間は蓄電池による出力を保証することを求めており、この要求を満たしているシステムとなっている。

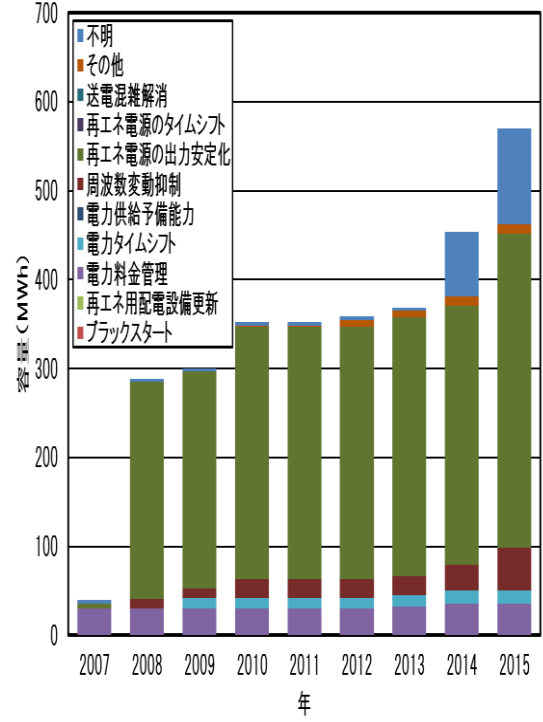
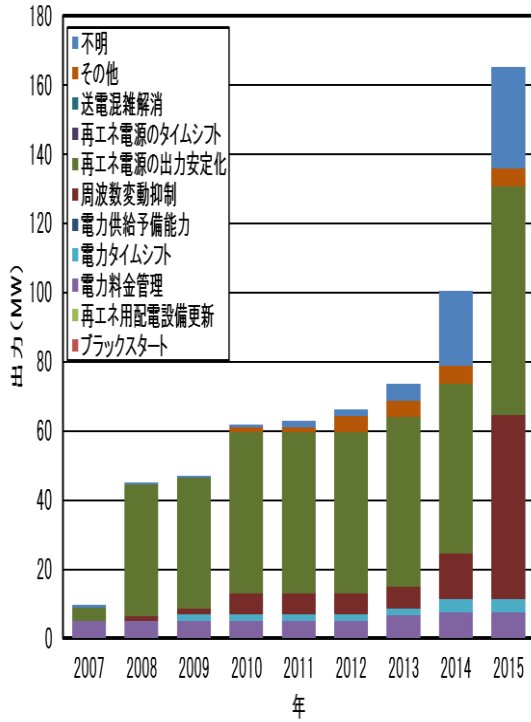


図 I -10 日本における用途別の蓄電システム導入量の推移

出典:DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

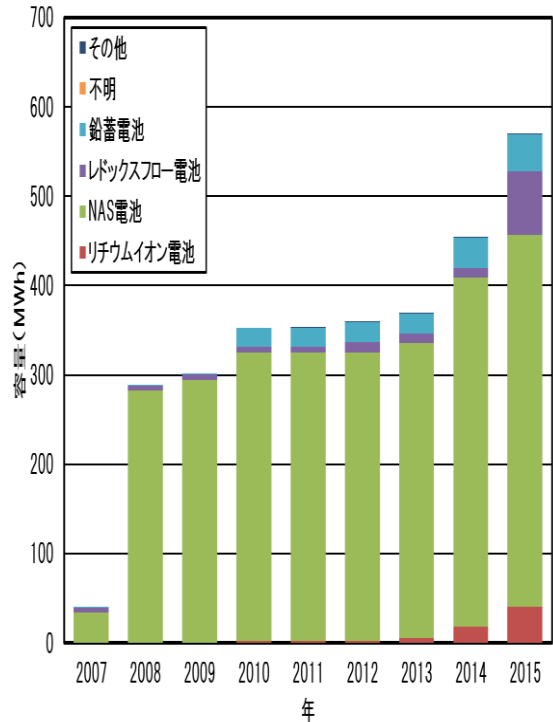
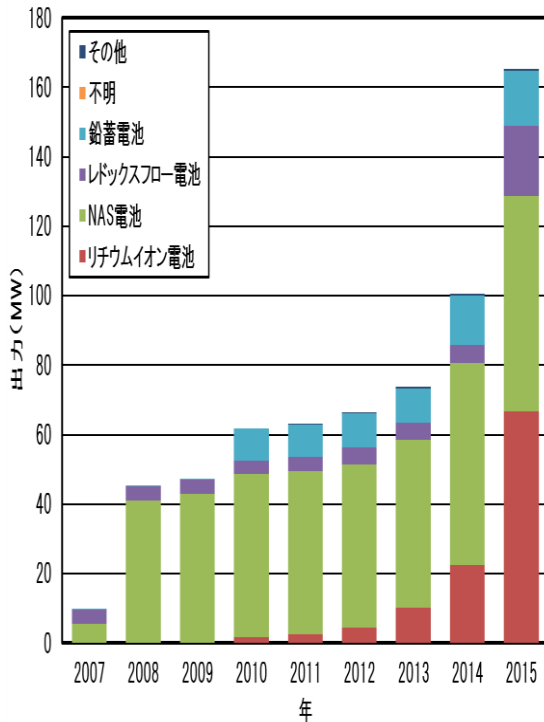


図 I -11 日本における電池種別の蓄電システム導入量の推移

出典:DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

表 I-3 日本における主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	都道府県	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2005	北海道	苫前ウインピラ発電所	RF	4,000	6,000	電源開発	住友電気工業
②	2005	東京	砂町水再生センター	NAS	2,000	12,000	東京都下水道局	日本ガイシ
③	2006	東京	みやぎ水再生センター	NAS	2,000	12,000	東京都下水道局	日本ガイシ
④	2007	東京	北多摩一号水再生センター	NAS	1,000	6,000	東京都下水道局	日本ガイシ
⑤	2008	北海道	稚内太陽光発電所	NAS	1,500	10,800	稚内市	日本ガイシ
⑥	2008	青森	二又風力発電所	NAS	34,000	238,000	日本風力開発	日本ガイシ
⑦	2009	茨城	三菱マテリアル株式会社 筑波製作所	NAS	2,000	12,000	東京電力	日本ガイシ
⑧	2010	青森	市浦風力発電所	鉛	4,500	10,500	くろしお風力発電	新神戸電機
⑨	2010	沖縄	宮古島メガソーラー実証研究設備	NAS	4,000	28,800	沖縄電力	日本ガイシ
⑩	2010	兵庫	加西グリーンエナジーパーク	LIB	1,500	1,500	パナソニック	パナソニック
⑪	2010	山形	遊佐風力発電所	鉛	4,500	10,500	庄内風力発電	新神戸電機
⑫	2012	神奈川	住友電気工業横浜製作所	RF	1,000	5,000	住友電気工業	住友電気工業
⑬	2013	長崎	杵岐・芦辺変電所	LIB	4,000	1,600	九州電力	GSユアサ
⑭	2013	福岡	福岡風力発電施設	NAS	1,200	7,200	日本ガイシ	日本ガイシ
⑮	2014	秋田	男鹿市	鉛	2,700	6,900	風の王国	新神戸電機
⑯	2014	青森	六ヶ所村風力発電所	NAS	10,000	60,000	六ヶ所村風力開発	日本ガイシ
⑰	2014	長崎	対馬・豊玉変電所	LIB	3,500	1,430	九州電力	三菱重工業
⑱	2014	鹿児島	種子島・中種子変電所	LIB	3,000	1,150	九州電力	東芝
⑲	2014	鹿児島	奄美大島・竜郷変電所	LIB	2,000	767	九州電力	東芝
⑳	2014	沖縄	大宜味風力発電実証研究設備	鉛	2,000	4,500	沖縄電力	新神戸電機
㉑	2014	福島	IHI相馬事業所	LIB	1,000	2,800	IHI	A123 (NECエナジーソリューション)
㉒	2014	千葉	運河駅構内	LIB	1,000	2,833	東武鉄道	東芝
㉓	2015	北海道	南早来変電所	RF	15,000	60,000	北海道電力	住友電気工業
㉔	2015	島根	隠岐島・西ノ島変電所	NAS	4,000	25,200	中国電力	日本ガイシ
㉕	2015	島根	隠岐島・西ノ島変電所	LIB	2,000	1,350	中国電力	GSユアサ
㉖	2015	東京	伊豆大島・大島内燃力発電所	鉛	1,500	8,500	東京電力	新神戸電機
㉗	2015	宮城	西仙台変電所	LIB	40,000	20,000	東北電力	東芝
㉘	2015	鹿児島	御船徳之島太陽光発電所	LIB	2,000	1,000	御船ホールディングス	Samsung SDI



図 I -12 日本に導入されている大規模蓄電システムの例

現在、北海道では、日本グリーン電力開発が苫小牧市に太陽光パネル出力 38.1MW の、厚岸町に 27MW の蓄電池併設型メガソーラーの建設プロジェクトを進めている。北海道電力は、2MW 以上のメガソーラーには、連系の条件として蓄電池を併設し、1 分間の出力変動幅をパワーコンディショナー定格出力の 1%以内に収めることを求めており、設置する蓄電池容量と出力抑制の比率について、パワーコンディショナー出力の 80%容量という目安を示しており、この要求を満たす LG 化学製リチウムイオン電池システムの採用を発表している。苫小牧市に導入されるシステムは 20MW、10MWh で、2018 年 8 月に運転を開始する予定である。他には、エッジ・エナソル・ジャパンが、北海道帯広市に大型蓄電池を併設するメガソーラーを建設すると発表している。併設予定の大型蓄電池は、3.3MW、4.4MWh の SK Innovation 製リチウムイオン電池システムと発表している。

このように日本でも大型蓄電池の設置が始まっている。2014年に経済産業省は、メガソーラーなどに蓄電池を併設する場合の補助金制度「再生可能エネルギー発電事業者のための蓄電システム導入支援事業」を開始した。補助の上限額は 1 件あたり 5 億円で、補助金総額 265 億円であり、これにより単純計算で 53 か所以上の蓄電池併設型再生エネルギー発電所が建設されることになる。

(2) 米国の大規模蓄電システムの導入動向

米国における系統側への蓄電システム導入に関する取組みの背景として、前記したオバマ政権のエネルギー政策に基づいて、再生可能エネルギーの導入が拡大していることにより、これまで以上の周波数調整力が必要となることや余剰電力の発生による電力需給バランスを保つ必要性が重要視されてきていることの二点が挙げられる。

2015 年までに米国で稼働した蓄電システムの累積電力量は出力 395MW、容量 380MWh に達している。図 I-13 に用途別、図 I-14 に蓄電池種別の導入量の推移を示す。出力で見ると、周波数変動抑制

向けの導入が多く、リチウムイオン電池が 287MW、鉛蓄電池が 75MW を占めている。また、容量で見ると、電力タイムシフト向けの導入が多く、リチウムイオン電池が 182MWh、NAS 電池が 124MWh を占めている。図 I - 15 に導入された大規模蓄電システムの代表例を示す。

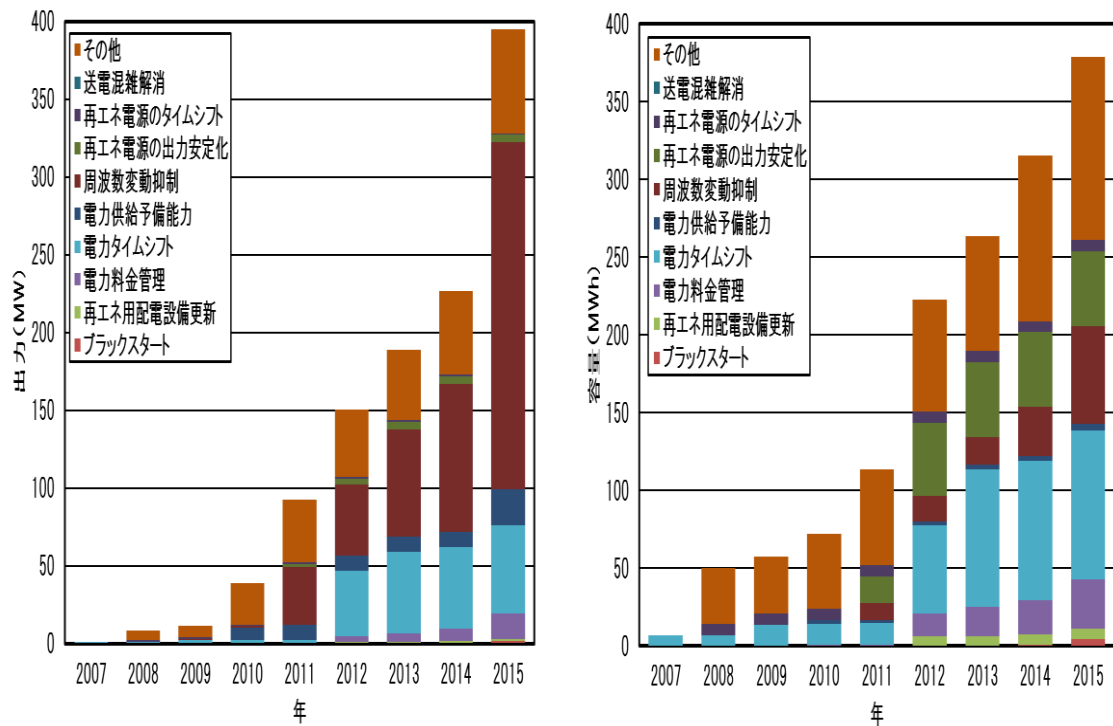


図 I - 13 米国における用途別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

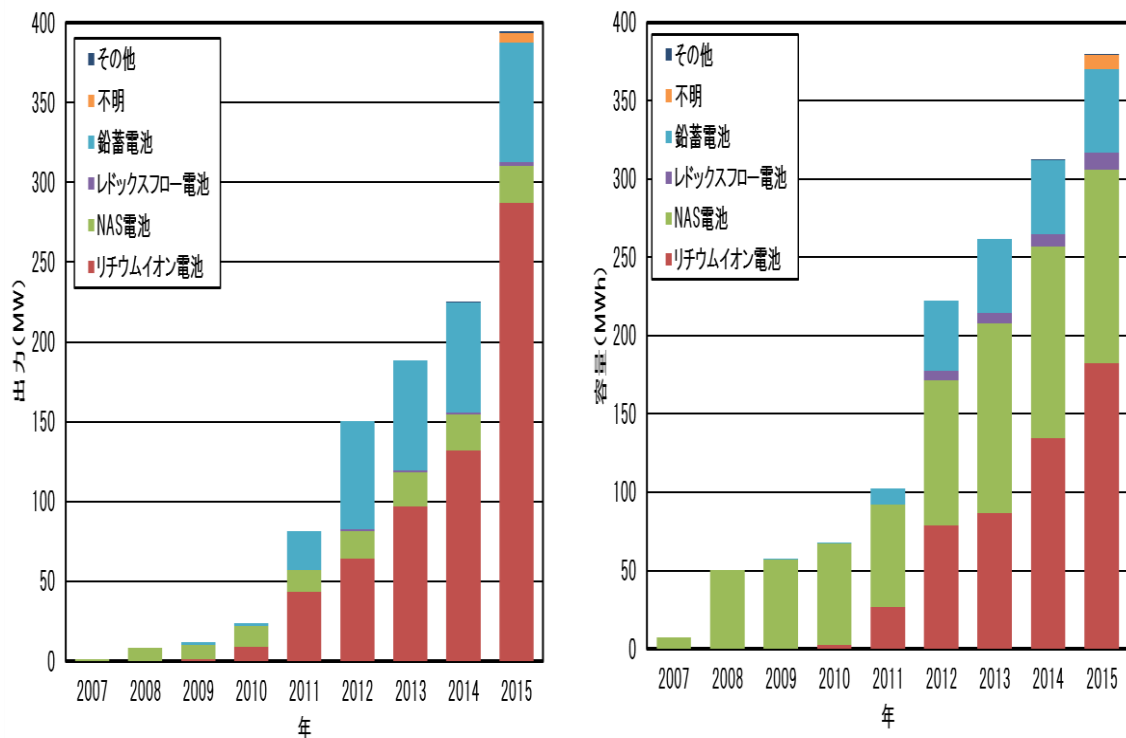


図 I - 14 米国における電池種別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成



図 I -15 米国に導入されている大規模蓄電システムの例

DOE の独立規制機関として電力事業の規制・監督を行う連邦エネルギー規制委員会 (FERC) は、アンシラリーサービス事業者が持つ調整電源の性能への対価が公平かつ妥当に支払われることを保証するため、2011 年 10 月に、ISO や RTO に対して、「設備容量あたりの固定価格」と「業績に応じた価格」による二段階式価格制度の導入を義務付ける新指令「Order755」を発令している。これにより、揚水発電や蒸気タービンよりも周波数調整能力の高い蓄電池システムの電源価値が価格に反映されるため、アンシラリー市場においてこれらの電源の導入が促進されることになる。この指令を受けて、PJM(Pennsylvania-New Jersey-Maryland を始めとする米国 13 州及びワシントン DC 地域の電力システムを管轄する北米最大の ISO)では、機動的で出力変動が可能な蓄電池が、特に有利な評価を得られる制度 (Pay for Performance) を導入した。アンシラリーサービスの一つである即応性の高い周波数調整市場に参入するには、PJM が設けたテストをクリアする必要があり、蓄電池のように機動的で出力変動が可能でなければ参入は難しくなっている。この結果、表 I -4 に示すように、大規模蓄電システムの導入が進んでいる。独立系発電事業者 (IPP) 最大手である AES Corporation の子会社 AES Energy Storage 社は、2011 年、ウエストバージニア州ベリントンの Laurel Mountain Wind Farm (98MW) に 32MW、8MWh リチウムイオン電池システム (A123 社製; 表 I -4⑥) を併設して、PJM 管轄エリアにおける風力発電の出力調整及び周波数安定化のサービス市場に参入している。同様に、米国の大手鉛蓄電池システムメーカーである East Penn 社も、2012 年より、3MW、2.15MWh キャパシタハイブリッド型鉛蓄電池 Ultra Battery (古河電池よりライセンス供与) システム (Ecoult 社製; 表 I -4⑨) をペンシルベニア州の自社工場内に設置し、工場内の需要をコントロールすることで PJM 管轄エリアにおける周波数安定化サービス市場に参入している。

また、PJM 以外の ISO である NYISO (ニューヨーク州を管轄する ISO) や MISO (中西部を管轄する ISO) 等でもアンシラリーサービス事業が開始、運用され始めている。AES Energy Storage 社は、2011 年 1 月より、ニューヨーク州ジョンソンシティの AES の既存発電所に 20MW 級 A123 社製リチウムイオン電池システムを併設し、NYISO 管轄エリアにおける周波数安定を主とする電力調整サービスの市場に参入しており、Beacon Power 社も、NYISO 向けに周波数調整用の 20MW 級フライホイール蓄電システムをニューヨーク州 Stephentown に設置し、2011 年 6 月に運転を開始している。

表 I-4 米国 PJM 管轄エリアにおける主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	州	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2006	West Virginia	Charleston	NAS	1,200	7,200	American Electric Power	日本ガイシ
②	2008	Ohio	Bluffton	NAS	2,000	12,000	American Electric Power	日本ガイシ
③	2008	West Virginia	Milton	NAS	2,000	12,000	American Electric Power	日本ガイシ
④	2008	Indiana	Churubusco	NAS	2,000	12,000	American Electric Power	日本ガイシ
⑤	2009	Pennsylvania	Lyons	LIB	1,000	250	AES Energy Storage	Altair Nanotechnologies Inc.
⑥	2011	West Virginia	Elkins	LIB	32,000	8,000	AES Wind Generation	A123
⑦	2011	Pennsylvania	New Castle	鉛	500	250	Axon Power International Inc	Axon Power International Inc.
⑧	2012	Pennsylvania	Philadelphia	LIB	800	400	Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA)	Saft America
⑨	2012	Pennsylvania	Lyon Station	鉛	3,000	2,150	East Penn Manufacturing Co.	Ecoult
⑩	2012	Illinois	Marseilles	LIB	1,500	375	Invenergy LLC	Yunicos
⑪	2013	New Jersey	New Jersey	LIB	1,800	300	Altair Nanotechnologies Inc.	Altair Nanotechnologies Inc.
⑫	2013	Ohio	Moraine	LIB	20,000		AES ES Tait	AES Energy Storage
⑬	2013	Maryland	Laurel	LIB	500	250	Konterra Realty LLC	Solar Grid Storage
⑭	2014	Ohio	Sunbury	LIB	4,000	2,600	Battery Utility of Ohio, LLC, RES Americas	BYD America
⑮	2014	Pennsylvania	Philadelphia	LIB	900	450	Southeastern Pennsylvania Transportation Authority (SEPTA)	Saft America
⑯	2014	Illinois	DeKalb	LIB	20,000	10,000	NextEra Energy Resources, LLC	LG Chem
⑰	2015	Illinois	Marseilles	LIB	31,500	12,075	Invenergy LLC.	BYD
⑱	2015	Illinois	Joliet	LIB	19,800	7,920	Prudential Capital Group	BYD America
⑲	2015	Illinois	West Chicago	LIB	19,800	7,920	Prudential Capital Group	BYD America
㉑	2015	West Virginia	Rupert	LIB	31,500		Beech Ridge Energy Storage, LLC.	BYD
㉒	2015	Maryland	Cumberland	LIB	10,000		AES Corporation	LG Chem
㉓	2015	Ohio	New Richmond	LIB	2,000		Duke Energy	LG Chem

また、前記したように、カリフォルニア州では2020年までに再生可能エネルギーによる発電比率を33%にする目標を設定しており、大量導入に伴う電圧変動、周波数変動等の電力系統への影響の対処が重要な課題となってきている。そのため、2010年、電力網への電力貯蔵システムの設置を推進する州法

AB2514 を成立させた。同法に基づき、カリフォルニア州公共ユーティリティ委員会(CPUC)は 2013 年 6 月、同州の 3 大電気事業者である Southern California Edison 社(SCE)、Pacific Gas & Electric 社(PG&E) 及び San Diego Gas & Electric 社(SDG&E)に対し、2020 年まで段階的に、送電系統、配電系統、需要家 サイドごとに合計 1,325MW のグリッドスケールの電力貯蔵システムの調達を求める目標を設定した。この 内訳を表 I -5 に示す。送電系統、配電系統、需要家サイドにおける導入量目標量の分配や、2014 年、 2016 年、2018 年といった時期の目標達成については、各事業者に厳格な順守を求めるのではなく、 2020 年の最終的な導入量達成に向けて、費用対効果に見合った導入を進めていくことを求めている。こ れに伴い、蓄電池の提供価値を最大化する運用方法・制度作りのため、州政府、CPUC、3 大電気事業 者、蓄電池メーカーやプラント保有・運営事業者などが、協議・検討を重ねている。

表 I -5 AB2514 法に基づく電力貯蔵システムの導入目標

電気事業者		2014 年まで (MW)	2016 年まで (MW)	2018 年まで (MW)	2020 年まで (MW)	合計 (MW)
SCE	送電系統	50	65	85	110	310
	配電系統	30	40	50	65	185
	需要家サイド	10	15	25	35	85
	小計	90	120	160	210	580
PG&E	送電系統	50	65	85	110	310
	配電系統	30	40	50	65	185
	需要家サイド	10	15	25	35	85
	小計	90	120	160	210	580
SDG&E	送電系統	10	15	22	33	80
	配電系統	7	10	15	23	55
	需要家サイド	3	5	8	14	30
	小計	20	30	45	70	165
3 社合計		200	270	365	480	1,325

公開されている各種情報を基に、各社の調達状況を集計した結果を図 I -16 に示す。調達量の中には現時点で運用中の電力貯蔵システムもあるが、契約のみで運用されていないシステムや、まだ設置さ れていないシステムも含まれている。電力貯蔵方式が不明なものもあるが、3 社の調達量の合計 522MW のうち蓄電池(リチウムイオン電池、亜鉛空気電池、その他不明)が 348MW(全調達量の 67%)、揚水が 40MW(同 7.7%)、蓄熱が 26MW(同 5.0%)、フライホイールが 20MW(同 3.8%)となっている。

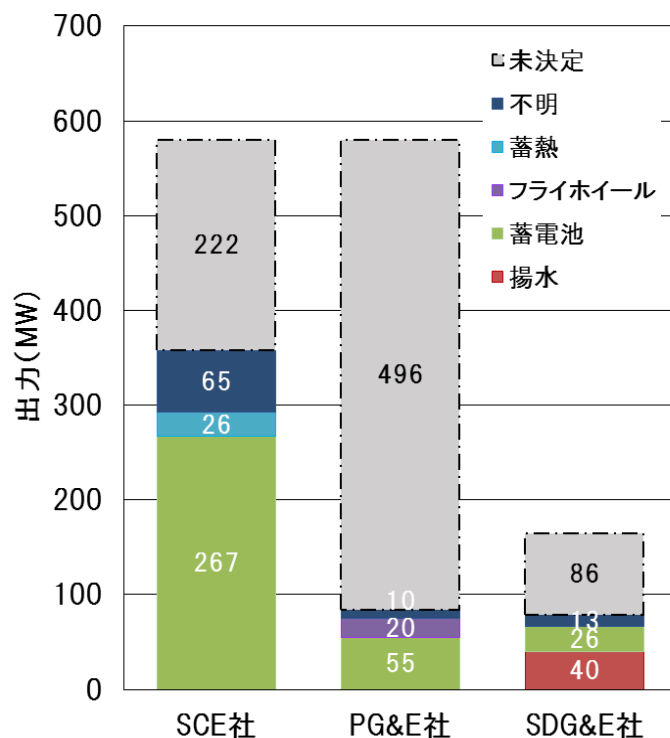


図 I -16 AB2514 法に係る電気事業者の電力貯蔵システム調達状況

SCE 社は合計 267MW の蓄電池システムについて調達契約済みで、うち、256MW がリチウムイオン電池システムである。この中には、世界最大容量の送電系統向け蓄電システムとして、AES Energy Storage 社の 100MW/400MWh の電池システム(Advancion™;図 I -17)が含まれている。電池は LG 化学製で、ロングビーチのアラミス・エネルギーセンターにおいて 2021 年稼働予定である。Advancion™ は、2014 年に AES Energy Storage 社が発表した電気事業者等を対象とした大容量の系統電力タイムシフト向けリチウムイオン電池システムであり、出力で数十 MW から数百 MW まで、時間で 30 分から 4 時間以上とニーズに応じた対応を可能としている。AES Energy Storage 社は、システムの本体・設置から運用までのトータルサービス事業を、PJM、カリフォルニア、ハワイ、プエルトリコ、イギリス、フィリピン等で開始している。この他、Stem 社が 85MW、Advanced Microgrid Solutions 社が 50MW のリチウムイオン電池システムを契約している。

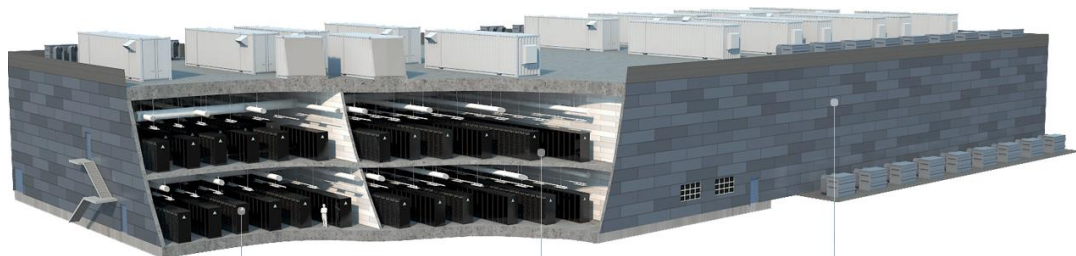


図 I -17 AES Energy Storage 社の Advancion™

出典: AES Energy Storage HP

PG&E 社は合計 55MW の蓄電池システムについて調達契約済みで、うち、42MW がリチウムイオン電池システムで、NextEra Energy 社と 30MW、Hecate Energy 社と 12MW を契約している。他に、Amber Kinetics 社と 20MW のフライホイールシステム、Eos Energy Storage 社と 10MW の亜鉛空気電池システム

(図 I -18)を契約している。これは、水酸化ニッケルを含むハイブリッド正極を使用し、塩化物系の中性電解液を循環するタイプの亜鉛空気電池であり、単電池 Znyth™ Battery は、出力 0.55kW、容量 2.2kWh、体積 203mm×353mm×495mm である。Aurora System は、バッテリーマネジメントシステムまで含んだ出力 0.25MWh、容量 1MWh の 40ft コンテナシステムで、特性的には 10 分の 1 秒単位の応答が可能であり、5,000 サイクルまたは 15 年の寿命であると公表されている。なお、Eos Energy Storage 社は、2017 年からの事業化に向けた 2016 年時点の標準受注価格を公開しており、0.25MW/1MWh システムで \$ 250/kWh、1MW/4MWh システムで \$ 200/kWh、10MW/40MWh システムで \$ 160/kWh としている。

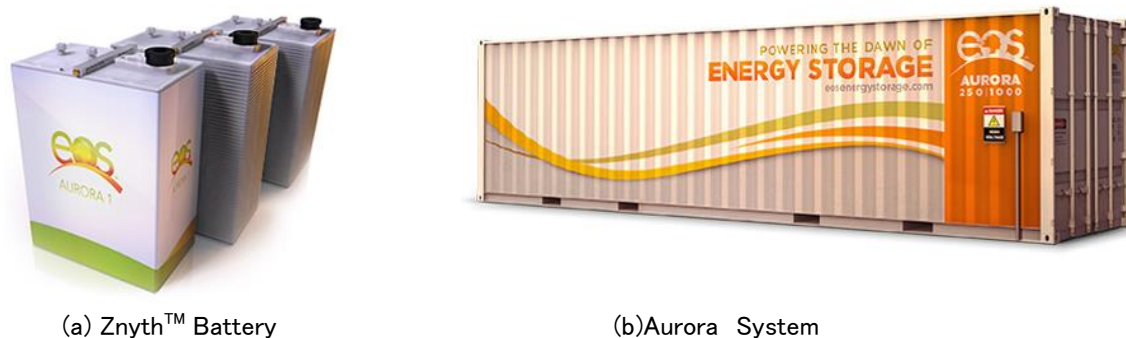


図 I -18 Eos Energy Storage 社の亜鉛空気電池

出典：Eos Energy Storage HP

SDG&E 社は合計 26MW の蓄電池システムについて調達契約済みである。全てがリチウムイオン電池システムであり、Hecate Energy 社と 20MW の契約をしている。

(3) 欧州の大規模蓄電システムの導入動向

欧州では再生可能エネルギー導入の拡大と合わせ、系統安定化対策が進められているが、主に EU 国間の電力にやり取りの連携や配電網を強化することで対応している。しかしながら、離島などの地域独立エリアや系統脆弱エリアでは、蓄電池の需要が高まっており、加えて、今後の更なる再生可能エネルギー導入に対応した蓄電池導入に向けた制度の導入や実証が各国で進められている。

EU でのエネルギー分野における技術戦略計画は、欧州委員会が 2007 年 11 月に発表した欧州戦略的エネルギー技術計画 (Strategic Energy Technologies [SET] plan) である。欧州議会で 2007 年から 2013 年にかけて採択実施された第 7 次研究開発フレームワーク「FP7」、その後継の「HORIZON2020」のワークプログラム 2014-15 において実証レベルの蓄電システムに関連する実証プロジェクトなどの助成を行っている。また、他に、欧州地域開発ファンド (ERDF) などを通して各国における大規模蓄電システムの開発を支援している。

欧州委員会や蓄電池メーカー、電気事業者等は、2009 年にエネルギー貯蔵ワークショップを開催し、蓄電システム導入に関する推進体制作りを開始し、2011 年には ABB、Alstom、DONG Energy、EDF、ENBW、ENEL、E.ON、GdF-Suez、KEMA、RISOE、RWE、Saft、Siemens といった欧州の主要な電気事業者やメーカー等が発起人となり、欧州エネルギー貯蔵協会 (EASE) が設立されている。現在では、欧州内外のエネルギー貯蔵に関連するメーカー 41 社がメンバーとなっている。エネルギー貯蔵関連の情報を共有し、普及させるための欧州のプラットフォームを構築する活動を行っており、欧州エネルギー研究同盟 (EERA)

と連携し、2013年に「European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030」を発表している。この中で、化学エネルギー、電気化学エネルギー、機械エネルギー、熱エネルギー、その他のエネルギー貯蔵技術毎に2030年に向けた開発ロードマップを発表している。また、2014年12月には、欧州送電系統運用者ネットワーク(ENTSO-E)とスマートグリッド向け欧州配電系統運用業者ネットワーク(EDSO4SG)らとともに、欧州電力グリッドイニシアティブ(EEGI)の欧州の未来の電力ネットワークのイノベーション開発をサポートする2011年から2014年のGRID+プロジェクト、2015年から2016年のGRID+STORAGEプロジェクトを支援している。これらのプロジェクトでは、コスト、ベネフィット、KPI—重要業績評価指標、知識シェアリング、ファイナンスといった5つの重要な問題の解決に取り組み、送電及び配電系統の両方でのエネルギー貯蔵に関するグリッド研究及びイノベーション活動におけるヨーロッパの研究開発ロードマップ策定に取り組んでいる。

2015年までに欧州で稼働した蓄電システムの累積電力量は出力126MW、容量390MWhに達している。図I-19に用途別、図I-20に蓄電池種別の導入量の推移を示す。2013年頃から導入が急増しており、出力で見ると、周波数変動抑制、送電混雑解消向けの導入が多く、リチウムイオン電池が75MW、NAS電池が42MWを占めている。また、容量で見ると、送電混雑解消向けの導入が多く、NAS電池が310MWhを占めている。図I-21に導入された大規模蓄電システムの代表例を示す。

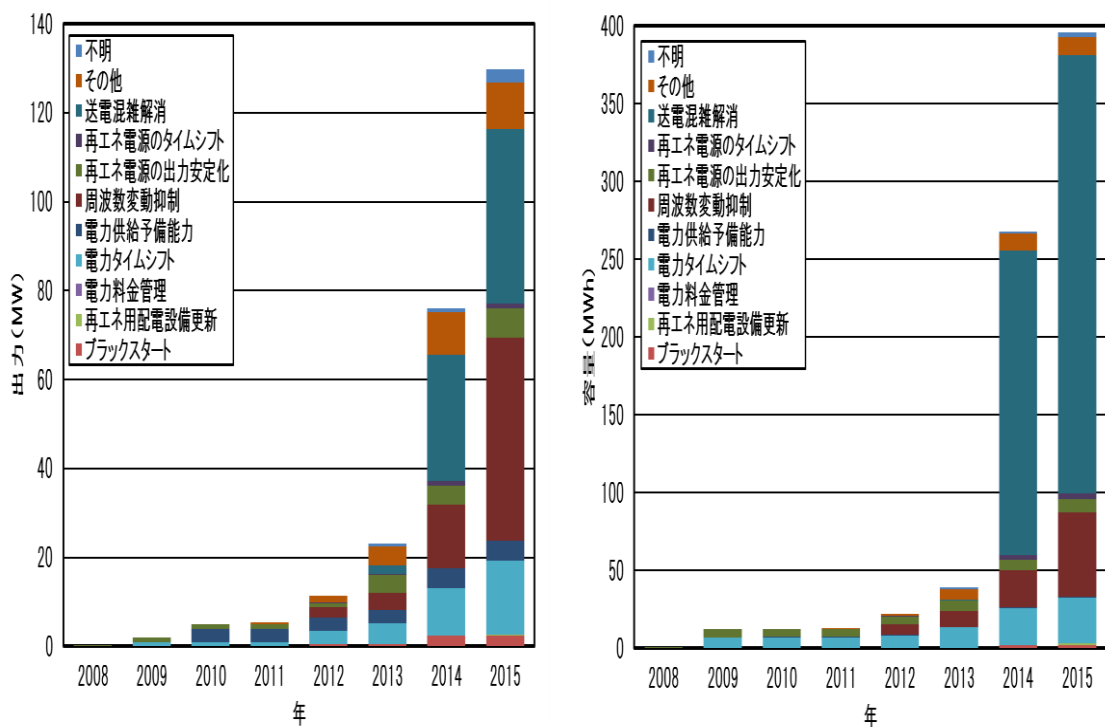


図 I-19 欧州における用途別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

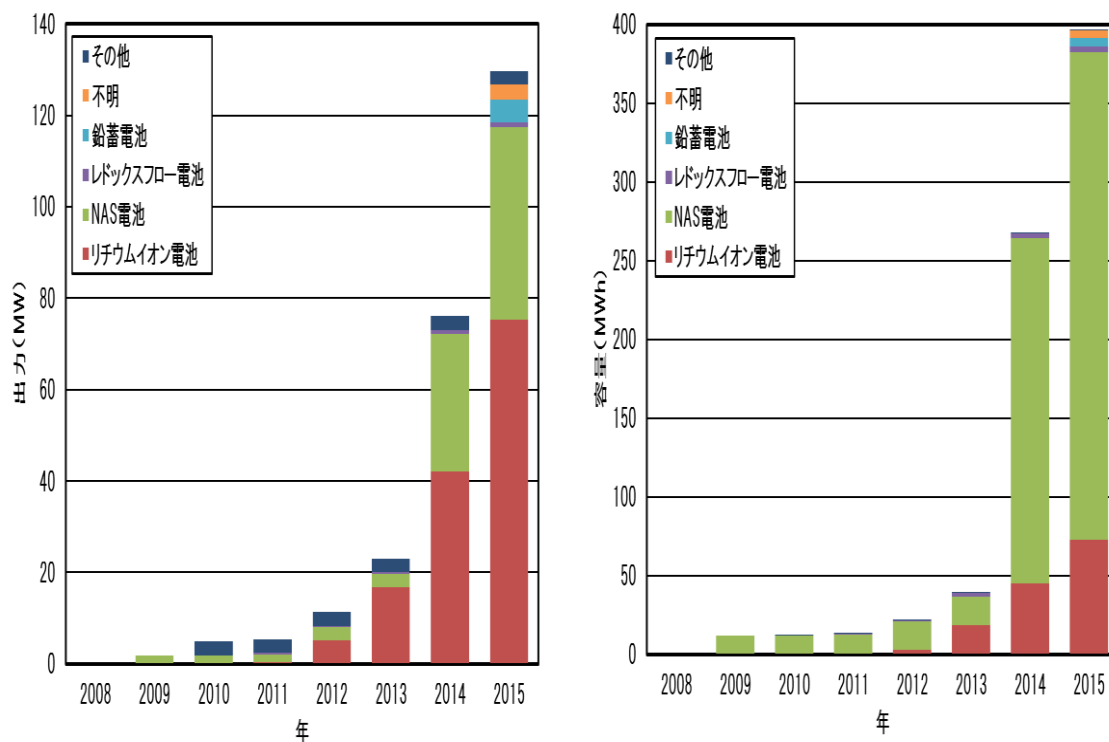


図 I -20 欧州における電池種別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成



図 I -21 欧州に導入されている大規模蓄電システムの例

(a) ドイツ

ドイツにおいては、南部で太陽光発電、北部で風力発電の導入量が多く、南部では余剰電力の発生、北部では周波数や電圧変動発生の影響が懸念されつつある。

ドイツ政府では、連邦経済エネルギー省 (BMWi)、連邦教育・研究省 (BMBF)、連邦環境・自然保護・建設・原子力安全省 (BMUB) の三省が、「第 6 次エネルギー研究プログラム」の一環として、電力、熱、その他のエネルギーを貯蔵できる高性能・高効率エネルギー貯蔵システムの研究開発及び実証を支援す

るために、「エネルギー貯蔵資金調達計画(Forschungsinitiative Energiespeicher)」で 2011 年から最大 2 億ユーロのプロジェクト支援を発表している。これに加え、先述した EU 及び州の支援のもと、大型蓄電池の実証プロジェクトが進められている。

表 I-6 にドイツにおける主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。Feldheim では 2015 年 9 月に地域独立型のエネルギー実証として、風力発電機の製造・販売会社の Enercon とデベロッパーの Energiequelle のベンチャーが風力発電設備とともに、余剰電力調整と周波数変動抑制のため 10MW、10.8MWh の大型リチウムイオン電池システム(LG 化学製;表 I-6⑦、図 I-21)を設置している。これは、欧州地域開発基金(ERDF)とブランデンブルク州の助成金を利用して導入されたものである。

また、Energiespeicher の支援で、Schwerin で 5MW、5MWhのリチウムイオン電池システム(Samsung SDI 製;表 I-6⑤)によるバッテリーパーク実証、Reick で 2MW、2MWhのリチウムイオン電池システム(LG 化学製;表 I-6⑥)による火力発電所の電力供給予備力調整実証、Aachen で 5MW、5MWh の鉛電池システム(Exide Technologies 製;表 I-6⑧)による電力タイムシフト実証が行われている。

表 I-6 ドイツにおける主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2009	Germany	Emden	NAS	800	4,800	Enercon	日本ガイシ
②	2012	Germany	Berlin	NAS	1,000	6,000	Yunicos	日本ガイシ
③	2013	Germany	Island Pellworm	LIB	560	560	Hansewerk AG	Saft
④	2014	Germany	Braderup	LIB	2,000	2,000	Energiespeicher Nord GmbH & Co KG	Sony
⑤	2014	Germany	Schwerin	LIB	5,000	5,000	WEMAG AG	Samsung SDI
⑥	2015	Germany	Reick	LIB	2,000	2,000	DREWAG	LG Chem
⑦	2015	Germany	Feldheim	LIB	10,000	10,833	Venture Capital	LG Chem
⑧	2015	Germany	Aachen	鉛	5,000	5,000	RWTH Aachen	EXIDE Technologies
⑨	2015	Germany	Dörverden	LIB	3,000	4,500	Statkraft	ADS-TEC GmbH

(b) イギリス

イギリスでは現在、スコットランドや離島で風力発電を中心に再生可能エネルギーの導入が進んでいるが、これらの大量導入による系統の不安定化が見込まれるため、系統運用機関の National Grid はアンシラリー市場の調達規模が増加すると発表している。また、政府のガス・電力市場管理局(OFGEM)は、2010 年に送配電網の省エネ・低炭素化のために、新しい技術や運用手法等の実用化を目的に配電事業者を対象とした補助金(LCNF)を設定しており、蓄電池導入の補助金としても運用されている。

表 I-7 にイギリスにおける主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。配電事業者である UK Power Networks は、LCNF の補助金(1,320 万ポンド)を受け、Leighton Buzzard でピークシフト等を目的に 6MW、10MWh のリチウムイオン電池システムを(Samsung SDI 製;表 I-7④、図 I-21)用いて複数のアプリケーション(タイムシフト、周波数変動調整、出力安定化など)を行うことで、従来のネットワーク強化を延期し、蓄電システムの能力と価値を検証する総額 1,870 万ポンドのプロジェクトを開始し、2016 年 12 月まで行う予定としている。

表 I-7 イギリスにおける主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2013	United Kingdom	Kirkwall	LIB	2,000	500	Mitsubishi Power Systems Europe (MPSE)	三菱重工業
②	2013	United Kingdom	Rise Carr, Darlington	LIB	2,500	5,000	Northern Powergrid	A123 (NECエナジーソリューション)
③	2014	United Kingdom	Lerwick	NAS	1,000	3,000	Scottish and Southern Energy (SSE)	S&C Electric Europe Ltd
④	2014	United Kingdom	Leighton Buzzard	LIB	6,000	10,000	UK Power Networks	Samsung SDI

(c) イタリア

イタリア政府は、再生可能エネルギーの系統安定化対策として、送配電網の強化を優先しているものの、南部や離島では他国や地域間を利用した余剰電力のやり取り等の系統安定化対策が困難であるため、蓄電システムの導入が必要となってきた。そのため、イタリアの規制当局である AEEG (電力ガス規制機関) は、再生可能エネルギー設備に併設した蓄電池や再生可能エネルギーインセンティブの取り扱いについて、制度作成を進めている。表 I-8 にイタリアにおける主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。2011 年には、送配電のネットワークに蓄電池を導入することと、そのネットワークオペレータである送配電会社とその蓄電池を保有、運用することが認可された。この認可を受けて、送電会社である Terna は、イタリア南部 Flumeri、Miscano、Scampitella における系統混雑に対応した合計 34.8MW、245MWh の NAS 電池システムを導入するプロジェクト(日本ガイシ製;表 I-8④、⑤、⑬、⑭、⑮)と、経済開発省(MSE)に承認された離島における系統安定化に対応した合計 40MW の蓄電池のプロジェクトをシチリア島 Ciminna (表 I-8⑯~⑳)、サルデーニャ島 Codrongianos (表 I-8㉑~㉒)で開始した。これらのプロジェクトでは、様々な電池メーカーの電池システムが導入されている。配電会社である Enel Distribuzione も同様に、大型リチウムイオン電池の実証プロジェクトを開始している。

表 I-8 イタリアにおける主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2012	Italy	Carpinone	LIB	1,000	500	Enel Distribuzione	三洋
②	2014	Italy	Chiaravalle	LIB	2,000	2,000	Enel Distribuzione	NECエナジーソリューション
③	2014	Italy	Foggia	LIB	2,000	1,000	Enel Distribuzione	Saft
④	2014	Italy	Flumeri	NAS	12,000	96,000	Terna S.p.A.	日本ガイシ
⑤	2014	Italy	Miscano	NAS	12,000	96,000	Terna S.p.A.	日本ガイシ
⑥	2014	Italy	Forli-Cesena	LIB	1,000	1,000	Enel Distribuzione	Samsung SDI
⑦	2014	Italy	Codrongianos	LIB	1,000	1,000	Terna S.p.A.	Samsung SDI
⑧	2014	Italy	Codrongianos	LIB	1,200	920	Terna S.p.A.	Saft
⑨	2014	Italy	Codrongianos	LIB	1,000	1,017	Terna S.p.A.	東芝
⑩	2014	Italy	Codrongianos	LIB	1,080	540	Terna S.p.A.	LG Chem
⑪	2014	Italy	Codrongianos	LIB	1,000	1,233	Terna S.p.A.	BYD
⑫	2014	Italy	Codrongianos	NaNiCl ₂	1,200	4,140	Terna S.p.A.	FIAMM Energy Storage Solutions
⑬	2014	Italy	Codrongianos	NaNiCl ₂	1,000	2,000	Terna S.p.A.	GE Energy Storage
⑭	2015	Italy	Ciminna	LIB	1,000	900	Terna S.p.A.	Samsung SDI
⑮	2015	Italy	Ciminna	LIB	900	570	Terna S.p.A.	Saft
⑯	2015	Italy	Ciminna	LIB	1,000	1,017	Terna S.p.A.	東芝
⑰	2015	Italy	Ciminna	LIB	1,000	1,217	Terna S.p.A.	BYD
⑱	2015	Italy	Ciminna	NaNiCl ₂	1,200	4,140	Terna S.p.A.	FIAMM
⑲	2015	Italy	Scampitella	NAS	10,800	86,400	Terna S.p.A.	日本ガイシ

(d) スペイン・フランス

スペインは、風力発電を中心に再生可能エネルギーの導入が進んでおり、余剰問題が顕在化してきているが、REE 社(送電系統運用会社)が集中制御を行い、大きなトラブルもなく電力システムを運用できている。そのため国独自の政策など、積極的な取組みは行われていない。但し、スペイン政府・産業技術開発センター(CDTI)はEUと1,100万ユーロの補助金を提供し、スマートグリッドの実証を行っている。

フランスでは、最近、再生可能エネルギー導入比率を増やそうという動きがあるが、現在は、系統への影響は顕著ではないため、大型蓄電池導入への取組みは積極的ではないが、一部のプロジェクトで実証が開始されている。

表 I-9 にスペイン・フランスにおける主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。

表 I-9 スペイン・フランスにおける主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2012	Spain	Tudela	LIB	1,000	567	Acciona Energy	Saft
②	2013	Spain	La Aldea de San Nicolás, Gran Canaria	LIB	1,000	3,000	Endesa	Saft
③	2013	Spain	Carmona	LIB	1,000	3,000	Red Eléctrica de España (REE)	A123 (NEC Energy Solutions, Inc.)
④	2014	Spain	Seville	LIB	1,000	333	Instalaciones Inabensa (Abengoa)	Cegasa International
⑤	2009	France	St. Andre	NAS	1,000	7,200	Électricité de France (EDF)	NGK Insulators Ltd.
⑥	2013	France	Toulouse	LIB	3,300	1,650	Saft	Saft
⑦	2014	France	Carros	LIB	1,000	450	SAFT	Saft
⑧	2015	France	Troyes	LIB	2,000	1,300	ERDF	SAFT
⑨	2015	France	Les Renardières	LIB	1,000	500	Electricité de France (EDF)	Saft
⑩	2015	France	Le Diamant	LIB	2,472	1,978	MADINERGIE, SARL	Saft SA

(4) 中国の大規模蓄電システムの導入動向

中国においては、民間レベルでの蓄電システムに対する投資が少なく、系統インフラの整備が進行中であることから、需要家側ではなく系統側への蓄電システム設置がより主流になると想定されている。大規模風力発電等の再生可能エネルギー導入に伴い、送電系統が不安定になりつつあるため、送電系統の増強と併せて数十 MWh 級の蓄電システムを用いた系統安定化の実証が進められている。

図 I-22 に用途別、図 I-23 に蓄電池種別の導入量の推移、表 I-10 に主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。2015 年までに中国で稼働した蓄電システムの累積電力量は出力 50MW、容量 125MWh とまだ多くはない。

中国においては、2つの国営電力送配電会社である国家电网公司及び南方電網公司によって、エネルギー貯蔵に関するプロジェクトが進められている。南方電網の深圳プロジェクトは 2010 年より始動しており、合計 4MW、16MWh 級のリチウムイオン電池システム(表 I-10⑤、⑥)を広東省深圳市に設置している。また、2011 年に始動した国家电网の張北プロジェクトは、風力発電、太陽光発電及び電力貯蔵、次世代送電網を一体化した世界最大規模の実証であり、河北省張北県に 14MW、63MWh のリチウムイオン電池(表 I-10⑩、⑪、⑫、⑬)及び 2MW、8MWh のレドックスフロー電池(表 I-10⑭)などの大型蓄電システムが導入されている。このうちリチウムイオン電池は、比亞迪(BYD)、新能源(ATL)、万向電動汽車(Wanxiang)、中航鋰電(CALB)の 4 社が納入しており、全てオリビン型リン酸鉄リチウムを正極としたものである。図 I-24 に張北プロジェクトにおいて導入された BYD 製リチウムイオン電池システムを示す。

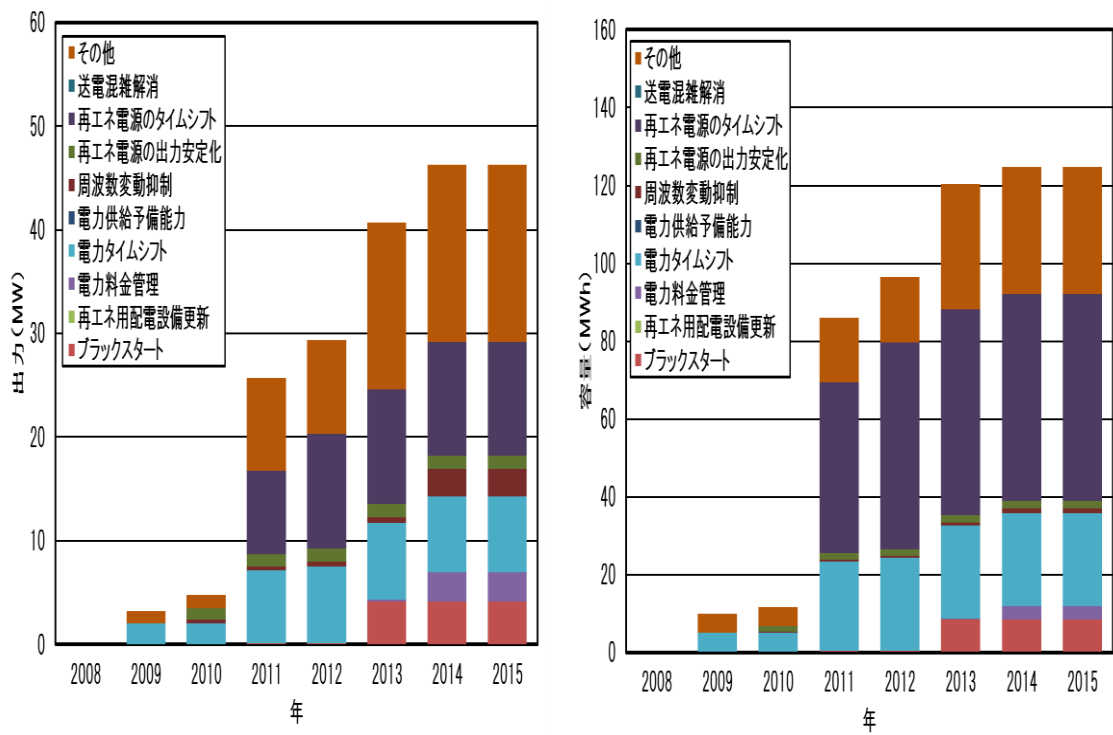


図 I-22 中国における用途別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

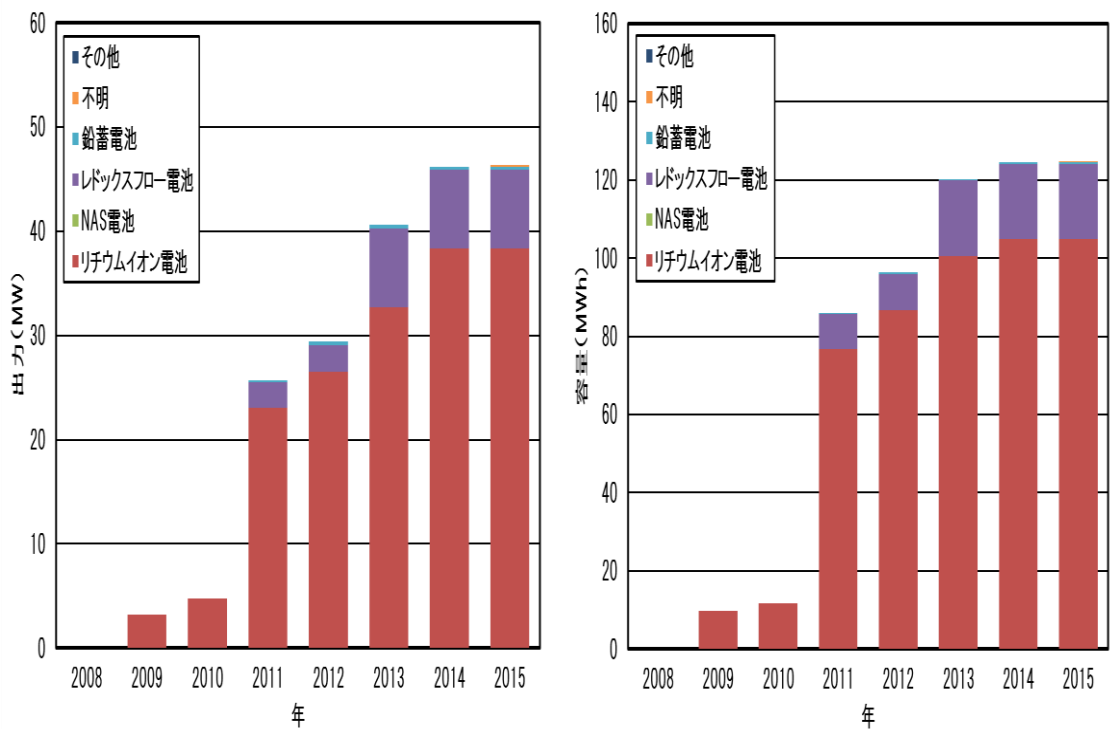


図 I-23 中国における電池種別の蓄電システム導入量の推移

出典: DOE Global Energy Storage Database に基づき NEDO 作成

表 I -10 中国における主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力 (kW)	容量 (kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2009	中国	広東省	LIB	1,000	1,000	国家電網	BYD
②	2009	中国	広東省	LIB	1,000	4,000	BYD	BYD
③	2009	中国	広東省	LIB	1,000	4,000	BYD	BYD
④	2010	中国	広東省	LIB	1,000	2,000	Amperex Technology Ltd (ATL)	Amperex Technology Ltd (ATL)
⑤	2010	中国	広東省	LIB	1,000	4,000	南方電網	China Aviation Lithium Battery Co., Ltd. (CALB)
⑥	2010	中国	広東省	LIB	3,000	12,000	南方電網	BYD
⑦	2010	中国	河北省	LIB	1,000	1,000	国家電網	BYD
⑧	2011	中国	福建省	LIB	1,000	2,000	Contemporary Amperex Technology Limited(CATL)	Contemporary Amperex Technology Limited(CATL)
⑨	2011	中国	青島市	LIB	7,020	10,530	国家電網	万向集団
⑩	2011	中国	河北省	LIB	6,000	36,000	国家電網	BYD
⑪	2011	中国	河北省	LIB	4,000	16,000	国家電網	Amperex Technology Ltd (ATL), Dongguan New Energy
⑫	2011	中国	河北省	LIB	1,000	2,000	国家電網	万向集団
⑬	2011	中国	河北省	RF	2,000	8,000	国家電網	Prudent Energy Corporation, GE
⑭	2011	中国	河北省	RF	500	1,000	中国電力科学研究院	Prudent Energy Corporation, GE
⑮	2012	中国	河北省	LIB	650	2,600	国家電網	Contemporary Amperex Technology Limited(CATL)
⑯	2012	中国	河北省	LIB	3,000	9,000	国家電網	China Aviation Lithium Battery Co., Ltd. (CALB)
⑰	2013	中国	遼寧省	RF	5,000	10,000	GuoDian LongYuan (Shenyang) Wind Power Co., Ltd.	Rongke Power
⑱	2013	中国	チベット	LIB	2,000	5,333	Longyuan Tibet New Energy Company	BYD
⑲	2014	中国	福建省	LIB	1,000	2,000	福建省電力研究所	Amperex Technology Ltd (ATL)
⑳	2014	中国	遼寧省	RF	2,000	4,000	遼寧省電力経済開発株式会社	Rongke Power
㉑	2014	中国	北京市	LIB	2,000	500	Ray Power Systems Co. Ltd.	A123 (NECエナジーソリューション)



図 I -24 張北プロジェクトで導入されたリチウムイオン電池システム

(5) 韓国の大規模蓄電システムの導入動向

韓国においては、2015年までに稼働した蓄電システムの累積電力量は出力25MW、容量40MWhとまだ多くない。表I-11に主要な大規模蓄電システム導入事例を示す。

韓国の知識経済部(MKE)は、2011年5月、韓国ESS2020アクションプラン(K-ESS2020)と呼ばれる電力貯蔵システム開発のロードマップを発表した。それによると、ESSで世界トップ3となるビジョンのもと、2020年までの市場目標を、世界シェア30%、ESSの国内導入1,700MW(計画されている再生可能エネルギー発電容量の約10%)とし、同じく2020年までの技術開発及び実証規模の目標を、電池価格200ドル/kWh、電池寿命20年、数100MW規模の実証実施としている。更に、ESSの国内導入目標については、2013年2月に知識経済部が発表した長期電力需給に関する第6次基本計画の中で、2020年までに2,000MWと上方修正されている。

韓国電力公社(KEPCO)は、2017年までに世界最大規模の周波数調整用ESSとなる計500MWの蓄電システムを国内に導入する計画を掲げており、これまでに韓国電池メーカー製の蓄電池システムが多数採用され、設置されている。済州島では、2013年から4MW、8MWhのリチウムイオン電池システム(SamsungSDI製;表I-11①)、1.5MW、0.75MWhのリチウムイオン電池システム(LG化学製;表I-11②)を用いて同社のプロジェクトが実施されている。図I-25にSamsungSDI製リチウムイオン電池システムを示す。

また、韓国の貿易産業エネルギー部(MOTIE)下のファンディング・エージェンシーである韓国エネルギー技術評価院(KETEP)は、ピーク負荷軽減のためのESS実証プロジェクトを、2014年～2018年の期間、政府助成率35%、総助成額96百万ドルで実施している。このプロジェクトでは送配電系統用としてリチウムイオン電池(54MW)、発電所用として圧縮空気貯蔵CAES(100MW)の技術が採用されている。

表I-11 韓国における主要な大規模蓄電システム導入事例

	運転開始年	国	場所	電池タイプ	出力(kW)	容量(kWh)	事業者	蓄電池プロバイダ
①	2013	韓国	済州島	LIB	4,000	8,000	Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	Samsung SDI
②	2013	韓国	済州島	LIB	1,500	750	Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	LG Chem
③	2013	韓国	済州島	LIB	800	200	Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	Samsung SDI
④	2014	韓国	済州島	LIB	1,000	1,000	Jeju Provincial Government	Samsung SDI
⑤	2014	韓国	全羅南道	LIB	1,250	3,333	Korea Electric Power Research Institute	Kokam
⑥	2014	韓国	全羅南道	LIB	4,000	2,000	Korea Power Exchange (KPX)	SK Innovation
⑦	2015	韓国	仁川	LIB	4,000	16,000	Korea South-East Power Co. (KOSEP)	LG Chem



図I-25 済州島スマートグリッド実証で導入されたリチウムイオン電池システム

2. 4 大規模蓄電システムの市場動向

2. 4. 1 大規模蓄電システムの市場規模

再生可能エネルギーの大量導入、それに伴う系統安定化ニーズの高まり、電力システムの改革進展に伴う新たなエネルギーサービスの活性化等を背景に、定置用蓄電池の市場は大きく伸びると予測されている。

PCS・筐体等の周辺機器、据付工事等を含まない定置用蓄電デバイスのみ用途別市場規模の実績・予測を図 I-26 に示す。蓄電デバイスのみでも 2015 年実績の約 3,700 億円から 2025 年には約 1 兆 800 億円と約 3 倍に成長すると予測されている。

このうち、系統用蓄電システム向けの蓄電デバイスの市場規模は、2015 年で約 500 億円であるが、2025 年には約 1,900 億円と約 4 倍に成長すると予測されている。

但し、現在は系統用蓄電システムの適切な設置規模・運用方法、将来の売買価格とその費用対効果等に関する共通指標は定まっておらず、市場環境整備が進められている状況である。今後、市場規模予測は変化していくものと予想される。

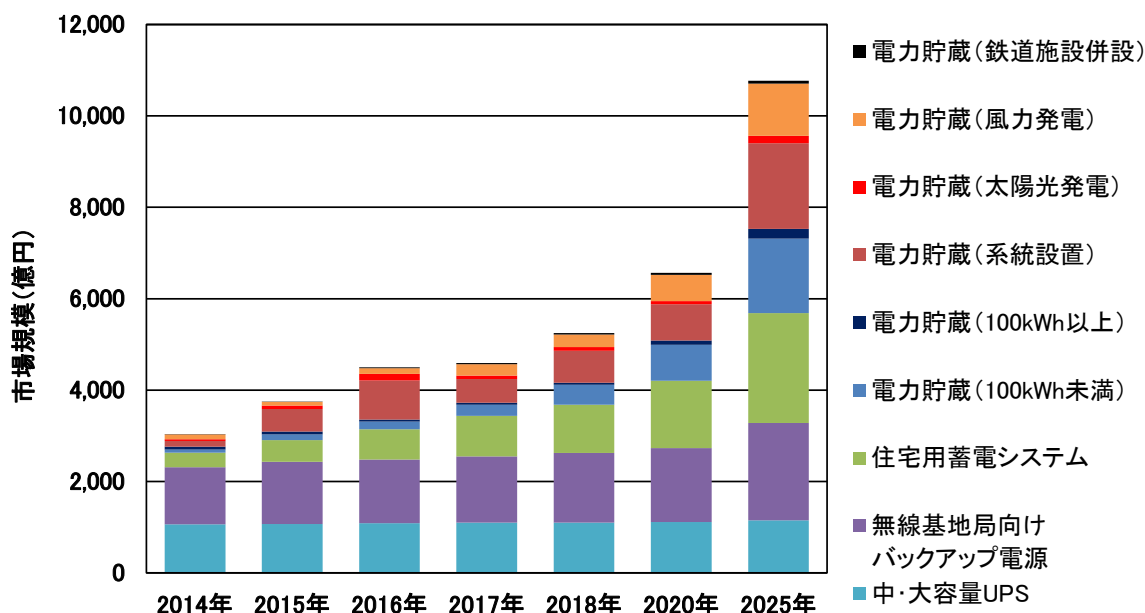


図 I-26 定置用蓄電システム向け蓄電デバイスの市場規模推移・予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2016」(2016 年 7 月、株式会社富士経済)

2. 4. 2 各電池システムのメーカーシェア

(a) リチウムイオン蓄電池システム

100kW 以上の大型リチウムイオン蓄電池システムを開発する代表的企業のシェアの推移を図 I-27 に示す。2013 年までに稼働しているシステムは累計 172MW/222MWh であり、A123 社を筆頭に米国のメーカーが 58%と大きな割合を占めていた。2015 年までの累計では、544MW/423MWh と 2 年で 2 倍以上に増加している。メーカーシェアは、A123 Energy Solutions 社が NEC に買収されたこともあるが、NEC、東芝、GS ユアサで 29%と日本のシェアが大きくなっている。また、LG 化学やサムスンといった韓国メーカーや BYD といった中国メーカーがシェアを大きく伸ばしてきていることが分かる。特に、BYD は自国の政策の後押しもあり、中国国内で多くの実証を行っている。蓄電システム納入の契約も含めた今後の累計見ると、1,237MW/1,374MWh と 2015 年のさらに 2 倍以上となる。シェアでは、LG 化学が大きくシェアを伸ばしている。

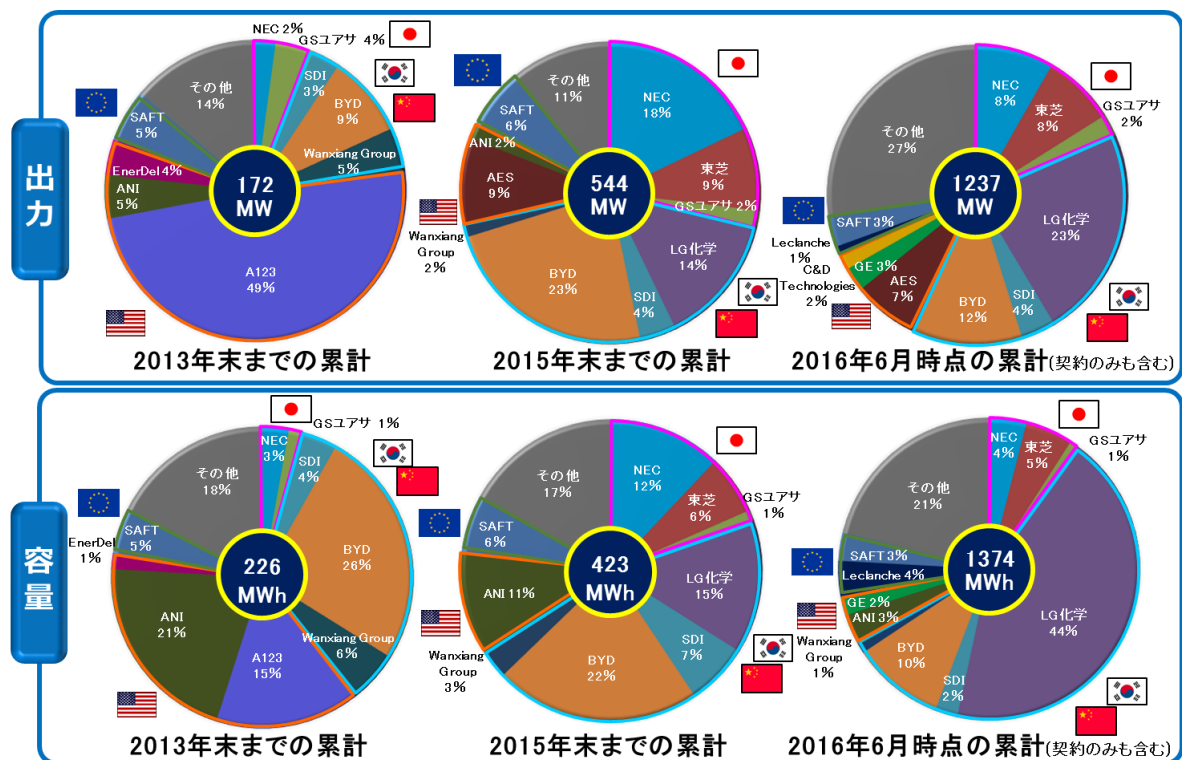


図 I-27 定置用リチウムイオン電池システム(100kW 以上)の主要メーカーシェア推移

出典:「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)に基づき NEDO 作成

(b) 鉛蓄電池システム

100kW 以上の大型鉛蓄電池システムを開発する代表的企業のシェアの推移を図 I-28 に示す。2013 年までに稼働しているシステムは累計 139MW/119MWh であり、Xtreme Power や C&D Technologies を筆頭に米国のメーカーが出力で 74%、容量でも 50%以上と大きな割合を占めていた。2015 年までの累計では、159MW/149MWh と 10MW/年でわずかに増加している。この増加は、主に車載用の鉛蓄電池で大手メーカーである Exide や日立化成、Ecolt によるところが大きい。大きな増加でないため、各国のシェアについては、顕著な変化がなく、米国がトップシェアとなっている。今後の蓄電システム納入の契約も含めた今後の累計見ると、184MW/189MWh と 2015 年から 40MW/50MWh の増加となる。これまで車載用で拡販してきた Energysys、産業用途で出力の高い PbC 電池を展開している Axion Power International 及び宇

宙用で長寿命の電池を拡販してきた Eagle Picher Technologies がシェアを伸ばしている。なお、トップシェアの Xtreme Power は 2014 年 11 月に Chapter11 を申請し、Yunicos に買収されている。

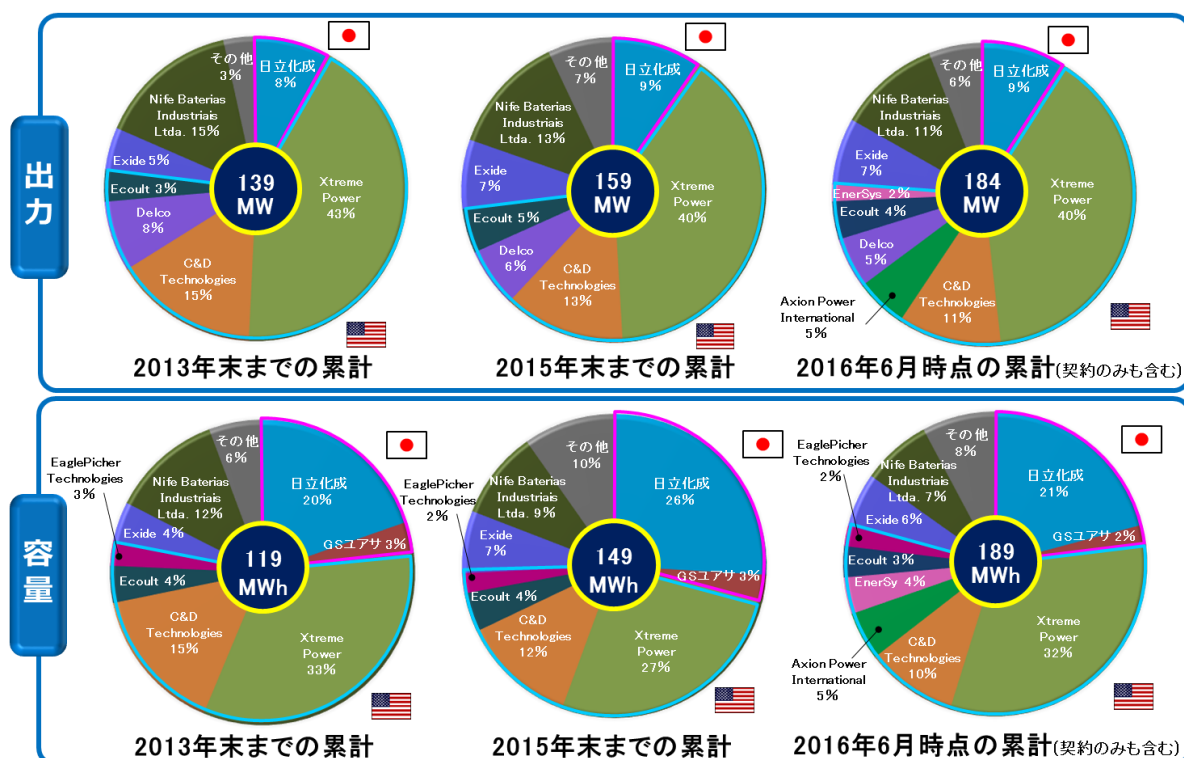


図 I-28 定置用鉛蓄電池システム(100kW 以上)の主要メーカーシェア推移

出典:「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)に基づき NEDO 作成

(c) NAS 系蓄電池システム

100kW 以上の大型 NAS 系蓄電池システムを開発する代表的企業のシェアの推移を図 I-29 にまとめた。なお、分類上、 NaNiCl_2 電池システムも含めている。2013 年までに稼働しているシステムは累計 121MW/800MWh であり、2015 年までの累計では、185MW/1,216MWh と増加している。ほとんどを日本ガイシが占めているが、GE Energy Storage と FIAMM が少しずつシェアを伸ばし始めている。今後の蓄電システム納入の契約も含めた今後の累計見ると、248MW/1,545MWh と 2015 年から 63MW/329MWh の増加となる見込みである。

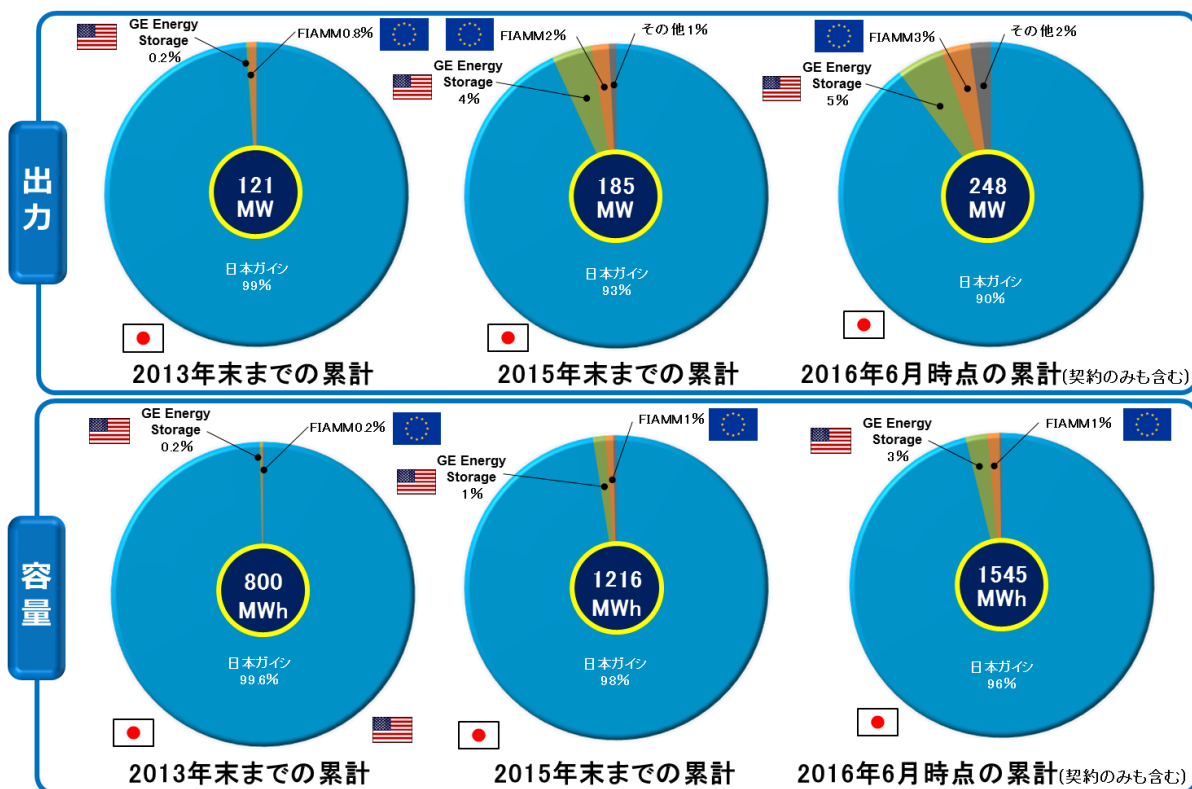


図 I -29 定置用 NAS 系蓄電池システム(100kW 以上)の主要メーカーシェア推移

出典:「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)に基づき NEDO 作成

(d) レドックスフロー蓄電池システム

100kW 以上の大型レドックスフロー蓄電池システムを開発する代表的企業のシェアの推移を図 I -30 にまとめた。2013 年までに稼働しているシステムは累計 20MW/60MWh であり、2015 年までの累計では、38MW/125MWh とほぼ倍増している。住友電工がほぼ半分から約 70% にシェアを伸ばしており、Rongke Power と Prudent Energy、UniEnergy Technologies が続いている。今後の蓄電システム納入の契約も含めた今後の累計見ると、113MW/416MWh と 2015 年から 75MW/291MWh の増加となる見込みであり、新規メーカーの Primus Power が大幅にシェアを伸ばす見込みである。

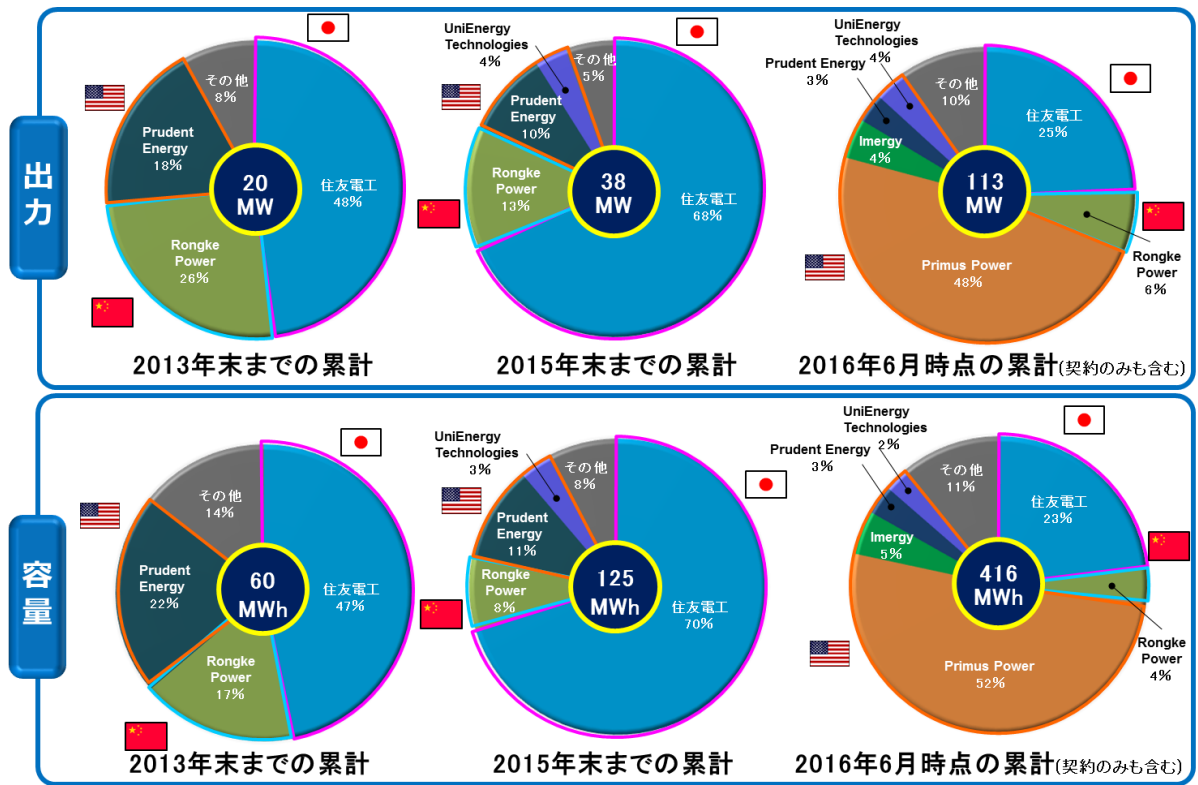


図 I-30 定置用レドックスフロー蓄電池システム(100kW 以上)の主要メーカーシェア推移

出典:「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)に基づき NEDO 作成

2.5 大規模蓄電システムの技術動向

2.5.1 各種蓄電デバイスの技術開発動向

(1) 鉛蓄電池

(a) 特徴

鉛蓄電池は、正極に二酸化鉛、負極に海綿状の金属鉛、電解液に希硫酸を用いており、ポリオレフィン樹脂、ガラス繊維及び無機フィラー等からなる不織布セパレータを介して正極と負極が位置している二次電池である。放電時には、正極の二酸化鉛と負極の鉛が希硫酸と反応して硫化鉛となる。逆に充電時には、正、負極の二酸化鉛はそれぞれ二酸化鉛、金属鉛となり、これらによって充電、放電を行っており、電池の平均電圧は 2V 程度である。

1859 年にフランス人のガストン・プランテによって発明されて以降、自動車用途としての拡大や鉛が安価であることなどから、世界中で広く使用されている。また、2000 年頃からアイドリングストップ用途や系統用途としての技術開発が行われており、入出力特性や寿命が向上されている。

大型の系統用途として、日本においては、ムーンライト計画に基づく NEDO の委託研究にて日本電池(現 GS ユアサ)が 1980 年から検討を行い、1986 年 10 月から関西電力の電力貯蔵試験所にて 1MW システムの実証を行ったのが、大型鉛蓄電池システム実証の初めてのケースである。その後、2010 年頃から徐々にではあるが、再生エネルギーの導入による系統安定化対策や災害時の非常用電源としての拡大進んでいる。

(b) メーカー及び開発動向

前記した大型鉛蓄電池システムのメーカーシェアの推移を基に、近年大きなシェア拡大が見られているメーカーである Xtreme Power、日立化成、Axion Power International 及び Enersys について調査を行った結果を表 I-12 と図 I-31 に示す。

Xtreme Power は、電極構造の保持と低抵抗化のため、金属合金をコートした耐衝撃ファイバーを用いており、高出力化のため、電極のナノスケールの比表面積を大きくした鉛蓄電池を用いている。屋内設置型のシステムを主に取り扱っているが、1MWh クラスのコンテナタイプも取り扱っている。また、用途としては 15 分～45 分程度の短時間用が多く見受けられる。鉛蓄電池は出力用途には弱く、高出力では本来保有するエネルギーを全て使用することは難しいが、使用時間を短縮するなどして、用途に応じた設計を行っていると考えられる。主な導入例として、2012 年、米国のテキサス州でピークシフト等の用途で 36MW/24MWh システム、アラスカ州コディアック島にて、出力調整用途で 3MW (15 分) システムが稼働を開始した。これまで世界シェアでも多くを占めていたが、Yunicos に買収されて以降は、目立った実績は確認されていない。

日立化成は、2016 年 1 月、鉛蓄電池を開発、販売していた子会社の新神戸電機を吸収合併しており、車載用、定置用の鉛蓄電池を製造、販売している。定置用の鉛蓄電池として、2014 年に正極格子デザインの適正化で格子腐食変形を抑制、極柱や端子部等の改良で発熱の抑制や電圧降下を抑制することで、最大放電電流 0.6CA、最大充電電流 0.3CA、期待寿命 17 年という出力と寿命を向上させた電池を開発しており、通常の定置用鉛蓄電池の寿命は 5～10 年程度であるため、期待寿命 17 年は特筆すべき性能と思われる。主なシステムとして、屋内設置型のものを取り扱っているが、一部、コンテナタイプでも実証を行っている。主な導入例として、2015 年 2 月、沖縄県波照間島に風力発電の出力変動に対応した 1.5MWh のシステムを納入、600kW の PCS に接続し、運転を開始しており、2016 年 7 月には、秋田県風の松原風力発電所に国内、風力発電向けの鉛蓄電池システムとして最大規模の約 24.1MWh のシステム

を納入、同年12月から運転開始予定である。また、近年、リチウムイオン電池やフライホイール等の他の高出力電池とのハイブリッドシステムの導入も進めており、着実に導入拡大を行っている。

Axion Power International は、活性炭を鉛に添加した負極を採用し、充放電による電解液の濃度変化を緩和し、正極の格子腐食を低減することで長寿命化を図っている鉛蓄電池をビジネス展開している。コンテナシステム「PowerCube」を開発し、2013年から販売しているが、本システムは通常1MWh/0.5MWであるが、30分であれば1MWの出力を出すことも可能としている。また、本システムは販売当時、約3.2万円/kWhであったが、約2.8万円/kWhまでコストダウンが進んでいる。主な導入事例として2014年に米国のペンシルバニア州の太陽光発電所に周波数調整やタイムシフト用途として9MWのシステム導入のアンナウンスがあり、ニュージャージー州では、PJM市場での周波数調整用に0.5MWのシステムを納入している。

Energys は、定置用の電池の正極版はクラッド式を採用しており、電解液にはゲルタイプのもも使用し、メンテナンスフリーの鉛蓄電池を用いて、2011年に開発した1MWh/0.25MWコンテナシステムをビジネス展開している。また、2006年にモドエナジー過半数株式を買収しリチウムイオン電池事業を強化、その後、リチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを開発し、2015年から運用している。主な導入事例としては、2014年に米国のバーモント州にて太陽光発電所に4MW/3.4MWhのリチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを納入しており、この内、鉛蓄電池は2MW/2.4MWhのシステムとなっている。また、2015年に米国のバーモント州にてビルのデマンドレスポンス用に合計1MW/4MWhのシステムを納入中であり100kW/400kWhのシステムを10台用いるとしている。

表 I-12 大型鉛蓄電池システムの代表的企業

メーカー	Xtreme Power (米) 	日立化成 (日) 	Axion Power International (米) 	Ener Sys (米) 
容量/出力 (主な設置形態)	1MWh/1.5MW(15分) (建屋内/コンテナ)	1.5MWh/0.9MW (建屋内/コンテナ)	1MWh/0.5MW (建屋内/コンテナ)	1MWh/0.25MW (建屋内/コンテナ)
技術の特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・先進鉛電池(Advanced lead-acid battery)を使 ・電極構造の保持と低抵抗化のため、金属合金をコートした耐衝撃ファイバーを用いている。 ・高出力化のため、電極のナノスケールの比表面積を大きくしている。 ・出力時間として、15分～45分程度のシステムが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・定置用の鉛蓄電池として2014年に正極格子デザインの適正化で格子腐食変形を抑制、極柱や端子部等の改良で発熱の抑制や電圧降下を抑制することで、最大放電電流0.6CA、最大充電電流0.3CA、期待寿命17年の電池を開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・活性炭を鉛に添加した負極を採用し、充放電による電解液の濃度変化を緩和し、正極の格子腐食を低減することで長寿命化を図っている。 ・コンテナシステムについて、30分であれば1MWhのシステムで1MWの出力も可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・定置用の電池の正極版はクラッド式を採用している。 ・ゲル状の電解液を採用したタイプもあり、メンテナンスフリーとしている。 ・2011年にコンテナシステムを開発 ・リチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを開発し、2015年から運用中。
主な導入例	<ul style="list-style-type: none"> ・2012年、米国のテキサス州で36MW/24MWhシステムが稼働を開始。 ・2012年、米国のアラスカ州コディアック島にて、3MW(15分)システムが稼働を開始。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2015年2月、沖縄県波照間島に1500kWhのシステムを納入、600kVAのPCS(富士電機製)に接続し、運転を開始。風力発電の出力変動に対応。 ・2016年7月、秋田県風の松原風力発電所に国内、風力発電向けの鉛蓄電池システムとして最大規模の約24.1MWhのシステムを納入。同年12月から運転開始予定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2014年～、米国のニュージャージー州にて、PJM市場での周波数調整用に0.5MWのシステムを納入、現在建設中。 ・2014年に米国のペンシルバニア州の太陽光発電所に周波数調整やタイムシフト用途として9MWのシステム導入予定の報告あり、稼働日は不明。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2014年に米国のバーモント州にて太陽光発電所に4MW/3.4MWhのリチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを納入。この内、鉛蓄電池は2MW/2.4MWhのシステムとなっている。 ・2015年に米国のバーモント州にてビルのデマンドレスポンス用に合計1MW/4MWhのシステムを納入中。100kW/400kWhのシステムを10台用いるとしている。
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・2014年11月にChapter11を申請し、Yunicos社が買収。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2016年1月、鉛蓄電池を開発、販売していた子会社の新神戸電気(株)を吸収合併。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2013年からコンテナシステム「PowerCube」を\$320,000で販売 ・2014年5月、1MWhシステム4台で\$1.1Mで納入している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2006年にモドエナジー過半数株式を買収しリチウムイオン電池事業を強化。 ・ニッケルカドミウム二次電池も製造販売している。

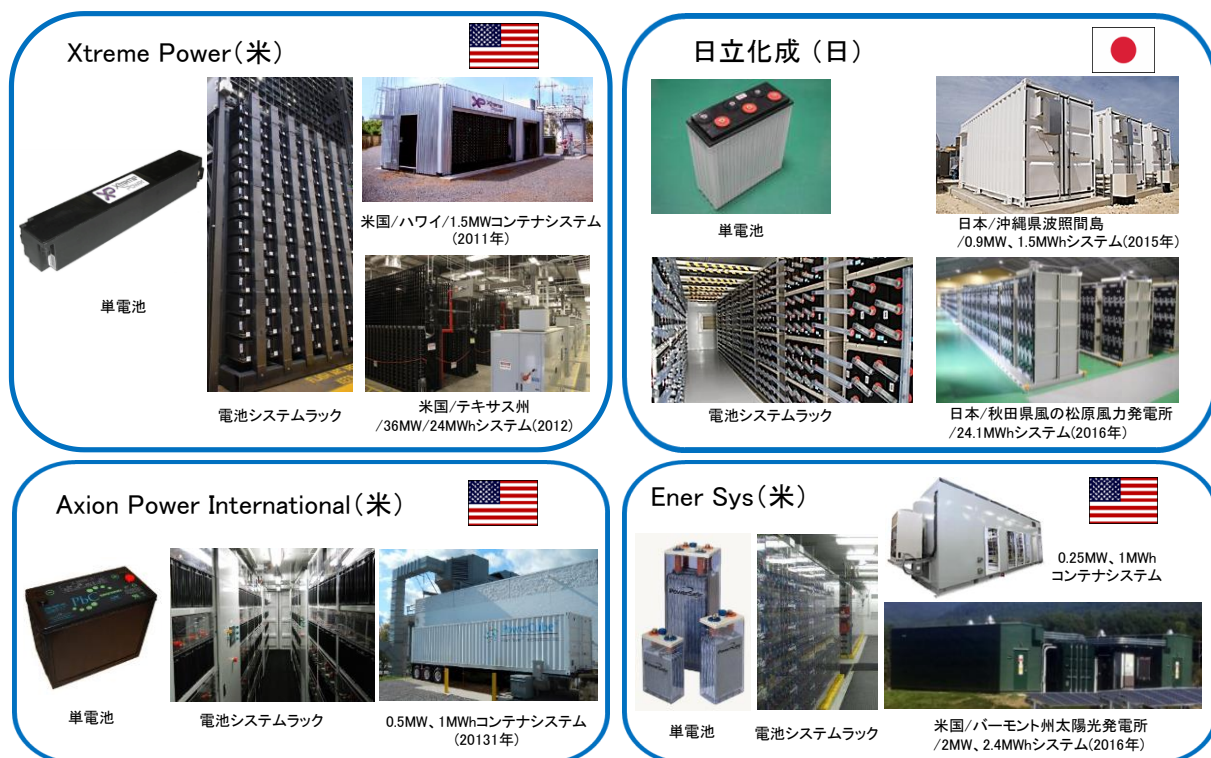


図 I-31 代表的企業の大型鉛蓄電池システム

(2) リチウムイオン二次電池

(a) 特徴

リチウムイオン二次電池は、正極にコバルト酸リチウムやマンガン酸リチウムなどの金属酸化物、負極にカーボンなど、電解液にエチレンカーボネートやメチルカーボネートなどカーボネート溶媒に LiPF_6 などの塩を用いており、微多孔を有する絶縁性のポリエチレン等からなるセパレータを介して正極と負極が位置している二次電池。充電時には、正極のリチウムがイオン化して負極側に移動し、負極(カーボンの場合)の層間にインターカレートされる。逆に放電時には、負極(カーボンの場合)の層間にインターカレートされたリチウムが正極に戻る。これによって、充電・放電を行っている。

電池の平均電圧が 3.2~3.7V 程度と鉛蓄電池の 2V やニッケル水素電池の 1.2V と比較しても高く、重量エネルギー密度が鉛蓄電池の 4 倍、ニッケル水素電池の 2 倍以上にもなる。1991 年のソニーの実用化以来、携帯電話・スマートフォンやノートパソコン等の民生用途で爆発的に普及し、車載用や定置用とその用途が多岐に亘っている。

系統安定化用途としては、1992 年のニューサンシャイン計画でモジュールの開発がすすめられ、2000 年頃から実用化が推進されてきた。しかしながら、系統安定化用途としてのコストや寿命等から、実証も含めた導入は 2005 年頃からであり、ここ数年で急激に導入が増加している。

(b) メーカー及び開発動向

前記した大型リチウムイオン蓄電池システムのメーカーシェアの推移を基に、シェアが大きいメーカーである LG 化学、BYD、NEC 及び東芝について調査を行った結果を表 I-13 及び図 I-32 に示す。

LG 化学は電池の特徴として、セパレータにオレフィン微多孔の表面をセラミックでコートした SRS® (Safety Reinforced Separator) を使用することで、安全性と構造安定性を向上させている。また、積層型セルにすることで、充放電等で発生する熱が拡散しやすくしており、電池の歪みを緩和させて寿命向上を図

っている。40 フィートコンテナにおいて、1 時間より大きい Long-duration の用途で 4.8MWh システムを展開しており、他のメーカーと比較して容量が大きいという特徴を有する。導入事例としては、2014 年 9 月には、SCE 社に対して 32 MWh/8MW の容量を持つ世界最大規模のバッテリーストレージを納入したことを発表している。これは、ロサンゼルス市北部の風力発電開発の中心地とされるテハチャピ変電所に設置され、出力変動抑制を目的としている。また、この電池は、EV 用セルと同一のものを使用している。また、2014 年 11 月に SCE 社に 400MWh/100MW のシステムの導入が発表されており、カリフォルニア州のロングビーチのアラミトパワーセンターに設置され、2021 年までに稼働を予定している。また、2011 年にはスイス ABB 社との間で MW 級蓄電システムの長期供給契約を締結したと発表しており、ABB 社がグローバル規模で展開する電力システムにおいて、LG 化学の大容量蓄電池が採用されることとなっている。さらに、2015 年 12 月、米国の AES 社と 2020 年までに 1GWh 規模の電池の供給契約を締結しており、さらなる拡大が予想される。

BYD は、正極に LiFePO_4 を用いることで、コバルト、マンガン及びニッケルを含む正極と比較して電位が低いためエネルギー密度は不利になるものの、安全性、寿命の向上を図っている。40 フィートコンテナの、0.5MW/0.5MWh システムをビジネス展開しているが、主要メーカーの中ではシステム容量は小さい。主に中国国内での実証を多く行っており、導入事例として、南方電網公司による広東省の実証試験プロジェクト向けの 5MW 級 LIB システムや国家电网による河北省の実証試験プロジェクト(第 1 期)に使用する 14MW 級のシステム等があげられる。また、2014 年 9 月にはスイス ABB 社と共同で蓄電システムの技術開発や応用開発についての提携を発表しており、2015 年 5 月には、米国のイリノイ州で 31.5MW システム (Invenergy 社に設置) の PJM 市場での商業運転の開始や同年、米国のウエストバージニア州でも 31.5MW のシステムを設置しているなど、中国以外でのシステム設置が始まっている。

NEC は、2014 年 6 月に LiFePO_4 を使用した車載用及び定置用 LIB の開発・販売を行っている中国の万向集団 (Wanxiang Group) 傘下で電力会社・企業向けに蓄電システムを供給する A123 Energy Solutions を買収している。システムなどの大型蓄電システム事業の蓄電池は、万向集団から A123 の電池供給を受けている。この電池の特徴として、正極に BYD と同じように LiFePO_4 を用いているが、1 次粒子が 100nm 以下の独自開発のもの (Nanophosphate[®]) を用いており、安全性、寿命の他、出力特性も向上を図ったものを使用している。電池タイプは円筒型である 26650 型を用いており、これを用いて箱型の電池モジュールを組んでいる。主なシステムとして、40 フィートコンテナにおいて、1 時間より大きい Long-duration の用途で 2.8MW/2.8MWh システムを展開しており、電池の高密度実装を行っている。システム設置の事例としては、2014 年 6 月にイギリス大手電力会社 Northern Powergrid のスマートグリッドプロジェクト「Customer-Led Network Revolution (CLNR)」に対し、住宅地や変電所など 6 カ所合計で出力 2.9MW、容量 5.7MWh の蓄電システムを、2015 年 7 月に SCE 社に出力 2.4MW、容量 3.9MWh の大型蓄電システムを納入した他、2015 年 10 月時点、世界で 118MW、電力会社 11 社 19 サイトにシステムを納入している。

東芝は、電池の特徴として、負極に $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) を用いており、カーボンの負極を用いた系と比較して、重量エネルギー密度は不利になるものの、安全性、出力及び寿命の向上を図っている。特に、LTO は、充放電の電位が約 1.5V (vs Li/Li⁺) であるため、原理上、電解液の分解やリチウム金属の析出等が起きにくいと、劣化が少なく、寿命が長くなるという特徴を有する。電池タイプは角型を用いており、システム用で用いている電池の容量は 20Ah である。システムは、20 フィートコンテナにおいて、0.5MW/0.25MWh を展開しており、出力重視の設計を行っている。システム設置の実績として、2013 年 11 月、東北電力の仙台変電所に 40MW/20MWh システムを受注しており、2016 年 2 月には、東北電力の「南相馬変電所需

給バランス改善蓄電池システム実証事業」に 40MW/40MWh システムで運転を開始している。また、2011年にスマートメーターなどの電力管理機器の大手(北米では35%のシェア)であるランディスギアを買収しており、北米の市場獲得を目指している。

他のメーカーとして、サムスン SDI は、民生用 LIB で培われた電池技術を活用し、今後、電力貯蔵分野の LIB について北米、欧州、日本などでの市場獲得を狙っており、出力 2MW、容量 500kWh システム(コンテナ式)及び出力 1MW、容量 1MWh システムなどを開発している。2014 年には、韓国 Hyosung に対しスマートグリッド実証用の 3MWh 電池の納入、英国電力ネットワーク(UKPN)らとのヨーロッパ最大のバッテリー貯蔵プロジェクトで 6MW/10MWh のエネルギー貯蔵変電所の建設、米国 Green Charge Networks に 2015 年から 2 年間で合計 25MWh 規模の電池の供給などを発表している。また、2014 年 9 月に稼働したドイツ WEMAG のバッテリーパークに出力平準化及び周波数調整のための 5MW/5MWh の電池システムを 20 年保証で提供している。また、日本においても、御船ホールディングスが鹿児島県天城町(徳之島)に 2015 年 4 月に立ち上げた出力 1.99MW の大規模太陽光発電所「御船徳之島太陽光発電所」に 20 年保証で電池を納入している。

表 I-13 大型リチウムイオン蓄電池システムを開発する代表的企業

メーカー	LG化学(韓国) 	BYD(中国) 	NEC(日本) 	東芝(日本) 
容量/出力 (主な設置形態)	4.8MWh (Long-duration) (40ftコンテナ)	0.5MWh/0.5MW (40ftコンテナ)	2.8MWh/2.8MW(Long-duration) (40ftコンテナ)	0.24MWh/0.5MW (20ftコンテナ類似品)
技術の特徴	<ul style="list-style-type: none"> セパレータにオレフィン微多孔の表面をセラミックでコートした SRS® (Safety Reinforced Separator) を使用し、安全性及び構造安定性を向上。 電池タイプを積層型にすることで、放熱性と寿命向上を図っている。 	<ul style="list-style-type: none"> 正極の LiFePO₄ を用いることで、を用いており、コバルト、マンガン及びニッケルを含む正極と比較して電位が低いためエネルギー密度は不利になるものの、安全性、寿命の向上を図っている。 	<ul style="list-style-type: none"> 正極に1次粒子が100nm以下の LiFePO₄(Nanophosphate®)を用いており、コバルト、マンガン及びニッケルを含む正極と比較して電位が低いためエネルギー密度は不利になるものの、安全性、出力及び寿命の向上を図っている。 電池タイプは円筒26650型を用いている。 	<ul style="list-style-type: none"> 負極に Li₄Ti₅O₁₂(LTO) を用いており、カーボンの負極を用いた系と比較して、重量エネルギー密度は不利になるものの、安全性、出力及び寿命の向上を図っている。 電池タイプは角型を用いている。
主な導入例	<ul style="list-style-type: none"> 2014年、カリフォルニア州に 8MWh/32MWh システムの導入。 2014年11月、カリフォルニア州のロングビーチにあるアラミドパワーセンター 100MW/400MWh システムの導入が発表、2021年までに稼働予定。 	<ul style="list-style-type: none"> 河北省の実証試験プロジェクトの 14MW 級の LIB システムについても、2011年5月に CALB と共同で落札 2015年5月、米国のイリノイ州で 31.5MW のシステムを Invenergy 社に設置、PJM 市場での商業運転が開始。 2015年、米国のウエストバージニア州でも 31.5MW のシステムを設置。 	<ul style="list-style-type: none"> 2009年、チリに 12MW/4MWh システムを納入。 2014年6月、英国に住宅地や変電所など6カ所合計で出力2.9MW、容量5.7MWhの蓄電システムを納入。 2015年7月、米国カリフォルニア大手電力会社 Southern California Edison に出力2.4MW/3.9MWh システムを納入。 	<ul style="list-style-type: none"> 2013年11月、東北電力の仙台変電所に 40MW/20MWh システムを受注。 2016年2月、東北電力の「南相馬変電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業」に 40MW/40MWh システムで運転開始。
備考	<ul style="list-style-type: none"> 2011年、スイス ABB 社との間で MW 級蓄電システムの長期供給契約を締結。 2015年12月、米国の AES 社と 2020年までに 1GWh 規模の電池の供給契約を締結。 	<ul style="list-style-type: none"> 2014年9月、スイス ABB 社と提携を発表。共同で蓄電システムの技術開発や応用開発を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 2014年6月、LiFePO₄ を使用した車載用及び定置用 LIB の開発・販売を行っている中国の方向集団(Wanxiang Group)傘下の A123 Energy Solutions を買収。 	<ul style="list-style-type: none"> 2011年にスマートメーターなどの電力管理機器の大手であるランディスギアを買収。



図 I-32 代表的企業の大型リチウムイオン蓄電池システム

(3) ニッケル水素電池

(a) 特徴

ニッケル水素電池は、二次電池の一種で、正極に水酸化ニッケルなどのニッケル酸化化合物、負極に水素または水素化合物を用い、電解液に濃水酸化カリウム水溶液 (KOH (aq)) などのアルカリ溶液を用いる二次電池。従来の代表的な小型二次電池であったニッケル・カドミウム蓄電池に対して、同じ 1.2V という電圧で、2.5 倍程度の電気容量を持ち、材料にカドミウムを使用しないため、環境への影響が少ないことから代替が進んだ。現在は、更にエネルギー密度の高いリチウムイオン二次電池への置換えが進んでいるものの、安全性の高さからトヨタ自動車や本田技研工業のハイブリッド自動車に採用されているほか、鉄道用や商業施設の補助電源として用途が拡大している。

(b) メーカー及び開発動向

ニッケル水素電池は、小型民生用途や自動車用途が大部分を占めており、定置用途としては、最大 30kWh のシステムを FDK が販売しているが、大規模蓄電池システムは主に川崎重工業のみが取り扱っている。

川崎重工業は、系統用途や電車等の移動体用途大容量型ニッケル水素電池「ギガセル®」を開発・販売しており、2010 年、関西電力株式会社の石津川変電所に 102kWh/250kW のシステム設置し、太陽光発電に起因する周波数変動抑制の検討や 2011 年、清水建設株式会社の技術研究所にマイクログリッドの負荷変動抑制のため、81.2kWh/100kW システム納品している。

(4) フライホイール

(a) 特徴

フライホイール(Flywheel)は、電気エネルギーを回転運動からなる物理的エネルギーとして貯蔵し、放電時には回転運動から発電によって電気を得る蓄電方式であり、ミリ秒単位の高速度応答が可能で、化学反応を用いないため放電深度に依らず充放電を繰り返しても劣化が少ないといった特長を有している。これらの特長を活かして、無停電電源(UPS)として実用化され市場が広がりつつあり、核融合用の電動発電機や鉄道の電圧降下対策及び再生エネルギー有効利用のために導入された事例がある。これらのフライホイール蓄電システムは、基本的には鉄製のロータと機械式ベアリングからなる接触型の軸受けから構成されている。

系統安定化用途としては、沖縄電力が1996年から周波数変動対策を目的として26,500kW/58kWhのフライホイール蓄電システム(通称 ROTES)を運用したのが、初期の導入例である。近年、再生可能エネルギーの導入拡大に伴い、その安定導入のためにフライホイール蓄電システムが注目を集めており、様々な企業が開発に取り組んでいる。フライホイールの高速度応答性と充放電を繰り返しても劣化が少ないという原理的特長が、その周波数調整等の要求性能に合致しているためである。

(b) メーカー及び開発動向

フライホイール蓄電システムは、Beacon Power(米)、Temporal Power(カナダ)、Amber Kinetics(米)、STORNETIC(独)など北米及び欧州のフライホイール開発に特化した企業や、VYCON(米)、ABB(多国籍)など無停電電源を開発してきたメーカーが開発を進め、実証試験を実施又は計画中である。フライホイールを系統安定化用途として実用化するには、高出力化、高容量化、低コスト化、安全性確保等の課題が挙げられており、各社解決に取り組んでいる。表 I-14 及び図 I-33 には、注目される4社 Beacon Power、Temporal Power、Amber Kinetics、STORNETIC について開発品の特徴と導入事例等をまとめた。

Beacon Power 及び STORNETIC は、ロータ材質を鉄製からより軽量の炭素繊維強化プラスチック(CFRP)製に替えることで、安全性を高めると同時に高回転化を可能とすることで高容量化を図り、更に軸受を電磁石または永久磁石を用いた非接触型とし、軸受ロスを低減している。一方、これらの技術(特にCFRP)は一般に高コスト化を招くため、Temporal Power 及び Amber Kinetics は、従来と同様の鋼製のロータと機械式ベアリングを用いた接触型の軸受を採用し、コスト重視の基本設計としている。





また、系統用として現在開発されているフライホイールは一基あたり数10kWから数100kW程度と比較的小出力なので、例えば20MWの大規模システムを構築するとなると、数百基から数千基という極めて多くの台数を設置しなくてはならないという問題が生じる。そのため、設置の簡易化による設置コストの低減、設置期間の短縮が重要な課題となる。一基あたり数100kWの出力を持つBeacon Power 及び Temporal Power は、工場出荷前に組立から回転調整まで済ませ、設置先でピットに収納するピット方式を採用している。一方、一基あたり10kW前後の出力であるAmber Kinetics 及び STORNETIC は、それぞれのフライホイールをモジュールと見立ててコンテナ内に複数配置し、設置先にコンテナごと運搬するコンテナ方式を採用している。

まだ開発段階であるが、より浮上力の高い超電導磁石を軸受に用いる試みが、Boeing(米)及び ATZ GmbH(独)によって報告されている。これらは、いずれも軸受けとして回転側に永久磁石、固定側に超電導バルク体を採用し、ロータはCFRP製である。

現在、系統安定化用として様々なフライホイール大規模蓄電システムが世界各所で運用されているが、そのほとんどが実証試験で、市場としては未開拓の状況にある。今後、各社は特色を活かしたフライホイ

ールを導入していく中で系統安定化用としての実績を積み上げると同時に、電力会社等ユーザのニーズとの合致点を探索していくものと見られる。

表 I-14 系統安定化用フライホイール蓄電システムを開発する代表的企業

メーカー	Beacon Power (米)  1997年設立	Temporal Power (加)  2010年設立	Amber Kinetics (米)  2013年設立	STORNETIC (独)  2014年設立
出力/容量 (時間)	100kW/25kWh (15min)	500kW/50kWh (6min)	6.25kW/25kWh (4hr)	22kW/3.6kWh (10min)
ロータ	材質	CFRP	鋼	合金鋼
	サイズ	Φ900mm×H2100mm	Φ750mm×H1250mm (推定)	不明
	重量/回転数	1.13ton/16,000rpm	4.3ton (推定)/13,000rpm	不明 /8,500rpm
軸受	非接触 (電磁石+永久磁石)	接触 (永久磁石+機械式ベアリング)	接触 (磁石+機械式ベアリング)	非接触
設置方式	ピット方式	ピット方式	コンテナ方式 (6基/コンテナ)	コンテナ方式 (28基/コンテナ)
備考	<ul style="list-style-type: none"> 次世代として160kW機、360kW機を開発中。 高速応答FWと長時間持続蓄電池のハイブリッドシステムを、米Anchorageと欧州Irelandで立上げ中。FWは320kW (160kW機×2基)。 	<ul style="list-style-type: none"> 250kW/50kWh機も設定。 南米アルバ島及びカナダオンタリオ州に5MWシステムを導入するとアナウンス。 	<ul style="list-style-type: none"> kWhあたり低コスト、低自己放電を満たす4hr持続機を開発中。 CA州Fresnoに20MW/80MWhプロジェクトを計画中。 PG&E社は、CA州の蓄電法令AB2514への対応として上記プロジェクトを選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 超遠心機等のメーカーであるEnrichment Technology社から2014年に分離独立。
主な導入例	<ul style="list-style-type: none"> Stephentown, NY (米) 2011～、20MW (100kW×200基)、周波数調整 (NYISO向け) Hazle Township, PA (米) 2014～、20MW (100kW×200基)、周波数調整 (PJM向け) 	<ul style="list-style-type: none"> Town of Mint (カナダ) 2014～、2MW、周波数調整 Norfolk County (カナダ) 2014～、5MW (500kW×10基)、風力発電の電力安定化 	なし	<ul style="list-style-type: none"> Juelich, NRW (独)、2015～、420kW、Virtual Power Plantの周波数調整

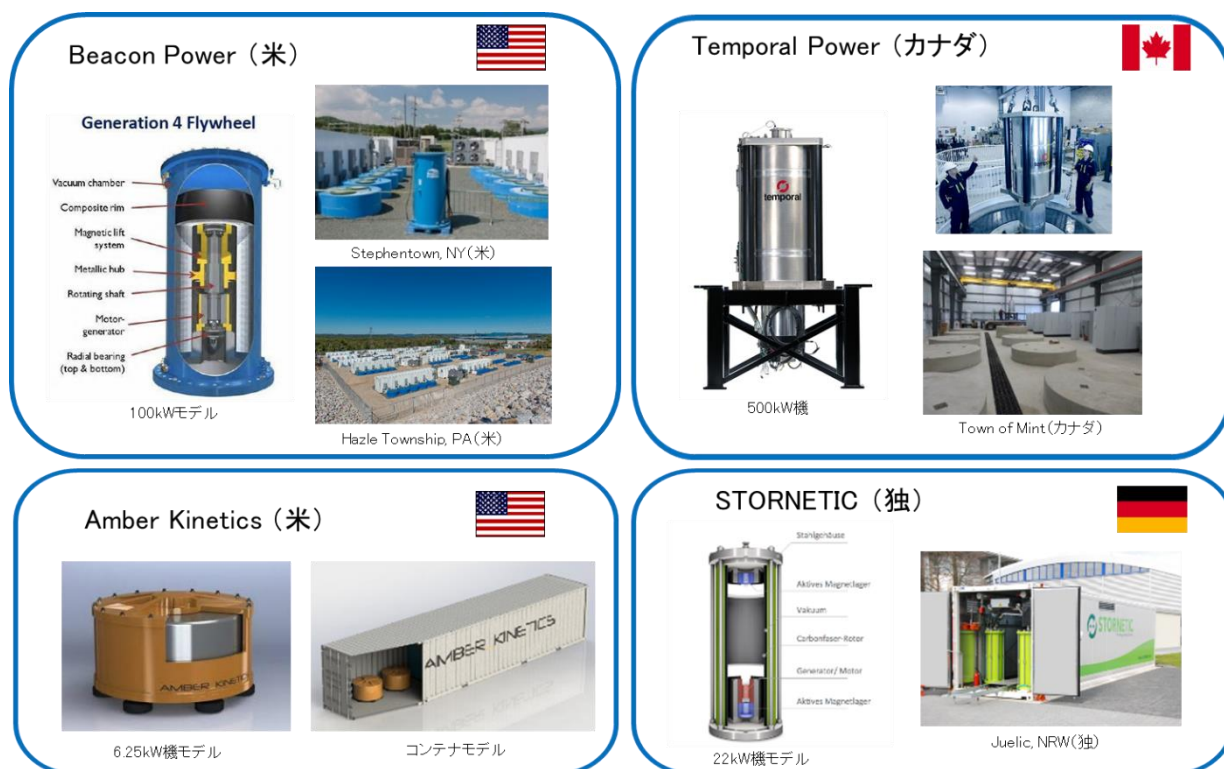


図 I-33 系統安定化用フライホイール蓄電システムを開発する代表的企業

2.5.2. 米国における技術開発プロジェクト

(1) Grid-scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage (GRIDS)

2010年に開始されたDOEのエネルギー先端研究計画局(ARPA-E)が所管する「GRIDS」プロジェクトでは、再生可能エネルギーの導入時において系統安定化を図るための先進的蓄電技術の開発が行われている。このプロジェクトにおいては、表I-15に示すように、金属空気電池、ナトリウム電池、フロー電池等の次世代蓄電池に加えて、フライホイール、圧縮空気貯蔵、超電導磁気エネルギー貯蔵等、様々な蓄電技術が企業・大学等によって開発されている。プロジェクトの開発目標は、蓄電デバイスとしてコスト100ドル/kWh以下となっている。また、各実施者に対する助成金の総額は約4,350万ドルとなっている。

表 I -15 ARPA-E の「GRIDS」プロジェクトの開発テーマ

プロジェクト期間	助成先	開発する蓄電技術	助成費用	概要
2010-2014	ABB	超電導磁気エネルギー貯蔵	\$4.6M	鉛蓄電池よりも低コストな大容量エネルギー貯蔵システムの開発
2012-2015	Beacon Power	次世代フライホイール	\$4.2M	従来より低コストのフライホイールエネルギー貯蔵システムの開発
2010-2013	Boeing	次世代フライホイール	\$2.3M	大容量化に向けたフライホイールロータ用の新たな材料開発
2010-2015	City University of New York (CUNY) Energy Institute	充電式アルカリ電池	\$3.5M	フロー型にしてデンドライトの生成を減少させた長寿命な充電式電池の開発
2012-2017	Energy Storage Systems (ESS)	鉄系フロー電池	\$2.8M	電解質の改善とバッテリーの革新的なハードウェア設計
2010-2013	Fluidic Energy	亜鉛空気電池	\$3.0M	低コスト、充電式、ハイパワー亜鉛空気電池モジュールの開発
2010-2013	General Atomics	水溶性鉛フロー電池	\$2.0M	従来の鉛蓄電池と同様の化学的性質に基づくフロー電池技術
2010-2011	General Compression	圧縮空気貯蔵	\$0.8M	電気に戻す際ガスを使用しない等温圧縮空気エネルギー貯蔵システム
2012-2015	ITN Energy Systems	バナジウムレドックスフロー電池	\$1.7M	住宅や小規模な商業施設向けバナジウムレドックスフロー電池の開発
2010-2013	Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)	水素・臭素フロー電池	\$2.0M	鉛蓄電池より高効率、長寿命、低コストな水素-臭素反応を応用したフロー電池
2012-2017	Materials & Systems Research, Inc. (MSRI)	先進ナトリウム電池	\$3.2M	ナトリウム二次電池用高強度、低コスト固体電解質膜の開発
2010-2012	Primus Power	先進亜鉛フロー電池電極	\$2.0M	低コスト、高エネルギー密度の亜鉛系充電式液体フロー電池の開発
2010-2014	Proton Energy Systems	再生可能エネルギーの水素貯蔵	\$4.6M	安価なアルカリ性の膜を使用した水-水素変換装置の開発
2012-2015	TVN Systems	水素・臭素フロー電池	\$1.7M	低コスト膜と耐久性のある触媒材料による水素臭素フロー電池の開発
2010-2013	United Technologies Research Center (UTRC)	電気化学フロー電池	\$3.6M	フロー電池よりも10倍高い電力を実現する新しいスタックの設計開発
2010-2013	University of Southern California (USC)	鉄空気充電電池	\$1.5M	鉄電極上に化学添加物を配置した高効率、長寿命鉄空気電池の開発

(2) Energy Storage Program

2010年に開始されたDOEの配電・エネルギー信頼性局(OE)が所管する「Energy Storage Program」においても、再生可能エネルギーが大量導入された将来の電力システムに適用する安全性、信頼性、経済性の高いエネルギー貯蔵技術の開発を実施している。

このプログラムにおいて、サンディア国立研究所は、鉛蓄電池に炭素を添加して長寿命化と低コスト化を実現する研究開発を行っており、従来の鉛蓄電池に対して約10倍の寿命を達成したサイクル試験結

果を報告している。また、性能向上のためのメカニズムの研究も進めている。

パシフィックノースウェスト国立研究所は、プリンストン大学、ニューヨーク州立大学、ペンシルベニア州立大学、K2 Energy などの大学・企業と連携し、リチウムイオン電池の研究開発を行っている。例えば、低コスト化を実現する電極材料と電解質の探索、グラフェン、オレイン酸、パラフィンなどの添加剤を使用して高効率の電極材料を製造する新プロセスの検討等を行っている。また、別の研究グループは、NAS 電池の低コスト化やサイクル耐久性の向上をねらい、作動温度を 250°C以下にした NAS 電池の研究開発を行っている。電解質の抵抗を下げて出力・エネルギー密度を向上させるため、平板積層型の電池セル構造を検討している。

なお、このプログラムでは、表 I-16 に示すように、リチウムイオン電池、ナトリウムイオン電池、レドックスフロー電池、フライホイール、圧縮空気貯蔵 (CAES) 等の大型蓄電システムの実証試験を行っている。

表 I-16 Energy Storage Program における実証事例

プロジェクト期間	助成先	実証地	蓄電技術	出力 (MW)	容量 (MWh)	蓄電技術プロバイダ
2010-2016	Southern California Edison	California	リチウムイオン電池	8	32	LG Chem
2010-2016	Primus Power	California	亜鉛レドックスフロー電池	25	75	Primus Power
2010-2015	Hazle Spindle, LLC	Pennsylvania	フライホイール	20	5	Beacon Power
2010-2015	East Penn Manufacturing Co	Pennsylvania	次世代鉛蓄電池 スーパーキャパシタ	3	2.15	East Penn/Ecoult
2010-2016	City of Painesville	Ohio	バナジウムレドックス フロー電池	1	8	Ashlawn Energy
2010-2012	Aquion Energy	Pennsylvania	ナトリウムイオン電池	0.015	0.06	Aquion Energy
2010-2014	SustainX, Inc.	New Hampshire	圧縮空気貯蔵	1.5	1.5	SustainX

2.6 国際標準化の状況

世界貿易機構(WTO)では、技術的な貿易障壁の解消を目的として加盟国に対して TBT(Technical Barriers to Trade)協定及び GP(Government Procurement)協定を課している。TBT 協定は国内標準作成において国際標準を基礎として用いることを、GP 協定は政府系の調達仕様が国際標準に準拠されることを義務付けている。そのため、欧米等の先進国では、国際競争力強化のための戦略的ツールとして、活発な国際標準化活動を重視している。我が国でも、「日本再興戦略」において、スマートグリッド・省エネインフラ等、強みを有する分野の国際標準を先導することが成長戦略の一環として掲げられている。

国際電気標準会議(IEC)においては、従来、蓄電池関係の標準化は専門委員会である TC21 及び SC21A で個別に扱われていたが、電気エネルギー貯蔵システム全体をシステムの視点で捉えて、電力システムやそのサブシステムとの関わりを扱う専門委員会は無かった。この状況を受けて、東芝と日立製作所がいち早く IEC に新たな専門委員会の設置提案を行い、2013 年に日本が国際幹事となる電力貯蔵用蓄電システムに関する新たな専門委員会 TC120「電気エネルギー貯蔵システム(ESS)」が立ち上がり(国際議長はドイツ)、標準化の検討が行われている。TC120 における規格や標準化の具体的検討は、表 I-17 に示す 1 つのアドホックグループと 5 つのワーキンググループで行われている。WG1～WG3 は国際規格(International Standards)を、WG4 と WG5 は国際技術標準(Technical Specification)を 2017 年 5 月までに発行することを目指している。TC120 はまだ活動が始まったばかりで、活動スコープの定義や、隣接する TC との住み分け等も検討の段階にあるが、日本の技術水準を各国が享受できるように「大きな地を囲う」という発想で推進することが期待される。

表 I-17 TC120 ワーキンググループ構成

ワーキンググループ	検討内容	議長国	作成文書
ahG1 (アドホック WG1)	System Aspects and GAP Analysis (システムの検討とギャップ分析)	米国	—
WG1	Terminology (用語の定義)	イタリア	国際規格 IS
WG2	Unit Parameter and Testing Methods (パラメータと試験方法)	日本	国際規格 IS
WG3	Planning and Installation (計画と設置)	ドイツ	国際規格 IS
WG4	Environmental Issues (環境に対する考慮)	韓国	国際技術標準 TS
WG5	Safety Considerations (安全に対する考慮)	フランス	国際技術標準 TS

一方、蓄電池や電力変換装置など電気エネルギー貯蔵システムを構成する個別要素の評価方法の検討・開発は、前述の通り専門委員会 TC21 及び SC21A で行われている。例えば、日仏共同提案で定置用リチウム二次電池の性能に関して IEC62620 が 2014 年 11 月に発行されており、安全性に関して IEC62619 が審議中である。また、レドックスフロー電池の安全性に関して日本提案の IEC62932-2-2 が審議中である。

一方、蓄電システムメーカーが海外に MW 級の大型蓄電システムを設置する際には、国際標準のみならず各国で異なる電力系統連系の要件などに適合することを試験・認証することが求められており、大型蓄電システムの評価施設を持たない我が国は、海外に蓄電システム搬出してから試験・認証を受ける必要が生じていた。海外では評価設備の整備が進んでおり、例えば米国ではコロラド州の国立再生可能エネルギー研究所(NREL)及びニューメキシコ州のサンディア国立研究所(SNL)に、中国では江蘇省南京市

の電力科学研究院に、MW 級の大型蓄電システムの各種試験が実施できる施設が整備されている。日本においても前述のような問題を解決するために、独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)が、平成 24 年度補正額約 85 億円を投資して、最大 53ftコンテナサイズの大型蓄電システムの安全性試験、評価を実施できる耐爆、耐火チャンバーを備える蓄電池評価センター(NLAB)の建設を大阪府住之江区において進め、2016 年夏に稼働を開始した。NLABには、大型蓄電池システムの標準や要求に対する適合性評価だけでなく、将来 TC120 等を通じて我が国から新たな国際標準提案を行うことが期待される。なお、韓国でも、日本を追従するように、2015 年 1 月、韓国機械電子試験所等が 320 億ウォンを投資した「中・大型エネルギー貯蔵装置試験認証センター」の設立を発表しており、2018 年までに完成予定である。



図 I -34 NLAB 多目的大型試験棟

3. NEDO 事業としての妥当性

3.1 関連する上位政策・戦略への寄与

(1) エネルギーイノベーションプログラム基本計画

本プロジェクトは、経済産業省の「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」の一環として 2011 年から開始している。

我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。2008 年 4 月、経済産業省が制定した「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」は、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有し、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指して制定されている。同基本計画においては、「①総合エネルギー効率の向上」、「②運輸部門の燃料多様化」、「③新エネルギー等の開発・導入促進」、「④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保」、「⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」の 5 つの項目について達成目標を定めている。

本プロジェクトの「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」の目標達成への寄与についてであるが、まず、温室効果ガス削減に向けた取組みとして、今後、世界全体で太陽光や風力等の再生可能エネルギーの大量導入が図られるが、この場合、系統電力の「需給調整」や「短周期の周波数変動に対する調整」といった問題への対策が不可欠である。その解決策の一つに大型蓄電システムの開発が挙げられ、本プロジェクトにおいては、送電系統に接続する低コスト・長寿命で安全性の高い大型蓄電システムの開発に取り組む。従って、本プロジェクトは、前記「③新エネルギー等の開発・導入促進」の目標達成に大きく寄与するものと言える。

また、大型蓄電システムを送電系統に分散設置することで、従来の「集中型エネルギー」から「分散型エネルギーシステム」へのエネルギー構造のシフトを促進し、再生可能エネルギー由来の電力のみならず、化石燃料由来の電力も有効かつ効率的に利用することが可能となる。従って、本プロジェクトは、「⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」の目標達成にも直接的に寄与するものと言える。

(2) エネルギー基本計画

我が国は化石燃料に乏しいため、その大半を輸入に頼っており、エネルギーを巡る国内外の状況変化に大きな影響を受けやすいエネルギー構造を有している。そのため、エネルギーの安定確保は国の安全保障には不可欠であり、常に大きな課題となっている。さらに、国際的な地政学的構造の大きな変化に直面する中で、我が国のエネルギー安全保障を巡る環境は厳しさを増してきている。このような状況への対応として、長期的、総合的かつ計画的な視点に立ってエネルギー政策を遂行するため、2002 年に「エネルギー政策基本法」が制定され、この法律に基づき、2003 年に「エネルギー基本計画」を策定された。その後、第二次計画が 2007 年に、第三次計画が 2010 年に、第四次計画が 2014 年 4 月に策定された。

当該基本計画(第四次計画)において、第 2 章「エネルギーの需給に関する施策についての基本的な方針」では、二次エネルギー構造の在り方として、電源と系統が全国的にバランスのとれた形で整備・確保され、広域的・効率的に利活用できる体制を確保していくことが不可欠であるとしている。そのため、今後の電力システム改革においては、再生可能エネルギー等の発電整備の投資とともに、こうした設備の発電時間帯や出力特性などに対応した送配電網の整備と調整電源や蓄電池などの系統安定化対策への投資が必要となるとしている。また、第 3 章「エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に

講ずべき施策」においては、再生エネルギーの導入加速を積極的に推進することを謳っており、高い発電コスト、出力の不安定性、立地制約といった課題に対し、低コスト化・高効率化のための技術開発、大型蓄電池の開発・実証や送配電網の整備などの取組を積極的に進めていくとしている。また、大型蓄電池については、変電所への導入実証や国際標準化とともに、普及の壁となっているコスト問題について、低コスト化に向けた技術開発等を行うことで、2020年までに現在の半分程度まで低減するとしている。

一方、本プロジェクトでは、「余剰電力貯蔵用」(需給調整用途)と「短周期周波数変動調整用」について、システム効率 80%以上かつ寿命 20 年という高効率かつ長期使用が可能なシステムの開発を行っている。コスト目標は、2020 年に「余剰電力貯蔵用」で 2 万円/kWh(パワーコンディショナーを含まない)、「短周期周波数変動調整用」で 7 万円/kWh(パワーコンディショナーを含まない)としており、達成の目途が立っている。2013 年時点の「余剰電力貯蔵用」の鉛蓄電池のコストは 5 万円/kWh 程度、「短周期周波数変動調整用」のニッケル水素電池とリチウムイオン電池のコストは 15~25 万円/KW であったことから、本プロジェクトの目標コストは半分以下の設定となっている。また、本プロジェクトでは、開発した蓄電システムを国内外の電力系統に接続して実証を行っている。

そのため、本プロジェクトは、「エネルギー基本計画」の目標達成に寄与すると言える。

(3)エネルギー関係技術開発ロードマップ

第四次エネルギー基本計画に示された施策として、経済産業省が 2014 年 12 月に、エネルギー関係技術ロードマップを策定した。これは、これまでに策定された「Cool Earth—エネルギー革新技术計画(2008 年 3 月経済産業省策定)」、「第4期科学技術基本計画(2011 年 8 月閣議決定)」や「環境エネルギー技術革新計画(2013 年 9 月総合科学技術会議決定)」で整理された技術開発プロジェクトを中心に、取組の課題・目標とともに、開発を実現する時間軸と社会に実装化させていくための方策を合わせて明確化する視点で位置付けを整理し、エネルギーに関連する技術開発プロジェクトを俯瞰したものである。

この中で、図 I-35 に示すように「高性能電力貯蔵」技術が、再生可能エネルギーの更なる導入の際の系統安定化対策として、需給バランスの不均衡や周波数変動等の課題を解決するために必要であり、ピークアウト・ピークシフト対策や瞬停対策としての活用についても期待される重要な技術と位置付けられ、大型蓄電池などの電力貯蔵システムの低コスト化、長寿命化、安全性確保に向けた技術開発を進めることが示されている。この場合の寿命目標は 20 年、コスト目標は揚水発電等既存の調整電源並みとしている。本プロジェクトの寿命目標は 20 年であり、コスト目標は「余剰電力貯蔵用」で揚水発電設備並みの「余剰電力貯蔵用」で 2 万円/kWh としており、エネルギー関係技術ロードマップの目標達成にも寄与する。

18. 高性能電力貯蔵

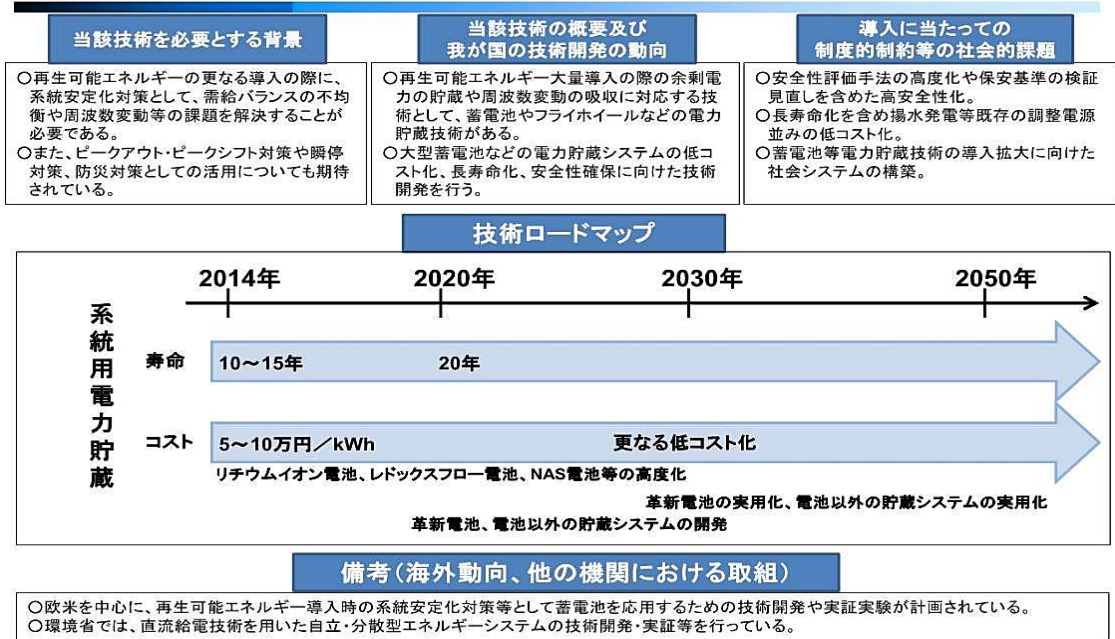


図 I -35 高性能電力貯蔵の技術ロードマップ

出典：エネルギー関係技術開発ロードマップ（経済産業省、平成 26 年 12 月）

(4)「日本再興戦略」

2016 年 6 月に閣議決定された「日本再興戦略 2016」においては、世界からの注目度の上昇に合わせて実行することにより高い政策効果を生み出すことができ、我が国の強みを社会実装・ショーケース化し、海外にアピールできるものであって、その後の経済成長につながるものとして、3 つの重点政策分野における 6 つのプロジェクトからなる「改革 2020」（成長戦略を加速する官民プロジェクト）の展開を図るとしている。”分散型エネルギー資源の活用によるエネルギー・環境問題の解決”プロジェクトはその中の 1 つであり、再生可能エネルギーについて、「第四次エネルギー基本計画」や「長期エネルギー需給見通し」を踏まえ、徹底した省エネルギーの推進により更なるエネルギー効率の向上を図るための施策として、蓄電池の開発・導入を進めるとしている。また、図 I -36 に示すように、中期工程表「環境・エネルギー制約の克服と投資の拡大⑩」の中で、系統用蓄電池について、研究開発・実証等を通じて、低コスト化を図り、2020 年までに導入コストを 2.3 万円/kWh 以下と、国内企業による先端蓄電池(車載用・電力貯蔵用)の市場獲得規模 2020 年に年間 5,000 億円とを目標としている。従って、本プロジェクトにおける蓄電システムの低コスト化に向けた技術開発、及びその開発成果を適用した各プロジェクト参加企業による蓄電システム関連のビジネス展開は「日本再興戦略 2016」の目標達成にも寄与する。

中短期工程表「環境・エネルギー制約の克服と投資の拡大⑫」

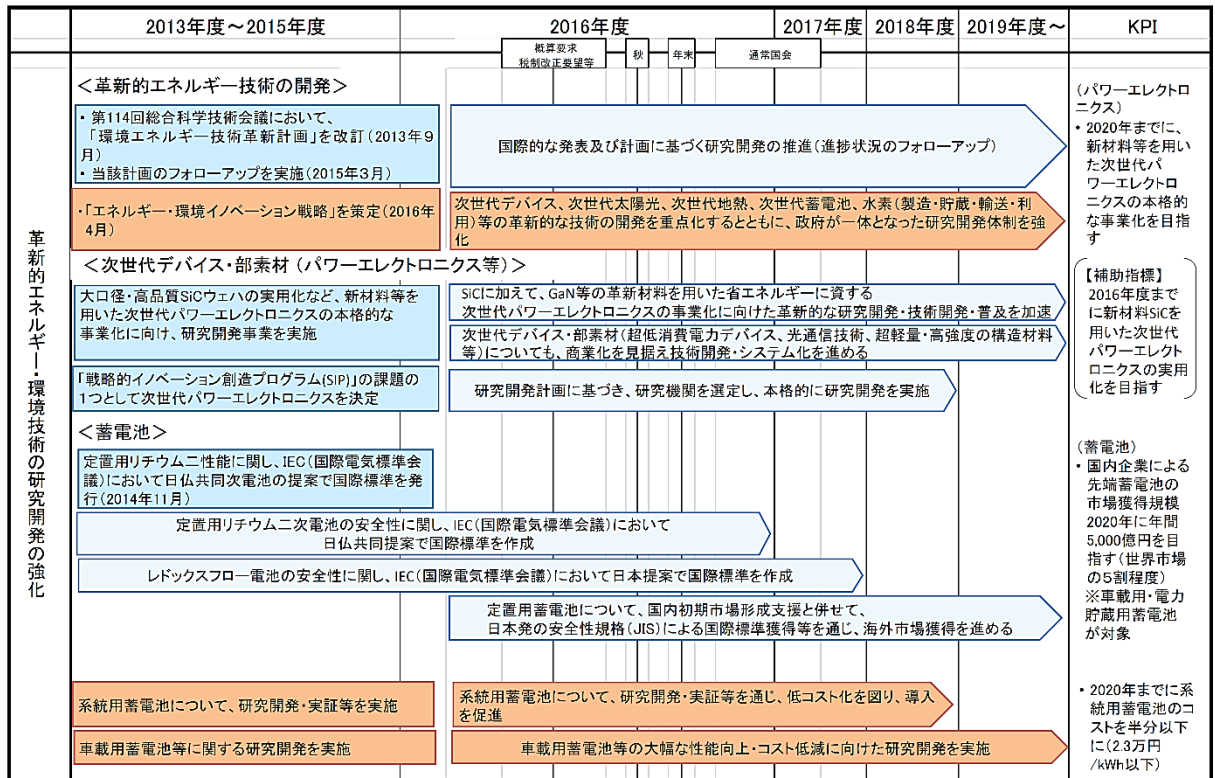


図 I -36 環境・エネルギー制約の克服と投資の拡大⑫

出典：「日本再興戦略 2016」中短期行程表(平成28年6月、閣議決定)

3.2 NEDO の関与の必要性

NEDO は蓄電池に係る政策を所管する経済産業省の新エネルギー対策課、自動車課、化学課、情報通信機器課、研究開発課等と緊密に連携しつつ、第一線級の実力を有する企業、大学、公的研究機関等の技術開発能力を最適に組み合わせ、図 I-37 に示すように、共通基盤技術開発から応用・実用化開発までを戦略的かつ包括的にマネジメントしている。

「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」では、EV・PHEV 用の先進的な LIB の技術開発を推進しており、「革新型蓄電池実用化促進基礎技術開発」では、ガソリン車並みの航続距離を有する EV の実現を目指してオールジャパンの産学官連体制を構築し、量子ビームライン技術等も活用しながらサンエンスに立脚した革新型蓄電池の技術開発を推進している。また、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」では、高容量・高電圧の電極材料(固溶体正極、シリコン系負極等)や難燃性電解液を用いた先進的な LIB や全固体電池を対象とした材料評価技術の開発を推進している。



図 I-37 NEDO の蓄電技術開発プロジェクト

さらに、図 I-38 に示すように、NEDO は、「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」(平成 18～22 年度)において、風力発電所や太陽光発電所に蓄電池を併設し、再生可能エネルギーの出力変動を緩和する蓄電池(リチウムイオン電池、ニッケル水素電池等)とそれを用いた蓄電システムの大型化、低コスト化及び長寿命化等を図る技術開発を実施した。その結果、蓄電システムの大型化(MWh 級)、低コスト化及び長寿命化の見通しを得ると共に、蓄電システムによる再生可能エネルギーの出力変動の緩和効果をフィールドテストで検証している。なお、本プロジェクトの実施者である三菱重工業及び川崎重工業もこのプロジェクトに参画した。

加えて、NEDO は、現在、米国(ニューメキシコ、ハワイ)、フランス、スペイン、インドネシア等において、蓄電システムや EV を活用したスマートコミュニティ実証プロジェクトを推進し、スマートコミュニティ実現の

ために必要な技術的、社会的実証課題を解決し、日本企業の海外展開のきっかけとなる実績をつくる“場”の提供に取り組んでいる。

このように様々な領域・分野における NEDO 蓄電技術開発プロジェクト及びスマートコミュニティ実証プロジェクトの推進等を通じて蓄積された技術及び市場・産業動向に関する知見やマネジメントの経験・ノウハウを活用できる。

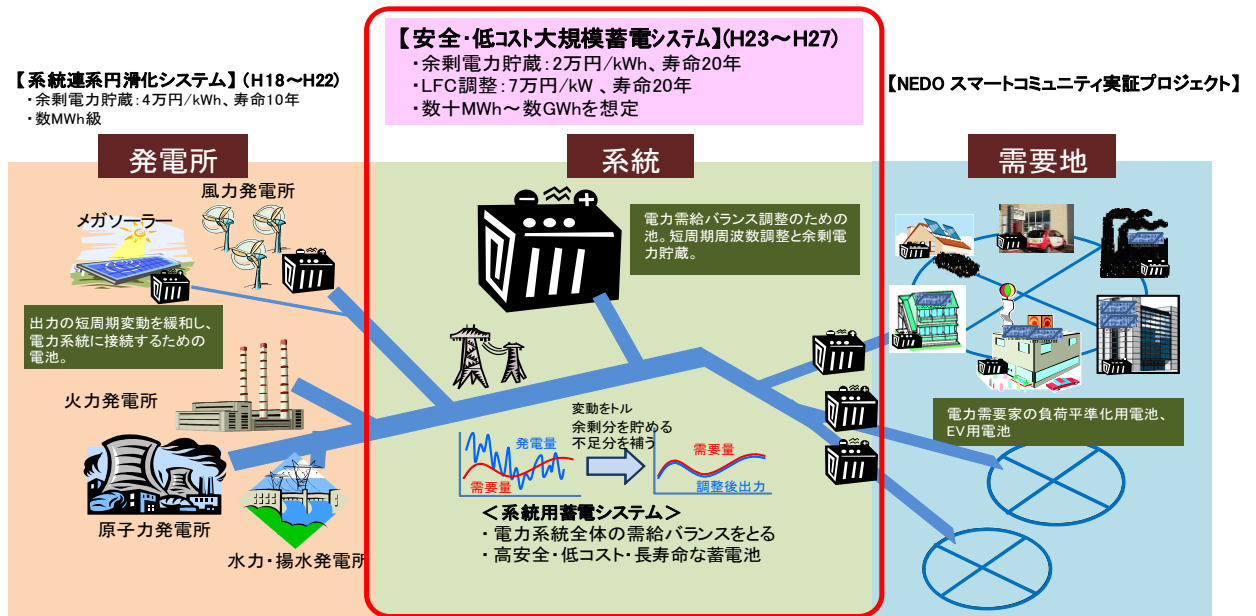


図 I-38 本プロジェクトの位置付け

また、本プロジェクトのように、ビジネス上の競合関係にある複数の民間企業が参画したプロジェクトにおいて、各参画企業に対し、公平な予算配分管理や進捗管理等を行い、日本全体としての競争力を向上させていく観点からも NEDO の関与は適当であるといえる。さらに、研究開発項目②「共通基盤研究」における劣化診断技術の開発のように、NEDO が関与することで異なる 2 つの大学の研究グループが互いに情報を共有しつつ、連携・協力して研究の効率化や質の向上を図ることができ、また、これらの大学の先進的な技術について産業界とのマッチングを図ることができている。

3.3 実施の効果

(1) 蓄電池産業の競争力強化

蓄電池は我が国の代表的なコア技術の一つであり、例えば LIB は日本企業の技術革新により今日、3兆円とも言われる巨大需要が創出されている。今でこそ民生用の小型 LIB のシェアでは東アジア勢の後塵を拝しているが、少なくとも高品質品の開発力では日本がリードしている。また、蓄電池の材料・製造装置等の周辺技術・産業が国内にピラミッド構造として形成されており、これらの技術力も世界トップである。加えて、製品としての安全性・信頼性やシステム統合力に関しても強みがあり、今後、市場拡大が想定される大型蓄電池の分野では日本企業がビジネス展開を有利に進められる環境はあると言える。しかしながら、価格競争力を有する東アジア勢との国際競争力が激化することが予想され、日本の技術力と技術資産が十分活かされないという懸念もある。

本プロジェクトで対象としている電力貯蔵分野に目を向けると、蓄電システムは入出力応答時間が短いため電力システムの信頼性を著しく向上可能な技術であると同時に、拡張性を有し、設置の際の地理的制約が少なく、建設リードタイムも短い等、電力システムのフレキシビリティを確保する要望な手段であることは広く認知されている。そのため、再生可能エネルギーの利用促進、それに伴う系統安定化ニーズの高まり、電力システム改革の進展に伴う新たなエネルギーサービスの活性化等を背景として、今後、普及が加速する可能性があり、「2.4.1 大規模蓄電システムの市場規模」に示したように、蓄電デバイス部分だけでも2020年で約800億円、2025年で約1,900億円と予測されており、その潜在的市場規模は極めて大きいと言える。しかしながら、現時点においては、大型蓄電システムの適切な設置規模及び運用方法、将来の売買価格とその費用対効果等に関する共通指標は明確には定まっていないため、マジョリティ・ユーザの立場では既存の競合技術に比べてコストが高過ぎると見られており、世界各国ともに政府の補助金や実証プロジェクト等を活用して試験的な導入を行いながら、市場環境整備に向けた手探りの取組みを進めている状況にある。

このような状況の中、本プロジェクトでは、蓄電システム及び関連技術の研究開発に豊富な実績と経験を有し、且つ実用化・事業化の能力を有した7つの企業グループを公募・選考し、各企業グループがこれまで独自に開発してきた技術の更なる安全性向上、長寿命化、低コスト化を加速するための助成を行い、世界の情勢に遅れることがないように早期の事業化・実用化を後押しした。

また、開発成果を盛り込んだ蓄電システムを国内外の実電力系統(6ヶ所)に設置しての実証試験を行うことにより、ユーザとなる電気事業者も含めた形で蓄電システムの系統安定化効果及び信頼性・安全性の検証、運用・施工等のノウハウを共有・蓄積した。特に、海外の実電力系統(3ヶ所)での実証試験については、日本製蓄電システムをアピールし、アーリーアダプター獲得に繋がる布石の役割を果たしたものと考える。

(2) 費用対効果

詳細は「第四章 成果の実用化・事業化に向けた取組み及び見通しについて」に示しているが、「研究開発項目① 系統安定化用蓄電システムの開発」の助成先企業が開発した製品・サービス等の売上見通しは、プロジェクト終了後の2016年度から2020年度まで5年間、7企業グループの合計額で約1,500億円となっている。5年目の2020年度には約700億円の規模の事業まで成長する。これに対して、本プロジェクトにおける7企業グループの予算総額(NEDO負担分)は約48億円であり、十分な費用対効果が有ると言える。

(3) 我が国における系統安定化対策コストの削減

これまで述べてきたように、出力が不安定な再生可能エネルギーの大量導入を受け入れるためには、電力系統に発生する「余剰電力」、「短周期の周波数変動」、「電圧上昇」等への対策が必要になる。2010年に経済産業省の「次世代送配電ネットワーク研究会」が検討した結果では、我が国に2020年頃、2,800万kWの太陽光発電を導入する場合、系統側に蓄電池を設置することにより、太陽光発電の出力抑制を不要とするシナリオでは蓄電システムの設置費用が約15兆円、特異日出力抑制と短周期周波数変動対応を取るシナリオでは蓄電システムの設置費用が約0.6～2.8兆円と試算されている。なお、この試算における蓄電システムのコストはNAS電池システムが4万円/kWh、リチウムイオン電池システムが10万円/kWhとなっている。

現状の太陽光発電の導入量は3,223万kWであり(2016年3月時点)、上記の研究会で想定していた2,800万kWを既に超える状況になっているが、2015年7月に策定された経済産業省の「長期エネルギー需給見通し」を基に概算すると、2030年の太陽光発電導入量は現状の約2倍となる6,500万kW規模まで拡大すると見込まれる。そのため、今後、我が国が再生可能エネルギーを積極的に活用していく方策の選択肢の一つが、系統側への蓄電池設置であることに変わりはない。従って、本プロジェクトの開発目標である2万円/kWh、7万円/kWhの蓄電システムが実用化されれば、我が国の系統安定化対策コストの削減に貢献できる。

(4) アカデミアの活用、学術成果の産業技術への引き上げ

我が国においては蓄電池の学術的な基礎研究が連綿として取り組まれており、また、その研究レベルも世界トップレベルにある。しかしながら、実用蓄電池の開発において個々の企業は自社の蓄電池の情報開示に非常に神経質となっているため、産業界とアカデミアの間で双方向的に技術のニーズ・シーズが好循環しておらず、大学・公的研究機関のシーズや科学的知見が十分に活用されていないという課題がある。本プロジェクトの「研究開発項目② 共通基盤研究」では、蓄電池・電気化学デバイス等の分野における研究で実績を有した2つの大学を公募・選考し、実用蓄電池の劣化と相関性を有する内部インピーダンスを高価な専用装置を用いずに稼働状態且つ非破壊で計測し、その劣化状態を診断する技術を開発した。また、両大学の研究内容・成果を本プロジェクトに参画している企業や業界団体等にも紹介し、産業界における活用及び実用化が実現した。

(5) その他の波及効果

本プロジェクトで開発した蓄電デバイス・蓄電システムの安全性向上、長寿命化、低コスト化のための技術は、住宅用、需要家用、再生可能エネルギー併設用等の蓄電デバイス・システムにも応用展開することが可能である。そのため、本プロジェクトの成果は各助成先企業の他用途市場におけるビジネス展開にも寄与するものと考えられる。

蓄電技術は化学、電気化学、材料(有機・無機材料)、電気、機械等、広範囲で高度な設計技術の裾野を必要とし、且つ高度な製造技術も必要となる。本プロジェクトを通じて技術立国日本の将来を担う若手工学技術者の育成に寄与したと考える。

第Ⅱ章 研究開発マネジメントについて

1. 研究開発目標

本プロジェクトでは、平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年間に於いて、再生可能エネルギーの大量導入時に電力系統に生ずる「短周期の周波数変動に対する調整力の不足」及び「余剰電力の発生」を対策するため、より低コスト、長寿命で安全性の高い、システム効率 80%以上の蓄電システム及びその要素技術の開発を実施すると共に、将来、この蓄電システムが円滑に普及するために必要な取り組みを実施する。なお、本プロジェクトでいう「蓄電システム」とは、蓄電デバイスとその充放電制御や状態監視などの機能を有した制御部をいい、交流/直流変換や電圧変換、系統連系に必要な保護回路等の変換装置部分には含まない。

本プロジェクトにおける最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- ・開発した蓄電システムを送電系統に接続した場合の効果をフィールドテスト等によって実証する。
- ・次の蓄電システム目標値を満たす蓄電デバイスや蓄電システムの実用化の目処を得る。
 - (a) 余剰電力貯蔵用として、2 万円/kWh、寿命 20 年相当
 - (b) 短周期の周波数変動に対する調整用として、7 万円/kWh、寿命 20 年相当
 - (c) 予期せぬ誤動作や内部短絡等に対してもシステムとして安全性が担保されていること
- ・将来的に大規模蓄電システムへ展開可能な劣化診断法等の研究により技術の見通しを得る。
- ・必要に応じて蓄電システムの設置・輸送に係わる法改正等に向けた安全性評価等の取り組みを行い、系統安定化用蓄電システムの普及のための基盤作りを進める。

[中間目標](平成 25 年度末)

- ・系統安定化用蓄電システム開発を実施し、それに求められる機能や安全性等の性能を満たしたベンチマークとなる実用化技術を確立する。
- ・蓄電システムの「要素技術」の開発により、従来と比較して飛躍的に低コスト、長寿命で安全性の高い蓄電システムの実現可能性を示す。
- ・必要に応じて送電系統へ設置する蓄電システムの設置・輸送の規制等に係る検討を開始する。

なお、系統安定化用蓄電システムとしてのシステム定格値は以下を想定すること、及び寿命目標値は定格値を保証する期間とすることを、本プロジェクトの基本計画において明記している。

余剰電力貯蔵用：100 万 kWh、6 時間容量

短周期の周波数変動に対する調整用：1 万 kWh、20 分容量

また、要素技術の開発として蓄電池セルやそれに使用する材料の開発の場合には、最終的には最低 1Ah 程度のフルセルにて評価することを、本プロジェクトの基本計画において明記している。

以上に述べたように、本プロジェクトは、開発するシステムのコスト、耐久性(寿命)、効率及び定格値(出力、容量)等について具体的かつ明確な開発目標を設定している。また、要素技術開発を行う場合の達成度の測定・評価についても明確にしている。

一方、安全性については、例えばリチウムイオン電池であれば発火・発熱に対する化学的安全性が重

要であり、フライホイール蓄電システムであれば高速回転に対する機械的強度が重要であるように、蓄電デバイスの種類によって評価のポイントや条件が一樣でないことから、定量的に定めていない。NEDOとしては、中間評価の指摘事項も踏まえて、セル等の電池単体については安全性に係る JIS 規格 (JISC8745:産業用リチウム二次電池、JISC8704:据置用鉛電池) を満たしているかを、蓄電システムについては故障モード影響度解析 (FMEA) の手法に基づいたシステム設計がなされているかを確認することとした。

NEDO は、系統用蓄電システムの普及において最も重要度の高い技術課題であるコストと寿命について、開発目標の妥当性を現時点で検証するために、本事業の技術成果を取り入れない場合の 2016 年時点のコストと寿命を『現状コスト・寿命』として本事業の実施者からヒアリングした。各実施者の『現状コスト・寿命』をプロットした結果を図 II-1 に示す。リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、鉛電池が含まれており、実施者間で事業規模も異なるために幅がある。しかし、『現状コスト・寿命』と本事業の開発目標とを比較すると、コストは約半減、寿命は約 1.5 倍に設定されており、本事業の目標は、十分チャレンジングなものとなっている。

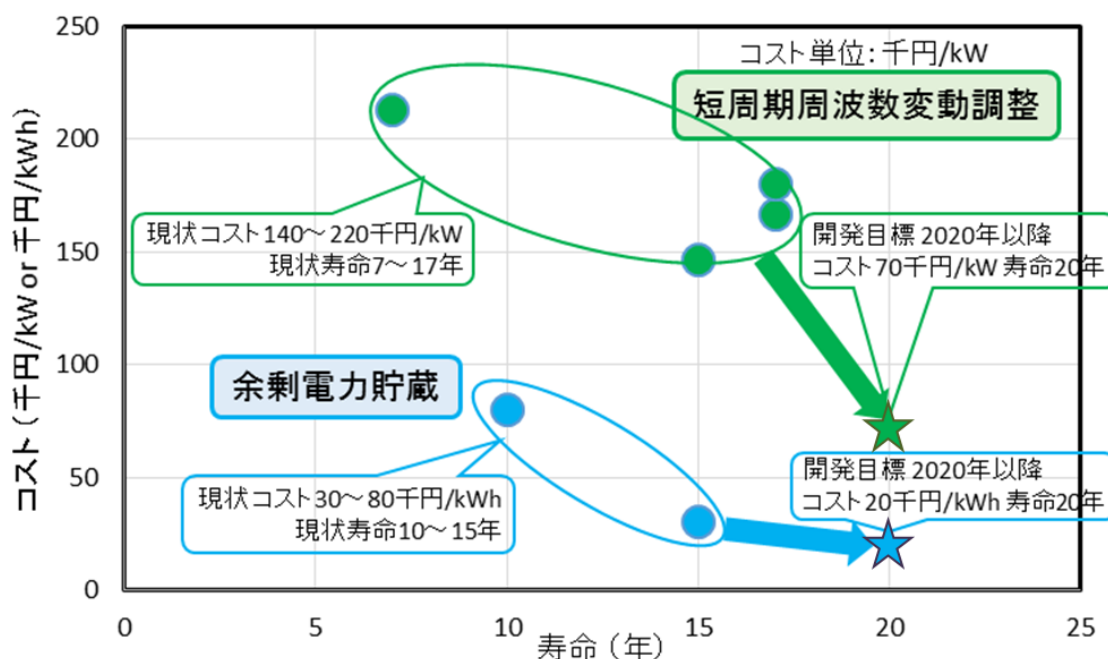


図 II-1 蓄電システムコストの現状と開発目標の比較

米国のコンサルティング会社が 2015 年に実施した調査報告書において、系統用リチウムイオン蓄電システム (出力が 5MW、容量 10MWh) のシステムコスト (PCS を含む) は、現状が約 630 ドル/kWh、2020 年が約 550 ドル/kWh、2025 年が約 500 ドル/kWh と予測されている。また、PCS を除くシステムコストは、現状が約 480 ドル/kWh、2020 年が約 400 ドル/kWh、2025 年が約 380 ~ 390 ドル/kWh と予測されている。1 ドル 105 円で換算すると、PCS を除くシステムコストは、2020 年が 42,000 円/kWh、2025 年が 40,000 ~ 41,000 円/kWh となり、本プロジェクトの目標値 20,000 円/kWh は十分高い目標設定となっている。

次に、海外の開発目標と本事業の開発目標の比較を表 II-1 に示す。海外の開発目標は、例えばコストについては電池部分のみを取り出したコストや、システム全体コストで示している場合があり、これらを本事業の開発目標と直接比較することはできないが、おおよその比較としてシステム規模等を想定し

て各表の下部に記載した係数を用いて換算したコストを示した。米国 DOE は産業界と共同で中期(2018年頃まで)及び長期(2023年頃まで)のコスト・性能目標を立てているが、「Grid Energy Storage」(2013年12月)によると、中期目標は余剰電力貯蔵用でシステムコスト21,900円/kWh以下、寿命11年以上、効率75%以上、短周期周波数変動調整用でシステムコスト153,000円/kW以下、効率75%以上、長期目標は余剰電力貯蔵用でシステムコスト13,100円/kWh以下、寿命14年以上、効率80%以上、短周期周波数変動調整用でシステムコスト109,000円/kW以下となっている。また、欧州においては、ECが戦略的エネルギー技術計画の中で2020年から2030年の目標を発表しており、余剰電力貯蔵用でシステムコスト約27,600円/kWh、寿命27年以上となっている。さらに、韓国では、知識経済部(MKE)が電力貯蔵システム開発のロードマップ「K-ESS 2020」(2011年5月)を発表しており、2020年までの技術開発目標は、余剰電力貯蔵用でシステムコスト25,200円/kWh、電池寿命20年としている。従って、海外の技術開発目標と比較しても、本事業の目標設定は妥当であり、かつ競争力のあるものとなっている。

表Ⅱ-1 海外の開発目標と本事業の開発目標の比較

余剰電力貯蔵				
	達成時期	システムコスト(除PCS)	寿命	効率
本事業(2011年4月)	2020年	20,000円/kWh以下	20年以上	80%以上
米国 DOE及び産業界(2013年12月)	中期(2018年頃)	21,900円/kWh以下 (250ドル/kWh以下 ²⁾)	11年以上 (4,000サイクル以上)	75%以上
	長期(2023年頃)	13,100円/kWh以下 (150ドル/kWh以下 ²⁾)	14年以上 (5,000サイクル以上)	80%以上
欧州 戦略的エネルギー技術計画 ¹⁾ (2011年12月)	2020年～2030年	27,600円/kWh位 (200ユーロ/kWh位 ³⁾)	27年以上 (10,000サイクル以上)	記載なし
韓国 K-ESS2020(2011年5月)	2020年	25,200円/kWh以下 (200ドル/kWh以下 ³⁾)	20年以上	記載なし

短周期周波数調整				
	達成時期	システムコスト(除PCS)	寿命	効率
本事業(2011年4月)	2020年	70,000円/kW以下	20年以上	80%以上
米国 DOE及び産業界(2013年12月)	中期(2018年頃)	153,000円/kW以下 (1,750ドル/kW以下 ²⁾)	記載なし	記載なし
	長期(2023年頃)	109,000円/kW以下 (1,250ドル/kW以下 ²⁾)	記載なし	記載なし

コストと寿命の上段は本事業に合わせた換算値、下段()内は、ロードマップに記載された値。円換算レートは、105円/ドル、115円/ユーロとした。
 コストは、システム全体コスト/システムコスト(除PCS)=1.2、システムコスト(除PCS)/電池コスト=1.2とした。寿命は、365サイクルを1年とした。
 注1) エネルギー用途向けリチウムイオン電池の目標値、2) システム全体コスト、3) 電池コスト

なお、NEDOは、産官学の外部有識者で構成される委員会を設置し、2008年度より2年に1回の頻度で、「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ」の策定・ローリングを行い、蓄電技術分野において我が国が取り組むべき技術課題を明確化すると共に、産学官の関係者間で技術開発シナリオを共有している。本プロジェクトの目標値は、2013年度に策定した「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」に記載の系統用蓄電システムの2020年目標値である、余剰電力貯蔵用でPCSを含むシステムコスト23,000円/kWh、寿命20年、短周期周波数変動調整用でPCSを含むシステムコスト85,000円/kW、寿命20年と整合している。

2. 研究開発計画












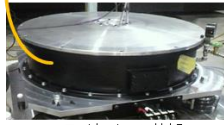
2.1 研究開発内容

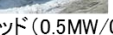









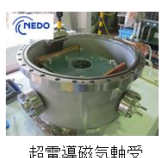
(1) 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」

「課題設定型産業技術開発費助成金交付規程」(NEDO 平成 23 年度規程第 38 号)に基づき、7 つの企業グループが競争的に、低コスト、長寿命で安全性の高い系統安定化用蓄電システム及び関連要素技術の開発を行っている。

各企業グループの開発概要を表Ⅱ-2 に示す。各企業グループが開発対象としている蓄電デバイスは、リチウムイオン電池が 3 テーマ、鉛蓄電池(リチウムイオンキャパシタとのハイブリッド)が 1 テーマ、ニッケル水素電池が 1 テーマ、フライホイールが 2 テーマと多岐に亘っているが、その何れもが本プロジェクトの目標達成の可能性を有する蓄電デバイスであり、実用化まで長期間を有するものや実現性に乏しい技術は取り上げていない。また、要素技術(開発項目)についても、表Ⅱ-2 及び「第Ⅲ章 研究開発成果について」に示すように、目標達成に必要なものであり、かつ、要素技術間の関係、順序も適切である。

表 II-2 「系統安定化用蓄電システムの開発」の開発概要

実施先	日立製作所 日立化成	三菱重工業	日本電気 NECエナジーデバイス	サンケン電気
開発対象	鉛電池とリチウムイオンキャパシタ(LIC)によるハイブリッド型蓄電システム	リチウムイオン電池を用いたコンテナ型蓄電システム	ゲルポリマー電解質を用いた安全性の高いラミネート型リチウムイオン電池	小型フライホイールを複数台接続したネットワーク型蓄電システム
用途	余剰電力貯蔵及び短周期周波数変動調整	短周期周波数変動調整	余剰電力貯蔵及び短周期周波数変動調整	短周期周波数変動調整
開発項目	①長寿命・高性能鉛蓄電池の開発 ②系統解析ツール開発、蓄電システム導入効果検証 ③蓄電システムの製作及び実証	①低コスト・高性能リチウム二次電池セルの開発 ②大規模システムの開発及び検証	①安全性向上セル技術開発 ②寿命予測 ③低コスト長耐久セル技術開発 ④システム開発実証	①フライホイールの低損失化技術開発 ②フライホイールの高効率制御技術開発 ③高速通信による監視・制御技術開発 ほか
実証機及び試作品	伊豆大島 (1.5MW/8MWh)   新型鉛電池設備  LIC 設備  新型鉛電池ユニット  LIC モジュール	英国オークニー (2MW/0.8MWh)   コンテナ型実証機  試作電池	NECスマートエネルギー研究所内 (2kW/5.53kWh)  小型蓄電システム (耐熱焼試験中)  量産セルと同一サイズの試作セル	サンケンオプトプロダクツ工場内 (30kW/1kWhX3台)  フライホイール制御盤 (制御盤の下にフライホイールを配置)  フライホイール外観

実施先	東芝	川崎重工業	鉄道総合技術研究所、クボテック 古河電工、ミラプロ、山梨県企業局
開発対象	リチウムイオン電池(商品名: SCiB)を用いた蓄電システム	ニッケル水素電池(商品名: ギガセル)を用いた蓄電システム	超電導磁気浮上およびCFRPロータを用いたフライホイール蓄電システム
用途	短周期周波数変動調整	短周期周波数変動調整	短周期周波数変動調整
開発項目	①低コスト・長寿命の電池・システムの開発 ②冷却・振動解析用電池盤モデルの開発 ③高出力蓄電システムの製作及び実証	①電池モジュールの低コスト化および長寿命化 ②電池監視システムの高度化 ③実証試験による電池モジュールの課題の抽出および長期耐久性の評価	①低コストで安全性の高いCFRP製ロータの開発 ②超電導コイルと超電導バルク体からなる高温超電導磁気軸受の開発 ③超電導フライホイール実証機の開発と実証試験
実証機及び試作品	米国オハイオ (2MW/0.785MWh)   2MW-0.785MW 蓄電池システム  Battery Container スペインマドリッド (0.5MW/0.776MWh)   0.5MW-0.776MW 蓄電池システム 横浜市YSCP (300kW/100kWh)   300kW-100kWh	沖縄県南大東島 (300kW/130kWh)   300kW実証機  新電池モジュール	山梨県米倉山大規模太陽光発電所 (300kW/100kWh)   300kW実証機  CFRPロータ  超電導磁気軸受

(2) 研究開発項目②「共通基盤研究」

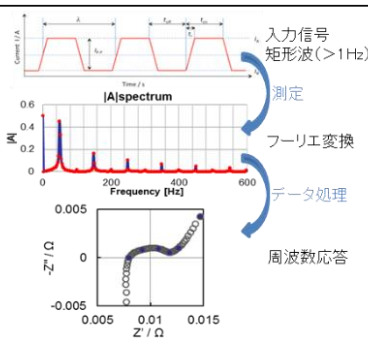

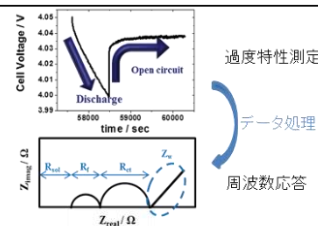


早稲田大学及び同志社大学が技術交流しながら、稼働中の蓄電システムにおいて電池劣化と相関性を有する内部インピーダンスを計測し、劣化状態を把握する技術を開発している。なお、この技術はリチウムイオン電池を主に対象としているが、他の蓄電池種別にも応用可能である。

大型蓄電システムの実用化及び導入・普及に向けては、蓄電池の安全性、信頼性及び寿命を担保する劣化診断技術の確立は極めて重要であり、「共通基盤研究」として適切なものを取り上げている。

表Ⅱ-3には、早稲田大学及び同志社大学の劣化診断法の診断原理や特徴を比較して示す。

両大学の劣化診断法の原理的特徴は、いずれも蓄電池運転中に診断が可能であり、診断精度とコストのバランスがとれた診断法であるといえる。第Ⅱ章3.3(2)「共通基盤研究」における連携マネジメントで後述するとおり、本プロジェクトにおいては、同一サンプルにお互いの診断法を適用して劣化診断を行い、ほぼ同じ結果が得られることを確認している。また、それぞれの劣化診断法の各種データを比較・共有し、定量的にそれぞれの特徴を明確化している。

表Ⅱ-3 「共通基盤研究」の開発概要

実施先	早稲田大学	同志社大学
診断法	矩形波インピーダンス法	過渡現象診断法
診断原理	蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳し、インピーダンスを測定。電池の等価回路とフィッティングし、各成分由来のインピーダンスを分離。	外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定。抵抗・容量成分の分離が可能。
想定運用法と特徴	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電装置のBMS・パソコンで矩形波を生成し、電池運転中に診断可能。 高精度な診断が可能で、システムコスト(専用ロガー代)は中程度。 	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池のBMSにソフトウェアを組み込み、電池運転中に連続的に診断可能。 診断精度は中程度で、システムコスト(専用チップ代)は非常に安価。
測定方法のイメージ 診断検証機 試作品など	 <p>大型蓄電池状態把握システムの一部 (左から蓄電池ラック、測定システム、電力制御システム)</p> 	 <p>診断検証で用いた電池ラック(左)、PV(右)</p>  <p>8-bit Micro-Controller</p>  <p>診断装置プロトタイプ マイコン型(左)、FPGA型(右)</p>

2.2 研究開発スケジュール及び予算

本プロジェクトの研究開発スケジュール及び研究開発予算(NEDO 負担額)を表Ⅱ-4に示す。研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の7テーマについては、公募時、各実施者の事業化戦略に基づき、研究開発期間が設定されている。5年間のテーマが2件、4年間のテーマが3件、3年間のテーマが2件となっている。また、研究開発予算(NEDO負担額)は、5年間で約63億円である。

表Ⅱ-4 研究開発スケジュールと予算

スケジュール

研究開発項目	実施者	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy
「系統安定化用蓄電システムの開発」 【2/3助成】	日立製作所、日立化成	公募		中間評価		
	三菱重工業					
	日本電気、NECエナジーデバイス					
	サンケン電気					
	東芝		公募			
	川崎重工業					
	鉄道技術総合研究所他					
「共通基盤研究」 【委託】	早稲田大学	公募				
	同志社大学					

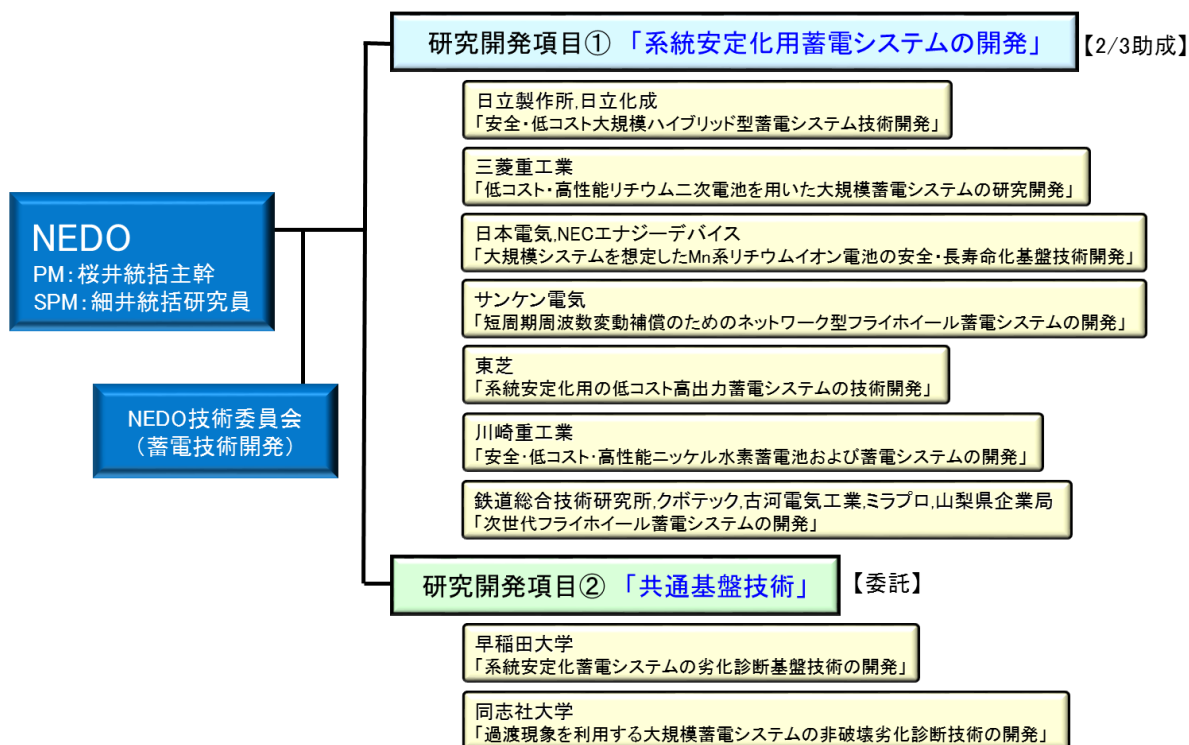
予算(NEDO負担額)

(単位:百万円)

研究開発項目	実施者	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	H27fy	合計
「系統安定化用蓄電システムの開発」 【2/3助成】	日立製作所、日立化成	106	33	75	449	32	695
	三菱重工業	214	308	113	45	25	705
	日本電気、NECエナジーデバイス	176	207	170	-	-	553
	サンケン電気	56	151	99	-	-	306
	東芝	-	130	37	235	110	512
	川崎重工業	-	331	229	228	161	949
	鉄道技術総合研究所他	-	96	208	418	381	1,103
「共通基盤研究」 【委託】	早稲田大学	75	156	265	374	259	1,129
	同志社大学	32	34	26	98	171	361
	合計	659	1,446	1,222	1,847	1,139	6,313

3. 研究開発の実施体制

本プロジェクト全体の実施体制を図Ⅱ-2に示す。



図Ⅱ-2 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」 事業実施体制

3. 1 研究開発実施者

平成 23 年度及び平成 24 年度に、NEDO は公募を行い、研究開発実施者(以下、「実施者」という。)を選定している。

研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の実施者には、何れも蓄電システム及び関連技術の研究開発に豊富な経験と実績を有し、かつ実用化・事業化の能力を十分に有した企業等を選定している。

これら実施者は、本プロジェクト成果を実用化・事業化に繋げる戦略及びそのシナリオを、NEDO に提出する「課題設定型産業技術開発費助成金交付申請書」(非公開資料)において明確化している。また、その戦略・シナリオに基づいて、研究開発部門と事業化部門が協働して本プロジェクトを推進する体制を構築しており、指令命令系統及び責任体制も明確になっている。

一方、研究開発項目②「共通基盤研究」の実施者には、リチウムイオン電池、燃料電池及び電気化学デバイス等の分野における材料開発や特性評価で十分な実績を有した早稲田大学及び同志社大学を選定している。両大学の研究リーダーは、開発成果の産業展開について豊富な経験を有し、世界最先端の研究を牽引する優秀な研究者である。

3.2 技術委員会の設置

NEDO は、2013 年度より、表Ⅱ-5 に示すように、神奈川大学名誉教授の佐藤祐一委員長以下、外部有識者 6 名で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を設置・運営し、技術的な助言及びプロジェクト全体の運営管理に関する助言をもらい、プロジェクト推進部として留意すべきことや追加的に対応すべきこと等の有無を点検している。

技術委員会は、表Ⅱ-6 に示すようにこれまで 11 回開催しているが、このうち第 2 回、第 7 回及び第 9 回の技術委員会は本プロジェクトを対象に開催した。

第 2 回では、研究開発項目②「共通基盤研究」の大規模蓄電システムの劣化診断技術について開催した。この回では、研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」に参画している電池メーカー(川崎重工業、東芝、日本電気、三菱重工業)及び電力会社(東京電力、関西電力)にオブザーバとして参加してもらい、様々な条件で劣化した電池への診断技術の適用性や、実用化への課題などについて議論した。

第 7 回では、本プロジェクトの実施者ごとに、それまでの成果と残る最終年度の進め方について助言をもらい、第 9 回ではその助言を反映した最終成果について評価してもらった。この 2 回の委員会では、通常の委員の方々に加えて、非常任委員として大型蓄電システムの専門家にも参加を依頼し、幅広く意見をもらった。また、研究開発項目②「共通基盤研究」の大規模蓄電システムの劣化診断技術の報告及び議論には、研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の実施者にも聴講してもらい、国内ユーザをはじめとする技術者に情報共有を行った。

表Ⅱ-5 「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」 委員一覧

	氏名	所属・役職
委員長	佐藤 祐一	神奈川大学 工学研究所 名誉教授
常任委員	鳶島 真一	群馬大学大学院 工学系研究科 教授
	松本 孝直	電池工業会 部長
	三田 裕一	電力中央研究所 材料科学研究所 上席研究員
	森田 賢治	日本自動車研究所 FC・EV 研究部 主任研究員
	山木 準一	九州大学 名誉教授
非常任委員	田中 晃司	東京電力 カスタマーサービス・カンパニー 部長
	徳田 憲昭	エネルギー総合工学研究所 部長
	本多 啓三	電気安全環境研究所 技師長

表Ⅱ-6 「NEDO技術委員会(蓄電技術開発)」の開催実績

	開催日	議 題
第 1 回	2013 年 6 月 28 日	NEDO 蓄電技術開発プロジェクトにおけるバッテリーの安全性確保
第 2 回	2013 年 11 月 18 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発／共通基盤研究」における大規模蓄電システムの劣化診断技術について
第 3 回	2014 年 3 月 5 日	「次世代蓄電池材料評価技術開発」及び「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 4 回	2014 年 3 月 19 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の開発進捗状況
第 5 回	2015 年 1 月 16 日	「次世代蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 6 回	2015 年 4 月 10 日	「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 7 回	2015 年 7 月 2 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」の開発進捗状況
第 8 回	2015 年 10 月 22 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の開発進捗状況
第 9 回	2016 年 2 月 18 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」の達成状況
第 10 回	2016 年 5 月 13 日	「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 11 回	2016 年 7 月 27 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の開発進捗状況

3. 3 実施者間の連携

(1) 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」における連携マネジメント

研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」については、各企業がこれまで独自に取り組んできた技術に対して助成を行い、早期の実用化・事業化を後押しするものであり、7 つの研究テーマのそれぞれに企業固有の実用化・事業化戦略が存在する。そのため、NEDO のマネジメント方針として、研究テーマ間での連携は行わず、競争的に取り組むこととした。

鉄道技術総合研究所、クボテック、古河電気工業、ミラプロ、山梨県企業局の 5 つの企業・団体が共同で実施する「次世代フライホイール蓄電システムの開発」テーマにおいては、目標達成に向けた効率的な開発推進のために企業・団体間の連携が非常に重要となることから、5 つの企業・団体が一堂に会する「次世代フライホイール開発会議」を都度開催し、必要な連携が十分に行われる体制を構築した。この会議には、NEDO からも毎回参加し、進捗の確認と適宜進め方の提言を行った。

なお、2014 年 10 月頃までのプロジェクト実施期間の前半は、各企業・団体が担当する技術開発を個別に進めるステージであったため、会議は互いの開発進捗を確認する「全体会議」として月 1 回ペースで定期的で開催した。しかし、それ以降のプロジェクト実施期間の後半は、開発された又は開発中の各技術を集め、工場及び実証サイトで 1 台の実証機として組み立て・試運転を行うステージとなり、より密な連携と問題点に対する的確で迅速な対応が必要となることから、NEDO の提案により会議は「工程進捗会議」として工程の節目や問題発生時等に、より頻繁かつタイムリーに開催した。表Ⅱ-7 及び表Ⅱ-8 に示すように、「全体会議」は 22 回、「工程進捗会議」は 23 回に及んだ。

表Ⅱ-7 「次世代フライホイール開発会議」のうち「全体会議」の開催実績

	開催日	主要議題
第1回	2012年9月11日	キックオフミーティング、全体計画の確認
第2回	2012年10月3日	進捗(回転軸形状、真空容器仕様等)、秘密保持契約について
第3回	2012年11月2日	進捗(マグネット設計、バルク電磁力解析、フライホイール仕様等)
第4回	2012年12月13日	進捗(コスト試算、伝熱予備解析、フライホイールの構造設計等)
第5回	2013年4月26日	進捗(軸受の電磁力計算、系統連系最適化検討等)、H25の開発計画
第6回	2013年6月27日	進捗(ロータ製作等)、事業原簿、事前調査会、中間評価について
第7回	2013年8月22日	進捗(スピンテスト、ロータダイナミクス解析、超電導コイル、真空容器)
第8回	2013年9月18日	進捗(超電導コイル試験結果等)、全体スケジュール案他
第9回	2013年10月17日	進捗(磁性流体シール、ロータ製作、超電導コイル強度計算等)
第10回	2013年11月21日	進捗(磁性流体シール、ロータ製作、超電導磁気軸受浮上力確認結果、容器設計条件等)、実証機の100kWh仕様について
第11回	2013年12月19日	進捗(クライオ熱解析、容器強度解析、FW格納施設設計等)
第12回	2014年1月16日	進捗(市場調査結果、超電導磁気軸受温度解析等)、秘密保持覚書
第13回	2014年2月17日	進捗(磁性流体シール、回転軸設計、太陽光発電所建設等)
第14回	2014年3月10日	進捗(磁性流体シール、スピンテスト、超電導磁気軸受容器等)
第15回	2014年4月16日	進捗(ロータダイナミクス解析、ロータ破壊試験計画、容器構造等)
第16回	2014年5月14日	進捗(磁性流体シール改良、ロータ製作、容器構造見直し等)
第17回	2014年6月16日	進捗(超電導コイルヒートサイクル結果、発電電動機取付構造等)
第18回	2014年7月17日	実証機基本構成、進捗(ロータ破壊試験、超電導磁気軸受組立等)
第19回	2014年8月22日	進捗(ロータ製作、シャフト回転試験、真空容器設計、建屋設計等)
第20回	2014年9月25日	制御・試験レビュー、進捗(磁性流体シール改良試験結果、ロータ製造、超電導磁気軸受冷却試験、真空容器応力・変位解析等)
第21回	2014年10月16日	年度末までの開発工程アクションプランの作成(NEDO及び全社)
第22回	2014年10月24日	進捗(ロータ製作、超電導磁気軸受浮上力試験、真空容器設計等)、今後会議体を工程進捗会議とし、マイルストーン毎に集まることを合意

表Ⅱ-8 「次世代フライホイール開発会議」のうち「工程進捗会議」の開催実績

	開催日	主要議題
第1回	2014年10月31日	ミラプロ若草工場試験条件、FW格納施設図面、センサ割付
第2回	2014年11月11日	個別機器仕様、計測配線・真空配管図、機器配置レイアウト
第3回	2014年11月28日	系統連系実証試験、仕様・図面、製作スケジュール
第4回	2014年12月22日	進完成試験の進め方、ミラプロ山梨工場への搬入、次年度の進め方
第5回	2015年1月6日	実証機ロータ完成、超電導磁気軸受制御、次年度の進め方
第6回	2015年1月22日	進捗状況、山梨工場の安全体制、実証試験工程、次年度計画変更案
第7回	2015年2月4日	プレスリリース、進捗状況、次年度計画変更案
第8回	2015年2月26日	実証機工場組立状況、次年度延長契約
第9回	2015年3月30日	実証機組立状況、工場内試験スケジュール、米倉山工事、報道公開
第10回	2015年4月8日	プレスリリース
第11回	2015年6月26日	進捗状況、実証試験の進め方、ユーザへのヒアリング
第12回	2015年7月31日	回転速度向上試験実施体制、実証試験実施体制
第13回	2015年8月25日	9/3開所式、試験実施体制表、系統連系試験
第14回	2015年9月25日	実証試験進捗状況、オフライン試験(断熱シャフト、スピントスト、衝撃吸収容器設計等)進捗状況
第15回	2015年10月23日	制御型磁気軸受の取り付け位置不具合、速度向上試験の進め方
第16回	2015年11月12日	商用機事業展開イメージ、回転試験時の軸振動データ取得方法
第17回	2015年11月20日	軸振動結果、軸振動対策、系統連系試験レビューの実施
第18回	2015年11月30日	回転試験の実施条件、四半期報告会の実施
第19回	2015年12月16日	軸振動増加原因と対策について
第20回	2015年12月25日	下側ウェイトありの回転試験結果について
第21回	2016年1月21日	成果のまとめについて
第22回	2016年1月29日	回転試験立ち会い、二面修正試験スケジュール
第23回	2016年2月15日	成果のまとめについて

(2) 研究開発項目②「共通基盤研究」における連携マネジメント

研究開発項目②「共通基盤研究」については、早稲田大学と同志社大学が劣化診断技術の開発という同じ目的の技術開発に取り組むことから、技術交流しながら研究を進める方針とし、表Ⅱ-9 に示すように、計7回の研究交流会を開催した。この技術交流会には NEDO から毎回参加し、連携研究の目標として互いの診断法の特徴を明確化することなどを提案し、適宜進め方の提言等を行った。具体的には、市販電池及び早稲田大学が試作した電池について、劣化前後の同一電池にお互いの診断法を適用して劣化診断した結果、及び両大学実施者同士で同じ前提条件で性能を比較考察した結果を基に、それぞれの劣化診断法の特徴を明確化した。また、それぞれの診断法の特徴を、従来技術との比較を交えて比較表にしてまとめるよう提案し、実施した。

表Ⅱ-9 「早稲田大学－同志社大学 研究交流会」の開催実績

	開催日	主要議題
第1回	2013年4月11日	両大学の技術紹介、早稲田大学関連設備見学
第2回	2013年7月1日	両大学の技術紹介、同志社大学関連設備見学
第3回	2014年7月3日	連携研究の目標と具体的検討内容の合意
第4回	2014年11月21日	研究の進捗打ち合わせ、電池の授受
第5回	2015年3月24日	研究の進捗打ち合わせ
第6回	2015年9月10日	劣化診断法の特徴比較の結果まとめ
第7回	2016年1月25日	共通セルでの評価結果報告、劣化診断法の特長比較表確認

4. 研究開発の進捗管理

4.1 プロジェクトの進捗管理

NEDO は実施者の開発進捗を常に把握すると共に、実施者の研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化・事業化の可能性、産業への波及効果等について随時、確認を行い、プロジェクトを運営管理している。そのため、定期的に(四半期に一回)、実施者により直接、開発進捗の報告を受けると共に、実施者の実用化・事業化の戦略・シナリオに変更等が無いかを確認している。また、少なくとも年一回、NEDO 担当者が実施者の研究開発現場を訪問し、試作品・試作システムや研究開発設備を確認する実地調査を行っている。さらに、年度末に、実施状況報告書の提出を求めている。

なお、これまでに述べてきたように、「系統安定化用蓄電システムの開発」は、企業個別の実用化・事業化の戦略・シナリオに基づいて競争的に実施しているため、NEDO の研究開発マネジメントは実施者個別に行うこととしている。一方、「共通基盤研究」については、研究交流会を開催する等して、早稲田大学と同志社大学が技術交流しながら研究を進めるようにしている。

また、実施者の開発進捗の把握に努める中で、NEDO は開発状況に応じて実施計画の変更や執行予算の前倒し・後ろ倒しに適切かつ柔軟に対応してきた。新たな実施内容の追加が適切で追加予算が必要と判断された場合には、表Ⅱ-10 に示す加速予算措置を講じた。

表Ⅱ-10 加速予算の実績

実施者	時期	内容	加速予算額 (百万円)
三菱重工業	平成 25 年 12 月	英国側からオークニーでの実証を行う際に要求された安全性基準に対応する為に、セルの評価試験及びシステムの安全性シミュレーション等を追加で実施する。	33
同志社大学	平成 27 年 4 月	電池材料ごとに異なる劣化機構と診断結果を対比させ、本劣化診断法を様々なリチウムイオン電池に適用できるようにする為に、電極表面・内部分析装置を新たに購入する。	91
		診断精度を大幅に向上させる為に、診断時の温度補正機能や、電池ごとに最適な診断ができるように複数の診断アルゴリズムを搭載したソフトウェアを開発する。	25

研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」の 7 テーマのうち、日本電気、NEC エナジーデバイスによる「大規模蓄電システムを想定した Mn 系リチウムイオン電池の安全・長寿命化基盤技術開発」及びサンケン電気による「短周期周波数変動補償のためのネットワーク型フライホイール蓄電システムの開発」の 2 テーマについては、当初の提案通り平成 25 年度に終了したことから、NEDO としてこれらの目標達成度や事業化の見通し等を把握するため、平成 26 年 8 月 21 日に NEDO スマートコミュニティ部蓄電技術開発室の主催で内部事後評価を実施した。委員は表Ⅱ-11 に示す外部有識者 5 名にお願いした。研究開発成果や事業化に向けての取り組みに関して委員の方々から評価コメントをもらい、その後の取り組みに反映してもらえよう各実施者にフィードバックした。

表Ⅱ-11 「内部事後評価」委員一覧

	氏名	所属・役職
委員長	佐藤 祐一	神奈川大学 工学研究所 名誉教授
委員	小森 望充	九州工業大学 先端機能システム工学系 教授
	鳶島 真一	群馬大学大学院 工学系研究科 教授
	森 俊介	東京理科大学 理工学部経営工学科 教授
	山木 準一	九州大学 名誉教授

4. 2 情勢変化への対応

NEDO は、社会・経済の情勢変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応するために、第Ⅰ章に示したように、本プロジェクトの身がおかれたドメイン(市場、技術、ビジネス、競合技術・国・企業)に関する現状分析と将来の洞察に努め、プロジェクトマネジメントに反映している。

5. 知的財産に関する戦略

NEDO の知的財産マネジメントに関する基本的な方針として、本事業の成果として得られる知的財産は、オープン(論文等による公表、ライセンス、標準化)にする領域と、クローズ(ノウハウとしての秘匿化、特許権等による独占)にする領域とに適切に使い分けることとしている。また、出願による権利化は技術情報を公開することになることを認識した上で、出願する場合においても技術情報の開示・権利化の範囲に注意を払うとともに、権利を侵害する第三者に対しても差止請求を行うことができる実効性のある権利取得にも留意することとしている。

以上のことを踏まえつつ、NEDO は、本プロジェクトの各実施者に対して、蓄電デバイス及びシステム設計技術を中心に、知的財産権を積極的に確保するよう指導した。また、グローバル市場での展開を見据え、高効率な蓄電技術のニーズが高まっている北米、欧州等の先進国での海外出願を促進するとともに、必要に応じて BRICS 等の振興国への海外出願も検討するように NEDO は指導した。なお、権利化した特許については、逐次、NEDO に報告書を提出することを義務付け、本プロジェクトの知的財産の権利化動向を把握した。事業期間である平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年間の特許出願件数は、「第Ⅲ章 研究開発成果について」の表Ⅲ-20 に示すとおり、「系統安定化用蓄電システムの開発」が 99 件(うち海外出願 34 件)、「共通基盤研究」が 9 件(うち海外出願 5 件)となっている。

6. 中間評価結果への対応

本プロジェクトの中間評価を平成 25 年 7 月 22 日に実施した。表Ⅱ-12 に研究評価分科会委員を示す。各委員より、表Ⅱ-13～表Ⅱ-15 に示した評価コメントが得られ、各コメントに沿って対処方針の検討及び計画等への反映を実施した。

表Ⅱ-12 研究評価分科会委員(平成 25 年度中間評価)

	氏名	所属	役職
分科会長	七原 俊也	一般財団法人電力中央研究所 システム技術研究所	研究参事
分科会長代理	森 俊介	東京理科大学 理工学部 経営工学科	教授
委員	荒川 正泰	株式会社NTTファシリティーズ総合研究所 バッテリー技術部	部長
	伊庭 健二	明星大学 理工学部 電気電子工学系	教授
	金村 聖志	首都大学東京 都市環境学部 都市環境学科	教授
	谷本 一美	独立行政法人産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門	部門長
	鳶島 真一	群馬大学 理工学部 環境創生理工学科	教授

表Ⅱ-13 中間評価／「プロジェクト全体」に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
① 実証試験における蓄電システムの使用形態を明確にし、できるだけ一般的な知見が得られるよう期待。	中間評価の時点では、助成先 2 社について実証サイトが未定であったが、この 2 社を含む実証を計画していた 5 社全てについて、使用形態を明確にして実証試験を実施した。実証試験の一覧表を第 I 章に示した。
② 実証試験は、安全性という技術の社会的信頼性に係る重要なポイントであるので、可能な限り実施。	
③ 技術優劣だけでは勝てないので、日本の技術優位性、先行開発を活かした国際標準化が必要。	標準化(JIS、IEC、ISO 等)は、制度的共通化のメリットと技術がオープンになることのデメリットを考慮することが必要。スマートコミュニティ・アライアンス(JSCA)の国際標準化 WG を通じて、進め方を議論する。
④ コストに関し、各実施者に見通しのデータや前提条件を出してもらい、妥当性を客観的に評価することが必要。	各助成先に、従来技術によるコスト、事業終了時点の到達コスト、2020 年時点の見通しコストに分けて、それぞれの内訳や前提をできる限り詳細に報告するように求め、NEDO としても内容の妥当性を確認した。

表Ⅱ-14 中間評価／「系統安定化用蓄電システムの開発」に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
<p>⑤ 今後の進捗状況に応じ、材料開発とシステム開発のバランスを見直し、事業化をより確実なものとする必要。</p>	<p>各助成先は、自社の開発戦略に基づき、本プロジェクトと自社研究で同時並行的に開発を進めており、総合的に見ればバランスが取れた研究開発が行われている。また、完成した蓄電システムを用いた実証試験で課題が抽出された場合には、材料開発や要素技術開発に適宜フィードバックして取り組みを行った。</p>
<p>⑥ 電池について今後の開発の中でも十分な安全性試験を行って欲しい。</p>	<p>各助成先は、本プロジェクト及び自社研究で安全性技術の開発とその検証データの蓄積を進めている。さらに、安全性も含んだ蓄電システムの共通課題は、有識者で構成される技術委員会でも議論し、助言や実証試験の結果等も踏まえて、取り組んできた。その結果例えば、蓄電池の内部短絡試験を実施するよう助言を受け、実施計画に反映した。</p>
<p>⑦ 電力会社との連携が弱い。NEDO側からも積極的に電力会社との連携を図ること。</p>	<p>NEDO から沖縄電力等の電力会社に、本プロジェクトの全体像を説明し、実証試験の実施や実証データの公開について協力してもらえるよう、直接働きかけ、必要な情報提供を頂いた。</p>
<p>⑧ 実施者に対してFMEAを義務付けるなど、論理的に安全性を担保させるべき。</p>	<p>フライホイールの助成先も含めたすべての助成先で、FMEAに取り組み、安全性評価に反映させた。</p>
<p>⑨ 実証試験実施後は、そのデータを可能な限り公開及び積極的な発信に期待。</p>	<p>実証データは企業の営業・技術情報のため、単純にデータの公開を求めることは妥当とは思えないが、ビジネスチャンス創出のため、実証成果は積極的に発信するよう各助成先に提案している。なお、実証開始については各助成先及びNEDOから発信済である。</p>

表Ⅱ-15 中間評価／「共通基盤研究」に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
<p>⑩ 開発された劣化診断法が、実際の大容量電池でどの程度正確に劣化診断ができるか明確にする必要。</p>	<p>実用蓄電池の評価に向けて、より容量の大きな蓄電池について、委託先の2大学で診断結果を比較しながら、有用性を明確にした。また、各大学で大型蓄電システムにおける診断を開始し、本プロジェクト終了後も継続中である。</p>
<p>⑪ 診断技術を制御技術と一体化して、システム全体としての長寿命・高信頼化を目指すべき。</p>	<p>診断技術の発展として、指摘された方向を将来的に目指すべきと考える。本プロジェクトにおいては、まずは電池としての劣化診断技術を確立することとする。</p>
<p>⑫ メーカーの技術者など実務者から見た評価を聞いてみたい。機会を作って実務経験者(産業技術総合研究所、電力中央研究所を含む)の忌憚のない意見も聴取して欲しい。</p>	<p>本プロジェクトの助成先の電池メーカー、産業技術総合研究所及び電力中央研究所等が参加して、委託先2大学の診断技術に関する技術委員会を、2013年11月(第2回)に開催し、評価や一般性検証手段について助言をもらった。その後、2015年7月(第7回)及び2016年2月(第9回)の技術委員会においても、実務経験者を含む委員の方々から、様々な助言をもらった。</p>
<p>⑬ 各グループ間での協力を行い、同じ電池で提案の測定を行った場合に、どのような結果が得られるのかを比較して検討が必要。</p>	<p>両大学の研究交流会の場で比較方法を検討し、同じ電池を用いて同等の診断結果が得られることを確認した。また、同研究交流会では、診断時間、測定精度、コスト等、診断技術全般としての比較も行い、成果としてまとめた。</p>
<p>⑭ 開発した診断技術の一般性を検証することをプロジェクト内で検討して欲しい。また実際のシステムで使用されるメーカーの電池を本テーマでの開発技術で診断して欲しい。</p>	<p>大学側から各電池メーカーに実運用されている電池の提供を働きかけたが、技術流出防止の観点から提供することは難しいとの判断だった。代わりに電池メーカーの特定された電動自転車用市販電池及び早稲田大学で試作した電池を用いて、診断技術の一般性を検証した。また、各大学で大型蓄電システムにおける診断を開始し、本プロジェクト終了後も継続中である。</p>

7. 評価に関する事項

本プロジェクトに対して実施された評価を表Ⅱ-16 に示す。

表Ⅱ-16 「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」に対する評価

名 称	実施時期	評価手法	事務局
事前評価	平成 22 年 6 月	事前評価書	経済産業省資源エネルギー庁
中間評価	平成 25 年 7 月	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部
事後評価	平成 28 年 11 月	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部

第三章 研究開発成果について

1. 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果

1. 1 「安全・低コスト大規模ハイブリッド型蓄電システム技術開発」

(日立製作所、日立化成)

本テーマは、平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、低コスト、長寿命で安全性の高い鉛蓄電池をもとに、更なる長寿命・高入出力を実現する鉛蓄電池を開発し、これに、短時間入出力に優れるリチウムイオンキャパシタ(LiC)を組み合わせることで、周波数調整力が一層向上し、短周期変動対策と余剰電力の発生対策の両立が可能なハイブリッド型蓄電システムを開発することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- ・余剰電力貯蔵用として新型鉛蓄電池 2 万円/kWh、寿命 20 年
- ・短周期の周波数変動に対する調整用として新型鉛蓄電池 7 万円/kW、寿命 20 年
- ・安全、低コストな大規模蓄電システムの構築

[中間目標](平成 25 年度末)

- ・電池の kWh コストを低減させるための手段として、開発電池の材料及び製造工程の共通化を検討する。また、試作段階における製造コストを把握し、製造工数等の見直しを検討する。
- ・電池の kW コストを低減させるための手段として、入出力特性の向上と高容量化が可能な電池仕様を検討する。
- ・実運用における蓄電池の長寿命化を図るための手段として、リセット充電による過充電量の低減方法を検討する。
- ・大規模システムに対応するために、実運用可能な組電池の最大並列数を検討する。非専門家でも使用可能な系統解析及び蓄電池構成検討ツールの入出力フレーム・画面仕様を策定する。
- ・高速に最適な検討結果を抽出するため、系統影響評価、および最適なシステム構成検討のアルゴリズムを構築する。
- ・短周期変動抑制、ピークシフトなど様々な用途に対応する大規模蓄電システムとするための機能抽出・基本制御方式を策定する。
- ・異なる特性の蓄電デバイス、および複数の蓄電システムを連携することにより、運転モードや、蓄電池の SOC 等の状態に応じて、スケジュール運転、周波数変動抑制、および蓄電池の SOC 管理等を最適に制御するための運用管理制御方式を策定する。

本テーマの開発成果と達成度を、表Ⅲ-1 に示す。

表Ⅲ-1 開発成果と達成度

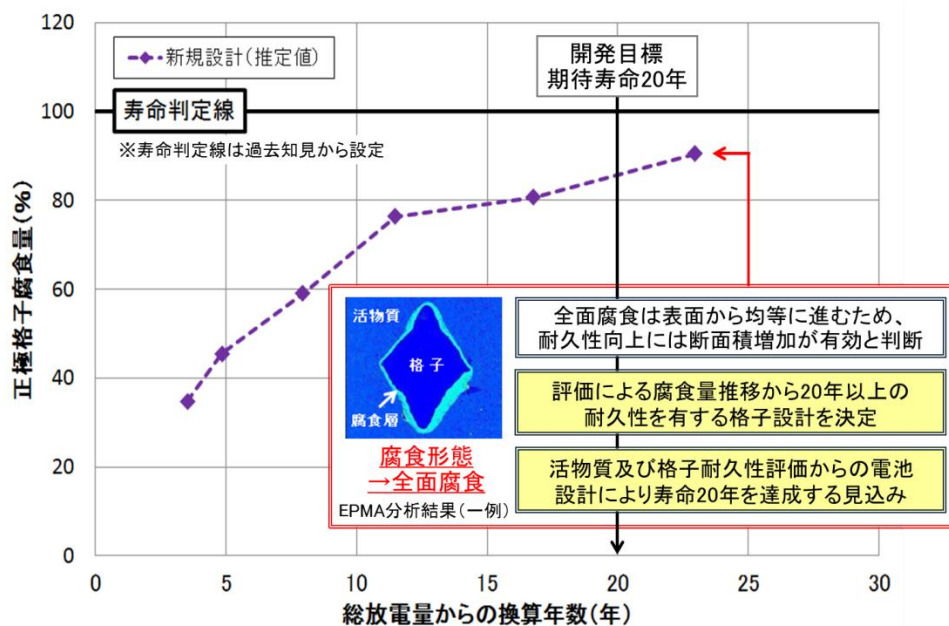
開発項目	目標	成果	達成度
(a) 蓄電デバイスの開発	(1) 2万円/kWh	・集電構造を最適化し、過電圧を低減することで、現行品の3.1倍に放電容量を向上。さらに、製造工程の見直しを行うことでkWhコストを現行品の約82%に低減。今後、蓄電市場拡大に伴う量産効果で2.0万円/kWhを達成出来る見通し。	○
	(2) 7万円/kW	・(1)成果の集電構造を最適化による過電圧低減で、最大放電電流が現行品の2.5倍に向上し、現行品価格でも7万円/kWを達成。 ・さらに、kWhコスト低減(現行品比約82%)効果も含め、kWコストを大幅に低減した。	◎
	(3) 寿命 20年	・過去の実使用の電池の解体解析から正極格子の腐食が劣化と主な要因であることを明らかとし、この断面積を増加させることで、寿命を向上。20年を満足する見通しを得た。	○
	(4) 大規模蓄電システムの構築	・大規模化による並列数増加を想定した評価を実施。並列間での電圧挙動に問題がないことを確認。	○
(b) 蓄電システムの開発	(1) 系統解析・構成検討技術の開発	・発電機定数、系統モデル運動方程式等の検討から系統解析ツールを作成。ここに、系統接続に係る要求特性満たし、性能・コスト等の面から蓄電池の最適設計を行うアルゴリズムを加えることで、系統解析・ハイブリッド型蓄電池構成検討ツールを開発。 ・この開発してツールを用いて伊豆大島実証の蓄電システムの仕様を決定した。	○
	(2) 制御アルゴリズムの開発	・ピークシフトに対応した電池の充放電スケジュールや充電深度(SOC)管理の他、ガバナフリー機能と時定数制御機能を有する周波数制御方式や実行蓄電池の自動選択等が組み込まれたハイブリット型蓄電システム制御のアルゴリズムを開発した。 ・実システムシミュレーションにて開発した制御アルゴリズムの有用性を確認した。	○
	(3) 実証試験でシステムの有用性を確認	・(a)で開発した新型鉛蓄電池 8.06MWh(2V-1,500Ah×2,688セル)とLIC14.6kWh(3V-0.85Ah×5,760セル)から成るハイブリット型蓄電システムを構築。 ・伊豆大島の実システムに接続し、運用のシステム効率が80%以上を達成。また、実運転にて制御アルゴリズムの有用性を確認した。	○

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

①蓄電デバイスの開発

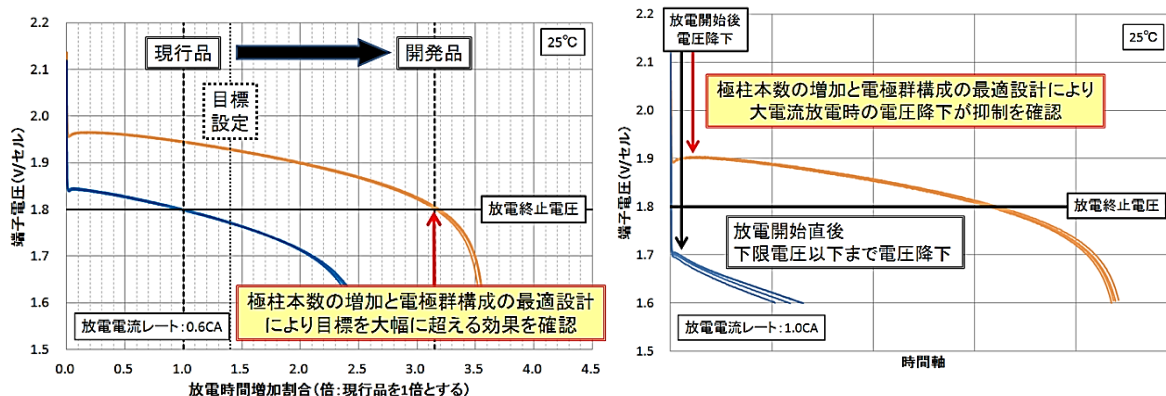
本プロジェクトにおいて、コスト目標(2 万円/kWh、7 万円/kW)及び寿命目標(20 年)を達成するためには、現行品である鉛蓄電池 LL1500-W よりも、充放電特性を向上させ、蓄電システムにおける必要蓄電池数量や設置面積の低減を行うとともに、長寿命化を図る必要がある。

長寿命化の検討を行うにあたり、開発指針を決めるため、過去に納入し、使用された実使用電池をフィールドから回収し解体調査を行った。その結果、主となる劣化モードは正極格子腐食であることが確認された。この正極格子腐食の形態を解析するため、サイクル数の異なる小形電池を作製し、解体後、電子線マイクロアナライザ(EPMA)で正極格子の腐食状態を観察した。その結果を図Ⅲ-1 に示すが、EPMA による観察から、正極格子腐食の形態は全面腐食であることが分かった。全面腐食は格子表面から均等に腐食が進むため、正極格子の耐久性を向上させるには断面積を増やすことが有効と判断した。そこで、正極格子断面積を増加させた新規格子を用いて小型電池を作製して寿命試験を行い、過去の知見を基にして正極格子の腐食量に対する推定寿命の算出を行った。その結果を図Ⅲ-1 に示すが、腐食量 100% で寿命となるが、20 年でも 100% 以下であり、新規格子は、20 年以上の耐久性を有すると考えられる。



図Ⅲ-1 正極格子の腐食量推移

充放電特性の向上のためには蓄電池の低抵抗化を図り、電圧降下現象を低減させる必要がある。現行品(正極 1 本/負極 1 本)では、極柱に流れる電流が大きいことため電圧降下現象が大きくなっているため、極柱を増加させ、各極柱に流れる電流を低減させることを試みた。極柱の本数は、1CA 出力特性及び放電時の極柱の温度上昇等を考慮し、正極 3 本/負極 3 本とした。また、単電池内の極版数も理論計算から最適設計を行った。この開発品と現行品の実電池での放電特性の比較を図Ⅲ-2 に示す。図Ⅲ-2 から、0.6CA 放電、1CA 放電ともに放電初期において、セルの端子電圧が高く電圧降下現象が低減していることが分かる。0.6CA 放電では、現行品と比較して、放電終止電圧に至るまでの放電時間(容量)が 3.1 倍となった。1CA 放電では、現行品が放電開始直後から放電終止電圧以下になることに対して、開発品は放電終止電圧まで一定時間確保できることが明らかとなった。



図Ⅲ-2 現行品と開発品の放電時間の比較

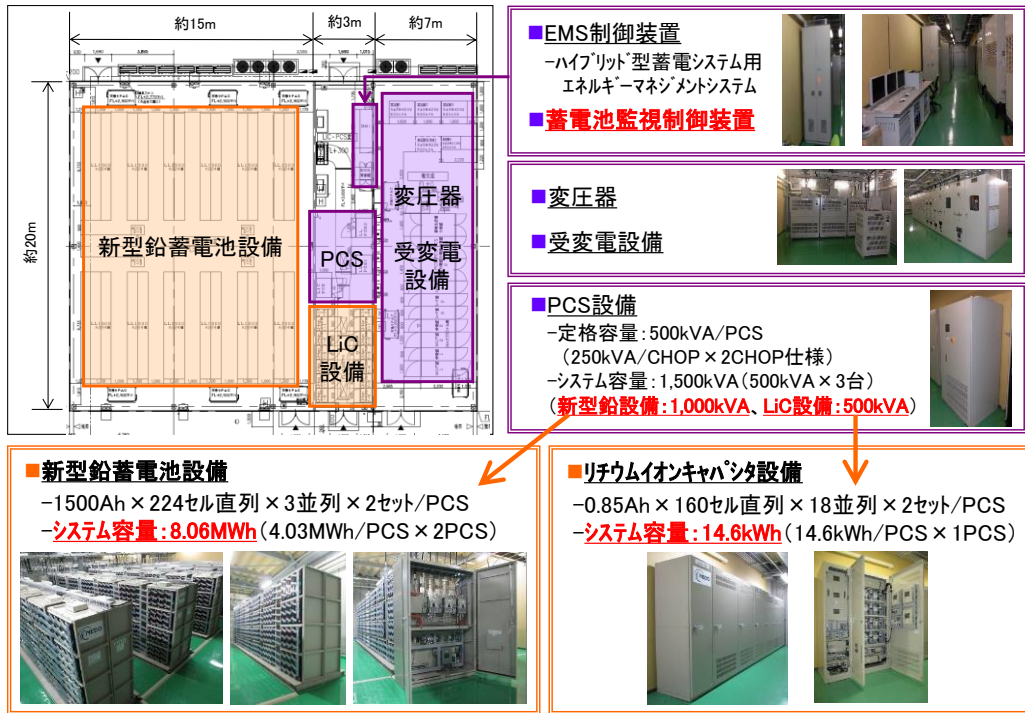
②蓄電システムの開発

東京電力株式会社の協力を得て、の伊豆大島の実系統において、システム検証を行う実証計画を策定した。伊豆大島選択の理由は、このような島嶼部では電力系統が独立しているため、再生可能エネルギーの大量導入時に電力系統安定化の課題となる「短周期変動の増加」や「余剰電力の増大」を解決するための検証を行うことが出来るためである。

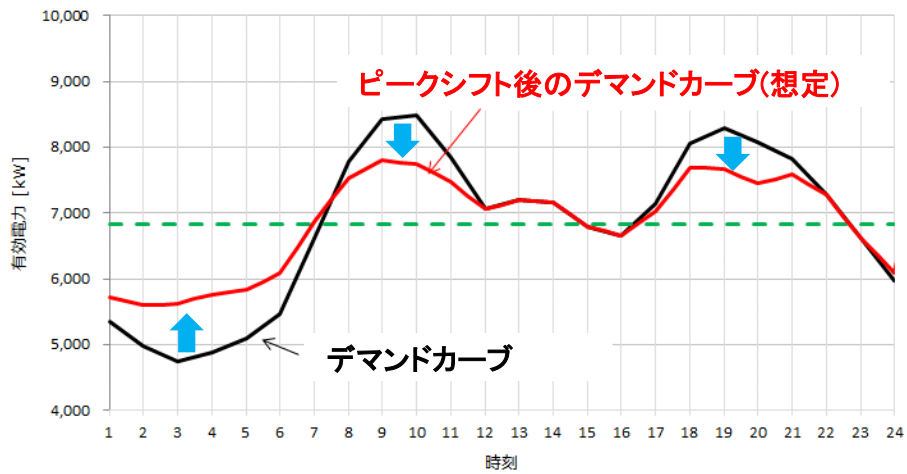
島嶼部でのハイブリット型蓄電システムの運用検討に当たり、開発した系統解析・ハイブリット型蓄電構成検討ツールを用いて想定される系統情報と蓄電池の容量や出力等の情報を用いて解析を行った。この結果から島嶼部の発電所との協調も含め実運用に近い状況を模擬し、ハイブリット型蓄電システムの基本運用方法を策定した。次に伊豆大島で実証試験を実施するにあたり、図Ⅲ-3 に示すように新型鉛蓄電池とLIC から成るハイブリット型蓄電システムを設計・製作した。鉛蓄電池は、単電池で1,500Ahのものを224セル直列、3並列、2セットを500kVAのPCSと接続し、同様の構成のものをもう1台構成し、合計で500kVAのPCS2台(合計1,000kVA)を用いてシステム容量4.03MWhの組電池2台(合計8.06MWh)を設置した。LICは、0.85Ahのものを160セル直列、18並列、2セットから構成しシステム容量14.6kWhを500kVAのPCS1台と接続し設置した。この他、EMS制御装置、受変電設備、変圧器等から構成されている。また、本システムは実証サイトでの監視に加え、東京電力・大島発電所及び日立製作所・大みか事業所での遠隔監視を実現した。

「余剰電力の増大」の解決に資するピークシフト運転実証について、一例を図Ⅲ-4 に示す。黒線はこの地域で実証中に取得したデマンドカーブであり、赤線はこの実際のデマンドカーブと実証システムの運用データを基にしたシミュレーションの結果である。これらを比較すると、1,000kWレベルでのデマンドカーブの平坦化が可能であることが明らかとなった。

また、「短周期変動の増加」の解決に資するガバナフリー制御実証試験について、一例を表Ⅲ-2 に示す。本実証試験は、各日の14:00~16:00の間にガバナフリー制御の時定数を100秒~0秒で変化させて、周波数を測定した結果である。表Ⅲ-2 からガバナフリー制御を行わない場合が50Hz±0.15Hzを超える時間が約40秒であるのに対して、ガバナフリー制御を行うと10秒以下になることが証明された。また、この時に開発した制御アルゴリズムに従ってLICが優先的に動いていることも確認した。時定数による影響はまだ不明であるが、本プロジェクト終了後も検討を続け、精度の向上を図る予定である。



図Ⅲ-3 実証システムの構成



図Ⅲ-4 ピークシフト運転実証の例

表Ⅲ-2 ガバナフリー制御試験の例

ガバナフリー制御	50Hz±0.15Hzを超えた時間(秒)	時定数(秒)
制御なし	42.6	—
制御あり	0.2	100
	9.9	
	0.5	10
	8.3	5
	0	0

1. 2 「低コスト・高性能リチウム二次電池を用いた大規模蓄電システムの研究開発」

(三菱重工業)

本テーマは、平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、蓄電システムの低コスト化や耐久性・安全性向上を目指して、リチウムイオン電池の開発及びコンテナ型システムの設計を行い、更に、開発電池の性能データや蓄電システムの性能・安全性予測ツールを用いて、蓄電システムの寿命や安全性等を見積もり実用化の目処を得ることである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- ・平成 25 年度までに抽出した課題を解決した蓄電システムを製作し、送電系統に接続した場合の効果をフィールドテスト等によって実証する。
- ・新型電池の性能データや蓄電システムの性能・安全性予測ツールを活用し、次の蓄電システム目標値を満たす蓄電デバイスや蓄電システムの実用化の目処を得る。

短周期の周波数調整用蓄電システムとして、システム効率 80%以上、寿命 20 年以上、コスト 7 万円/kW 相当、予期せぬ誤動作・内部短絡等に対してもシステムとして安全性が担保されていること。

[中間目標](平成 25 年度末)

- ・短周期の周波数調整用蓄電に求められる機能や安全性等の性能を満たす基本技術を確立し、MW 級蓄電システムを試作・評価して課題を抽出する。
- ・セルおよび蓄電システムの開発により、量産時に 7 万円/kW 以下(PCS 除く)の実現可能性を示す。

本テーマの開発成果と達成度を、表Ⅲ-3 に示す。

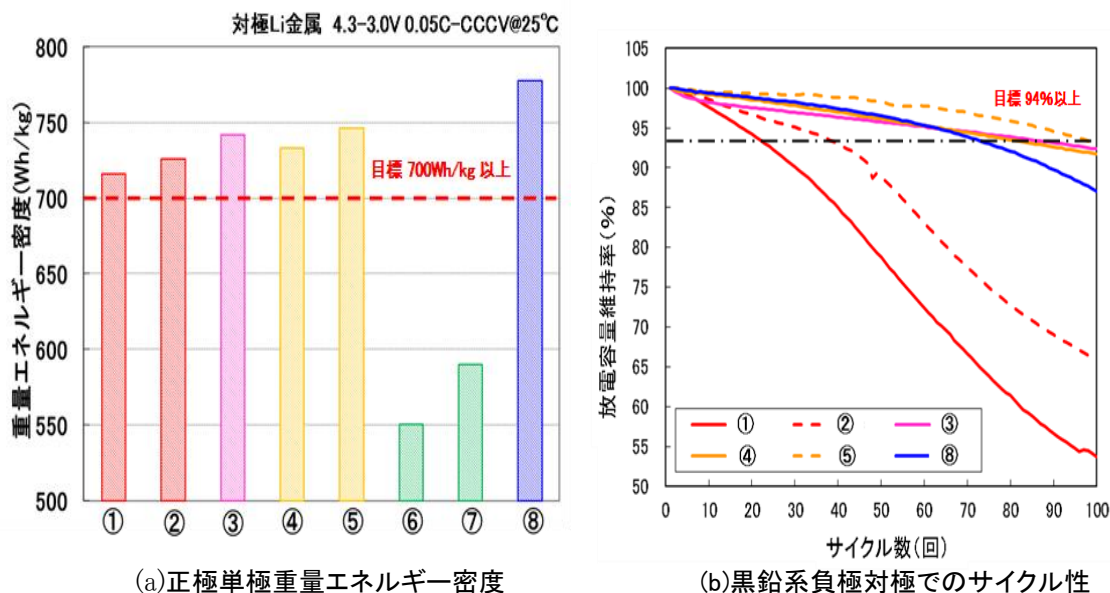
表Ⅲ-3 開発成果と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
(a) 低コスト・高性能リチウム二次電池セルの開発 (1) 高容量正極材料の開発 (2) 正極材料のゲル化対策 (3) 高容量負極材料の開発 (4) 電池設計の最適化 (5) 高電圧対応電解液の開発	(1) 正極活物質当りのエネルギー密度: 700Wh/kg 以上、寿命: 加速試験による 20 年相当	Ni 系正極材料の開発・高性能化によりエネルギー密度 740Wh/kg、寿命 20 年相当達成。	○
	(2) 安定な電極成膜を可能とする	酸中和剤添加により安定な成膜が可能となった。	○
	(3) 負極活物質当りの容量密度: 1,000Ah/kg 以上、寿命: 加速試験による 20 年相当	1,000Ah/kg 以上の SiO 材料を用いた黒鉛混合負極にて、黒鉛電極と同等寿命を確認。	○
	(4) 電池性能と安全性(放熱性)を両立する電池構造を決定	電池発熱を考慮した電池性能シミュレーションを開発したことで、電池構造設計の目途を得た。	○
	(5) 寿命: 加速試験による 20 年相当	電解液の酸化分解抑制添加剤を用いることで寿命 20 年相当の目処を得た。	○
(b) 大規模システムの開発および検証 (1) システムの高性能化・低コスト化 (2) システムの安全性・信頼性向 (3) システム検証	(1) システム効率 80% 以上 (PCS 端) の目処付け。システム価格 7 万円/kW 以下の目処付け(PCS 除く)	・システム効率向上を目的に、チョッパレス PCS を採用。全負荷率でシステム効率 80% 以上を達成した。 ・実証試験で検証した予測ツールを使い、システム寿命 20 年となることを確認した。 ・電池ラック・コンテナなどの設計見直しによりシステム価格 7 万円以下の目処を得た。	○
	(2) 一つのセルが熱暴走してもシステムからの発火に至らないシステムの開発	・コンテナ ESS 実証機で認証機関立ち会いによる CE マーキング試験を行い、認証を取得した。 ・各種規制(REACH、WEEE 等) 対応や FMEA で、製品の安全性・信頼性を確保した。 ・安全性予測ツールにより、万一のセル熱暴走時にもシステムとして火災にならない消化設備を備えた蓄電システムを構築した。	○
	(3) 大規模蓄電システムの導入効果の検証	英国スコットランドオークニー諸島へ 2MW/800kWh 級蓄電システムを設置、実証試験を実施し、周波数調整パターンでの各種運転データを取得・評価した。	○

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

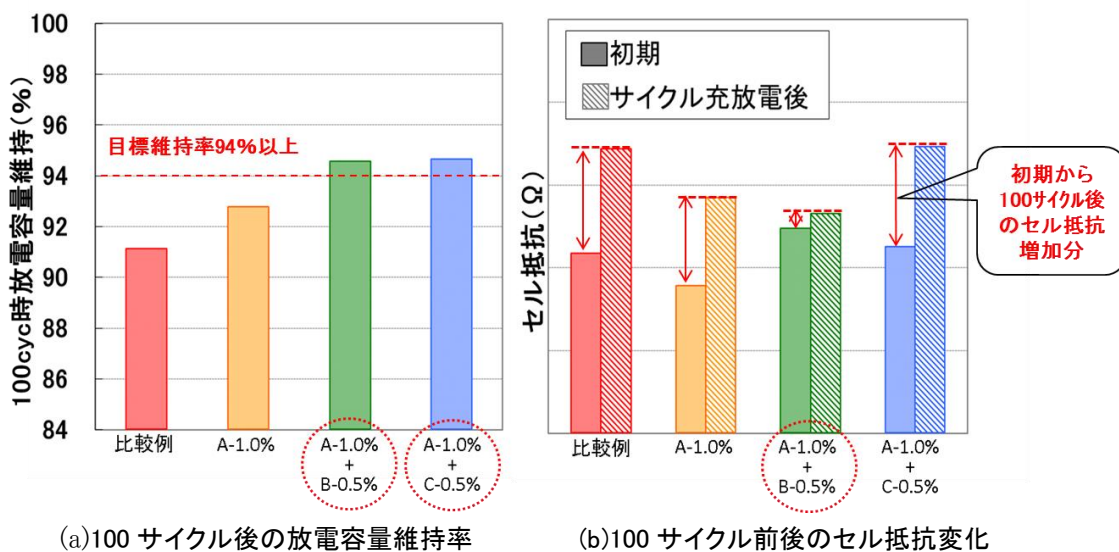
①高容量正極及び高電圧対応電解液の開発

電池のエネルギー密度向上を目指し、高容量負極の開発を行った。ニッケル系(LiNiO₂)正極材料に固溶可能であり、結晶構造中の酸素との高い結合力が期待できる元素種 A、B、C、D を組成違いで固溶させた材料サンプル①～⑧を製作し、性能評価を実施した。図Ⅲ-5 に各種正極材料の初期放電時の単極重量エネルギー密度及び黒鉛系負極セルでのサイクル特性の比較を示すが、サンプル③、⑤において、740Wh/kg 以上、100 サイクル後の容量維持率目標 94%に近い特性を達成可能なことを確認した。



図Ⅲ-5 組成違いの正極材料の単極エネルギー密度とサイクル特性

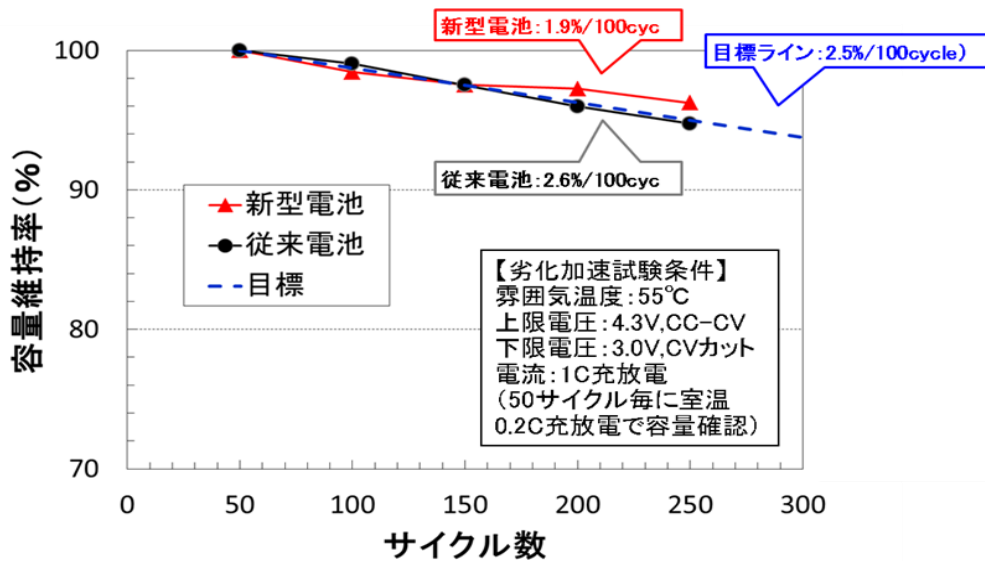
また、開発した高容量ニッケル系正極の特性を引き出すため、4.3V の正極電位でも安定な電解液の開発を目的として、電解液添加剤を検討した。図Ⅲ-6 に示すように、添加剤 A を 1%、B を 0.5% 添加することで、目標とする 100 サイクル充放電後の放電容量維持率 94% をクリアでき、サイクル後のセル抵抗増加も抑制できることを確認した。



図Ⅲ-6 添加剤違いの電解液のサイクル特性

②高容量電池試作と耐久性評価

前記①で開発したニッケル系新規高容量正極③と添加剤 A を 1%、B を 0.5% 添加した電解液、及び炭素系負極を組み合わせ、大型電池の試作を実施し、性能・寿命評価を実施した。新型高容量電池の初期放電容量は 68Ah で、設計値通りの特性が得られた。55℃劣化加速試験の結果を図Ⅲ-7 に、寿命推定結果を表Ⅲ-4 に示す。新型高容量電池の 55℃での劣化率は 100 サイクル当たり 1.9% であり、外挿により 1,590 サイクル時点で容量維持率 70% と推定される。従来電池の室温サイクルと 55℃サイクルの劣化傾向の比較から求めた劣化加速倍率 2.56 倍を適用すると、室温での容量維持率 70% でのサイクル寿命を約 4,000 サイクルと推定できた。



図Ⅲ-7 新型高容量電池の劣化加速試験結果

表Ⅲ-4 新型高容量電池と従来電池の寿命推定結果

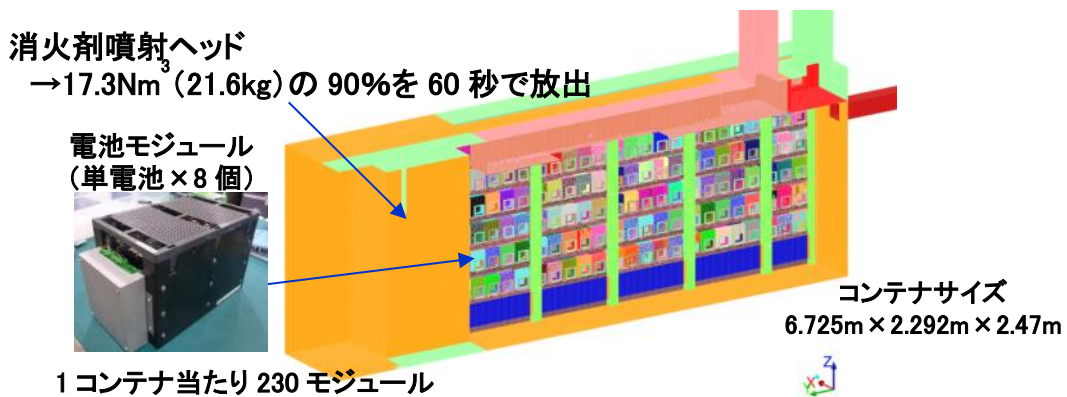
項目	評価電池・条件	
	従来電池 55℃劣化加速	新型電池 55℃劣化加速
利用 SOC 範囲	0%～100%	0%～100%
容量維持率 70%の サイクル数 (55℃)	1,140 (外挿)	1,590 (外挿)
加速倍率	2.56	2.56
室温での容量維持率 70% の推定サイクル数	2,920	4,080

更に、別の実験において使用する SOC 範囲を 10%～90%と狭めることで、寿命が約 2 倍に延びることを確認しており、このことから 8,000 サイクル程度の寿命が期待できる。一般に 1 日 1 回の充放電を年間 350 日運用と仮定して 3,500 サイクルを 10 年寿命と仮定すると、蓄電システムで本電池を使用 SOC 範囲を調整し、運用することにより、約 20 年寿命の目処が得られると考えられる。

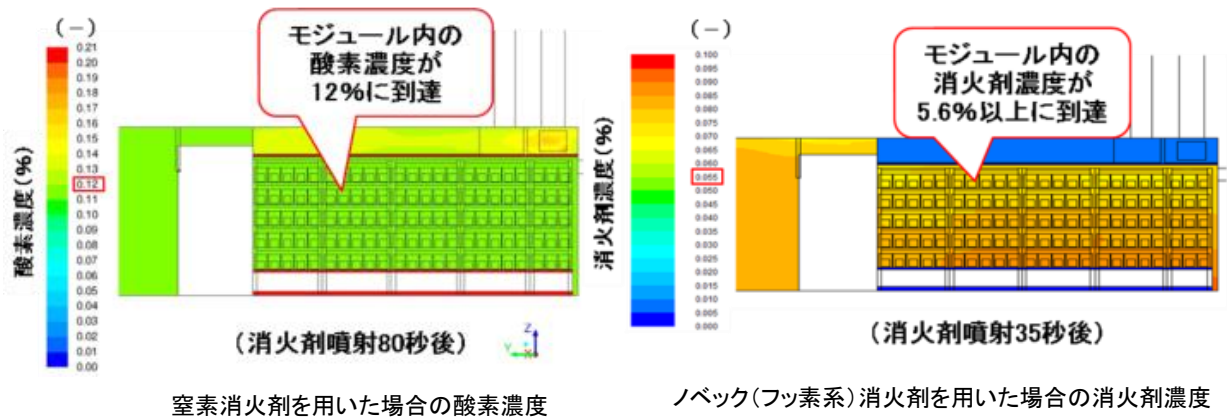
③システム安全性シミュレーション

電池内部の電解液を燃焼させた際の火炎の消火に必要な消火薬剤濃度を消防庁指定のカップバーナ法で測定した。さらに、強制的に過充電することで継続的に火炎を発生するセルを用いて、単電池の消火試験を実施した。結果として、電池異常発生時に雰囲気ガスが所定酸素濃度(12%)となるよう、消火ガスを噴出させたところ、約 10 秒後に消火可能であることを確認した。

コンテナ型大規模蓄電システムのシステム安全性を評価するため、図Ⅲ-8 に示す解析モデルを作成し、日本でよく用いられる窒素消火剤と海外で使用されるフッ素系消火剤を用いた場合の、ボンベ1本分の消火剤が放出される状況を想定したシミュレーションを行った。その結果、各電池モジュールで酸素濃度低下速度に差があるものの、窒素消火剤は 80 秒後、フッ素系消火剤は 35 秒後には目標の消火剤濃度に到達することを確認した。図Ⅲ-9 に、それぞれの消火剤で目標の消火剤濃度に到達する時点でのコンテナ内のコンター図を示す。



図Ⅲ-8 コンテナ型蓄電システムの安全性解析モデル

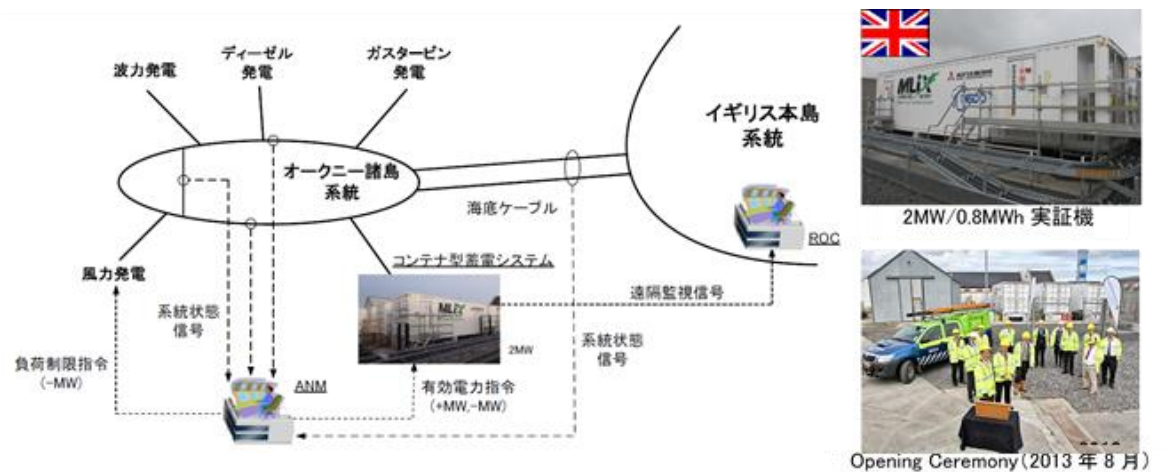


図Ⅲ-9 目標の消火剤濃度に到達する時点でのコンテナ内のコンター図

④実証試験

英国スコットランドオークニー諸島へ 2MW/800kWh 級大規模蓄電システムを設置し、英国の電力大手 SSE 社(共同実証先)所掌制御装置と連携した実証試験を実施した。電力系統模式図と実証機を図Ⅲ-10 に示す。実証機は 50Ah 級セルを 2,000 個以上収めた 40 フィートコンテナが 2 基と PCS を搭載した 40 フィートコンテナが 1 基で構成されている。

蓄電システムの評価として、周波数調整試験中のセル温度上昇試験、補機動力低減のための空調制御試験、システム応答性試験、システム充放電効率試験、電池劣化試験等を行った。システム充放電効率試験の結果を表Ⅲ-5に示す。この試験は実証期間中に3回行い、データを取得した。充放電効率は目標の80%以上を達成し、連続充放電を長期間行っても効率は不変であることを確認した。



図Ⅲ-10 英国オークニー諸島の電力系統模式図と実証機

表Ⅲ-5 実証機の充放電効率評価

No.	試験項目	試験条件	2013年7月	2014年11月	2015年11月	備考
1	充放電効率評価試験 (PCS4台)	放電1.0MW (負荷率50%)	90	91	92	効率% (=PCS放電電力量 ÷ PCS充電電力量)
2		放電2.0MW (負荷率100%)	88	89	89	充電:セル電流50A 充電率:10~89%

1.3 「系統安定化用の低コスト高出力蓄電システムの技術開発」

(東芝)

本テーマは、平成 24 年度～平成 27 年度の 4 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、リチウムイオン電池のガス発生による経時劣化を改善した長寿命セル、低コストで耐震性・冷却性に優れた電池盤、蓄電池のオンライン監視及び劣化診断技術、を開発し、国内外の実証試験からこれらの有用性を検証し、グローバル対応の基本設計を確立することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

以下に示す項目の実現に必要な要素技術を開発する。

低コスト: コスト 7 万円/kW (10MW、20 分容量)

長期信頼性: 20 年の使用耐性の評価・実証

安全: 輸送時、地震発生時の安全性を確保

上記の要素技術を適用した蓄電システム(実証機)で海外と国内のフィールドテストを行い、系統に接続した場合の効果を検証する。

[中間目標](平成 25 年度末)

低コスト: 低コスト化を追求した簡素化構造電池盤の開発

長期信頼性: 長期信頼性のためのプロセス技術および動作設計の確立

安全: 輸送時振動を考慮した振動試験・評価の実施

電流アンバランスと短絡故障を考慮した電気設計

大規模: MW クラス蓄電システムの管理技術

本テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-6に示す。

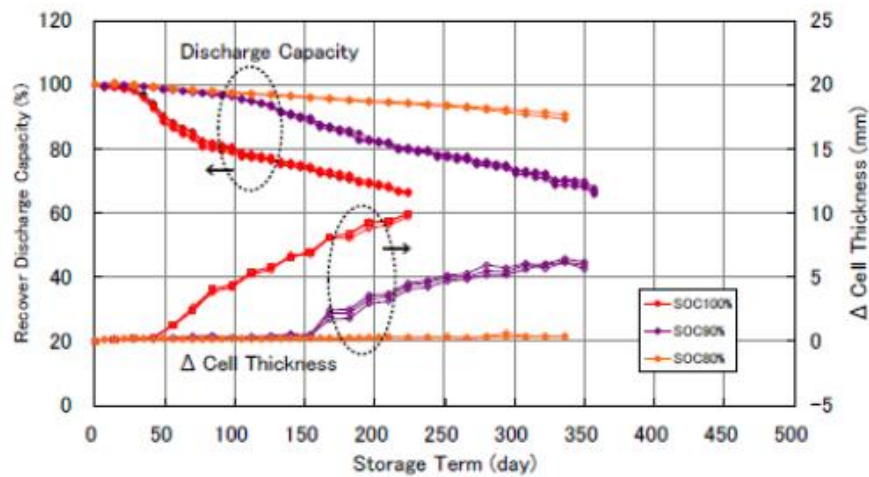
表Ⅲ-6 開発成果と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
低コスト (1)低価格電池盤の開発 (2)大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発 (3)海外実証(米国、スペイン)	システム設置コスト 7万円/kW (10MW、20分容量)	(1)正面メンテナンス可能で溶接部位を極小化するなど、簡素構造で製作性に優れた低価格電池盤を開発。	○
		(2)電池盤の冷却性能解析モデルを開発して高出力時の温度上昇推定を高精度化し、蓄電池の搭載容量最適化とコンテナへの高密度実装(コンテナ数削減)を実現。また、充放電可能電力量予測や稼働中の容量推定など容量劣化の監視手法を開発し、蓄電池の搭載容量を最適化。	○
		(3)欧米2ヶ国で、現地メーカーによる実証機の現地製作を通じて、グローバルに対応可能な制御装置および周辺装置の基本設計、低コスト化ノウハウを確立。	◎
長期信頼性 (1)長寿命セル製造技術(ガス除去プロセス)の開発 (2)大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発 (3)国内実証	20年の使用に耐える	(1)ガス発生メカニズムを解明して、セルの長寿命特性を改善。	○
		(2)多数モジュール管理のための運用監視技術や劣化評価技術を開発し、長期信頼性を担保する運用監視の基本方式を確立。	○
		(3)長寿命セル(開発セル)および各種の開発手法の効果をフィールドで検証し、長期信頼性の確度を向上。	○
安全性 (1)耐振動性能を備えた電池盤の開発 (2)大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発	輸送時、地震発生時の安全性を確保する	(1)開発した簡素構造電池盤を試作して安全性評価試験を実施し、振動や落下に関する条件クリアを確認	○
		(2)電池盤の振動解析モデルを開発し、耐振動性能の改善施策を立案	○

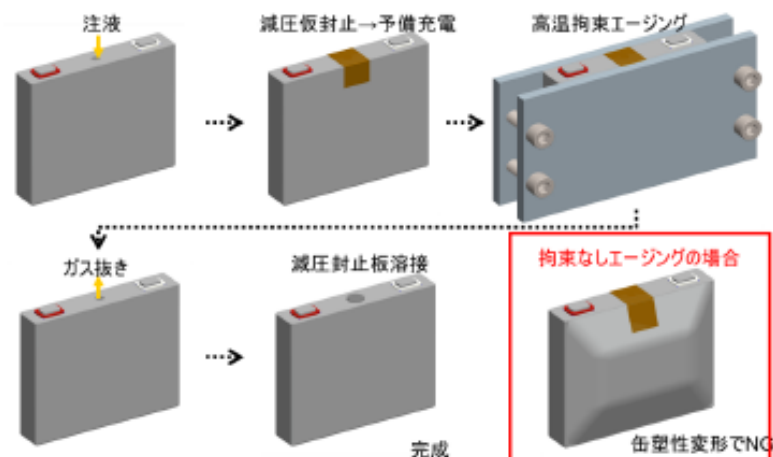
本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

① ガス除去プロセスによるセルの長寿命化

現行品セルの劣化要因を解析したところ、主な要因としてセル膨張があることが分かった。図Ⅲ-11 にセル膨れと保存寿命の関係性を示すが、SOC が 80%、90%、100%となるにつれて、保存日数に対してセル厚みが大きくなっていくと同時に容量維持率が低下した。200 日で比較すると SOC=100%は約 9mm 膨らみ維持率は約 70%、SOC=90%は約 3mm 膨らみ維持率は約 81%、SOC=80%は膨張がほとんどなく、維持率は約 90%であった。電池厚みと容量劣化に相関があることから、長寿命化にはこの膨張を抑える必要がある。この電池膨張はセル内部でのガス発生に起因するため、貯蔵初期における当該ガスの発生メカニズムを分析によってまず解明し、セルの製造プロセスにおいて高温エージングにより逆にガスの発生反応を加速させて取り除くという図Ⅲ-12 に示す高温拘束エージングプロセスを開発した。高温エージング時の発生ガスによる電池缶の変形を避けるため、拘束を取り入れることでこのプロセスが可能となった。本製造プロセスを適用した開発品は現行品と比較して 45°Cで寿命が約 4 倍になり、セルとして 20 年の使用に耐えうる長寿命性能が見込めることが分かった。



図Ⅲ-11 加速保管環境(60°C)でのセル膨れと容量劣化の例



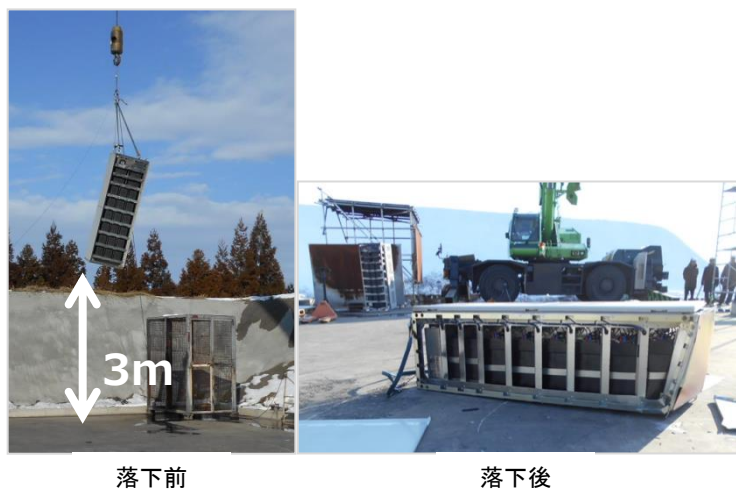
図Ⅲ-12 拘束エージングによるガス除去プロセス

② 簡素構造電池盤の開発

正面メンテナンスを可能とし、溶接部位を極小化するなど、構造が単純で、製作性に優れた電池盤を開発した。開発電池盤の安全性確認として、JEAG、JIS、UN等の規格に従って、振動試験、3m落下試験等を実施した。振動試験の様子を図Ⅲ-13に、3m落下試験の様子を図Ⅲ-14に示す。振動試験は、設置状態と梱包状態に対して行った。3m落下試験は、蓄電池盤をコンテナに組込む際など、クレーン吊り上げ時の高所落下を想定して行った。いずれの試験でも、電池モジュールの発火、発煙、異常発熱などの異常は認められず、蓄電池盤の安全性を確認した。



図Ⅲ-13 電池盤の振動試験



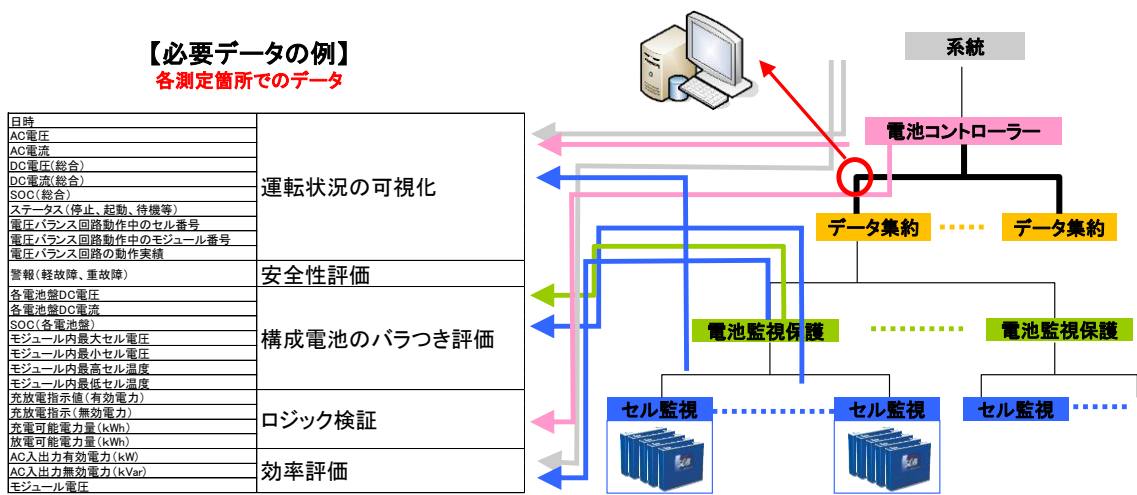
図Ⅲ-14 電池盤の3m落下試験

③大規模蓄電システムのための要素技術の開発

蓄電池システムの構成要素について、電気、熱、構造、セル寿命などに関する多様な要素モデルを統合した蓄電池システムの設計が必要となることから、各種要素解析技術を開発した。

○多数モジュール管理手法の開発

大規模蓄電池システムの構築に必須の要素技術として、事故発生時などの事象解析やトレース、ロジック評価などを行うために必要なMWクラス蓄電システムのデータ蓄積・管理手法を開発した。多数モジュール管理手法の構成と取得可能情報を図Ⅲ-15 に示す。これにより、大規模蓄電池システムとして必要なデータを各測定データが、集約されるデータラインに基づいて特定、監視できる。



図Ⅲ-15 多数モジュール管理手法

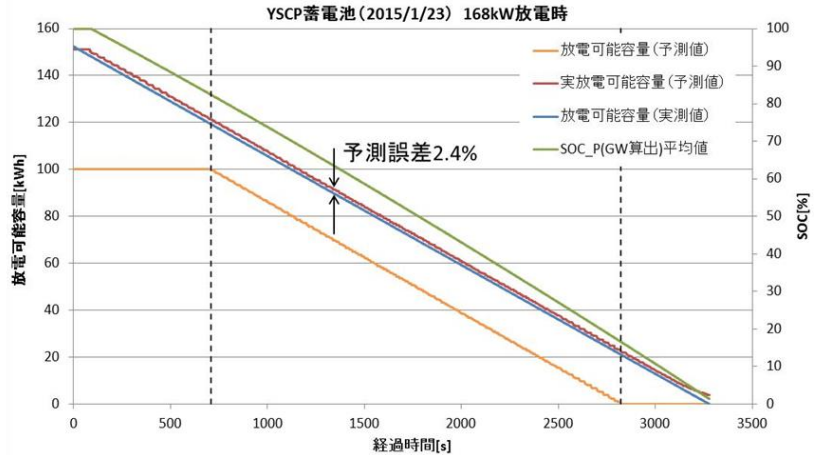
○振動解析モデルの開発

電池盤の構造開発に活用可能な振動解析モデルを開発した。現行電池盤フレームの耐震性や構造上の課題と改善点の評価を通じて、本解析モデルの有用性を確認した。

また電池盤全体について全モジュール／セルまでをモデル化した、電池盤の冷却性能解析モデルを開発した。充放電時のセル最大温度上昇を温度試験と比較した結果、十分な実用精度を備えた冷却解析が可能であり、本解析モデルの有用性を確認した。冷却性能を改善することによって、蓄電池コンテナの最適設計が可能となり、複数コンテナで構成される大規模蓄電池システムの低コスト化につながる。

○充放電可能電力量予測技術の開発

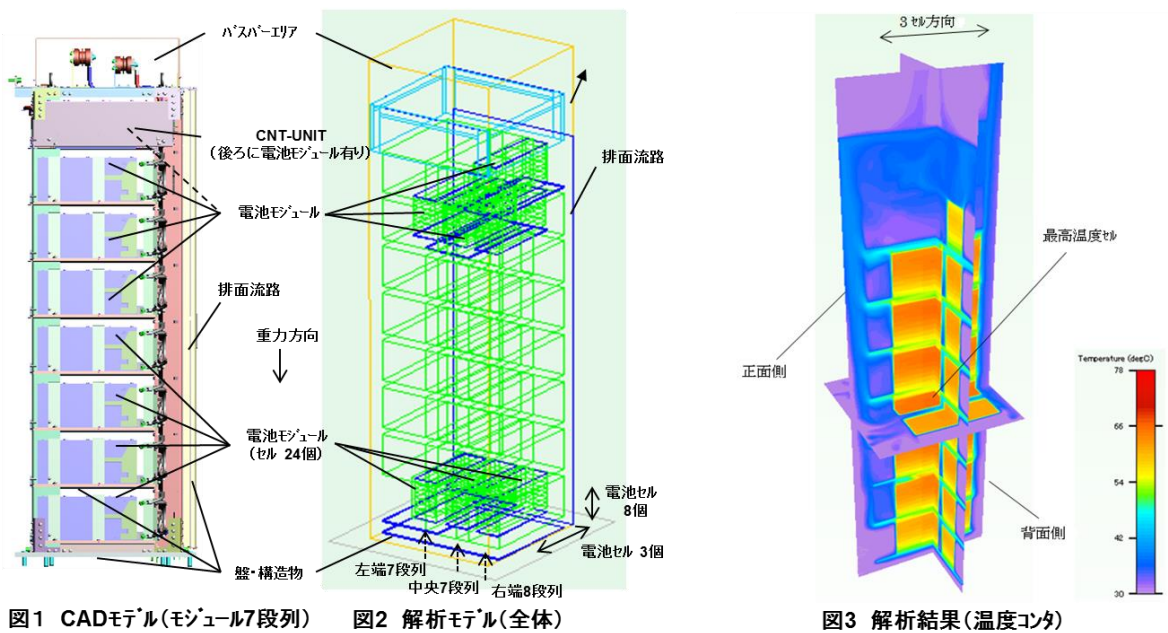
充放電可能電力量の予測技術を開発し、蓄電池システム実機に実装して予測精度の試験検証を行った。試験結果に基づいて予測アルゴリズムの改良と蓄電池の特性データの見直しを行った結果、良好な予測精度(2.4%)を確認できた。充放電可能電力量の評価例を図Ⅲ-16 に示す。本技術によって、充放電可能電力量の誤差による予期せぬシステム停止のリスク低減が可能となり、蓄電池システムの稼働率向上につながる。



図Ⅲ-16 充放電可能電力量の評価例

○連続稼働状態における容量推定技術の開発

変動抑制用途での連続稼働状態における容量推定技術を開発した。蓄電池システムの実績運用データに基づいて評価した結果、誤差±7%以内を確認できた。冷却性能の解析例を図Ⅲ-17 に示す。本技術によって、蓄電システムを停止することなく容量劣化の診断が可能となり、蓄電池システムの稼働率向上につながる。



図Ⅲ-17 冷却解析モデルを用いた蓄電池盤の冷却性能解析例

④実証試験

海外にて2箇所、国内にて1箇所の蓄電池システムの実証を開始した。

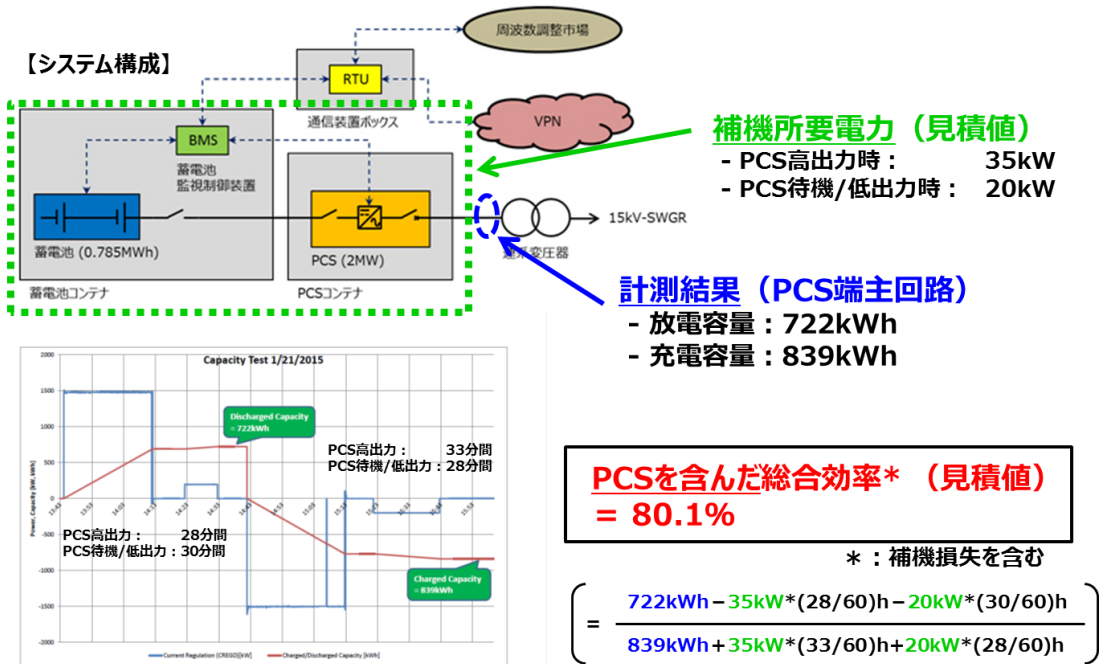
米国では、オハイオ州にあるDuke Energy社の発電所に、定格2MW-0.8MWhの蓄電池システムを設置し、PJM-周波数調整(FR)市場にて2015年1月28日より稼働中である。また欧州では、スペイン・マドリード市郊外にあるGas Natural Fenosa社の変電所に、定格0.5MW-0.776MWhの蓄電池システムを設置し、配電線負荷変動の平滑用途にて2015年9月29日から運用開始した。いずれも現地電力会社との共同による実証プロジェクトであり、実証機は現地メーカを活用して現地で製作し、グローバルに対応可能なPCS、制御装置および周辺装置のシステム設計ノウハウを獲得した。これらの蓄電池システムの充放電総合効率は、PCSの損失も含めていずれも80%以上であることを確認した。これにより、開発目標値80%以上(PCS損失は含めない)を達成した。

また、国内では、横浜スマートシティプロジェクト(YSCP)実証機を活用して、2015年6月8日から実証試験を開始した。国内実証機では、一部のセルを長寿命セル(開発セル)に置換えて、性能評価や稼働中のデータを用いた蓄電池の劣化状態推定などの検証・評価を実施した。

長寿命セルは、初期不良や異常劣化などの問題もなく順調稼働を確認した。また稼働中データから内部抵抗差のある蓄電池の劣化状態が推定でき、内部抵抗推定結果の妥当性を確認した。



図Ⅲ-18 実証機



図Ⅲ-19 米国実証機における総合効率の評価例

1. 4 「安全・低コスト・高性能ニッケル水素電池および蓄電システムの開発」

(川崎重工業)

本テーマは、平成 24 年度～平成 27 年度の 4 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、安全・低コスト・長寿命で内部抵抗の低いニッケル水素電池及び SOC 算出精度向上等の電池監視システムの開発を行い、実証試験で電力系統安定化、特に短周期周波数変動抑制への適応可能性を検証することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- コスト : 7 万円/kW
- 設定根拠 : 競合となる他蓄電池の kW 当りの推定コストと同等以下とした
- 条件 : 10MW 級短周期周波数変動抑制用蓄電池システムに適用する蓄電池コスト

- 寿命 : 加速劣化試験により寿命 20 年の見通しを得る
- 設定根拠 : 太陽光および風力発電システムの耐用年数と同等の寿命とした
- 条件 : 実運転パターンでの電池の性能劣化を模擬できる加速試験条件

- 総合運転効率 : 10MW 級の設備を導入した際に 80%を達成できる見通しを得る
- 設定根拠 : 競合となる他蓄電池の運転効率と同等以上の値とした
- 条件 : 実証機による 2 年間の運転

[中間目標](平成 25 年度末)

- コスト : 10 万円/kW
- 設定根拠 : プロジェクト開始前の蓄電池製造コストと最終目標製造コストの中間値以下を設定

テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-7 に示す。

表Ⅲ-7 開発成果と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
(a) 電池モジュールの低コスト化及び長寿命化	(1) 寿命: 20 年 (加速試験による目標値) 1C:0-100%3500 サイクル 2C:0-100%2920 サイクル	電極材料改良(電極構成比、正極、負極材質の見直し)により高耐久化し、モジュール耐久試験にて寿命 20 年相当の目標値を上回るサイクル耐久性を確認した。	○
	(2) コスト: 7 万円/kW	電池部材改良、単電池構造改良で出力を向上させ、電池モジュール製造の効率化で目標値を下回るコストを達成した。	○
	(3) 安全性の高い蓄電池、電池システムの開発	各種部材、構造を改良した最終仕様で過充電試験、振動試験、落下試験、低圧試験を行い、発火、発煙、破裂漏液がなく、安全であることを確認した。蓄電池システムとしては FMEA で安全性を確認した。	◎
(b) 電池監視システムの高度化	(1) SOC 算出精度向上 (目標値は実証運用を踏まえ設定)	算定ロジックの高度化及び使用する特性データの増加により SOC 精度約 20% 向上(精度の問題による運用停止なし)	○
	(2) 劣化診断手法開発	SOC 算出過程で算定される電池内部抵抗値を劣化診断に適用する手法の見通しを得た。	○
	(3) 新電池監視装置開発 台数削減により簡素化とコスト削減	80 モジュール監視時、従来装置では 8 台必要だったものを新電池監視装置では 1 台にて対応可能。監視装置コストは半減。能力向上により新ロジック追加も可能。	○
(c) 使用条件による電池モジュールの課題の抽出及び長期耐久性の評価(実証試験)	(1) 実証設備設置・実証試験実施	300kW/130kWh の蓄電池システムを南大東島に設置し、風力発電 245kW × 2 基の出力変動による周波数変動抑制効果の検証を行った。	○
	(2) 電池の劣化状態の把握	2 年間使用した電池の内部抵抗と放電容量を確認し、ほとんど劣化が進行していないことを確認した。	○
	(3) 10MW 級の設備導入時に 80% の総合運転効率達成の見通しを得る	電池モジュールの低抵抗化と冷却構造の改良で、充放電における電池の温度上昇を下げることで、エアコン電力量を低減させ、総合運転効率 80% 達成の目途を得た。	○

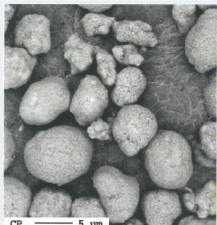
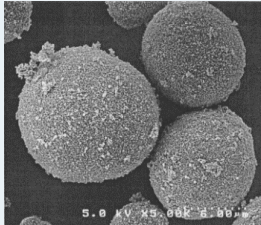
本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

①電池モジュールの低コスト化及び長寿命化

蓄電池の長寿命化のために、正極、負極活物質の見直しや電極構成比の変更、筐体の冷却機構等の変更を行っているが、その中でも最も有効であった正極活物質の見直しについて以下に記載する。

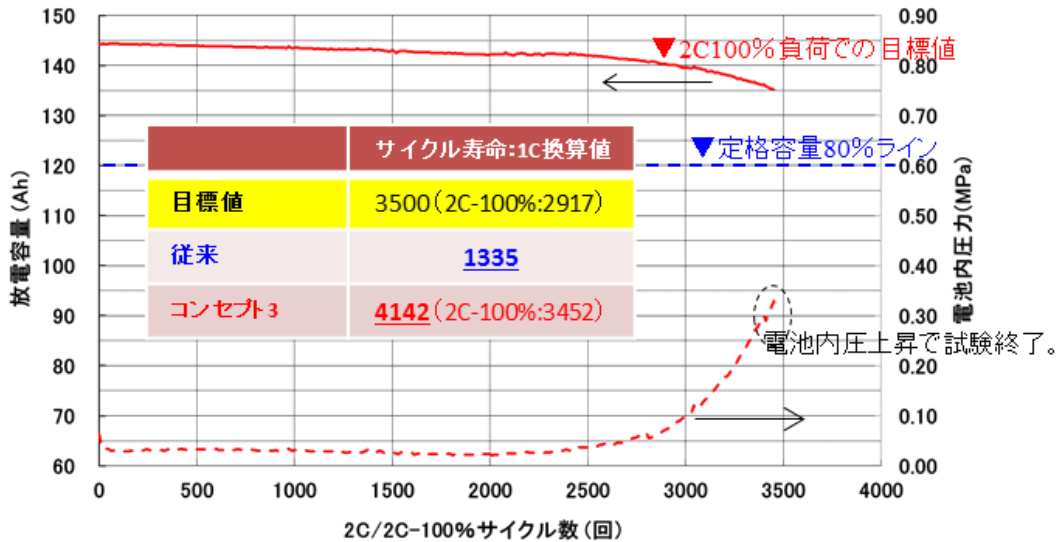
現行電池の主な劣化要因について、これまでの検討から正極の抵抗増大であることが分かってきた。この正極の抵抗増大の要因の一つとして、充放電時に結晶構造が変化することが挙げられ、結晶構造安定性を目的として、表Ⅲ-8に示すように、正極の表面コートを従来のC又は $\text{Co}(\text{OH})_2$ から CoOOH に変更した。これは導電材として CoO や $\text{Co}(\text{OH})_2$ を表面コートや添加すると最初の充電時に酸化されて高導電性の CoOOH になり、活物質表面で導電性のネットワークを形成することが知られており、この導電性のネットワークを高効率で形成させるために最初から CoOOH をコートしたものである。このため、CoとNi間で電子の授受がスムーズに行われて、副反応が抑制されることで、活物質の結晶構造が安定化したと考えられる。この他、電荷移動抵抗の小さいナノ高次構造を有する正極活物質への変更や添加物、バインダの最適化等を含めた正極電極の改良を行ったものについて、単電池でサイクル寿命を評価したところ、約3倍の耐久性向上を確認した。

表Ⅲ-8 正極活物質の改良

従来	コンセプト3
C又は $\text{Co}(\text{OH})_2$ -coated $\text{Ni}(\text{OH})_2$	CoOOH -coated $\text{Ni}(\text{OH})_2$
 <p>Co価数：2</p>	 <p>狙い：結晶安定性向上(耐久性向上) 方法：Co価数をより安定な高酸化状態である3以上に変更 結果：耐久性 約3倍(従来比)</p>

また、電池モジュールについても、長寿命化を目的とした低抵抗化や冷却機能向上のため、単電池の積層構造や放熱板の構造及び冷却ファンの仕様見直しを実施しており、特にファンモーターをシロコファンから軸流ファンに変えることで冷却効率が約2倍向上した。加えて、低コスト化のため、現行品の強度を維持しつつ部品点数の低減等も実施した。

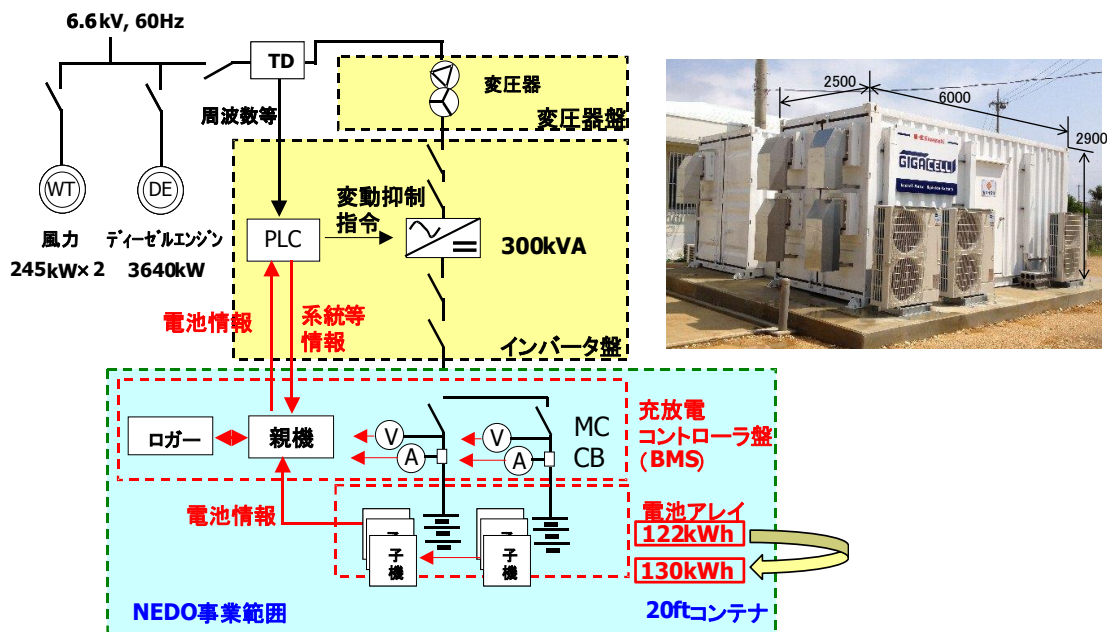
電池材料と電池モジュール構造を変更した開発品(コンセプト3)について、目標である寿命20年の達成可能性を確認するため、サイクル試験を行った。この結果を図Ⅲ-20に示す。図Ⅲ-20から、開発した電池モジュールは、SOC幅0~100%の2CAの充放電レートにおいて、3452サイクルの寿命を有することが分かった。寿命20年の達成には1CAで3,500サイクルと見積もられており、開発した電池モジュールのサイクル試験結果を1CAに換算すると4,142サイクルとなるため、寿命20年の達成見込まれることを確認した。なお、現行品は、1CAで1,335サイクルであったため、電池モジュールレベルで約3倍に寿命特性が向上したことも判明した。



図Ⅲ-20 開発した電池モジュールのサイクル試験結果

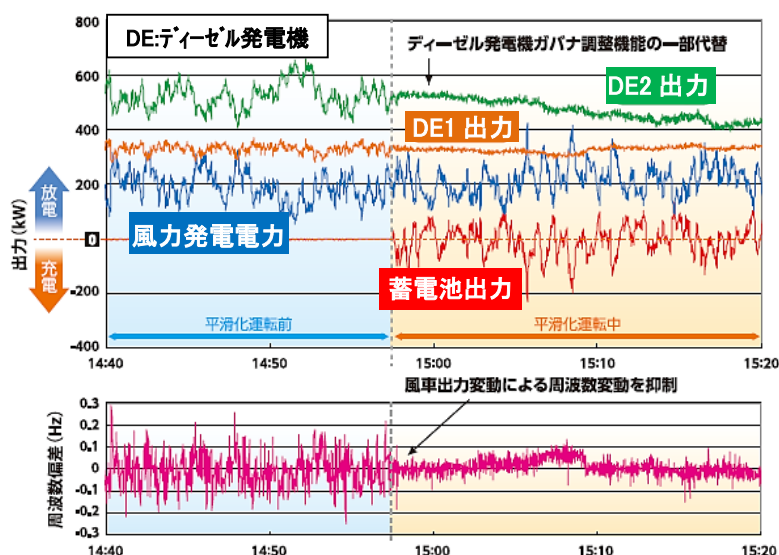
②実証試験

系統安定化効果、運転効率、電池耐久性等の実用性の検証を目的とした実証試験を行った。実証試験場所は系統規模が小さく、風力発電に起因する周波数変動の抑制を検証可能な沖縄県の南大東島の系統とし、沖縄電力の協力を得て、南大東電業所にシステムを設置した。図Ⅲ-21 にシステム系統図及びコンテナシステムの外観を示す。245kW の風力発電が 2 基と 3,640kW のディーゼル発電装置から成る系統に変圧器、PCS を介して蓄電システムが接続した。この蓄電システムは長さ 6m×幅 2.5m×高さ 2.9m で 300kW/122kWh(電池モジュール 5.1kWh×24 個)の 20 フィートコンテナ型蓄電システムであり、2013 年 4 月から実証試験を開始した。試験開始当初は、(a)に記載した低コスト化と長寿命化を目的としたモジュールが開発中であったため、現行モジュールで試験を実施し、2015 年 4 月から開発モジュールに置き換えて試験を行った。なお、この際にモジュール容量の都合上、300kW/130kWh に変更した。

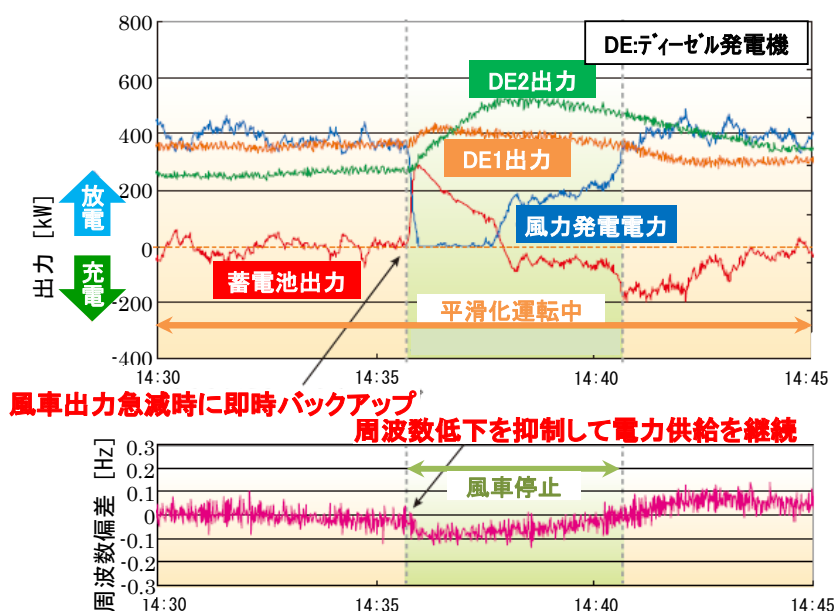


図Ⅲ-21 実証のシステム系統図及びコンテナシステムの外観

次に、この実証試験で検証した内容の例として、系統安定化効果の検証を図Ⅲ-22 及び図Ⅲ-23 に示す。図Ⅲ-22において、蓄電システムを使用していない周波数変動平滑化運転前では、風力発電の変動をディーゼル発電機でガバナ調整をしているが、周波数偏差が ± 0.1 を超えるものが多く存在し、中には0.3 近いものも存在する。蓄電システムを用いて平滑化運転を行うと、風力発電の出力変動の動きに合わせて、蓄電システムが高い追従性で充放電し、周波数偏差がほとんど ± 0.1 以内に収まること確認した。図Ⅲ-23 は、風力発電の出力が何等かの要因で急減した場合の蓄電システムの系統安定化効果を示したものである。14:35 過ぎに風車出力が急減したところからディーゼル発電機の出力が増加しているが、出力低下の速度に追従できていないことが分かる。一方、蓄電システムは、風力発電の出力低下に併せて、システム最大出力である 300kW に到達し、その後はディーゼル発電機の出力増加や風力発電の発電再開に呼応して出力を下げていることが分かる。このため、風車出力が急減した場合での、周波数偏差が概ね ± 0.1 以内を維持できるため、停電せずに電力供給を維持できることを確認した。以上から、本プロジェクトで開発したシステムの系統安定化効果を実証試験で証明した。



図Ⅲ-22 通常運転時の周波数変動抑制効果



図Ⅲ-23 風力発電出力減衰時の周波数変動抑制効果

1.5 「大規模システムを想定した Mn 系リチウムイオン電池の安全・長寿命化基盤技術開発」

(日本電気、NEC エナジーデバイス)

本テーマは、平成 23 年度～平成 25 年度の 3 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、液漏れに対する安全性改良のためにゲル電解質を用い、コスト目標を実現可能な低コスト材料に寿命改良策を導入した安全・低コスト・長寿命のセル技術を開発し、開発したセルを小規模蓄電システムに搭載し、システムレベルでの安全性を実証することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 25 年度末)

(a) 安全性の向上を目指したラミネート型単セル開発

3.5Ah にて安全性試験(過充電試験、ホットボックス試験など)を実施し、発火なきことを実証する。

(b) セル寿命予測・劣化解析の研究開発

複雑な定置向け電池駆動パターンからの寿命予測、および 20 年寿命を検証する。

(c) 超耐久性標準セル技術の開発

コスト 20,000 円/kWh 以下、容量維持率 80%以上@7,000 サイクル相当寿命とする。

(d) 蓄電システム基本実証

余剰電力貯蔵用途:小規模蓄電システムでの長期運用試験による総合的な性能検証と大規模化を想定した要求仕様を抽出する。

短周期周波数調整用途:基本制御アルゴリズムの基本設計と機能検証する。

[中間目標](平成 24 年度末)

(a) 安全性の向上を目指したラミネート型単セル開発

大型セル作製プロセスの確立と大型セルでの液漏れ安全性試験を実施・実証する。

(b) セル寿命予測・劣化解析の研究開発

簡単な定置向け電池駆動パターンから寿命予測する。

(c) 超耐久性標準セル技術の開発

コスト 20,000 円/kWh 以下、容量維持率 80%以上@7,000 サイクル相当寿命とする。

(d) 蓄電システム基本実証

余剰電力貯蔵用途を想定した蓄電システムに適用するゲルポリマーセルとシステム部の要求仕様を抽出する。

本テーマの開発成果と達成度を、表Ⅲ-9 に示す。

表Ⅲ-9 開発成果と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
(a)安全性向上セル技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲル電解質セルの作製プロセスの確立 ・万が一の事態に陥っても安全性の確保を可能にする大型セルでの液漏れ安全性実証 ・大型セルでの加熱安全性試験の実証 	<ul style="list-style-type: none"> ・長寿命化が実現可能な独自添加剤含有ゲルポリマー電解質を適用した 3.5Ah 級セルの作製プロセスを確立。さらに大型セルにも適用可能であることを確認。 ・ゲルポリマーセルの液漏れ安全性を実証(液セルの 1/4 以下の漏液量) ・加熱安定性試験で従来液セルで発火・漏液が起こる温度でも発火・漏液なしを実証。 	○
(b)寿命予測	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な定置向け電池駆動パターンからの寿命予測 及び 20 年寿命が予測できることの検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度・レート加速係数を算出。長寿命運用条件の検討により寿命延長効果を確認。 ・蓄電システムの実運用を模擬した充放電パターンによる評価を行い、20 年後の残存容量の予測手法を確立した。 	○
(c)低コスト長耐久セル技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・独自に開発した添加剤を適用した電解液、及び表面状態を制御した活物質を開発して、コスト 2 万円/kWh 以下、容量維持率 80% 以上@7,000 サイクル相当寿命の蓄電池を開発することを目標とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・コスト目標が実現可能な材料を選定し、2 万円/kWh が見込めることを実証。この材料を用いたセルで LNO 中の LiOH 低減等の施策を実施し、上限電圧を適切に設定することで容量維持率 80%@7,000 サイクル相当の寿命が得られた。 	○
(d)蓄電システム基本実証	<ul style="list-style-type: none"> ・余剰電力貯蔵用途:小規模蓄電システムでの長期運用試験による総合的な性能検証と大規模化を想定した要求仕様抽出 ・短周期周波数調整用途:基本制御アルゴリズムの基本設計と機能検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・小型蓄電システムの実証から寿命改善効果を確認。また電解液漏洩の低減効果によるシステムレベルでの安全性向上を立証。低圧領域での直並列拡張検証による大規模化要件を抽出した。 	◎

本テーマの開発成果の要旨を以下に示す。

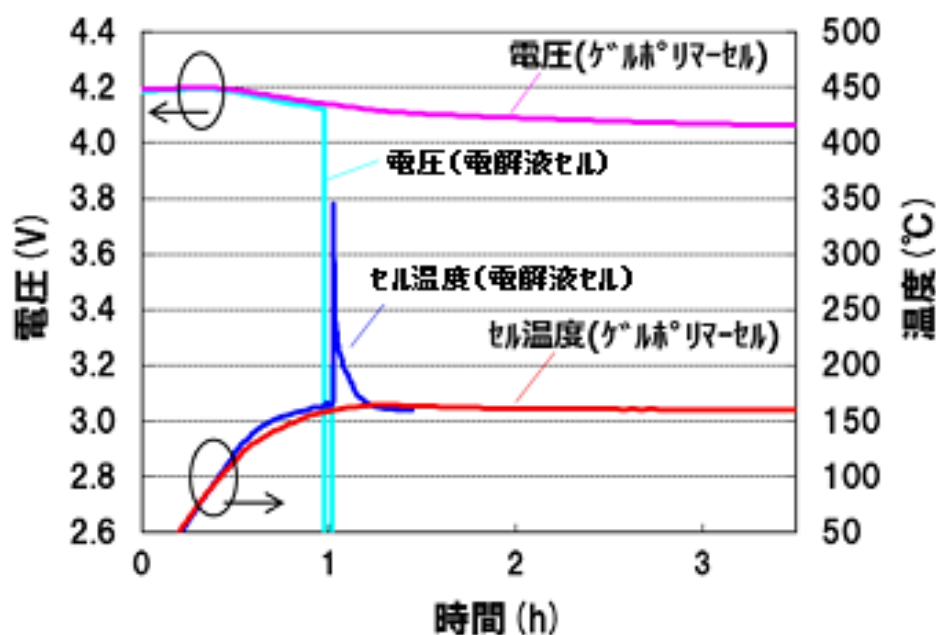
①ゲルポリマー電解質による安全性改良

通常の LIB に用いられる電解液は揮発性、可燃性を有するため、高温下や衝撃で漏液や発火が起こり易く、安全性能に改良が必要であった。そのため、電解液の代わりに揮発性、漏液性が低いゲルポリマー電解質を用いることで安全性能の向上を試みた。ゲルポリマーは通常の電解液に比べて粘性が高く注液し難く、また電極活物質粒子間やセパレータの細孔内部まで電解質を浸透させにくい(含浸性が悪い)ため、粘度の低いプレゲルポリマーを注液後に熱処理等の工程により架橋化反応を進行させゲル化させる工程を新規に開発した。プレゲルポリマーの注液方法と、その後の真空含浸処理を最適化することで含浸性が改善され、大型セルにおいても均一に電解質が浸透していることを確認した。

このプロセスで試作した 5Ah クラスラミネートセルを用いて加熱試験を実施した。加熱試験では、セルを満充電状態まで充電し、セルの電圧をモニターしながら所定温度まで昇温し、その温度で所定時間放置する方法で行った。その結果、表Ⅲ-10 に示すように、液セルでは 160℃で発煙・発火が見られたのに対し、ポリマーセルでは、発煙、発火、漏液は見られなかった。図Ⅲ-24 は、加熱温度が 160℃の場合のセル温度とセル電圧を液セルとポリマーセルとで比較したものであるが、液セルの場合、試験開始後約1時間後に電圧が急低下し、温度が急上昇して発火が起こっているのに対し、ポリマーセルの場合には、試験中 3 時間以上に渡り、緩やかな電圧低下が認められるのみで安定していることが分かる。これらの結果から、ゲルポリマー電解質を用いたセルは、液セルに比べ耐熱性が向上し、安全性能の面で優位であることが確認できた。

表Ⅲ-10 ゲルポリマーセルの加熱試験結果

	加熱試験結果	
	150℃	160℃
ゲルポリマーセル (開発品)	○ (発煙、発火、漏液無し)	○ (発煙、発火、漏液無し)
電解液セル (従来品)	○ (発煙、発火、漏液無し)	× (発煙、漏液有り)

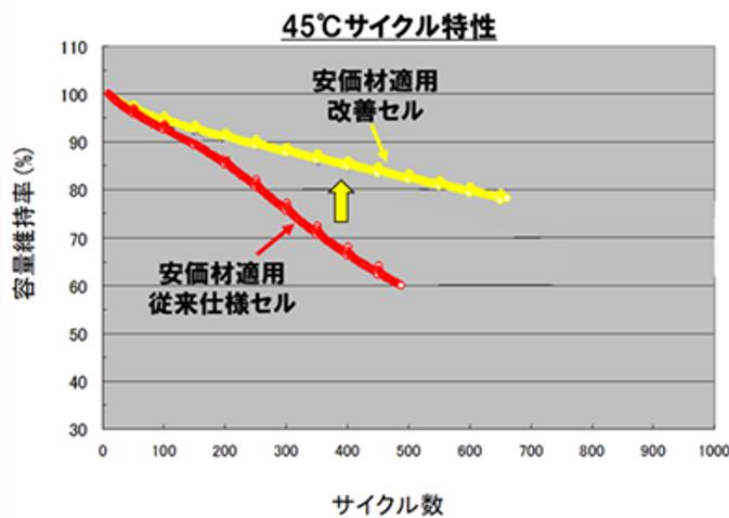


図Ⅲ-24 加熱試験における電圧・温度プロフィール

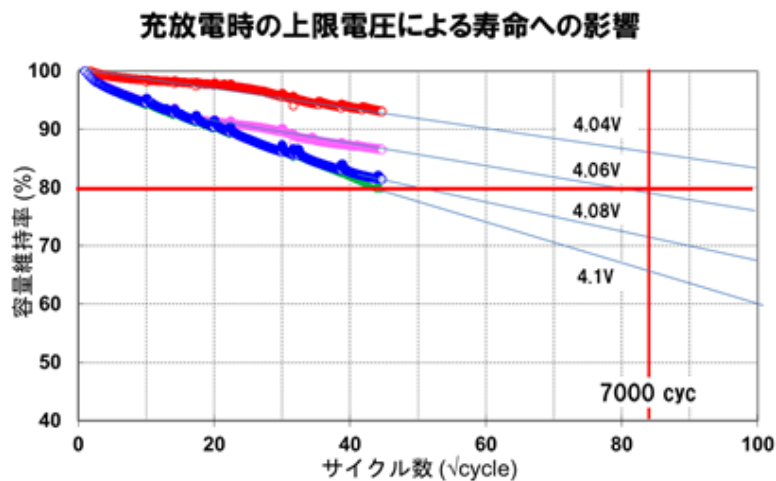
②セルの低コスト長寿命化

低コストで長寿命を有するセルを開発するため、まず目標のコスト(20,000 円/kWh 以下)を実現する材料を選定した。しかし、その低コスト材料を用いて試作したセルのサイクル特性が従来材料を用いたセルよりも悪く、目標の寿命(容量維持率 80%@7000cycle)を達成できないことが分かったため、次に示す方法で改善を図った。

まず、正極材料の組成を最適化し、さらに電極抵抗を低減する方策をとることで、サイクル特性の改善を図った。その結果、図Ⅲ-25 に示すように、500 サイクルの容量維持率が 60%から 80%以上まで改善した。また、負極のスラリー作製スキームを従来の NMP を用いた方法から水系のものに変更し、さらにレシピの変更を行い、初期容量として 8%の改善を図った。さらに、劣化解析から、正極活物質中に存在する LiOH がサイクル寿命を悪化させていることが明らかとなったため、それを低減した材料を用いることにより、800 サイクルの容量維持率を 80%まで改善した。



図Ⅲ-25 正極組成の最適化による安価材料適用セルのサイクル特性改善



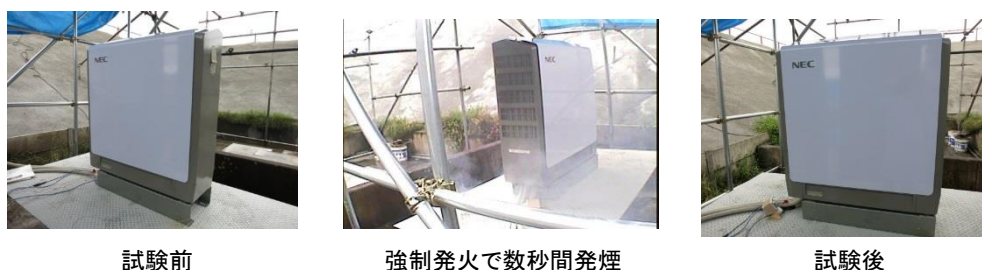
図Ⅲ-26 充放電時の上限電圧のサイクル特性への影響

前記の対策を施し、実用化レベルの 7Ah 級のセルを試作してサイクル特性を評価したところ、サイクル特性は充放電時の上限電圧に依存するが、適当な上限電圧を設定することで、目標のサイクル特性を達成可能であることが分かった。つまり、図Ⅲ-26 に示すように、上限電圧を 4.06V とすることで、7,000 サイクル後の容量維持率として 80%、上限電圧 4.04V では 86%を達成した。

③蓄電システム基本実証

家庭用蓄電システムの製品モデル(2kW/5.53kWh)に開発したゲルポリマーセルを搭載し、各種性能実証実験を行った。

まず、長期運用試験として、充放電を1日1サイクルで繰り返す運用パターンにて1年間(350 サイクル)のサイクル試験を行い、ゲルポリマーセルを搭載したシステムの方が 2.5%容量維持率が高い(容量劣化が少ない)良好な結果を得た。また、大型恒温槽内にて高温環境(30℃)及び、低温環境(5℃、0℃、-2.5℃)でのサイクル試験を実施したところ、高温環境ではゲルポリマーセル搭載システムが 0.7%容量維持率が高く、低温環境では従来の液セル搭載システムとの差がほとんど見られない良好な結果を得た。さらに、図Ⅲ-27 に示すように、安全性試験として、電池工業規格(SBAS1101)準拠の耐類焼試験を行った。判定基準はひとつのセルを過充電によって強制的に発火させた場合に、電池システム外装からの発火、破裂が無いことである。今回は、電解質を強制的に漏洩させ、引火しやすい厳しい環境下で試験を行ったにもかかわらず、発火セルから他のセルへの類焼は起こらず、安全性能が高いことが実証された。



図Ⅲ-27 ゲルポリマーセルを搭載した小型蓄電システムの耐類焼試験

上記の性能実証実験と並行して、余剰電力貯蔵用途として大規模化した場合の要求仕様に対応するため、高電圧/大容量化(並列拡張)されたバッテリーモジュールに対応可能な BMU プラットフォームの基本設計と機能検証を行った。具体的には、セルバランス補正機能の改善、セル電圧監視機能の高電圧化(192セル 800V 相当)、電池ストリングの並列化(96 直列セルを 3 並列接続)の検討を行った。

さらに、分散電源大量導入により、系統電力と負荷の不均衡事象が予期せぬ形で発生した際の瞬時電圧低下に対応するための高速応答可能なインバーターを設計、試作し、負荷を急変させた場合の応答時間が目標とする高速応答レベル(msec レベル)であることを確認した。

1. 6 「次世代フライホイール蓄電システムの開発」

(鉄道総研、クボテック、古河電工、ミラプロ、山梨県企業局)

本テーマは、平成 24 年度～平成 27 年度の 4 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、軽量、強靱な大径CFRPロータの製造技術、高い浮上特性を有する超電導磁気軸受技術等を開発し、世界最大級の大容量フライホイール蓄電システムを完成させ、系統連系試験から太陽光発電出力の平滑化に有効であることを実証することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- ・CFRP 素材のロータの生産技術と、超電導磁気軸受、高性能発電機の開発技術を組合せ、容量 10kWh 規模のシステム、それを基に 300kWh 級のシステム開発を行う。貯蔵エネルギー向上を CFRP フライホイールロータの枚数を増やすことにより変えられるシステム構成を採用し、着実かつ効率的に開発を進める。
- ・最終目標の 300kWh 級システムを 10 台程度設置することにより、想定定格値(10,000kW、20 分容量は総容量 3,300kWh)に近づける。
- ・蓄電システムには画像処理、センサー、映像ネットワーク技術を高度化したモニタリングシステムを備え、遠隔地からでも安全、確実にコントロール可能な系統安定化システムを実現する。
- ・完成した 300kWh 級システムを山梨県米倉山のメガソーラサイトへ設置し、系統連系実証試験を行う。

[中間目標](平成 25 年度末)

- ・円形螺旋織物を使用した CFRP 素材の大径フライホイール(～直径 2m)用の織機を製作し、耐久性の高い大径フライホイールロータ(直径 2m)の設計製作を行う。
- ・小径用の織機での円形螺旋織物を試作し、樹脂加工、強度試験(周速 630m/s の回転安全性試験、ロータ破壊時の真空容器安全性実証試験)を実施し、大径フライホイールロータの性能予測と、回転試験に必要なデータを収集する。
- ・電磁力シミュレーションにより、300kWh のエネルギー貯蔵に必要な 9 トンのフライホイールロータを支持できる超電導磁気軸受の、超電導バルク体および超電導コイル巻線断面の寸法形状・配置を設計する。あわせてこの超電導磁気軸受の軸受特性(発生力・軸方向バネ定数・径方向バネ定数)の設計値を得る。
- ・希土類系高温超電導線材を使用して、軸受使用に向けた、真円度の高い超電導コイル(パンケーキコイル1対)を試作し、装置の冷凍コストを低減するために高温(20K～50K)で動作可能な超電導コイルについて、所期の磁場および電磁力が発生できることを確認する。

本テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-11 に示す。

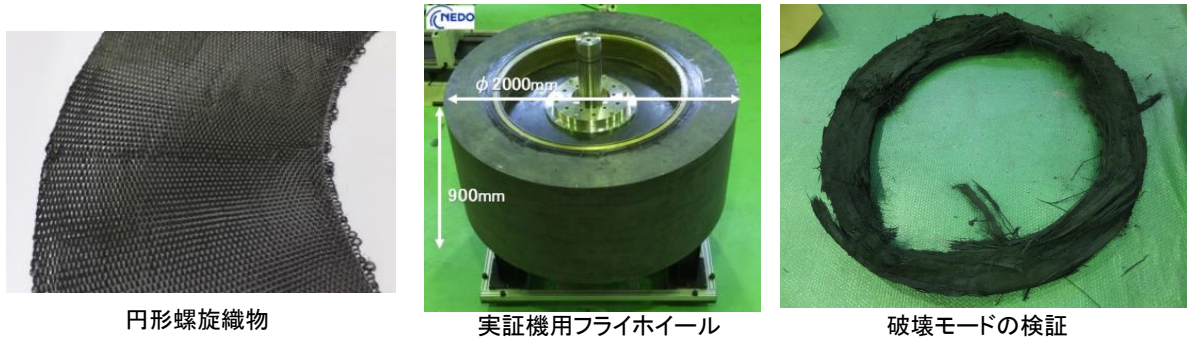
表Ⅲ-11 開発成果と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
(a) フライホイールロータの開発	直径 2 m	円形螺旋織機で炭素繊維を織り、さらに樹脂形成し、強度を増すことで、世界最大直径 2 m の CFRP ロータ製作に成功。	○
(b) フライホイールロータの回転安全性確認	回転時周速 630 m/s	直径 0.4 m のロータを用いた回転試験により周速 785m/s を達成。直径 1.2 m のロータを用いた破壊試験により安全性を確認	○
(c) 高温超電導磁気軸受の開発	浮上力 40 kN	米倉山実証機で浮上力 40 kN を実証、信頼性試験後、高性能線材コイルを一部導入した試験で浮上力 98 kN を実証。繰り返し励消磁および冷却昇温試験を実施し、期待寿命 20 年以上の信頼性・耐久性を確認。	◎
(d) 安全かつ安価な真空容器の開発	周速 630 m/s でロータが破壊しても安全	ロータが破壊しても容器の破損による外部への影響がないことを実証	○
(e) 次世代フライホイール蓄電システム実証機の完成	米倉山太陽光発電所用の次世代フライホイール蓄電システムとしての基本性能確認	米倉山太陽光発電所にて、次世代フライホイール蓄電システム実証機を完成。高回転で回転軸振動が発生し、目標最高回転数毎分 6,000 回転に対して、事業期間内には毎分約 3,000 回転にとどまったが、目標最高出力 300 kW は確認。	△
(f) 太陽光発電所との系統連系	太陽光発電出力の平滑化に有効	系統連系制御システムを製作し、実証試験用太陽光発電所との組み合わせによる系統連系試験で有効性を実証。充放電効率 92% (PCS 含まず)、87% (PCS 含む)を確認。	○
(g) 低コストシステムの確認	7 万円/kW 以下	CFRP ロータの製作工程の改良等を盛り込み、1MW 低コスト機のコスト試算から、7 万円/kW を確認	○

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

①CFRP フライホイールの開発

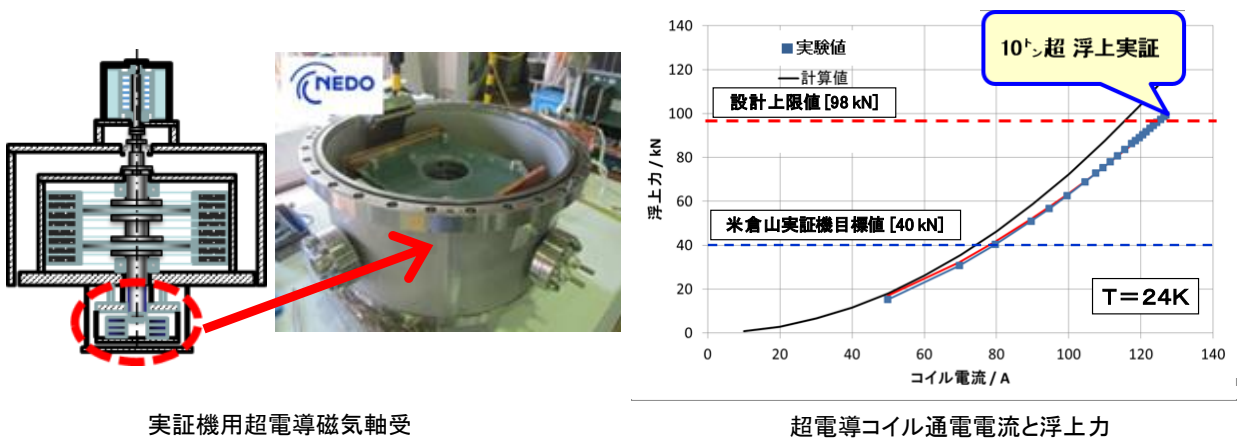
円形螺旋織機で炭素繊維を織り、樹脂形成し、更にそれを積層することによる、低コスト・高強度の大径フライホイール製造技術を開発した。専用に作製した回転試験機を用いた破壊テストから、円周方向と半径方向に炭素繊維が入り高強度であるが、万が一バーストした場合には粉々に破壊し、金属製フライホイールのような大きな塊で飛散することは無いことを確認した。



図Ⅲ-28 CFRP フライホイール

②超電導磁気軸受の開発

超電導バルクと超電導コイルからなる超電導磁気軸受を開発した。浮上力試験から、5層構造の超電導コイルの上側2層により高性能の線材製コイルを用いることで、設計上限の10トンの浮上力が得られることが確認できた。この結果から、この超電導磁気軸受は、100kWhの実証機よりさらに大型の最終目標とした300kWh級蓄電システムまで適用が可能であることが分かった。同等の浮上力を常電導コイルで得るには、コイル断面積は約100倍必要と見積もられ、磁束密度等の観点からほぼ不可能である。

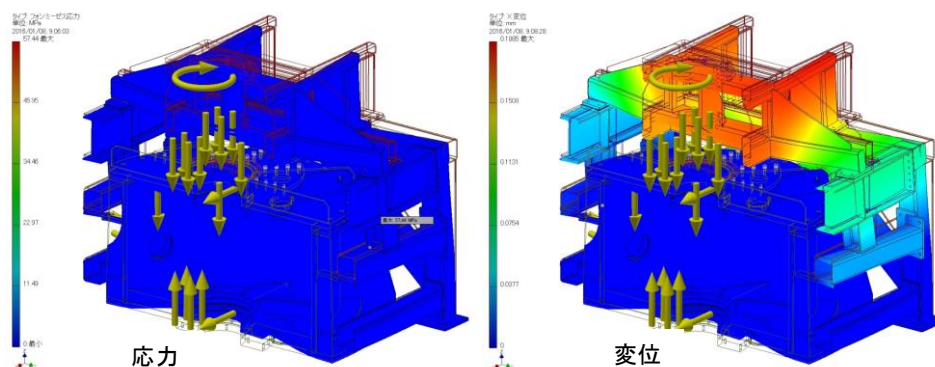


図Ⅲ-29 超電導磁気軸受

③安全かつ安価な真空容器の開発

フライホイールのロータがバーストしても容器の破損による外部への影響がなく、かつ構造やステンレスの板厚などにより低コストに抑える真空容器の開発を行った。

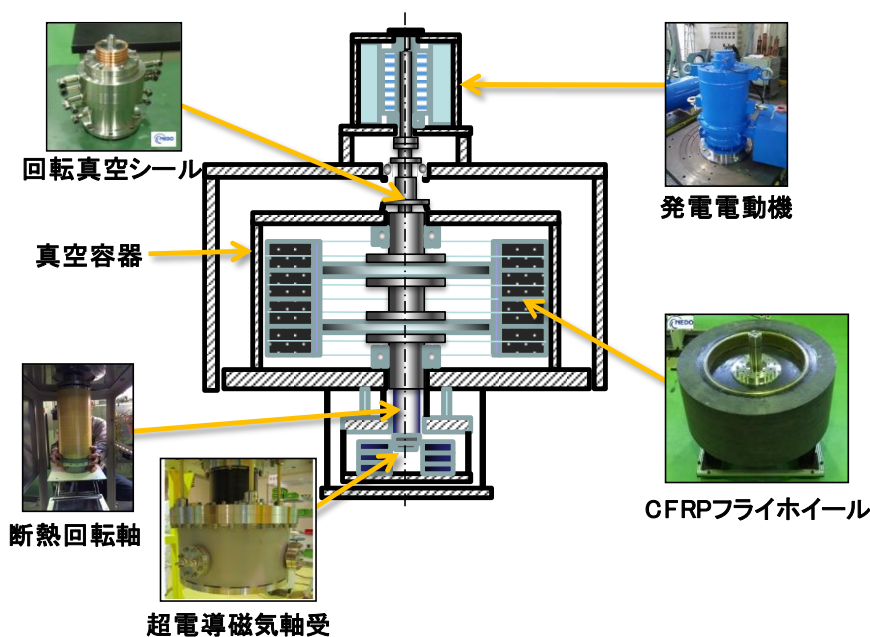
ロータ回転衝突時の安全性確保のために、CFRP ロータアンバランス時の振れ周りによって発生する応力を解析し、ステンレスの板厚を変えた場合の弾性限界から板厚 50mmを選定し、実証機に採用した。また、耐震性能としては、東日本大震災の地震規模を考慮して震度 7 を想定し、構造強度設計を行った。震度 7 の地震が作用した場合の応力および変位解析の結果を図Ⅲ-30 示す。真空容器の弾性限界レベルは、この変位に対して 3 倍の安全率を確保する設計を行った。このように安全性を確保した仕様は、製作及び輸送が過剰とならず、一般的な製造工程や加工機器によって実現可能であり、低コストでの製作に見通しが得られた。



図Ⅲ-30 真空容器の地震時の解析結果(震度7想定)

④実証機の開発

実証機の構造を図Ⅲ-31 に示す。実証機の各要素部品は、個別に目標仕様に対する性能確認を行い、表Ⅲ-12 に示すように全ての要素部品が目標仕様をクリアしていることを確認した。



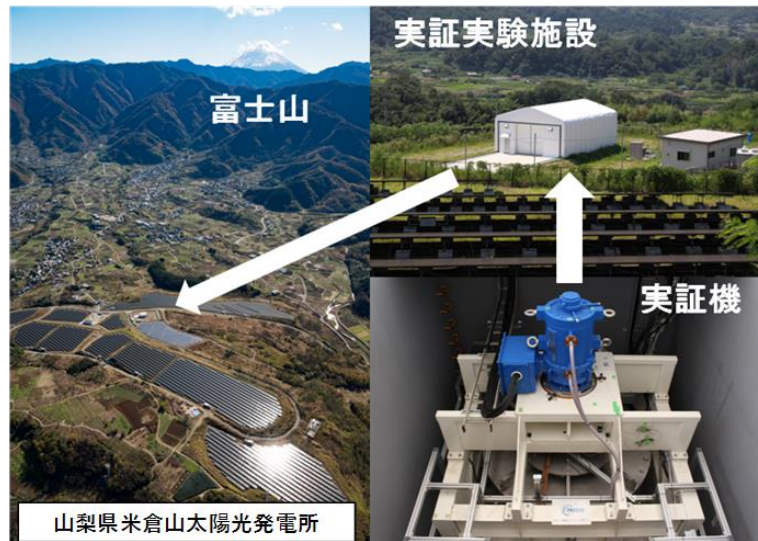
図Ⅲ-31 実証機の構造

表Ⅲ-12 各要素部品と実証機の目標仕様と結果

項目		目標	結果
要素部品仕様	CFRPフライホイール	直径2m、質量3300kg	直径2m、質量3300kg
	超電導磁気軸受	浮上力40 kN	浮上力98 kN(単体試験)
	発電電動機	出力300kW、回転数6000rpm	出力330kW、回転数6400rpm
	回転真空シール	回転数6000rpm	回転数7000rpm
	断熱回転軸	回転数6000rpm	回転数7200rpm
実証機	出力	300kW	305kW
	回転数(容量)	6000rpm(100kWh)	3018rpm(25kWh)

⑤実証試験

性能確認後の要素部品を用い実証機を組み立て、山梨県米倉山実証試験用太陽光発電所(出力1,002kW)に設置し、系統連系試験を実施した。図Ⅲ-32には、発電所の実証実験施設と実証機外観を示す。

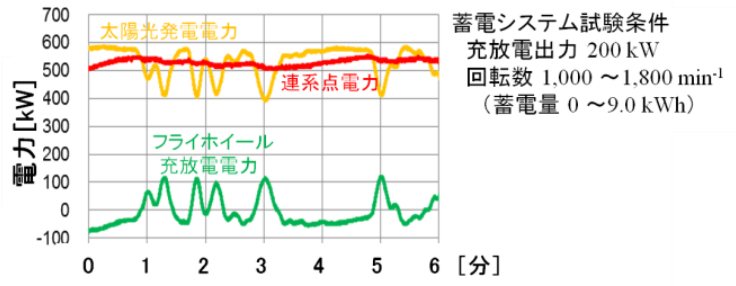


図Ⅲ-32 山梨県米倉山太陽光発電所の実証実験施設と実証機外観

系統連系試験として系統安定化連系点の電力を安定化するよう試験運転を行い、図Ⅲ-33に示すように、実証試験用太陽光発電所の出力に対して、フライホイールの充放電電力が短周期変動量を抑制する方向に周期変動を行い、連系点の電力の安定化が図られることを実証した。また、太陽光発電の出力や周期を変動させた模擬出力によっても、フライホイールの充放電電力が抑制効果を発揮することを確認した。実証機の充放電効率は、PCSを含めて87%、PCS含めず92%であった。



山梨県米倉山実証試験用太陽光発電所



系統連系試験結果

太陽光発電の出力変動平滑化結果

図Ⅲ-33 超電導フライホイール蓄電システムの実証試験結果

実証機の回転数向上試験において、高回転で回転軸振動が発生し、最高回転数(容量)は目標である 6,000rpm(100kWh)に対して、事業期間内には約 3,000rpm(25kWh)にとどまった。バランス修正後も振動が発生することから回転軸構成上の問題があると推定し、振動モードの精査により、回転軸短縮により改善出来る見通しを得た。一方、出力は 2,500rpm 以上で 300 kW を発電できることを確認した。

1.7 「短周期周波数変動補償のための

ネットワーク型フライホイール蓄電システムの開発」

(サンケン電気)

本テーマは、平成 23 年度～平成 25 年度の 3 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、1kWh クラスの小容量フライホイール蓄電システムと、ネットワークにより最大 4,000 台のフライホイールを接続可能な監視・制御システムを、汎用部品をできる限り採用して低コストで設計し、接続台数により装置容量の柔軟性の高い蓄電システムを開発することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 25 年度末)

フライホイール形状の設計、ピボット軸の設計、電動機設計を行い、それらを用いた 2 次試作装置の制作を行い、最終目標値を得る。

[中間目標](平成 24 年度末)

下記の開発ポイントについて結論を得ることを目標とした。

(a) フライホイールの低損失化技術の開発(フライホイール形状)

どのようなフライホイール形状が良いのか

(b) フライホイールの低損失化技術の開発(軸受け)

どのような軸受けがよいのか、ピボット軸は使えるのか

(c) フライホイール ED の高効率制御技術の開発

どのような種類の電動機がよいのか、安価な誘導機で効率が達成できるのか

(d) 高速通信による監視・制御技術の開発

どのような高速通信方式がシステムに使用できるのか

本テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-13に示す。

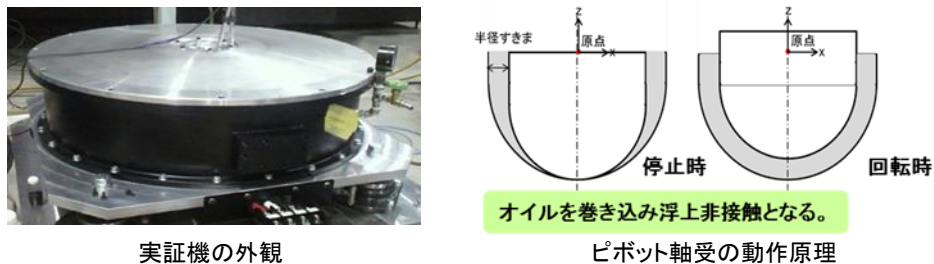
表Ⅲ-13 開発成果と達成度

開発項目		目標		成果	達成度
1. フライホイールの低損失化技術 (1) 真空維持技術と冷却技術の開発 (2) 汎用的に使える低損失軸受の開発	回転数: 10,000rpm 以下 フライホイール直径: 1m 以下		汎用部品、汎用鋼材、汎用加工機を使用できる値を考慮して、回転数 5,500rpm、直径 0.698mと最適化した。		○
	貯蔵エネルギー: 0.83kWh 以上		真空維持技術と低損失軸受を開発し、低損失化を行った結果、貯蔵エネルギー1kWhを達成した。		○
	全損失 287W 以下	機械損失 115W 以下	ピボット軸の採用等により低損失化を達成した結果、損失は112.9Wとなった。 (フライホイール風損 78.2W+軸受損 34.7W)		○
2. フライホイール ED の高効率制御技術 (1) モータの制御技術 (2) 汎用モータ設計 (3) 高速制御装置	電気損失 172W 以下		モータの高効率制御及び低損失化により、電気損失 165W(鉄損+銅損)を達成した。		○
	通信遅れ: 50msec 以下		通信方式に Ether-CAT を採用し、50msec 以下の通信遅れを達成した。		○
3. 高速通信による監視・制御 (1) セキュアで高信頼を維持できる設計 (2) 指令値伝達方式の選択 (3) 拡張性・柔軟性を考慮した標準化開発	通信遅れ: 50msec 以下		通信方式に Ether-CAT を採用し、50msec 以下の通信遅れを達成した。		○
最終目標	安全性	爆発しない		破壊モード試験により異常時でもエネルギーの自己消費を確認した。	○
	寿命	20 年以上		ピボット軸受の採用及び過去の運用実績より 20 年以上の寿命に見通しを得た。	○
	コスト	7 万円/kW 以下		1000 台/月で生産した場合 7 万円/kW 以下を達成する目論見を得た。	○
	システム開発	----		上記成果より実システムの概略見通しを得た。	○
	実証試験	----		工場の電力平準化用として 200kVA 3kWh 実証システムを構築し評価した。	○

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

①フライホイール実証機の開発

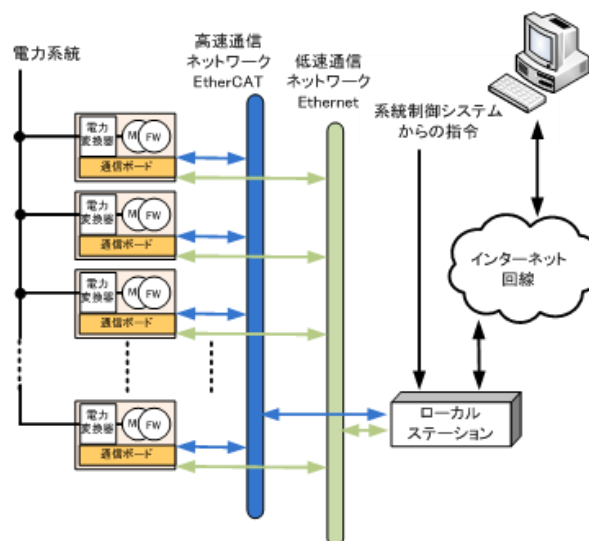
フライホイールを支える軸受には、ピボット軸を適用した。ピボット軸は、停止時は軸と軸受けは接触しているが、回転を始めるとオイルを巻き込んでオイル膜により浮上、軸と軸受けは非接触となる。そのため、①構造が簡単、②半永久的寿命、③真空中でも劣化しない、④オイルの粘性摩擦分なので低損失、という特長を持っているが、特殊用途でしか使用されておらず、設計手法、加工方法が不明であった。そこで、ピボット口径と支持可能なフライホイール重量の関係を計算式と実測値から明らかにし、蓄積エネルギー 1kWh を達成するためのピボット口径を導き出し、ピボット軸の採用に目途を付けた。これによりフライホイールの風損と合わせた機械損失 112.9W(目標 115W 以下)を達成した。このピボット軸を採用し、フライホイール直径 0.698m、定格回転数 5,500rpm、容量 1kWh の実証機を開発した。図Ⅲ-34 にピボット軸受を採用したフライホイールの外観を示す。



実証機の外観
ピボット軸受の動作原理
図Ⅲ-34 ピボット軸受を採用したフライホイール実証機

②フライホイール・ネットワーク制御システムの開発

図Ⅲ-35 に示すように、小容量フライホイール多数台を高速通信ネットワークにて統合制御するシステムを開発した。制御用通信として EtherCAT、監視用通信として Ethernet を採用し、4,000 台のフライホイールを監視する環境において EtherCAT 通信の伝送遅延の検証を行い、50ms/4,000 台にて電力指令伝送が実現可能である見通しを得た。

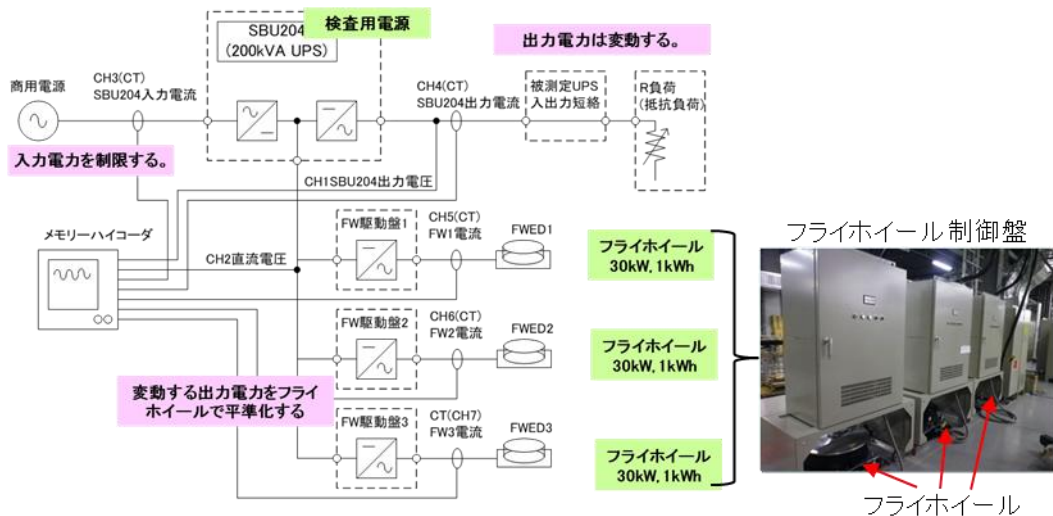


図Ⅲ-35 通信ネットワーク構成

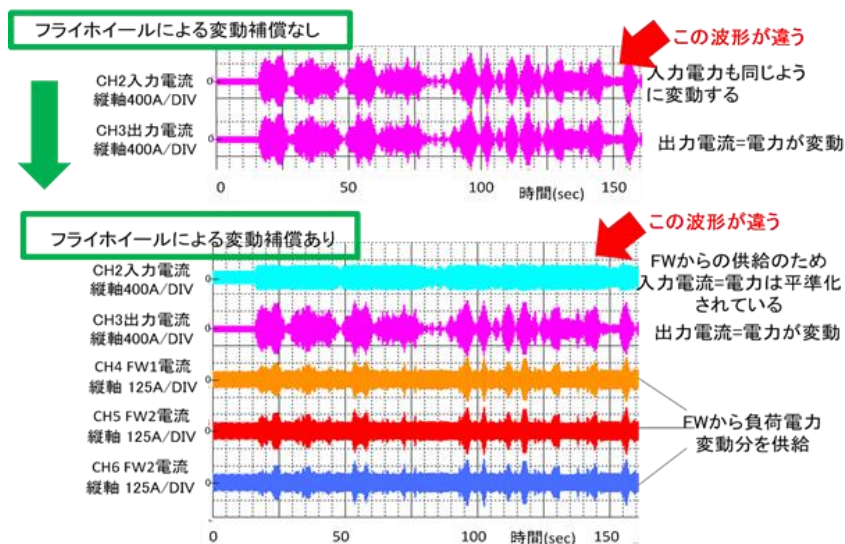
③実証試験(サンケンオプトプロダクツ工場内)

関連会社であるサンケンオプトプロダクツ内で、開発した 1kWh 級のフライホイールのフィールド試験を実施した。商用電源に系統変動を模擬できる負荷抵抗器等の機器が接続されており、商用電源と負荷抵抗器の間に 200kVA の無停電電源装置を配置し、その直流回路にインバータと組み合わせた 1kWh 級のフライホイールを 3 台接続した。無停電電源装置に電力指令を与えることにより、フライホイールより任意の有効電力を充放電できることを実験により確認することができた。

また、風力発電の電力変動を想定し、模擬負荷をランダムに変動させた模擬試験を行い、電力平準化効果を確認した。図Ⅲ-36 に実証試験の計測環境を、図Ⅲ-37 に風力発電電力変動補償の模擬試験結果を示すが、CH2 入力電流がフライホイールによって平準化されることが示されている。この結果より、本システムが電力平準化装置として有効に動作することが確認できた。



図Ⅲ-36 実証試験のシステム構成

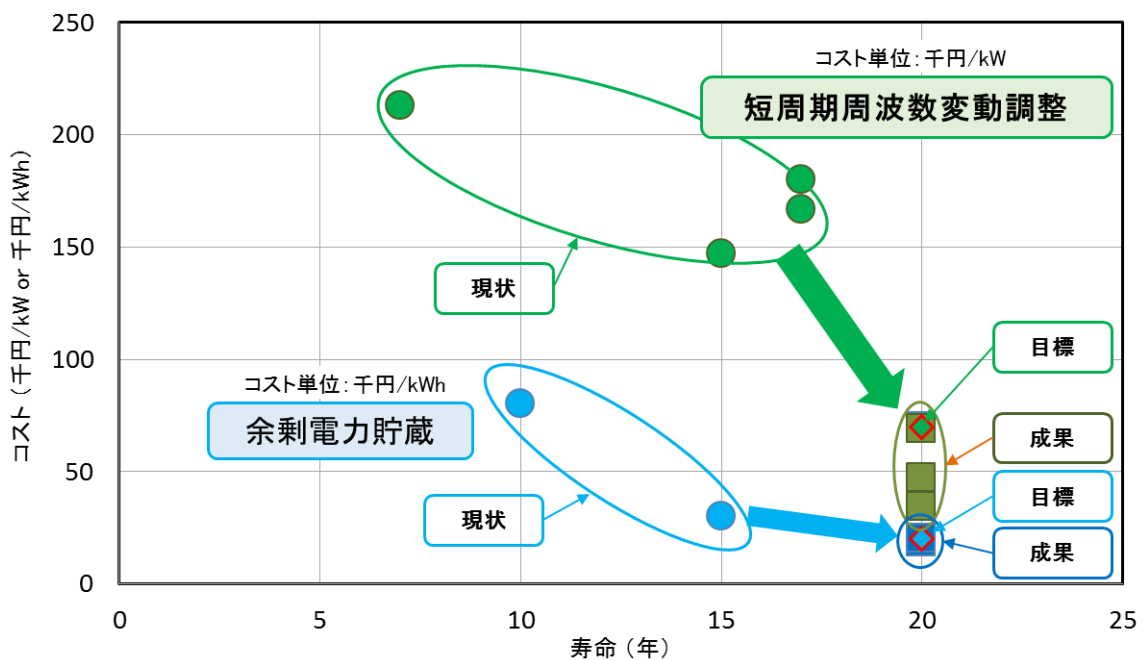


図Ⅲ-37 風力発電電力変動補償の模擬試験結果

1.8 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果のまとめ

本プロジェクトの目標は、システム効率 80%以上を前提に、PCS を除くシステムコストが余剰電力貯蔵用は 2 万円/kWh を、短周期周波数変動調整用は 7 万円/kWh を、寿命が両用途とも 20 年を、2020 年以降に達成するよう設定している。また、安全性としては、予期せぬ誤動作や内部短絡等に対してもシステムとして安全性が担保されていることとしている。

各実施者の達成コストおよび達成寿命は、図Ⅲ-38 に示すように、現状から大幅に改善し、目標を達成している。また、ある実施者の短周期周波数変動調整用システムは、目標コスト(70 千円/kWh)から更に半減近いコストを達成している。



図Ⅲ-38 本プロジェクトの達成コストと達成寿命のまとめ

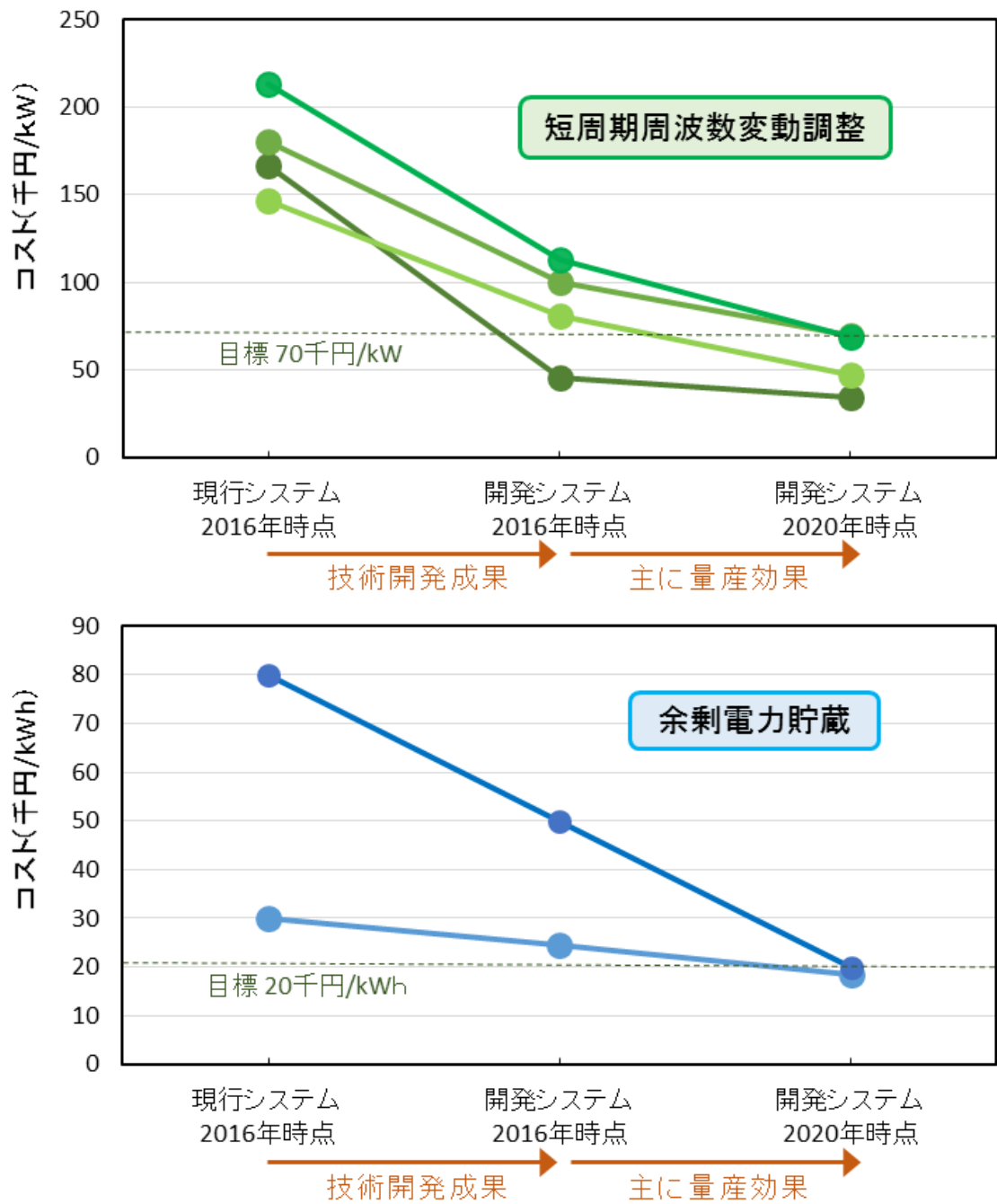
目標達成時期の 2020 年は、定置用の大規模蓄電システムの市場が本格的に立ち上がっている時期を想定しており、各実施者はある程度の生産規模を前提にして、現実的なコストを見積もっている。

NEDO は、各実施者に対して達成コスト算出の前提、内訳(セル、ラックなど)、根拠についてできる限り詳細な提示を求めた。また、本プロジェクト以前から大規模蓄電システムの事業を行っている実施者には、現行システムと本プロジェクトの開発システムのコストを同じ条件で試算し、比較することで、開発した低コスト化技術の寄与を明確にしてもらった。

各テーマのコストの成り立ちを集約した結果を図Ⅲ-39 に示す。それぞれの図には、2016 年時点の現行システム、2016 年時点の開発システム、そして 2020 年時点の開発システムのコストを示した。2016 年の現行システムのコストから同じく 2016 年の開発システムまでのコストの低下分は、本プロジェクトの低コスト化の技術開発成果の寄与であり、2016 年の開発システムのコストから 2020 年の開発システムまでのコスト低下分は、主に部品調達コストや製造コストなどの量産効果の寄与である。

実施者毎に生産量の前提が異なることもあり、量産効果の程度は異なるが、これらの結果から、2020 年のコスト目標達成に向けての低コスト化は、多くの実施者において技術開発成果の寄与に加えて、量産効果の寄与が少なからずあるといえる。量産効果による低コスト化は、売上(生産量)と表裏一体の関係に

あるために、市場が立ち上る時点でできる限り生産量を確保しておくことが、海外をはじめとする競合メーカーとのコスト競争上極めて重要となる。



図Ⅲ-39 達成コストの成り立ち

次に、各実施者が行った安全性評価の内容を表Ⅲ-14 に示す。全ての実施者が蓄電デバイス及び蓄電システムについて安全性評価を行い、所定の基準をクリアしている。

表Ⅲ-14 安全性評価のまとめ

実施者	蓄電システム	蓄電デバイスの安全性評価	蓄電システムの安全性評価
日立製作所 日立化成	鉛電池/リチウムイオンキャパシタ(LiC)のハイブリッド	LiC 安全性社内評価をクリア (IEC62133、JISC8712、UN3480、SAEJ2464、UL1642 参考) 鉛電池安全性社内評価をクリア(JISC8704 参考)	システムの各種インターロックの確認
三菱重工業	リチウムイオン電池	JIS、UL 相当の社内試験で安全性を確認済	CE マーキング認証取得済 その他 EU 規制である各種規制(REACH、WEEE 等)に対応し、FMEA 評価実施済 コンテナ内消火剤濃度解析(CFD)により、コンテナ内の発火電池の消火が可能であることを確認
東芝	リチウムイオン電池	JIS クリア	簡素構造電池盤の振動試験、落下試験 FMEA 実施
川崎重工業	ニッケル水素電池	モジュールの過充電、振動試験(JIS 準拠)、落下試験、低圧試験(UN 勧告試験 T1)をクリア	FMEA 実施
日本電気 NEC エナジーデバイス	リチウムイオン電池	ラミネートセルの液漏れ試験、加熱試験 JIS クリア	小型蓄電システムの耐熱焼試験 (電池工業会 SBA S1101 準拠)
鉄道総研 クボテック 古河電工 ミラプロ 山梨県企業局	フライホイール	CFRP ロータの破壊試験、破裂モード確認	全停電模擬時停止試験 震度 7 地震時の真空容器弾性限界解析 ロータ回転衝突時の真空容器強度解析
サンケン電気	フライホイール	最大回転数の 2 倍までのスピントテストをクリア	破壊モード確認試験(社内)

FEMA:故障モード影響度解析

また、各テーマのシステム効率の達成レベルを表Ⅲ-15に示した。システム効率の測定条件は、全テーマともPCSを含むが、補機・設置所内等を含むか否かは各テーマの実証機の実態等によって異なるので、テーマ間の厳密な比較はできないが、システムとしていずれも目標である80%以上を達成している。

表Ⅲ-15 システム効率のまとめ

実施者	蓄電システム	システム効率	測定条件等
日立製作所 日立化成	鉛電池/(LiC) のハイブリッド	81%	総合効率=放電電力量/充電電力量 =(PCS放電電力量-PCS損失-変圧器 損失-所内負荷)/(PCS充電電力量÷ PCS変換効率÷変圧器損失+所内負荷)
三菱重工業	リチウムイオン 電池	88~92%	効率[%]=PCS放電電力量÷PCS充電電 力量×100、充電率10~89% 充電セル電流50A(1C)、放電セル電流 31A~125A(0.6C~2.5C)
東芝	リチウムイオン 電池	北米機 80%以上 欧州機 88%以上	PCSを含んだ総合効率(補機損失を含む)
川崎重工業	ニッケル水素電 池	80%	総合運転効率=放電電力量/(充電電力 量+所内消費電力)×100
日本電気 NEC エナジーデ バイス	リチウムイオン 電池	84%以上	余剰電力貯蔵用(AC端充放電効率)
鉄道総研 クボテック 古河電工 ミラプロ 山梨県企業局	フライホイール	87%	実証機の片道効率は、コンバータ:97%、 インバータと発電電動機:96%。冷凍機等 の補機消費電力は300kWの充放電に対 して2~3%であり、無視できるレベル(内、 超電導磁気軸受冷却用冷凍機が1%程 度)。
サンケン電気	フライホイール	83%	双方向、変換器含む システム効率 = 放電電力量/充電電力量

2. 「共通基盤研究」の成果

2. 1 「系統安定化用蓄電池システムの劣化診断基盤技術の開発」早稲田大学

(早稲田大学)

本テーマは、平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、系統安定化用蓄電池等の運用に適応可能な劣化診断技術について、様々な蓄電池に適用できる評価手法及び評価システムの開発を行うことである。併せて、住宅用太陽光・負荷実測データに基づく電力変動プロファイル生成システムを構築することで、「系統安定化用蓄電池システム」を模した蓄電池システムの劣化診断システムの検証を行い、その実用性を明らかにすることである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

- ・容量の異なる LIB などへの応用を試み、劣化モジュール、劣化セルの推定手法を確立、セルの反応素過程の分離を実現し劣化部位の推定手法を確立及び測定装置の個体差による影響の把握を行う。
- ・モジュールを複数接続したアレイにおいても矩形波応答解析を行い、矩形波応答解析の精度の向上、劣化モジュール、劣化セルの推定手法を確立、周波数応答解析とのデータの相関付け及びセルの反応素過程の分離を実現し劣化部位の推定手法を確立する。
- ・擬似負荷プロファイルと擬似太陽光発電プロファイルを実際に複雑な波形を入力してその応答が得られるかを確認する。
- ・擬似負荷プロファイルと擬似太陽光発電プロファイルを用いて劣化試験を実施するため、複数の加速劣化試験を同時に行えるよう装置を改良する。
- ・実験プラットフォームに、実際に入力してその応答の測定結果からプラットフォームの測定精度向上をはかる。
- ・地域性などの要因に由来する負荷実測データの統計的な性質を詳細に反映した擬似負荷プロファイルを生成し、電力変動プロファイル生成のシステムへの統合を行う。
- ・生成される負荷及び太陽光発電の擬似プロファイルと合わせて風力由来の擬似発電プロファイルの生成手法を確立し、これらを用いて様々な系統構成における蓄電池配置箇所、即ち地域性の異なる充放電プロファイルの生成手法を開発する。また、それらを統合することで、風力・住宅用太陽光・負荷実測データに基づく電力変動プロファイル生成システムを構築し、実験プラットフォームや劣化診断技術の開発で利用可能な電力変動データベースを作成する。
- ・開発した実験プラットフォーム用いて、開発した電力変動プロファイルを元に蓄電池システムを運用し、大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発で確立させた蓄電池状態把握システムの運用を行う。開発した劣化診断技術を用いた蓄電池システムを様々な LIB を用いて検証し、蓄電池劣化診断システムの効果と実用性を明らかにする。さらに、地域差を実現した電力変動プロファイルから、各地でのシステムの検証を模擬的に行う。
- ・大容量の市販 LIB からなる約 100kW の定置用蓄電池システムを設置し、劣化診断システムの検証に必要な状態把握技術の検証を行い、運用中の蓄電池システムでの状態把握技術とシミュレーションによる系統電力変動プロファイルによる劣化診断技術を併せることで、様々な状況での劣化診断技術効果と実用性を明らかにする。

[中間目標](平成 25 年度末)

- ・実用されている大容量 LIB 単セルにおいて、周波数応答解析が可能な条件を決定する。また、セルの加速劣化試験条件を決定する。セル及びモジュールにおいて、周波数応答解析を行い、反応素過程の分離及び劣化部位の推定の可能性を示す。
- ・市販の大容量 LIB 単セルにおいて、過渡応答解析が可能な条件を決定する。また、セルの加速劣化試験条件を決定する。セル及びモジュールにおいて、過渡応答解析が可能なことを示す。得られた成果を矩形波応答解析へ発展させる。
- ・過渡応答を正弦波の重畳した矩形波としてとらえ、過渡応答を発展させた矩形波応答により周波数応答解析が可能な手法を開発する。LIB 単セル及び LIB モジュールにおいて、矩形波応答解析を行い、反応素過程の分離及び劣化部位の推定の可能性を示す。また、矩形波応答解析のみで電池内部の評価ができることを示す。
- ・モジュールを評価できる実験プラットフォームの仕様を決定し、設計、機器類の導入を完了する。LIB 単セル及びモジュールを複数設置し、充放電動作、孤立パルス波の印加、応答波形の測定、周波数応答測定、加速劣化運転動作等の動作確認を行い、立ち上げを完了する。
- ・500 軒規模の負荷実測データにおいて欠測データの補間を行い、クラスタリングを行うことで各クラスターの統計的特徴を分析する。また、年間を通しての欠損を補間した連続データ群を劣化診断技術の開発に利用可能なデータ形式にする。
- ・500 軒規模の太陽光発電実測データにおいて欠測データの補間を行い、統計的・空間的特徴を分析する。また、年間を通しての欠損を補完した連続データ群を劣化診断技術の開発に利用可能なデータ形式にする。
- ・電力潮流計算に基づいて電力ネットワーク上の蓄電池配置箇所単位での短周期変動プロファイルを算出する手法を開発し、開発環境の妥当性を検証する。
- ・開発した短周期変動プロファイルを実際実験プラットフォーム開発で開発した蓄電システムに入力を行い、運用波とその応答が測定可能なことを示す。
- ・電力変動プロファイルを用いた蓄電池劣化診断システムの検証を行うために必要な運用条件を抽出する。

本テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-16 に示す。

表Ⅲ-16 開発成果と達成度

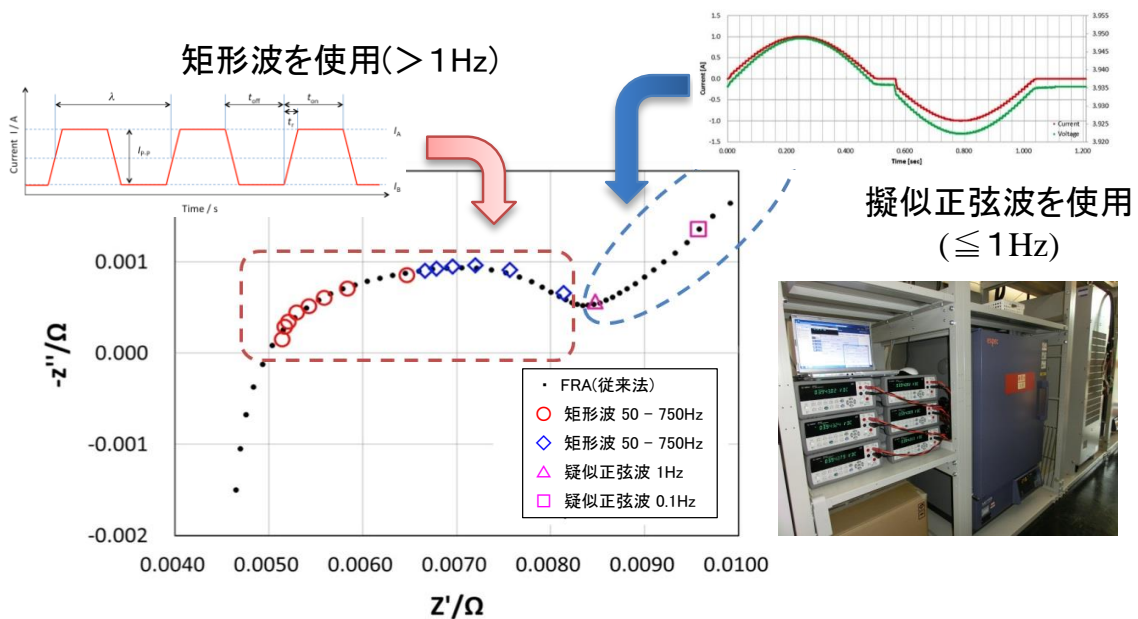
開発項目	目標	成果	達成度
(a) 大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 大型 LIB 解析において、周波数応答解析装置(FRA)を使用しない安価なシステムで、高価なシステムを使用したときと同等の周波数応答を得る。 一般的な周波数応答装置を用い、大型蓄電池の劣化部位の推定手法の道筋をつける。 	<ul style="list-style-type: none"> 周波数応答解析装置を使用せず、過渡応答を正弦波の重畳した矩形波としてとらえ、これを発展させた矩形波応答により周波数応答解析が可能な矩形波インピーダンス法を開発した。また、一般的な周波数応答装置と比較して、1%未満の誤差範囲で計測可能とした。 劣化させた大型蓄電池のセル・モジュールを用いて、周波数応答解析を行い、劣化部位の推定が可能であることが分かった。さらに、矩形波インピーダンス法でも同様の結果が得られることを確認したうえ、加速劣化試験による劣化部位推定を行い、加速劣化試験の妥当性を証明した。 	◎
(b) 劣化診断測定が可能な実験プラットフォームの開発	<ul style="list-style-type: none"> LIB単セル及びアレイにおいて、安価なシステムで周波数応答を得るシステムを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> 矩形波インピーダンス法で劣化診断可能な、LIB 単セル及びアレイ等に対応した安価な周波数応答システムを構築。 人為的に作成した不良モジュールを構築したシステムで測定。不良に相当するインピーダンスの変化を確認し、システムの有用性を証明した。 	○
(c) 電力変動プロファイル生成システムの構築	<ul style="list-style-type: none"> 実際の家庭負荷、太陽光発電プロファイルに基づき、様々な条件の下での尤もらしい擬似プロファイルを作成する。 実際の電力系統上の任意の蓄電池配置箇所において想定される電力変動プロファイルを潮流計算によって作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> 実際の家庭負荷、太陽光、風力発電プロファイル等の生データにおける欠損を Dynamic Time Warping距離基準のデータ間類似度に基づき、補完し、実データをデータベース化した。このデータベースのクラスタ解析を行い、様々な条件の下での尤もらしい擬似プロファイルの生成技術を開発し、生成を実施した。 実際の電力系統上の任意の蓄電池配置箇所において想定される地域性の異なる電力変動プロファイルを電力潮流計算によって導出した。 	◎
(d) 電力変動プロファイルを用いた劣化診断技術の検証	<ul style="list-style-type: none"> 実験プラットフォームを用いて、電力変動システムを用いた実験プラットフォームを運用する。 内製セルを用い、劣化部位の特定をする。 10kW 級の LIB を有する実験プラットフォームを用いて、成果を実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> LIB 単セル(市販セル及び内製セル)の実験プラットフォームを用いて、(c)開発の電力変動プロファイルを用いた実験プラットフォームの運用し、運用中及び準定常状態でのインピーダンス取得を実証した。さらに取得データから劣化部位の推定まで行えることが可能となった。 100kW級の実験プラットフォームを構築し、11kWhの蓄電池キュービクル及び1.1kWhのモジュールの運用中及び準定常状態でのインピーダンス取得を実証し、電池の状態が判断可能となった。 	◎

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

(a)大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発

蓄電池の充放電を司るパワーコントローラで電流の正負反転により形成される矩形波の電流－電圧応答を活用し、FFT Analyzer により状態解析することで、高価な周波数応答解析装置(FRA)を使用しないシステムを構築した。図Ⅲ-40 に示すように、LIB 単セル(3.7 V、5 Ah)において、周波数応答解析装置を使用する通常のインピーダンス法と同等レベルの周波数応答を得ることが可能となった。

また、矩形波を用いて合成した擬似正弦波を組み合わせて用いることで、幅広い周波数応答領域の測定を実現し、通常のインピーダンス法と同様に、LIB 内部状態を評価するための等価回路を用いたフィッティング解析が可能であることが分かった。

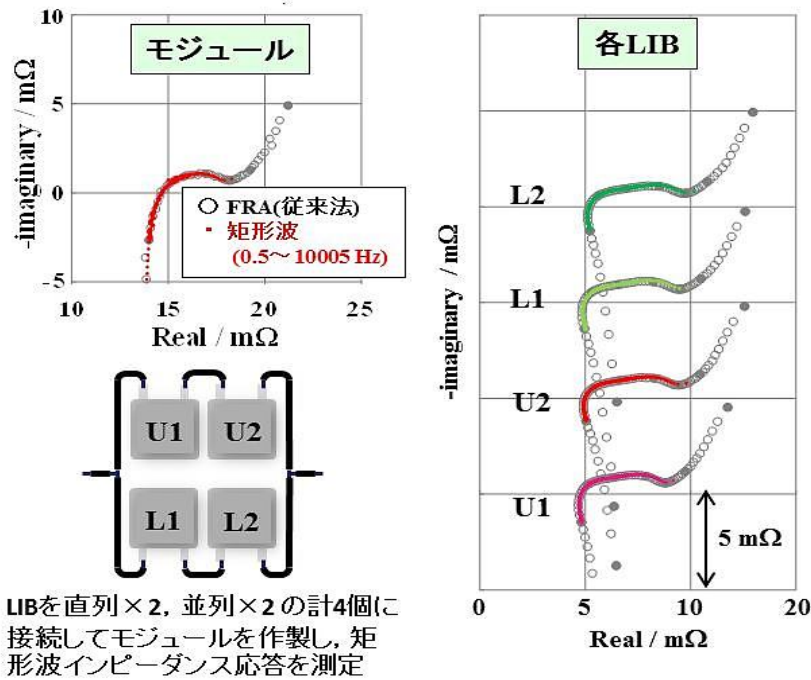


図Ⅲ-40 矩形波インピーダンス測定装置外観と測定例

(b)劣化診断測定が可能な実験プラットフォームの開発

大型蓄電池システムを模した劣化把握測定が可能な実験プラットフォームとして、LIB 単セル(3.7 V、5 Ah)を並列及び直列で複数接続可能な装置を導入し、大型充放電試験機(30V、60A)をパワーコントローラとした検討を行った。矩形波インピーダンス法の測定において、ノイズフィルタの活用することで広い周波数帯域での精度の高い測定が可能となることが分かった。

また、図Ⅲ-41 に直流電源をパワーコントローラに用いた矩形波インピーダンス応答の一例を示す。この結果から、複数の電流・電圧センサを用いて矩形波インピーダンス法により測定することで、「全体インピーダンス」と「個別インピーダンス」は、それぞれ一括でインピーダンス測定できることを実現した。

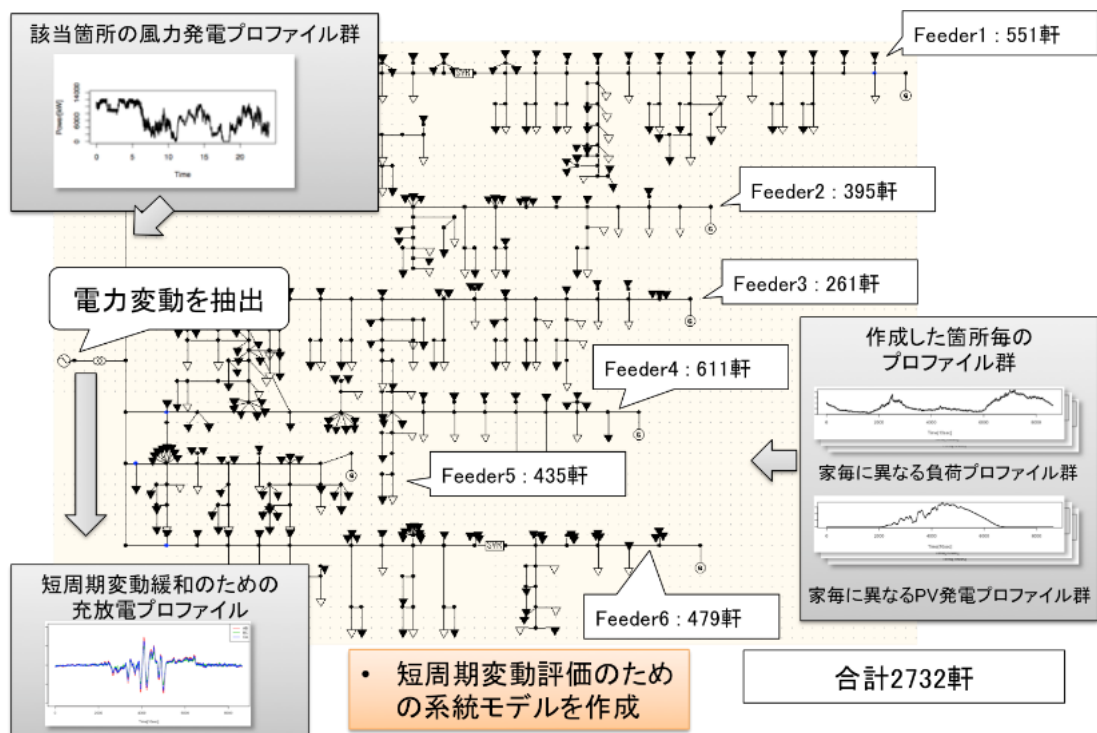


図Ⅲ-41 直流電源をパワーコントローラに用いた矩形波インピーダンス応答

(c)電力変動プロファイル生成システムの構築

500軒分以上の実際の家庭電力需要、太陽光、風力発電プロファイル等の生データとDynamic Time Warping距離基準のデータ間類似度に基づいた補完データを用いて、クラスタ解析を行うことで擬似負荷プロファイルを開発した。

また、図Ⅲ-42に示すように、配電システムのモデルを構築し、擬似プロファイル群を活用することで配電システム上の短周期電力変動緩和のために設置が想定される箇所において蓄電池が対象とする充放電プロファイルの導出を電力潮流計算に基づいて行い、電力変動プロファイル生成システムを構築した。



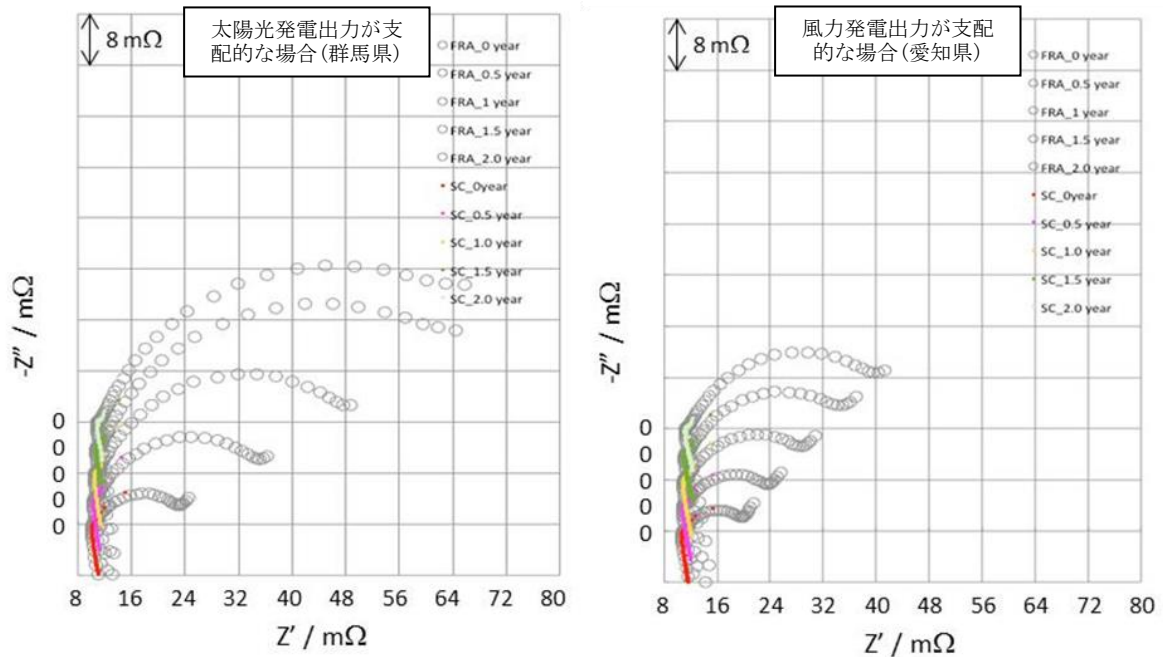
図Ⅲ-42 電力潮流計算に用いた配電システム構成

(d)電力変動プロファイルを用いた劣化診断技術の検証

図Ⅲ-43 に電力変動プロファイルを用いた運用中の LIB 単セル(3.7V、5Ah)のインピーダンス応答例を示す。PV 発電出力の変動が現状支配的な群馬県を想定した年間の電力変動プロファイルと、相対的に風力発電出力由来の変動の影響が高い愛媛県を想定した年間の電力変動プロファイルを用いた運用において、リアルタイムで劣化診断に十分なデータが得られることが分かった。また、この結果は、蓄電池の容量劣化では確認することが困難な、電池内部の詳細な劣化状態を判断可能であることも示しており、フィッティング解析を行うことで、正極材料の劣化度合いに差異があることまで確認できている。さらに、抵抗増加が見いだせていることから、蓄電池の実行容量や電力入出力値などについて、詳細なデータを得ることも可能である。

次に、実際の定置用の蓄電池を用いた劣化診断技術の検証を行った。図Ⅲ-44 に劣化診断技術検証のために構築した蓄電池システムを示す。本システムは、電力の入出力を司るパワーコントローラによる運用中の矩形波信号入力、データログシステムによる詳細なデータ取得が可能となっており、既存のシステムに大きな改造無く矩形波インピーダンス計測が可能となっている。なお、システム全体で 100kW、44kWh (20Ah LIB × 960 個)を有している。この装置を用いて、電力変動プロファイル等を用いた運用中に矩形波インピーダンス法を用いた劣化診断を行い、11kWh の蓄電池キュービクル全体、1.1kWh のキュービクル内モジュール 10 個を一括で診断可能であることを実証した。

以上から、本プロジェクトで開発した矩形波インピーダンス法及び電力変動プロファイル等の劣化診断基盤技術は大型蓄電施設へ適用可能な手法であることが示された。



図Ⅲ-43 電力変動プロファイルを用いた運用中のインピーダンス応答例



図Ⅲ-44 劣化診断技術検証のために構築した蓄電池システム

2. 2 「過渡現象を利用する大規模蓄電システムの非破壊劣化診断技術の開発」

(同志社大学)

本テーマは、平成 23 年度～平成 27 年度の 5 年計画として実施した。本テーマの開発方針は、機器稼働時の電池端子電圧と電流の時間波形(過渡応答)から、稼働状態電池の内部インピーダンスを推定する技術を用いた劣化診断法を開発し、大型系統安定化用蓄電システムへの適用を検証することである。

本テーマの最終目標と中間目標を以下に示す。

[最終目標](平成 27 年度末)

(a) 過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発

- ・リチウムイオン電池の稼働時電圧電流過渡特性から構築した電池モデルパラメータと劣化の関係から、過渡現象を利用するリチウムイオン電池劣化診断アルゴリズムを開発する。
- ・マイクロコンピュータあるいは FPGA (Field-Programmable Gate Array) を用いて安価な劣化診断装置のプロトタイプを開発する。
- ・開発したアルゴリズムを用いて、実用リチウムイオン電池の使用状況を想定した様々な劣化モードで劣化診断を行い、プロトタイプを評価し、その実用性を明らかにする。

(b) 劣化診断法の検証および適用可能な正極・負極材料の検討

- ・次世代系統安定化蓄電システムとして研究が進められている負極、正極材料を組み合わせた小型ラミネートセルを用いて、試作する劣化診断装置の適用可能性、適用範囲を検討し、その実用性を明らかにする。

[中間目標](平成 25 年度末)

(a) 過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発

- ・リチウムイオン電池の稼働時電圧電流過渡特性から電池モデルを構築する手法を開発し、大規模蓄電システムに応用可能な簡便な内部インピーダンス推定技術を確立する。更に、このインピーダンスより劣化診断パラメータを抽出して、大規模蓄電システムの劣化診断法として提案する。

(b) 劣化診断法の検証および適用可能な正極・負極材料の検討

- ・系統安定化蓄電システムとして開発が進められている大型リチウムイオン電池に用いられている代表的な負極、正極材料を組み合わせた小型ラミネートセルをモデルとして、内部インピーダンスおよびその物理化学的意味を明らかにして、過渡現象を利用する内部インピーダンス推定技術による劣化診断法の妥当性および適用可能範囲を明確にする。

本テーマの開発成果と達成度を表Ⅲ-17に示す。

表Ⅲ-17 開発成果と達成度

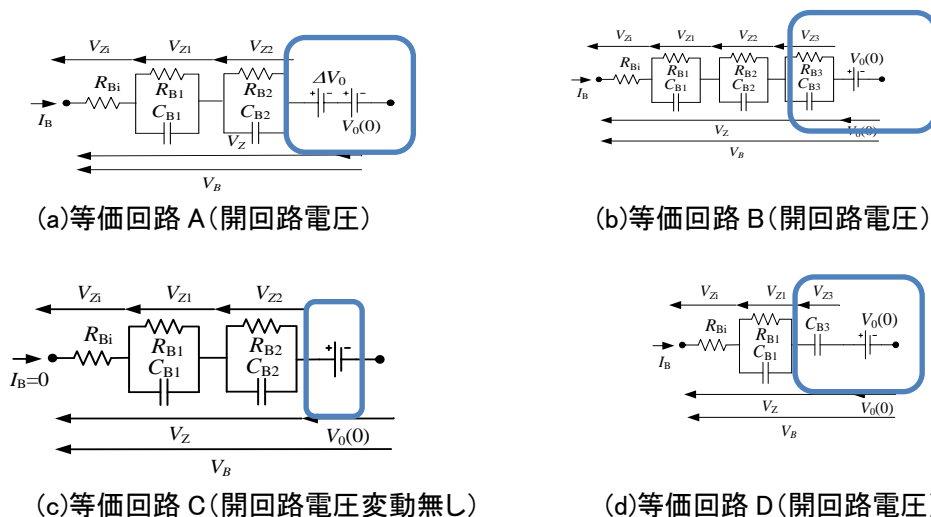
開発項目	目標	成果	達成度
(a) 過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発	・劣化診断アルゴリズムの開発	稼働時電池電圧電流の過渡現象より、電池特性既知・未知など、各種条件・用途に対応できる4種の内部インピーダンス推定アルゴリズムと容量診断法を開発した。必ずしも電池詳細データを保持しなくても、劣化診断することが可能となった。	◎
	・FPGAあるいはマイクロコンピュータを用いた安価な劣化診断装置のプロトタイプの開発	機器にも実装可能な簡易な計算法を開発し、実使用で現れる多様なデータから解析に必要なデータを抽出するソフトを実装したFPGA試作機を製作した。これに加え、組み込みシステムにも実装可能なマイコン向け簡素化によりプロトタイプを実現できた。	◎
	・実用を想定した様々な動作モードでの劣化診断実施による劣化診断法の実用性検証	太陽光発電用蓄電システムにて稼働状態での検証評価を実施した。加えて、電動バイクや電動アシスト自転車用電池、早稲田大学との共通セル等での検証を完了し、提案法の有効性を確認できた。	○
(b) 過渡応答劣化診断法の検証および適用可能な正極・負極材料の検討	・開発した劣化診断法の妥当性評価	参照極付きラミネートセルによる正・負極インピーダンスを分離同定し、劣化セルでは正極電荷移動抵抗の増大が顕著であることを見いだした。高速サンプリング法により正極電荷移動抵抗の分離ができ、劣化判定可能なことを確認できた。	○
	・内部インピーダンス評価における劣化に関わる物理化学的意味の明確化	ハーフセル加速試験による負極(黒鉛)、正極(LMO, NCA, NCM)のインピーダンス変化を評価し、負極では皮膜抵抗の増大、正極ではいずれも電荷移動抵抗の増大が主要な変化であることを確認した。	○
	・ラミネートセルによる長期サイクル試験と加速劣化試験との整合性の検証	長期サイクル試験、55℃加速試験後のセルにおいても、解析により、主要劣化要因が負極の皮膜抵抗増大、正極の電荷移動抵抗増大であることを検証し、過渡応答劣化診断法の適用が可能であることを確認した。	○

本テーマの開発成果の具体例を以下に示す。

(a) 過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発

①劣化診断アルゴリズムの開発

リチウムイオン電池の過渡応答を表現するモデル化するための図Ⅲ-45 に示す 4 つの回路 (A、B、C、D) と、それぞれによる劣化診断法を開発した。いずれの等価回路も、アルゴリズムにより、 z 変換を用いて回路定数を導出した。有理関数を得る Pade 近似法を採用することにより、モデルの次数を合理的に低減し、安定して回路モデル定数を得ることに成功した。



図Ⅲ-45 リチウムイオン電池等価回路

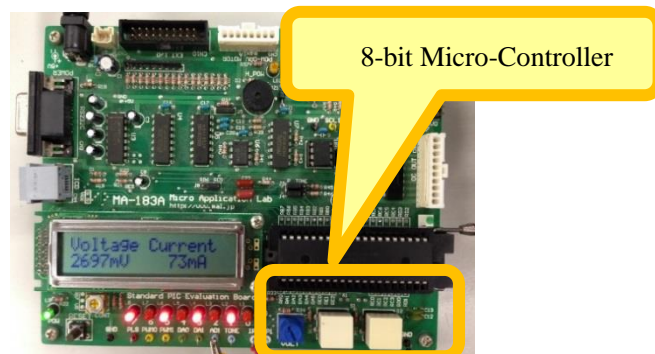
②FPGA あるいはマイクロコンピュータを用いた安価な劣化診断装置のプロトタイプの開発

開発した劣化診断アルゴリズムを搭載した劣化診断装置を構築した。等価回路 C を用いた劣化診断法を具現化した FPGA 劣化診断装置プロトタイプは、最大電圧 33V、最大電流 100A の組電池の診断が可能であると共に、18650 型電池などの単セル診断専用の電圧電流測定も可能で、同時に温度も測定するため、推定する内部インピーダンスの値の補正や適切な診断も可能である。

等価回路 D を用いた劣化診断法をマイコンに実装したプロトタイプは、使用電池により、適当な電圧・電流センサを付加することで、各種リチウムイオン電池に適用し得る。劣化診断ソフトウェアは 25kByte 未満のメモリで稼働でき、電圧・電流の測定と同時に等価回路パラメータの推定が実行できるものとした。それぞれの概観を図Ⅲ-46 に示す。



FPGA 劣化診断装置プロトタイプ (手法 C)



マイコン劣化診断装置プロトタイプ (手法 D)

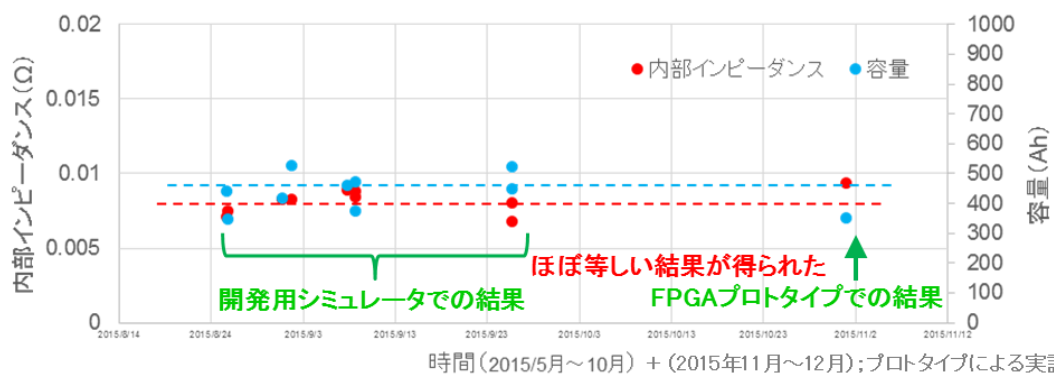
図Ⅲ-46 劣化診断装置のプロトタイプ

③実用を想定した様々な動作モードでの劣化診断実施による劣化診断法の実用性検証

開発した FPGA 劣化診断装置プロトタイプを実際に稼働している太陽光発電ハイブリッド蓄電システムに接続してフィールド検証を行った。蓄電池は東芝製 SCiB モジュール 13 直列 (27.6V×40Ah×13 直列=14.4kWh)である。図Ⅲ-47 にこのシステムを示す。得られた測定電圧波形にはノイズが重畳しているため、ソフトウェアによりこれを除去した後、一定期間充放電量が単調増加する領域を抽出し、提案劣化診断法が適用容易な波形を自動選択し、先に示した電池内部インピーダンス推定法に加え、電圧の上昇(下降)dV と充電(放電)電流積分値 dQ から、電池容量 dQ/dV を得た。電池内部インピーダンスと電池容量を推定した結果を図Ⅲ-48 に示す。同図において、前半はプロトタイプによる測定結果を用いてシミュレータにより推定した結果を、後半は推定もプロトタイプにて行った結果である。診断期間が短いが、シミュレータと実測結果は良好に一致し、また推定結果の変動もほとんど観測されないことから、本装置が安定に稼働し劣化診断ができていることが確認できた。



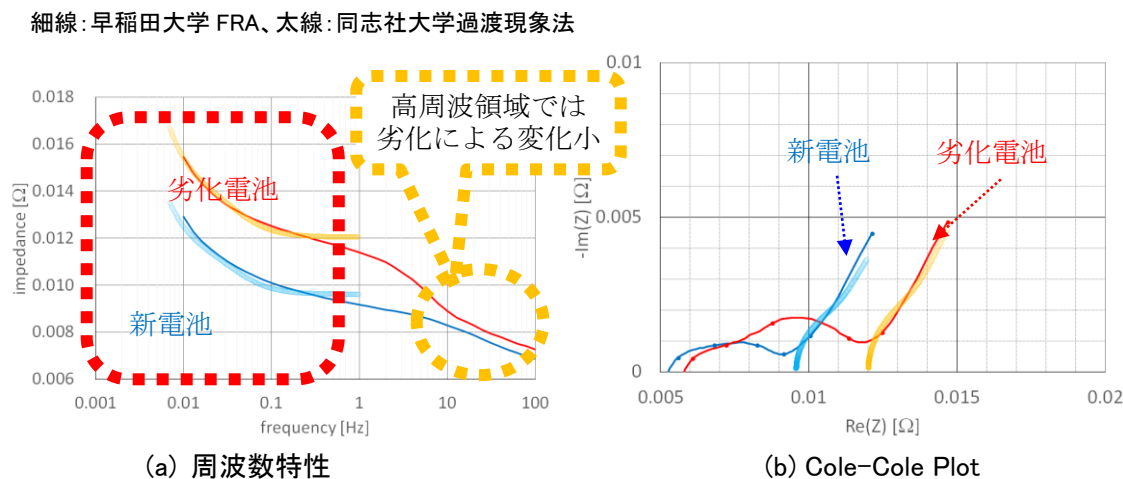
図Ⅲ-47 測定対象太陽光発電太陽光発電用蓄電池システム



図Ⅲ-48 FPGA 劣化診断装置による電池内部インピーダンスと電池容量推定結果

また、早稲田大学との 5Ah 容量の共通ラミネートセルを用いて、パルス電流により放電した際の電圧変動過渡応答から、Z 変換法により内部インピーダンスを求めた結果を図Ⅲ-49 に示す。細線は早稲田大学での周波数応答アナライザ(FRA)による結果、太線は、開発法を用いて過渡現象から推定した結果である。早稲田大学 FRA 測定結果より、劣化による内部インピーダンスの上昇は高周波領域で小であり、低周波領域で大であることがわかる。本研究で開発した診断法による結果と早稲田大学 FRA により測定した結果は良好に一致しており、周波数領域で明らかとなる劣化特性を、過渡現象から求める本開発法

によっても検出し得ることを検証できた。本手法により得られた回路定数を表Ⅲ-18 に示すが、この定数を用いて電圧変動をシミュレーションした結果は実測結果を忠実に再現したことから、求めた回路定数は十分な精度を有することを実証できた。



図Ⅲ-49 早稲田大学共通セルによる結果

表Ⅲ-18 推定回路定数

R_{Bi} [m Ω]	R_{B1} [m Ω]	R_{B2} [m Ω]	C_{B1} [kF]	C_{B2} [kF]
11.9	2.02	10.0	0.88	3.06

(b) 過渡応答劣化診断法の検証及び適用可能な正極・負極材料の検討

① 開発した劣化診断法の妥当性評価

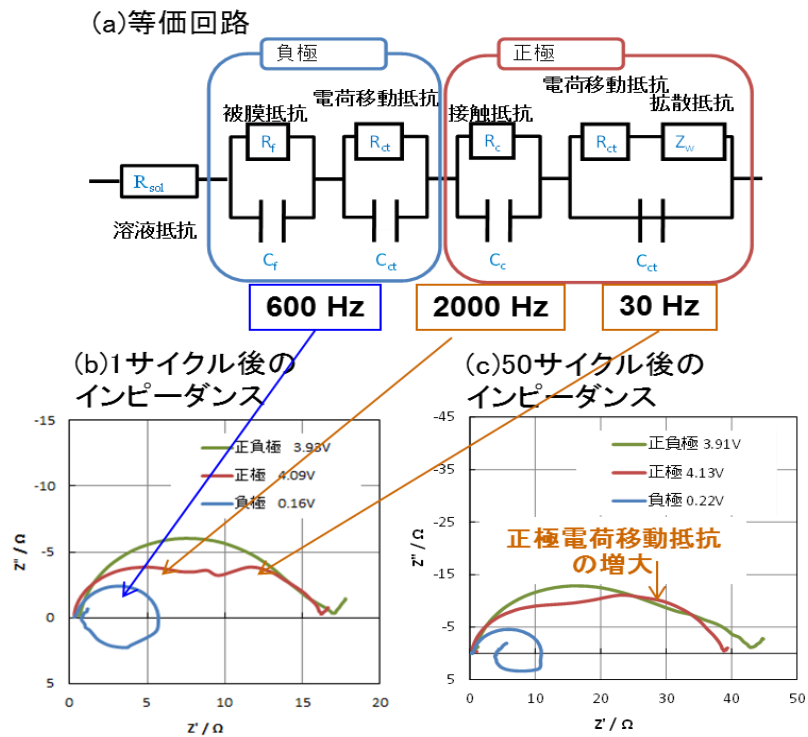
開発した劣化診断法の妥当性を評価するために、参照極付き LMO 正極/黒鉛負極ラミネートフルセルの 45°C 加速サイクル試験を行い、1 サイクル後及び 50 サイクル後のインピーダンスを FRA で解析し、正極、負極のインピーダンスに分離した。結果を図Ⅲ-50 に示す。

負極インピーダンスは特性周波数 600 Hz 付近に現れ、また正極の接触抵抗は 2,000 Hz 付近、電荷移動抵抗は 30 Hz 付近に現れることがわかる。負極、正極いずれのインピーダンスもサイクル後には増加傾向が見られるが、特に 30 Hz 付近の正極電荷移動抵抗(100~0.1 Hz)が最も顕著に増大している。同様の傾向は図Ⅲ-51 に示した早稲田大学との 5Ah 共通セルの 1,500 サイクル後の容量が 25% 低下した劣化セルでも見られており、この結果から、正極、負極のインピーダンスを分離し、詳細な劣化解析をするためには、変化の大きな正極の電荷移動抵抗(100~0.1 Hz)の変化を判定することが好ましいことがわかった。

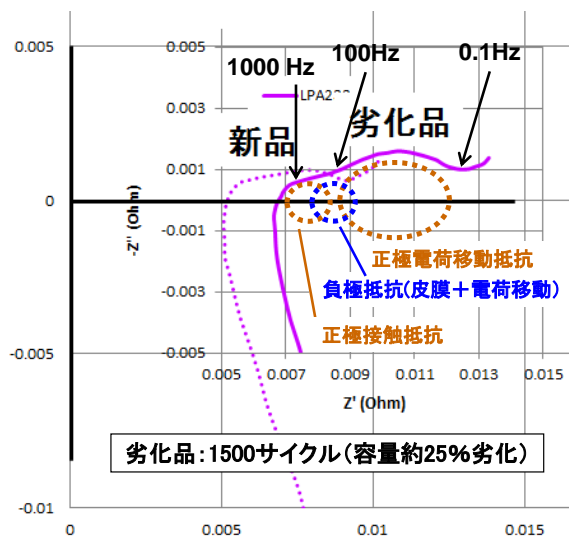
更に、過渡応答劣化診断においては、図Ⅲ-52(b)に示すように、ソフトウェア上でノイズ除去を行うことにより、5 msec の高速サンプリングでのデータ取得を可能にし、電池劣化で変化の大きな正極電荷移動抵抗が推定可能であることを確認できた。

但し、図Ⅲ-52(a)に示したサンプリング時間 1 s の過渡応答診断でも、0.5 Hz の接点から Li イオンの拡散を除く全電池全体のインピーダンス変化が求められ、全電池全体のインピーダンス変化がわかるので劣化診断法としては十分であるといえる。サンプリング速度を高めることは、劣化解析装置のコストの増加

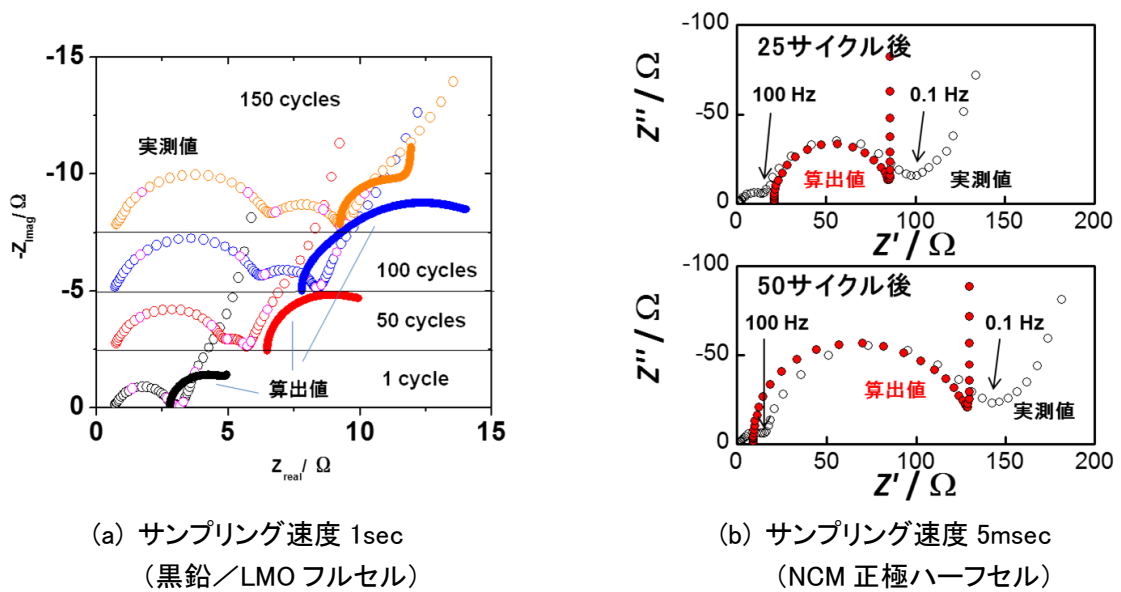
を招くため、正確な診断の必要度と装置コストの兼ね合いにより、装置系の選択をするのが良いと考えている。



図Ⅲ-50 LMO/黒鉛ラミネートフルセルの等価回路とインピーダンス変化



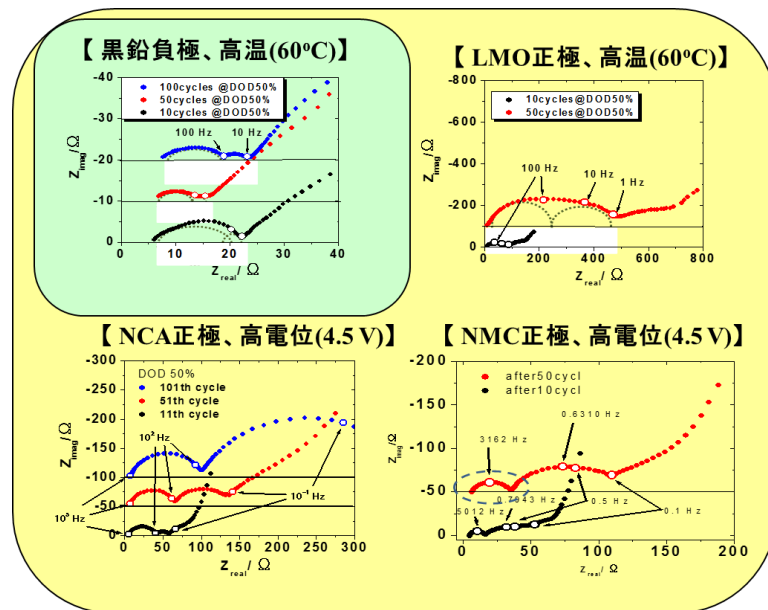
図Ⅲ-51 早稲田大学との共通セル(5Ah)のサイクル試験前後のインピーダンス変化



図Ⅲ-52 過渡応答による推定インピーダンスのサンプリング速度による違い

②内部インピーダンス評価における劣化に関わる物理化学的意味の明確化

国内電池材料メーカより負極(黒鉛)、正極(LMO, NCA, NCM)のサンプルを入手し、二極式ハーフセルで各材料の加速劣化試験を行い、インピーダンス変化を解析した。黒鉛負極、及び LMO 正極に対しては 60°Cでの高温加速試験、NCA、NCM 正極に対しては 4.5V までの高電位充電加速試験を行った。加速劣化試験前後でのインピーダンス変化を図Ⅲ-53 に示す。この結果、負極の皮膜抵抗、正極の接触抵抗、電荷移動抵抗、拡散抵抗のインピーダンス成分を持つことがわかった。黒鉛負極では、100 サイクル後は高周波数領域の皮膜抵抗が著しく増大した。また、正極材料に関しては、高温、高電位充電試験ともに、接触抵抗と電荷移動抵抗が増大する傾向が見られた。



図Ⅲ-53 正・負極材料違いのインピーダンス変化

③ラミネートセルによる長期サイクル試験と加速劣化試験との整合性の検証

LMO/黒鉛ラミネートフルセル(3 mAh)を用いて、30℃長期サイクル試験及び 55℃加速劣化試験を行い、サイクル試験中のインピーダンス変化を測定した。長期サイクル試験では負極の皮膜形成剤であるビニレンカーボネート(VC)を 3%加えた系についても調査した。その結果、いずれにおいても、主要な劣化要因は、負極での皮膜の成長と正極での電荷移動抵抗の増加であり、過渡応答劣化診断法の適用が可能ことが確認できた。

サイクル試験後に各セルを解体し、SEM-EDX 解析、蛍光X線分析、XPS 分析、LC-MS 分析などの分析手法で解析し、インピーダンス増大の原因を明らかにした。特に、正極の電荷移動抵抗の増大の原因はいくつかの原因が考えられるため、SEM-EDX 装置で、詳細な解析を行った。解体分析からは、表面無機・有機皮膜の形成、Mn 溶出に伴う表面高抵抗層の形成、粒子割れと粒界高抵抗層の生成、カーボン導電剤の表面酸化・消耗などの劣化が多かれ少なかれ検出され、複合的に劣化が進行するものと考えられる結果が得られ、高温下では、正極での導電助剤の酸化劣化が特に加速されることが明らかになった。

以上の結果から、主要劣化要因が、負極での皮膜抵抗増大と正極での電荷移動抵抗増大であれば、インピーダンスの推定に過渡応答劣化診断法の適用が可能ことを確認できた。主要劣化要因が異なる場合でも、インピーダンス変化と主要劣化要因との関連を検証することにより、基本的に過渡応答劣化診断法の適用が可能だと考えられる。

2.3 「共通基盤研究」の成果のまとめ

早稲田大学と同志社大学が開発した劣化診断技術の開発成果を、従来技術と比較した結果を表Ⅲ-19 に示す。早稲田大学が開発した矩形波インピーダンス法は、矩形波を入力し、その応答からインピーダンスを測定するものであり、同志社大学が開発した過渡現象診断法は、外部からの信号が必要なく、実際の充放電のデータから過渡現象を利用してインピーダンスを測定するものである。従来技術としては、主にインピーダンス(交流抵抗)法と直流抵抗測定法があるが、これらは、様々な周波数を入力し、その応答を解析することで抵抗測定するものである。また、抵抗成分の詳細な分離ができることから主に研究等で用いられる広域周波数での測定が可能なものと特定の抵抗のみを測定するための特定周波数を入力するものがある。直流抵抗測定法は、大きさの異なる電流をいくつか入力し、その際の電圧降下から直流抵抗を算出するものである。

早稲田大学の手法は、測定のために矩形波の入力が必要であるが、充放電のプロファイルに重畳することが可能なため、蓄電システム運転中に測定が可能である。なお、充放電プロファイルに重畳される矩形波は、システムのパワーコントローラの電力制御による電力変動を矩形波として利用でき、理想的では波形ではない矩形波入力においても測定が可能なため、小型電源ばかりでは無く大型電源においても適用可能である。また、測定精度は主に研究用途で用いられる広域周波数での測定が可能なインピーダンス測定法と同等レベルを有しながら、高価なポテンショスタットや FRA(周波数応答アナライザ)を必要としないため、コストも大きく低減できる結果となっている。また、測定する際に充放電の C レートが 1C より小さい場合、大型蓄電施設(11kWh のキュービクル, 1.1kWh モジュール×直列 10 個(240 セル))における LIB のインピーダンスの測定確度も 1%以下となり、より正確にナイキストプロットのフィッティング解析による構成成分の分離が可能となる。

一方、同志社大学の手法は、入力信号が必要なく、実際にシステムが稼働しているデータから過渡現象を利用してインピーダンスを測定できるため、早稲田大学の方法と同じく運転中の測定が可能である。また、測定精度の面では、矩形波インピーダンス法や広域周波数のインピーダンス測定法には劣るものの、特定周波数のインピーダンス法や直流抵抗測定法とは異なり、概略の抵抗成分の分離ができる。さらに、コストについては、診断用のチップを BMS に組み込むだけであるため、最も低コストで診断が可能である。

従来技術では、電池の取り外しが必要であることや電池の取り外しをせずに測定できた場合でも周波数等のある種の入力信号を必要とするため、運転を停止して測定することになる。このとき、システム全体を止める場合やシステムは運転しながら蓄電システムの一部の電池の運用を停止する場合があるが、前者は、システムの運用上は好ましくないと考えられ、後者は、停止していない電池への負荷が大きくなることや、負荷を抑える場合は、その分多くの電池の積載が必要となり、コストが高くなると考えられる。本技術によって、運転中の測定が可能となることで、こうした課題が解決されるうえ、逐次、電池の状態が把握できることは、安全に関わる蓄電池の変化も把握し易くなる。したがって、共通基盤研究の成果は、蓄電システムの安全・低コストに大きく寄与できるものと考えられる。

表Ⅲ-19 劣化診断技術のまとめ

項目	早稲田大学診断法 矩形波インピーダンス法	同志社大学 過渡現象診断法	従来法			備考	
			インピーダンス法		直流抵抗測定法		
			広域周波数	特定周波数			
診断法の概要	蓄電池の入出力信号に矩形波を重ねし、インピーダンスを測定。等価回路をフィッティングし、電池内部の各構成成分に由来するインピーダンスを測定。	外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定。抵抗・容量成分の分離が可能。	様々な周波数を入力し、インピーダンスを測定。等価回路をフィッティングし、電池内部の各構成成分に由来するインピーダンスを測定。	特定の周波数を入力し、周波数に応じたインピーダンス成分のみ測定。広域周波数と比較して、測定時間短縮、コスト低減効果あり。	直流電流を用いて電池の内部抵抗測定。		
測定の利便性	○ 運転中測定	○ 運転中測定	× 取り外して測定	△ 運転を停止して測定	△ 運転を停止して測定		
測定精度	周波数範囲	○ 50 mHz ~ 10 kHz ^{※1}	○~△ 50 mHz~1 kHz ^{※1}	◎ 10 μ Hz~1 MHz	× 1.主に1 kHz 2.いくつかの周波数	-	※1必要に応じてサンプリング速度を選択可。
	バラツキ	◎ インピーダンス 測定確度:1%以内 ^{※2}	○~△ インピーダンス 測定確度:10%以内	◎ インピーダンス 測定確度: 0.3~1%	○~△ インピーダンス 測定確度: 0.3~5%	○ 数%程度	※2:1Cレート以上、出力変動がある場合、インピーダンス測定確度は3%以内となる。
	フィッティングによる構成成分の分離	◎ 全成分を分離可能	△ 3種類程度に分離	◎ 全成分を分離可能	× 成分分離不可	× 成分分離不可	
コスト (測定単位当たり) ^{※3}	○~△ ログ一代、20万円程度	◎ チップ代、 1,000円程度	× 測定装置代、 700万円程度	○~△ 測定装置代、 10~1000万円程度 ^{※4}	△ 充放電装置代、 約50万円~ ^{※5}	※3:バッテリーあたり(セル or モジュール) ※4:目的により大きく異なる。 ※5:測定用に装置が必要な場合	
運用方法・実績など	通常の蓄電装置が有するBMS・パワコンによって生成可能な矩形波を利用し、運用中に診断	BMSに診断用チップを組み込み、電池運用中に連続的に測定、診断	診断の都度、電池を取り外して計測する。主に研究用途で用いられる	出荷前検査用途や鉛蓄電池やニッケル水素電池等の診断で実用化	充放電装置を用いて、直流電流を流して抵抗を測定		

3. 成果の普及及び知的財産権の確保に向けた取り組み

本プロジェクトの成果をユーザ・関連企業等に対し情報発信することにより実用化・事業化を促進するため、NEDO は各実施者に対して本プロジェクトの成果を積極的に発表・公開するように指導している。

プロジェクト期間全体(平成 23～27 年度)の情報発信件数を、表Ⅲ-20 に示した。全 9 実施者合計では、特許出願が 108 件(うち海外出願 39 件)、論文が 46 件(うち査読付 19 件)、研究発表・講演が 138 件、受賞実績が 2 件、新聞雑誌等への掲載が 66 件、展示会への出展が 56 件となっている。

表Ⅲ-20 成果の普及・情報発信の実績表

実施者	特許出願 (うち海外)	論文 (うち査読付)	研究発表 講演	受賞実績	新聞・雑誌 等への掲載	展示会へ の出展
日立製作所、日立化成	9 (2)	4 (0)	6	0	13	2
三菱重工業	11 (0)	5 (4)	8	0	6	22
日本電気、NECエナジーデバイス	23 (15)	0 (0)	1	0	0	3
サンケン電気	5 (2)	18 (6)	18	0	0	1
東芝	32 (15)	4 (0)	4	0	4	9
川崎重工業	1 (0)	0 (0)	7	0	5	4
鉄道技術総合研究所他	18 (0)	7 (4)	31	0	36	12
早稲田大学	5 (3)	8 (5)	34	2	2	0
同志社大学	4 (2)	0 (0)	29	0	0	3
合計	108 (39)	46 (19)	138	2	66	56

また、NEDO 自身も情報発信に努めており、蓄電システムの実用化・普及の観点で有効な国内外の学会・セミナー・シンポジウム等における講演、専門誌への寄稿、DOE の国際エネルギー貯蔵データベース(IESDB:International Energy Storage Database)に対する開発システムの情報提供等、合計で 24 件に対応している。

【本プロジェクトに関する NEDO の情報発信実績】

- 1) 日本高分子学会／ポリマーフロンティア 21(平成 24 年 9 月 7 日) 講演「NEDO における蓄電池技術開発の最新動向」
- 2) PRiME 2012/Electrochemical Energy Summit(平成 24 年 10 月 11 日)講演「Japanese National Project relating to Large Scale Energy Storage System」
- 3) 防衛技術シンポジウム 2012(平成 24 年 11 月 13 日) 講演「蓄電技術のナショナルプロジェクトと今後の展望」
- 4) 群馬県次世代産業振興戦略会議／蓄電池セミナー(平成 24 年 12 月 13 日)講演「次世代蓄電池開発の現状、課題とその先へ」
- 5) International Symposium on Batteries, Fuel Cells and Capacitors(平成 24 年 12 月 14 日) 講演「Strategies for Battery R&D in NEDO」
- 6) 日本電気化学会／電気化学セミナー(平成 25 年 1 月 23 日) 講演「NEDO における蓄電技術開発」
- 7) 日本化学会／第 93 春季年会(平成 25 年 3 月 24 日) 講演「NEDO における大型蓄電技術の開発」
- 8) スマートコミュニティ Japan2013(平成 25 年 5 月 29 日～31 日) リーフレット配布、パネル展示
- 9) 化学工業日報社／月刊「化学経済」(平成 25 年 7 月号) 寄稿「NEDO における次世代蓄電池の技術開発」
- 10) DOE International Energy Storage Database (平成 25 年 6 月) 開発システムの仕様等のデータ提供・登録
- 11) 電気化学会／第 55 回電池討論会(平成 26 年 11 月) 講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」
- 12) 豊橋技術科学大学／未来ビークルシティリサーチセンター第 18 回シンポジウム(平成 26 年 11 月) 講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」
- 13) シーエムシー出版／蓄電デバイスの今後の展開と電解液の研究開発(平成 26 年 12 月) 寄稿「NEDO における次世代蓄電池の研究開発計画」
- 14) NEDO ニュースリリース(平成 26 年 12 月 24 日) 「1.5MW ハイブリッド大規模蓄電システムを開発」
- 15) 電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術 2015(平成 27 年 1 月) 講演「NEDO におけるスマートコミュニティ海外実証と次世代蓄電技術開発」
- 16) NEDO FORUM (平成 27 年 2 月 12 日～13 日) パネル及び成果品モデルの展示
- 17) オーム社／月刊「OHM」(平成 27 年 3 月号) 寄稿「NEDO における大型蓄電システムの開発」
- 18) スマートコミュニティ Japan2015(平成 27 年 6 月 17 日～19 日) リーフレット配布、パネル及び成果品モデルの展示
- 19) NEDO ニュースリリース(平成 27 年 6 月 4 日) 「伊豆大島でハイブリッド大規模蓄電システムの実証試験を開始」
- 20) NEDO ニュースリリース(平成 27 年 9 月 3 日) 「次世代フライホイール蓄電システム実証試験施設が完成」
- 21) NEDO ニュースリリース(平成 27 年 9 月 30 日) 「スペインで蓄電池システムによる系統安定化の実証実験を開始」
- 22) シーエムシー出版／ナトリウムイオン二次電池の開発と二次電池の市場展望(平成 27 年 11 月) 寄稿「NEDO における次世代蓄電技術開発の状況」
- 23) 電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術 2016(平成 28 年 1 月) 講演「NEDO における次世代蓄電技術開発とスマートコミュニティ海外実証」
- 24) 近畿化学協会／近化電池セミナー(平成 28 年 11 月) 講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」

第IV章 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

本プロジェクトにおける成果の実用化・事業化の考え方(定義)を、研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」及び研究開発項目②「共通基盤研究」のそれぞれに対して、下記のように定めた。

本プロジェクトにおける成果の実用化・事業化の考え方(定義)

➤ 研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」

【実用化・事業化の定義】

本プロジェクトで開発された蓄電池、蓄電デバイス、蓄電システムの試作品やその運転・制御技術等の販売・利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること。

➤ 研究開発項目②「共通基盤研究」

【実用化の定義】

本プロジェクトで開発・蓄積された蓄電池劣化診断技術に係る基盤的知見やデータベース等が、蓄電池関連産業界において利用されること。

1. 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

「第三章 研究開発成果について」で述べたように、「系統安定化用蓄電システムの開発」に参画した7つの企業グループが本プロジェクトで実施した技術開発は、商品、製品、サービス等の販売・利用に直接繋がるものである。また、大型蓄電システムの市場で強みを発揮する高信頼性・安全性、長寿命といった技術である。さらに、コストについても、海外の技術開発目標と比べても競争力を有した本プロジェクトの目標を達成しており、市場で優位を確保できると考える。

また、5つの企業グループは、電気事業者等との協力関係を構築し、開発成果を取り込んだ大型蓄電システムを国内外の実電力システムに設置しての実証試験を行い、その系統安定化効果の検証を進めており、本プロジェクト期間中において既に開発成果の実用化(社会的利用、顧客への提供)は開始されたと見え、事業化のステージに進めることは確実である。また、本プロジェクトでは要素技術の開発を中心に取り組んだ2つの企業グループ(日本電気・NEC エナジーデバイス、サンケン電気)についても、小規模ではあるが開発成果を取り込んだ蓄電システムを自社の事業所内に設置し、技術検証を行って大型蓄電システムへの適用性を見極めており、今後の事業化が期待できる。

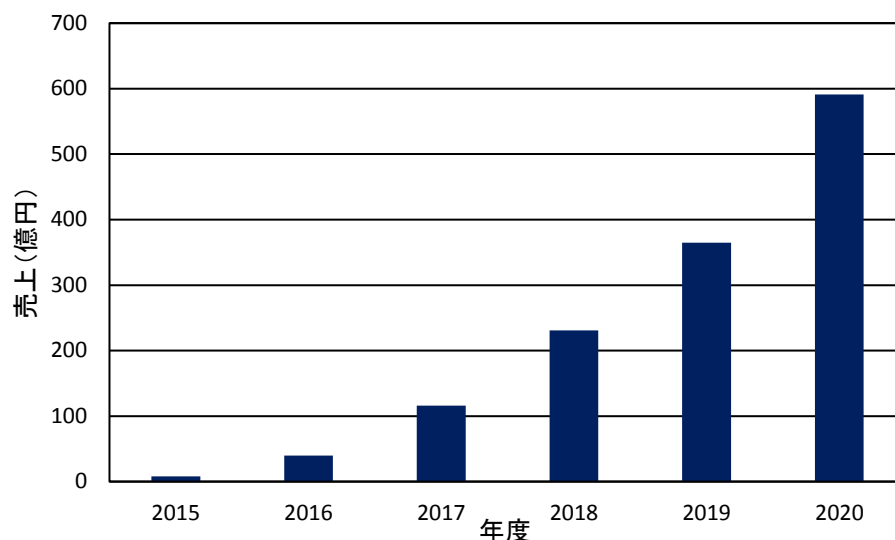
7つの企業グループの事業展開シナリオを表IV-1に示すが、本プロジェクトの開発成果は2016年度からは既存市場向け又は比較的小型システムに適用され、2020年度前後からは新たな市場向け又はより大型システムに適用されて事業化されていく見込みである。なお、本プロジェクトにおける実証試験の実施に際して協力関係を構築した東京電力、沖縄電力、英国 SSE、米国 Duke Energy 及びスペイン Gasnatural Fenosa は今後市場が拡大する大型蓄電システムの市場におけるアーリーアダプターになり得る存在であり、ビジネス展開に向けた足掛かりになると考える。

次に、各企業グループは蓄電システムの事業化計画・マイルストーンや売上計画等を明記した「助成金交付申請書／企業化計画書」を NEDO に提出している。これに記載されている各企業グループの売上計画を年度毎に合計したものを図IV-1 に示すが、プロジェクト終了から5年後に約600億円/年(システム容量で約780MWh/年)のビジネスに成長する見込みであり、経済効果が期待できる計画となっている。

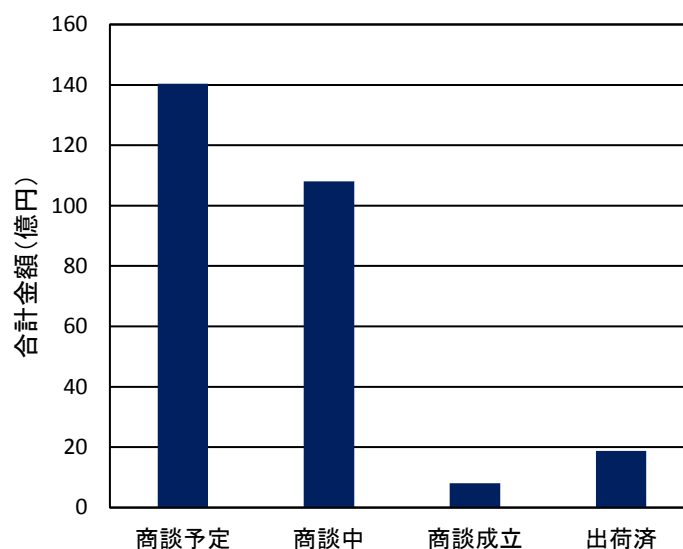
各企業グループの売上計画が実現するには、ビジネスの初期段階において生産量を確保していく必要がある。NEDO は、各企業グループ個別に本プロジェクトで開発した技術を採用した商品の商談状況を適時ヒアリングしているが、その結果を図IV-2 に示す(2016年9月時点)。顧客からとの商談中・商談成立・出荷済の案件は、合計で約135億円(システム容量で約185MWh)となっており、図IV-1 に示した売上計画のうち、2017年度までの累計売上が約165億円(システム容量で約190MWh)の実現に向けて鋭意、営業活動を展開しているところである。また、一部の企業グループは、本プロジェクト開始以降に開始された国の補助金等による大型蓄電システムの実証事業に参画して実績作りを進めている。

表IV-1 「系統安定化用蓄電システムの開発」 助成先企業の事業展開シナリオ

企業グループ	事業展開シナリオ
A	協力会社での生産体制を整え、開発したシステムの特長が生かせる顧客先での実証・販売を進める。同時に電力会社との共同検討を継続して、系統用途としての事業化を進める。
B	2016年度から本プロジェクトの成果を生かした高出力タイプと高容量タイプの蓄電システム製品化を進め、高出力・長寿命といったセルの特長を前面に出しながら、蓄電システムの市場拡大に合わせて拡販を進める。
C	既に既存の顧客事業向けに本プロジェクトの成果を活用中。2016年度からは離島やマイクログリッド等、高速充放電が可能という特長が生かせる数MWh級、2019年度頃からは広域系統向け数十MWh級システムの事業化を進める。
D	更に低コスト化を追求した商用機の開発と事業化の準備を進め、2018年度頃に小出力の第1世代機を上市して需要家及び系統向けに早期に実績を作り、2022年度頃に大出力の第2世代機を上市する。
E	2016年度から離島など地域の電力運用や大規模需要家等、比較的小規模な分散型システムの導入を進め、2020年度以降は、可変速揚水代替システムのような大規模集中型システムの事業化を同時に進める。
F	2016年度から伸長市場である米国の周波数調整向けや、中南米、東南アジアを中心とした離島や工業団地等の分散型電源向けに蓄電システムの販売を行う。
G	2016年度から次世代システムの量産適用を行い、2018年以降には本プロジェクトの成果を生かし更に安価長寿命化した材料を導入した次々世代システムを、スマートグリッド系統用として展開する。



図IV-1 「系統安定化用蓄電システムの開発」企業7グループの売上計画



図IV-2 「系統安定化用蓄電システムの開発」企業7グループの商談状況

2. 「共通基盤研究」の成果の実用化に向けた取り組み及び見通し

本プロジェクトで開発された劣化診断技術は、実用蓄電池の内部インピーダンスを高価な専用装置を用いずに稼働状態且つ非破壊で計測し、その劣化状態を診断可能とするものであり、大型蓄電システムが社会に普及していく上で必要不可欠な技術である。「第Ⅲ章 研究開発成果について」で述べたように、委託先の早稲田大学では、44kWh 級の蓄電システムに開発した状態把握システムを組み込んだ技術検証を済ませている。また、同志社大学でも 14.4kWh 級の太陽光発電ハイブリッド蓄電池システムに開発した診断装置のプロトタイプを組み込んだ技術検証を済ませている。従って、両大学の劣化診断技術は単なる実験室レベルの原理確認に留まっている技術ではなく、実用の蓄電システムでも技術検証が済んでいることから、成果の実用化は確実であると言える。

また、本プロジェクトの成果の実用化に向けて、両大学は幅広く情報発信しており、表IV-2 に示すように、既に多くのメーカーや電力会社との共同研究等が実施している。現在、両大学合わせた合計で 18 件

の共同研究が実施されており、その内訳は定置用システムメーカー及び蓄電池メーカーが 4 件、電力会社が 3 件、測定器メーカーが 4 件、自動車用途などの定置用以外の分野で 7 件となっている。

内部インピーダンスによる蓄電池の劣化診断技術は、蓄電池の種類としてリチウムイオン電池だけでなくニッケル水素電池等にも適用でき、また、電気自動車、ハイブリッド自動車、鉄道、船舶等の移動体用の蓄電池の診断にも適用できることから、今後、成果の実用化の拡大が期待できる。

表IV-2 「共通基盤研究」 委託先 2 大学による企業との共同研究状況

共同研究先	件数	共同研究内容	実用化への展望
定置用システムメーカー及び蓄電池メーカー	4	劣化診断システムの開発	今後、企業の実証試験を経て製品化
		メーカーの蓄電池開発のための状態・劣化評価	随時、評価結果を蓄電池開発に反映
電力会社	3	電力会社の配電システムモデル構築への活用	随時、評価結果を企業の実配電システムモデル開発に反映
測定器メーカー	4	電気化学評価装置の開発	数年後の独立型評価機器実用化を目指している
		メーカーの測定機器開発のための蓄電池状態・劣化評価	随時、評価結果を電池評価機器開発に反映
その他 (自動車メーカーなど)	7	蓄電池状態評価技術及び機器の開発	数年後の製品化及び実装化を目指している
		メーカーの蓄電池開発のための状態・劣化評価	随時、評価結果を電池開発に反映

さらに、「第 I 章 事業の位置付け・必要性」の「3.3 実施の効果」で述べたように、我が国の蓄電池の基礎研究レベルは世界トップレベルにあるにもかかわらず、個々の企業が情報開示に消極的なため、アカデミアのシーズや科学的知見が十分に産業界に活用されていないという課題がある。しかし、上記したように、本プロジェクトにおける 2 つの大学の成果は、企業の製品・サービスに反映されることが確実であり、学術成果の産業技術への引き上げという観点で意義深い。また、本プロジェクトを実施した結果、表IV-2に示すような共同研究の形で、アカデミアと産業界の間で幅広い知・人材の交流が展開されることにより、基礎研究や人材育成に係る産学のパートナーシップが我が国に拡大し、蓄電池産業分野におけるオープンイノベーションの加速に繋がったと考える。