

第1回「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」
(事後評価)分科会資料
資料5-1

「系統連系円滑化蓄電システム技術開発プロジェクト」

事業原簿(公開)

担当部	独立行政法人新エネルギー・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

プロジェクト基本計画

プログラム基本計画

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性	1
2. 新エネルギー用蓄電技術開発の必要性について	3
3. CO ₂ 削減等の波及効果	5
4. 海外情勢について	7

II. 研究開発のマネジメントについて

1. 研究開発の概要	10
2. 研究開発の目標	11
3. 研究開発の計画	12
1) スケジュール	
2) 予算配分	
4. 研究開発の実施体制	13
5. 研究開発の運営管理	20
1) PLおよびSPLの設置	
2) 技術委員会の開催	
3) グループ会議の実施	
4) 中間評価の実施	
5) 各種進捗管理	
① 予算執行管理	
② 研究開発目標および進捗の管理	
③ 委託先内ミーティングの予定と実績管理	
6) 委託先会議等への参加	
7) 研究開発への関与	
6. 情勢変化への対応	24
1) 中間評価を踏まえた情勢変化への対応	
2) 国際情勢変化への対応	
3) 情報の共有化	
① 蓄電池情報交換会の開催 [NEDO内]	
② 自動車用電池開発との委員等の共通化	

III. 研究開発成果について

1. 成果の概要	27
1) 実用化技術開発	
2) 要素技術開発	
3) 次世代技術開発	
4) 共通基盤研究	
2. 成果の普及	32
3. 外部発信	32
1) ワークショップの開催	
2) 成果報告会の開催	
3) 学会等への発表	
4. 委託先個別成果	
1) 実用化技術開・要素技術開発	34
2) 次世代技術開発	99
3) 共通基盤研究	165

IV. 実用化、事業化の見通し	
1. 実用化、事業化のイメージ	197
1) 実用化技術開発	
2) 要素技術開発	
3) 次世代技術開発	
4) 共通基盤研究	
2. 実用化、事業化の見通し	199
1) 実用化技術開発	
①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し	
②技術成果面での実用化、事業化への見通し	
2) 要素技術開発	
①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し	
②技術成果面での実用化、事業化への見通し	
3) 次世代技術開発	
①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し	
②技術成果面での実用化、事業化への見通し	
4) 共通基盤研究	
①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し	
②技術成果面での実用化、事業化への見通し	
3. 実用化、事業化に向けた今後の課題	203
1) 実用化技術開発	
2) 要素技術開発	
3) 次世代技術開発	
4) 共通基盤研究	
4. 波及効果	204

概 要

作成日 2011年8月23日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム					
プロジェクト名	系統連系円滑化蓄電システム技術開発	プロジェクト番号	P06004			
担当推進部/担当者	スマートコミュニティ部 / 町山、梅岡 (2009年10月~2011年2月) 新エネルギー技術開発部 / 近藤、岩崎 (2006年8月~2009年9月)					
0. 事業の概要	<p>風力発電や太陽光発電のような新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化防止に資するほか、分散型エネルギーシステムとしてのメリットも期待できる貴重なエネルギー源であるが、これら新エネルギーは、自然の影響を受けやすく出力が不安定な電源であり、電力系統に大量に連系した場合、周波数の維持だけでなく、火力発電などの集中型電源の運用にも大きな支障が発生し、電力系統の運用が困難になることが予想される。従って、新エネルギーが大量に導入される際には、蓄電技術による出力の平滑化や、夜間のような軽負荷時の新エネルギー発電電力の蓄電などが必要になると考えられる。本プロジェクトにおいては、蓄電部本体及び蓄電システム等の技術開発を行うことにより、風力、太陽光等新エネルギーの出力変動に伴う電力系統への悪影響を回避することが可能で、ウインドファームレベルの風力発電や、MW級の太陽光発電などに対応するMW級の蓄電システムに関して、新エネルギーの出力変動を極小化する機能を有し、低コストで長寿命、且つ安全・高性能なシステムの実用化を目指し、その重要な要素である蓄電部本体や各種構成部材等の要素技術、制御技術等のシステム化技術や、次世代の蓄電技術等の開発を行うものである。</p>					
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>経済産業省では2008年3月に、クールアース50（世界全体の温室効果ガスの排出量を2050年までに現状と比して半減することを目標とし、“低炭素社会づくり”をめざすという計画）の達成に必要な革新的技術として、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」をまとめ、日本が重点的に取り組むべき21の革新技術（エネルギー供給・エネルギー需要側・横断部門）の横断部門で高性能電力貯蔵として、本プロジェクトで取り組む蓄電技術開発がとりあげられている。</p> <p>風力発電や太陽光発電などの新エネルギーの導入促進にあたっては、出力の不安定性を平滑化する蓄電技術が必要不可欠になる。一例として、平成18年度より、一部の電力会社は2000kW以上の風力発電の連系募集において、蓄電池の併設を義務づけ始めており、蓄電技術の必要性は具体的なものとなっている。しかし、現在、ウインドファームに適用可能な蓄電技術は、コスト、寿命などの面で事業者が受け入れるには不十分な点が多く、その課題解決に向けても、低コストで長寿命、且つ安全・高性能な蓄電システムの開発は必要不可欠である</p> <p>また、携帯電子機器用途等で普及・低コスト化が進むリチウムイオン電池であるが、大容量蓄電システムを構築するためには、安全性を考慮したセルそのものの大型化・高性能化を目指した要素技術と、それらセルをさらに多直並列に構成する制御技術が必要となる。電池メーカー各種はハイブリッド自動車や電気自動車等への市場には興味を示すが、大きな潜在力を持つにもかかわらずまだまだ市場が立ち上がらない風力・太陽光発電併設用途へ進出するには現状ではメリットに乏しいととらえられている。このため、新エネルギー用の蓄電池については、過少投資となる傾向にあり、NEDOが中長期的観点から技術開発をサポートする必要がある。</p>					
II. 研究開発マネジメントについて						
事業の目標	<p>本プロジェクトでは、4つあるテーマそれぞれに異なる目標を設定している。</p> <p>(1) 実用化技術開発 太陽光や風力発電の変動出力を安定化させる機能を持つ大型蓄電システムの製作、および、6ヶ月以上の実機試験によるシステムの機能検証</p> <p>(2) 要素技術開発 コスト4万円/kWh、寿命10年を実現する技術の開発</p> <p>(3) 次世代技術開発 コスト1.5万円/kWh、寿命20年を見通す革新的な技術の開発（2030年の実現を想定）</p> <p>(4) 共通基盤研究 本プロジェクトの開発品に適用するコスト・安全性・寿命・性能評価方法の開発</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy
	(1) 実用化技術開発	←				→
	(2) 要素技術開発	←				→
	(3) 次世代技術開発	←			→	
	(4) 共通基盤研究	←				→

開発予算 (会計・勘定別に事業 費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定		H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	特別会計（電源）		430	1,820	2,150	1,570	650	6,620
開発体制	経産省担当原課		省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課					
	プロジェクトリーダー		神奈川大学 客員教授 佐藤祐一(平成21年度～平成22年度) 京都大学 教授 小久見 善八(平成18年度～平成21年度)					
	委託先（*委託先が管理 法人の場合は参加企業数 も記載）		(株)日立製作所、北陸電力(株)、エナックス(株)、 (株)ワイデーケー、(有)日下レアメタル研究所、ニチコン 草津(株)、三菱重工業(株)、九州電力(株)、川崎重工業 (株)、日清紡ホールディングス(株)、(財)電中研(2 件)、同志社大学、大阪大学、東京工業大学、東京大学、 (独)産総研、鶴岡高専、京都大学、(株)三菱総合研究所					
情勢変化への対応	<p>欧州での定置用蓄電池へのニーズの高まりを受け、平成20年9月にベルギーのブラッセルにて第1回の日欧専門家会議を開催し、欧州における蓄電技術の研究開発状況および国としての取り組み等について意見交換を行い協力関係の可能性を確認。</p> <p>その後、国内外で定置用蓄電池の標準化、規格化の議論の高まりにより、平成22年9月に開催された日・EU技術ワークショップにおいて日・EUが共同で蓄電池のリスク評価及び安全性評価手法の開発に取り組む方針について確認した。更にIECの蓄電池分野対応審議団体である電池工業会殿と蓄電池の評価手法の研究開発成果について情報交換をした。具体的には、電池工業会殿が進めている、IEC SC21A WG5（定置用大型リチウム電池）等の国際標準化の検討に関して、本研究開発にて開発した安全性評価手法及びその確認試験の結果を参考として提示した。また蓄電システムにおいても機能安全規格IEC61508をベースに、運用段階を含めた安全性に関する標準化検討が進むものと予想されるが、その際に本研究の成果であるシステムアシュアランスアプローチによる対応が有効となるので、検討を積極的に進めた。</p>							
中間評価結果への対応	<ul style="list-style-type: none"> ・総合評価：風力発電から太陽光発電へと急速にシフトしている状況を踏まえた対応が必要であり、実用化の面で、個々の開発技術の特徴に合わせた取り組みがやや見えにくいテーマもある。 【対処方針】委託先毎に対象としている発電設備の種類（太陽光／風力）に合わせた仕様、使い方等について明確にして行く。 ・今後への提言：各種の開発を系統側に設置して実証研究すると共に、更なる研究開発を通じて、コスト・寿命・性能など実用化の道を積極的に展開することを期待する。 【対処方針】実用化を実施する3グループは最終年度に蓄電システムをPVや風力発電に併設して実証する。 							
評価に関する事項	中間評価	平成20年度 中間評価実施						
	事後評価	平成23年度 事後評価実施						

(実用化技術開発)

実用化技術開発では、1MW級の蓄電システムを構築し、試験設備等において6ヶ月以上の実証試験を行い、安全性、運転効率等の条件の確保を確認し、コスト見通し、寿命を評価することを最終目標とした。蓄電システムに用いる電池系としては、ニッケル水素電池で1テーマ、リチウムイオン電池で2テーマとした。実証に用いる再生可能エネルギー発電は風力及び太陽光とした。

主な成果は次の通りである。

- ・1MW級への展開を想定したリチウムイオン電池、ニッケル水素電池による、世界でも例の少ない、再生可能エネルギーの系統連系円滑化用蓄電システムを開発した。
- ・これらの蓄電システムを実際に太陽光発電施設1カ所、風力発電施設2カ所に設置して、6ヶ月以上の実証試験を実施した。
- ・リチウムイオン電池、ニッケル水素電池を用いた各々のシステムにおいて再生可能エネルギーの出力の平滑化効果、安定化効果を確認し、本蓄電システムの有効性を立証した。
- ・安全性については、セル等の監視技術と適切な充放電制御技術により、システム全体として確保されていることを確認した。

(要素技術開発)

要素技術開発では、正・負極、セパレータ、電解質、集電体、モジュール管理用の回路システム等の構成部材単位の性能向上及び製造技術に関する研究開発を行い、さらにこれらの技術を反映した蓄電技術のモジュールレベルの試作と性能実証を行った。量産時のコスト4万円/kWh以内、10年間の使用に耐えることを最終目標とした。これらの目標に対し、リチウムイオン電池で3テーマ、ニッケル水素電池で1テーマ、及び電気二重層キャパシタ1テーマにて実施した。

主な成果は次の通りである。

- ・これまでほとんど例のない、系統連系円滑化用蓄電システム用の大形リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、電気二重層キャパシタを開発した。
- ・これらの電池、キャパシタについて、系統連系円滑化用蓄電システム用に必要な特性、コスト、寿命を実現するために、電池の各要素について研究開発を行った。
- ・開発した電池、キャパシタを用いて、系統連系円滑化用蓄電システム用のモジュールを開発した。

Ⅲ. 研究開発成果について

(次世代技術開発)

次世代技術開発では、2030年時点での量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命を目指して、従来の概念にとらわれない、低コスト、長寿命の蓄電技術の確立のために、リチウムイオン電池の新しい材料・構造・製造方法等について探索的な研究を実施した。開発品に関しては小型セルにて基本性能を確認することを目標とした。

主な成果は次の通りである。

- ・電解質に関しては、高安全、長寿命を目的として新規な3つの高分子固体電解質を開発した。
- ・負極については、新規な微小球体黒鉛負極及び新規な高容量酸化チタン系の活物質を開発した。
- ・正極については、新規製造法による高容量磷酸マンガンリチウム正極活物質を開発し、また全く新規なコンセプトによる新たな正極活物質を研究開発した。
- ・各テーマにおいて、2030年時点での目標を達成するための見通しを得た。

(共通基盤研究)

共通基盤研究では、系統連系蓄電システムの開発目標に掲げられている4つの評価項目、すなわち、コスト・安全性・寿命・性能について、本プロジェクトで開発する蓄電システムを評価するための標準的な評価手法を開発することを目標とした。

主な成果は次の通りである。

- ・コスト評価方法・性能評価方法・安全性評価方法・寿命評価方法の開発においては、セル・モジュール・システムレベルの評価方法を確立し、本プロジェクトで開発した蓄電技術に適用した。適用に際しては、これらの評価方法を一冊にまとめた手順書(評価手法説明書)を作成し、開発者に提供すること、また開発者向けの説明会を行うなどして便宜を図った。
- ・コスト評価方法の開発においては、海外における蓄電システムの潜在需要を推計することも行い、想定した蓄電システムの量産規模の妥当性を確認した。
- ・性能評価方法の開発においては、電中研赤城試験センターにて電池の評価を実際に行ない、妥当性の検証を行った。
- ・寿命評価方法の開発においては、開発品(セル)を対象に標準充放電パターン、簡易充放電パターンによる充放電試験を実施し、開発品への適用可能性を検証した。
- ・安全性評価方法の開発においては、日EUワークショップにて開発手法を発表し、また海外市場を視野に入れ、システムアシュアランス手法の適用方法を確立した。

	投稿論文	「査読付き」 40件、「その他」 12件
	特許	「出願済」 56件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>(実用化技術開発)</p> <p>各実施者は、プロジェクト終了後も自社内で更なる高性能化、大型化等について検討し、自社製品として市場に提供する方向で、実用化、事業化に向けた技術開発を継続している。各実施者での事業戦略上の位置付けは明確であり、社内開発部門と事業部門の連携や、重電、電力等との協力体制の構築も進める考えを有す。現時点での、実用化、事業化の見通しは明確であり、本プロジェクトに参画した企業として取り組む姿勢を有している。</p> <p>(要素技術開発)</p> <p>各実施者は得られた研究開発成果を実用化技術開発の成果と合わせて実用化、事業化を指向するか、開発成果をベースにその後も自社内で独自に技術開発を継続し、実用化、事業化を狙っている。要素技術開発では、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、キャパシタとニッケル水素電池のハイブリッドシステムの開発を行っており、特に要素技術の実施者は全て、今回開発した要素技術と強く関連する製品を自社製品として持っており、よって開発した要素技術が自社製品で実用化、事業化する計画を持っているが、実用化、事業化の時期や対象とする製品等は実施者により異なる。</p> <p>当面は、実施者の製品の性能向上やコストダウンのために開発技術を適用するのが考えられるが、本来の目的であるところの再生可能エネルギー用の定置用大形蓄電システム事業を計画している実施者もある。あるいは、東日本大震災を受けての、本プロジェクト開発品よりも小さい蓄電容量で実現可能な、家庭用太陽光電力蓄電システム、及び非常用バックアップ用電源、又は都市部の分散型電力貯蔵用電源、大規模電力貯蔵用電源への適用、さらにはスマートグリッドを形成するための蓄電システムなど、長寿命で低コストの優位性を活かす事業展開を目指す実施者もある。また、将来的に想定する市場については、直近の年間数十億円規模から再生可能エネルギー用蓄電池の大規模導入が開始された場合の市場の数千億円規模まで種々想定している。低コスト化、安定量産技術の向上等を達成しつつ、更なる技術競争力強化を図り、将来の製品群、市場開拓に繋げていきたい考えである。</p> <p>以上のように、現時点で、各実施者は要素技術開発で得られた成果を基に、各々事業化、実用化に向けたシナリオを有しており、社内的にも実施に向けた意思決定がなされつつある。実施者の取り組み姿勢においては、実用化、事業化に関する実現可能性は高いと言える。</p> <p>(次世代技術開発)</p> <p>次世代技術開発で得られた成果の実用化、事業化の見通しを考えた際、しばしば問題となるのは、基礎、基盤的な技術開発成果を如何にして製品化に結びつけるかということである。その点において、本プロジェクト実施者は、例えば、研究成果の学会・展示会等でのピーアール活動を通じ、本開発技術の事業化に興味を持つ企業の探索、ベンチャーキャピタルの獲得や、本プロジェクトの実用化技術開発や要素技術開発に携わる企業、あるいは他の企業等へのライセンス供与やサンプル供与を通して、開発した成果を用いるリチウムイオン電池の実用化、事業化を目指すこと等を想定している。実際、いくつかの研究開発テーマにおいては、工業生産プロセス開発をパートナー企業と開始しているケースや、F/S 終了後に材料製造メーカーおよび電池メーカーを体制に組み込み、垂直連携により実用化、事業化を促進しているケースもあった。さらには 22 年度事業終了後、製品化を前提として企業と連携して研究開発を行っている例もあり、事業化へ積極的に取り組んでおり、今後が期待される。</p> <p>(共通基盤研究)</p> <p>共通基盤研究では、開発した蓄電システムの評価方法の事業化は、開発者における共通語の発展形としての「標準化」であるとしており、本研究終了後に標準化の議論にスムーズに移行できるような状況を導けるように考えている。具体的には、標準化に向けた動きとしては以下のようなことを行ってきた。</p> <p>まず、2010年9月23日に開催された日・EU技術ワークショップにおいて日・EUが共同で蓄電池のリスク評価及び安全性評価手法の開発に取り組む方針について確認した。また蓄電システムにおいても機能安全規格 IEC61508 をベースに、運用段階を含めた安全性に関する標準化検討が進むものと予想されるが、その際に本研究の成果であるシステムアシュアランスアプローチによる対応が有効となるので、周知活動を進める。以上のような事例をベースに今後も事業化を進めていく見通しである。</p>	

V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成18年8月 作成
	変更履歴	平成20年3月 変更 (PLの設置) 平成20年7月 変更 (イノベーションプログラム制定) 平成22年3月 変更 (PLの変更)

I . 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO関与の必要性

「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」は資源に乏しい我が国が、将来にわたり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・普及によって、各国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んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指して経済産業省がまとめた「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施されている。

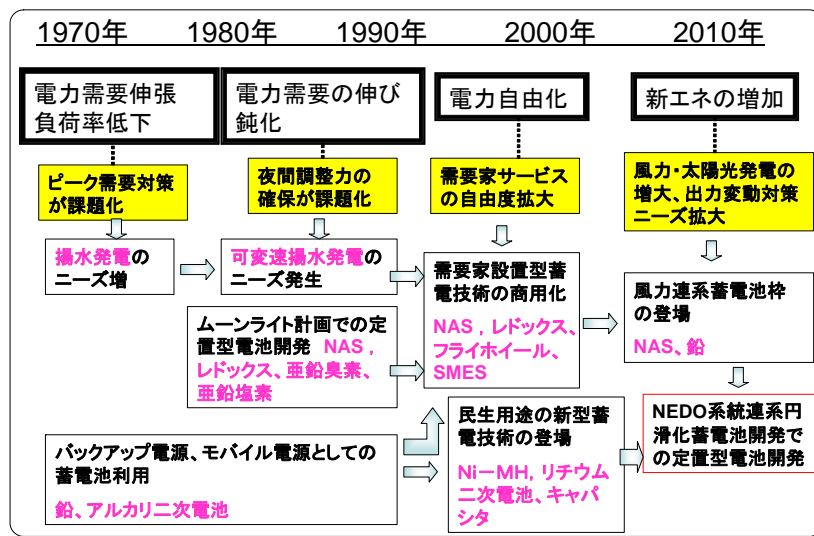


図 I . 1-1 電力貯蔵ニーズの変遷

本プロジェクトに関連する電力貯蔵に係る国プロとしては、昭和55年～平成3年に通商産業省工業技術院ムーンライト計画の一環として実施された新型電池電力貯蔵システム技術開発があり、電力負荷平準化(LL)を目的として、立地等に制約のある揚水発電の代替をめざし、同等以上の経済性で、都市部の変電所用地程度に設置できる電池電力貯蔵システム用途で、亜鉛臭素、亜鉛塩素、レドックスフロー電池、ナトリウムイオンの4種類の電池が開発された。ここで開発されたナトリウム硫黄(NAS)電池は、現在も、LL用として、一定規模の市場を形成しており、新エネルギー対応の風力併設蓄電池としても、夜間の下げ代対策等による8時間完全吸収の用途を検証するため、平成20年度よりその運用等について実証される予定である。但し、本プロジェクトが想定する数秒から2時間程度の変動を抑制する性能要求に対しては、一日の負荷変動を平準化(8時間率で充電、7.2時間率で放電)する目的で開発されたNAS電池には厳しいと考えられる。

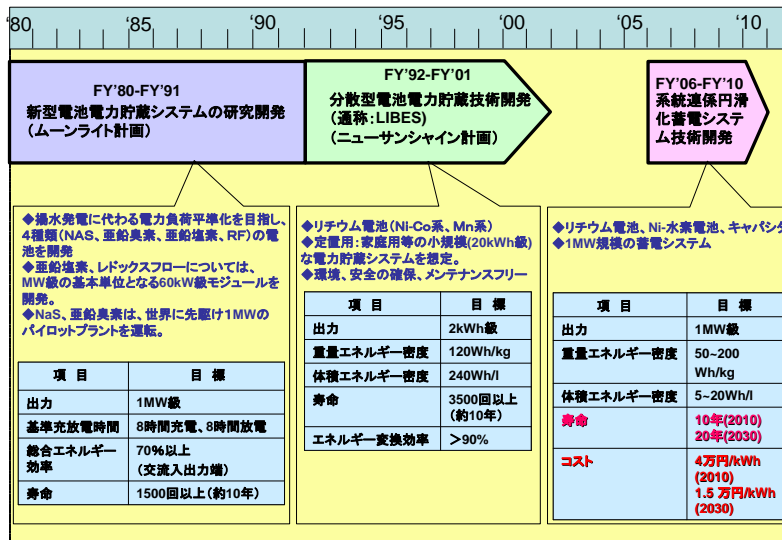


図 I. 1-2 定置用蓄電技術開発の取り組み

続く平成4年～平成13年の分散型電池電力貯蔵技術開発(通称LIBES)では電力供給サイドによる負荷平準化技術に加え、将来的には電力需要サイドでの電気エネルギー貯蔵(一般家庭に設置する電池電力貯蔵装置等)による分散型の負荷平準化技術が必要との観点から、小型化、軽量化、長寿命化等の要求に応える電池としてリチウム二次電池が選択されニッケル・コバルト系とマンガン系正極のリチウムイオン電池の開発が実施されたが、1/8C程度の低レート用途であることから、本プロジェクトで想定する太陽光発電の数秒の出力変動緩和や2時間率程度(0.5C)電力シフトには適さない仕様である。

その後、レドックスフロー(RF)電池が“風力発電電力系統安定化等技術開発”(平成15年度～平成20年度)として、北海道のウインドビラ苫前(WF)で、短周期(60分程度)変動を安定化する実証研究プロジェクトとして平成19年度まで実施された。このプロジェクトは、風力発電の導入促進に資することを目的に、WFに蓄電池を併設し、コスト(蓄電容量、総合効率等)対効果(出力安定化)、信頼性および電力系統・風力発電のニーズ等を総合的に評価し、電力系統にとって負担の大きい短周期側の出力変動を抑制できる制御技術等の開発を実施した。RF電池は、タンク容量により自由に容量を設計できることや、SOC(充電状態)の管理がモニターセルにより容易に測定できるメリットがあるが、信頼性やコスト等の課題が残されており、導入はあまり進んでいない。以上のように新エネルギー併設用途に適する蓄電技術が現状ではない状態であり、この状況を改善できる可能性をもつ高性能な蓄電技術として期待されるのがリチウムイオン電池である。ノートPC等で使用される円筒形セル(18650形)ベースで、エネルギー密度と容量単価は、1991年の商品化時と比較して、2006年時点の体積エネルギー密度は2.7倍、重量エネルギー密度は2.4倍に向上しており、容量当たりの単価は1/12に低下というように、高性能かつ低コストになっている。

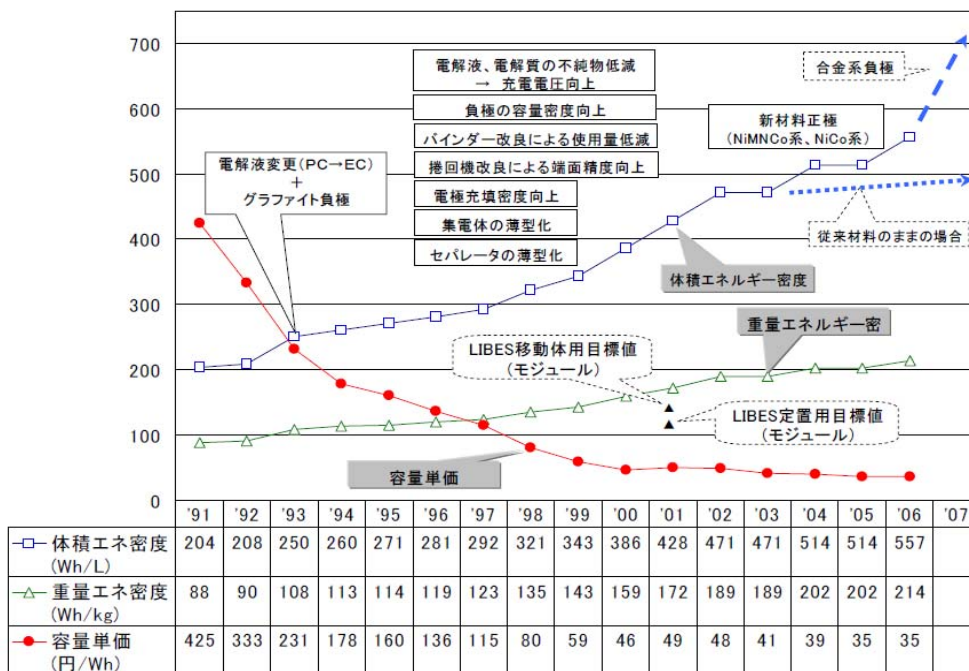


図 I. 1-3 民生用円筒形セル(18650 形)のエネルギー密度と容量単価の推移

出典)NEDO、平成18年度成果報告書

「リチウムイオン蓄電池等の技術マップ作成に関する調査」平成19年3月

また、大容量アプリケーションとしてハイブリッド自動車への適用検討も進んでおり、リチウムイオン電池の風力・太陽光発電への併設用途拡大についても、期待される場所であるが、蓄電池メーカーや材料メーカーの資源投入は、市場性のあるノートPCや携帯電話等の民生ポータブル機器から、次の柱となる自動車用の市場を各社が立ち上げている段階である。

大きな潜在力を持ち、国としても大規模導入に向けて施策が進められているが、まだまだ市場が立ち上がらない風力・太陽光発電併設用途へ進出するには現状ではメリットに乏しいととらえられている。このため、新エネルギー用の蓄電池については、過少投資となる傾向にあり、NEDOが中長期的観点から技術開発をサポートする必要がある。

2. 新エネルギー用蓄電技術開発の必要性について

電力系統においては、需要と供給のバランスをとるため、火力発電のように負荷の変動にあわせて台数制御や出力制御を実施するものや、原子力発電や水力発電のように一定出力で効率的な運用を実施しベース分を担う発電等を組み合わせて、周波数変動が発生しないよう効率的な運用をしている。そのため、新たに新エネルギーを系統連系する場合には十分な検討が必要となる。具体的には、風力発電は、送電線の末端にあたる丘陵地帯や海岸線に設置されることが多く、風速により発電量が変化して電圧変動が発生したり、太陽光と違い夜間も発電するため、特に夜間の火力発電等の調整力が不足したりする。また、太陽光発電でも、日射量や雲の動きによる発電量

の急で大きな変化に備えて何かしらの供給力を確保しておく必要がある。つまり健全な系統運用のためには、緩衝力や調整力として経済性に優れた蓄電技術が必要である。

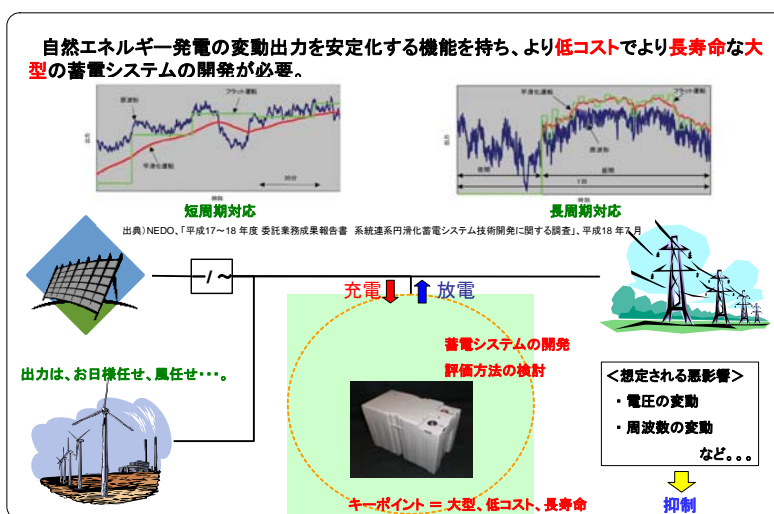


図 I. 2-1 新エネルギー発電に必要な蓄電システムの概要

また、今後、風力発電や太陽光発電などの新エネルギーの導入にあたっては、出力の不安定性を平滑化する蓄電技術が必要不可欠になる。一例として、平成18年度より、一部の電力会社は2000kW以上の風力発電の連系募集において、蓄電池の併設を義務づけており、蓄電技術の必要性は具体的なものとなっている。しかし、現在、ウインドファームに適用可能な蓄電技術は、コスト、寿命などの面で事業者が受け入れるには不十分な点が多く、その課題解決に向けても、低コストで長寿命、且つ安全・高性能な蓄電システムの開発は必要不可欠である

表 I. 2-1 にプロジェクトで開発する蓄電技術の特長をまとめる。

表 I. 2-1 各種蓄技術の比較

蓄電技術	メリット	デメリット	変動緩和用途としての将来性
NAS電池	ロードレベリング用途(一日)に最適	短時間出力が不向き 温度維持ヒータが必要	低い
RF電池	SOCの管理が容易	コスト・寿命	低い
ニッケル水素電池	高性能(ハイレート)	コスト・寿命	高い
リチウムイオン電池	高性能(ハイレート)	コスト・寿命・ 安全性・大型化困難	高い
電気二重層キャパシタ	長寿命・超ハイレート	コスト・蓄電容量	高い

3. CO₂削減等の波及効果

温暖化の原因といわれる温室効果ガスであるフロンやCO₂の全廃や削減が地球規模で取り組まれており、我が国も2005年2月に発効された京都議定書に従い、2008年から5年間の第一約束期間において1990年基準で6%のCO₂削減を目標として活動している。しかし、取組が先行する産業・エネルギー転換部門に対して、運輸部門や民生部門はCO₂の削減がすすんでいない状況であり、目標達成を確実にするための取組が必要となっている。その1つがクールアース50で、世界全体の温室効果ガスの排出量を2050年までに現状と比して半減することを目標とし、“低炭素社会づくり”をめざすという計画であるが、経済産業省では2008年3月に、その達成に必要な革新的技術として、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」をまとめた。本計画では、2050年の大幅削減に向けて、日本が重点的に取り組むべき21の革新技術(エネルギー供給・エネルギー需要側・横断部門)が選定され、本プロジェクトで取り組む蓄電技術開発は、横断部門に“高性能電力貯蔵”として選定されている。(図 I . 3-1)



図 I . 3-1 クールアースエネルギー革新計画

電力系統安定化のための定置用蓄電池の市場規模は、再生可能エネルギーの導入量や系統の設備状況によって変わってくる。我が国では、長期エネルギー需給見通し(再計算、2009年8月)によれば、風力発電が2020年に500万kW、太陽光発電が2800万kWの再生可能エネルギー導入量を目標として取り組んでいく。このうち、太陽光発電2800万kWの導入に対する系統安定

化対策に必要な蓄電池の量は、次世代送配電ネットワーク研究会の試算(2010年4月)によると、太陽光発電の出力抑制も併用するケースにおいても2020年に0.55兆円、13.75GWhと試算されている。(図I.3-2)

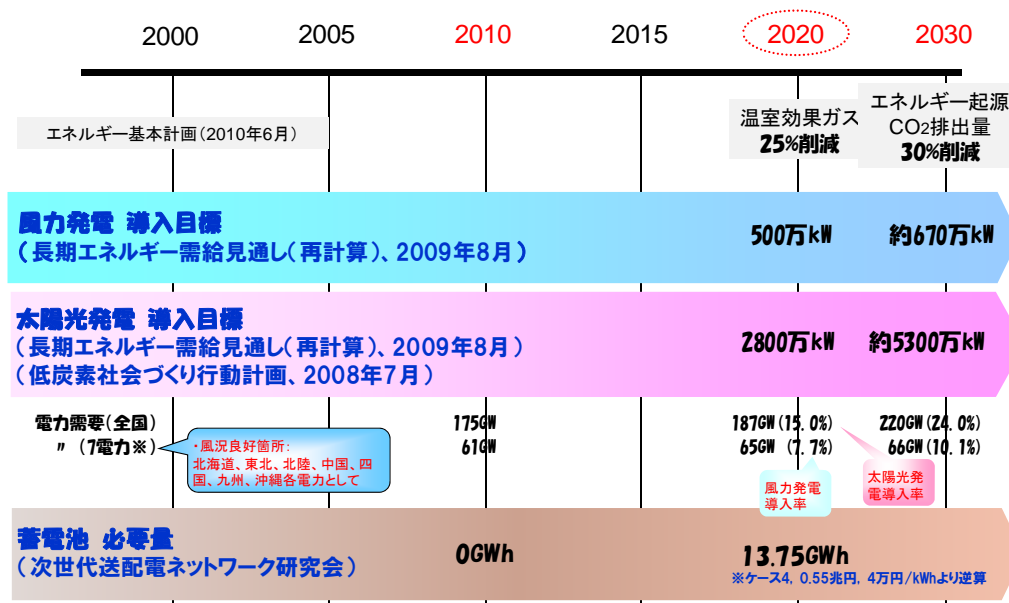


図 I. 3 - 2 我が国の新エネルギー導入目標と定置用蓄電池市場規模予測

また、上記同様、次世代送配電ネットワーク研究会の試算によると、太陽光発電の普及により2020年時点で920万t-CO₂/年、これに風力発電による効果も合わせれば1080万t-CO₂/年のCO₂削減が期待できる。

4. 海外情勢について

2008年においては、世界の民生用小型リチウムイオン電池の生産量の半分以上を我が国の企業(1位三洋、3位ソニー、松下)が占めていたが、現時点では、韓国や中国の企業による追い上げが激しく、2010年においてはサムスンが最大の生産量を得るに至った。これは民生用リチウムイオン電池に限ったことではなく、高性能が求められる自動車用のリチウムイオン電池においても韓国や中国の企業に追い上げられている状況にある。今後、再生可能エネルギー導入拡大による定置用蓄電システムの市場が本格的に立ち上がろうとする中で、我が国が世界で優位を確保するためには、政府による戦略的な技術開発の推進が不可欠である。

研究開発の分野でも海外研究者の発表が増加しており、その質も向上している。

また、2009年以降の主要国における蓄電池関連の研究開発予算を挙げると、アメリカ(DOE)は経済回復・再生投資法の下、24億\$以上を、ドイツでは次世代電池や自動車用電池の開発に5億9千万€を、フランスでは2030年までに9億€を投資する予定である。更に、中国や韓国でも蓄電池に関する研究開発に投資している。このように、リチウムイオン電池の研究開発に国策として

重点を置いている国が増えており、日本においても更なる技術開発が必要である。

本プロジェクトの共通基盤研究で、主要国における定置用電池のニーズ、推定市場規模の調査を実施した。以下にその要点を述べる。

欧州では再生可能エネルギーの更なる導入促進やシステムの効率的利用の観点から、ドイツやフランスを中心として、大型蓄電システムに関する開発や評価の取り組みが進められている。欧州では引き続き風力発電の導入を進めていく計画であり、そのためには送電網の拡充や出力変動対策が必要となる。送電線の拡充は住民の反対等から難しい面もあり、出力変動対策として揚水発電所や火力発電所を建設することは、環境破壊や炭酸ガス排出の問題から難しい面もある。これらの理由により蓄電システムの活用が検討されている。

大型蓄電システムの検討は、特にドイツやフランスを中心に進められており、実証研究や経済分析、法整備、欧州全体での推進体制作りなど、広範囲な取り組みが進められている。その一つとして、欧州の主要な電気事業者やメーカー等が発起人となり、2011年夏を目処に欧州エネルギー貯蔵協会(EASE)が立ち上がる予定となっている。

フランスでは、2020年までに25GWの風力発電を導入する目標を掲げており、20GWを超えると蓄電システムが必要になると分析し、技術開発や実証、規制や電気事業の改革を進めることとしている。EDFが行った分析では、経済性の観点から蓄電システムを単一用途ではなく、いくつかの用途に活用する必要があるとし、大都市部や島嶼部への導入が効果的としている。まず導入が考えられるのは、島嶼部及び、比較的配電系統が弱い本土南東部からと考えられている。EDFは、国の助成を受け、負荷平準化用として La Reunion 島(マダガスカル島の近くにある島で、人口80万人)に日本ガイシのNaS電池1MWを設置し、2020年までに風力発電と太陽光発電を合わせて210MWの再生可能エネルギーを導入し、実証していく計画である。

ドイツは、2020年までに40GWの風力発電の導入を考えており、その電力を供給する送電網が弱いことが課題とされている。しかし、送電網の新たな建設には反対があり、実現したとしても完成まで10年以上は掛かると見込まれている。再生可能エネルギー法(EEG)、エネルギー事業法により、系統運用者は風力発電等を抑制する司令を出すことができるものの、その分の機会損失保証を行わねばならないため、蓄電システムによる余剰電力貯蔵が検討されている。Evonik社がLESSYプロジェクトにおいて、系統安定化用途に向けた1MW、700kWhのリチウムイオン電池を2012年目処に開発を進めている。この他、風力発電機メーカーのエネルギーコン社がドイツ北西部EmdenにおいてNaS電池等複数の蓄電池を風力発電機に併設し実験を行っており、また、太陽光発電メーカーのユニコス社はNaS電池を導入し、島嶼部などのマイクログリッドの検討を実施している。

スペインでは、カナリア諸島などの島嶼部で、風力発電の導入に伴う蓄電ニーズがあり、NAS電池を導入し試験している。また、フランスと同様に、本土の僻地などの系統が弱いところで配電線投資抑制に有効であることから蓄電システムが検討されている。

これら欧州各国では、CAESや揚水発電などの蓄電システムも考えられており、蓄電池の普及のためには低コストが必須となる。

アメリカでは、スマートグリッド構築で系統制御用、負荷平準化用、風力発電等の出力調整・安

定化用の蓄電システムが考えられ、再生・再投資法の下、16件のエネルギー貯蔵の実証を実施している。特にカリフォルニアは風力・太陽光発電の導入量が多く、系統に及ぼす影響も顕在化しているため、再生可能エネルギーの統合化プログラムを立ち上げ、蓄電池等の活用や送電系統増強の検討を進めている。また、カリフォルニア州は2010年9月に再生可能エネルギーの出力変動対策やピーク需要時の予備力確保などの目的ため、2015年、2020年時点で電力会社に所定量のエネルギー貯蔵設備の設置を義務付けるエネルギー貯蔵法を制定した。

中国では、風力発電の導入拡大で2020年までに150GWを計画している。それに伴い蓄電システムも対策の一つとして検討されているが具体的な計画は立てられていない。蓄電システムに関する国家プロジェクトとして、張北プロジェクト(約3,000億円)が挙げられる。風力発電500MW、太陽光発電100MW、蓄電池110MWを設置し、ピークシフト用途の使用が想定されている。

以上のように、各国とも再生可能エネルギーの導入によって今後生じる系統への影響を対策するために、蓄電システムの検討を進めている状況にある。共通基盤研究におけるこれら調査結果を分析し世界需要量を推定すると、2020年で363GWh、2030年で680GWhの導入が考えられ、単純平均すると今後20年間、年間22.7GWhの需要量が推定される。電気自動車の将来的な需要量は年間100万台程度とされており、1台に当たり24kWhの電池を搭載すると考えると、年間の市場規模は24GWhであり、定置用蓄電システムの需要は電気自動車の市場と同等の規模が期待される。

表 I . 4-1 定置用蓄電システムの世界需要

		2010	2020	2030	2010-30 平均 (/年)
出力 (GW)	欧州	0	19	37	1.2
	米国	0	51	67	2.2
	中国	0	38	110	3.7
合計 (GW)		0	108	214	7.1
容量 (GWh)	欧州	0	69	131	4.4
	米国	0	166	187	6.2
	中国	0	128	362	12.1
合計 (GWh)		0	363	680	22.7

Ⅱ. 研究開発のマネジメントについて

1. 研究開発の概要

世界で地球温暖化が深刻な問題となっている中、これに加えて、新興国の急速な発展に伴いエネルギー問題が解決すべき大きな課題となっている。これらの問題を解決する手段のひとつとして、いま再生可能エネルギー発電が大きな注目を集めている。

再生可能エネルギー発電はクリーンで燃料の不要な発電システムであるが、自然が相手であるが故に安定した出力を得ることが難しく、今後大量に普及して系統に接続された場合、電圧変動や周波数変動など系統に悪影響を及ぼすことが予想されている。

本プロジェクトでは、再生可能エネルギー発電の出力変動を安定化させる機能を持つ、低コストで長寿命な大型の蓄電システムを開発することを目的にしておき、これを実現するために、以下の大きく4つのテーマを設定して、モノの開発だけでなく、それを評価する手法の検討までも含めた包括的な研究開発を実施している。

- ・実用化技術開発(システムの大型化と出力安定化技術の開発)
- ・要素技術開発(高性能化のための各種構成部材の開発)
- ・次世代技術開発(新規材料および製法等の研究開発)
- ・共通基盤研究(蓄電システムの各種評価方法の開発)

以下、各テーマの役割と実施概要を述べる。

①実用化技術開発

再生可能エネルギー発電用の大型蓄電システムとして具備すべき機能や大量普及した場合の効率的な生産方法などについて、主に従来品を使用して、システムとしての技術開発を先行的に実施する。

具体的には、大型蓄電システム構築のために、従来品を用いた大型化や組電池技術の検討、出力安定化制御技術の開発、各構成要素の量産化技術の検討をそれぞれ実施し、最終年度に、それらの技術を組み込んだ大型システムを作製して実証試験を行なう。

②要素技術開発

従来品をベースに材料や製法の改良によって、低コストで長寿命な蓄電システムを実現するための技術開発を実施する。

具体的には、蓄電システムを構成するすべての要素について、従来品をベースにした材料および構造、製造方法などの改良や最適な充放電制御技術等を開発し、最終的にモジュールにて性能検証を行なう。

③次世代技術開発

さらなる低コスト化、長寿命化を実現するために、従来の概念にとらわれない新規な材料および製造方法などについての研究開発を実施する。

具体的には、電池を構成する各種材料について、高性能な新規原料を探索してその有用性を確認し、さらにその製法についても検討し、最終的にセルにて性能検証を行なう。

④共通基盤研究

本プロジェクトで開発する各種蓄電システムを評価する標準的な手法を開発する。

具体的には、コスト・安全性・寿命・性能の4項目について詳細な調査・検討を行なって必要となる評価項目を選定後その評価方法を開発し、最終的に開発品に適用してその妥当性を検証する。

2. 研究開発の目標

本プロジェクトは、開発対象やその大きさ、技術レベルが異なる複数のテーマを統合した事業であるため、目標を1つに統一して設定することは難しい。そこで、本プロジェクトでは、4つあるテーマそれぞれに異なる目標を設定している。

以下に、その内容を述べる。

① 実用化技術開発

太陽光や風力発電の変動出力を安定化させる機能を持つ大型蓄電システムの製作、および、6ヶ月以上の実機試験によるシステムの機能検証

② 要素技術開発

コスト4万円/kWh、寿命10年を実現する技術の開発

③ 次世代技術開発

コスト1.5万円/kWh、寿命20年を見通す革新的な技術の開発(2030年の実現を想定)

④ 共通基盤研究

本プロジェクトの開発品に適用するコスト・安全性・寿命・性能評価方法の開発

ここで、実用化技術開発で言う「実機」とは、研究開発予算の効率的、効果的な活用の観点から、MW級システムを構成する最小単位の蓄電システムを指す。

なお、コストと寿命に関する数値目標の設定根拠は、以下の通りである。

<システムコスト>

現存する電池の中で大型化・低コスト化が最も進んでいると言われているナトリウム硫黄電池(通称:NaS電池)の設定価格は21万円/kWh であり、7時間放電を前提としたシステムであるので3万円/kWh となる。総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会風力発電系統連系対策小委員会では、NaS電池を30MW級のウィンドファームに導入した場合のコスト試算の結果、発電事業として運用するためには、蓄電システムの導入コストを半分にすることが必要との報告がなされている。このことから、本プロジェクトでは、NaS電池の現状コストの半分である1.5万円/kWh を次世代技術開発で見通す 2030 年時点のコスト目標として設定した。

また、要素技術開発の目標については、現行の鉛蓄電池システムの量産コストと同等レベルとなることを目標として、4万円/kWh を設定した。

<寿命>

発電設備の耐用年数は約20年であり、蓄電システムにおいてもこれと同等の耐用年数が必要との発電事業者側からの意見より、次世代技術開発で見通す 2030 年時点での目標寿命を20年と設定した。

また、要素技術開発については、現状の長寿命タイプの鉛蓄電池と同等の年数は最低限必要な性能であるとの意見より、2010 年時点の目標を 10 年と設定した。

3. 研究開発の計画

1) スケジュール

本プロジェクトの実施期間は平成 18 年度から平成 22 年度までの5年間、研究開発の総費用は

実績額で 66 億円の事業である。

平成 18 年度後半に公募で委託先及びを決定して研究開発を開始し、平成 20 年度に中間評価を実施した後、最終年度に開発品の性能検証を行なった。

各テーマの研究開発のスケジュールは以下の通りである。

① 実用化技術開発

平成 21 年度までに大型化および出力安定化技術を開発し、それを用いた大型蓄電システムを製作して、最終年度の平成 22 年度に6ヶ月以上の実機検証試験を実施した。

② 要素技術開発

平成 21 年度までに低コスト化および長寿命化技術を開発し、それを用いた電池セルにて各種安全性試験を重点的に実施した後、最終年度の平成 22 年度に電池モジュールを製作して性能検証試験を実施した。

③ 次世代技術開発

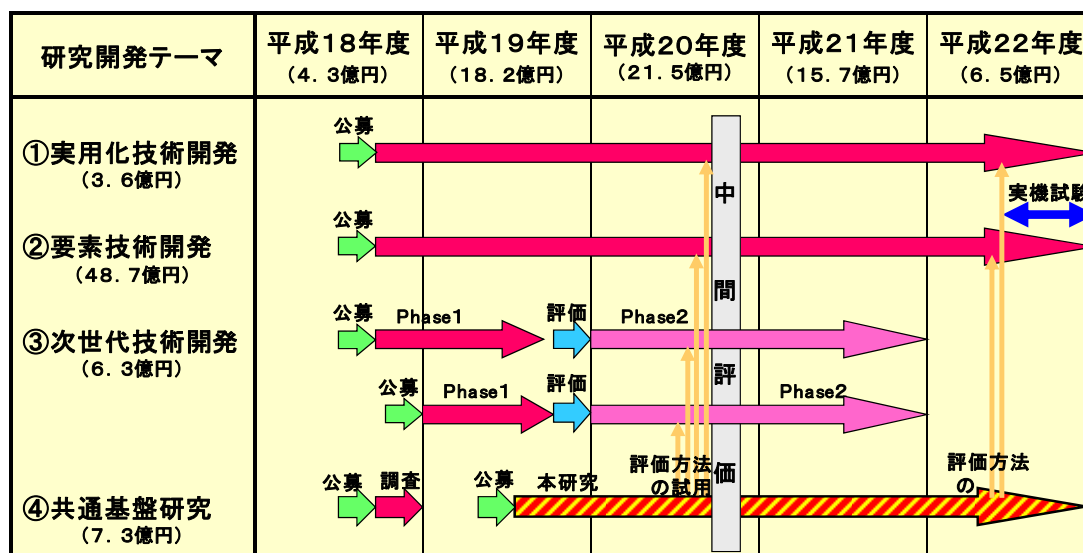
1年間のフィジビリティスタディ(FS)で研究開発の有用性を確認し、平成 19 年度末にステージゲート評価を実施して研究継続を判定した。継続が認められた案件については、その後2年間で、より低コストでより長寿命な材料等の研究を行ない、平成 21 年度に電池セルによる性能検証試験を実施した。

なお、本テーマでは2段階公募を行なうことにより、幅広い研究開発要素の汲み上げを図っている。

④ 共通基盤研究

平成 18 年度に基礎調査を実施し、その結果を受けて本研究として平成 19 年度から本プロジェクトの開発品に適用する各種の評価方法を検討した。平成 22 年度は、その適用結果をもとに最終的な評価方法として取り纏めた。

表 II.3-1 研究開発のスケジュール



2) 予算配分

4つあるテーマのうち、現行品をベースに材料から制御回路まで幅広く改良及び開発を行なう要

素技術開発については、試作や試験等に多くの費用が必要となるため、それらが円滑に実施できるよう、他テーマに比べて特に多くの予算を配分した。

また、実用化技術開発においては、大型化技術の開発に重点を置く案件に予算を加重配分した。

次世代技術開発については、最初の1年間は1件あたり 1000 万円程度でFSを実施し、その後2年間にはそれぞれの研究内容を十分勘案して相応の予算を割り当てた。

さらに、共通基盤研究については、調査や各種性能試験に必要な費用を配分した。

なお、各テーマの年度毎の研究実績額を表Ⅱ.3-2 に示す。

表Ⅱ.3-2 研究予算一覧表

テーマ	研究開発費用（億円） [実績額]					総額
	H18 年度	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22 年度	
実用化技術開発	0.2	0.8	0.6	1.4	0.7	3.6
要素技術開発	3.7	15.8	14.5	10.3	4.4	48.7
次世代技術開発	0.2	0.9	3.2	2.2	-	6.3
共通基盤研究	0.2	0.7	3.2	1.9	1.4	7.3
合計	4.3	18.2	21.5	15.7	6.5	66.2

4. 研究開発の実施体制

本プロジェクトの実施体制としては、NEDO、委託先、プロジェクトリーダー（以下、PLという）・サブプロジェクトリーダー（以下、SPLという）、技術委員から成り、それぞれの役割は以下の通りである。

①NEDO

プロジェクトを推進し、目標達成に向けて研究開発全体のマネジメントを行なう。

②委託先

本プロジェクトでは、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、電気二重層キャパシタを中心に高性能で低コスト、長寿命な大型蓄電システムの実現を目指して、4テーマ合計で29の実施者が委託先または再委託先として研究開発を実施している。

③PL・SPL

実施者側の立場で研究開発の進捗や成果等の管理を行なう。

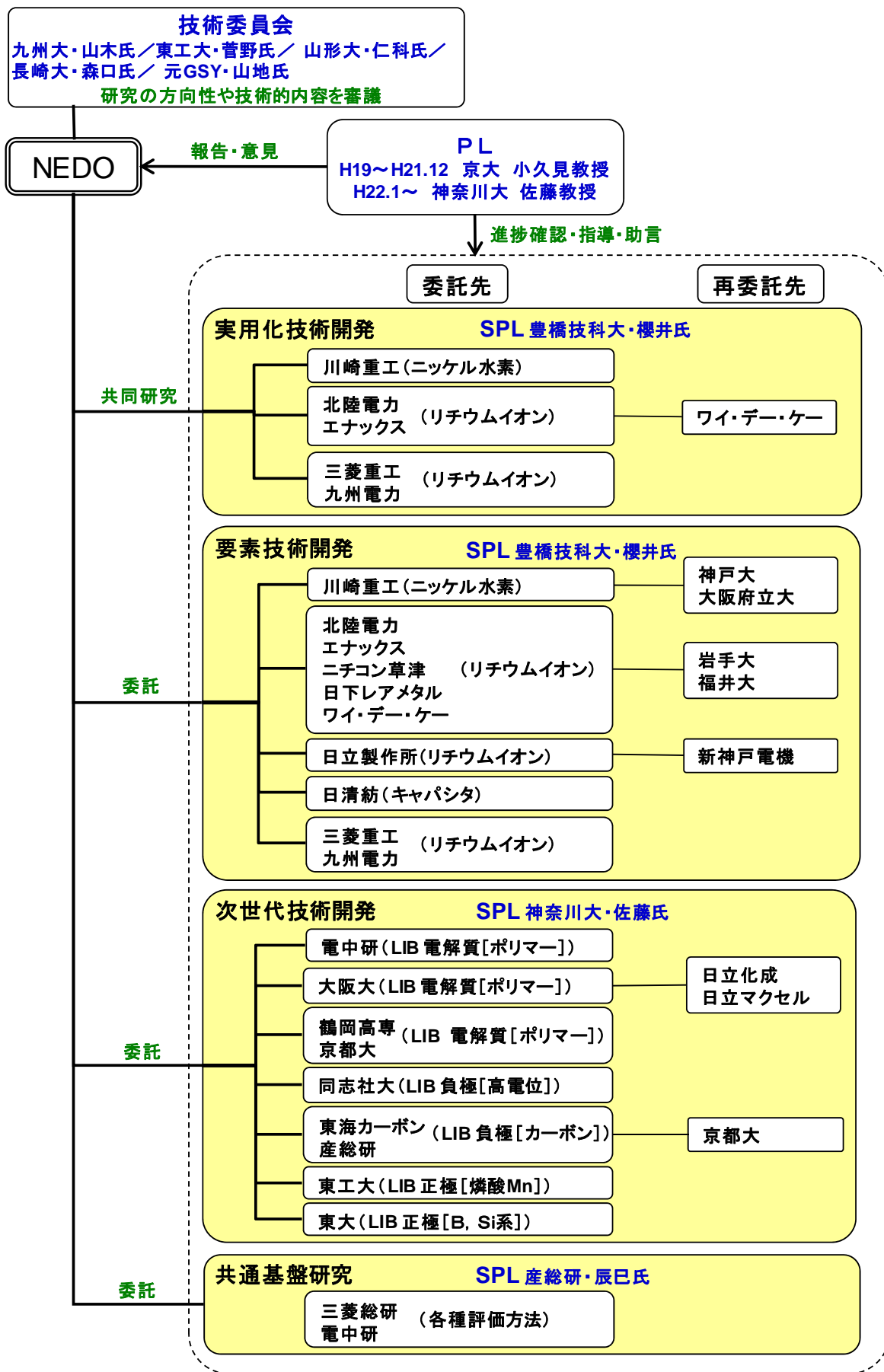
本プロジェクトでは、研究開発全体の管理を行なうPLを1名、3つあるグループ毎に進捗管理等を行なうSPLをそれぞれ1名ずつ設置している。（詳細後述）

④技術委員

外部有識者から成り、第3者の立場で研究開発の方向性や技術的内容について審議を行なっている

本プロジェクトでは、大学関係者4名のほかに、メーカーの技術開発経験者1名を技術委員として委嘱している。（詳細後述）

研究実施体制図および各テーマにおける委託先の役割分担を図Ⅱ.4-1～5 に示す。



図Ⅱ.4-1 研究実施体制図

「実用化技術開発」実施体制

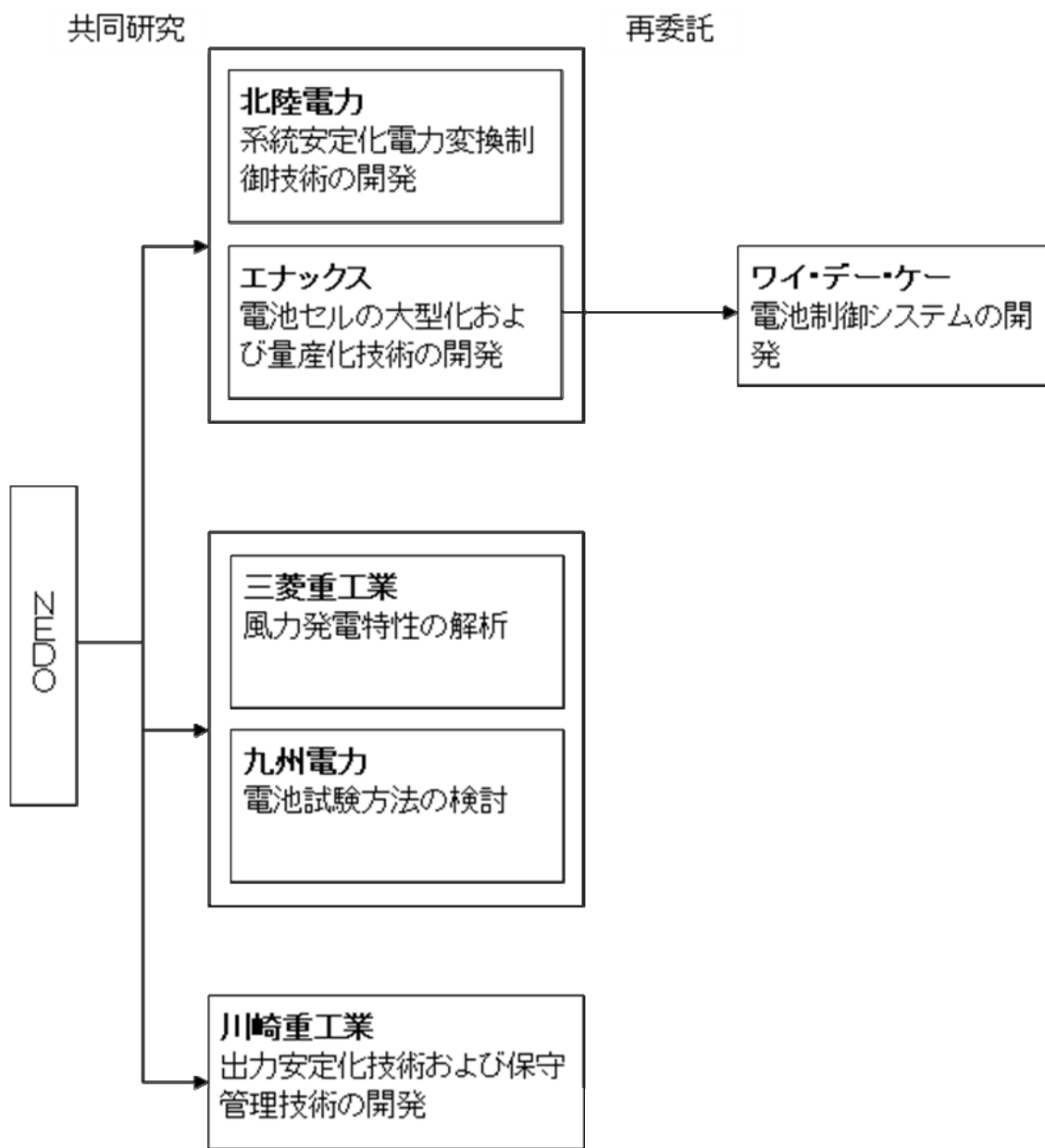
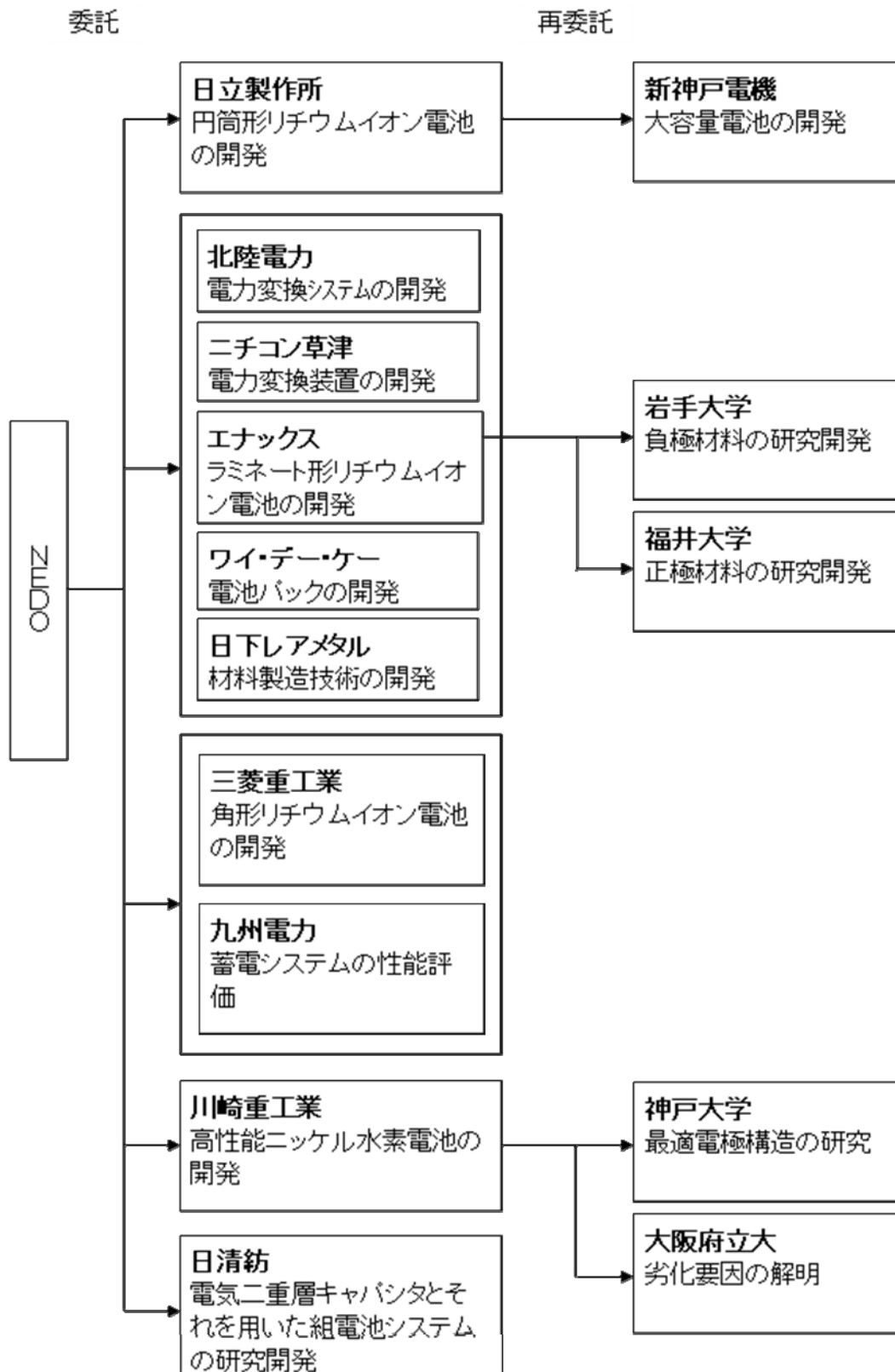


図 II.4-2 研究実施体制(平成 22 年度時点)と役割分担(実用化技術開発)

「要素技術開発」実施体制



図Ⅱ.4-3 研究実施体制(平成22年度時点)と役割分担(要素技術開発)

「次世代技術開発」実施体制

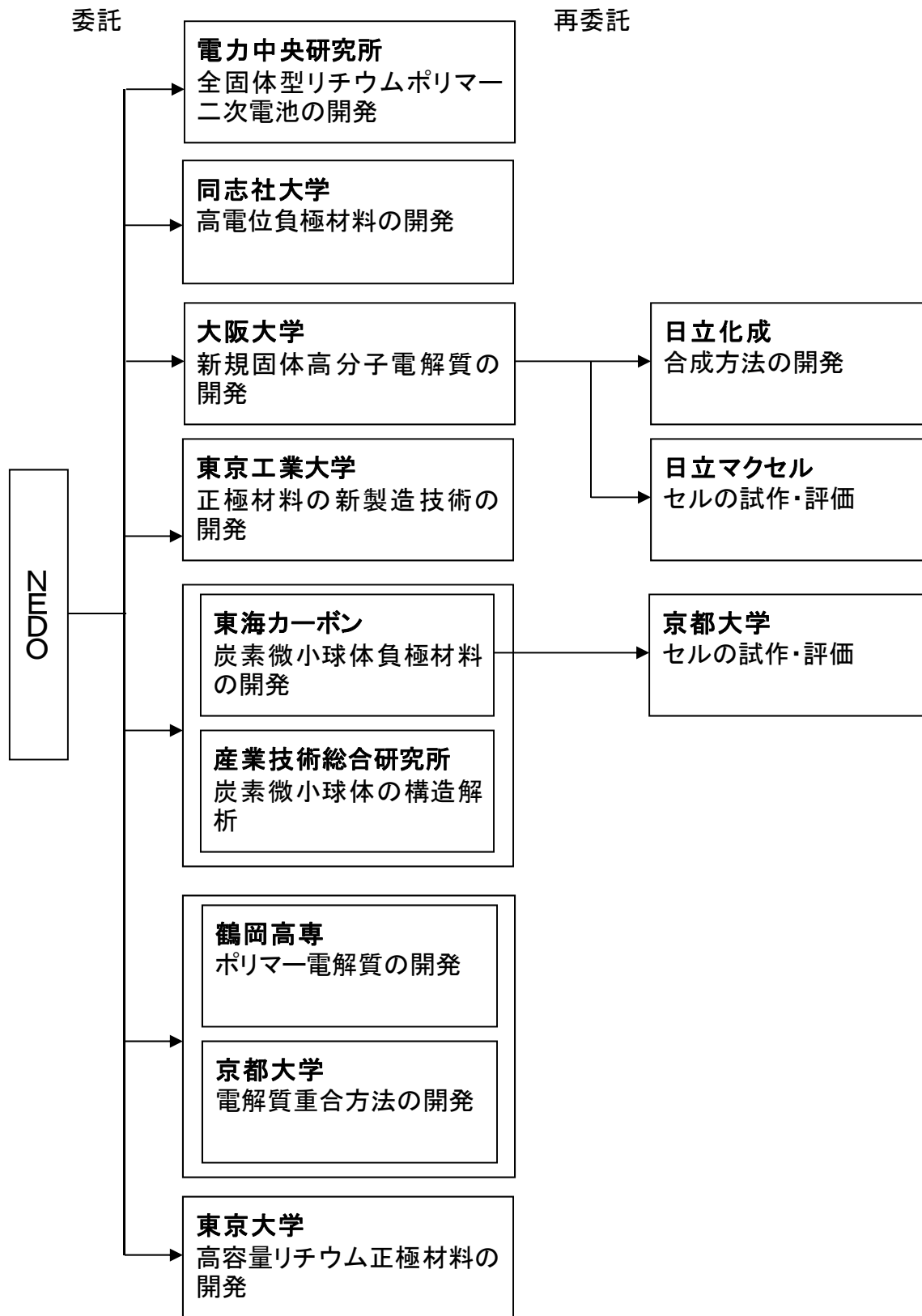
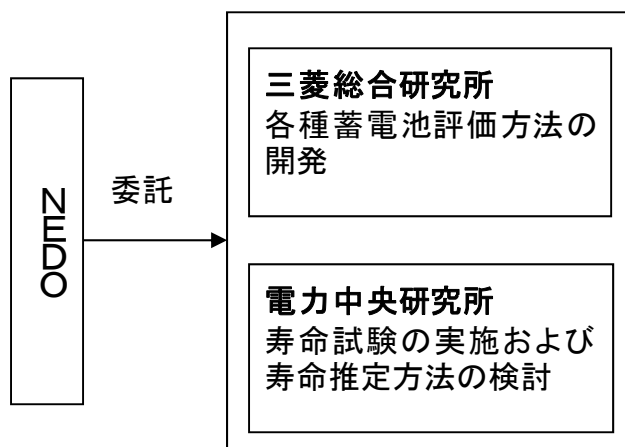


図 II.4-4 研究実施体制(平成 21 年度時点)と役割分担(次世代技術開発)

「共通基盤研究」実施体制



図Ⅱ.4-5 研究実施体制と役割分担（共通基盤研究）

5. 研究開発の運営管理

本プロジェクトには実用化技術開発、要素技術開発、次世代技術開発、共通基盤研究の4つのテーマがあり、次世代技術開発のように材料から蓄電技術の基礎研究を実施するものや、実用化・要素技術開発のように既存の技術をベースに大型の蓄電システムを開発して実証試験を行なうもの、共通基盤研究のように各種評価方法について検討し標準化を目指すものなど、技術開発の内容が多岐にわたる複数のテーマを一つのプロジェクトとしてまとめ、下記のような種々方法で意義ある成果を効率的・効果的に得るための運営管理を実施している。なお、本プロジェクトのようにテーマの異なる多数の委託先を統括管理する事例は稀であり、先進的な試みである。

1) PLおよびSPLの設置

プロジェクト開始当初は、NEDOが主体となってプロジェクトの運営を行なってきたが、研究開発を機能的かつ効率的に遂行するために、平成19年度の後半から、PLを設置してプロジェクト全体の統括管理を行なうとともに、より円滑なプロジェクト管理が出来るよう、研究開発テーマを3つにグループ化して、それぞれにSPLを置き、グループ毎で研究開発の進捗管理を実施している。

なお、PLおよびSPLには、本プロジェクトの採択審査を担当し、平成19年度まで技術委員としてプロジェクトに関わって頂いた方のほかに、過去にリチウム電池開発で評価関係を担当した経験のある方を新たにSPLに選任した。

また、PLおよびSPLは、基本計画に記された技術目標に基づき、研究開発の方向性（場合によっては技術目標の見直し等を含む）や研究開発項目の選定、実施体制の構築、適正な予算額の確保、新たな課題への取り組み等に関して、委託先およびNEDOに対し、適宜、適切な助言・指導を行なっている。

さらに、必要に応じて、NEDO参加のもとでPL・SPL会議を開催し、プロジェクトの方向性等について確認・調整を行なっている。

表Ⅱ.5-1 PL・SPL

役職	所属・氏名	担当
PL	国立大学法人京都大学・小久見教授※ (平成 19～21 年 12 月)	統括管理
	学校法人神奈川大学・佐藤客員教授※ (平成 22 年 1 月～22 年度)	
SPL	国立大学法人豊橋技術科学大学・櫻井教授	実用化・要素技術開発
	学校法人神奈川大学・佐藤教授※ (平成 19～21 年度)	次世代技術開発 (平成 21 年度終了)
	独立行政法人産業技術総合研究所・辰巳グループ長※	共通基盤研究

※は本プロジェクトの旧技術委員(平成 18～19 年度)を示す。

2) 技術委員会の開催

外部有識者から技術委員を選任して、研究開発の進捗報告や問題点について議論する技術委員会を年2回開催している。

技術委員については、平成 19 年度末に見直しを行ない、表のような内容となった。

なお、旧技術委員については上述の通り、平成 20 年以降もPLおよびSPLとして、プロジェクトの運営に参加頂いている。

また、本プロジェクトの技術委員会では、各委託先の進捗報告は最小限に留め、議論中心の内容としている点が特徴的である。各者の研究開発の進捗については定型の様式にまとめ、関係者へ送付して内容を確認してもらって事前に個別の問題点をクリアにしておき、委員会の場ではその問題点について出席者全員で議論を行なう形を取っている。

表Ⅱ.5-2 技術委員

役職	所属・氏名
委員長	国立大学法人九州大学・山木教授
委員	国立大学法人東京工業大学・菅野教授
	国立大学法人山形大学・仁科教授
	国立大学法人長崎大学・森口教授
	元日本電池株式会社・山地氏

3) グループ会議の実施

NEDOが主体となり、3つに分けたグループ毎に必要なに応じて年1～2回の頻度で、それぞれの委託先および各グループ担当のSPLが参加するグループ会議を開催している。

なお、この会議でも技術委員会と同様に議論中心とした形式をとり、グループとして共通な問題点等について出席者全員で議論するとともに、委託先間の連携強化の役割も果たした。

- ・ 実用化・要素技術開発グループ [7委託先]

- ・ 次世代技術開発グループ [9委託先]
- ・ 共通基盤研究グループ [2委託先]

また、国際標準化に関する取り組みや開発品の各種評価方法など、グループ横断的な議題については、合同グループ会議を実施した。

4) 中間評価の実施

平成 19 年 3 月、次世代技術開発におけるステージゲートとして外部有識者が参加し、1年間実施したFSの評価を行なった。この結果、9つある研究開発のうち7つが継続を認められ、2つが終了となった。

実用化・要素技術開発および共通基盤研究については、平成 20 年度にプロジェクトの中間評価を実施した。これは外部有識者が研究評価委員を務め、プロジェクトの取り組み内容や方向性、NEDOのマネジメント等について評価して戴き、高評価を得た。また、この結果を受けて後年度の研究継続の可否について検討し、その結果、全ての研究開発について更なる成果を期待し継続することとした。

5) 各種進捗管理

本プロジェクトでは、独自に管理表を作成して各種の進捗を管理してきた。

その内容を元に、委託先で開催される会議に適宜参加、あるいは別途委託先との打ち合わせの場を設け、詳細を直接確認している。

① 予算執行管理

毎月 10 日期限内で委託先が先月度の予算執行調査表を作成し、それをもとに予算の執行状況を管理している。

予算執行状況調査表(委託用)											
プロジェクト名:	系統連系円滑化蓄電システム技術開発										
契約件名:	○○○技術開発 / ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○の研究開発										
委託先名:	_____										
間接経費率:	_____ %										
1. 月別予算執行状況											
項目	H20年度限度額 又は契約金額 (A)	4月 実績	5月 実績	6月 実績	7月 見込み	8月 見込み	9月 見込み	10月 見込み	11月 見込み	12月 見込み	1月 見込み
I. 機械装置等費											
II. 労務費											
III. その他経費											
IV. 間接経費 ^{※1}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V. 再委託費・共同実施費 ^{※2}											
消費税及び地方消費税 ^{※3}		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
総計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
^{※1} 間接経費は、各月の(I+II+III)×間接経費率で自動計算。また、合計についても各月の合算で自動計算。 ^{※2} 再委託費・共同実施費は、消費税及び地方消費税を含まない金額を入力。 ^{※3} 消費税及び地方消費税は、各月の(I+II+III+IV+V)×0.05で自動計算。また、合計についても各月の合算で自動計算。											
2. 機械装置・外注等の執行状況											
機械装置名・外注件名	予算額(円)	実績額(円)	発注(予定)日	納品(予定)日	検取(予定)日						
○○特性試験装置											
○○試験装置											

図 II.5-1 予算執行管理様式

6) 委託先会議等への参加

委託先が実施する自社内及び研究グループ内の進捗会議等に出席して、研究開発の進捗状況を把握するとともに、委託先の研究開発現場に直接出向いて実施担当者と面談することにより、現場における問題点の抽出や不明点の解決等も合わせて行なった。

しかし、委託先における企業秘密事項との関わりがあつて効率的な会議ができない場合もあり、その場合、別途打ち合わせの機会を設けて研究開発現場に出向き進捗や課題、研究の方向性などについて打ち合わせた。

また、共通基盤研究で開催する、有識者による各評価方法の検討ワーキングや、専門家委員会にも出席し、進捗状況及び専門家意見の共有化や研究開発の方向性確認、不明点等の解決などを図った。

7) その他研究開発への関与

テーマ横断的な取り組みとして、共通基盤研究で開発した各種評価手法を、実用化・要素・次世代技術開発での開発品評価に適用した。平成20年度に寿命評価手法の簡易的な方法案を各委託先に示し、次世代技術開発のうち電池化して寿命評価できるテーマについては、この方法を適用し評価した。また、平成22年度半ばに最終的な各種の評価方法案を全委託先に周知すると共に、開発品の評価結果のまとめ方について各委託先との議論を踏まえ決定した。

各委託先での研究開発上の課題点を対策するため、必要に応じて実施体制の見直しや予算額の変更などを適宜行い、実施計画を見直した。例えば、大学による材料開発に、材料メーカー・電池メーカーを再委託先として追加することで電池化に向けた検討を加速させたり、開発した電池の想定外の発熱による劣化が課題として浮上した際、温調の有無による費用対効果の検証を追加するなど、成果の最大化を念頭に取り組んだ。

6. 情勢変化への対応

1) 中間評価を踏まえた情勢変化への対応

平成20年度に実施した中間評価において研究評価委員から頂いた以下3点の主な意見についての対応をまとめる。

①太陽光発電への急なシフトへの対応

本プロジェクトを開始した2006年当時はスケールメリットが得られることなどから再生可能エネルギー発電の主役として風力発電が考えられていたが、2008年頃には風力発電の立地好適地が限られていることや、騒音等による健康被害への懸念、太陽光発電パネルの低コスト化などの要因から、太陽光発電を主とする考えに急激にシフトしてきた。このような背景を受け、太陽光発電の対応と太陽光発電併設蓄電システムの実用化に向けた検討をすべきとの意見を頂いた。これに対し、実用化技術開発／三菱重工・九州電力による研究開発において風力発電に加え太陽光発電に必要な仕様の研究を追加し、メガソーラーに蓄電システムを併設した実証試験を実施し、実用化の見通しを得た。

②二次電池の可能性等の社会への積極的な情報発信

二次電池の可能性、将来像などについて、社会に対する積極的な情報発信をすべきとの意見を頂いた。この対応として、例えば、共通基盤研究においてコスト評価手法開発の一環と

して行った定置用蓄電システムの海外需要調査と市場規模推定の結果を、毎年実施している成果報告会や一般のステークホルダーが参加するワークショップ、講演会等で積極的に発表した。また、定置用蓄電池の国際標準化に関する動向や、蓄電システムのできること、役割、可能性などについても講演会や学会誌への執筆等で一般に広く発表してきた。このような活動によって情勢の変化をステークホルダーに周知すると共に、蓄電池を取り巻く産業の活性化に貢献した。

③系統への影響、蓄電システムの必要性の検討

再生可能エネルギーの導入が電力系統に及ぼす影響や蓄電システムの必要性について、電力会社等ユーザーの意見を踏まえ十分に吟味するようご指摘を頂いた。これに対して、電力会社(8社)、電気事業連合会、日本風力発電協会等と意見交換を実施した。将来的に再生可能エネルギーを大量に導入して行くことを考えると、系統への影響を軽減するために蓄電システムの設置が必要になってくることについては一致した考えであったため、本プロジェクトでは当初の予定通り一貫した取り組みを実施した。しかし、蓄電システムのコストが課題であり、この対策の一つとして、蓄電システムを風力発電所ごとに設置するのではなく、いくつかの風力発電所で共有の蓄電システムを設ける、という考えもあった。ならし効果によって出力変動の振幅も小さくなり蓄電システムにかかるコストを少なくできる効果がある。さらには、住宅用太陽光発電の導入拡大も考えて電力系統内に蓄電システムを設置し電力系統全体で対策すると、系統対策のための蓄電池設置コストは最小限に抑えられると考えられている。しかし、誰が系統対策費用を負担するのかにもよるため、今後も検討を続けていかねばならない課題である。

2) 国際情勢変化への対応

①定置用大型蓄電池評価手法の標準化検討

国際競争力向上の観点から、定置用大型蓄電池の標準化活動について、電池工業会と意見交換、共通基盤研究で開発した各種評価方法の紹介、大型リチウムイオン電池セルを製造する本プロジェクト委託先の電池工業会入会への協力等を行い、標準化活動への働きかけを実施した。

②その他国際対応

欧州での定置用蓄電池へのニーズの高まりを受け、平成 20 年 9 月にベルギーのブラッセルにて第1回の日欧専門家会議を開催し、欧州における蓄電技術の研究開発状況および国としての取り組み等について意見交換を行った。その後、平成 21 年 3 月に東京にて第1回日欧ワークショップを実施、平成 22 年 9 月にベルギーにて第2回日欧ワークショップを実施して、今後協力して取り組んでいく事項について検討を行ってきた。その結果、

- ・安全性、寿命評価方法等などの検討
- ・非競争分野の技術開発(将来技術分野)

について、日欧で個別に検討を進め情報交換等を実施していくことになった。

欧州の電力会社や各研究機関を訪問して系統への蓄電システム導入の方向性や蓄電開発状況の調査を実施し、その結果を成果報告会や共通基盤研究ワークショップ、講演会などで発表した。

システム導入においてはヨーロッパを中心に機能安全性を系統的に検討し評価するシステム

アシュアランスが取り入れられ、日本はこれに対応しきれていない。原子力、航空機、自動車など、いろいろな分野にシステムアシュアランスの考え方が取り入れられてきており、蓄電システムについても将来の海外市場においては例外ではない可能性がある。システムアシュアランスは日本の企業にとって不得意であるため、システムアシュアランスを用いた蓄電システムの開発方法について、その手順やポイントが分かるよう、平成 21 年度後半より共通基盤研究にて検討を追加実施し、将来に備えることとした。

3) 情報の共有化

①蓄電池情報交換会の開催[NEDO内]

月に1回、NEDO内で蓄電に関連する7つの部署の担当者を集めて、情報交換会を開催した。ここでは、関連事業の開発状況や課題などについて各部より報告し、それに対して参加者全員で議論を行なっている。また、委託先による関連事業成果の発表会の開催や、終了したプロジェクト成果の活用についても可能性を検討している。

②自動車用電池開発との委員等の共通化

現在、スマートコミュニティ部で実施している「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」については、同じ蓄電システムの開発であるため本プロジェクトとの関わりが強い。そこで本プロジェクトでは、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」の技術委員や実施者を本プロジェクトのPL、SPLに選任することで、情報の共有化を進め、重複等なく効率的、効果的にプロジェクトを実施する体制を取っている。共通基盤研究で開発したコスト評価手法を「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」の委託先との間で共有化している。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 成果の概要

本事業成果の一覧を表Ⅲ. 1-1に示す。

表Ⅲ. 1-1 本研究開発成果の一覧

項目	目標	研究開発成果	達成度
実用化技術	1MW級の大型の蓄電システムを構築し、実証試験を6ヶ月以上実施する。	6ヶ月以上の実証試験実施、大きな問題なし。	達成
	安全性、運転効率等の条件の確保を確認	安全性及び風力・太陽光発電出力安定化機能を確認	達成
	コスト見通し、寿命を評価	事業化に向けて課題を 出	達成
要素技術開発	5~20kW(放電レート1C 度の条件のもと) 度の電池モジュールを開発し、評価を行う。	電池モジュールを開発し、各種評価を実施した。	達成
	量産時のコスト4万円/kWh以内	1000MWhの量産規模においてシステムレベルで達成したと 断、 し電池と組むPCS仕様に いがあり、コストに大きく影響 (PCSの量産品開発は今回の開発対象外)	達成
	10年間の使用に耐えうること	加速試験、実 データを 用したシミュレーションで寿命推定し、達成と 断した。	達成
共通基盤研究	モジュール/システムレベルでの評価方法を確立	セル/モジュール/システムレベルでの評価手法確立	達成
	開発品への評価方法の適用	開発した評価手法を本プロジェクトで開発する蓄電技術に適用した。また本研究の成果が蓄電池評価手法の標準化へつながるよう、各種の活動をした。	達成
次世代技術開発	2030年時点での量産時コスト1.5万円/kWhを確立	目標達成に必要な要素技術を達成した。なお達成には本研究以外の要素技術が実現することが必要	達成
	2030年時点での量産時20年の寿命	目標達成に必要な要素技術を達成した。なお達成には本研究以外の要素技術が実現することが必要	達成

各項目に関する研究開発成果は以下の通りである。

1) 実用化技術開発

実用化技術開発では、1MW級の蓄電システムを構築し、試験設備等において6ヶ月以上の実証試験を行い、安全性、運転効率等の条件の確保を確認し、コスト見通し、寿命を評価することを最終目標とした。蓄電システムに用いる電池系としては、ニッケル水素電池で1テーマ、リチウムイオン電池で2テーマとした。実証に用いる再生可能エネルギー発電は風力及び太陽光とした。

主な成果は次の通りである。

- ・1MW級への展開を想定したリチウムイオン電池、ニッケル水素電池の電池系による、世界でも例

- の少ない、再生可能エネルギーの系統連系円滑化用蓄電システムを開発した。
- これらの蓄電システムを実際に太陽光発電施設 1カ所、風力発電施設2カ所に設置して、6ヶ月以上の実証試験を実施した。
 - リチウムイオン電池、ニッケル水素電池を用いた各々のシステムにおいて再生可能エネルギーの出力の平滑化効果、安定化効果を確認し、本蓄電システムの有効性を立証した。
 - 安全性については、セル等の監視技術と適切な充放電制御技術により、システム全体として確保されていることを確認した。

またこれらの3つのテーマに関して、個別の成果は次の通りである。

- ニッケル水素電池の電池監視モニタシステムを開発した。これにシステムをより安全に、正確に制御することが可能になり、さらには電池の長寿命化を可能にした(川崎重工)。
- 系統瞬時電圧低下等の故障時、安定化装置が一斉に脱落して系統安定化に影響をあたえないようにする DVS 機能、運転を継続する FRT 機能を付加したシステムを開発した(北陸電力-エナックス)。
- 数カ所の太陽光発電設備の詳細なフィールドデータを採取、シミュレーションを行いリチウムイオン電池、インバータのスペックを最適化した(三菱重工-九州電力)。

これらの3つのテーマについての実証研究内容は表Ⅲ. 1-2の通りであり、これらは全て本事業終了後も継続研究を行っている。実証データのさらなる積み上げにより、風力発電及び太陽光発電と系統連系円滑化用蓄電システムにおけるニッケル水素電池及びリチウムイオン電池の得失について今後も検討していく。

表Ⅲ. 1-2 実用化技術開発での実証研究内容

項目	川崎重工業	北陸電力-エナックス	三菱重工業-九州電力
定格出力	100kW	100kW	120kW
公称容量	100kWh	100kWh	120kWh
システム構成	200Ah-12Vスタック×48直列	40Ah-53.2Vパック×6直列×8並列	96Ah-14.8Vモジュール×28直列×4並列
電池種類	ニッケル水素電池電池 (密閉型)	リチウムイオン電池 (ラミネート型)	リチウムイオン電池 (積層角形)
実証場所	西目風力発電所 1850kW(秋田県) 	志賀風力発電設備 275kW(石川県) 	諫早太陽光発電設備 100kW(長崎県) 

2) 要素技術開発

要素技術開発では、正・負極、セパレータ、電解質、集電体、モジュール管理用の回路システム等の構成部材単位の性能向上及び製造技術に関する研究開発を行い、さらにこれらの技術を反映した

蓄電技術のモジュールレベルの試作と性能実証を行った。量産時のコスト4万円/kWh 以内、10 年間の使用に耐えうることを最終目標とした。これらの目標に対し、リチウムイオン電池で 3 テーマ、ニッケル水素電池で 1 テーマ、及び電気二重層キャパシタ 1 テーマにて実施した。

主な成果は次の通りである。

- これまでほとんど例のない、系統連系円滑化用蓄電システム用の大形リチウムイオン電池、ニッケル水素電池、電気二重層キャパシタを開発した。
- これらの電池、キャパシタについて、系統連系円滑化用蓄電システム用に必要な特性、コスト、寿命を実現するために、電池の各要素について研究開発を行った。
- 開発した電池、キャパシタを用いて、系統連系円滑化用蓄電システム用のモジュールを開発した。
- 量産時のシステムコスト4万円/kWh を達成(1000kWh/年の量産時)。
- 開発した電池は推定寿命 10 年を達成した(ベンチでの加速試験、寿命初期の実測データを利用したシミュレーションで寿命推定)。

これらのテーマに関して、個別の成果は次の通りである。

- ニッケル水素電池 200 Ah 級モジュールを完成した。正極前処理による耐久性向上策により 1800 サイクルにわたり劣化を抑制することができた。また電極製造プロセス改良基礎検討を行い、コスト低減をした(川崎重工)。
- 20Ah のラミネートタイプリチウムイオン電池を開発し、これを 28 個用いた電池パックを製作した。電池パックにはセルバランス監視及び調整機能をもつ新規なバッテリーマネージメントシステムを開発して搭載した(北陸電力-エナックス)。
- 電極・電解液組成の改良及びセル・単位電池構造の改良により、1C の出力で 125Wh/kg 得られる角形積層 91Ah 級リチウムイオン電池を開発した。モジュール接続構造、安全性確保、保守容易性、コストを考慮したリチウムイオン電池ユニットを設計し、これを元に、システム内の温度分布を改善するためファンおよび換気口の設置場所を改良した、改良型 33kWh 級ユニットを開発した(三菱重工-九州電力)。
- 長寿命化のために、正極活物質表面改質、負極作成プロセスの改良を行った円筒形 100Ah 級リチウムイオン電池を開発した。この電池により5kWモジュールを製作した。モジュールには新たに開発した充放電制御アルゴリズムによるバッテリーシステムコントローラを装備し、これが想定通りの保護機能を発現することを確認した(日立製作所)。
- 低コスト・長寿命な高容量活性炭、高電圧・長寿命な電解液、新型密閉容器を採用した 900F、3V の新型キャパシタセルを開発した。これを用いたキャパシタモジュールを開発した。キャパシタとニッケル水素電池によりニッケル水素電池-キャパシタ並列組電池システムを開発し、サイクル寿命試験およびニッケル水素電池の保存試験結果により、10 秒断続充電条件において 10 年の期待寿命を得た(日清紡ホールディングス)。


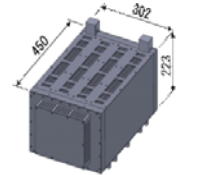



表Ⅲ. 1-3に、各委託先が開発したセル、モジュール、パック等および外観を一覧にまとめた。

表Ⅲ. 1-3 開発品の外観

(A) セル

Items	日立製作所	エナックス-北陸電力	三菱重工業-九州電力
Positive Electrode	Mn based material	LiMn ₂ O ₄	transition metal compounds containing Li ion
Negative Electrode	Carbon	Carbon	Graphite
Capacity(Ah)	8.1	20	91
Average Voltage(V)	3.8	3.8	3.8
Specific Energy(Wh/kg)	100	133	125(1C)
Weight(kg)	0.3	0.57	2.7
Dimension(mm)	φ 40 × 108	325(W) × 7.5(D) × 133(H)	116(W) × 66.5(D) × 175(H)
Life	6000Cycle (86.4%, 25°C, 0.5CA, SOC10-90%)	1000Cycle (82%, 25°C, 0.5CA, SOC0-90%)	10year
appearance			

(B) セル/モジュール/パック、システム

Items	日立製作所	エナックス/北陸電力	三菱重工業/九州電力	川崎重工	日清紡
Cell				—	
	8.1Ah、3.8V	20Ah、3.8V	90Ah、3.8V	—	900F、3V
Module					—
	単セル12直列、5kW	単セル2並列	単セル4直列	10直列(バイポーラ)	—
Pack/ System	—		 電池ユニット盤I		
	—	モジュール14直列、 2.13kWh	モジュール28直列、 33kWh	モジュール48直列、 102 kWh	3kWh Ni-MH電池 -キャパシタ組電池

3) 次世代技術開発

次世代技術開発では、2030年時点での量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命を目指して、従来の概念にとらわれない、低コスト、長寿命の蓄電技術の確立のために、リチウムイオン電池の新しい材料・構造・製造方法等について探索的な研究を実施した。開発品に関しては小型セルにて基本性能を確認することを目標とした。

主な成果は次の通りである。

- ・電解質に関しては、高安全、長寿命を目的として新規な3つの高分子固体電解質を開発した。
- ・負極については、新規な微小球体黒鉛負極及び新規な高容量酸化チタン系の活物質を開発した。
- ・正極については、新規製造法による高容量磷酸マンガンリチウム正極活物質を開発し、また全く新規なコンセプトによる新たな正極活物質を研究開発した。
- ・各テーマにおいて、2030年時点での量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命の目標を達成するための見通しを得た。

これらのテーマに関して、個別の成果の代表的なものは次の通りである。

- ・高安全な新規な固体電解質/黒鉛/ニッケル・マンガン・コバルトで3積層ラミネート電池を作成して、無加圧で150mAh/gの容量と150回以上のサイクル特性を得た(電中研)。
- ・イオンチャンネルを利用した高いイオン伝導性をもつ新規な固体電解質を開発して、セパレータレスのバイポーラ型リチウムイオン電池、電気二重層キャパシタを試作してその可能性を実証した(鶴岡高専・京大)。
- ・低障壁イオン伝導固体電解質を設計、合成してその特性を詳細に検討して、電解質としての可能性を示した(大阪大学)。
- ・新規な微小球体黒鉛を開発して、特性向上の検討をした。その構造及び電池構成時の表面皮膜の構造解析を行った。最終的に電池にて特性の評価を行った(東海カーボン・産総研)。
- ・新規チタニア Ti_2O の合成方法、電極形成方法等を検討し、小型セルにてその特性を明らかにすることにより負極材料としての可能性を実証した(同志社大)。
- ・低温噴霧熱分解法と湿式ボールミルによる $LiMnPO_4/C$ ナノ構造粒子の合成に成功し、合成した $LiMnPO_4/C$ の初期の高放電容量を確認した(東工大)。
- ・全く新規なSi系、B系の正極活物質を検討し、合成法を確立した。さらに合成した正極活物質の結晶構造を決定し、それぞれ高可逆容量を確認した(東大)。

4) 共通基盤研究

共通基盤研究では、系統連系蓄電システムの開発目標に掲げられている4つの評価項目、すなわち、コスト・安全性・寿命・性能について、本プロジェクトで開発する蓄電システムを評価するための標準的な評価手法を開発することを目標とした。

主な成果は次の通りである。

- ・コスト評価方法・性能評価方法・安全性評価方法・寿命評価方法の開発においては、セル・モジュール・システムレベルの評価方法を確立した。その結果を本プロジェクトで開発した蓄電技術に適用した。適用に際しては、これらの評価方法を一冊にまとめた手順書(評価手法説明書)を作成し、開発者に提供すること、また開発者向けの説明会を行うなどして便宜を図った。
- ・コスト評価方法の開発においては、海外における蓄電システムの潜在需要を推計することも行い、

想定した蓄電システムの量産規模の妥当性を確認した。

- ・性能評価方法の開発においては、電中研赤城試験センターにて電池の評価を実際に行ない、妥当性の検証を行った。
- ・寿命評価方法の開発においては、開発品(セル)を対象に標準充放電パターン、簡易充放電パターンによる充放電試験を実施し、開発品への適用可能性を検証した。
- ・安全性評価方法の開発においては、日EU技術ワークショップにて開発手法・アプローチを発表した。また海外市場を視野に入れ、システムアシュアランス手法の適用方法を確立した。

また、開発したこれらの評価手法について、有識者によって審議、助言を得る場として、専門委員会を組織した。専門委員会は全期間で9回、WGは全体で24回実施し、専門家による指導・助言をもとに開発手法を審議し、その熟度を高めた。

加えて、一般公開の共通基盤研究ワークショップを合計3回実施し、NEDO技術委員会の指針をも踏まえ、開発した手法について、本プロジェクト以外の研究者、開発者、ユーザーにまで範囲を拡げて妥当性を検証し、手法に関する合意形成を図った。

2. 成果の普及

特許出願件数(準備中も含む)や講演発表件数については表Ⅲ. 2-1の通りであり、大変多くの成果普及活動が行われており、また論文発表 52 件のうち 40 件は査読を経て掲載された論文である。

表Ⅲ. 2-1 特許・講演・論文発表数一覧

成果普及	実用化技術開発・ 要素技術開発	次世代技術 開発	共通基盤 研究	合計
特許	45	11	—	56
講演発表	98	115	10	223
論文発表 (うち査読有り)	23	29	—	52
	13	27	—	40
プレスリリース等	4	9	4	17

3. 外部発信

1) ワークショップの開催

前述のように本事業の共通基盤研究においては、年に一度、ワークショップを開催した。本ワークショップでは、研究概要の報告と研究内容および検討の方向性について、一般聴衆からアンケートによる客観的な意見を聴き取り、それを今後の研究開発に反映させるなど、一歩踏み込んだ方法を試みた。開催の概要は以下の通りである。

第1回 平成 20 年 6 月 11 日 @東京ステーションカンファレンス

第2回 平成 21 年 3 月 4 日 @ベルサール八重洲

第3回 平成 22 年 2 月 24 日 @東京ステーションカンファレンス

それぞれ 150~210 名程度の参加者があり、NEDO、三菱総研、電中研による共通基盤研究の説明と一般聴衆からの意見をもとにパネルディスカッションを行なった。終了後の参加者のアンケートからは概ね好評の意見を得られた。

2) 成果報告会の開催

年に1回、NEDO主催の成果報告会を実施して、本事業の全てのテーマの成果を一般に向けて報告した。

燃料電池・水素技術開発部(平成22年7月1日からはスマートコミュニティ部)蓄電技術開発室で実施中の他テーマとの合同での成果報告会として、情報交換と成果の共有化が図りやすい環境で開催した。また、成果報告会の質疑応答の時間に出された一般からの客観的意見は、検討吟味してできる限り以後の研究開発に生かようにした。

3) 学会等への発表

各種学会・セミナー等において、本プロジェクトの実施概要について積極的に発表および説明を行った。また、平成20年度以降の(社)電気化学会電池技術委員会主催の電池討論会では、NEDOセッションを設け、関連テーマを同一会場で隣接した時間帯に講演するなど、情報の共有化や情報入手が容易となるよう工夫した。

表Ⅲ. 3-1 各種学会・セミナー等における本プロジェクトに関する発表

発表先	発表日	発表題目
電気化学会 電気化学セミナー 最先端電池技術-2008	平成20年 1月23日	リチウム二次電池開発の国家プロジェクトの状況
テクノフロンティア 2008 バッテリー 技術シンポジウム	平成20年 4月18日	次世代蓄電システムに対するNEDOの取り組み状況について
The 14th International Meeting on Lithium Batteries	平成20年 6月23日	Development of High-performance Lithium Batteries for grid-connection with New Energy resources and Next-generation Vehicles in Japan.
第113回アドバンスト・バッテリー 技術研究会	平成20年 7月15日	NEDO技術開発機構に於ける蓄電システム技術開発の概要
第16回電力貯蔵技術研究会	平成21年 11月13日	系統連系円滑化蓄電システムおよび蓄電池をとりまく最近の動向
International Battery Association Meeting and Pacific Power Source Symposium	平成22年 1月12日	Development of High-performance Lithium Batteries for Grid-connection with New Energy Resources and Next-generation Vehicles in Japan
第123回アドバンスト・バッテリー 技術研究会	平成22年 3月15日	定置用蓄電池及びその応用技術に関する研究開発についてのNEDOの取り組み

4. 実施者個別成果

1) 実用化技術開発・要素技術開発

①電力貯蔵用アドバンスド Li イオン電池の研究開発(株式会社日立製作所)

1. 事業の目的

エネルギー密度が高く、蓄電にともなう電池の充放電エネルギー変換効率が高い、電力貯蔵用 Li イオン電池を開発し、環境調和型社会の創生に寄与する。

2. 事業概要

蓄電にともなう電力の入出力が高効率のためエネルギーのロスが小さく、さらに入出力の負荷追従性にも優れた特性を示す Li イオン電池を、系統連系円滑化蓄電池システムとして実用化するため、現状の 2 倍となる 10 年の長寿命を有し、かつ低コストである Li イオン電池を開発した。

平成 18 年度ではスピネル型 Mn 正極材料の元素置換の検討を実施するとともに、高エネルギー密度・長寿命化に向けた表面改質技術の予備検討を行った。また、電解液材料の開発においては添加剤を含めた電解液組成が寿命特性に及ぼす影響およびそのメカニズムを解析し、更なる長寿命化に向けた検討を行った。平成 19 年度では、平成 18 年度に検討した材料検討結果を基に、正極材料では表面酸化物コーティング技術を開発して Mn 溶出の抑制を図り(平成 20 年度)、電池のサイクル特性を評価した(平成 21 年度)。負極材料においては、高エネルギー密度化に向けた合剤組成を検討し、高エネルギー密度化と長寿命化のために黒鉛系負極の改良を行った(平成 20 年度)そして、1Ah 級電池の試作評価を進め、8Ah 単電池の試作・評価を実施した(平成 20～21 年度)。併せて寿命予測法の検討し、寿命予測式を確立した(平成 21 年度)。

上記検討結果を利用して 100Ah 級単電池を設計、製作し、初期特性を評価した(平成 19～20 年度)。さらに、単電池の出力特性試験、温度特性試験等の各種性能試験、ならびに濫用試験(内部短絡試験)を実施した(平成 20～21 年度)。上記単電池 12 直列からなる 5kW モジュールの機械強度等の構造設計を進め(平成 20 年度)、モジュール性能試験を行った。(平成 21 年度)。

各種既存蓄電システムの負荷特性を調査し、電池制御アルゴリズムのシミュレーション環境の基本設計を行った。既存蓄電池データに基づき等価回路モデルを構築し、制御ソフト評価用基板を試作し、20MW 蓄電システムの簡易評価を行った(平成 19 年度)。さらに、内部抵抗等の電池データに基づく充電深度(SOC; State of Charge)の基本演算処理のモデル化を進め、電池の分極特性に対応する SOC 演算処理を追加した電池状態検知アルゴリズムを開発し(平成 20 年度)、シミュレーション環境下での正常な動作を確認した(平成 21 年度)。この演算処理ソフトを用いたバッテリーパックコントローラ(BPC; Battery Pack Controller)とその上位コントローラの基本設計を行い、各コントローラを連携させたソフトウェアの正常動作を検証した(平成 22 年度)。

5kW モジュール制御をおこなうためのモジュール制御回路(BMC; Battery Module Controller)の基本設計を行い(平成 20～21 年度)、5kW モジュール制御回路(BMC)をモジュールに搭載して過電圧に対する保護動作を確認した(平成 22 年度)。

最後に、10MW 級蓄電システムを想定したシステムコスト試算を行い、システムコスト目標への到達度を評価した(平成 22 年度)。

3. 研究開発の実施スケジュールと予算

年度		18	19	20	21	22
実施項目	①電池材料の開発	→				
	②電池仕様の検討・評価	→				
	③単電池の設計及び試作評価	→				
	④電池運転制御システムの開発	→				
開発費用 (百万円)	年度	94	348	258	92	60
	総額	852				

4. 研究開発目標

(1) 最終年度目標

単電池の寿命見通し：10年(2000サイクル相当)以上

モジュールのエネルギー密度：50～200Wh/kg

モジュールの電力量：2.5kWh以上

モジュールの最大出力：5kW以上

システムコストの見通し：40k¥/kWh以下(量産時)

(2) 想定条件・根拠

単電池の寿命見通し：25℃環境下にて0.5Cの充放電サイクルにおける容量維持率より推定した。なお、寿命到達時の容量維持率は60%とした。

モジュールの電力量：25℃環境下にて充電深度100%まで充電した後、0.5Cの定電流にて充電深度0%になるまで放電させたときに得られた電力量とした。

モジュールの最大出力：電流外挿法により、下限電圧とその電圧に達するときの電流値との積により計算した。

システムコストの見通し：共通基盤技術で開発した計算ソフトを利用して、計算した。

5. 研究開発成果

(1) 成果の達成状況

表1に示すように、全ての目標を達成した。特に、寿命とモジュール電力量、モジュール出力については、目標値を大幅に超える実績値を得た。

表1 本研究開発による成果のまとめ

項目	目標値	実績値	達成度
寿命 (サイクル)	2000 [10年相応寿命]	6000	◎
エネルギー密度 (Wh/kg)	50~200	86.4	○
モジュール電力量 (kWh)	2.5以上	3.9	◎
モジュール出力 (kW)	5以上	30.4	◎
システムコスト (万円/kWh)	4以下	4	○

(注記) ◎; 目標を大幅に超えて達成、○; 目標を達成

次に、実施項目ごとに研究開発成果の概要について説明する。

(2) 電池材料の開発

① 正極の開発

システムコスト目標を達成するためには、電池材料のコスト削減を図る必要がある。低コストな正極材料としてスピネル型 Mn 正極が知られているが、その結晶格子からの Mn イオンの溶出があつて、正極の寿命が短くなる問題があつた。Mn 溶出を促進する一つの反応過程に、電解液中に生成したフッ化水素 (HF) が関与していると考えられている。

そこで、本研究では、スピネル型 Mn 正極の表面を酸化物被膜によって被覆し、Mn 溶出を抑制する技術開発に着手した。酸化物 (Mn 以外の元素からなる酸化物) を被覆することにより、Mn 溶出量を未処理品に対して 60% 低減させることができた (次頁の図1左)。また、酸化物により表面を改質した正極材料を用いたラミネート電池を製作し、サイクル試験時の容量維持率を約 3% 向上させることができた (次頁の図1右)。本研究で見出された Mn 溶出抑制効果はトップクラスの実績であり、学会発表等を通じて成果の普及に努めた。

② 負極の開発

電池材料のコスト削減には、負極材料の検討も必要である。本研究では、低コストで高用量な黒鉛系負極に着目し、その実用上の最重要課題となるサイクル劣化の解消を図った。

黒鉛系負極のサイクル劣化の主要因は、黒鉛へのリチウムイオンの吸蔵放出により、黒鉛が膨張収縮し、黒鉛粒子が集電体から剥離することであることを見出した。次いで、負極の剥離強度を評価指標としながら、負極構成材料の見直しと負極の製造プロセスの最適化を進めた。その結果、負極製造条件を改良することによって、負極の剥離強度が約2倍に向上させ、その負極を用いたラミネート電池のサイクル容量維持率を大幅に改善させた (次頁の図2)。

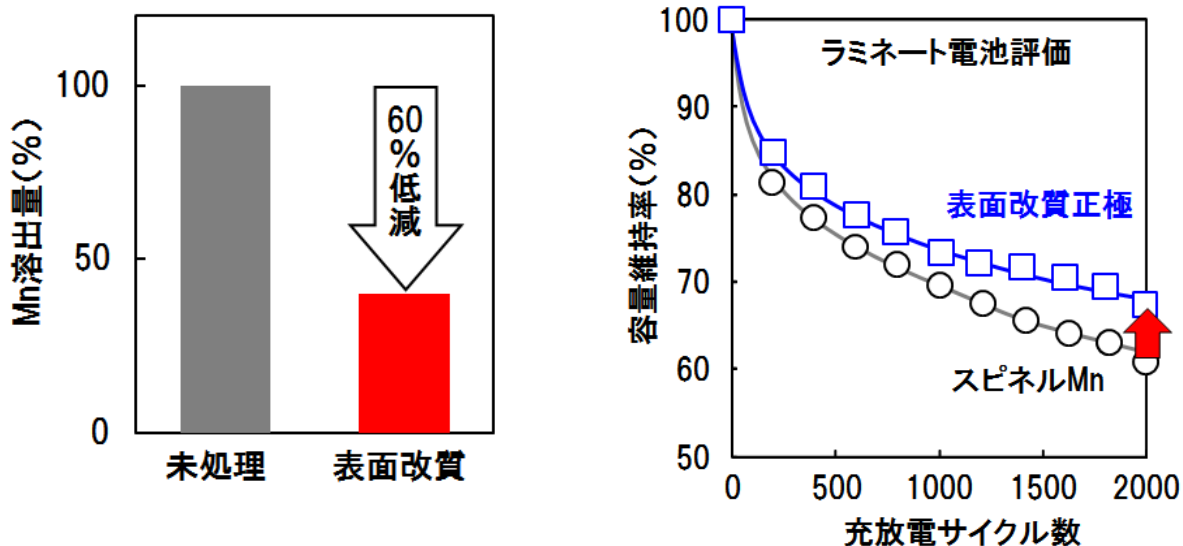


図1 Mn 溶出量(左)と容量維持率(右)に対する表面改質の効果

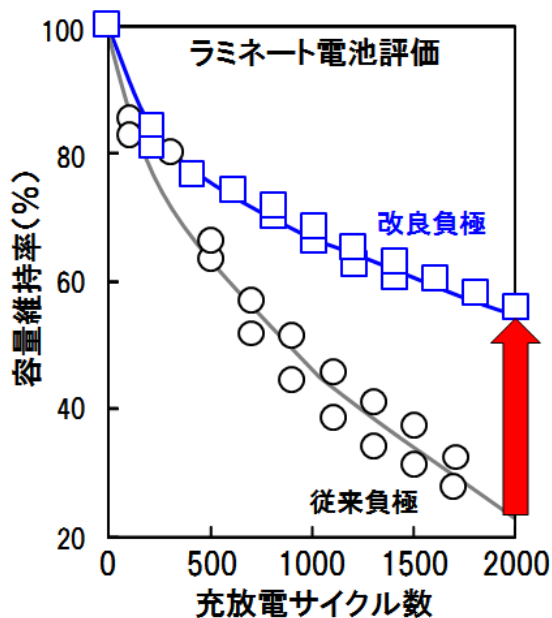


図2 剥離強度を向上させた黒鉛負極を用いたラミネート電池のサイクル寿命特性

(3) 電池仕様の検討

① 電池仕様の検討[正負極材料の電池評価]

Li イオン電池の高容量化のためには、高容量な正極と負極を適用することが有効である。そこで、高容量正極として、スピネル型 Mn に高容量な層状 Mn を添加した混合正極を、高容量負極として、非晶質炭素よりも高容量な黒鉛負極、または非晶質炭素と黒鉛の混合負極をラミネート電池に用い、高容量化の可能性を検討した。本検討に用いたラミネート電池の電極仕様を表2に示した。なお、表1の電池 SN-4 に用いた黒鉛負極は、前述の剥離強度を改良する前の負極仕様となっている。

表2 ラミネート電池の電極仕様

正極	負極	電池名称
スピネル型 Mn 正極	非晶質炭素負極	SN-1
混合正極	非晶質炭素負極	SN-2
スピネル型 Mn 正極	混合負極	SN-3
混合正極	黒鉛負極	SN-4

図3は、表1の仕様のラミネート電池の放電曲線を示す。電池 SN-1 と SN-2 の比較により、混合正極を用いて電池容量が増大することがわかる。さらに、電池 SN-1 と SN-3 との比較、ならびに電池 SN-2 と SN-4 との比較から、非晶質炭素に黒鉛を混合するか、黒鉛単独で負極に用いることによって電池の容量が増大し、特に黒鉛負極を用いたときに(電池 SN-4)、最も高い容量が得られることがわかった。

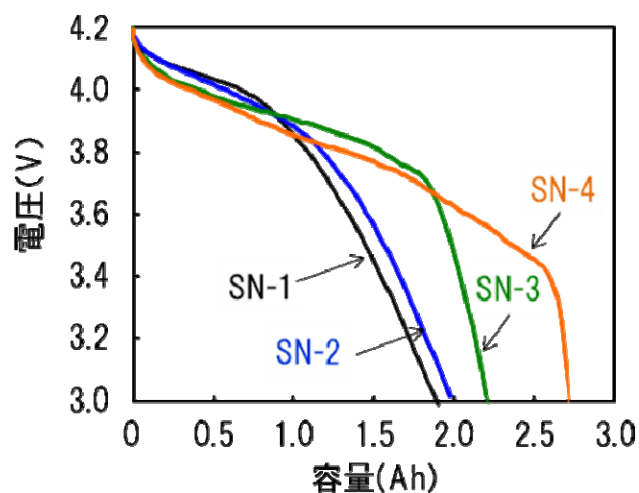


図3 表2の電極仕様にて試作したラミネート電池の放電特性

図3の結果に基づいて 8Ah 電池を設計、試作し、電池の高容量化の検証と寿命評価を行った。図4の左に示す電池は、試作した8Ah 電池である。電池形状は円筒形で、直径 40mm、高さ 108mm である。表3には、8Ah 電池に用いた正極材料と負極材料、ならびに電池容量とエネルギー密度を記載した。



図4 8Ah 電池の外観(左)

表3 8Ah 電池の仕様と性能評価結果

電池名称	正極材料	負極材料	電池容量 (Ah)	エネルギー密度 (Wh/kg)
SN-1	スピネル型 Mn 正極	非晶質炭素	6.7	85
SN-2	混合正極	非晶質炭素	8.1	100
SN-3	スピネル型 Mn 正極	混合負極	8.0	100
SN-4	混合正極	黒鉛	10.2	130

高容量な混合正極(電池 SN-2)、非晶質炭素と黒鉛の混合負極(電池 SN-3)、あるいは黒鉛負極(電池 SN-4)を用いることによって、電池のエネルギー密度を増大させることが可能となった。また、電池 SN-2、SN-3、SN-4 の仕様にて単電池エネルギー密度 100Wh/kg の見通しを得たので、本結果を 100Ah 級電池の設計に適用した。

②寿命評価と寿命推定手法の確立

図4は、充電深度(SOC; State of charge) 10~90%の間で、0.5C の定電流充放電サイクル試験を 8Ah 電池に対して実施し、そのときに得られた電池容量維持率をサイクル数に対してプロットした結果である。試験環境の温度は、25℃一定とした。また、寿命到達時の容量維持率は初期容量に対して 60%とし、1年間のサイクル数を 200 回として寿命目標 10 年以上(サイクル数として 2000 回以上)に対する電池寿命の到達度を評価した。

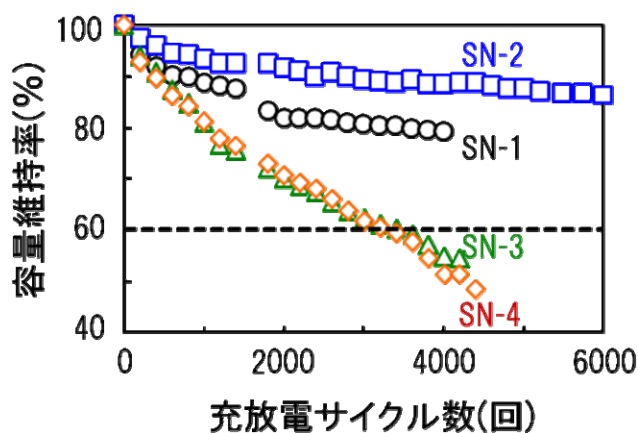


図5 8Ah 電池の充放電サイクル試験における容量維持率の変化

非晶質炭素を用いた電池 SN-1 と SN-2 は、初期容量の点で黒鉛を負極に用いた電池 SN-3、SN-4 よりも劣っているが(図3)、安定して高い容量維持率を保持した。特に、電池 SN-2 は、混合正極を用いることによって電池の容量が増大し(図3、表3)、容量維持率が最も高かった。寿命目標 2000 回も大幅に達成し、サイクル数 6000 回においても 86.4%の高い容量維持率を示した。

また、混合負極(SN-3)または黒鉛負極(SN-4)を用いた電池は、電池 SN-1 と SN-2 に比べて容量維持率がやや劣っているが、容量維持率 60%時点で 3000 サイクルを超えており、黒鉛を用いた負極においても寿命目標 10 年以上を達成しうることを確認した。なお、図5の電池 SN-3、SN-4 に用いた負極は、剥離強度向上の対策を行っていない負極である。負極製造プロ

セスの最適化(図2)によって、容量維持率はさらに改善されるものと考えている。

最も優れた寿命が期待される電池 SN-2 を用いて、寿命予測式を検討した。寿命予測式は、保存(放置)による劣化項と充放電サイクルによる劣化項の和で表されると仮定した。保存劣化の項(下式の第1項)は、充電深度 50%における保存試験により求めた。次に、サイクル試験における見かけ上のサイクル劣化分(サイクル試験期間中の保存劣化分を含む。)から、そのサイクル試験に要した保存時間に応じた保存劣化分を差し引いて、保存劣化を含まないサイクル劣化分(下式の第2項)を導出した。なお、 N_p は保存日数(時間)、 N_{cyc} はサイクル数、 T は電池の環境温度である。A、B、 n_1 、 n_2 は保存劣化分またはサイクル劣化分の項に含まれる係数である。

$$\text{容量維持率} = 1 - \left[\sum_T \left\{ A \cdot (N_p)^{n_1} \cdot f(T) \right\} + \sum_T \left\{ B \cdot (N_{cyc})^{n_2} \cdot g(T) \right\} \right]$$

保存劣化
サイクル劣化

温度Tでの保存日数
温度Tでのサイクル数

温度係数
温度係数

寿命予測式の適用可能な温度範囲に特に制限はないが、本検討の温度範囲は 25~45°Cとし、25、35、45°Cの3条件における保存試験とサイクル試験のデータに基づいて寿命を解析した。寿命予測式の妥当性は、いわゆる寿命の \sqrt{t} 則(寿命が時間 t の平方根に比例する関係)に基づいて検討した。すなわち、X軸を保存時間またはサイクル数の平方根とし、Y軸を保存劣化分またはサイクル劣化分としたときに直線関係があり、寿命予測式が妥当であることを検証した。図6は、保存劣化に要する時間をサイクル数の平方根に揃えてプロットしたときの結果を例示している。保存劣化分とサイクル劣化分のそれぞれがサイクル数の平方根との間に直線関係を示しているため、それらの劣化の和で電池全体の劣化を見積もることができる。

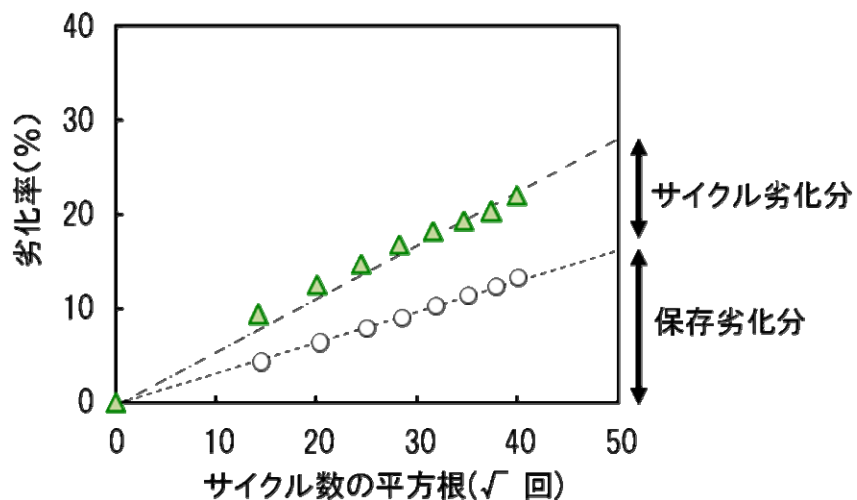


図6 劣化率に含まれるサイクル劣化分と保存劣化分

図7に、45°Cにおける保存劣化とサイクル劣化を分離した結果を示した。通常はサイクル試験時の容量低下率(容量維持率100%からの減少分)が、保存劣化による容量低下分を含んでいるために、実際の蓄電システムの休止時間とサイクル数によって電池の劣化率が変動し、電池寿命を正確に予測することができなかった。本検討によって見出した寿命予測式によって、実運用を想定した寿命を算出することが可能になった。

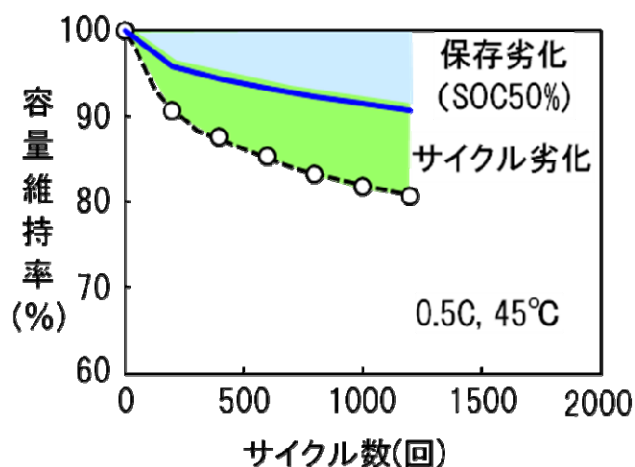


図7 電池の保存劣化とサイクル劣化

本研究で見出された 8Ah 電池の寿命特性は、トップクラスの実績である。寿命評価結果ならびに寿命予測方法に関しては、学会発表等を通じて成果の普及に努めた。

(4) 単電池の設計及び試作・評価

① 100Ah 級単電池の試作・評価

8Ah 電池の評価結果より寿命特性に優れた電池 SN-1 と SN-2 の電極を選択し、100Ah 級 Li イオン電池の設計に着手し、円筒形電池を開発した(平成 20～21 年度)。図8は、SN-2 に準ずる仕様(混合正極と非晶質炭素負極の組合せ)にて平成 21 年度に開発した電池の放電特性を示す。放電試験は環境温度 25°Cにて行った。定格容量試験の放電レートは 0.5C(電流値として 45A)とし、設計容量(90Ah)通りの放電容量(92Ah)と、114Wh/kg の高いエネルギー密度を得た。また、1C(90A)、2C(180A)の高いレートになっても、容量減少の割合が極めて小さく、高出力放電にも対応可能であることがわかった。本成果は、学会、論文等を通じて発表し、成果の普及に努めた。

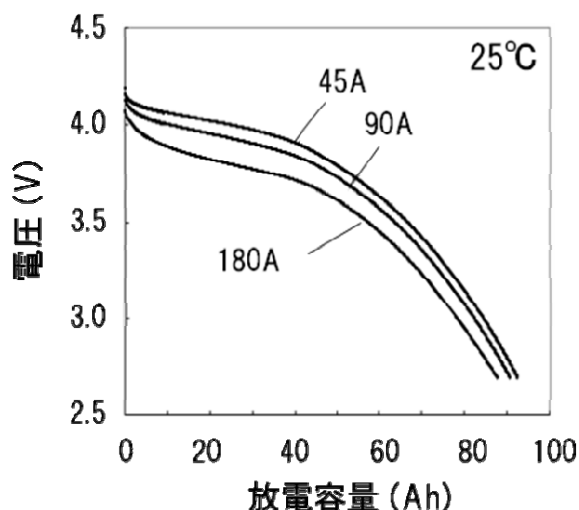


図8 円筒形 100Ah 級 Li イオン電池の放電特性

次に、100Ah 級電池の安全性試験(内部短絡試験)を実施し、本開発品の安全性を確認した。試験方法は、円筒形電池を充電深度 100%まで充電させた後、軟鉄製の釘(直径 5mm)を電池

中央部に突き刺して、電池内部に短絡を発生させた。釘の降下速度は1.6mm/sとした。短絡発生とともに電池電圧が急速に降下するので、その時間をゼロ秒として電池電圧と電池表面温度の経時変化を図9に示した。

内部短絡開始後、短時間で電池の表面温度が上昇した。その後、電圧がゼロになって短絡電流がゼロとなるので、電池内部の発熱が停止し、電池温度は緩やかに低下した。この安全性試験の過程で電池の破裂や発火がなく、電池の安全性が確保されていると判断した。

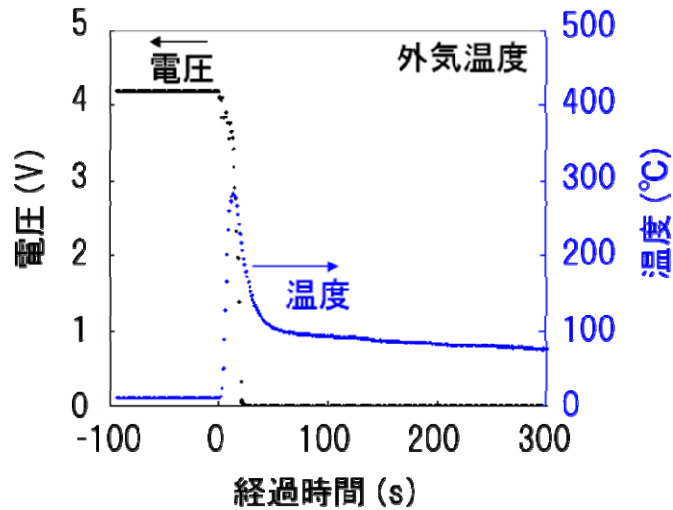


図9 円筒形 100Ah 級 Li イオン電池の安全性試験の結果

②5kW モジュールの試作・評価

前述の 100Ah 級単電池の評価によって、設計通りの性能と安全性を確認することができたので、本開発の単電池を用いた5kW モジュールを設計、製作した。表4は5kW モジュールの基本仕様を、図 10 は外観をそれぞれ示している。

表4 5kW モジュールの基本仕様

項目	仕様
単電池数	12 セル(直列接続)
定格電圧	43.2 V
放電レート	0.5C(常用) 2C(最大)
最大出力	5kW 以上

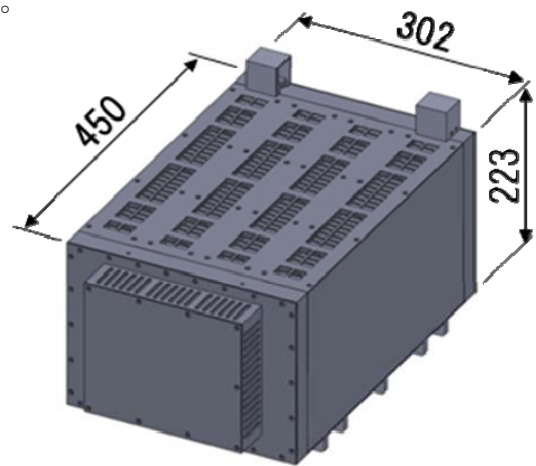


図 10 5kW モジュールの外観

5kW モジュールの筐体は、高強度樹脂材からなり、強度と軽量化の両立を図っている。さらに、単電池を支持する複数のリブを筐体内部に形成し、強度を一層向上させた構造を採用した。このような設計上の工夫により、電力貯蔵用電池規程(JEAC5006)で規定された加速度の2倍(1G)の耐震試験においても破損等の異常が認められなかった。また、モジュール内部での自然対流によって、電池から発生した熱が除去されるように、電池の配列や通気口などの構造設計を行い、連続充放電時の単電池温度の上昇を10°C以下になるようにした。

次に、本開発の5kWモジュールの性能試験結果について説明する。図11は、レートを変化させたときの放電特性を示す。モジュールの環境温度は25℃とした。定格条件の0.5C(電流45A)にて86.0Ah、1C(電流90A)にて83.5Ah、2C(電流180A)にて81.4Ahの高い容量が得られ、連続放電でも高レート放電が可能であることがわかった。

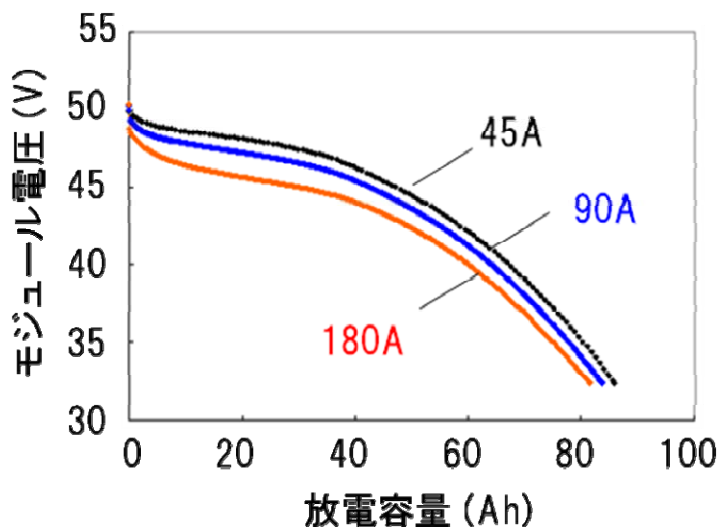


図11 5kWモジュールの放電特性

続いて、5kWモジュールの出力特性試験(表5)と温度特性試験(図12)を行った。モジュールの出力値は、放電電流と放電時の平均放電電圧の積から求めた実測値と、モジュールの下限電圧(32.4V)に達するときの最大電流との積(最大出力値)の両方を求めた。なお、後者の測定における最大電流は、複数の電流におけるモジュール電圧のデータを下限電圧に達するまでの直線で外挿し、下限電圧に達したときの電流値とした(共通基盤技術による手法に準じた)。放電電圧と平均放電電圧の積による実測であっても、目標出力5kWを上回る出力値7.4kWを得た(表4)。また、電流外挿による最大出力は30.4kWと非常に高い性能が得られた(表4)。また、放電容量の温度特性も良好で、-5℃の放電容量は25℃の放電容量に対して95.9%とわずか4.1%の低下に過ぎず、45℃の放電容量は98.1%であった(図12)。このように、-5℃の低温から45℃の高温にわたってほぼ一定の放電容量が得られた。

表5 出力特性試験結果

放電電流×平均放電電圧			電流外挿 最大出力 (kW)
電流 (A)	平均電圧 (V)	出力 (kW)	
45	43.1	1.9	30.4
90	41.9	3.8	
180	40.8	7.4	

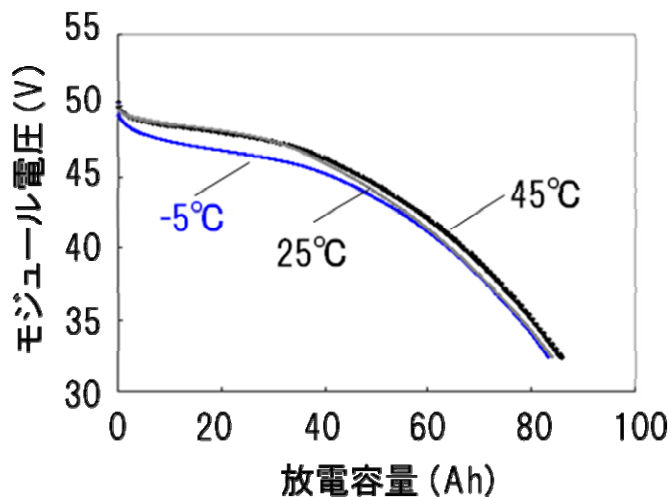


図12 5kWモジュールの放電容量の温度特性

③100Wh 級単電池と 5kW モジュールの安全性試験

本開発では、単電池の内部短絡試験のみが実施項目であったが(表6および前出の図6を参照)、オプション試験として単電池について外部短絡試験、過充電試験、過放電試験、外部加熱試験の5項目を追加した(表6)。さらに、5kW モジュールについては事故波及試験、過充電/過放電試験の2項目を実施した(表7)。試験条件は、共通基盤技術にて標準評価方法が提案されたが、電池容量・サイズや試験設備上の制約等を考慮し、標準評価法と同等の条件になるように試験条件を調整した自社法にて試験を行った。表7の過充電/過放電試験を除き、電池またはモジュールの破裂・発火がなく、電池とモジュールの安全性を確認することができた。また、過充電/過放電試験では、モジュールに装着した制御回路が過充電と過放電を検知し、保護動作処理を実行することを確認し、異常時にモジュールの充放電を安全に停止させることができることを明らかにした。

表6 100Ah 単電池の安全性試験

項目	位置づけ	評価方法	
		標準評価法	自社法
内部短絡	必須	—	破裂・発火なし
外部短絡	オプション	—	破裂・発火なし
過充電	オプション	—	破裂・発火なし
過放電	オプション	—	破裂・発火なし
外部加熱	オプション	—	破裂・発火なし

表7 5kW モジュールの安全性試験

項目	位置づけ	評価方法	
		標準評価法	自社法
事故波及	オプション	—	破裂・発火なし
過充電/ 過放電	オプション	—	過充電・過放電を制御回路が検知し、保護動作処理の実行を確認

(5) 電池運転制御システムの開発

① 充放電制御アルゴリズム設計

本開発では、図 13 に示す電池運転制御システムを設計し、モジュール内の単電池(セル)を管理するバッテリーモジュールコントローラから、セルの充電量や均等化判断などを実行するバッテリーパックコントローラ、さらにシステム全体を制御するバッテリーシステムコントローラからなる階層的な制御システムを開発した。

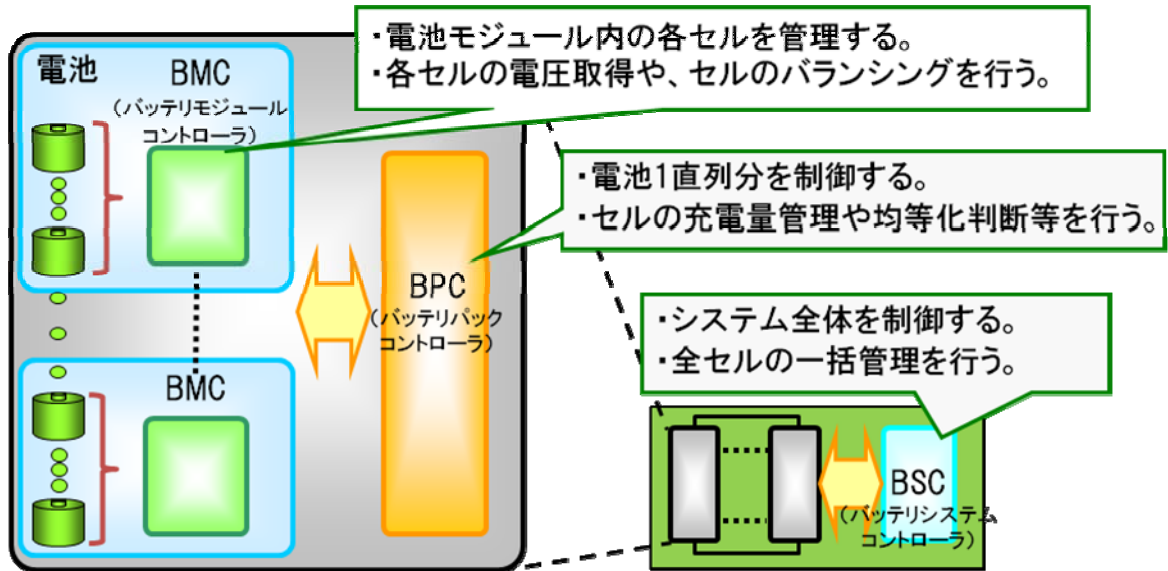


図 13 電池運転制御システムの構成

まず、電池制御システムを構築するために、単電池の等価回路モデルに基づいて電池状態を検知する充放電制御アルゴリズムを開発した。図 14 は、単電池の等価回路を用い、実際のセル電圧を計算した結果である。この結果より、等価回路単電池モデルが実測値を再現することが可能となった。そこで、本モデルを適用したシミュレーションベースにて、電池の充電深度 (SOC) を予測する電池状態検知アルゴリズムを開発した(図 15)。

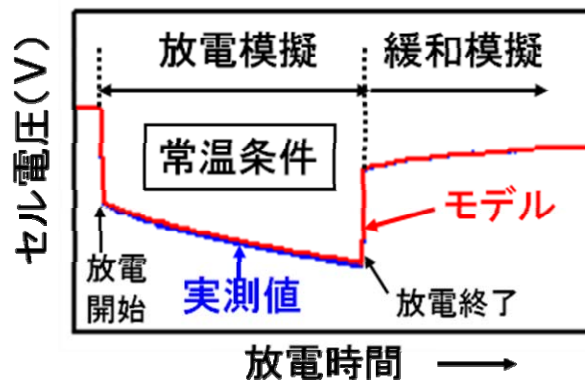


図 14 等価回路単電池モデルの検証結果

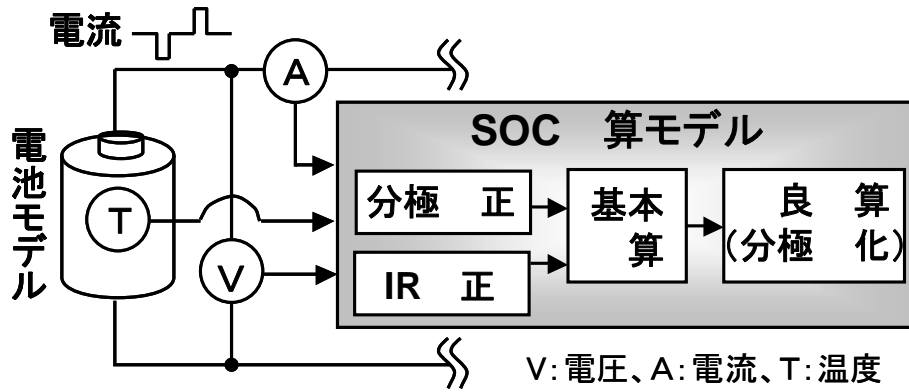


図 15 電池状態検知アルゴリズムの構成

②5kW モジュール制御回路の設計、製作

次に、5kW モジュール(図 10)の制御基板(BMC; Battery Module Controller)を設計、試作した。製作した基板の装着状況を図 16 に示した。本回路に過充電の電圧を入力させたところ、過充電閾値に達した時点で制御回路が過充電を検知し、正常な保護動作機能を発現することを確認することができた(図 17)。本結果は、前述の過充電/過放電の安全性試験の結果(表 7)にて言及した通りである。

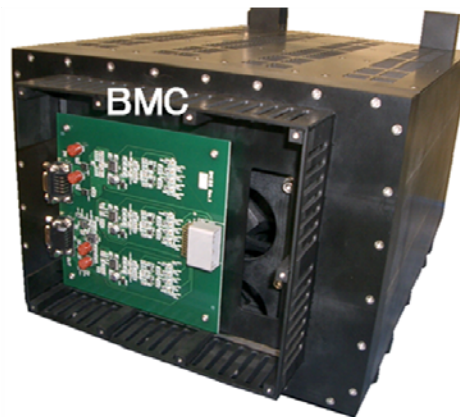


図 16 5kW モジュールへの制御基板(BMC)の装着状況

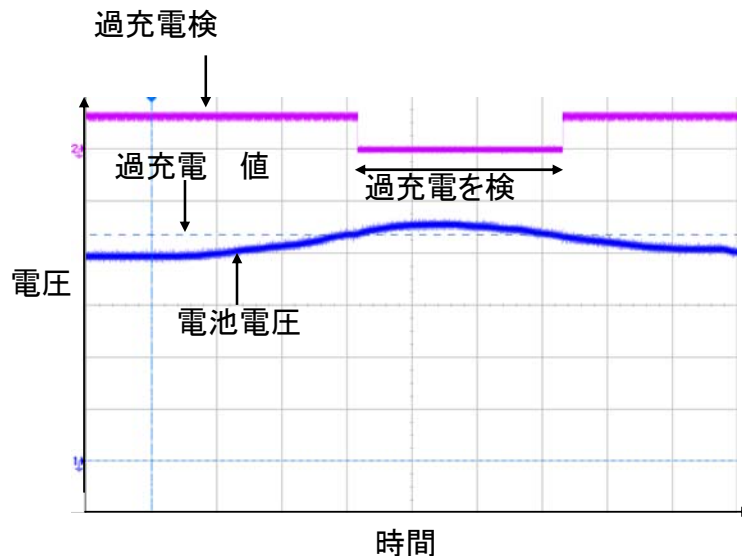


図 17 過充電に対する制御回路の保護動作

③電池運転制御システムの開発

BMC 基板(前出の図 16)、BPC (Battery Pack Controller) 基板(図 18)、インターフェース基板を、5kW モジュールと BSC (Battery System Controller) の模擬動作コンピュータに接続し、実際に電池を充放電させて、電池の状態(充電深度等)を正確に検知できることを検討した。図 19 は、モジュールに与えた電流の波形である。この電流変化に追従して、モジュールを構成する単電池の充電深度(SOC)が変化する。BPC 基板の出力値から計算した SOC は SOC の真値にほぼ一致し、両者の誤差の極めて小さい BPC を開発することができた(図 20)。

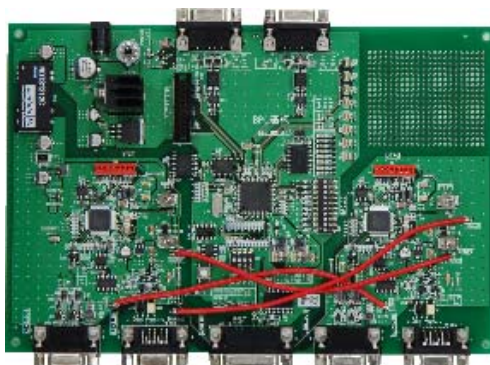


図 18 本開発のバッテリーパックコントローラ(BPC)基板の外観

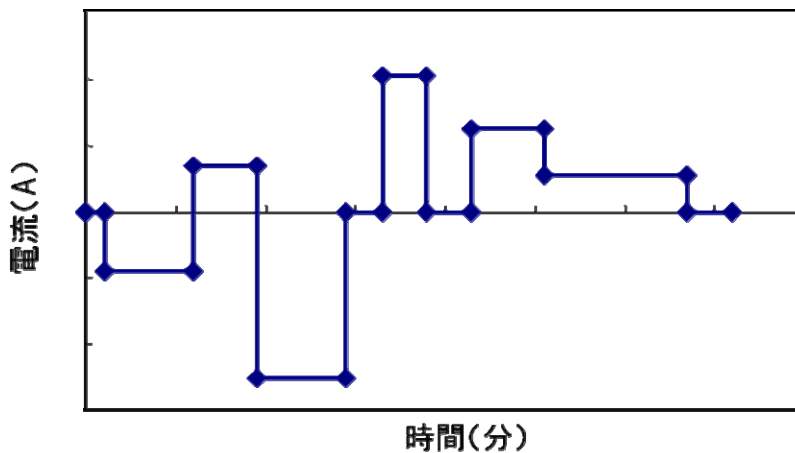


図 19 モジュールに与えた電流の波形

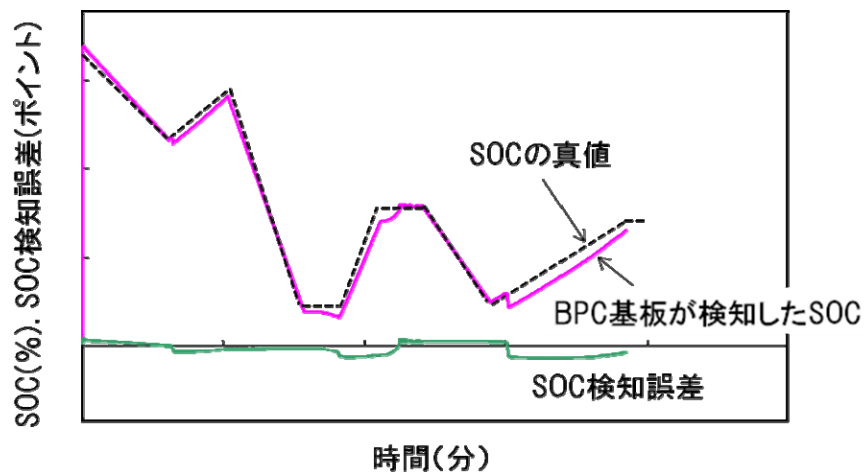


図 20 SOC 真値と BPC 基板が検知した SOC の関係

さらに、BSC 基板が過充電/過放電等の異常な電池状態を検知したときに、BSC 制御ソフトウェアが異常状態を表示し、正常な動作をすることを確認した(図 21)。



図 21 BSC 基板による電池の異常状態の検出状況

(6) システムコストの見通し

本開発で得られた 100Ah 級 Li イオン電池をベースに、風力発電の電力品質対策用システム(蓄電システム容量 10 MW)を想定したシステムコスト試算を行った。電池系は Mn 正極と改良黒鉛(剥離強度を改良した黒鉛)負極とした。なお、電池製造コスト、変換器等のシステム関連部品のコストなどに不確定要素(変動要因)があるため、幅を持たせて計算して妥当な結果が得られるようにした。結果を表8に示した。

表8 本開発の電池を用いた 10MW 級蓄電システムのコスト試算結果

生産量(MWh/年)	10	100	1000
電池製造費(%)	60~75%		
システムコスト (円/kWh)	160,000~ 220,000	60,000~ 80,000	35,000 ~45,000
目標4万円/kWhの 達成の有無	未達成	未達成	達成可能

結論として、1000MWh/年の量産時には4万円/kWhの目標達成は可能であることがわかった。ただし、変換器等のシステム関連部品のコスト削減も必要である。

今後の課題としては、システム仕様に応じたコスト試算、大量生産技術開発にリンクしたコスト精度の向上などが挙げられる。

6. 成果の普及

(1) 特許出願 17件

出願番号	発明の名称
特願 2007-206874	リチウム二次電池
特願 2008-59873	リチウム二次電池及びその製造方法
特願 2008-49866	リチウム二次電池
特願 2008-240427	リチウム二次電池
特願 2008-245892	リチウム二次電池の充放電制御装置
特願 2008-297514	リチウム二次電池
特願 2009-123665	リチウム二次電池用負極およびそれを用いたリチウム二次電池
特願 2009-177267	非水電解液および非水電解液を用いたリチウムイオン二次電池
特願 2009-183964	非水リチウム二次電池
特願 2009-204538	リチウム二次電池
特願 2010-54354	非水電解液及びこれを用いたリチウム二次電池
特願 2010-110753	非水電解液及びこれを用いたリチウム二次電池
特願 2010-164460	電池制御システムおよびその制御方法
特願 2011-46046	二次電池モジュール
特願 2011-104490	非水電解液およびリチウムイオン電池
特願 2011-57559	リチウム二次電池
特願 2011-105346	捲回式二次電池

(2) 口頭発表 15件

発表・投稿日	発表・投稿先	件名
2008/3/26	日本化学会第 88 春季年会	電力貯蔵用リチウム二次電池の開発
2008/3/29	電気化学会第 75 回大会	F 含有 LiMn ₂ O ₄ の充放電特性
2008/11/5	第 49 回電池討論会	LiMn ₂ O ₄ の表面改質によるMn溶出抑制の検討
2008/11/5	第 49 回電池討論会	電力貯蔵用リチウム二次電池の開発
2009/3/19	平成 21 年電気学会全国大会	電池制御向けモデルベース開発環境の検討
2009/11/30	第 50 回 電池討論会	電力貯蔵用リチウム二次電池の開発 (2)
2009/11/30	第 50 回 電池討論会	表面改質 LiMn ₂ O ₄ の効果と電気化学特性
2010/2/1	Advanced Automotive Battery & Ultracapacitor Conference 2009	日本における大型二次電池開発の概況、新神戸の取り組み
2010/3/14	平成 22 年 電気学会 全国大会	系統連系向け蓄電システム用制御回路の提案
2010/7/1	15th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB)	Large-Format Lithium-Ion Batteries for Electric Power Storage
2010/7/1	15th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB)	Lithium-Ion Secondary Batteries for Electric Power Storage
2010/11/10	第 51 回電池討論会	天然黒鉛負極を適用した電池のサイクル特性改善
2010/11/10	第 51 回電池討論会	表面改質 LiMn ₂ O ₄ を用いたリチウムイオン電池のサイクル特性評価
2010/11/10	第 51 回電池討論会	電力貯蔵リチウム二次電池の開発 (3)
2011/1/21	第8回公開講演会「21世紀の科学技術」	大型リチウムイオン電池の開発動向

(3) 新聞発表 1件

発表日	発表先	件名
2010/4/5	プレスリリース	マンガン系正極材料を用いた産業用リチウムイオン電池の寿命を2倍にする技術を開発

(4)論文発表 2件(1番目の論文に査読あり)

発表日	発表先〔査読の有無〕	件名
2010/10/26	Journal of Power Sources, Vol.196, pp.7002-7005, 2010 〔査読あり〕	Large-Format Lithium-Ion Batteries for Electric Power Storage
2011/5/1	日刊工業出版プロダクション、 工業材料	リチウムイオン電池を用いた電力貯蔵 システムの開発

7. 実用化・事業化の見通し

本プロジェクトにおいて開発された 100Ah 級電池は充放電を繰り返すサイクル用途に適した電池であることが見出された。そこで、100Ah 級 Li イオン電池技術を基本に、新規大容量 Li イオン電池を適用した製品開発を推進していく。

実用化・事業化のための技術開発を継続することにより、本プロジェクトで得た成果を活用した蓄電システムが実現されるものとする。

以上

②新エネルギー・電力事業用リチウムイオン蓄電システムの高性能・低コスト化の研究開発（北陸電力(株)、エナックス(株)、(有)日下レアメタル研究所、(株)ワイ・デー・ケー、ニチコン草津(株)）

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

低炭素社会の実現のために風力・太陽光発電といった再生可能エネルギーの一層の普及・拡大が期待されている。しかし、再生可能エネルギーは気候の影響を受けやすく出力が不安定であり、電力系統への大量連系に際しては出力平滑化・軽需要時の電力貯蔵・電圧維持・周波数制御といった機能を有する蓄電システムの存在が不可欠であると考えられる。

そこで、応答性が速くエネルギー密度の高い二次電池として携帯電話・PCなどを中心に急激に適用事例が増加しているリチウムイオン電池を用い、電気事業において実用に足る、「高性能化」「低コスト」を両立させた新しい蓄電システムを構築する。

1.2 事業概要

本研究開発では、蓄電デバイスには「リチウムイオン二次電池」を採用し、要素技術開発では、負極材、集電材、正極材、原材料加工、組電池制御システム、モジュール、充放電システムに至る全ての構成部材において「高性能化」「コストダウン」を実現するための要素技術開発を行う。具体的には、①金属酸化物負極材料およびその集電体基板、②ナノブレンド技術による高性能正極材料、③電極活物質の低コスト化、量産化、④モジュール電池のセルバランス制御及びバッテリーマネジメントシステム（以下BMS）等の研究成果をもとに、電池モジュールと充放電システムについての研究開発を行い、電力会社が性能検証を行う。また、実用化技術開発では、原材料の加工、セル・モジュールの製作、組電池制御システム、充放電システムに至る「蓄電システム」の構成要素において、「量産化」「実用化」を実現するための技術開発を行う。具体的には、①原材料加工の量産性の検証、②セル、モジュールの量産化技術の研究、③電池制御技術の高度化、④システムネットワークの検討などに加え、制御性能の検証、安全性・信頼性の検証、大容量蓄電システム構成方法の検討などを総合的に実施する。

最終年度には、北陸電力(株)志賀風力発電設備(風力定格出力:275kW)に、開発した 100kWh 級蓄電システム(以下、実証機)を設置し、出力平滑化、電力系統安定化機能(FRT・DVS 機能他)等について実証試験を実施する。

1.3 実施スケジュールと予算

実用化技術開発

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	予算総額
電池システムの研究開発					→	
充放電システムの研究開発			→			
蓄電システムの研究開発					→	
電池制御システムの研究開発					→	
改良 LMO 正極材料の低コスト化量産化技術の開発					→	
開発費用(百万円)	1.4	16.6	20.4	19.7	36.6	94.7

要素技術開発

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	予算総額
負極材・集電材の研究開発					→	
正極材の研究開発					→	
高性能・長寿命化に資する研究開発					→	
電池モジュールの研究開発					→	
充放電要素技術の研究開発				→		
蓄電ユニットの研究開発					→	
開発費用(百万円)	63.6	261.9	214.9	229.8	61.0	831.2

2. 研究開発の目標

(1) 実用化技術開発

(最終年度目標)

- a. 電極板の材料および工程コストを低減したセルを量産し、100kWhシステムで実証し、最終的にセルコストの40%低減を目標とする。(電池システムの研究開発)
- b. 蓄電システムとして必要な機能(出力平滑化機能、電力系統安定化機能等)を検討したうえで、北陸電力(株)志賀風力発電設備(風力定格出力:275kW)に併設する実証機に組み込み、実運用レベルでこれらの機能等について性能検証を行う。(充放電システムの研究開発、蓄電システムの研究開発)
- c. 遠隔監視システムを開発し、実証機にて性能を検証する。(電池制御システムの研究開発)
- d. 改良マンガン酸リチウム正極材(以下LMO)の低コスト量産化技術を確立し、製造コストを25%低減(固相法製造比)する。(改良LMOの低コスト開発)

(想定条件・根拠)

量産化技術の完成とセルのコストダウンでは、負極の水系塗工(-15%)と正極活物質の製造費コストダウン(-25%, 2010/2007年レベル汎用品製造方法比較)及び、量産効果(共通基盤研究での設定, 100MWh=132万セル/年生産)による設備固定費低減(-60%と推定)で、総合的セルコストの40%低減を目標とする(なおセルのコストの約55%(2007年段階)を占める原材料費は現状ではすでに高騰しているが、価格の高騰は無いとして計算する)。(目標a)

風力発電や太陽光発電のような再生可能エネルギー電源に蓄電池を併設する場合、それにより系統の安定度を低下するものであってはならない。システムとしては直流電池を電力系統に連系するにはコンバータが必要であり、それに系統の安定化に寄与する付加機能を持たせることが可能である。具体的には、瞬時電圧低下(瞬低)が発生しても装置が停止しない瞬低時運転継続機能(FRT:Fault Ride Through)と瞬低発生時、電圧回復のために有効電力(P)、無効電力(Q)を電池から系統に送出する電圧維持機能、(DVS:Dynamic Voltage Support)の2つが代表的な機能である。(目標b)

セルを多直列・多並列に接続して高電圧・大容量化した単位電池パックを複数組み合わせることで、実証用の蓄電システムを構築している。個々の電池パックや各セルの状態(充電状態、温度)

を瞬時に把握し制御するための遠隔監視システムを構築し、実証機にて運用検証を行う。(目標 c)

アルミニウム置換マンガン酸リチウム(以下 LM(Al)O)の低コスト量産化技術として開発した硝酸金属塩噴霧熱分解法において、加熱方式を従来の電気炉からガス燃焼熱風方式に変更する事、さらに噴霧熱分解工程で発生するNO_xガスを硝酸として回収し再利用する事の2つのコスト低減方策を構想し、実量産規模の試験装置にて実証する。(目標d)

(2) 要素技術開発

(最終年度目標)

- a. (LMO_正極材)要素研究の成果として、実用化の最終年度目標(総合的にセルコストの 40%低減)に資するコストレベルの LMO(正極材料として 2007 年比-25%)を製造し、実証試験用セル(50kWh 分)を作製し、10 年相当の寿命を達成する。
- b. (LTO_負極材)新規のセルとして、チタン酸リチウム負極材料(以下 LTO)を Al 集電板に塗工した(全アルミ)セルで、10 年相当の寿命を達成する。セルのサイズ(タテ, ヨコ)は上記の LMO 系と同じとし、パックの製作まで実施して実用性を確認する。
- c. (LFPO_正極材)リン酸鉄リチウム(以下 LFPO)は LMO 正極材料の代替として、LMO セルを上回る寿命性能を期待する。上記の LMO および LTO と同じサイズのセルを試作し、充放電サイクルを実施し、10 年相当の寿命を達成する。
- d. 長寿命とコスト低減を両立するセル仕様にて実証試験用 50kWh システムのセルを量産レベルで製作し、蓄電システムの実証運用試験で性能を検証する。セル単体として充放電サイクルを実施し、10 年相当の寿命を達成する。
- e. 電池パックのコスト低減は、上記のセルでのコスト低減に加え、BMS 等の回路系の設計見直しによる合理化さらに量産による部品調達コストおよび工場工数低減効果を総合し、トータルのシステム 4 万円/kWh の実現に資する。
- f. BMS が、セルやパックの直列間の電圧バラツキを検出・制御し、個々の電圧を均一化する機能(バランス機能)についての一連の動作を実証試験用 100kWh システムで実証する。
- g. 長寿命に資する充放電方法を検討するとともに、システム効率(交流端入出力総合効率)が 80%以上であることを実証機で確認する。(⑤充放電要素技術の研究開発)
- h. 拡張性を考慮した実証機を開発する。システムコスト 4 万円/kWh を達成するため、コンバータ盤のコスト削減(目標コスト 1 万円/kWh)を推定する。(⑥蓄電ユニットの研究開発)

(想定条件・根拠)

(LMO_正極材)アルミニウム置換LMO(改良LMO)の低コスト量産化技術として開発した硝酸金属塩噴霧熱分解法により、実証システムに適用する正極材料 450 kgを量産試作し、これを用いて製作した開発セルにて寿命の検証を行う。充放電は 25℃で 0.5CA 定電流にて充電状態(以下 SOC)0~90%の範囲で繰返し使う事とし、3600 回サイクル後の容量維持率が 60%以上ある事を目標とする。(目標 a)

(LTO_負極材)新規の負極材料候補として LTO を取り上げ、材料合成手法の開発と量産化検討まで実施した。同時に実用セル/パックへの適用検討も行ったため、こちらは市販の LTO 材料を調達し試作検証を進めた。充放電は 25℃で 0.5CA 定電流にて SOC0~90%の範囲で繰返し使う事とし、3600 回サイクル後の容量維持率が 60%以上ある事を目標とする。(目標 b)

(LFPO_正極材)新規の正極材料候補として LFPO を取り上げ、材料合成手法の開発を実施した。実用セルへの適用検討も行ったため、こちらは市販の LFPO 材料を調達し試作検証を進めた。充放電は 25°C で 0.5CA 定電流にて SOC0~90%の範囲で繰返し使う事とし、3600 回サイクル後の容量維持率が 60%以上ある事を目標とする。(目標 c)

セルの長寿命とコスト低減を両立するために、材料および工法について種々の検討を行い実証試験用大型セルにて検証した。具体的には、電解液への添加剤の導入、負極材料の黒鉛種の変更および負極板製造工法への水系バインダプロセスの適用などを行った。充放電は 25°C で 0.5CA 定電流にて SOC0~90%の範囲で繰返し使う事とし、3600 回サイクル後の容量維持率が 60%以上ある事を目標とする。(目標 d)

電池パックのコスト 100kWh 実証試験機の群電池化コスト実績から各項目のコスト割合を算出し、20MWh 量産時の各項目の単価低減率を試算し導出する。(目標 e)

BMS がセルおよびパック同士の直列間の電圧バラツキ度合いによりバランス動作の必要性を自己判断し、コンバータとバランス動作に入ることがシステム上問題ないことの整合がとれ、バランス動作では 24 時間後にバラツキが補正されている一連の動作を 100kWh システムで実証する。(目標 f)

電池の寿命を考えた場合、電池メーカーによって長寿命な電池を開発することは当然であるが、ユーザーサイドでの「上手な使いこなし」も重要である。例えば、充放電の SOC 範囲を限定する(上下限電圧にリミットを設ける)ことにより、延伸化が可能であり、その効果を定量的に把握する。本プロジェクトの基本計画の目標である交流入出力でみたシステムの総合効率 80%以上、蓄電部本体の直流効率 90%以上を満足する蓄電ユニットを製作する。(目標 g)

電池を大量集積する場合、基本最小単位であるセルからモジュールまで段階的に容量が増加していく。汎用性・拡張性を考えた場合、数種類の新型電池を開発し実用セルとして目途が立った場合はそれらを収納する筐体収納寸法は統一しておくなど、システム設計と電池開発を並行して進めているため柔軟に対応することが必要である。システムコスト4万円/kWhを達成するためには、コンバータ盤は1万円/kWh相当とする必要がある。(目標 h)

3. 研究開発の成果

(1) 実用化技術開発

項目	目標値	達成度(PJ終了時)	備考
1.セル製造コスト	40%低減 (H19 年度実績比)	38% (100kWh 試作時の実績で H19 年度比 15%低減を達成)	20MWh 規模量産時の 試算では、H19 年度比 62%の低減
2.実証試験による総合性能検証	・各種測定、検証試験 実施による・組み込み機能 ・制御の正常動作	100% 予定していた測定・試験は全 て終了。各機能試験は設計ど おりに動作	・効率測定、容量測定 ・風力出力平滑化機能、 電力系統安定化機能等の 検証試験
3.遠隔監視システムの開発	実証機による性能検証	100%	
4.改良LMO正極材料の製造コスト	25%削減(固相法比)	100%	・ガス燃焼熱風方式適用 と NOx からの硝酸回収 により 25%削減達成

成果1:セル製造コスト低減(エナックス)

(内容)

低コスト量産化の施策として、負極電極板にスチレンブタジエンゴムバインダを適用し、水を溶媒とするスラリー調整プロセスを確立した(従来はポリフッ化ビニリデン(PVDF)バインダを有機溶剤に溶解させる方法)。さらに要素技術開発にて正極材料である LMO の低コスト合成法として硝酸金属塩噴霧熱分解法を開発し、量産レベル試作(450kg)を実施した。これら2つのコスト低減施策により、H19年度の製造コスト実績に対する削減割合を評価した。

なお、本低コスト量産化施策実施仕様については、50kWh分のセルを試作しシステム実証試験に供し、性能検証を行った。

(達成度)

38% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

水系バインダプロセスの適用は、溶剤価格の低減だけでなく、有機溶剤を用いた場合の排気ガスの回収装置が不要さらに量産工場内での有機溶剤保管にかかる消防法の制約を回避できるなどの二次的な効果も大きい。

成果2:実証試験による総合性能検証(北陸電力)

(内容)

北陸電力(株)志賀風力発電設備(風力発電出力:275kW)に実証機を設置し、2010年8月30日から総合性能検証試験を行った。設置にあたっては、電気事業法・消防法等の規制に対応した。総合性能検証試験としては、まず容量測定・効率測定を行い、次にシステムに組み込んだ各機能・制御の動作試験を行った。初期システム容量は0.5C定電流充放電で85.4kWhであり、5ヶ月後には約88%に低下した。変換器効率は94%~96%、総合効率は88%~89%であった。充放電制限速度(ramp rate limitation)機能・APFR(Automatic Power Factor Regulation, 定力率無効電力制御)・AQR(Automatic reactive power(Q) Regulation, 自動無効電力制御)・スケジュール運転機能・LFC(Load Frequency Control, 出力周波数制御)機能・GF(Governor Free, 調速機自由応動)機能については、設計どおりに動作することを確認した。風力出力平滑化機能については、概ね平滑化目標値(10分移動平均)どおりに出力平滑化できていることが確認できた。

2010年11月末~2011年1月上旬頃に北陸地域での冬季雷の発生回数が非常に多かったため、FRT機能については10回、DVS機能については7回の動作実績があり、両機能が設計どおり動作していることを確認した。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

将来、CO₂削減の観点から火力発電の減少に伴い、その代替としての導入は免れないことである。将来の新エネルギー大量普及時に備え、現在、火力発電が担っている周波数制御・電圧安定化機能を蓄電システムに組み込み、正常動作を検証できたことは意義のあるものとする。

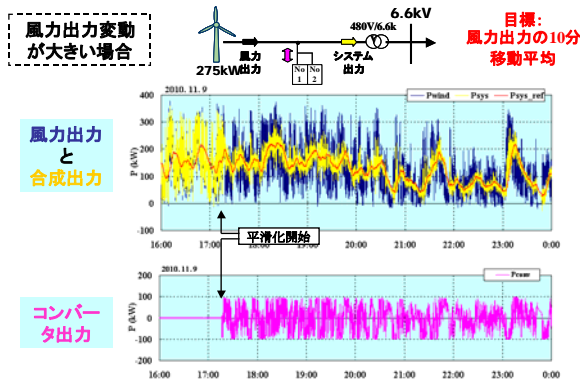


図1 風力出力平滑化試験

No.15 (2011.1.5 17:56) の 低: 電圧低下率50%, 時間0.05秒

・風 発電機 : 運転中
 ・蓄電システム: Conv(1): CV運転中 (FRT/DVSロック), Conv(2): 平滑化運転中

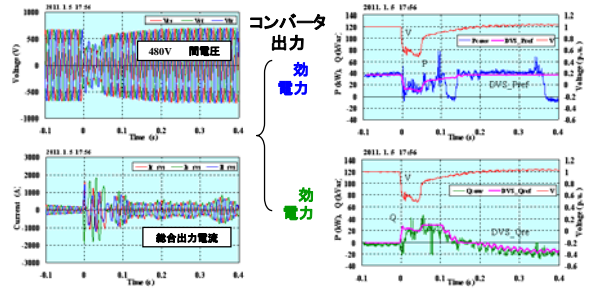


図2 FRT・DVS 試験

成果3:遠隔監視システムの開発(ワイ・デー・ケー)

(内容)

BMS で管理している電池状態データおよび BMS 制御データを遠隔監視端末で収集し、データ収集サーバに自動保存するシステムを構築し、実証試験に合わせて性能検証を行った。実証機の運用検証時における幾つかの異常事象を遠隔監視データにて確認し、BMS の遠隔監視機能が有効に動作していることを確認した。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

一般に産業用途の大規模蓄電システムの設置場所は無人である事が予想され、遠隔監視にてリアルタイムに電池状態を把握し制御する機能は必須といえる。

成果4:改良 LMO 正極材料製造コストの低減(日下レアメタル研究所)

(内容)

LMO 材料の寿命改善を目的にアルミニウム置換マンガン酸リチウム(LM(Al)O)を開発した。一般的な合成法である固相反応法では Al 源を均一に分散させることが困難なため、Mn や Al 源を硝酸溶液中に完全に溶解して均一相にすることが可能な硝酸金属塩噴霧熱分解法による合成を量産レベルで実施した。本合成法の低コスト化の施策として、噴霧熱分解炉の加熱方式にガス燃焼熱風方式を適用する工法と、噴霧熱分解処理工程で発生するNO_xガスを硝酸として回収し再利用する工法について実証試験を行い、量産への適用可能性とコスト低減割合を確認した。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

低コスト製法による材料の性能確認と同時に、量産レベル(20t/月)の生産設備を設計する際の設計指針を得た。

(2) 要素技術開発

項目	目標値	達成度(PJ終了時)	備考
1.改良 LMO セル (20Ah)	① 実証試験用セル (50kWh 分)の試作 と蓄電システム実証 ② 10 年寿命	60% (総合判定) ① 100% ② 20%	②については正極板製作仕 様の設計検討不足であった。
2.負極 LTO セル (12Ah)	① 10 年寿命 ② パック試作・実証	100% (総合判定) ① 100% ② 100%	① 102%(@1100 回) 結果から外挿
3.正極 LFPO セル (17Ah)	10 年寿命	100%	91%(@2000 回) 結果から外挿
4.LMO セルの高性能 ・長寿命化 (20Ah)	① 実証試験用セル (50kWh 分)の試作 と蓄電システム実証 ② 10 年寿命	80% (総合判定) ① 100% ② 60%	② 82%(@1000 回) 結果から外挿
5.電池パック製造コスト	100kWh 製造時のコス ト実績評価とコスト低 減可能性の把握	60%	電池パックコスト(セル含)の結果 は、 ・41 万円/kWh (100kWh 試作時) ・9 万円/kWh (20MWh 量産時)
6.電池制御技術	電圧バランス制御の 100kWh 実証機での 実証	100%	
7.充放電制御技術	① 長寿命に資する充 放電方法の確立 ② システム効率 80% 以上	100% (総合判定) ① 100% ② 100%	①セルサイクル試験結果か ら、SOC 使用電圧範囲を制 約することで 10 年の耐久性 あり ②実証機で 88~89%
8.蓄電ユニットの仕様 検討とコンバータ盤の コスト	① 汎用性、拡張性を 考慮した仕様の決 定 ② 1 万円/kWh	75% (総合判定) ① 100% ② 50%	①単機 50kWh の並列ユニッ ト数を増やすことにより 1MW 級が実現可能 ②コンバータ盤コスト 10 万円 /kWh

成果1:改良 LMO セル(20Ah)の開発と検証(エナックス)

(内容)

正極材に適用するマンガン酸リチウムについて寿命の改善と製造コストの低減を図るため、硝酸金属塩噴霧熱分解法によるアルミニウム置換マンガン酸リチウム(LM(Al)O)の開発を行った。合成手法について製造仕様を固め実証システムに適用する LM(Al)O 材料 450kg を量産試作し、これを用い 50kWh 分の実証用セル(20Ah)を製作した。本セルは現在実証試験にて運用されている。

先行して単電池の充放電サイクル試験(25℃, 0.5CA 定電流, SOC0-90%)を行い、400 サイクルでの容量維持率が 80%であった。

(達成度)

60% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

LM(Al)O 材料の低コスト製法と量産時のコストレベル、量産試作品の活物質としての性能品質の素性を把握する事ができ、今後本材料を適用したセルを量産化検討する上での指針を得る事がで

きた。

成果2:負極 LTO セル(12Ah)の開発(エナックス)

(内容)

新たな負極材候補活物質としてチタン酸リチウム(LTO)を取り上げ、材料ならびに合成手法の開発、量産化検討を行った。材料開発において水溶液中での材料均一化を図るソフトケミストリーの手法を導入し、導電性の改善に成功した(ニオブ置換型 LTO や炭素複合型 LTO)。さらに、低コスト量産手法としてチタン源に廉価な酸化チタン(アナターゼ型)を利用する手法を開発した。

LTO 材料を負極材として適用した 12Ah 級のラミネート型セルを開発し充放電サイクル試験(25℃, 0.5CA 定電流, SOC0-90%)を行い, 1100 サイクルでの容量維持率が 102%の結果を得た。さらに, 本セルを実証試験に適用した電池パック仕様(2 並列 14 直列)に組み上げ, パック単位での充放電挙動を確認した。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

LTO を適用した場合に長寿命が得られることを確認し, LTO セルで蓄電システムを構成する際の設計指針を得る事が出来た。

成果3:正極 LFPO セル(17Ah)の開発(エナックス)

(内容)

次世代セルの正極材料として, コストおよび寿命の点で潜在的に能力を有するリン酸鉄リチウム(LFPO)の適用を検討した。17Ah 級のラミネート型セルを開発し充放電サイクル試験(25℃, 0.5CA 定電流, SOC0-90%)を行い, 2000 サイクルでの容量維持率が 91%の結果を得た。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

LFPO を適用した場合に長寿命が得られることを確認し, LFPO セルで蓄電システムを構成する際の設計指針を得る事が出来た。

成果4:LMO セルの高性能・長寿命化開発と検証(エナックス)

(内容)

長寿命とコスト低減を両立させるため, 電解液への微量添加材の導入, 負極黒鉛材料の変更, 負極板工法への水系バインダプロセスの適用などの検討を進め, 実証用蓄電システムに供するセルの仕様を確定し, 実証用の残り 50kWh 分のセルを製作した。(成果1と合わせて計 100kWh)

単電池の充放電サイクル試験(25℃, 0.5CA 定電流, SOC0-90%)を行い, 1000 サイクルでの容量維持率が 82%であった。同じ LMO 正極材料を適用した従来仕様セル(20Ah)の 1000 サイクルでの容量維持率は 76%で, 6 ポイントほど性能が向上した。

(達成度)

80%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

LMO 適用セルに対しての長寿命ならびに低コスト施策を実証することができ、蓄電システムを設計する際の指針を得る事が出来た。

成果5: 電池パックの製造コスト低減 (ワイ・デー・ケー)

(内容)

100kWh 実証試験機の群電池化実績からコストを算出し、製造単価は 41 万円/kWh(セル含む)であった。100kWh 実績より各項目のコスト割合を求め 20MWh 量産時の各項目の単価低減率を試算し、9 万円/kWh(セル含む)の目途をつけた。

(達成度)

60% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

蓄電システムを設計する際の指針を得る事が出来た。

成果6: 電池制御方式の確立 (ワイ・デー・ケー)

(内容)

開発セルを 2 並列 14 直列にし専用ケースに収納し電池パックとし、この各直列電池の状態を把握、制御する BMS を付属した。電気的な機能として直列間の電圧バラツキを検出・制御し均一化する機能(バランス機能)、バッテリーパック内の各セル電圧・温度を計測しこれを監視する機能、そして上位のコンバーターコントロールユニットとの間で各種情報をやりとりする通信機能を具備した。100kWh 実証機に組込んだ状態で各種の動作検証を行い、計画した性能を発揮することを確認した。

(達成度)

100% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

フィールドでの実運用による動作検証までを実施し、蓄電システムの製品化に向けた基盤を構築することができた。

成果7: 充放電制御方式の確立 (北陸電力, ニチコン草津)

(内容)

入出力変換回路には、低コスト・高効率の観点から、三相フルブリッジ構成の双方向 AC/DC 自励式コンバータを採用し、IGBT モジュールとしては、汎用の IPM(Intelligent Power Module)を用いた。また、コンバータ効率向上のための分析の結果、IPM の損失が大きいことが判明し、ハード面、ソフト面の改修を行い、変換器効率(片側)を約 95%とすることができた。

電池の長寿命化を目的とした充放電方法を確立するため、充放電使用電圧範囲等をパラメータとして既存市販品セルによるサイクル寿命試験を行った。50 サイクル毎の放電容量試験の容量維持率の推移より、SOC 0-90%の範囲で使用する場合は、SOC 0-100%の範囲で使用する場合に比べて約 1.75 倍の寿命であった。直線近似の外挿線より、SOC 0-90%の範囲で使用する場合に、容量維持率が 60%に低下するのは、約 3600 サイクルと推定された。SOC 使用範囲を制約することにより、セルレベルで 10 年間の寿命をクリアすることができるものとする。

また、セルをパック化する際、セル側端子とパック側基板端子の接触抵抗の低減と製作工数の低減が重要な課題であり、材質による抵抗値の違いを確認する基礎実験等を実施し、基板端子を開

発した。振動試験により基板端子の有効性を検証した。

(達成度)

100%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

運用面で電池の長寿命化を考えた場合、できるだけ電池に負担をかけない使用方法を考えることは重要であり、実験・実測データに基づき検証できたことは意義がある。

また、蓄電システムには大量のセルが直並列接続されており、その接続については、信頼性を維持しながら作業時間の短縮化を図る必要があり、新たな基板端子を開発できたことは意義がある。

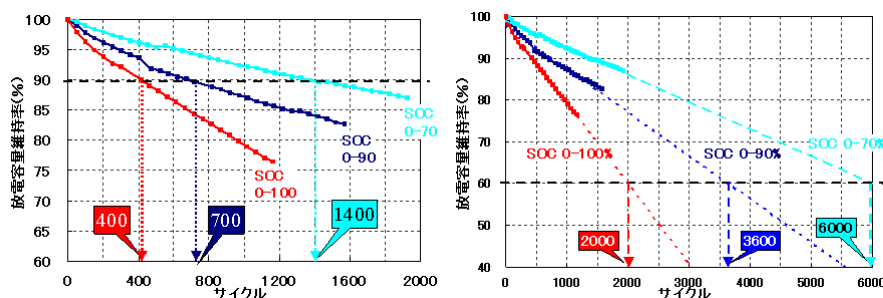


図3 SOCサイクル試験(長寿命化検討)

成果8:蓄電ユニット(北陸電力, ニチコン草津)

(内容)

開発された3種類の改良LMO電池の性能, 安全性をセルレベルで評価し, 実証機への搭載可否を決定した。性能については環境温度を-5, 25, 45℃でそれぞれSOC 0-90%のサイクル試験, 安全性については過充電, 釘刺し, 外部短絡, 加熱, 圧壊, 振動, 衝撃の7つの安全性評価試験を実施した。性能については特に低温特性が劣っており, 安全性は圧壊, 振動, 衝撃の機械的試験では全く問題なかったものの, 過充電で発火に至ったものもあった。最終的には既存市販品セルと比較すると安全性は劣っているものの, 発火という決定的事象がなかった2つのタイプを2ユニットに搭載することとした。

実証機として, 分電盤, 計測器盤, コンバータ盤(定格容量70kVA, 定格電圧三相3線480V, 空調機能付き)×2ユニットから構成される100kWh級実証機を製作した。その実証機には平滑化運転, スケジュール運転, 蓄電池試験運転, 蓄電池メンテナンス運転の4つの運転方式を設け, さらにFRT(Fault Ride Through, 瞬時電圧低下時の運転継続)・DVS(Dynamic Voltage Support, 瞬時電圧低下時の電圧回復支援)機能, LFC制御, 無効電力制御などの制御機能を組み込んだ。

今回の開発品の実績を基に, コンバータ盤の製造コストを検討した結果, 材料費, 製造工数, 設計工数の低減等により, 量産製造した場合(量産10台/月, ユニット容量100kWh, 交流電圧400V系を想定), 約47%のコスト低減可能と推定した。

(達成度)

75%(設定目標に対する割合)

(成果の意義)

低コスト, 長寿命の他に安全性については, セルレベルで十分に検証する必要があるため, ユーザー側としての試験方法で安全性を確認したことは意義がある。また, コンバータ盤のコストダウン

検討では、単機容量を 50kW から 100kW にすることによる材料費・製造費低減等を考慮して推定したが、更なるユニット大容量化が欠かせないものと考えられる。

表1 実証機の運転方式と装備した機能・制御

No	機能・制御	平滑化 運転	スケジュール 運転	蓄電池試験用 パターン運転	蓄電池メンテナ ンス運転
1	充放電速度制限機能 (amp rate limitation制御)	○	○	—	—
2	容量フィードバック制御	○	○	—	—
3	出力指定制御	—	○(システム出力kW指定) ○(蓄電池出力kW指定) ○(SOC指定)	○(CC指定) ○(CC-CV指定)	MS*1 らの 指 による運転
4	FRT・VS*2機能	○	○	○	○*3
5	LFC制御	○	○	—	—
6	ガバナフリー制御	○	○	—	—
7	充放電制限機能	○	○	○	○
8	効電力制御 (力率指定, 効電力指定)	○	○	○	○
9	負荷制限機能	○	○	○	○
10	運転機能	○	○	○	○

※1 BMS : Battery Managment System (バッテリーマネジメントシステム)

※2 FRT : Fault Ride Through, DVS : Dynamic Voltage Support

※3 無効電力Q制御のみ

4. 成果の普及

特許出願 11 件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
2008.11.4	特願 2008	283776 不定比化合物, リチウムイオン二次電池用電極活物質, それらの製造方法, 並びにリチウムイオン二次電池
2009.6.25	PCT/JP2009/061645	不定比チタン化合物, その炭素複合体, それら化合物の製造方法, 及びそれら化合物を含むリチウムイオン二次電池用負極活物質, 並びにそれを用いたリチウムイオン二次電池
2007.9.12	特開 2009-70666	電極用リン酸鉄リチウム粉体の製造方法
2009.11.30	特願 2009-271874	チタン酸リチウム負極物質の製造方法
2009.10.16	特願 2009-239160	リチウムイオン二次電池正極活物質の製造方法
2009.10.27	特願 2009-246642	リチウムイオン二次電池正極活物質の製造方法
2009.11.13	特願 2009-259973	リチウムイオン二次電池正極活物質の製造方法
2009.10.22	特願 2009-242983	リチウムイオン二次電池正極活物質の製造方法
2010.7.1	特願 2010-150779	負極チタン酸リチウムセル
2009.3.2	特願 2009-048195	雌型の電気接続端子
2011.3.16	特願 2011-57454	高純度チタン酸リチウムの製造方法

論文発表 64 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	査読の有無
2008.5	電気学会論文誌 B	系統負荷の短時間電圧安定性を改善する分散型電源の動的電圧維持機能の実験的評価	有
2009.5	電気学会論文誌 B	複数サイト間での風力発電出力変動に関する一考察	有
2009.5.01	Mater.Sci.Eng.B, 161, 109-114	Preparation and Electrochemical Properties of Cathode Materials for Lithium Ion Battery by Aerosol Process	有
2009.6.01	Key.Eng.Mater., 12, 475-478	Effect of Organic Compound on the Preparation of C/LiFePO ₄ Powders by Spray Pyrolysis	有
2009.6.01	Key.Eng.Mater., 12, 467-470	Electrochemical Properties of Porous LiAlXMn ₂ -XO ₄ Powders Prepared by Immersion of Li and Al nitrate Solution to Spherical Mn ₂ O ₃ Powders	有
2009.9.01	J.Ceram.Soc.Jpn., 17, 1017-1020	Mass Production of Cathode Materials for Lithium Ion Battery by Flame Type Spray Pyrolysis	有
2010.2.01	Trans.Mater.Res.Soc. 34, 769-772	Electrochemical Properties and Microstructure of C/LiFePO ₄ Powders Prepared by Spray Pyrolysis	有
2010.2.15	Electrochim. Acta, 55, 1872-1879(2010)	Spray-drying synthesized lithium-excess Li ₄ +xTi ₅ -xO ₁₂ - δ and its electrochemical property as negative electrode material for Li-ion batteries	有
2010.3.01	粉体工学会誌, 47, 166-170	酸化マンガン多孔体への含浸処理によるリチウムイオン電池正極材料の合成と電池特性	有
2010.9.05	Electrochemistry, 78, 754-756 (2010).	Spray-Drying Synthesized Lithium-excess Li ₄ +xTi _{4.95} -xNb _{0.05} O ₁₂ - δ and its Electrochemical Property as Negative Electrode Material for Li-ion Batteries	有
2007.10.19	第27回エレクトロセラミックス研究検討会	噴霧熱分解法で合成した炭素添加リン酸鉄リチウム正極の電気化学特性	無
2007.11.13	第48回電池討論会 1A17	スプレードライ法による Li 過剰 LTO の合成と電池特性	無
2007.11.13	第48回電池討論会 3B05	スプレードライ法による Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ の合成と電極特性	無
2007.12.08	第18回日本 MRS 学術シンポジウム	噴霧熱分解法による LiFePO ₄ /Carbon の合成と電池特性	無
2007.12.11	ファイバーアメニティ地域連携シンポジウム	NEDO 系統連系円滑化蓄電システム技術開発	無
2008.10.15	214th ECS Meeting, Honolulu	Synthesis of Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ by Spray-Drying Method and its Electrochemical Property as an Anode Material for Li-ion batteries	無
2008.10.22	The 6th Asian Meeting of Electroceramics (東京)	Effect of Organic Compound on the Preparation of C/LiFePO ₄ Powders by Spray Pyrolysis	無

2008.10.22	The 6th Asian Meeting of Electroceramics (東京)	Processing and Characterization of Layered Type LiMnO ₂ Cathode Materials for Lithium Ion Battery	無
2008.11.05	第 49 回電池討論会(堺)	スプレードライ法による Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ の合成とリチウム含有量が電極特性に及ぼす影響	無
2008.11.05	第 49 回電池討論会(堺)	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ /LiMn ₂ O ₄ 電池の電池特性劣化要因の検討	無
2008.11.21	日本セラミックス協会北陸支部秋季研究発表会(高岡)	噴霧熱分解法による炭素複合リン酸鉄リチウムの合成と電池特性	無
2008.12.14	IUMRS-ICA 2008(名古屋)	Electrochemical Properties and Microstructure of C/LiFePO ₄ Powders by Spray Pyrolysis	無
2008.5.30	STAC-STSI in Japan(幕張)	Preparation and Electrochemical Properties of Cathode Materials for Lithium Ion Battery by Aerosol Process	無
2008.6.09-10.	第 10 回化学電池材料研究会ミーティング(東京)	スプレードライ法を用いた Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ の合成条件が電極特性に与える影響	無
2008.6.09-10.	第 10 回化学電池材料研究会ミーティング(東京)	Li-Ti-O 化合物の電極特性及び Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ /LiMn ₂ O ₄ 電池の電気化学的特性	無
2009.1.09	第 47 回セラミックス基礎科学討論会(大阪)	含浸法によるスピネル型マンガン酸リチウムの電池特性	無
2009.10.23	第 29 回エレクトロセラミックス研究討論会	噴霧熱分解法による高出力タイプ多孔性マンガン酸リチウムの合成と電気化学的特性	無
2009.11.30 -12.02	第 50 回電池討論会(京都)	スプレードライ法を用いたリチウム過剰 Li ₄ Ti _{5-x} Nb _x O ₁₂ の合成とその電気的特性	無
2009.11.30 -12.02	第 50 回電池討論会(京都)	スプレードライ法による Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ 炭素複合体の合成とその電極特性	無
2009.12.07	第 19 回 MRS 学術シンポジウム	Synthesis and Electrochemical Properties of LiMn ₂ O ₄ Powders by Spray Pyrolysis Using Carbonate Aqueous Solution	無
2009.12.07	第 19 回 MRS 学術シンポジウム	Electrochemical Properties of C/Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ Powders by Spray Pyrolysis	無
2009.3.17	平成 21 年電気学会全国大会	リチウムイオン電池を用いた蓄電システムの変動出力平滑化と動的電圧維持機能の試験結果	無
2009.3.29	電気化学会第 76 回大会(京都)	スプレードライ法による Li _{4.3+x} Ti _{5-x} Nb _x O ₁₂ の合成とその電極特性	無
2009.3.29	電気化学会第 76 回大会(京都)	スプレードライ法による Li _{4.3} Mg _x Ti ₅ O ₁₂ の合成とその電極特性	無
2009.6.08-9	第 11 回化学電池材料研究会ミーティング(東京)	スプレードライ法を用いた Nb 置換体 Li _{4.3} Ti _{5-x} Nb _x O ₁₂ の合成と性状および二次電極特性	無
2009.8.09	粉体工学会第 45 回夏期シンポジウム	酸化マンガン球状多孔体へのリチウム含浸による電池正極材料の合成と電池特性	無
2009.8.18	電気学会電力・エネルギー部門大会	蓄電システム用リチウムイオン電池のサイクル寿命試験結果	無
2009.8.18	電気学会電力・エネルギー部門大会	蓄電システム用リチウムイオン電池の外部短絡試験結果	無

2010.10.12	218th Meeting of The Electrochemical Society	Spray-Drying Synthesized Lithium-Excess $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{-xNb}_x\text{O}_{12-\delta}$ and Its Electrochemical Property as Negative Electrode Material for Li-Ion Batteries	無
2010.11.10	第 51 回電池討論会	スクロースを炭素源としたリチウム過剰 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 炭素複合体の固相合成とその電池特性	無
2010.11.10	第 51 回電池討論会	スプレードライ法による $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{-yNb}_y\text{O}_{12}$ の合成と電極特性	無
2010.3.29-31	電気化学会第 77 回大会(富山)	スプレードライ法で合成したリチウム過剰 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{-xNb}_x\text{O}_{12}$ の構造および電極特性	無
2010.4.29	217th Meeting of The Electrochemical Society	Spray-Drying Synthesis of Lithium-Excess $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{-x-yNb}_y\text{O}_{12}$ and Electrode Properties for Li-Ion Batteries	無
2010.6.07	第 12 回化学電池材料研究会ミーティング	スプレードライ法を用いたリチウム過剰 $\text{Li}_{4.3}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 炭素複合体の合成とその電極特性	無
2010.6.07	第 12 回化学電池材料研究会ミーティング	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 炭素複合体の固相合成とその全電池特性	無
2010.6.08	第 12 回化学電池材料研究会ミーティング	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 電極への水系バインダーの適用とその電極特性	無
2010.6.28	The 15th International Meeting on Lithium Batteries (IMLB 2010)	Synthesis of $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{-xO}_{12-\delta}$ /C by Spray-Drying Method and its Electrochemical Properties	無
2010.8.04	日本化学会 電気化学ディビジョン 化学電池材料研究会第 26 回講演会・夏の学校	スプレードライ法で合成した $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{-yNb}_y\text{O}_{12}$ の電極特性	無
2010.8.04	日本化学会 電気化学ディビジョン 化学電池材料研究会第 26 回講演会・夏の学校	$\text{Li}_{4.3}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 電極への混合水系バインダーの適用とその電極特性	無
2010.9.01	電気学会電力・エネルギー部門大会	リチウムイオン電池を用いた蓄電システムの充放電試験結果	無
2010.9.06	The 8th Japan-France Joint Seminar on Lithium Ion Batteries	Spray-Drying Synthesis, crystal structure and electrochemical characteristics of lithium-excess $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{-x-yNb}_y\text{O}_{12}$ as a negative electrode material for Li-Ion Batteries	無
2010.9.25	平成 22 年度 化学系学協会東北大会	スプレードライ法で合成したリチウム過剰 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{-xNb}_x\text{O}_{12}$ の電極特性	無
2010.9.25	平成 22 年度 化学系学協会東北大会	リチウム過剰 $\text{Li}_{4+x}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 系の炭素複合体の固相合成とその全電池特性	無
2010.9.25	平成 22 年度 化学系学協会東北大会	$\text{Li}_{4.3}\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 電極作製における混合水系バインダーの適用とその電極特性	無
2011.3.08	The 1st International Symposium on Advanced Nanostructured Materials for Clean Energy	Synthesis of Li excess $\text{Li}_{4.3}\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$ Using Spray-drying Method and its Electrode Property	無
2011.3.16	電気学会全国大会	リチウムイオン電池を用いた蓄電システム設置時の各種規制への対応実績について	無

2011.3.29	電気化学会第 78 回大会	混合水系バインダーを用いた Li _{4.3} Ti ₅ O ₁₂ 電極の作製とその電極特性の評価	無
2011.3.29	電気化学会第 78 回大会	スプレードライ法を用いた Li _{4+x} Ti _{5-y} NbyO ₁₂ 炭素複合体の合成とその電極特性	無
2009.1	電気評論新年号	リチウムイオン二次電池による蓄電システムの開発	無
2010.1	電気評論新年号	リチウムイオン二次電池による蓄電システムにおける各種実証試験	無
2010.11	新電気	温室効果ガス削減を目指し蓄電システムの 実証試験を本格化	無
2011.2	電気学会電力・エネルギー部門誌	研究グループ紹介(蓄電システム技術開発 関連)	無
2009.6.22	電気新聞	次世代への新技術磨くー大型セル, 安全性 を確保風力に併設, 来夏実証試験ー	無
2009.8.21	富山新聞, 北国新聞	北電の蓄電システム 大型装置, 製造に着 手	無

プレス発表3件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表元
2008.9.19	TV4 社, 新聞 9 社	プレス発表 「新エネルギー・電力事業用リチウムイオン蓄電システム」の性能試験について	北陸電力(株)
2010.12.3	日刊工業新聞	プレス発表 「大容量リチウムイオン電池モジュール化技術の確立」	(株)ワイ・デー・ケー
2010.8.30	電気新聞他新聞 4 社	プレス発表 「新エネルギー・電力事業用リチウムイオン蓄電システム」の実証試験の開始について	北陸電力(株)

5. 課題と今後の取組

(実用化技術開発)

① セル製造コスト低減(エナックス)

原価占有率の高い3原料(正・負極材, セパレータ)のコスト削減により, さらなる低減を図る。

③ 遠隔監視システムの開発(ワイ・デー・ケー)

現状は収集したデータをマニュアルでグラフ化している。実用段階ではリアルタイムにグラフィカルに状況把握できる仕組みにし, 故障⇒警報発信の前段で予防措置が打てるような対応にする。

④ 改良 LMO 正極材料製造コストの低減(日下レアメタル研究所)

回収装置設計を最適化することで, 回収率をさらに引き上げられる見込み。(98%以上)

⑤ 機能検証データ拡充のための実証試験の継続(北陸電力)

今回の実証試験で一通りの蓄電システム機能を確認できたが, 試験開始から約 3.5 ヶ月でユニット(1)が停止し, ユニット片肺状態となってしまった影響で, テストケース(パラメータや外部条件を変えてみるなど)が限定的であった。また, FRT・DVS 機能については比較的浅い瞬低が多く, 継続研究にて深い瞬低での動作の確認を試みたい。さらに, 経年使用に伴う劣化の度合いを評価する。

⑥ リチウムイオン電池に関する規制緩和(北陸電力)

リチウムイオン電池の電解液は油であり, 実用規模である MWh 級の蓄電システムにおいては消防

法上の厳しい規制を受ける可能性がある。セル単位で小分けにされることや、常温で動作可能なことなど、規制緩和措置を考慮していく余地があるのではないかと考えられる。また、大型リチウムイオン電池の規格整備を進めることで、規制緩和に結び付けていくことも重要である。

(要素技術開発)

① 改良 LMO セル(20Ah)の開発と検証(エナックス)

正極板およびセル製作仕様の最適化検討が不十分で活物質自身の寿命性能を発揮しきれなかったため、量産仕様への展開を検討する前に追加検証を行う。

② 負極 LTO セル(12Ah)の開発(エナックス)

長寿命の確認ができたが、過充電安全性に一部課題が残っており、実用化には電池仕様の追加検証が必要。

③ 正極 LFPO セル(17Ah)の開発(エナックス)

長寿命電池として期待できる結果で、量産安定性の確認ならびに材料コストの低減が次の課題。

④ LMO セルの高性能・長寿命化開発と検証(エナックス)

コスト、寿命ともプロジェクトの当初目標には達しておらず、材料仕様、製法の両面から追加検証が必要。

⑤ 電池パックの製造コスト低減 (ワイ・デー・ケー)

さらなるコスト低減のためには、機能の集約などの抜本的な見直し着手が必要と考える。

⑥ 電池制御方式の確立(ワイ・デー・ケー)

SOC(充電状態)についてはセルだけでなくシステムレベルでの残存使用可能量が重要であり、バランス状態による残存使用可能量の変動も含め、追加の研究余地がある。本開発機のバランス動作は現地で手動にて稼働させる設計であるため、製品化にあたっては遠隔操作での自動起動も考慮したい。

⑦ モジュール、システムの寿命検討(北陸電力)

セルレベルでは SOC 使用範囲を制約することにより 10 年間の寿命をクリアする見通しが得られたが、モジュール、システムとしての寿命については未検証であり、更なる検証が必要である。

⑧ コンバータ盤のコスト低減(北陸電力, ニチコン草津)

コンバータのコスト評価において、材料費がコスト配分の約半分を占めておりこれ以上の低減が難しく、パワーエレクトロニクス素子の抜本的な価格低減が必要である。

6. 実用化・事業化の見通し

我々はリチウムイオン二次電池を用いた蓄電システムの開発に際して、再生可能エネルギーの出力平滑化や軽負荷時の電力貯蔵という基本的な機能に加えて、瞬時電圧低下で停止しない、系統電圧維持に貢献するといった、近い将来必要となる機能も盛り込んだ。実証試験では、志賀風力発電設備に 100kWh 級の蓄電システムを設置し、系統連系による実証試験を行い、盛り込んだ機能全部が現実に機能することを確認した。このことにより、系統安定化制御機能を有する大型蓄電システムを実用化・製品化に向けての基本技術を確立することができた。

エナックスでは本研究で得られた成果や課題を整理し、セルの高性能材料の追加検証や量産化研究を実施後、系統連系用蓄電池の製品化を判断したうえで 2015 年頃の販売を目指している。

また、将来、太陽光発電大量普及の電力系統側の課題として、軽負荷時の余剰電力、既存電源(主に

火力発電)による周波数調整(LFC)調整力不足がある。その対策として、蓄電池 LFC を活用することにより、軽負荷時に火力発電の出力を LFC 制御範囲から最低負荷まで低減することが期待できる。今後、蓄電池応用システムとして継続研究が必要であるが、実用化されれば単なる電力貯蔵よりも効率的なシステムとして低炭素社会実現、系統影響緩和対策の一助となると考える。

以上

③リチウム二次電池による系統連系円滑化蓄電システムの研究開発（三菱重工業(株)、九州電力(株)）

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

風力発電や太陽光発電のような新エネルギーが大量に導入される際には、蓄電技術による出力の平滑化や、夜間のような軽負荷時の新エネルギー発電電力の蓄電などが必要になると考えられる。三菱重工業と九州電力では、共同研究により長年にわたり電力貯蔵用大型リチウム二次電池を開発してきたが、自然エネルギーの系統連系円滑化蓄電システムに当該電池を使用するためには、性能・コスト面で改善の余地があることが分かった。そこで、本研究では高性能・低コストな大型リチウム二次電池の単電池を開発し、モジュールおよびユニットの開発および検証試験を行うとともに、システムの仕様・構成を検討することで、系統連系円滑化蓄電システムの早期実用化を目的とする。

1.2 事業概要

(要素技術開発)

現在市販されている二次電池の中でエネルギー密度や出力特性、温度特性などの性能バランスが最も優れていると考えられるリチウム二次電池について、系統連系円滑化蓄電システム向けに単セルの高出入力密度化、エネルギー密度の向上を図る。具体的にはリチウム二次電池の電極材料や電池構造、製造条件等を適正化することで、セルの高性能化と低コスト化を図り、1Cの充放電が可能で安全性の高い数百Wh級セルの開発を目指す。さらにこのセルを数百個直列化することで、100kW-100kWh級の高性能ユニットを開発する。また、ユニットとして、量産時予想コスト4万円/kWhを目指す。

(実用化技術開発)

数十MW級の系統連系円滑化蓄電システムの信頼性や寿命等の点で将来の実用化の目処を得るため、実際のウィンドファームのデータを解析してリチウム二次電池による系統連系円滑化蓄電システムの運転条件を検討するとともに、リチウム二次電池による系統連系円滑化蓄電システムの仕様・設計および運転条件を検討することを目的とする。

1.3 実施スケジュールと予算

(要素)

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①各構成部材の高性能化・低コスト化			→	→	→	
②セルの製作・評価			→	→	→	
③モジュール電池の製作・評価			→	→	→	
④ユニット化のための検討			→	→		
⑤ユニット制御方法の適正化			→	→		
⑥ユニットの試作・評価					→	
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(税込み)(百万円)	29	456	539	410	116	1,475

(実用化)

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①風力発電設備データ取得・解析		→				
②寿命評価等電池性能試験方法の検討			→			
③系統連系円滑化蓄電システムの検討			→	→	→	
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	6	8	11	21	32	77

2. 研究開発の目標

(中間年度目標)

要素技術開発の目標として①～⑨、実用化技術開発の目標として⑩～⑫を設定した。

- ① セルの充放電レート:0.5～1C
- ② セルの重量エネルギー密度:100～120Wh/kg
- ③ セルの体積エネルギー密度:200～250 kWh/m³
- ④ セルの安全性:過充電, 過放電下でも破裂・発火のないこと
- ⑤ セルの予想寿命:風車模擬のサイクル条件で予想寿命 10 年(数ヶ月の試験結果から予想)
- ⑥ 上記の安全性および寿命を確保するために必要な制御回路の開発
- ⑦ 系統連系円滑化蓄電システムに適したセルバランス回路の開発
- ⑧ 100kWh 級ユニット(チョッパによる並列式)の設計、試作、評価
- ⑨ ユニットの予想コスト:量産時にユニットとして 4 万円/kWh が見通せるセル
- ⑩ ウインドファームのデータ蓄積および発電電力および各平均化時間における蓄電池の入出力を予測
- ⑪ 上記条件を反映した各種電池評価試験条件の決定。
- ⑫ 上記データを解析して自然エネルギーの系統連系円滑化蓄電システムの仕様を検討する。

(想定条件・根拠)

自然エネルギーの系統連系円滑化蓄電システムとして応用性の高い電力貯蔵装置を開発するために 1C 程度の充放電が可能な 100kWh 級ユニットの試作を目指した。このための構成単電池として、部品点数を減らして低コスト化するために数十～100Ah 級の大型単セルを開発することとした。中間年度末までにこれらの大型リチウム二次電池を直並列につないだ際のセルバランス機能や制御機能について開発し、風車からの出力を安定化するために必要な入出力を模擬した試験が可能な 100kWh 級ユニット電池を試作する。

(最終年度目標)

要素技術開発の目標として①～④、実用化技術開発の目標として⑤～⑥を設定した。

- ① 単電池・モジュールの安全性:各種安全性評価で破裂・発火ないこと
- ② ユニットの充放電レート:0.5～1C
- ③ ユニットの予想寿命:予想寿命 10 年(実証試験による数ヶ月の試験結果から予想)
- ④ システムの量産時予想コスト:4 万円/kWh

⑤ ユニットの直並列化制御技術の検証

⑥ 系統連系円滑化システムに適したユニットの直並列構成、ユニット制御方法を検討

(想定条件・根拠)

ユニットの目標性能は平成 20 年度までに製作する大型単セルの目標性能から予測した。システムはユニットが並列に接続された構成とし、風車あるいはウインドファームの出力を安定させるための入出力データを用いてシミュレーションで性能を解析する。

3. 研究開発の成果

(要素技術開発)

項目		目標値	達成度(中間評価時)	達成度(最終評価時)
セル	充放電レート	1C 充放電	達成(連続通電時は 却必要)	
	重量 ル ー密度	100~120Wh/kg	達成(125Wh/kg@1C)	
	体積 ル ー密度	200~250 kWh/m ³	達成(256 kWh/m ³ @1C)	
	予想寿命	10 年	評価中 (加速寿命評価により実施)	達成(風車模擬の加速試験で 予想寿命 13.6 年達成)
	安全性	各種安全性試験で 破裂発火無し	一部実施 (過充電:破裂無し・発火無し 過放電:破裂発火無し)	達成 (さらにUN輸送 告の各種安 全性試験に合格)
	予想コスト	システムコスト 4 万円/k Wh を見通せるセル	評価中 (共通基盤研究成果使用)	達成 (共通基盤研究シ ュレーシ ン によりセルコスト 2.6 万円/kWh)
ユニット	セルバ ース制御技 術	セルバ ース機能の確 認	一部実施 (モジュール・ ッパ間の セルバ ース確認)	達成 (モジュール・ ッパ・ パー 間の セルバ ース確認)
	充放電レート	1C 充放電	達成 (100kW 級試作機)	達成 (120kW 級試験機)
	予想寿命	10 年	未実施	評価中 (120kW 級試験機によるフ ール ド試験で評価中)
	予想コスト	量産時システムコスト 4 万円/kWh	評価中 (共通基盤研究成果使用)	達成 (共通基盤研究シ ュレーシ ン によりシステムコスト 3.8 万円/kWh)

(実用化技術開発)

項目	目標	達成度(中間評価時)	達成度(年度末)
自然エネルギーデータ取得・解析	統計的な解析・蓄電池の入出力予測	風力発電の短周期・長周期の解析実施 データ取得・解析継続中	達成 (風力発電および太陽光発電のデータ取得および解析を実施)
寿命評価等電池の性能試験方法の検討	各種電池評価試験条件の決定・寿命特性等の検証	上記データを基に蓄電池システムの放電時間の設定、充放電方法を検討。	達成 (寿命評価試験を実施済み)
ユニット直並列化制御技術	実証運転	一部実施 (100kW 級試作機で ッパ°3 並列運転を実施)	達成 (120kW 級試験機で ッパ°2 並列×パー の2 並列運転を実施中)
系統連系円滑化蓄電池システムの検討	系統連系円滑化蓄電システムの仕様確立	検討中	達成 (並列化したユニットをパー を介してさらに並列化した構成を提案)

3.1 要素技術開発

成果1

(内容)セルの製作・評価

電池材料・構成部材の高性能化・低コスト化検討により選定した電池材料・部材を用いて以下の外観および基本仕様のセルを開発した。



図1 開発セルの外観

レート特性試験の結果を図2に示す。評価の結果、125Wh/kg@1C, 120Wh/kg@2C のエネルギー密度を確認した。ハイレートで連続充放電サイクルを行う場合、空 などの 却が必要ではあるが、目標値である1Cでの充放電が可能となった。

表1 開発セルの仕様

項目	仕様
セル寸法(mm)	116W×66.5D×175H
セル重量(kg)	2.7
運用電圧範囲(V)	3.1~4.15
平均電圧(V)	3.8
セル容量(Ah)	91@1C

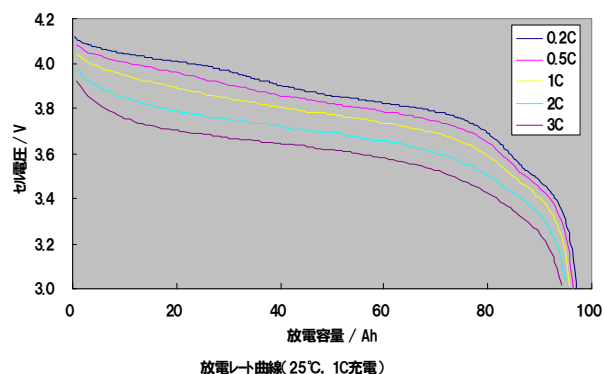


図2 開発セルの放電レート特性

風車実機の発電出力の平滑化を想定した充放電パターンを使い、25℃、40℃、50℃の3条件でサイクル試験を実施した。この結果、図3に示すように25℃で70%容量まで劣化する予想寿命期間は13.6年となり、目標の10年以上を達成した。

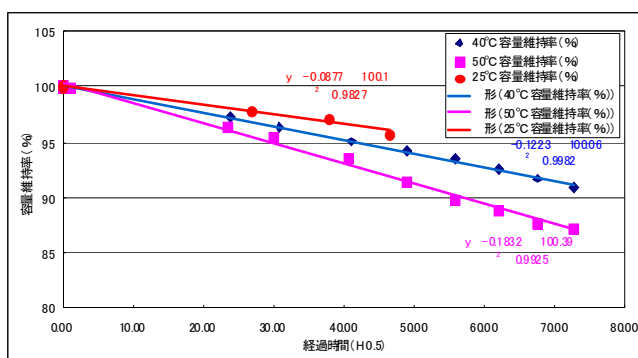


図3(a) セル容量の経時変化

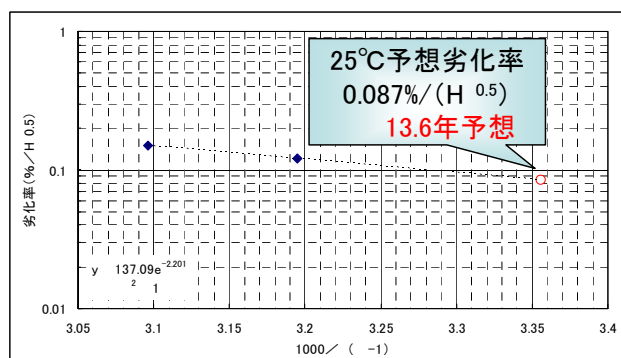


図3(b) 容量劣化率のアレニウス解析

また、系統連系共通基盤技術研究で提示された過充電、内部短絡、外部短絡、過放電、外部加熱、振動、衝撃、浸水などの各種安全性試験で破裂・発火がないことを確認した。さらに表2に示す UN 輸送規格条件を参考にした各種安全性試験でも破裂・発火がないことを確認した。

表2 UN 輸送規格条件を参考にした各種安全性試験項目と試験結果

試験項目	試験内容	試験結果							
		重量減少	漏液	弁作動	破裂	破断	発火	電圧低下	温度上昇
高度試験	20±5℃, 11.6kPa以下に6hr放置	無	無	無	無	無	無	>90%	—
温度試験	-40℃~75℃振幅	無	無	無	無	無	無	>90%	—
振動	周波数: 7Hz~200Hz, 加速度: 最大8G	無	無	無	無	無	無	>90%	—
衝撃	加速度: 50G	無	無	無	無	無	無	>90%	—
外部短絡	短絡抵抗: 0.1Ω, 電池温度: 55℃	無	無	無	無	無	無	>90%	—
衝突	9.1kgの重りを61cmの高さから落下	—	—	—	無	—	無	—	≤170℃
強制放電	最大放電電流(2C)で放電する	—	—	—	無	—	無	—	—

(達成度)

100%

(成果の意義)

本成果により、単セル容量としては世界最大級である100Ah級リチウム二次電池セルにおいて、高いエネルギー密度と入出力特性を有することを確認した。また寿命や安全性についても目標を満足できるセルを開発できた。今後は実運用に適した信頼性とコスト競争力を向上する必要があると考えられる。

成果2

(内容) モジュール電池の製作

モジュール電池は、4個のセルがブスバーにより直列に接続され、監視回路基板を付属する構成となっており、全ての構成部品が樹脂製のケースに格納された構造となっている。流れと伝熱の連成解析を実施した結果、電池温度の上昇を抑えるためにモジュールケースには6箇所のスリットを設け、空ファンを搭載することとした。図3に示すモジュール電池の外観を示す。



図4 開発モジュール電池の外観

(達成度)

100%

(成果の意義)

本成果により、コンパクト化を目指したモジュール電池が開発できた。今後は部品点数や材料の使用量を少なくすることで、さらなる低コスト化を図りたい。

成果3-1

(内容) ユニット化のための検討(ユニットの設計)

大規模な系統連系円滑化蓄電システムを見据えたインバータ・チョップパ多並列システムの基本構成としてコンパクト性・メンテナンス性を考慮した33kWh級のユニットを開発した。図5にフィールド試験中のユニット(4台)の外観を示し、表3にユニット1台の仕様を示す。

(達成度)

100%

(成果の意義)

大規模系統連系円滑化システムに必要な低コストかつ大型ユニットの開発が出来た。今後、更なる低コスト化(構造簡素化等)や信頼性向上に向けた改良を検討することで、商品性の向上を図りたい。



図5 33kWh級ユニット(4台)

表3 ユニット(1台分)の仕様

外形	W1,700mm×D650mm×H1,600mm	
ル収納数(盤1あたり)	112ル(ル4直列×モジュール28直列)	
様	定格電流	95A@1C, 25°C
	許容電流	300A@10秒, 25°C
	定格容量	33kWh@5時間率, 期性能 ース

成果3-2

(内容) ユニット化のための検討(電池製造装置・評価装置の開発)

セルを製造、評価する装置の開発検討と導入を実施し、製造試験により将来の電池量産時に必要な製造技術の構築を行った。(導入装置:スラリー混合装置、塗工装置、膜厚計、充放電評価装置、溶接装置)

(達成度)

100%

(成果の意義)

本用途に適した大容量リチウム二次電池セルの製造に必要な設備導入と当該設備を用いたセル製造試験により将来の量産技術構築に向けた製造技術の構築に取組むことができた。

成果4-1

(内容) ユニット制御方法の適正化(セルバランス方式の適正化)

モジュール電池 28 直列×3 並列よりなる 100kWh 級ユニットを制御可能な監視回路を設計
セルバランス方式は低コストで実績ある抵抗バイパス方式を採用した。

(達成度)

100%

(成果の意義)

監視回路設計が完了し、ユニット電池が 100kW 充放電を行える目処が得られた。

成果4-2

(内容) ユニット制御方法の適正化(直並列構成の適正化)

H22 年度に開発したシステムは、4 台のユニットから構成されており、チョッパを介して並列化されたユニットがインバータを介して並列化されている。このシステムにおいて図6のようにチョッパ間の電圧をバランスさせながら、インバータ間の電圧バランスを維持するプログラムを開発するとともに、太陽光発電サイトで問題なく系統連系円滑化運転ができることを確認した。

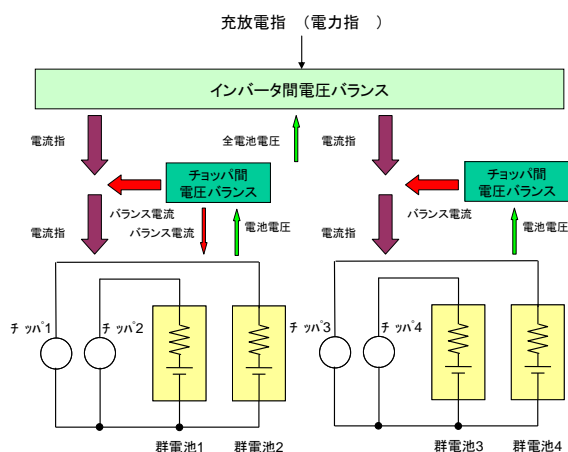


図6 ユニット間のバランス制御モデル

(達成度)

100%

(成果の意義)

将来の大規模系統連系円滑化システムの構成案および基本的な制御技術を確立することができた。

成果5

(内容) システムの量産時コスト予想

本研究で開発したセルやシステムの仕様を基に共通基盤研究で三菱総研 が作成した計算ソフトを用いて 1000MWh/年レベルの大量生産を行った場合のコストを予想した。この結果、システム当たりのインバータの台数を少なくすれば、目標のシステムコスト 4 万円/kWh を達成できることが分かった。

(達成度)

90%

(成果の意義)

ユニットやインバータのコスト削減は今後の課題として残るが、理想的な計算では目標コストを達成できる見込みがあることが分かった。

3.2 実用化技術開発

成果6-1

(内容) 風力発電データ取得・解析

計測することができる設備を選定し、発電データ(日時、風速、発電電力等)の計測を行い、計測した発電データを整理・解析し、電池寿命評価及び試験方法検討の基礎データの蓄積を行った。

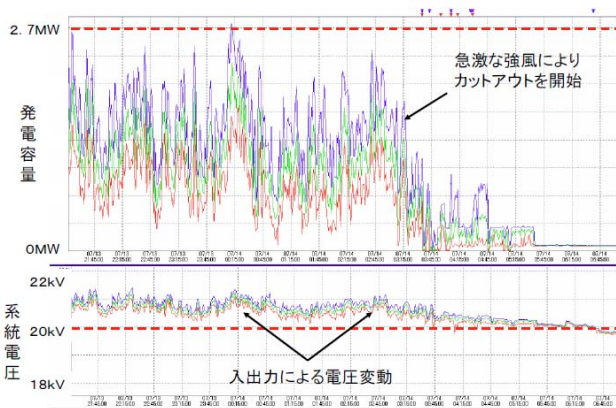
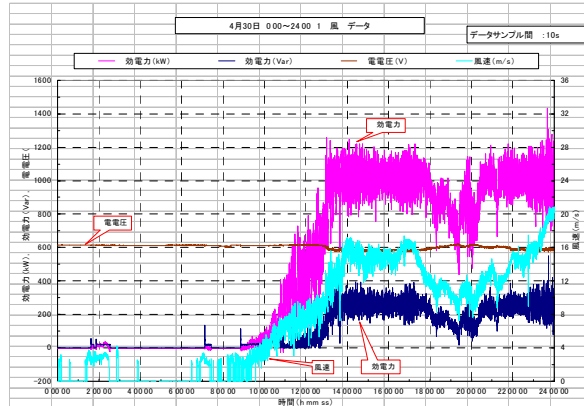


図7 戸ウインドヒル発電所
風車単機 24時間データ

図8 野間 ウィンドパーク発電所
台風時カットアウトデータ

(達成度)

100%

(成果の意義)

風力発電データの取得・解析により基礎データを蓄積したことで、電池寿命評価及び試験方法の検討が可能となった。

成果6-2

(内容) 太陽光発電データ整理・解析(平滑化評価)

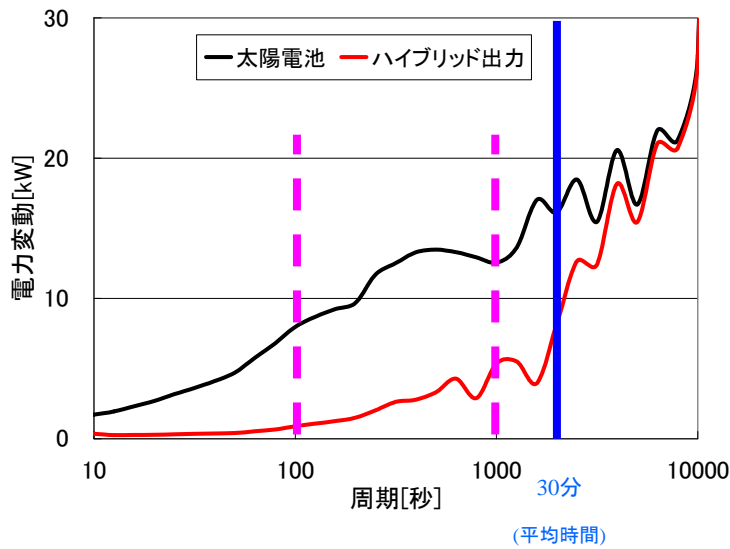
三菱重工業・九州電力の各太陽光発電サイトより取得したデータをもとに、蓄電システムの平滑化方法およびシステム容量設定を検討するため、シミュレーションを実施した。



図9 太陽電池工場(長崎県諫早市)



図10 太陽光発電設備(福岡県筑紫野市)



シミュレーション条件

使用データ
 太陽光発電データ: 2009年6月26日
 太陽電池定格出力: 100kW

平滑化制御
 目標値生成方法:
 過去の太陽電池出力における
 平均値(移動平均)
 平均時間: 30分
 蓄電池充放電許容範囲: ±100kW

図11 シミュレーション結果の一例

(達成度)

100%

(成果の意義)

太陽光の平準化用途に供する蓄電システムの容量設定についての一法案を確立した。

成果6-1

(内容) 寿命評価等電池の性能試験方法の検討(性能試験方法の検討)

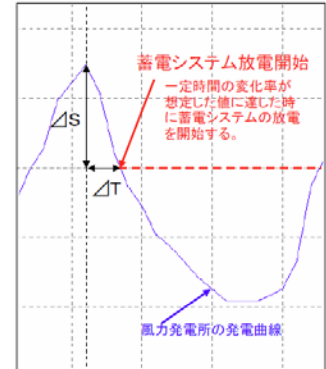
取得したデータの解析の結果から蓄電池システムの放電時間の設定、充放電方法を検討した。

(達成度)

100%

(成果の意義)

本成果を利用して電池の充放電評価試験の条件を決定した。



成果6-2

図 1.2 放電タイミングの一例

(内容) 寿命評価等電池の性能試験方法の検討(充放電試験装置の検討)

取得したデータから得られた知見をもとに蓄電システムのシステム構成、システム電圧、システム容量及び応答速度を充放電試験装置の仕様へ反映した。

(達成度)

100%

(成果の意義)

充放電試験装置の仕様を確立することが出来たことで、100kWh ユニットの充放電試験が可能となった。

成果7

(内容) 風力・太陽光発電向け系統連系円滑化蓄電システムの検討

取得したデータの解析をもとに、MW 級の系統円滑化蓄電池システムの構成を検討し、一構成案を作成した。また、構成案の要素検証として実施する、最終年度の実証試験にて製作するシステム構成案を作成した。

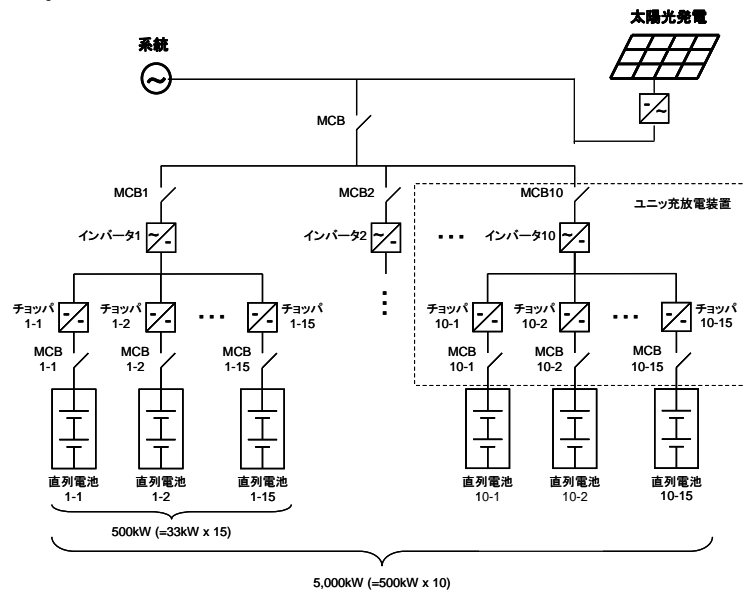


図 1.3 MW 級太陽光発電向け系統連系円滑化蓄電システム構成の一方案

(達成度)

90%

(成果の意義)

MW 級に対応可能な蓄電池システムの設計手法を確立した。
現実的には発電方法や発電・系統の状況に応じて蓄電システムの最適設計が必要と考えられ、さらに低コスト化のためにインバータ・チョップ等の台数削減も望まれる。

成果8-1

(内容) 太陽光発電サイトでの平滑化運転実証

実機のミニモデルとして、図 14 に示す構成の実証試験機を製作し、100kW の太陽光発電に対する平滑化効果を確認した。

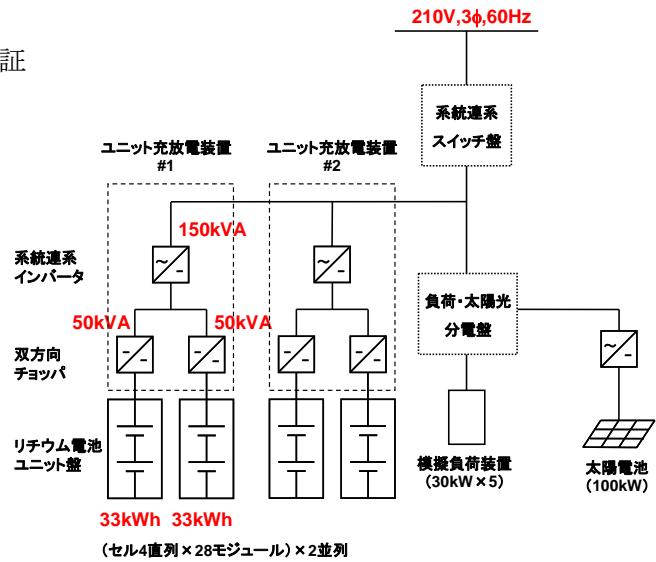


図 14 太陽光発電サイト(諫早)に設置した実証試験機

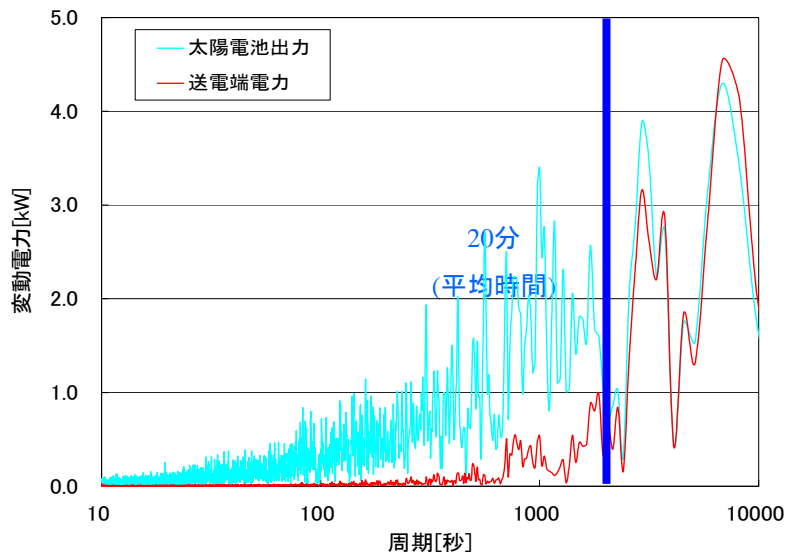


図 15 実証試験での平滑化効果

(達成度)

100%

(成果の意義)

リチウム二次電池での平滑化効果が確認され、有効性が示された。

成果8-2

(内容) 実用化に向けた系統連系平滑化蓄電システムの最適化の検討

実証試験において得られた結果から、風力・太陽光平滑化用途における蓄電池システムの最適な

出力・電池容量設計の条件を抽出した。

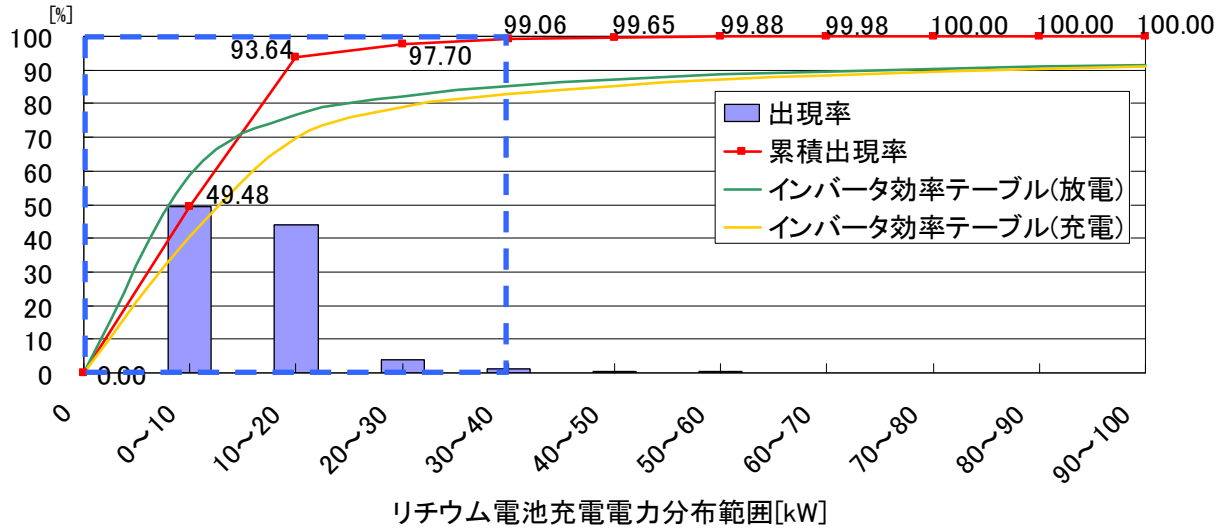


図16 インバータ出力累積分布とインバータ効率テーブル

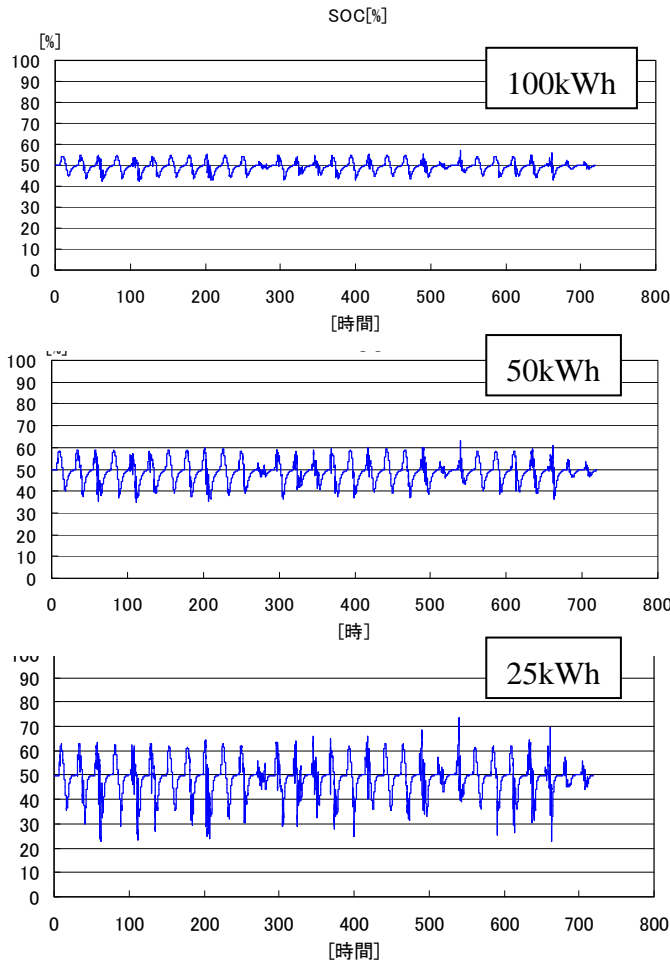


図17 電池容量の違いによるSOC推移の比較

(達成度)

100%

(成果の意義)

平準化機能とシステム全体のコストの両面に最適なシステム構成を提示したことで、今後の実用化に向けてのシステム設計に反映させることが出来る。

4. 成果の普及

特許出願7件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
	特願 2008-189679	組電池システム
2008年 7月 25日	特願 2008-192743	電池パック容器、電池パック及びリチウム二次電池
2008年 12月 9日	特願 2008-313523	電圧均等化装置、方法、プログラム、及び電力貯蔵システム
2009年 11月 11日	特願 2009-257997	風力発電システム
2010年 12月 27日	特願 2010-289733	電力制御装置、電力算出方法および電力算出プログラム
2010年 3月 28日	特願 2011-070877	電力貯蔵システム
2010年 3月 28日	特願 2011-070765	電力貯蔵システム

論文発表1件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2007年 11月	三菱重工技報 VOL.44 NO.4(2007)	リチウム二次電池の開発と自然エネルギーの 系統連系円滑化蓄電システムへの適用	発表前に NEDOに提出 済み
2011年 8月	三菱重工技報 VOL.48 No.3(2011)	リチウムイオン二次電池を用いた再生可能エ ネルギーの系統連系円滑化システムの開発	発表前に NEDOに提出 済み

講演発表他 10件

発表年月日	発表媒体
2008年 5月 14日-16日	The 9th International Advanced Automotive Battery
2008年 10月 3日	第47回工業物理化学講 会
2009年 11月 13日	第16回電力貯蔵技術研究会
2009年 11月 21日	第56回 新エネルギー講演会
2009年 12月 3日	グリーンET技術者 成講座講 In長崎
2010年 3月 5日	第1回バッテリージャパン
2010年 9月 2日	平成22年電気学会 電力・エネルギー部門
2011年 1月 28日	日本粉体工業技術協会 2010年度 第三回 電池製造技術分科会
2011年 3月 1日	第2回バッテリージャパン
2011年 6月 15日	第21回電力貯蔵技術研究会

5. 課題と今後の取組

これまでの開発により、系統連系円滑化蓄電用途に適すると考えるシステムの基本設計手法を確立することが出来た。また、将来の MW 級を見通せる蓄電池システムの基本要素にあたる 100kW-100kWh 級システムを製作し、太陽光発電サイトにて実証試験を実施することで、平準化機能の確認と課題抽出ができた。課題としては、風車など他の再生エネルギー発電に関する平準化条件の更なる調査と、ウインドファーム、メガソーラなど大規模発電所に合わせたシステム設計およびコストの両立である。今後は国内外の各適用サイトにおいて、系統連系円滑化に要求される平準化条件を明らかにし、本格普及に向けて更なる実証を積み重ねていく予定である。

6. 実用化・事業化の見通し

要素技術開発において開発された 100kWh 級ユニットは、今後業務用や集合住宅などの夜間電力貯蔵、ピークシフト・ピークカット、分散電源用電力貯蔵などの需要に対して、その基本設計を活用できるため、リチウム二次電池の定置用用途での活用に対して、波及効果があると考えられる。

実用化技術開発にて系統連系円滑化蓄電システムの運用条件および基本設計を構築すれば、成果はウインドファームやメガソーラなどの系統連系円滑化ニーズが出た際に適用できる可能性が高い。ただし、実際に製品として系統に実用されるまでには、さらに数百 kWh～数 MWh 級のシステム検証が必要と思われる。

今後、再生エネルギー発電の需要が高まれば、系統の安定化を図るために系統連携円滑化蓄電システムの必要性は高まってくる可能性は高い。ただし、これら導入にあたっては発電原価が高くなる方向になるので、普及或いは導入初期時にはなんらかの助成制度が必要になってくるものと考えられる。

最後に、本成果は再生エネルギー発電を系統に連係させる際に必要な系統連系円滑化の需要のみならず、今需要の高まっている大型の電力貯蔵、ピークシフト・ピークカット、マイクログリッドなどの需要に対して波及効果があると考えられる。

以上

④新型ニッケル水素電池の研究開発(川崎重工業(株))

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

風力発電や太陽光発電のような新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化防止に資するほか、分散型エネルギーシステムとしてのメリットも期待できる貴重なエネルギー源であり、国の長期需給見通しでは、2030年までに電力供給の10%相当の導入を目指している。一方で、これら新エネルギーは、自然の影響を受けやすく出力が不安定な電源であり、電力系統にこのように大量に連系した場合、周波数の維持だけでなく、火力発電などの集中型電源の運用にも大きな支障をきたし、電力系統の運用が困難になることが予想される。このような影響を避けるために、新エネルギーが大量に導入される際には、蓄電技術による出力の平滑化や、夜間のような軽負荷時の新エネルギー発電電力の蓄電などが必要になると考えられる。本プロジェクトにおいては、蓄電部本体及び蓄電システム等の技術開発を行うことにより、風力、太陽光等新エネルギーの出力変動に伴う電力系統への悪影響を回避することを可能とし、新エネルギー導入目標の達成を加速することを目的とする。

その中で本研究開発においては、主として風力発電の出力安定化システムへの適用を目指して大容量の新型ニッケル水素電池(ギガセル)を開発し、電池スタックの高性能・低コスト化並びに耐久性向上を図ることを目的とする。また、充放電効率が高く、高率充放電が可能な新型ニッケル水素電池(ギガセル)の特徴を活かし、風力、太陽光等の新エネルギー、特に風力発電の出力安定化に適した蓄電システムを実現するための制御手法、蓄電池管理手法の研究を行うとともに、耐久性、信頼性、メンテナンス性、コスト、総合効率など大容量化に伴う技術課題の抽出、評価を行う。

1.2 事業概要

1)要素技術開発

要素技術開発にて開発する新型電池は、ユニークな積層構造を採用した大容量電池であり、現状では困難な当該電池の系統連系円滑化への適用を目指し、電極仕様および製造条件の改良、電解液組成の最適化等を実施する。また低コスト化を目指し、生産性の向上や電池のリサイクル技術に関しても検討を行う。

さらに電池の耐久性を向上させるため、電池の劣化原因を解明し、長期耐久試験により長寿命化対策の効果を検証する。また、温度やSOC等の運転条件と電池寿命の関係を調べ劣化現象との関連性を明らかにすることにより、寿命予測の手法を固める。

2)実用化技術開発

実用化技術開発では、実証試験用100kW級蓄電システムを開発し、これを用いて各種性能試験を行い、制御手法の検証、蓄電池の特性計測、大容量化に対する技術課題の抽出を行う。

また、SOC計測手法を開発し、社内実証試験用100kW級蓄電システムにて実用レベルの検証を行う。

さらに最終的には、要素技術開発を含めた成果を反映したMW級蓄電システムを設計、製作し、実証運転を実施する。

1.3 実施スケジュールと予算

1)要素技術開発

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
高性能・低コスト化技術の開発						
耐久性向上技術の開発						
電極製造プロセス及び耐久性向上における固液界面現象の解明						
電池性能劣化原因の究明						
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	90.5	274.7	199.3	160.7	107.9	833.1

2)実用化技術開発

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
モジュールの直・並列技術ならびに保守・管理技術の開発						
SOC 管理技術の開発						
セル・モジュール量産化技術の開発						
MW 級蓄電システムの実証						
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	27.3	135.4	79.2	219.2	63.2	524.3

(消費税抜き)

2. 研究開発の目標

1) 要素技術開発

(最終年度目標)

- ① モジュール充放電効率(DC-DC 効率)90%以上を達成する。
- ② 電池コスト4万円/kWhを実現するための方策を明確化し、目標コストの見通しを得る。
- ③ 電池劣化要因の抽出・定量化により寿命予測式を導出し、寿命10年の見通しを立てる。

(想定条件・根拠)

上記目標を達成することにより、系統連系円滑化蓄電システムの実用化が可能な技術レベルになり、特に短周期平滑化において十分な経済性が期待される。

2) 実用化技術開発

(最終年度目標)

- ① 量産化技術の確立、量産時の生産コスト低減の見通しを得る。
- ② 風力発電平滑化を想定した MW 級蓄電システムの基本構成となる1系列のシステムを製作し、6ヶ月以上の実証試験を風力発電サイトで実施し、平滑化制御手法の効果、SOC 等蓄電池監視システムの妥当性の検証を行う。

(想定条件・根拠)

MW 級システムの1系列を用いて試験を実施することで、実用化の際は風力発電出力に応じて、システムの並列数を調整することで対応でき、基本システムとしての健全性を実証できる。

3. 研究開発の成果

項目	目標値	達成度
(要素技術開発)		
モジュール開発	・開発試作完了	・試作モジュール完成、性能確認、実証
性能向上	・充放電効率 90%以上	・小型セルでの効率達成
低コスト化	・低コスト化手法の抽出 及び実現可能性の検証	・約 20%のコスト低減見通し モジュール 4 万円/kWh の見通し
耐久性向上	・電極改良による耐久性向上とその効果の検証	・10,000 サイクル達成、10 年の見通し
(実用化技術開発)		
出力安定化制御可能な 100kW 級蓄電システムの完成	・蓄電システムの完成	・max 出力 150kW 蓄電システム開発 (容量 28kWh)
SOC 管理	・誤差率±10%	・100kW 級蓄電システムでの確認
セル・モジュール 量産化技術	・量産化技術の確立 量産時の生産コスト低減の見通しを得る	・電極製造設備、セル、モジュールの組立技術の 効率化、自動化を検討することにより量産時の 生産コスト低減の見通しを得た
MW 級蓄電システム	・6ヶ月以上の実証試験	・要素技術開発で得られた成果を反映した、新仕様の MW 級蓄電システムを製作し、6ヶ月以上の性能を検証(継続研究中)

成果1

(内容)

200 Ah 級モジュールの完成・実証

(達成度)

100%

(成果の意義)

金属部材と樹脂を一体成形したセルを 10 個バイポーラ積層し、200Ah 級蓄電池モジュールを開発した。本モジュールは内部抵抗が約 30mΩ Ah と小さく 90%以上の充放電効率が得られるとともに、11C でも 80%の放電容量が得られるなど高い性能を達成した。更に本モジュールは実用化研究の中で実証試験に供せられ、風力発電出力の平滑化に十分適用できることが実証された。

成果2

(内容)

電池の耐久性向上とその効果の検証

(達成度)

100%

(成果の意義)

電池劣化要因を解析する技術を開発し、これを踏まえて電極前処理技術の開発など電池の長寿命化に資する成果を得た。また小型電池にて 10,000 サイクル以上の寿命を達成するとともに、寿命予測技術を開発し 10 年以上の寿命の見通しを得た。NEDO 共通基盤に準拠した小型電池耐久試験においても 10 年以上の寿命の見通しを得た。

成果3

(内容)

モジュールの低コスト化

(達成度)

90%

(成果の意義)

電極材料の高性能化、単位重量あたりの容量の増大、並びにセル枠や放熱板などの部材のコスト低減等により、量産時のモジュールのコストダウン(4 万円/kWh)への見通しが得られた。活物質のリサイクルについて検討した結果、新品の 1/10 以下のコストで再利用できることが明らかになった。

なおシステム全体のコストについては、インバータ(本プロジェクトの開発対象外)が高価なこともあり 4 万円/kWh を上回る見通しであり、今後インバータのコスト低減が必要である。

成果4

(内容)

平滑化出力制御可能な 100kW 級蓄電システムの完成

(達成度)

100%

(成果の意義)

100kW 級蓄電システムを完成させ、風力発電サイトで平滑化試験を実施したことにより、制御手法の検証、蓄電池特性の計測、大容量化における課題を抽出することができた。

成果5

(内容)

誤差率±10%の高精度な SOC 管理技術の確立

(達成度)

100%

(成果の意義)

SOC を高精度に管理することが可能となれば、設置した蓄電池容量の内、利用可能な容量が増えるため、設置容量を低減することができ、蓄電システムのコスト低減につながる。

成果6

(内容)

セル・モジュールの量産化技術の確立

(達成度)

90%

(成果の意義)

電極製造設備、セル、モジュールの組立技術の効率化、自動化を検討することにより、量産時の生産コスト低減の見通しを得た。

成果7

(内容)

MW 級システムによる 6 ヶ月以上の運転達成

(達成度)

100%

(成果の意義)

要素技術開発で得られた成果を反映した、実機の一系列分となる新仕様の MW 級蓄電システムを製作し、風力発電サイトに設置して当初目標の 6 ヶ月を超える実機運転を行うことにより、出力安定化制御手法の評価、蓄電池監視手法の妥当性評価等、開発した各種のシステム運用手法を検証することができた。

4. 成果の普及

特許出願 5 件

出願日	出願番号	出願に係る特許等の標題
2008.08.20	2008-212051	「角形二次電池とその枠体の製造方法」
2008.10.31	2008-281115	アルカリ蓄電池用電極およびこれを備えるアルカリ蓄電池
2008.10.31	2008-281116	アルカリ蓄電池用電極およびアルカリ蓄電池の放電リザーブ低減方法
2008.11.04	2008-283734	Al 置換水酸化ニッケルの製造方法
2010.10.29	2010-243488	アルカリ蓄電池用正極体およびその製造方法

講演発表 14 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
2008.03	「火力原子力発電」3月号	新型ニッケル水素電池”ギガセル”の開発
2008.04.18	バッテリーシンポジウム 2008	大容量ニッケル水素電池”ギガセル”の開発
2008.10.15	2008 年電気化学日米合同大会	Development of Advanced Nickel Metal Hydride Batteries for Large Scale Energy Storage
2008.10.15	2008 年電気化学日米合同大会	Improvement of High-Capacity Nickel-metal Hydride Batteries using Easy Stacking Technology
2008.11.05	第 49 回電池討論会 (NEDO 共催シンポジウム)	Ni-MH 電池用低コスト負極の開発
2008.11.05	第 49 回電池討論会 (NEDO 共催シンポジウム)	Ni-MH 電池負極放電リザーブ増加原因の究明と対策効果
2008.12	3 rd International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources	Applications of an Advanced Nickel-Metal Hydride Battery “GIGACELL” for Utilizing Renewable Energy Resources
2009.3	風力発電セミナー	新型ニッケル水素電池「ギガセル」
2009.9	第 79 回マリンエンジニアリング学術講演会	大容量ニッケル水素電池ギガセルについて
2009.9	機械学会関西支部 講 会	大容量ニッケル水素電池 “ギガセル”の開発と応用
2009.12.03	第 50 回電池討論会 (NEDO 共催シンポジウム)	系統連系円滑化用途における Ni-MH 電池の性能・寿命評価
2009.12.03	第 50 回電池討論会 (NEDO 共催シンポジウム)	系統連系円滑化用途における大容量 Ni-MH 電池の開発
2010.3.31	電気化学学会第 77 回大会	Ni-MH 電池用正極活物質の表面構造に及ぼす前処理の影響
2010.11.10	第 51 回電池討論会	系統連系円滑化用途における Ni-MH 電池の寿命評価

論文発表 1 件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2009.3.15	Journal of the Ceramic Society of Japan	Preparation of γ -nickel hydroxide/carbon composite by the liquid phase deposition method	あり

5. 実用化・事業化の見通し

本研究開発成果を実用化・事業化につなげるべく、引き続き MW 級蓄電池システムの実証試験を行っている。継続研究を通じて、長期間の運転による電池性能の低下にも対応した SOC 管理技術の向上、ならびに出力安定化制御技術および蓄電池監視技術の向上を目指している。そして、風力発電事業者を含めた関係者に長期間安定運転が可能な MW 級蓄電池システムの有効性をアピールし、実用化・事業化につなげてゆく所存である。

現時点では、システムコストは目標値に達していないが、電池モジュールやインバータの低価格化をさらに進めるとともに、コストパフォーマンスを最大とするような運用方法を明らかにすることにより、コスト削減を図っていきたい。特に、電池モジュールの低価格化においては、素材のニッケルのコストが市況により高騰する可能性があり、リサイクルを含めたコスト低減・安定化対策の検討も進めたい。

なお、本新型電池の特長である、バイポーラ方式によりセルを積層して電池を大型化する技術は、ニッケル水素電池以外の電池にも応用可能であり、将来革新的な電池系が得られた場合これを組み込んで高性能な産業用大型電池へと展開することが期待できる。

以上

⑤高エネルギー密度を有する新型電気二重層キャパシタおよびその蓄電システムの研究開発
(日清紡ホールディングス株式会社)

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

風力発電などの新エネルギーを蓄電するには、大きな蓄電容量を確保すると同時に瞬時に変化する出力変動に対応し、かつ長寿命性能が求められる。ところが現状の化学二次電池は、蓄電能力に優れるが、激しい出力変動への対応や繰り返し充放電に弱く、劣化が激しい。一方、電気二重層キャパシタ(以下、キャパシタと略す)は、蓄電能力に劣るが優れた対応性を有し、繰り返し充放電は半永久的に可能で、寿命性能は十分に満足できる。

そこで、新エネルギーに対応できる蓄電システムとして、化学二次電池とキャパシタの欠点を補い特徴を活かした「ハイブリッド化した組電池(化学二次電池とキャパシタを組み合わせた電池)」を開発することを目的としている。

1.2 事業概要

当社のキャパシタは他社キャパシタよりも応答性が良く、かつ蓄電能力にも影響する定格電圧が高い。しかしながら、新エネルギーに対応させるには、現状キャパシタの充電エネルギー効率を維持しながら、更に質量エネルギー密度と寿命性能を向上させることが必要である。そこで、キャパシタの新規部材の開発・評価およびセル設計最適化により、質量エネルギー密度、電圧および寿命性能を増大させる。

ハイブリッド化した組電池の開発は、先ず、キャパシタとのハイブリッド化に最適な化学二次電池を、比エネルギー、比出力、耐用年数およびコストの観点から選定する。次いで、選定した化学二次電池とキャパシタとのハイブリッド組電池を試作し、比エネルギー、比出力、寿命などの性能が最適となる組み合わせ比率や方法を決定する。さらには、安定かつ効率よく蓄電できるシステムの実現に向けて、ハイブリッド組電池の制御技術の開発を進める。

1.3 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
電極材料・セパレータ・電解液・および電池容器検討による高密度キャパシタの開発			→			
電極材料およびその処理技術による高電圧化および長寿命化検討			→			
新型電極基板開発による高密度化および長寿命化検討			→			
化学二次電池の調査およびハイブリッド組電池の開発・評価			→			
キャパシタモジュール、ハイブリッド組電池の組立て技術および充放電制御方法の開発			→			
ニッケル水素電池ーキャパシタ組電池の試作評価					→	
新型キャパシタの試作評価					→	
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(万円)	92	229	230	126	96	773

2. 研究開発の目標

(最終年度目標)

プロジェクト終了時(2010年度末)において量産時、システムコスト4万円/kWh、寿命10年の化学二次電池ーキャパシタ組電池システムを構築する。

(想定条件・根拠)

75Wh/kg,3万円/kWhの二次電池と20Wh/kg,30万円/kWhの電気二重層キャパシタをエネルギー効率および寿命性能向上のための組電池方法および制御方法開発することによって本プロジェクトにおける目標項目のすべてを満足させ、系統連系蓄電システムへ有用な手段を与えることができる。

50Wh/kgの蓄電システムにおいて効率90%、DOD80%、耐用年数10年(3,650サイクル)なら、 $50\text{Wh/kg} \times 0.9 \times 0.8 \times 3,650 < 140\text{kWh/kg}$ 分のエネルギー利用となる。キャパシタ開発、組電池開発および制御開発によってこれ以上のエネルギー利用可能な蓄電システムを構築する。

3. 研究開発の成果

主な実施項目	目標 (プロジェクト終了時)	達成度
電極材料、セパレータ、電解液および電池容器の検討による高密度キャパシタの開発	重量エネルギー密度14Wh/Kgのキャパシタセルを開発する	△
電極材料およびその処理技術による高電圧化および長寿命化の検討	フロート寿命3V、8,000hのキャパシタセルを開発する	
新型電極基板開発による高密度化および長寿命化の検討	重量エネルギー密度16Wh/Kgを達成できる新型電極基板を開発する	○
化学二次電池の調査およびハイブリッド組電池の開発	ハイブリッド組電池の仕様(種類・比率)を決定する	◎
キャパシタモジュール、ハイブリッド組電池の組立て技術および充放電制御方法の検討	ハイブリッド組電池の充放電回路を設計する	◎
ニッケル水素電池ーキャパシタ組電池の試作評価	コスト4万円/kWh、耐用年数10年相当を見出す	○
新型キャパシタの試作評価	キャパシタモジュールの製造コスト38万円/kWhを達成する	◎

成果1

(内容)

新型キャパシタセルの開発(電極材料)

(達成度)

75%

(成果の意義)

系統連系円滑化蓄電システムにキャパシタを適用させるために、キャパシタの高エネルギー密度化が必要であり、蓄エネルギーを支配する単位質量あたりの電容量と電圧の因子の増大を目的に電極材料(活性炭、キャパシタ電解液、セパレータ、電極基板および電極活物質等)を検討し試作・評価した。活物質として用いる活性炭、キャパシタ電解液についてエネルギー密度を増大させる材料を選定し、成果 2 で示す新型キャパシタセルを設計・試作した。

また、新規電極材料の検討によって得られたキャパシタセルは 3.0V におけるフロート寿命が 6,000h 相当を達成した。

成果 2

(内容)

新型キャパシタセルの開発(新型セル容器および新型キャパシタセル)

(達成度)

80%

(成果の意義)

キャパシタの密閉性を向上するために、通電部の止に樹脂部材を用いた新型キャパシタセル金属容器を新規に設計開発した。更に成果 6 および 7 に適用するキャパシタモジュールを構築しうる容器構造の検証・設計および高い接合強度を持つレーザー溶接での溶接条件等の製造技術を確立した。また、成果 1 で見出した電極材料を用いた新型キャパシタセル量産製造プロセスを設計した。

試作したキャパシタセルを評価した結果、フロート寿命が 1,000h の期待値を得る 3.4V において、エネルギー密度が約 12Wh/kg 相当となる結果を得た。

成果 3

(内容)

キャパシタのモジュール化

(達成度)

100%

(成果の意義)

10kW 規模の蓄電システムを構築するために電圧 400~600V、蓄電電気量 20~30Ah の組電池を計画・提案し、従来セルを用いて 400V 直列の高電圧キャパシタモジュールを設計試作した。

また、成果 1 および 2 で開発した新型キャパシタセルを用いて、成果 5 および 6 で述べる 3,000W ハイブリッド組電池に用いる 60V キャパシタモジュールを設計試作した。本新型キャパシタモジュールは、組電池化に必要と考えられる全ての耐震性および性を確保することを確認し、共通基盤研究により提案されたモジュール・システム評価方法に準じて条件設定した安全性試験および耐久試験において、全ての基準を通過することを確認した。

成果 4

(内容)

ハイブリッド組電池開発(化学二次電池種類・比率の決定)

(達成度)

100%

(成果の意義)

新エネルギー発電の貯蔵システムとして用いるためのハイブリッド組電池において、キャパシタの併用効果を十分に発揮できる化学二次電池として、鉛電池、リチウムイオン電池及びニッケル水素電池を検討し、その結果ニッケル水素電池とキャパシタの組合せによってそれぞれが課題として持つ性能を補完することができると思われた。

鉛電池とキャパシタの組電池を実際に評価した結果、その組電池は蓄電システムの目標値に近づくことを確認したが、両者の課題であるエネルギー密度が目標値に達することができなかった。ニッケル水素電池とキャパシタの組電池においては、キャパシタがニッケル水素電池の発熱を抑制する効果を確認し、断続充電が短い場合に更にニッケル水素電池の発熱を抑制することがわかった。

ニッケル水素電池—キャパシタ組電池において充電状態(SOC)が10%から90%に相当する電圧範囲(それぞれ V_{10} および V_{90})を電流0.5Cで連続充電する部分に、電流1.0Cで60sec断続的に充電と休止を繰り返して充電する条件を適用して、組電池のサイクル寿命性能を評価し、並列するキャパシタの蓄電量を増大するとともにサイクル中のニッケル水素電池の温度増加が減少し、充放電サイクル寿命が延命することを確認した。また、組電池におけるニッケル水素電池とキャパシタの組合せ比率は円筒型13Ahニッケル水素電池では0.08以上、角型30Ahニッケル水素電池では0.05以上となるキャパシタを用いる必要があることがわかった。

成果5

(内容)

ハイブリッド組電池開発(充放電回路の設計)

(達成度)

100%

(成果の意義)

一定電圧および一定電流の制約で発電されるとは限らない発電電力を充電し、また、不安定な系統からの要求電力を供給による長期的な電池やキャパシタへのストレスを制御する方法を見出し、且つ、組電池の安全性を確保する制御方法を盛り込んだ充放電回路を設計試作した。

成果6

(内容)

ニッケル水素電池—キャパシタ組電池の試作・評価(寿命)

(達成度)

100%

(成果の意義)

30Ah、2.4Vニッケル水素電池—2.4Ah15Vキャパシタ並列組電池の60sec断続充電による運用における耐用年数にニッケル水素電池の保存による劣化を加算することによって見積もり、60sec断続充電による運用における耐用年数は約3,150day(約8.6年相当)と推測され、10sec断続充電による運用における耐用年数は約3,650日(約10年相当)である推測された。

また、本組電池に用いた 30Ah ニッケル水素電池が全ての安全性評価に対して基準を通過したことを確認した。

成果 7

(内容)

ニッケル水素電池-キャパシタ組電池の試作・評価(コスト)

(達成度)

90%

(成果の意義)

成果 3 で設計試作した新型キャパシタモジュールおよび成果 5 で構築した制御回路を搭載して 3kWh ニッケル水素電池-キャパシタ組電池を試作評価した。そのコストを、自然エネルギー発電システムの導入計画をもとに生産量を想定した場合の、社コスト試算基準により試算した結果、約 4.8 万円/kWh と見積もられた。また共通基盤研究により提案されたコスト試算基準により試算した結果、組電池に関わる直材費が 3.9 万円/kWh、直労費、間接費および変換装置を含めた蓄電池本体コストは 13.3 万円/kWh と見積もられた。組電池の直材費コストが目標とする 4 万円/kWh を達成した。

4. 成果の普及

特許出願 5 件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
2008 年 10 月 22 日	特願 2008-272081	蓄電装置および充電方法
2008 年 10 月 28 日	特願 2008-276626	キ クリジニウム塩
2008 年 10 月 28 日	特願 2008-276614	キ クリジニウム塩含有電解液
2009 年 05 月 28 日	特願 2009-129315	充放電制御装置、キャパシタモジュール及び充放電制御装置
2010 年 07 月 14 日	特願 PCT/JP2009/57608	蓄電装置

講演発表 11 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
2007 年 03 月 29 日	第74回電気化学会	大型電気二重層キャパシタセル・モジュールの開発および長寿命化開発に向けた寿命プロセス調査
2007 年 05 月 18 日	第91回黒鉛化合物研究会	活性炭およびイオン性液体を用いた電機二重層キャパシタの開発
2007 年 10 月 02 日	CEATECH JAPAN 2007	ハイパワーキャパシタの開発とその応用
2007 年 10 月 02 日	電気二重層キャパシタの最前線2008	高エネルギー密度キャパシタ開発と長寿命化検討
2008 年 03 月 29 日	第75回電気化学会	立体構造基板および活性炭/導電性炭素複合体負極を用いたキャパシタ
2008 年 04 月 28 日	第16回バッテリー技術シンポジウム	キャパシタの高エネルギー密度化開発およびその用途化開発

2008年05月26日	電気二重層キャパシタの高エネルギー密度化へ向けた電極材料技術と性能、寿命の評価	高エネルギー密度キャパシタ開発と長寿命化検討
2008年11月05日	第49回電池討論会	充電効率向上に向けた密閉型ニッケル水素電池-キャパシタハイブリッド組電池の開発
2009年03月02日	電気二重層キャパシタ応用展開の最新動向と次世代キャパシタの最新技術	産業用屋内送車、電力貯蔵へのキャパシタの応用
2009年12月02日	第50回電池討論会	密閉型ニッケル水素電池-キャパシタ組電池による充電効率向上および寿命延命検討
2009年12月02日	第50回電池討論会	ニッケル水素電池-電気二重層キャパシタ組電池におけるシミュレーションによる充電効率検討およびその実証
2009年12月19日	有機デバイス研究会 第80回研究会	電気二重層キャパシタの現状と展望

論文発表 2 件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2007年	<i>WEVA Journal</i> , Vol.1, pp.108-115	Approach of development of electric double layer capacitor for high power and long life	有
2009年	<i>Journal of Power Sources</i> , 186, pp.570-579	Investigation of the life process of the electric double layer capacitor during float charging	有

5. 課題と今後の取組

系統連系円滑化蓄電システムにキャパシタを適用するため、キャパシタの更なるエネルギー密度の増大が必要であるが、それにはキャパシタの電容量が増大し且つ耐久性の高い電極材料を見出し、且つ、高エネルギー密度をもちうる独自の電極構造、電極群構造を見出す必要がある。また、キャパシタのコスト削減も必須であり、原料単価の低減、製造プロセスの徹底的な削減が求められる。それにはまず従来の電極製造セル組立てプロセスを基本とした材料選定手法を抜本的に見直すことが必要である。また、キャパシタコスト試算における材料単価はもはや下限値に達していると考えられ、更なる原料単価の低減には原料の国内外問わない内製も視野に入れた開発へシフトする方法も考えられる。

組電池としてはキャパシタおよびニッケル水素電池の原料単価によるコスト低減はもちろん、上述したように電極材料の使用量を低減するためのセル設計及び活物質開発による性能向上からのアプローチも必要である。また、組電池における接続部品および回路の単純化等の開発コスト低減および組電池の大量生産に向けた組立工程の自動化によるコスト低減も必要である。

6. 実用化・事業化の見通し

変動の大きな風力発電の入出力に蓄電システムを構築する場合、その蓄電システムを化学二次電池で構築する場合、小さな電流なら何の問題もなく適用できる。しかし、突然大きな電流が入ってくると蓄電原理である化学反応が追いつかず、過大な電力を消費したり電池を劣化させたりしてしまう。また、化学二次電池は、風力発電用の蓄電システムに要求される耐用年数約10年(3,650サイクル)に対してせいぜい約3年(1,000サイクル)が現状の性能であると思われる。本プロジェクトによって化学二次電池と電気二重層キャパシタを巧みに充放電制御しながら蓄電システムを構築することで、化学二次電池の利点であるエネルギー密度やコストとキャパシタの特徴である充電効率や寿命性能とを補完することができるかと確信した。

また、この化学二次電池とキャパシタの欠点を補い特徴を生かす方策として、キャパシタと化学二次電池を接続させた「ハイブリッド組電池」を開発することは、一つの単独の電池からさまざまな発電システムに簡便に且つ種々の充電環境に適用し得る形態を与えることができ、今後の系統連系円滑化蓄電システムの実用化へ有用な提案が可能であると考えられる。

今後はウインドファーム等に本ハイブリッド組電池を実用化させることを前提とし、その中間規模の数十～数百 kW 規模の組電池の構築技術を確認し、実証試験・検証を行い、2030年までの自然エネルギーの需要の高まりに伴い MW 級の組電池実用化へ拡張すべく、開発を進める予定である。

波及効果としては、自然エネルギーの蓄電利用を可能にすることによる CO₂削減効果、キャパシタと組電池の組電池化技術およびその制御技術の確立による他分野への用途の拡大、それに伴う様々な分野での用途の拡大の可能性等が考えられる。

以上

2) 次世代技術開発

① 磷酸マンガンリチウム球状ナノ構造体粒子の製造技術開発(東工大)

1. 研究開発の概要

1.1 事業目的

風力発電や太陽光発電のような新エネルギーは、エネルギー自給率の向上や地球温暖化防止に資するほか、分散型エネルギーシステムとしてのメリットも期待できる貴重なエネルギー源であり、国の長期供給見通しでは、2030年までに電力供給の10%相当の導入を目指している。一方で、これら新エネルギーは、自然の影響を受けやすく出力が不安定な電源であり、電力系統に大量に連係した場合、周波数の維持だけでなく、火力発電などの集中型電源の運用にも大きな支障が発生し、電力系統の運用が困難になることが予想される。従って、新エネルギーが大量に導入される際には、蓄電技術による出力の平滑化や、夜間のような軽負荷時の新エネルギー発電電力の蓄電などが必要になると考えられる。

ところで、蓄電技術の代表的なものに二次電池を利用したそれがあるが、リチウム二次電池は、高い体積エネルギー密度および重量エネルギー密度を有するため、前述のような新エネルギーの安定供給にとって欠かすことが出来ない二次電池である。このような背景のもと、本研究では次世代リチウム二次電池の正極材料として期待されている磷酸マンガンリチウム(LiMnPO_4)に注目し、その高性能材料を得るための新規製造技術の開発を目的とする。

1.2 事業概要

マイクロ空間を用いた微粒子合成法の一つに、噴霧熱分解法がある。本研究では、まず、リチウムとマンガンの硝酸塩およびリン酸を用いて噴霧熱分解法(図 1(A)-①~⑤)により、アモルファスあるいは結晶化したリン酸マンガンリチウムを合成する。合成した材料は、遊星ボールミルを用いて、湿式で粉砕するとともに、この操作においてカーボンを追加することにより、リン酸マンガンリチウムナノ粒子とカーボンからなる複合体材料を得る。さらに、これを、分散剤を溶解させた蒸留水に分散させ、スラリー溶液を調製する。このスラリー溶液は、超音波噴霧器を用いて微小液滴にし、窒素ガスにより高温反応器に導入される。導入された微小液滴は、その表面から溶媒が蒸発し(図 1(B)-①)、分散しているナノ粒子が凝集(図 1(B)-②)し、球状の二次粒子が得られる。これを焼成することで、最終的には、カーボンと複合化された磷酸マンガンリチウムの球状ナノ構造体マイクロ粒子(図 1(B)-③)を合成する。合成した材料の電池性能評価は、主に、CR2032 型のコインセルを用いて評価を行い、この結果をもとに合成条件の最適化を行う。最終的には、最適化された条件で合成された材料について、負極にカーボンを用いた多層ラミネートセルを作製し、電池性能評価を行う。

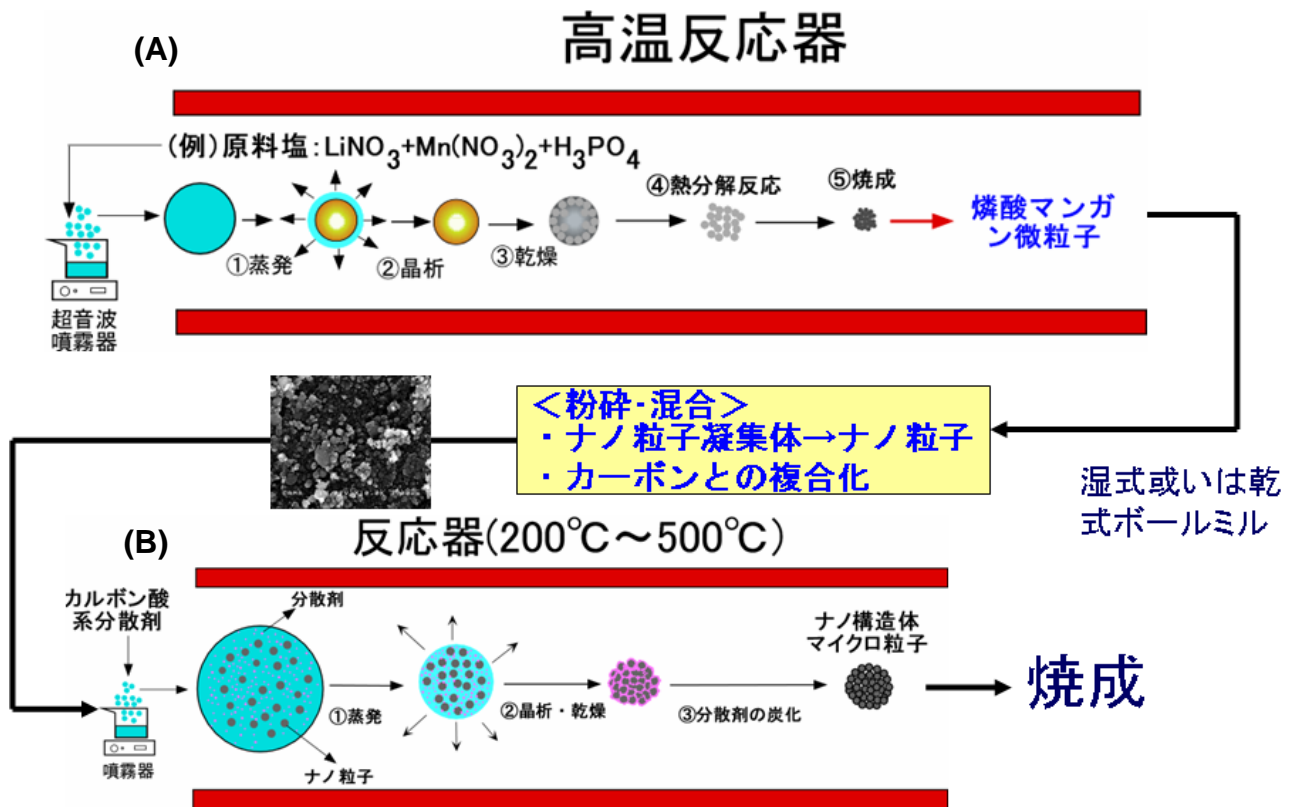


図1 磷酸マンガンリチウム球状ナノ構造体マイクロ粒子の合成プロセス

本研究は、具体的に以下の項目について検討を行う。

①カーボン複合化 LiMnPO₄ ナノ粒子の製造技術開発

噴霧熱分解法を用いた磷酸マンガンリチウムの合成条件を最適化するとともに、その材料のナノ粒子化、カーボンとの複合化の方法について検討する。また、複合化した材料を正極活物質とし、負極にリチウム金属を用いてハーフセルを作製し、材料の性能評価を行う。さらに、より高性能化(高容量化)させるために、Fe や Mg などをドーブした材料について、同様にナノ粒子の合成条件および複合化の検討を行ない、コインセルにて性能を評価する。

②ナノ構造体 LiMnPO₄ マイクロ粒子の製造技術開発

新規製造技術により、平均粒子径 5 μ m以上の球状ナノ構造体の LiMnPO₄ マイクロ粒子を合成する。また、合成した材料を用いて、電池性能を評価する。

1.3 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①カーボン複合化 LiMnPO ₄ ナノ粒子の製造技術開発	—————→					
②ナノ構造体 LiMnPO ₄ マイクロ粒子の製造技術開発				—————→		
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	2.8	8.9	33.9	38.6	0.0	84.2

2. 研究開発目標

(中間年度目標-H20)

目標性能＝放電容量 120mAh/g 以上

(想定条件・根拠)

負極に金属リチウムを用いたハーフセル(CR2032 コインタイプセル)を用いて、室温で、0.1C 充電-0.1C 放電条件で、前述の放電容量を目標とする。この数値は、この NEDO プロジェクトで掲げている目標値(重

量エネルギー密度 50～200 Wh/kg、体積エネルギー密度 5～20 kWh/m³)を達成させるための必要不可欠な値である。

(最終年度目標-H21)

目標性能＝放電容量 150mAh/g 以上(コインタイプセル)。

目標性能＝重量エネルギー密度 100Wh/kg 以上或いは体積エネルギー密度 10 kWh/m³ 以上(ラミネートセル)。

(想定条件・根拠)

コインタイプセルについては、0.1C の充放電速度において評価。ラミネートセルについては、合成した材料を正極活物質として、負極に炭素を用いて、室温、0.1C 充電－0.1C 放電条件で前述の目標値の達成を目指す。

3. 研究開発成果

項目	目標値	達成度(中間評価時)	達成度(年度末)
放電容量 (コインセル)	150 mAh/g(0.1C)以上		103%
重量エネルギー密度 (多層ラミネートセル)	100 Wh/kg 以上		58%

成果1:カーボン複合化 LiMnPO₄ ナノ粒子の製造技術開発

(内容)

噴霧熱分解法を用いた磷酸マンガンリチウムの合成条件を最適化するとともに、その材料のナノ粒子化、カーボンとの複合化の方法について検討した。また、複合化した材料を正極活物質とし、負極にリチウム金属を用いてコインセルを作製して材料の性能評価を行った。その結果、噴霧熱分解法で合成したリン酸マンガンリチウムを、遊星ボールミルを用いて湿式で粉砕すると共に、その表面をカーボンでコーティングすることにより、表面がカーボンでコーティングされたリン酸マンガンリチウムナノ複合体(図 1)の合成に成功した。また、Mn の一部を Fe や Mg で置換した場合の電気化学特性に与える影響についても明らかにした。最終的には、合成した LiMg_{0.04}Mn_{0.96}PO₄/C 材料が、0.1C の充放電速度において 154 mAh/g の初期放電容量を示すこと(図 2)を明らかにした。また、LiMnPO₄ と複合化するカーボンをアセチレンブラックから比表面積の大きいケッチンブラックに変えることで、166 mAh/g の初期放電容量(理論容量の 97%)が得られるこ

と(図3)を明らかにした。さらに、3種類の充電条件で、材料のサイクル特性を調べ、20サイクルではあるが、良好なサイクル特性(図4)を得ることができた。

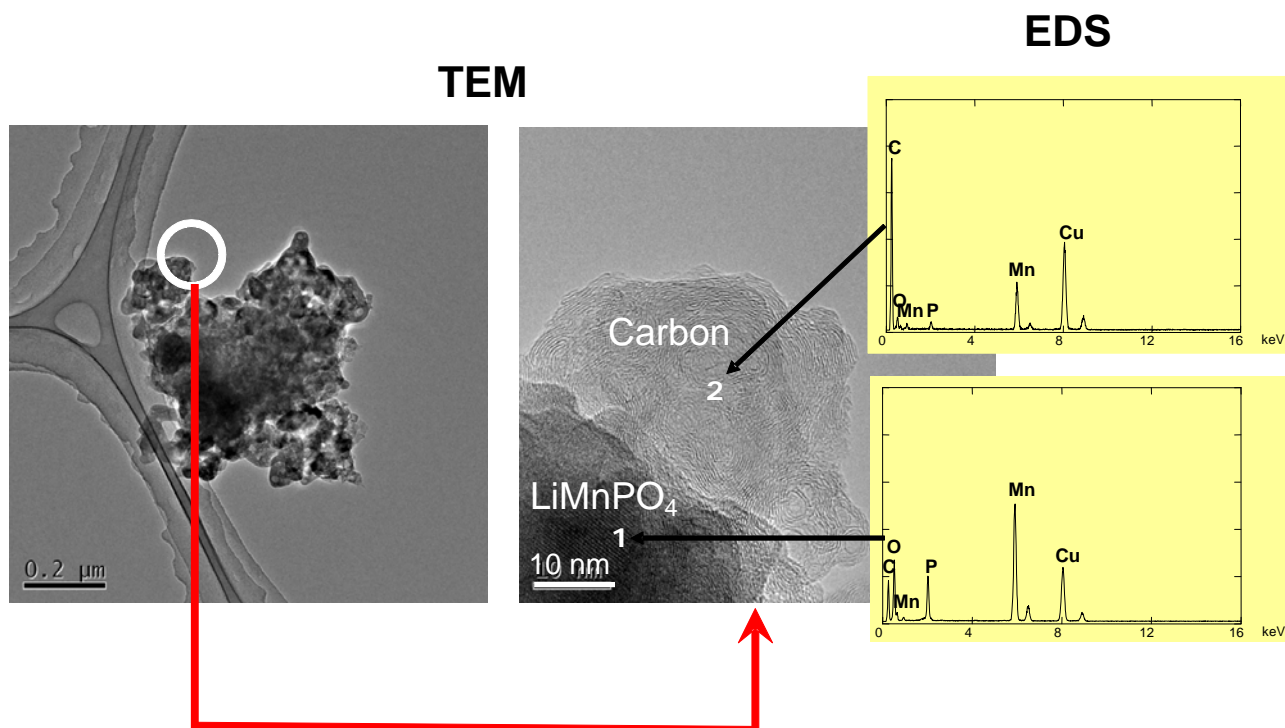


図1 LiMnPO₄/C ナノ複合体材料の形態

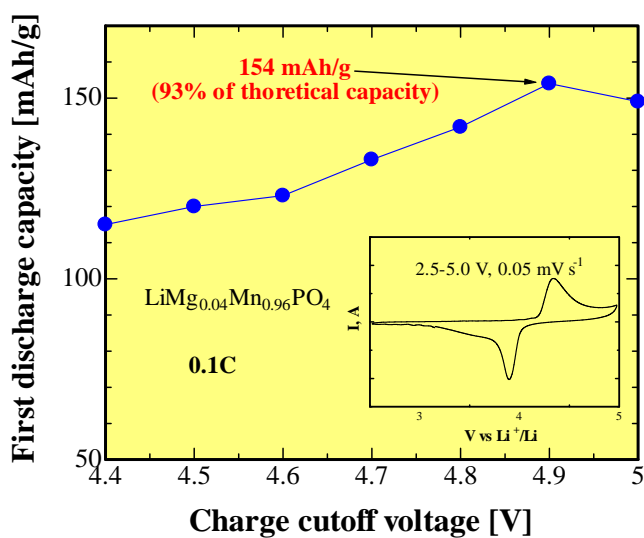


図2 LiMg_{0.04}Mn_{0.96}PO₄/C の初期放電容量

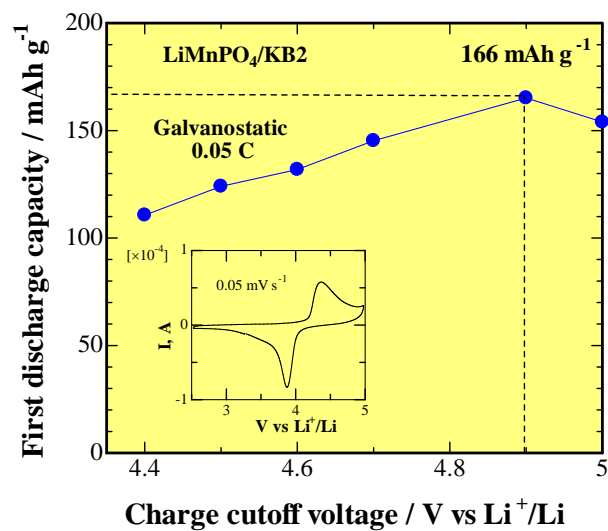


図3 LiMnPO₄/C(ケッチンブラック)の初期放電容量

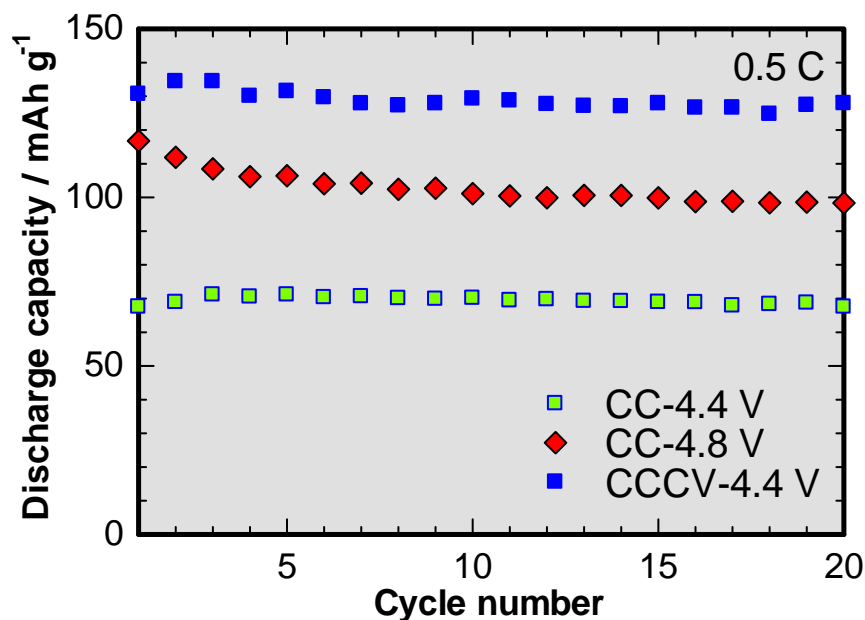


図 4 LiMnPO₄/C ナノ複合体材料のサイクル特性

(達成度)

103 % (設定目標に対して)

(成果の意義)

定電流法により 0.1C の充放電試験で、放電容量が 154 mAh/g のような高容量の結果はこれまでに報告されていない。また、充電の上限電位を 4.9V に設定した場合、理論容量の 97% の初期放電容量が得られている。さらに、今回開発した製造技術は、従来技術に比べ製造プロセスがシンプルで、高温での焼成時間が短く (500°C で 4 時間程度)、これまでにない画期的な製造技術である。

成果 2: ナノ構造体 LiMnPO₄ マイクロ粒子の製造技術開発

(内容)

成果 1 で得られた材料を、分散剤が溶解している蒸留水に分散させ、その後、図 1 の(B)の合成プロセスを経て、平均径が約 4 μm のナノ構造体 LiMnPO₄ マイクロ粒子の合成に成功した。この材料を正極活物質として、負極に金属リチウムを用いたハーフセルを、CR2032 型コインタイプセルを用いて作製し、電池性能評価を行ったが、成果 1 で得られた材料の電池特性を凌ぐことはできなかった。そこで、成果 1 で得られた材料(平均径 8.2 μm) を正極活物質とし、負極に黒鉛系炭素を用い 100 mAh 級の多層ラミネートセルを

作製し、二次電池特性を評価した。その結果、0.1C の定電流充放電試験において、58.1 Wh/kg の重量エネルギー密度を得ることができた。なお、充電において 0.035C で定電流充電し、その後、8 時間低電圧充電した後に、0.035C で定電流放電した場合では、82 Wh/kg の重量エネルギー密度を得ることができた。なお、評価したセルの各正極の厚みは 103 μ m であった。

(達成度)

58% (設定目標値に対して)

(成果の意義)

電極厚みが 103 μ m という厳しい条件で約 60 Wh/kg のエネルギー密度を有するリン酸マンガンリチウムの合成に成功したことは、この材料の実用化の可能性を示す画期的な成果である。なお、本成果は実施者が設定した目標値に対しては 58% の達成度となるが、NEDO の本プロジェクトの目標値(重量エネルギー密度:50~200 Wh/kg)に対してはそれをクリアしている。

4. 成果の普及

特許出願 3 件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
2007 年 10 月 15 日	特願 2007-268170	無機物粒子の製造方法
2008 年 5 月 14 日	特願 2008-127459	無機物粒子の製造方法
2009 年 5 月 13 日	特願 2009-116110	無機物粒子の製造方法、及びそれを用いた二次電池正極並びに二次電池

講演発表 18 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
2010 年 11 月 30 日	粉体工学会	オリビン型正極材料開発における粉体技術
2010 年 11 月 16 日	ICC3	Synthesis and Characterization of Nanostructured LiMnPO ₄ /C Composites
2010 年 11 月 11 日	電池討論会	Electrochemical properties of LiMnPO ₄ /C nanocomposite cathode
2010 年 9 月 9 日	化学工学会	LiMnPO ₄ /C 複合体材料の合成とそのリチウム二次電池特性
2010 年 6 月 29 日	IMLB2010	LiMnPO ₄ /C Composite Cathodes for Lithium-ion Batteries Prepared by a Combination of Spray Pyrolysis with Wet Ballmilling
2010 年 4 月 26 日	217th ECS	Synthesis and characterization of LiMPO ₄ /C (M=Fe, Mn and Co) Nanocomposite cathodes of lithium batteries

2009年11月30日	電池討論会	Preparation of LiMnPO ₄ /C composite powders by a combination of spray pyrolysis with wet ball-milling followed by heat treatment
2009年12月1日	電池討論会	Preparation of carbon coated LiMnPO ₄ powders and their electrochemical properties
2009年10月6日	216thECS	LiMg _x Mn _{1-x} PO ₄ /C composite cathodes for lithium batteries prepared by a combination of spray pyrolysis and wet ball milling
2009年10月8日	216thECS	Carbon coated LiMnPO ₄ prepared by a combination of spray pyrolysis with dry ball-milling and its electrochemical properties
2008年11月5日	電池討論会	リン酸マンガンリチウムとカーボンの複合体粒子の合成とそのリチウム二次電池特性
2008年11月5日	電池討論会	異なる原料から合成したリン酸鉄リチウムの電気化学的特性
2008年9月24日	化学工学会	リン酸鉄リチウムナノ粒子の合成とその電気化学的特性
2008年9月24日	化学工学会	リン酸マンガンリチウムとカーボンの複合体微粒子の合成と のリチウム二次電池特性
2008年9月10日	ISE	Electrochemical Properties of LiFePO ₄ Prepared by a Combination of Spray Pyrolysis with Wet Ball-milling Process
2008年6月24日	IMLB-2008	Preparation of LiFePO ₄ and its Electrochemical Properties
2007年11月13日	電池討論会	Preparation of LiMnPO ₄ by Ultrasonic Spray Pyrolysis and Their Electrochemical Properties
2007年11月13日	電池討論会	Electrochemical Properties of Carbon Coated LiFePO ₄

論文発表 10 件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2011年3月	Material Research Bulletin	Synthesis of spherical LiMnPO ₄ /C composite microparticle	有
2010年9月	J. Power Sources	Cathode performance of LiMnPO ₄ /C nanocomposites prepared by a combination of spray pyrolysis and wet ball-milling followed by heat treatment	有
2010年6月	J. Power Sources	Physical and electrochemical properties of LiMnPO ₄ /C composite cathode prepared with different conductive carbons	有
2010年2月	Adv. Powder Technol.	Preparation of carbon coated LiMnPO ₄	

		powders by a combination of spray pyrolysis with dry ball-milling followed by heat treatment	有
2010年2月	J. Electrochem. Soc.	LiMg _x Mn _{1-x} PO ₄ /C cathodes for lithium batteries prepared by a combination of spray pyrolysis with wet ballmilling	有
2010年1月	J. Power Sources	Synthesis of carbon-coated LiFePO ₄ nanoparticles with high rate performance in lithium secondary batteries	有
2009年10月	Electrochem. Commun.	Electrochemical performance of nanocomposite LiMnPO ₄ /C cathode materials for lithium batteries	有
2009年6月	J. Power Sources	Physical and electrochemical properties of LiFePO ₄ nanoparticles synthesized by a combination of spray pyrolysis with wet ball-milling	有
2008年7月	Powder Technol.	Preparation of carbon coated LiFePO ₄ by a combination of spray pyrolysis with planetary ball-milling followed by heat treatment and their electrochemical properties	有
2007年6月	Material Research Bulletin	Preparation of LiFePO ₄ /C composite powders by ultrasonic spray pyrolysis followed by heat treatment and their electrochemical properties	有

その他

・新聞報道

日経産業新聞・平成 22 年 2 月 4 日朝刊

日経産業新聞・平成 22 年 2 月 17 日朝刊

化学工業日報・平成 22 年 4 月 21 日朝刊

化学工業日報・平成 23 年 10 月 8 日朝刊

科学新聞・平成 23 年 10 月 22 日朝刊

・雑誌等

The Japan Journal ・7月号(2010)

日本セラミックス協会誌・6月号(2010)

・受賞関係

2010年度粉体工学会技術賞

5. 課題と今後の取組

今回合成した材料は、100 nm程度の LiMnPO_4 ナノ粒子の凝集体表面にカーボン(アセチレンブラック)の塊がところどころに付着しており、均一にカーボンが分散していない。これが、この材料の更なる高性能化を達成するために解決しなければならない課題である。今後、今回開発した製造技術を基盤として、 LiMnPO_4 ナノ粒子表面に厚さ数ナノメートルのカーボン層を形成させる新たな製造技術の開発を試みる。また、この製造技術を用いた材料の大量合成を可能にする装置開発(低温噴霧熱分解装置)についても検討する必要がある。この問題については、現在、ある化学装置メーカーとの共同研究によりこれを行うため、研究資金の獲得を試みている。

6. 実用化・事業化の見通し

今回開発された製造技術は、 LiMnPO_4 以外にも LiFePO_4 、 LiCoPO_4 、 Li_2MSiO_4 ($\text{M}=\text{Fe}, \text{Mn}$)等の他のオリビン型正極材料の合成にも適用できる汎用性の高い魅力ある製造技術である。また、この技術は、噴霧熱分解法およびボールミルによる湿式粉砕という既存の技術の効果的に組み合わせにより高性能な正極材料の合成を可能にするものであり、実用化の可能性は非常に高いと思われる。

事業化については、当面は、研究成果の学会・展示会等でのピーアール活動を行い、それらを通して本開発技術の事業化に興味を持つ企業の探索、ベンチャーキャピタルの獲得等を試みる。

以上

②XIII 族、XIV 族元素による安定化高容量正極材料の研究開発(東京大学)

1. 事業の目的

リチウム電池を定置型大型用途に本格展開するには、コスト、サイクル寿命、安全性、容量特性のすべてを高い次元で融合する必要がある。本研究開発では、新規正極材料の適用により現状打破を図る。2030 年段階での最終目標値、量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命確保に向けては、LiFePO₄等の現状開発対象材料の延長線上では極めて困難である。抜本的な発想転換が必要であり、以下の各要素を考慮した元素戦略と材料設計が不可欠と考える。

- ・コストや環境適合性の制約から酸化還元を担う遷移金属は Fe もしくは Mn であること。
- ・安全性、安定性確保のために酸素と共有結合を形成する XIII, XIV 族元素を主要元素として含むこと。特に、コスト面や軽元素選択、適度な電気陰性度の見地から Si または B が好ましい。
- ・遷移金属 1 原子あたり複数電子の酸化還元反応の可能性を有すること。
- ・発生電位は、電解液との副反応を抑制し、20 年以上の寿命を睨んだ長期安定性を確保する意味で、3.8V 以下が好ましい。
- ・量産に適した合成法の可能性と見通しを有すること。

本研究開発では上記材料開発指針に基づき、XIII 及び XIV 族元素を巧妙に材料設計に取り込んだ新規正極材料を開発することで、オキソ酸塩の利点である高度な安定性と安全性を確保したうえで、大幅な低コスト化と高容量化を同時に実現することを目的とする。

2. 事業概要

最高のエネルギー密度を実現可能なリチウム電池を定置型大型用途に展開するには、現状では高コスト、サイクル寿命や安全性が不十分といった問題がある。本研究開発では、これらの問題の主原因となっている正極材料について新規材料の適応により解決を図る。電荷の担体となる Li を初期状態で含有する Li₂O-MO-B₂O₃ 及び Li₂O-MO-SiO₂ (M=Fe, Mn) の4元系に属する新規材料群に対し、(i)最適組成の追及、(ii)低温合成による高活性化、(iii)ポリマー原料採用による高活性化、(iv)低内部抵抗のセル構成の4つのアプローチによる最適化を集中的に遂行し、正極材料単体として 600-900Wh/kg 以上の特性を達成することで、1000 円/kWh 以下の正極部材コストを視野に入れることを可能にする

3. 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
合成可否確認			→			
電極活性有無の確認			→			
メカニズム解明		→	→			
最適化			→			
大量合成法確立				→		
円筒セルでの検証				→		
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	0.0	10.0	20.0	20.0	0.0	50.0

4. 研究開発目標

(H20 年度目標) 材料の結晶構造を決定し、充放電機構を解明する。可逆電極容量 160mAh/g を達成する。

(想定条件・根拠) 結晶構造や充放電機構は、材料設計の拠り所であり出発点である。スクリーニング段階の検討であり、合成スケールは 1g 程度、理論容量の 50-75% を目標値として設定している。

(H21 年度目標) B 系で 190mAh/g、Si 系で 240mAh/g の可逆容量を達成する。

(想定条件・根拠) 充放電レートについて夜間充電を鑑みて 1/8C とした。理論容量の 80-90% の目標値は、現状から判断してかなりチャレンジングな設定である。

5. 研究開発成果

項目	目標値	達成度
結晶構造解析	構造決定	100%
充放電機構解析	機構解明	100%
可逆電極容量	190-240mAh/g	90%

成果1

(内容) 結晶構造解析。Li₂FeSiO₄ の結晶構造は複雑でその解析は困難を極めてきたが、解読に成功した。Si系正極には面欠陥が存在することが、電子顕微鏡観察やX線回折ピークの選択的広がりなどから明らかになった。この現象を定量的に評価、制御して電極特性の向上につなげていくために、転位密度の異なる試料を作成し、電子線回折とX線回折の双方から精密に評価する手法を確立した。

(達成度) 100%

(成果の意義) 世界に先駆けた成果であり、化学系のトップジャーナル JACS に受理、掲載された。材料設計の明確な基準が示された。

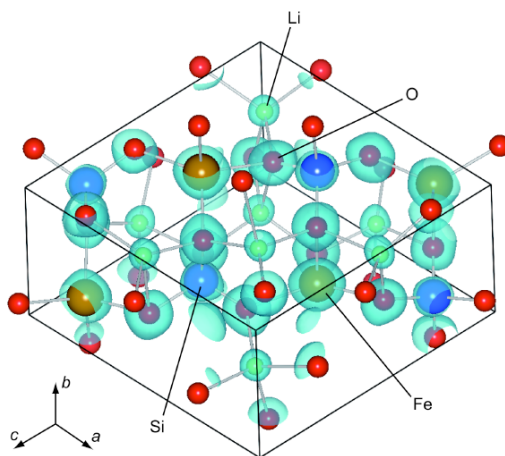


図1 世界で初めて決定した Li₂FeSiO₄ の結晶構造

成果2

(内容) 充放電機構解析。Si系正極について、充放電に伴う、格子定数変化、非晶質化度、酸化還元中心元素等の情報を大枠で把握した。特に、サイクル劣化と非晶質化反応との相関を明らかにした。空気曝露時の副反応の存在を明確化し、その電気化学特性へ影響を明らかにした。B系正極について、充放電時の体積膨張収縮が2%以下と、容量面でははるかに劣る従来の実用電極材料に比べても格段に小さく、LiFePO₄ と異なり全域単相で反応が進行することが実験的にも理論的にも確かめられた。

(達成度)100%

(成果の意義)これまで認識されていない新規な知見であり、特性改善に先立って問題点の抽出が十分になされた。材料科学の一流誌 Advanced Materials に受理掲載された。

成果3

(内容)可逆電極容量の増大。B系正極について500°C以下での低温合成を可能にし、200mAh/gの可逆容量を確認した。20サイクル後における98%の容量維持率、2Cレートで容量維持率75%、10Cレートでの容量維持率50%が導電助剤10%で得られている。現状ではやや分極が大きいが、開回路電位はLiFeBO₃で約3V、LiMnBO₃で約3.7V付近に位置する。Si系正極についても600°C以下での低温合成を可能にし、ケイ酸鉄リチウムにおいて1電子理論容量(170mAh/g)での動作の実現と、20回の充放電後の容量維持率が98%と良好なサイクル特性を示す結果を得た。負荷特性試験についても、2Cレートで65%、10Cレートで30%と比較的良好な容量維持率を達成することができた。Mn置換により210mAh/gの可逆容量を確認したが、高容量化に伴うサイクル劣化が顕著である。

(達成度)100%

(成果の意義)Si系正極で世界トップレベルの特性、B系正極については飛びぬけたチャンピオンデータである。材料化学の一流誌、Advanced Materials 及び J. Mater. Chem に受理掲載された。

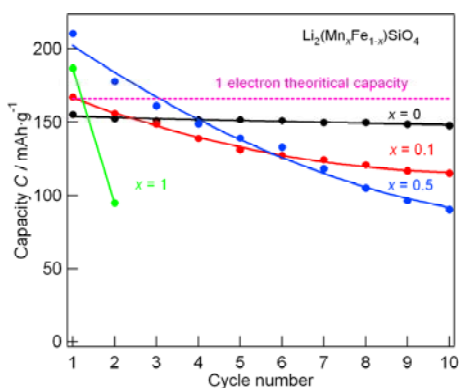


図2 $\text{Li}_2(\text{Mn}_x\text{Fe}_{1-x})\text{SiO}_4$ の容量特性とサイクル特性

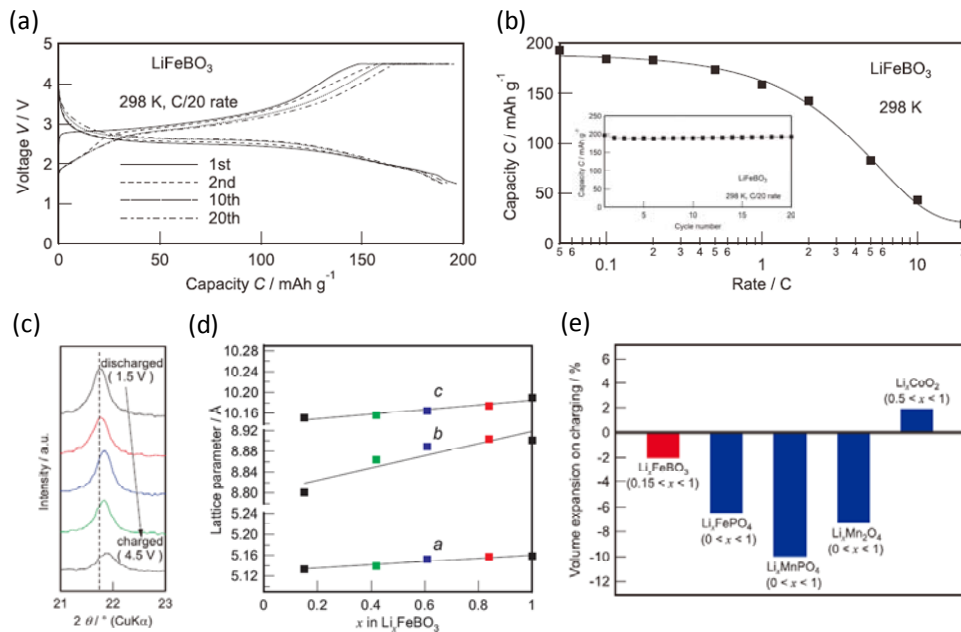


図3 Li_xFeBO_3 の電極特性。(a)約 200mAh/g の可逆容量、(b)負荷特性とサイクル特性、(c)-(d)電極反応に伴う微小な格子変化

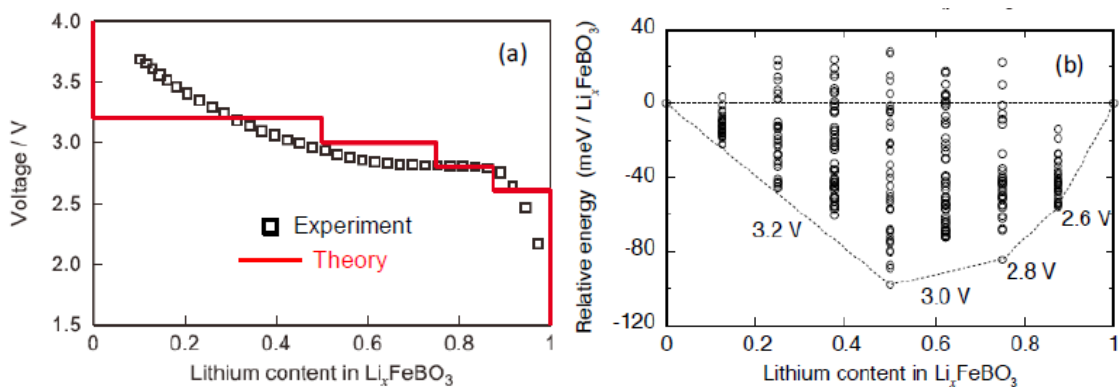


図4 Li_xFeBO_3 の(a)開回路電圧の実験値と計算値、及び(b) Li_xFeBO_3 固溶体と $\text{FeBO}_3\text{-LiFeBO}_3$ 相分離状態のエネルギー相対比較。

6. 成果の普及

特許出願1件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
2008.3.26	PCT/JP2008/055749	2次電池正極材料の製造方法
講演発表 14 件		
発表年月日	発表媒体	発表タイトル

2007.11.14	第 48 回電池討論会	LiFeBO ₃ の合成と高容量正極特性
2007.12.06	第 33 回固体イオニクス討論会	Li ₂ (Mn _x Fe _{1-x})SiO ₄ の電極特性と反応機構
2008.03.30	電気化学会第 75 回大会	Li ₂ CoSiO ₄ の多形合成と電極特性
2008.11.05	第 49 回電池討論会	Li ₂ FeSiO ₄ の結晶構造決定
2008.11.05	第 49 回電池討論会	LiMBO ₃ (M = Fe, Mn)の最適化と反応機構
2009.03.29	電気化学会第 76 回大会	Li ₂ MSiO ₄ (M=Fe,Mn)の結晶構造
2009.03.29	電気化学会第 76 回大会	LiFeBO ₃ の第1原理計算
2009.9.22	5 th LiBD	Polymorphism and Disorder in Li ₂ MSiO ₄ (M = Mn, Fe)
2009.10.6	216 th ECS MTG	Polymorphism and Disorder in Li ₂ MSiO ₄ (M = Mn, Fe)
2009.12.1	第 50 回電池討論会	Li ₂ MXO ₄ の電気化学特性
2010.7.1	IMLB2010	Borates as High-Capacity Cathodes
2010.7.1	IMLB2010	Polymorphism and Structural Defect in Lithium Transition Metal Silicate Li ₂ FeSiO ₄ and Li ₂ MnSiO ₄
2010.7.1	IMLB2010	Structure and Electrochemical Properties of LiMBO ₃ (M = Fe, Mn) by First Principles Calculations
2011.4.27	2011 MRS Spring MTG	Synthesis and Electrochemistry of Monoclinic Li(Mn _x Fe _{1-x})BO ₃

論文発表3件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2008.9	J. Am. Chem. Soc.	Structure of Li ₂ FeSiO ₄	有
2010.7	Adv. Mater.	Lithium Iron Borates as High-Capacity Battery Electrode	有
2011.7	J. Mater. Chem.	Synthesis and electrochemistry of monoclinic Li(Mn _x Fe _{1-x})BO ₃	有

7. 課題と今後の取組

目標達成率はボロン系で 110%、シリコン系で 90% (可逆性を加味すると 70%) の段階まで 3 年間で漕ぎ着けることができた。目標達成率からも見て取れるとおり、当初の予想に反して B 系の素性のほうが良く、実用性は高いと考えている。しかし、いずれにせよ 1 電子反応の範囲内でしか可逆的電極反応は実現されておらず、全体的に分極の大きい特性となっており、改善の余地が大きい。実用化に向けては、同系列での新規材料も視野にいれつつ、サイクル安定性を確保した前提での高電位化、高活性化、さらなる高容量化が必要である。

8. 実用化・事業化の見通し

特性面では実用化の可能性が見通せる、可逆容量のプロジェクト最終目標(190–230 mAh/g 程度以上)が達成された。一方で、新規な材料に特有な問題点も浮上している。例えば、空気曝露による顕著な材料劣化や、集電接触抵抗が大きくなりやすい問題なども露呈している。これら固有の諸問題を、ひとつひとつ解決し、従来

材料とは異なる最適化手法や取扱手法を総合的に追いついでいくことで、実用化・事業化への道は拓けていけるものと考え。本研究開発で対象としている材料は、クラーク数上位元素による材料設計(例:P 13 位→Si 2 位、Co 29 位→Fe 3 位)、分子量大幅低減(P:31.0→B:10.8)、複数電子反応による容量倍増といった根本的な部分でのインパクトが大きいため、量産実用化が視野に入った際の波及効果は大きいと思われる。

以上

③高電位負極を用いる次世代リチウムイオン電池の研究開発(同志社大学)

1. 事業の目的

系統連系円滑化蓄電システムとして、リチウム金属電極に対して 1 V 以上の充放電電位を持つチタニア系 $\text{TiO}_2(\text{B})$ 高電位負極を用いる次世代リチウムイオン電池システムの構築をめざした。平成 18～19 年度には、 $\text{TiO}_2(\text{B})$ 負極材料の低コスト合成法の検討および電解液系の評価などのフィジビリティスタディを行い、低コスト合成法で作製した $\text{TiO}_2(\text{B})$ 負極が低コスト、高安全性、長寿命のリチウムイオン電池の実用化につながる高電位負極であることを見いだした。平成 20～21 年度は、さらなる低コスト化、エネルギー密度向上、および小型フルセルの試作、評価を行い、高性能、低コスト、長寿命、高安全性の次世代リチウムイオン電池システムを構築することを目標とした。

2. 事業概要

リチウム金属電極に対して 1 V 以上の電位で充放電電位を持ち、かつ、高容量、安価な高電位負極であるチタニア $\text{TiO}_2(\text{B})$ 系負極のさらなる低コスト化とエネルギー密度向上、および小型フルセルの試作と特性評価を行い、高性能、低コスト、長寿命、高安全性の系統連系円滑化蓄電システム用次世代リチウムイオン電池の構築、実証を行った。

3. 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①チタニア系高電位負極の基本特性評価	→					
②チタニア系高電位負極の低コスト化とエネルギー密度向上	→	→	→	→		
a) 低コスト合成法開発		→		→		
b) 電解液、添加物等の検討		→		→		
③小型セルの試作と特性評価				→		
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	6,918.5	4,770.2	22,339.8	24,633.0	-	58,661.5

4. 研究開発目標

研究開発項目①:「①チタニア系高電位負極の基本特性評価」

(H18年度目標)水熱法によるTiO₂(B)系高電位負極の作製法の検討とその負極特性確認を行う。

(想定条件・根拠)文献で報告されている水熱法TiO₂(B)ナノワイヤー負極の負極特性確認。

研究開発項目②「チタニア系高電位負極の低コスト化とエネルギー密度向上」

(H18年度目標)安価な合成法に関して予備実験を行い、合成法の問題点を抽出する。

(想定条件・根拠)水熱法に代えて固相法による合成法を開発し、TiO₂(B)材料製造コスト低減を狙う。

(H19年度目標)合成法の改良と作製した負極の特性確認を行う。TiO₂(B)系高電位負極に適した安価な電解液系の構築についての検討を行う。

(想定条件・根拠)合成法検討による高容量化、低不可逆容量化。電解液系の検討による低コスト化、安全性の向上をめざす。

(H20年度目標)放電容量:250 mAh g⁻¹以上、かつ不可逆容量:50 mAh g⁻¹以下の負極を開発する。

(想定条件・根拠)コイン形二極式ハーフセルでの評価。競合する LTO (Li₄Ti₅O₁₂)高電位負極の理論容量の50%増以上。高容量化による材料コスト低減。

(H21年度目標)放電容量:280 mAh g⁻¹以上、かつ不可逆容量:30 mAh g⁻¹以下の負極を開発する。

(想定条件・根拠)コイン形二極式ハーフセルでの評価。TiO₂(B)の理論容量(335 mAh g⁻¹)の80%以上。高容量化による材料コスト低減。

研究開発項目③:「小型セルの試作と特性評価」

(H20年度目標)リチウム遷移金属酸化物正極と組み合わせたコイン電池を試作して、問題点を明確にする。

(想定条件・根拠)2016 タイプ二極式コイン型フルセルを用いて評価する。正極材料としては、将来の正極材料として期待される LiCo_{1/3}Mn_{1/3}Ni_{1/3}O₂を検討。

(H21年度目標)リチウム遷移金属酸化物正極と組み合わせた小型ラミネートフルセルを試作して、材料コスト20%低減(対従来品 LTO セル)、不燃性電解質組成の最適化、25°C・5年相当の寿命を実現する。

(想定条件・根拠)小型ラミネートフルセルを外注作製し、評価する。

5. 研究開発成果

項目	最終目標(H21 年度末)	達成度(H21 年度末)
放電容量	280 mAh/g 以上	◎ > 100%
不可逆容量	30 mAh/g 以下	◎ 90%
材料コスト(対LTOセル)	20%低減	◎ > 100%
寿命	25°C・5年相当	◎ 100%
安全性	不燃性電解質組成の最適化	△ 70%

成果1 「固相法を用いる低コスト TiO₂(B)粉末合成法の開発」

(内容)固相法(1000°C)により得た K₂Ti₄O₉ を前駆体として、イオン交換、脱水を経ることで TiO₂(B)粉末を安価に合成する方法を開発し、1 M LiClO₄/EC+DEC(1:1)中で平均放電電位 1.6 V、初期容量 250 mAh/g 程度の放電特性をもち、水熱法により得た TiO₂(B)ナノワイヤーと比較して格段に良好なサイクル特性(>650 サイクル)、高レート特性(> 100 mAh/g at 10C を有することを明らかにした。これらの結果より、TiO₂(B)は低コスト、高容量、高耐久性、高安全性、高出力特性の高電位負極として実用化が期待される材料であることを示すことができた。一方、初回充電時の大きな不可逆容量(120 mAh/g)が問題点であることを確認した。

(達成度)80%

(成果の意義)開発した低コスト合成法は水熱法に比べて格段に製造コストを下げることができ、TiO₂(B)負極の実用化にとって大きな進歩である。また、放電容量は競合する LTO の容量の約 50%増であり、高電位負極としてきわめて優位性が高い。また、得られた高レート特性は黒鉛負極と比較しても大きな優位性を持ち、高電位負極の使用によるエネルギー密度の低下という欠点を補うことができる。

成果2「TiO₂(B)高電位負極に適した安価な電解液系の構築」

(内容)TiO₂(B)系高電位負極に適した安価な電解液系の構築を目的として、種々の電解液中での負極特性を評価した結果、エチレンカーボネート系電解液ではおおむね良好な充放電、サイクル特性が得られた。特に、LiPF₆を電解質として用いると、初期放電容量は 200 mAh/g 程度に減少するが、優れたサイクル特性が得られることがわかった。同時に不可逆容量も 50 mAh/g 程度に減少した。一方、プロピレンカーボネート、γ-ブチロラク톤を用いると良好なサイクル特性が得られないことを明らかにした。電解液組成の最適化には至らなかったが、2000 ppm の水を含む電解液中や、またトリメチルリン酸を含む不燃性電解液中でも高容量、高サイクル特性が得られることを見だし、安価で安全性の高い電解液系が構築できる可能性を見いだした。

(達成度)80%

(成果の意義)電解液系を適切に選ぶことで、不可逆容量の低減が可能であることは今後の開発にとって大き

な進歩となる。また、高濃度の水分や不燃性添加物であるトリメチルリン酸に対する耐久性は、従来の黒鉛負極では達成することができず、溶媒の生成コストの低減や電池の安全性向上の観点から、黒鉛負極に対するTiO₂(B)負極の優位性を示すものである。

成果3「チタニア系高電位負極のエネルギー密度向上」

(内容) 充放電下限電位の影響を調べ、下限電圧を従来の1.0 Vから1.4 Vに上げることにより不可逆容量の飛躍的低減(120 mAh/gから40mAh/g)が可能となった。一方、充放電下限電位の引き上げに伴い、可逆容量も160-170 mAh/gに低下したため、さらなる高容量化が必要となった。出発原料の選択、合成条件の影響、リチウムイオン挿入脱離速度測定、電解液組成の影響、電極作製方法の影響に関して検討し、放電容量の大幅な向上(315 mAh/g)が可能となった。

(達成度)100%

(成果の意義) 得られた放電容量 315 mAh/g は TiO₂(B)の理論容量の 94%であり、TiO₂系負極材料としては世界トップクラスのデータである。競合するLTO(170mAh/g)のほぼ二倍の高容量が得られ、TiO₂(B)が高容量の高電位負極材料としてLTOを十分に置き換え可能なポテンシャルを有する材料であることを実証できた。

成果4「小型セルの試作と特性評価」

(内容) LiNi_{1/3}Co_{1/3}Mn_{1/3}O₂(NCM)正極と組み合わせた NCM/TiO₂(B)フルセルラミネートセルを試作した。比較として用いた NCM/LTO セルに対して 36%の高容量をもつことが実証され、これより材料コストの大幅な低減(36%、最終目標達成)が可能となった。また、500 サイクルまでの充放電サイクル試験を委託期間中に行い、平均劣化率 0.0084%/サイクルという優れたサイクル安定性(約5年の耐久性に相当)を実証した。なお、試験セルの耐久性評価は委託期間終了後も継続して行い、1000 サイクルを達成した(平均劣化率 0.0084%、約5年の耐久性に相当、最終目標達成)。

(達成度)90%

(成果の意義) NCM 正極と組み合わせたラミネートフルセルを作製し、小型セルを試作して低コスト、高耐久性を実証できた。不燃性電解液を用いたフルセル評価と安全性の実証に関しては、時間的制約と装置上の制約で実施できなかったが、ハーフセルを用いる研究でトリメチルリン酸を含む不燃性電解液中でも高容量、高サイクル特性が得られることを実証しており、高電位負極を用いることによる本質的な安全性に加えて、不燃性電解液の使用による高安全性化も可能と考えている。

6. 成果の普及

特許出願 1 件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
2011/7/29	特願 2011-167046	表面フッ素化B型酸化チタンを含むリチウムイオン電池用負極材料とその製造方法、およびそれを用いたリチウムイオン電池
講演発表 20 件		
発表年月日	発表媒体	発表タイトル
2008/5/14	The 6th Asian Conference on Electrochemistry (招待講演)	A Novel High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B) for Lithium Ion Batteries”
2008/6/24	The 14th International Meeting on Lithium Batteries (招待講演)	TiO ₂ (B) as a promising high potential negative electrode for large-scale lithium-ion batteries
2008/11/14	The 214th Electrochemical Society Meeting	A High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B) Prepared by Solid-State Reaction for Lithium Ion Batteries
2008/11/11	Asian Conference on Electrochemical Power Sources (招待講演)	A High Potential Negative electrode TiO ₂ (B) For Large-scale Lithium-ion Batteries
2008/11/5	第 49 回電池討論会	高電位負極 TiO ₂ (B)の合成とその電気化学的評価(1)
2008/11/5	第 49 回電池討論会	高電位負極 TiO ₂ (B)の合成とその電気化学的評価(2)
2008/12/5	第 344 回電池技術委員会(依頼講演)	高電位負極 TiO ₂ (B)高電位負極を用いるリチウムイオン電池」
2009/3/29	第 76 回電気化学会大会	高電位負極 TiO ₂ (B)の合成とその電気化学的評価
2009/10/6	The 216th Meeting of The Electrochemical Society	Lithium-ion Intercalation/Deintercalation Properties of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B)
2009/11/9	4th Asian Conference on Electrochemical Power Source (ACEPS-4)	Influences of Anatase TiO ₂ Impurity on the Charge/Discharge Properties of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B) for Li-Ion Batteries
2009/12/2	第 50 回電池討論会	高電位負極 TiO ₂ (B)を用いるリチウムイオン二次電池の作製とその評価
2010/3/20	2010 Taipei Forum on Large Format	Negative Electrodes for Lithium ion Batteries in

	Rechargeable Lithium Batteries (招待講演)	the Next Generation	
2010/3/29	電気化学会第 77 回大会	高性能高電位負極 TiO ₂ (B)の合成とその電気化学特性	
2010/5/18	7 th Asian Conference on Electrochemistry (ACEC2010)	Development of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B) with a High Specific Capacity for Large-scale LIBs	
2010/5/18	7 th Asian Conference on Electrochemistry (ACEC2010)	Synthesis and Electrochemical Properties of TiO ₂ (B) as a High Potential Negative Electrode	
2010/6/28	The 15 th International Meeting on Lithium Batteries 2010, Montreal (招待講演)	A Promising High Potential Negative Electrode with a High Specific Capacity: TiO ₂ (B)	
2010/9/18	5 th Asian Conference on Electrochemical Power Sources (ACEPS5)	Capacity Improvement of TiO ₂ (B) Negative Electrode	
2010/10/12	The 218 th Meeting of The Electrochemical Society	Improvement of Electrochemical Properties of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B)	
2010/11/9	第 51 回電池討論会	高電位負極 TiO ₂ (B)負極の合成とその電気化学特性の改善	
2011/7/7	18 th International Conference on Solid State Ionics	Improvement of Electrochemical Properties of TiO ₂ (B) Negative Electrode	
論文発表 4 件			
発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
2009/4	J. Power Sources	TiO ₂ (B) as a Promising High Potential Negative Electrode for Large-Size Lithium-Ion Batteries	有
2009/10	電池技術	高電位負極 TiO ₂ (B)を用いるリチウムイオン電池	無
2010/5	Electrochemistry	Irreversible Capacity and Lithium-ion Insertion/Extraction Kinetics of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B)	有
2011/3	<i>ECS Transactions</i>	Improvement of Electrochemical Properties of a High Potential Negative Electrode TiO ₂ (B)	有

7. 課題と今後の取組

初期容量 >300 mAh/g の放電特性を発表後、多くの電池メーカー、材料メーカーから問い合わせが有り、既にいくつかの電池メーカーにサンプル供給を行い試験を進めている。当面の問題点として、タップ密度が 0.22-0.49 g/cm₃ と低く、電極の密度が上げられないという問題点が明らかになった。現在はタップ密度の向上を目指してさらなる開発を進めている。

8. 実用化・事業化の見通し

開発した TiO₂(B)負極材料の持つ、平均放電電位 1.6 V、初期容量 >300 mAh/g の放電特性、良好なサイクル特性(> 1000 サイクル)、高レート特性(> 100 mAh/g at 10C)という特性は、実用化に向けて開発が進められている LTO 高電位負極を大幅に凌ぐ特性であり、本負極材料の将来的な実用化の見通しは高い。今後は、電池メーカーや材料メーカーへのライセンス供与やサンプル供与を通して、開発した TiO₂(B)高電位負極を用いるリチウムイオン電池の早期実用化、事業化を目指す。

以上

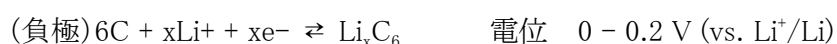
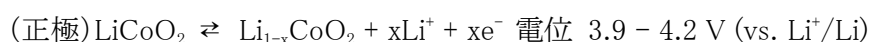
④炭素微小球体を用いる次世代蓄電デバイスの研究開発

(東海カーボン(株)、(独)産業技術総合研究所)

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

正極にリチウム含有遷移金属酸化物、負極に黒鉛化炭素材料を用いたリチウムイオン電池は他の二次電池と比較して、エネルギー密度が高いため電力貯蔵用の蓄電システムとして最適なデバイスである。1991年にソニーによりリチウムイオン電池が市販されて以来、リチウムイオン電池のエネルギー密度は年々増加しており、1991年から2006年の約15年にかけて、その体積エネルギー密度は204 Wh/Lから620 Wh/L(18650型電池での値)まで向上している。リチウムイオン電池の正極、負極のそれぞれの反応は、



と表すことができるため、この15年間かけてのエネルギー密度の向上は反応式中のxをどれだけ増加させることができるか、すなわち、活物質の利用率の向上および電極密度の向上の二点により達成されている。松下電池工業がパソコン用に出荷している620 Wh/Lでは正極にはニッケル酸正極、負極には黒鉛系炭素材料を用いているが、このエネルギー密度を達成するために、黒鉛の理論容量372 mAh/gに近いところまで負極は利用され、また、電極密度の向上も行われてきた。現行のシステムではほぼ限界に近い値までエネルギー密度は向上されていると言える。従って、リチウムイオン電池の更なるエネルギー密度の向上をはかるためには、新規な活物質の探索が必須である。そのため、これまで負極ではSi、Snなど多種多様な材料が検討され、Sn系負極材料が実用化されたが、体積膨張を緩和させる工夫がなされており、大幅なエネルギー密度向上とはならず、黒鉛化炭素材料負極に替わるまでには至っていない。正極については、Coの価格上昇に伴い、Coの一部をNi、Mnに置換した正極材料が注目されているが、現在のリチウムイオン電池のエネルギー密度を大幅に向上させるためには、より新規な正極材料の探索が必要である。

上記のような小型携帯機器用電源としてのリチウムイオン電池をさらに高性能化し、大型化することによって電力貯蔵システムを構築することは、1)安全性、2)コスト、3)長寿命の観点から考えると難しい。リチウムイオン電池の安全性を向上させるための有力な一つの方法として、リン酸鉄材料であるLiFePO₄の利用があげられる。この材料は過充電時に酸素を発生しないため電池の安全性を確保でき、また、リチウム金属基準で約3.5 Vの電位を示すために電解液の酸化分解を抑制し、寿命向上をはかることができるなどの利点を持つ。最近、LiFePO₄と炭素材料負極の組合せによる工具用リチウムイオン電池も市販さ

れ始め、アメリカではプラグインハイブリッド自動車用電源としての可能性を検討されつつある。

LiFePO₄を用いることにより、1)の安全性の大幅な向上をはかることができるため、次の問題としては組み合わせる負極材料となる。上述したが、LiFePO₄の電位は市販のリチウムイオン電池用正極と比較すると低いため、電力貯蔵用リチウムイオン電池構築のためには、電池電圧を稼ぐために黒鉛化炭素材料が良い。黒鉛化炭素材料負極は、電位平坦性に優れ、可逆性が良いなどの利点を多く持つ。一方、黒鉛化炭素材料負極にリチウムイオンが挿入するとリチウム金属と同程度の低い電位を有するために、初回充電時に電解液が還元分解され、炭素上に表面被膜を形成する。表面被膜は更なる電解液の分解を抑制する一方で、不可逆容量の主要因となるため、いかに良好な表面被膜を炭素負極上に形成させるかが重要となる。そのため、市販のリチウムイオン電池では炭酸エチレン系電解液と被膜形成剤である炭酸ビニレンを添加し、不可逆容量の低減をはかっているのが現状である。炭酸ビニレンは高価な有機材料であり、さらに炭酸エチレンの融点は30℃近傍であるため、炭酸エチレン系電解液を用いているかぎり、電池の低温特性の向上をはかることが難しい。

以上のことを考慮して、本研究開発ではLiFePO₄と組み合わせることができる高性能炭素微小球体負極を開発し、高い入力特性をもち、安全性の向上、コスト低減、長寿命化を達成するリチウムイオン電池開発を目指す。

1.2 事業概要

炭素材料の微細構造を制御し、表面が基底面(basal面)で覆われたサブミクロンサイズの炭素微小球体を開発する。電解液の分解は炭素材料の端面(edge面)で生じることが知られており、基底面での電解液の還元分解反応は進行しにくい。従って、被膜形成剤の大幅な低減をはかることができ、電解液のコスト低減をはかる。また、充放電サイクルに伴う被膜成長も抑制できることが期待されるため、長寿命化もはかることができる。さらに、炭素微小球体の合成法を検討することにより、現行の人造黒鉛よりも大幅にコスト低減をはかる。

1.3 実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
炭素微小球体の開発 高エネルギー密度化			→		
炭素微小球体の開発 低コスト化				→	
炭素微小球体の開発 更なる高入力材料の開発				→	

透過型電子顕微鏡による炭素の構造解析と表面被膜解析				→	
炭素微小球体を用いた電池特性評価				→	
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	総額
開発費用(百万円)		20.1	32.4	29.9	82.4

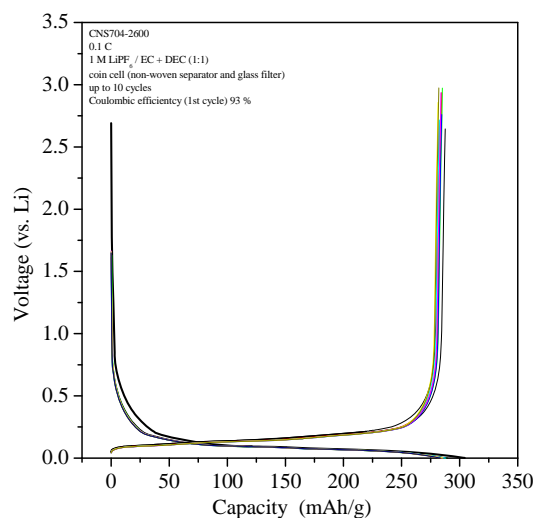
2. 研究開発の目標

- 1) 1・級微小球体の作製によるエネルギー密度の向上(>300 mAh/g)
- 2) 低コスト化 (目標 2000 円/kg)
- 3) Li イオン挿入脱離サイトの検討
- 4) 電解質材料の検討
- 5) 大粒径化品のリチウムイオンの拡散挙動の検討
- 6) 高耐久性構造の検討

(想定条件・根拠)

- 1) 200 nm 級の微小球体の TEM による構造解析の結果、微小球体の中心部はアモルファス構造を有しており、Li イオンが吸蔵できない可能性が示唆された。200 nm 級微小球体の電池容量は 200 mAh/g 程度であるが、粒径を増大させてアモルファス部の割合を少なくすることにより、向上できると判断した。併せて、負極材としての粒径の最適値について明確にする必要がある。

→ 1 mol dm⁻³ LiPF₆ / EC + DEC 電解液中で約 290 mAh/g の容量までは達成。



2) 現在、炭素微小球体は実験室設備により気相法を用いてボトムアップにより製造しているため、高価なものとなっているが、スケールアップと量産効果により安価な炭素微小球体を提供する為の実用化炉の可能性について検討する。

3) 本炭素微小球体は表面が基底面に覆われているため、通常の炭素材料とは異なるリチウムイオンの挿入脱離サイトを考える必要がある。今後の炭素微小球体の開発には、その挿入脱離サイトを明確にする必要がある。リチウムイオンの挿入脱離サイトは基底面のナノサイズの欠陥と予測され、透過型電子顕微鏡で詳細に検討することによって、初めて明らかになると考えられる。また、炭素微小球体以外の炭素材料にも共通な電池特性に優れた炭素材料の設計指針を提示する。

→ 炭素微小球体の精密な表面構造解析によって、明らかになりつつある。

4) 炭素微小球体の特殊な微細構造により、これまで黒鉛化炭素材料では用いることのできなかった電解質を利用できる可能性がある。200 nm 級炭素微小球体では炭酸プロピレン(PC)系電解液の利用が可能であった。PC 系電解液を用いることができれば、低温特性の大幅な向上を見込むことができる。また、 LiFePO_4 正極と組み合わせた実電池評価を検討する。

→ 700 nm 級、1 μ 級の炭素微小球体を PC 系電解液中で安定に充放電サイクルをできる条件を見出すことができた。設定条件によっては、PC 系電解液中で初回の効率が 80%を越えた。

5) サブミクロンからミクロンの炭素微小球体を作製する意義として、固相内拡散がみかけ上はよくなることがある。そのため、拡散挙動は詳細に調べる必要がある。200 nm 級炭素微小球体では交流インピーダンス法により有限拡散であることを見出している。

→ 700 nm 級炭素微小球体でも交流インピーダンス測定により有限拡散であることを明らかにした。

6) 本プロジェクトでは安価で長寿命な材料を開発することがターゲットとなっており、サイクル特性を調べる必要がある。炭素微小球体は表面が基底面に覆われているため、表面被膜生成が抑制され、また電解液との反応性も抑制できるため、高サイクル特性が期待できる。

→ EC 系電解液中では非常に良好なサイクル特性を示すことが判明しており、電解質の検討、拡散挙動の検討、サイクル特性の検討などにより、最適な炭素微小球体について設計指針を提示する。

3. 研究開発の成果

項目	目標値	達成度	達成度
高エネルギー密度化	300 mAh/g	290 mAh/g	85 %
低コスト化	2 千円/kg	設備大型化想定試算のみ	50%
TEM による反応解析		SEI 構造を明確にした	80 %
電解質材料の検討	PC の利用	PC が利用できる条件を見出した	80 %
拡散挙動の検討		200、700 nm 級炭素微小球体を解析	70 %
サイクル特性の検討		コインセルにて良好	50%

成果1

(内容)

高エネルギー密度化および初回クーロン効率の大幅な向上

(達成度)

85 %

(成果の意義)

200 nm 級炭素微小球体では容量 200 mAh/g、初回効率 75 %程度であったが、最大 1 μ m 級まで大粒径化することにより、容量は 290 mAh/g、効率は 90 %以上を達成している(700nm 品)。ナノカーボンで初回クーロン効率 90%は非常に高い値であり、現状では世界でもっとも高い値である。

成果2

(内容)

透過型電子顕微鏡による炭素負極表面に生成する表面被膜解析

(達成度)

80%

(成果の意義)

各粒径の炭素微小球体上での表面被膜について透過型電子顕微鏡による解析を行い、その形状、厚み、組成などを明確にできている。一部の成果は既に論文に投稿し、受理されている。PC 系電解液を用いた場合では、黒鉛の剥離を透過型電子顕微鏡で観察できている。これまで表面被膜について透過型電子顕

微鏡で調べた報告はほとんどなく、学問的にも非常にインパクトのある内容であると考えている。

成果3

(内容)

電解質材料の検討

(達成度)

80%

(成果の意義)

黒鉛処理した炭素微小球体は特異な微細構造を有しているため、通常の黒鉛負極では使用できない PC 電解液の利用が可能である。200 nm 級炭素微小球体では PC 電解液の使用が可能であったが、700 nm、1 μ 級炭素微小球体では黒鉛層の剥離が生じ、充放電試験ができなかった。しかし、黒鉛処理条件を検討することにより、これらの大粒径品においても安定に充放電サイクルさせることが可能となった。このときの SEI 構造を検討することにより、ほかの炭素材料でも PC 電解液が利用できる可能性がある。

4. 成果の普及

1) 特許出願1件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
H20 年 11 月 4 日	特願 2008-283589	リチウムイオン電池用負極材およびその製造方法

2) 講演発表 15 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
H19 年 11 月 29 日	炭素材料学会	炭素微小球を用いたリチウムイオン電池負極表面の TEM 観察
H19 年 11 月 30 日	炭素材料学会	炭素微小球のリチウムイオン電池負極特性
H20 年 7 月 16 日	Carbon2008	TEM Observation and Microanalysis of the Surface Coating Films Formed on Carbon Nanospheres in the Negative Electrodes of Li Ion Batteries
H20 年 11 月 5 日	電池討論会	炭素微小球体の電気化学特性
H20 年 12 月 3 日	炭素材料学会	リチウムイオン電池負極として用いた炭素微小球の表面構造解析

H20 年 12 月 4 日	炭素材料学会	PC 電解液中での炭素微小球体の電気化学特性
H20 年 12 月 4 日	2008 MRS Fall Meeting	Direct TEM Observation of SEI Films on Carbon Nanoparticles in Negative Electrodes of Li-ion Batteries
H21 年 1 月 11 日	Gordon Research Conference 2009 (Hydrocarbon Resources)	Size effects of development and degradation of graphitic structure in carbon nanospheres by a heat-treatment
H21 年 2 月 12 日	AMAS_X The Tenth Biennial Symposium 2009	TEM OBSERVATION AND MICROANALYSIS OF SEI FILMS FORMED ON CARBON NANOSPHERES IN THE NEGATIVE ELECTRODES OF LITHIUM-ION BATTERIES
H21 年 6 月 16 日	International Conference on Carbon	Graphitization of carbon nanospheres and their performances as negative electrodes in Li-ion batteries
H21 年 6 月 30 日	ICMAT	Carbon Nanospheres for Negative Electrode of Lithium-ion Batteries
H21 年 9 月 18 日	日本学術振興会第 117 委員会	黒鉛化炭素微小球の表面組織
H21 年 9 月 22 日	LiBD2009	Lithium-ion Kinetics at Carbonaceous Negative Electrode
H21 年 10 月 26 日	Cesep'09	TEM study of solid electrolyte interphase formed on carbon nanospheres in different types of electrolyte
H21 年 12 月 3 日	第 36 回炭素材料学会年会	炭素微小球の黒鉛化挙動とリチウムイオン電池負極特性

3) 論文発表1件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
FEB 25 2008	Mater. Sci. Eng. B 245-248	TEM observation of heterogeneous polyhedronization behavior in graphitized carbon nanospheres	有

4) 受賞実績1件

平成 21 年炭素材料学会学術賞 安部武志

5) プレス発表 2 件

日経産業新聞 H19 年 11 月 26 日

化学工業日報 H19 年 11 月 28 日

5. 課題と今後の取組

サブミクロンおよび 1 μ 級サイズの炭素微小球体を使用するため、初回のクーロン効率の向上が実用化のためには最大の課題の一つであったが、700~1000 nm と炭素微小球体を大粒径化することによって、効率は 90 % 以上となりほぼ実用化レベルまでに到達した。粒径をさらに増大させると、よりクーロン効率は向上できると期待されるが、現状の製造方法および設備において得られた炭素微小球体は、特性バランス的には 700nm 程度がもっとも良好と考えられることからこの領域の炭素微小球体の設計指針を明らかにし、安価で作製できる技術開発を行う必要がある。

6. 実用化・事業化の見通し

大粒径化することにより、容量を増加させることができ、また、初回クーロン効率も 90%以上を示したため、実用化に十分耐えうる炭素微小球体を作製できていると考えている。ナノサイズの炭素材料をリチウムイオン電池負極に用いた場合、初回のクーロン効率は最大で 70%程度であったが、本開発により作製した材料では 90%を越えるものもある。このことはナノカーボンの実用化に対して非常に重要な意味をもち、波及効果は大きいと考える。

以上

⑤次世代技術開発／高安全電解質に着眼したリチウム二次電池の研究開発

(財団法人電力中央研究所)

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

エネルギー密度などの面から系統連系円滑化のための最も有望な電池系のひとつと考えられるリチウム二次電池は、大型化時の安全性の確保が重要な課題となっている。本研究では大型化可能なリチウム電池として高い安全性が期待される全固体型リチウムポリマー二次電池についてその性能向上因子抽出を行う。これにより、将来の自然エネルギー発電増加に対する系統連系円滑化に適用可能な蓄電システムの開発に資することを目的とする。

1.2 事業概要

電解質に可燃性の有機溶媒を用いた従来型リチウムイオン二次電池に代わり、高安全電解質を用いた高安全、高エネルギー密度、かつ大型化可能な全固体型リチウムポリマー二次電池の研究開発を行う。特に、全固体型リチウムポリマー二次電池は、これまで金属リチウム負極の採用が必須とされていたため、その大型化には大面積の金属リチウムの製造・取扱い方法を含めた技術開発を避けて通ることができなかった。これに対し近年、負極として現行電池で実用化されているのと同様の炭素系負極の利用が可能であるとの見通しを得た。このため、金属リチウム取扱いのための特別な設備を必要とせず、現行のリチウムイオン電池製造設備と同様の設備による製造が可能で、実用化に向けて大きなブレークスルーとなる可能性を持つ、炭素系負極を用いた全固体型リチウムイオンポリマー二次電池の実現に向けて開発を実施する。

1.3 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①電極修飾材料関連の調査・開発	→	→				
②電解質修飾材料関連の調査・開発	→	→				
③炭素系負極適用の検討			→	→		
④Co 代替正極適用の検討			→	→		

⑤全固体型リチウムイオンポリマー二次電池の最適化				→		
⑥大型ラミネート電池の開発				→		
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	10.1	9.7	40.0	40.0	0.0	99.8

2. 研究開発目標

(H20 年度目標)

- 炭素系負極適用の検討:

金属リチウムを対極とした半電池を試作し、電極作製条件を検討することにより、初期充放電効率の向上とサイクル特性の向上を図り、初期容量250mAh/g、初期クーロン効率:75 %以上、200サイクル以上 (SOC100%、60°C、1/8CA)を達成する。

- Co 代替正極適用の検討

金属リチウムを対極とした半電池を試作し、電極作製条件を検討することにより、サイクル特性の向上を図り、ハーフセルにて、初期容量120mAh/g、200サイクル以上 (SOC100%、60°C、1/8CA)を達成する。

(想定条件・根拠)

ハーフセルにて、SOC100%、60°C、1/8CAの試験条件における特性を、過充電加速試験等により確認する。目標値の設定根拠は、Co 正極を用いた試験結果ならびにこれまでにを行った予備試験から設定した。

(H21 年度目標)

- 炭素系負極適用の検討

金属リチウムを対極とした半電池において、電極作製条件を最適化することにより、初期充放電効率の向上とサイクル特性の向上を図り、初期容量300mAh/g、初期クーロン効率:80 %以上、400サイクル以上 (SOC100%、60°C、1/8CA)を達成する。

- Co 代替正極適用の検討

金属リチウムを対極とした半電池において、電極作製条件を最適化することにより、サイクル特性の向上を図り、ハーフセルにて、初期容量140mAh/g、400サイクル以上 (SOC100%、60°C、1/8CA)を達成する。

- 全固体型リチウムイオンポリマー二次電池の最適化

炭素系負極とCo代替正極を用いた、全固体型リチウムイオンポリマー二次電池を試作し、充放電制御

方法を含めた最適化を行うことにより、フルセルにて、正極重量あたり初期容量130mAh/g、200サイクル以上(SOC100%、60℃、1/8CA)を達成する。

・大型ラミネート電池の開発

大面積電極を用いた単セルを複数段(3段以上)スタッキングした、大型・高電圧ラミネート電池を試作・実証する。最終目標として、大型ラミネートセルにて、正極重量あたり初期容量120mAh/g、100サイクル以上(SOC100%、60℃、1/8CA)を達成する。

(想定条件・根拠)

ハーフセルおよび全固体型リチウムイオンポリマー二次電池にて、SOC100%、60℃、1/8CA の試験条件における特性を、過充電加速試験等により確認する。目標値の設定根拠は、系統連系円滑化に適用し得る電池の要求性能を2030年までに達成することを目標に設定した。

3. 研究開発の成果

	項目	目標値	達成値	達成度
炭素系負極	初期容量	300 mAh/g	300 mAh/g	○
	初回クーロン効率	80 %	83 %	◎
	サイクル特性	400 cyc(C/8)	400 cyc(C/8)	○
Co 代替正極	初期容量	140 mAh/g	140 mAh/g	○
	サイクル特性	400 cyc(C/8)	400 cyc(C/4)	◎
リチウムイオン	初期容量	130 mAh/g	135 mAh/g	◎
	サイクル特性	200 cyc(C/8)	160 cyc(C/4)	○(外挿による) 注1
大型ラミネート	初期容量	120 mAh/g	150 mAh/g	◎
	サイクル特性	100 cyc(C/8)	150 cyc(C/8)	◎
スタック電池	スタック段数	3 段	3 段	○(コイン電池 150 cyc 達成)

凡例:◎当初目標値を越えて達成 ○:目標値を達成

注1 プロジェクト終了後もサイクル試験を継続し、200 サイクル達成を確認した。

成果 1

(内容)炭素系負極材料の検討

全固体型リチウムポリマー二次電池において、炭素系負極の適用技術を確立するため、高分子固体電解質

(SPE)の分子量制御を含む電極製造方法を開発するとともに、金属リチウムを対極とした半電池を用いて、安定な充放電動作を確認し、初期クーロン効率:80%以上(図 1)、サイクル特性 400 サイクルを達成した(図 2)。

(達成度)120%(初回クーロン効率は目標値を上回る達成度)

(成果の意義)

これまで実用化のネックとなっていた炭素系負極と高分子電解質の組み合わせについて、実現のメドを立てた。初期クーロン効率も従来報告値の 70%台から 83%まで改善し、サイクル特性とあわせて内外でのこれまでの報告値(250 サイクル)と比べ大きな進捗がみられた。

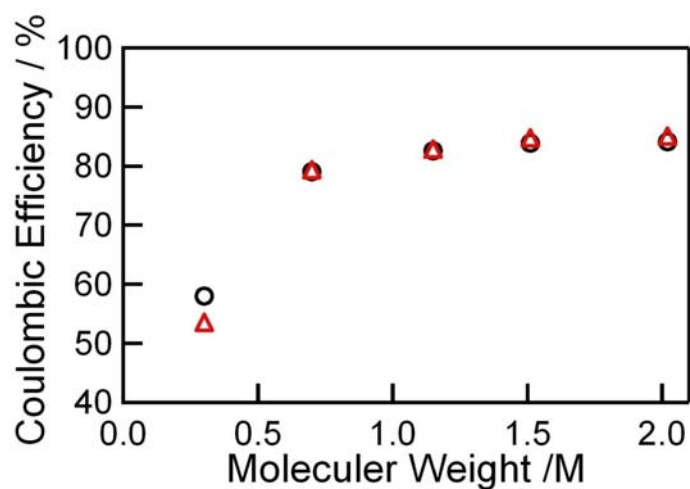


図 1 炭素系負極材料と組み合わせた SPE 分子量と初回クーロン効率との相関

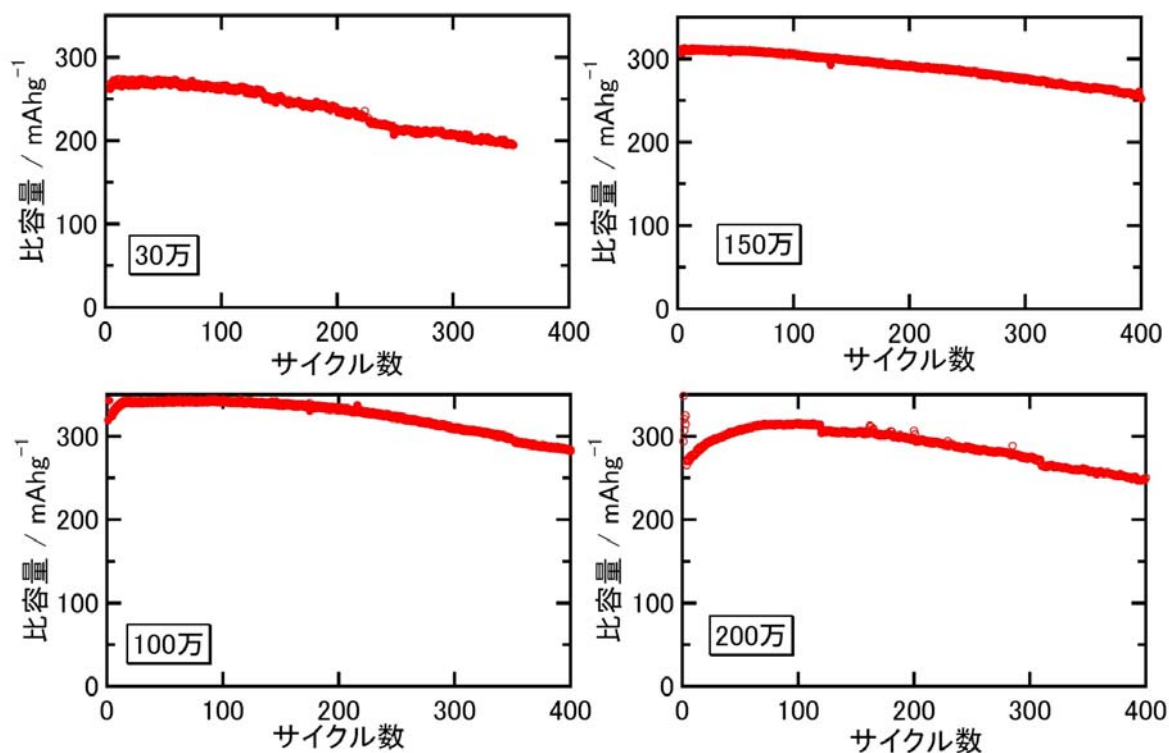


図 2 各分子量の SPE と炭素系負極材料と組み合わせた半電池の充放電サイクル特性

成果 2

(内容) Co 代替正極適用の検討

Co 代替正極材料として $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ (NMC) を適用し、高サイクル特性を可能とする正極材料/高分子固体電解質界面を構築し、400 サイクルのサイクル特性を達成した(図 3, 図 4)。

(達成度) 100% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

Co 量を低減した 4V 級正極材料を適用できた点は、電池の低コスト化に貢献できる。また、従来の報告値(200 サイクル)と比べて 2 倍の延伸は大きな進歩である。

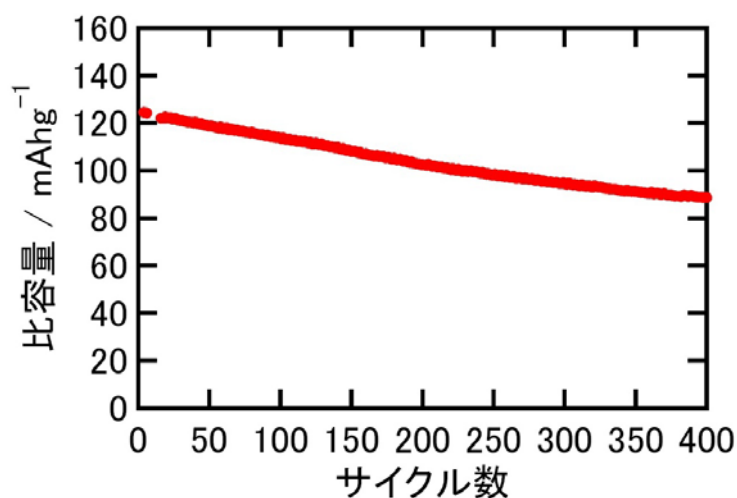


図 3 最適化された NMC 正極、SPE の組み合わせによる半電池充放電サイクル特性

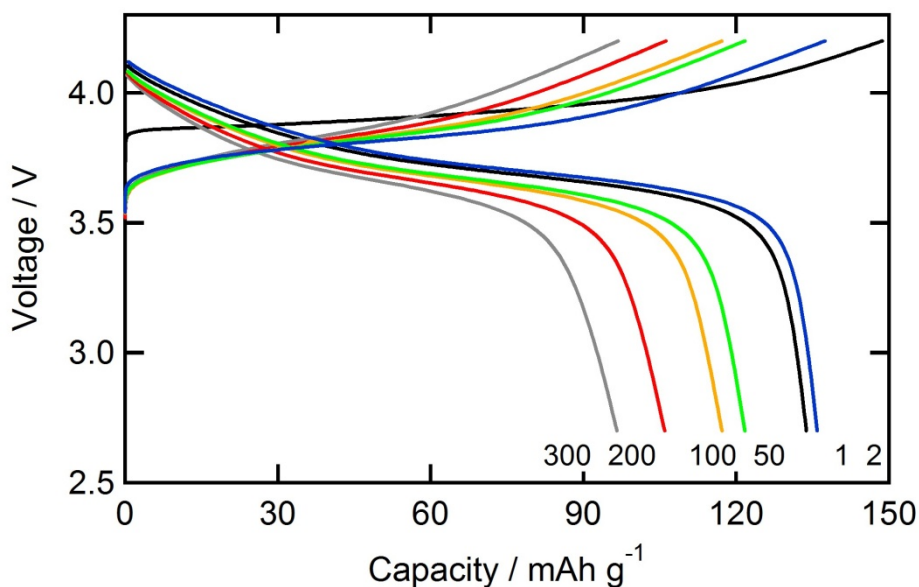


図 4 NMC 正極、SPE の組み合わせによる半電池充放電時電圧挙動変化

成果 3

(内容) 全固体型リチウムイオンポリマー二次電池の最適化

各種Co代替正極(NMC)とカーボン系負極を組み合わせたフルセルを用いて、全固体型リチウムイオンポリマー二次電池を構成し、160 サイクルのサイクル実績から 200 サイクル以上の安定動作に見通しを得た(図 5)。なお、本成果に関して、プロジェクト終了後もサイクル試験を継続し、200 サイクル達成を確認した。また、全固体電池の特徴のひとつである単一外装内スタッキング例として、コイン電池内での 3 セル直列接続した全固体型リチウムイオンポリマー二次電池を構成し、150 サイクルの安定動作を確認した(図 6)。

(達成度) 100% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

従来は金属リチウムを対極にした半電池特性の報告がほとんどであり、100 サイクルを越えた報告値はない。また、スタッキング電池でも類似の特性が得られたことは、将来の大型化時にも良好な特性が得られるメドを示した成果である。

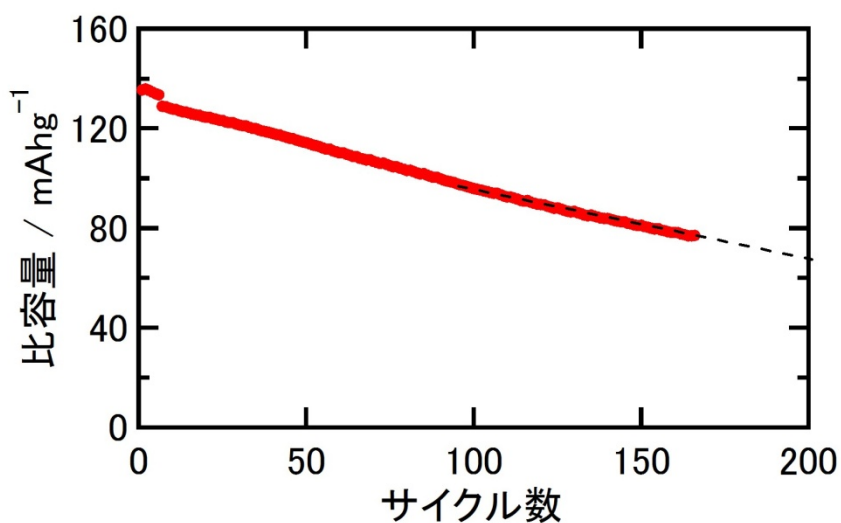


図 5 炭素系負極、NMC 正極を用いた全固体リチウムイオンポリマー電池の充放電サイクル特性

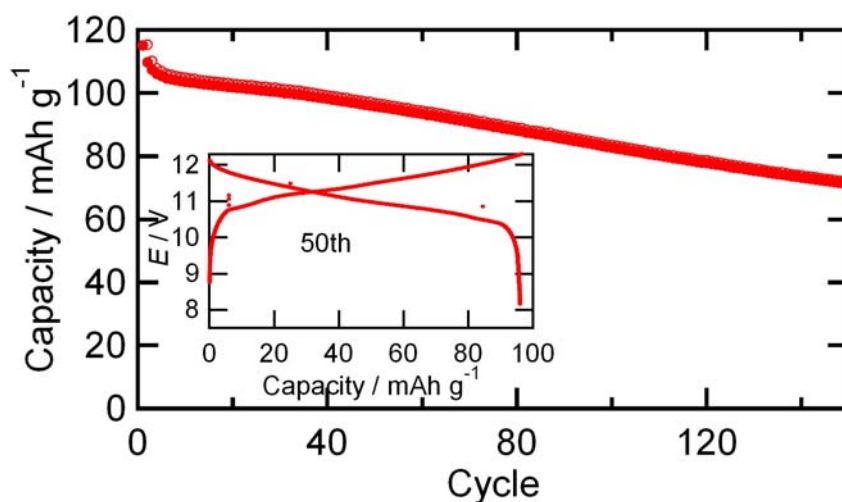


図 6 コイン電池内 3 スタックリチウムイオン電池のサイクル特性

成果4

(内容) 大型ラミネート電池の開発

全固体型リチウムイオンポリマー二次電池実用化に向け、低コストで大型電極を作製する方法を検討するとともに、液系の電解液を用いた電池では実現不可能な、単一外装内に複数のセルをスタックした大型ラミネート電池を試作した(図 7,図 8)。これにより、電極面積 100 cm^2 かつ、単一外装に3段のスタッキングを行い、単体の電圧が 10 V 以上の大型・高電圧ラミネート電池を実証した(図 9)。

(達成度) 120% (設定目標に対する割合)

(成果の意義)

高分子電解質を用いた全固体電池は、他の無機系全固体電池と比べ大面積化の容易さが大きなメリットである。本研究開発で 100 cm^2 規模が外部加圧なく運転実証できたことは、将来の大型化に大きく近づく成果といえる。

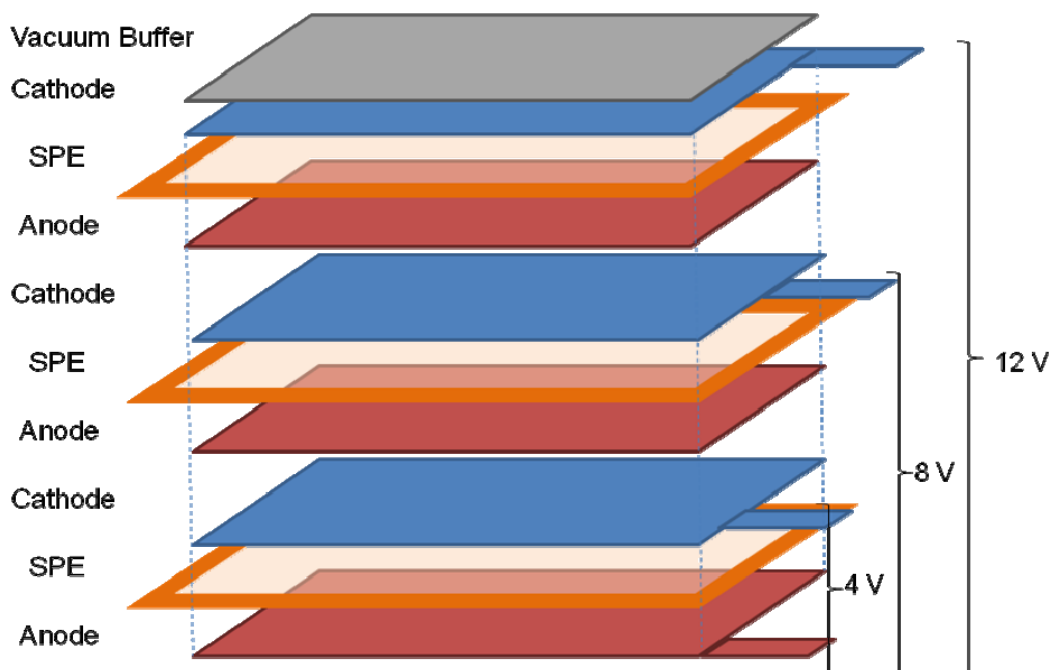


図 7 試作したスタック電池の内部構造

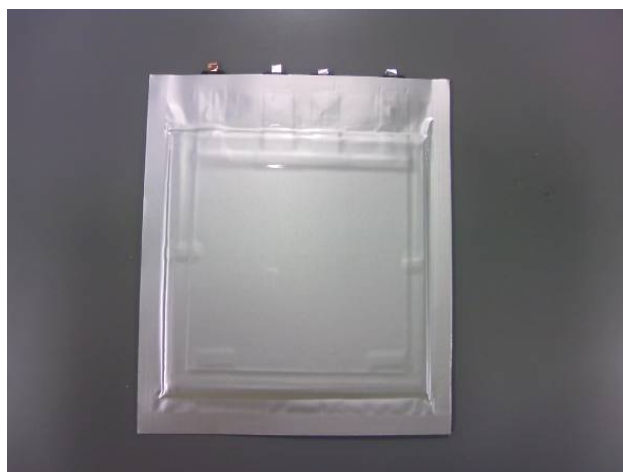


図 8 大型ラミネート 3 セルスタック電池

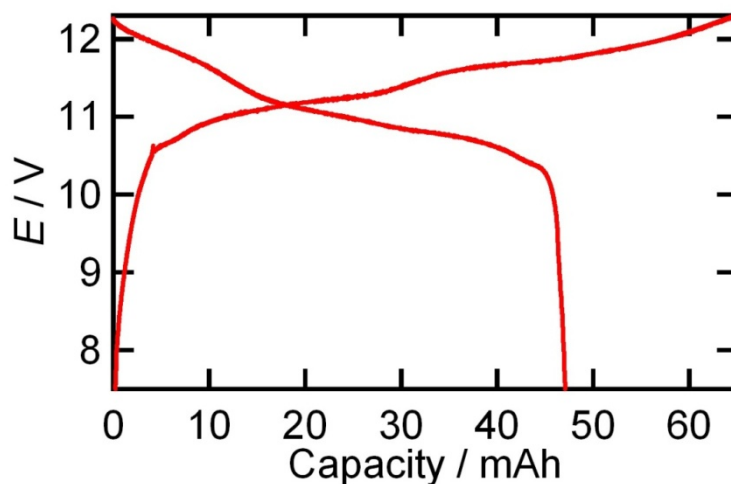


図 9 大型ラミネート 3 セルスタックリチウムイオン電池の初回充放電特性

4. 成果の普及

特許出願 1 件

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題
		小林剛 他、「非水電解質リチウム二次電池」特開 2008-276068

講演発表 11 件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
		1. 「全固体型リチウムポリマー二次電池の開発 -正極活物質中への導電助剤・バインダー高分子・無機電解質の各種効果-」2007 年電気化学秋季大会 (2007).

-
2. “R&D of Lithium Secondary Battery for Stationary Applications” 3rd Korea-China Lithium Battery Workshop (2007).
 3. “Solvent-free lithium-ion polymer battery using graphite for stationary use” The 7th France Japan Joint meeting on lithium batteries, (2008).
 4. 「全固体型リチウムポリマー二次電池の開発－電極構成の検討及び無機電解質導入による特性改善効果－」,第 57 回高分子討論会 (2008).
 5. “Research and Development of All-Solid-State Lithium Polymer Secondary Batteries for Electric Power Storage Devices” , PRiME 2008 Joint international meeting:214th Meeting of ECS (2008).
 - 6.「全固体型リチウムポリマー二次電池の開発 -グラファイト電極作製法の検討-」第49回電池討論会 (2008).
 - 7.「全固体型リチウムポリマー二次電池の開発-Li₃PO₄を被覆したLiNi_{1/3}Mn_{1/3}Co_{1/3}O₂の熱処理効果-」第49回電池討論会 (2008).
 8. “Characterization of Cathode Interface with Solvent-free PolymerElectrolyte in All Solid-State Lithium-ion Batteries”, 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells (2009).
 9. “Cathode Interfacial Design for Solvent-free All Solid-State Lithium-ion Batteries”, 216th Electrochemical Society(ECS) Meeting (2009).
 - 10.「全固体型リチウムポリマー電池におけるポリマー分子量と電池特性の相関」、第50回電池討論会 (2009).
 - 11.「高分子電解質の分子量制御による全固体リチウム二次電池正極特性の影響」第35回固体イオニクス討論会 (2009).
-

論文発表 0 件

発表年月日	発表媒体	論文タイトル	査読の有無
なし			

5. 課題と今後の取組

本研究開発は、風力、メガソーラー等への MWh 級蓄電池大規模普及を目的としたが、開発した全固体型リチウムイオンポリマー電池は、MWh 規模の蓄電システムに限らず、定置型全般への適用が可能と考えられる。特に、kWh 規模の家庭設置用電池は、従来技術のナトリウム硫黄(NaS)電池では規模が小さいこと、従来の有機電解液系リチウムイオン電池より低コスト、かつ高い安全性が要求されることから、本開発電池は適切と考えられ

る。特に、家庭用の定置運転では高率運転を要求されないことから、小型定置用途として産業が立ち上がれば、将来の MWh 級蓄電池への展開も可能と考えられる。今後は、より長期サイクルと大型化の実証運転を進め、広く定置型用途としての展開を進めていきたい。

6. 実用化・事業化の見通し

地球温暖化防止の観点から、再生可能エネルギーの大規模な利用が不可欠であり、その実現には系統との連系を円滑に行うための蓄電システムの導入が不可欠であると考えられる。系統連系用に従来型リチウムイオン二次電池をそのまま大型化した場合、電解質に可燃性の蒸気を発生する有機溶媒を用いたリチウム二次電池では、安全性の確保に多大なコストが掛かることが懸念される。これに対し、高分子固体電解質を用いた高安全かつ高エネルギー密度の全固体型リチウム二次電池が実用化されれば、安全性確保のために必要となるコストを大幅に削減することが可能となり、系統連系用二次電池システムの普及に貢献するものと考えられる。

一方、全固体型リチウムポリマー二次電池は、これまで金属リチウム負極の採用が必須とされていたため、その大型化には大面積の金属リチウムの製造・取扱い方法を含めた技術開発が必須であり、電池の実用化に大きな課題となっていた。本研究開発で負極として現行電池で実用化されているものと同等の炭素系負極の利用が可能であるとの見通しが得られれば、金属リチウム取扱いのための特別な設備を必要とせず、現行のリチウムイオン電池製造設備と同等の設備による低コストでの製造が可能で、実用化に向けて大きなブレークスルーとなる可能性がある。

以上

⑥低障壁イオン伝導固体高分子電解質の研究開発（大阪大学）

1. 事業の目的

リチウムイオン二次電池はエネルギー密度が高く、小型化、軽量化が容易であるため各種携帯機器を始めとして、様々な用途で用いられており、新エネルギー発電電力の蓄電システムとして重要な位置を占める。しかし、電解質として、有機溶剤あるいは有機溶剤を含有するゲルを用いるため、ひとたびトラブルが発生すると発火・爆発などの危険性が高い。安全、安定且つ長寿命なリチウムイオン二次電池実現の一つのアプローチとして、電解質の固体高分子化があげられ、世界中で精力的な研究開発が展開されている。固体高分子電解質の中心はポリエチレンオキシド(PEO)を母骨格とするものである。様々な PEO 誘導体が合成され報告されているが、実用イオン伝導度である 1mS/cm を達成するためには電解質を 60°C から 80°C 以上に加熱する必要があることや伝導度の温度依存性が極めて大きく、室温から低温領域では伝導度が極端に低下する欠点があるため実用化には至っていない。これは、PEO 系高分子電解質のリチウムイオン輸送が、主鎖の熱振動(セグメント運動)に由来することによる。安全性、寿命の観点から電解質の高分子化は最も魅力的であるが、そのためには、固体高分子電解質のもつ、低い伝導度と大きな温度依存性という課題を解決する必要がある。

当グループは従前のセグメント運動に基づくイオン伝導メカニズムとは根本的に異なるイオン伝導機構に基づく高分子電解質である「低障壁イオン伝導固体高分子電解質」を開発し、安全且つ環境変化に対して安定性の高い次世代蓄電システムのための電解質を提案してきた。そこで、本プロジェクトにおいて、それらの新規固体高分子電解質について、電池としての実用性に関する評価・実証を行った。

2. 事業概要

固体高分子におけるリチウムイオン輸送メカニズムとして、固体中で最もエネルギー障壁が小さい分子運動である単結合の回転運動を利用した新規固体高分子電解質である「低障壁イオン伝導固体高分子電解質」を用いた試作セルの開発を行う。単結合の回転によるリチウムイオン輸送は、これまでの固体高分子電解質とは全く異なる機構でイオンを輸送するため、実用可能な固体高分子電池実現のためのブレイクスルーとなる可能性がある。FS での結果から、低温度側に広い温度領域でフラットな特性を得るためには、従来の PEO 系で行われた研究とは全く逆に、高分子主鎖を剛直にすることが有効であると考えられる。また、伝導度の向上には単結合回転部分間の距離を制御し、リチウムイオンの受け渡しを円滑に行えるよう、よりいっそうの分子設計が必要となる。

そこで、本研究では、高分子主鎖および側鎖に単結合回転部分を導入した各種高分子を合成し、電解質としての特性を評価する。特に回転部分間の距離に着目し、種々のモノマーとポリマーの合成ルートの確立を目指す。評価の指標として、イオン伝導度の測定に加えて、固体核磁気共鳴法による高分子の運動性の原子レベルでの評価、誘電緩和測定による高分子主鎖および側鎖の運動性評価を行う。これらの結果を分子設計にフィ

ードバックし、開発目標である 20℃において 0.5mS/cm 以上のイオン伝導度を示し、エネルギー障壁が 7kcal/mol 以下である高分子電解質の開発を図る。

また、固体高分子電解質の問題点の一つとして、電極と電解質の界面における効率的なイオン授受があげられる。そこで、低障壁イオン伝導固体高分子電解質に最適な電極活物質を探索すると共に、電極と電解質のインターフェイスを形成する高機能バインダーの設計を試みる。電極-インターフェイス-電解質の界面におけるイオン授受は、モデルとなるリチウム錯体を合成し、構造化学的な観点から理解を深め、界面におけるイオン輸送メカニズムの提唱を図る。これらの結果に基づき、低障壁イオン伝導固体高分子電解質を用いた試作セルを製作し、本電解質の電池としての実用性を評価する。

3. 研究開発の実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	
①高分子の設計と合成	→	→			
②電解質の伝導度評価	→	→			
③電解質の運動性評価	→	→			
④低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーと電極バインダーの合成			→	→	
⑤低障壁イオン伝導固体高分子電解質の合成と伝導度評価			→	→	
⑥電極活物質の探索			→	→	
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	総額
開発費用(百万円)	4.8	5.2	42.8	34.8	87.6

4. 研究開発目標

平成 20 年度目標

④低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーと電極バインダーの合成

種々の配位元素、官能基間距離の最適化を行い、低温特性に優れた電解質用モノマーの分子設計と合成法の確立を行う。

⑤低障壁イオン伝導固体高分子電解質の合成と伝導度評価

上記④で得られたモノマーから電解質ポリマーの合成を行い、イオン伝導度とその温度依存性、各種分光法等による運動性解析をもとに評価する。また、モノマーおよびポリマーの大量合成ルートの確立し、試作セルの制作に備える。

⑥電極活物質の探索

電極活物質-電解質界面接合法の開発を行う。特に種々の電極活物質を用いたハーフセルによる解析を通じ

て、低障壁イオン伝導固体高分子電解質に最適な電極活物質の探索を行う。

平成 21 年度目標

④低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーと電極バインダーの合成

電極活物質と電解質のインターフェイス機能を有するバインダーの設計と合成法の確立を行う。

⑤低障壁イオン伝導固体高分子電解質の合成と伝導度評価

電極活物質－電解質間の電気化学特性評価を行い、最適な電池構成に関する知見を得る。具体的には、活物質表面でのリチウムイオン配位をモデル化した錯体の合成と構造解析、機能性バインダー分子の大量合成とそれを用いた電極の作製を行う。

⑥電極活物質の探索

④、⑤で得られた分子を用い実証セルの試作を行うと共に、試作セルの充放電特性を評価する。

最終目標

モノマーおよびバインダーの合成法を確立する。

20°Cで 0.5mS/cm、活性化エネルギー7kcal/mol 以下の電解質を開発する。

低障壁イオン伝導固体高分子電解質のリチウムイオン二次電池への応用可能性を明らかにする。

5. 研究開発成果

本研究では、低障壁イオン伝導性固体高分子電解質について以下の結果を得た。

(1) 固体中での分子運動の活性化エネルギーに着目することにより、これまでの固体高分子電解質とは全く異なる機構である低障壁イオン伝導機構によるイオン伝導を実現した。

(2) 低障壁イオン伝導固体高分子電解質を系統的に設計・合成し、リチウムとの錯体形成に与る元素や回転側鎖の立体障害がリチウムイオンの易動性に与える影響を分子レベルで明らかにした。

(3) ポリスチレンを母骨格とする系が良好なイオン伝導性を示し、45°C～-5°Cの範囲で 0.4～0.1mS/cm、イオン伝導度の温度依存性は 2～6kcal/mol となり、-40°C付近まで性能変化の小さい低温特性に優れた電解質であることを明らかにした。

(4) 低障壁イオン伝導性固体高分子電解質の合成スキームを検討し、実電池開発を可能とする大スケール (kg オーダー) での合成ルートを確立した。

(5) 電極空孔率の高い LiMn₂O₄ 未カレンダ電極にアミド系電解質を充填して正極とし、負極にリチウム金属を用いたモデルセルを作製し、70°C下 0.03C 充電/0.005C 放電で充放電可能なことを確認した。

目的に照らした達成状況

①低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーと電極バインダーの合成

低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーとして、配位性官能基を含むモノマー15 種類を系統的に設計し、グラム単位での合成が可能な合成法の確立を行った。また、それらのモノマーがラジカル重合にて高分子を生成することを確認した。それぞれのモノマー、ポリマーは核磁気共鳴法、質量分析法等を用いて構造の確認を

行った。

以上のことから当初の目標を十分に達成している。

②低障壁イオン伝導固体高分子電解質の合成と伝導度評価

上記①で得られたモノマーの合成法を改良し、実電池開発に必須となる大スケール(kg オーダー)での合成法の確立と収率の増大を行った。それぞれのモノマーから電解質ポリマーの合成を行い、イオン伝導度とその温度依存性、各種分光法等による運動性解析をもとに評価した。その結果、45°C～-5°Cの範囲で 0.4～0.1mS/cm、イオン伝導度の温度依存性は 2～6kcal/mol となり、-40°C付近まで性能変化の小さい低温特性に優れた電解質であることを明らかにした。

また、回転側鎖を有する高分子をバインダーとして用い、試作セルに使用し、充放電特性を得ることができた。

以上のことから伝導度が目標とした値(0.5mS/cm)より若干低いが、概ねすべての目標を達成できている。伝導度については、伝導度測定セルの調整により、さらなる向上が見込まれる。

③電極活物質の探索

①②で得られた電解質について耐電圧を測定し、ポリスチレン母骨格の系が 3.9V 以上の耐電圧を示し、Mn 系の正極材料が使用できることを明らかにした。

LiMn₂O₄を正極、Li 金属を対極としたモデルセルを構築し、70°C下 0.03C 充電/0.005C 放電で充放電可能なことを確認した。

実際にモデルセルで充放電特性を測定できたことから、低障壁イオン伝導固体高分子電解質が Li イオン二次電池用電解質として用いることができることを明らかにし、当初の目標を十分に達成した。

各研究開発項目と成果の意義

成果1 研究開発項目①:「高分子の設計と合成」

<内容>

配位性官能基を含むモノマー15種類を系統的に設計し、グラム単位での合成が可能な合成法の確立を行った。また、それらのモノマーがラジカル重合にて高分子を生成することを確認した。それぞれのモノマー、ポリマーは核磁気共鳴法、質量分析法等を用いて構造の確認を行った。

<成果の意義>

全く新しい高分子固体電解質の合成戦略を確立できたことから、より高効率な電解質の合成が容易に実現できるようになったと考えられる。

成果2 研究開発項目②:「電解質の伝導度評価」

<内容>

上記①で得られたモノマーを LiTFSI 存在下に重合し、固体高分子電解質を得た。得られた電解質はいずれ

も室温以下の低温領域で伝導度がほとんど低下しない低障壁イオン伝導の特徴を有することを明らかにした。

<成果の意義>

非常に低いエネルギー障壁を持つ高分子固体電解質が存在することを実証した。この概念を推進することで、高温から低温まで広い温度範囲で性能劣化の極めて少ない電池を構成できると考えられる。

成果3 研究開発項目③:「電解質の運動性評価」

<内容>

得られた電解質について、固体 NMR、誘電緩和、分子軌道計算の手法を用いて解析を行った。固体 NMR では側鎖末端に位置する回転側鎖の運動性が高いこと、誘電緩和では単結合回転以外の分子運動が極端に抑制される -80°C からイオン伝導すること、分子軌道計算では、単結合回転の回転障壁がイオン伝導度から求められる活性化エネルギーと良い一致を示すことを明らかにした。

<成果の意義>

単結合の振動回転がリチウムイオンを輸送する低障壁イオン伝導機構でイオン伝導が実現されていることを明らかにした。イオン伝導機構が明らかになったことで、より効率的なイオン伝導を目指した分子設計が可能となった。

成果4 研究開発項目④:「低障壁イオン伝導固体高分子電解質モノマーと電極バインダーの合成」

<内容>

主鎖に回転部分を有する全く新しい型のモノマー合成法を確立した。主鎖型とすることで、回転部分間の距離が自由に設計できるようになった。また、配位官能基についても、酸素、窒素を含むものの合成法を確立した。

<成果の意義>

これまでに無いタイプである主鎖回転型のモノマー合成法を確立できたことは、分子設計のバリエーションを拡げ、より高効率な電解質の探索を可能とするものである。

成果5 研究開発項目⑤:「低障壁イオン伝導固体高分子電解質の合成と伝導度評価」

<内容>

成果1で得られた各種モノマーと、様々な種類のコモノマーとの間での共重合により、側鎖官能基間距離を変化させたポリマーの合成法を確立した。得られた各種共重合体のイオン伝導度と温度依存性の測定、固体 NMR 測定による運動性評価を行った。また、高分子固体電解質のイオン伝導度測定の結果、 30°C において 0.5 mS/cm 、活性化エネルギー 7 kcal/mol を示す系を見出した。

<成果の意義>

様々な共重合体を合成し、その物性を理解することで、エネルギー障壁や伝導性と分子構造の関係を明らかにし、最適な分子構造の設計指針を得る事ができるようになる。ここでの情報は 21 年度に予定する試作セルの作製上極めて重要な知見を与えるものである。

成果6 研究開発項目⑥:「電極活物質の探索」

<内容>

低障壁固体高分子電解質を評価するための測定系の構築を行った。また、電解質評価に最適な電極活物質作製法について、それらの評価方法を策定した。

<成果の意義>

固体高分子電解質を用いたリチウムイオン二次電池では、固体電解質と電極活物質の接触が再大の問題となる。本成果は固体高分子電解質を用いた試作セルを作製する上での最も基礎且つ重要な技術である。

6. 成果の普及

講演発表13件

発表年月日	発表媒体	発表タイトル
2007年3月26日	日本化学会第86春季年会(口頭)	ピリミジル基を有する低障壁イオン伝導性高分子電解質の合成と性質
2007年3月26日	日本化学会第86春季年会(口頭)	固体NMRによる低障壁イオン伝導性高分子電解質の解析
2007年9月	第56回高分子討論会(ポスター)	ピリミジル基を有する低障壁イオン伝導性高分子電解質
2008年3月	日本化学会第87春季年会(口頭)	ピリジル/ピリミジル基を有する低障壁イオン伝導性高分子電解質におけるピリジル/ピリミジル置換位置の影響
2008年3月	日本化学会第87春季年会(口頭)	フェニレン骨格を有するポリアミドの合成とイオン伝導性
2009年3月	日本化学会第88春季年会(口頭)	側鎖にピリミジル誘導体を有する低障壁イオン伝導性高分子電解質の電気化学的および熱的安定性
2009年9月	第58高分子討論会(ポスター)	新規低障壁固体高分子電解質の合成と評価
2009年9月	第58高分子討論会(ポスター)	チオアミド基を有する低障壁イオン伝導性高分子電解質の合成と電気化学特性
2009年9月	第58高分子討論会(ポスター)	主鎖にアミド結合を持つ側鎖回転型リチウムイオン伝導性高分子電解質の合成と性質
2009年10月	216 th ECS Meeting(ポスター)	Synthesis and electrochemical properties of low-barrier ion conductive polymer electrolytes having thioamide group
2009年10月	216 th ECS Meeting(ポスター)	Synthesis and evaluation of the side-chain structure of novel low-barrier ion conductive solid polymer

2009年10月 216th ECS Meeting (ポスター) Novel Side-chain Rotating Polymer Electrolytes Having
an Amide Group in the Main Chain

2010年3月 日本化学会第89春季年会(口頭) 新しい配位サイトを有する低障壁イオン伝導性高分子電
解質の開発

7. 課題と今後の取組

イオン伝導度、エネルギー障壁ともに目標値の80%以上を達成したが、イオン伝導度とエネルギー障壁との間はトレードオフの関係になりがちである事が判明した。すなわち、安易な伝導度向上策(フレキシブルさの導入によるT_gの低減等)はエネルギー障壁の増加をもたらす。特に高分子主鎖の柔軟性はエネルギー障壁の値に大きく影響する。高温から低温まで、安定した動作を保証する電池の実現のためには、低いエネルギー障壁を保ったまま、イオン伝導度を向上させる必要がある。

そのためには、リチウムイオンの授受を単結合回転運動のみで効率よく実現するために、配位官能基の配置を最適化する事が重要であると考えられる。その方策として、主鎖の柔軟性を増大させない剛直な構造を持つモノマーとの共重合、或いは回転部分を側鎖ではなく、主鎖上に配置することで剛直性を保持させることが重要となる。

また、本研究のような高分子固体電解質では、実電池を組んだ場合、電極活物質と電解質の接合が問題となる。電極活物質は充放電と共に大きな体積変化を示す。電解液の場合は流動性の存在から、電極活物質の体積変化に追従できるが、固体高分子の場合は積極的な接合の確保が必須となる。

8. 実用化・事業化の見通し

本研究により、高温から低温までの広い領域で安定な性能を示す電池の実現が可能となる。実電池として使用可能となるためのキーポイントは、電極活物質との接合が最も重要な要素であると考えている。この点は、高分子電解質とバインダーの相溶を分子論的に捉え開発を行うことで、解決可能であり、実用化の可能性は高いと判断される。

本電解質は電解液に比べて難燃性が高く、近年問題となっているリチウムイオン電池による発火事故のリスク低減化を実現でき、急務とされるリチウムイオン二次電池の安全性確保に寄与するものである。

また、本電解質を用いた電池が実現した場合、その低温特性の良さから、極地方や高山、深海、宇宙空間等厳しい環境条件下での二次電池の運用を、特段の温度維持の努力をすること無く可能にすることから、二次電池の新しい使用局面の開拓を可能にする。

以上のことから、本電解質の実電池への応用は、社会への大きな波及効果を持つと考えられる。

以上

⑦高イオン伝導ネットワークチャンネルによる安全なリチウムイオン二次電池の研究開発の研究 開発（鶴岡高専、京都大学）

1. 研究開発の概要

1.1 事業の目的

リチウムイオン電池は高エネルギー密度で、系統連係円滑化に適した蓄電システムと考えられるが、電解質に引火性の有機溶媒を使用するため、安全性の観点からは最良の蓄電デバイスとは言い難い。有機溶媒を使用しない固体ポリマー電池の開発が継続しているが、実用的性能を有する固体ポリマー電池は得られていない。これらの問題を解決するために、本研究では新しいコンセプトの難燃型イオンチャンネルポリマー電解質の創製を目指す。

表面開始リビングラジカル重合法(LRP)を用いて、シリカ微粒子上でイオン液体モノマーを重合し、難燃性のイオン液体ポリマーブラシを形成する。得られるシリカ/ポリマーブラシ複合体(SiP)は、少量のイオン液体中で、ブラシ鎖の立体斥力により三次元配列した疑似コロイド結晶を形成する。高い分子運動性を有するブラシ末端は連続したイオン伝導ネットワークチャンネルを形成すると考えられ、この疑似コロイド結晶を固体化出来れば、不燃性を生かしながらイオン伝導性に優れるポリマー電解質が開発出来る。

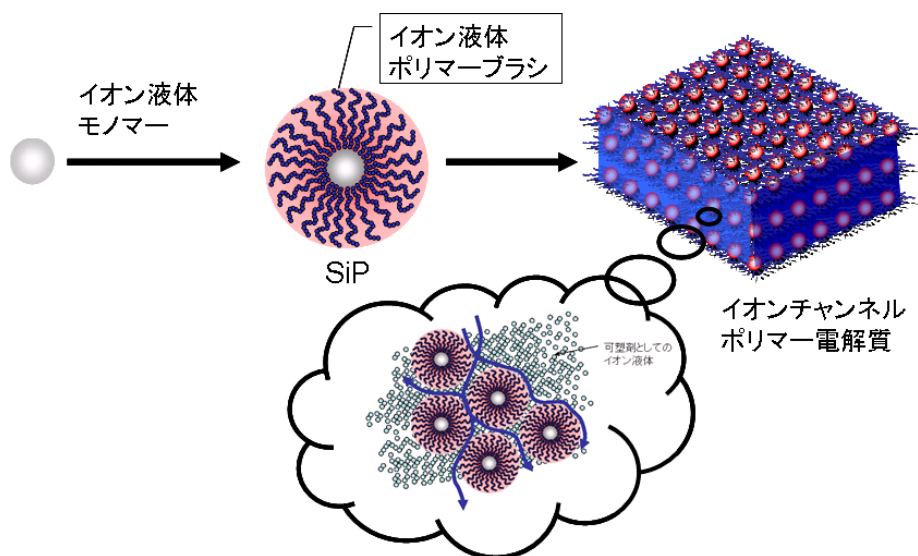


図1. 新コンセプトイオンチャンネルポリマー電解質

本研究では、固体イオンチャンネルポリマー電解質(図1)の合成とその物理化学特性解明を行うと同時に、世界で初めての新概念電解質を用いた安全性と充放電性能に優れるリチウムイオン電池を開発することを目的とする。

1.2 事業概要

佐藤(鶴岡高専)らは、イオン液体のカチオン分子内に重合性の置換基を導入したイオン液体モノマー(DEMM-TFSI)を新規に合成した。イオン液体モノマーはラジカル重合により、高い耐熱性と難燃性を持ったイオン伝導性ポリマーとなる。ポリマー高次構造の精密制御技術確立することで、高い安全性と優れた電池特性を担う次世代ポリマー電解質の実用化が可能と考えた。

一方、辻井(京大)らは、リビングラジカル重合(LRP)を応用した高密度精密グラフト重合により、長さの揃ったグラフト鎖からなる濃厚ポリマーブラシの合成に世界に先駆けて成功するとともに、濃厚ブラシ中の柔軟な高分子鎖が、良溶媒中で伸び切り鎖に匹敵するほど高度に伸張配向するという驚くべき事実を発見した。さらに、濃厚ブラシは大きな圧縮抵抗を示す一方で、高加重下でも低い摩擦係数を与えるなど従来の(準希薄)ポリマーブラシの単なる延長線上には無い、独自で全く新しい機能を発現することが明らかになってきている。

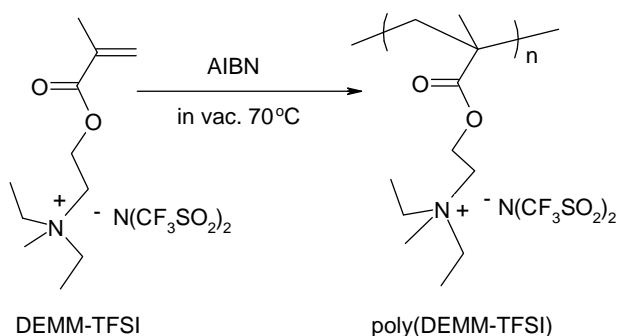


図 1. DEMM-TFSI のラジカル重合

本研究は申請者ら両グループの研究成果を組み合わせ、単分散シリカ微粒子上での表面開始リビングラジカル重合(LRP)技術をイオン液体性モノマー(DEMM-TFSI)に適用して、シリカ微粒子上に分子鎖長の揃ったイオン液体濃厚ポリマーブラシを形成する。シリカ/ポリマーブラシ複合体は少量のイオン液体中で、分子鎖長ほぼ等長のブラシ鎖の立体斥力により三次元配列した擬似コロイド結晶を形成する。高い分子運動性を有するブラシ末端は、コロイド結晶間隙と相まって連続したイオン伝導ネットワークチャネルを形成し、極めて高いイオン伝導性の実現が期待できる。「コロイド結晶中に形成される高分子運動性のイオンチャネルを利用してリチウムイオンを高速に移動させる」という世界初の試みである。

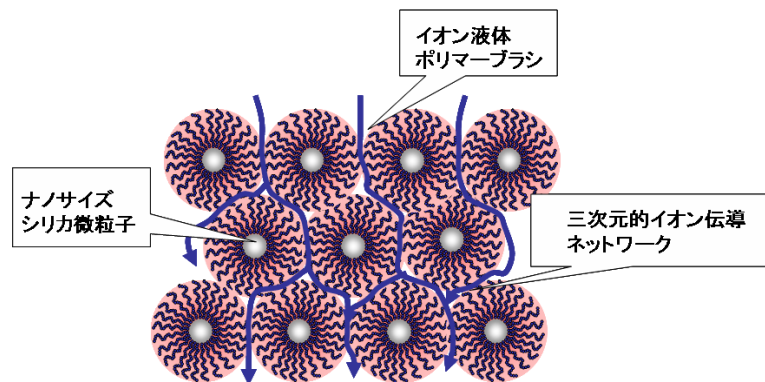


図2. 高イオン伝導ネットワークチャンネルの概念図

イオン伝導性は形成されるイオンチャンネルドメインサイズ(ICDS)により変化すると考えられる。従ってICDSを制御可能な LRP 条件を明らかにし、ICDS とイオン伝導性の相関を明確化する。本研究は、イオン液体、イオン液体ポリマー、シリカ微粒子の三部材から期待される難燃特性に加えて、高度に発達したイオン伝導ネットワークチャンネルの活用により、安全性が高く、大電流充放電性能に優れるリチウムイオン電池の開発を最終目的としている。目的達成の為以下に6点の研究開発項目を設定した。

① イオン伝導ネットワークチャンネル構造の精密制御(鶴岡高専・京都大学)

イオン伝導性の高いポリマー電解質創製のためには、イオン伝導を担うポリマーの高次構造制御は必須事項である。そこで先ず、イオン液体モノマーの LRP 特性を明らかにする。すなわち狭い分子量分布を保持したまま数平均分子量を精密制御して、シリカ微粒子上に望んだ分子鎖長のイオン液体ポリマーブラシを形成する技術を確認する。ブラシ鎖長(数十 nm～数百 nm の範囲)と分散媒体であるイオン液体分率の制御により、電解質中に広がるイオン伝導ネットワークチャンネルの構造を制御する。複合微粒子の形成する擬似コロイド結晶の構造解析を通して、3次元配列(チャンネル)構造とイオン伝導特性の関連を詳細に検討し、イオンチャンネルポリマー電解質の設計指針を得る。

② コロイド結晶の固体化膜開発(鶴岡高専・京都大学)

複合微粒子(SiP)の形成する擬似コロイド結晶を固体化して、高い機械強度を有するイオンチャンネルポリマー電解質膜を得る。工業化可能な簡便、低コスト固体化法を開発し、実用的な強度を持つイオンチャンネルポリマー電解質膜の合成を目指す。

③ イオンチャンネルポリマー電解質の電気化学的評価(鶴岡高専)

上記②で得られるポリマー電解質のイオン伝導性の温度依存性、耐電圧特性などを評価する。

④ リチウムイオン電池系への適用(鶴岡高専)

本研究では、イオンチャンネルポリマー電解質を適用したリチウムイオン電池を試作し、従来報告のあるイオン液体ゲル系電解質と性能比較を実施する。

⑤ イオンチャンネルポリマー電解質の最適化(鶴岡高専・京都大学)

イオンチャンネルポリマー電解質のイオン伝導性の更なる向上の為に、ポリマー電解質内でのリチウムイオン拡散係数を Pulse field gradient NMR 法により評価して、イオン伝導度が最大となる電解質並びにポリマーブラシ構造の設計とこれを実現する重合条件を確立する。さらに新規開発の可逆連鎖移動触媒重合法を用いて、イオン液体モノマーの高密度・精密グラフト重合を達成し、触媒残留金属フリーのイオンチャンネルポリマー電解質を合成する。

⑥ 難燃型リチウムポリマー電池設計、試作と評価(鶴岡高専・京都大学)

難燃性(安全性)と実用性能を両立したポリマー電池を開発するために、セパレータとして機能する最薄のイオンチャンネルポリマー電解質膜の製膜方法を開発すると同時にイオンチャンネルポリマー電解質に適した電極材料の選定と電極/電解質複合体の構造設計を行う。試作電池(電池容量=200mAh/cell)を作製し、実用性を評価する。目標性能 [容量維持率 90%(@3C 放電時 vs. 0.1C 放電容量)]をクリア出来る電池設計試作を行う。

本研究で開発されたイオンチャンネルポリマー電解質の事業化には効率の良い工業的生産プロセスの確立が不可欠である。ポリマーの製造コストをミニマイズ出来る製造プロセス開発と製造コストの試算を行う。

1.3 実施スケジュールと予算

主な実施項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	
①イオン伝導ネットワークチャンネル構造の精密制御		→				
②コロイド結晶の固体化膜開発		→				
③イオンチャンネルポリマー電解質の電気化学的評価		→				
④リチウムイオン電池系への適用		→				
⑤イオンチャンネルポリマー電解質の最適化			→	→		
⑥難燃型リチウムポリマー電池設計、試作と評価			→	→		
	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
開発費用(百万円)	0.0	17.2	60.8	33.8	0.0	111.8

2. 研究開発の目標

① イオン伝導ネットワークチャンネル構造の精密制御(鶴岡高専・京都大学)

重合性基を有するイオン液体(以下イオン液体モノマーと称す)のリビングラジカル重合特性を明らかにし、単分散シリカ微粒子上に高密度にイオン液体ポリマーブラシを付与しポリマーブラシ・シリカ複合微粒子(SiP)を合成する。

② コロイド結晶の固体化膜開発(鶴岡高専・京都大学)

上記の SiP を三次元的に配列したイオンチャンネルポリマー電解質膜(固体)を開発する。

③ イオンチャンネルポリマー電解質の電気化学的評価(鶴岡高専)

上記で得られるイオンチャンネル型ポリマー電解質(ICPE)の電気化学特性を明らかにする。

④ リチウムイオン電池系への適用(鶴岡高専)

イオンチャンネルポリマー電解質を適用したリチウムイオン電池を試作し、その性能をセルにて実証する。

⑤ イオンチャンネルポリマー電解質の最適化(鶴岡高専・京都大学)

⑤-1:電解質組成の最適化[鶴岡高専]

ポリマー電解質の最適組成を探索し、固体状態でイオン伝導性(@30°C)>1mS/cm をクリアする。

⑤-2: 可逆連鎖移動触媒重合によるイオンチャンネルポリマー電解質合成[京都大学]

イオン液体モノマーの高密度・精密グラフト重合を達成し、触媒金属フリーのイオンチャンネルポリマー電解質を合成する。

⑤-3:ポリマーブラシの分子設計によるイオン伝導性向上[京都大学]

ブラシの分子設計に改良を加え、イオン伝導性を向上する。

⑤-4:新設計ポリマーブラシイオンチャンネルポリマー電解質の合成と評価[鶴岡高専]

新設計のポリマーブラシを有する SiP を用いたイオンチャンネルポリマー電解質を合成する。固体状態でイオン伝導性(@30°C)>2mS/cm をクリアする。

⑥:「難燃型リチウムポリマー電池設計、試作と評価」

⑥-1:電池設計、試作、評価[鶴岡高専]

200mAh/cell 容量の電池を設計・試作する。目標性能:200mAh/cell で、容量維持率 90%(@3C 放電時 vs. 0.1C 放電容量)

⑥-2:イオンチャンネルポリマー電解質の薄膜化[京都大学]

膜厚<50 μm のイオンチャンネルポリマー電解質薄膜を合成する。

⑥-3:イオンチャンネルポリマー電解質の工業的製造プロセス開発と製造コスト試算 [鶴岡高専・京都大学]

工業生産可能なプロセスを開発し、製造コスト試算を終了する。

(想定条件・根拠)

- イオン液体にリチウム塩を溶解するとイオン伝導性が低下することが知られている。これはイオン液体とリチウム塩の相互作用により、嵩高いクラスタ構造が生成し、その結果イオン移動性が大きく低下するためと予想されている。しかしこの現象は、イオンチャンネルポリマー電解質系では生じない。イオン液体バルク中と濃厚ポリマーブラシ内ではリチウムイオンの溶媒和の状態が大きく異なっていると予想できる。濃厚ブラシが Li イオン移動のダイナミクスに与える影響を Pulse field gradient NMR 法を用いて評価し、固体状態でイオン液体同等のイオン伝導性を達成する。目標値は、イオン伝導性(@30°C) > 1mS/cm とした。
- 銅錯体を触媒とするリビングラジカル重合により、イオンチャンネルポリマー電解質の合成手法を確立したが、長期作動においては触媒残渣が電池性能に悪影響を及ぼすことが危惧される。非金属、高活性の新規開発の可逆移動触媒重合法を用いて、イオン液体モノマーの高密度・精密グラフト重合を達成し、触媒金属フリーのイオンチャンネルポリマー電解質を合成する。
- 本研究で開発されたイオンチャンネルポリマー電解質の実用性能を評価するために電池試作と性能評価を行う。開発項目⑤を達成したポリマーを薄膜化し、難燃型の固体ポリマー電池の実用性能を明らかにする。
- 新ポリマー電解質の事業化に向けて、化学品製造企業と協力体制を構築する必要がある。提携先を探索し、基礎技術の移転を行う。
- イオン伝導度が最大となるポリマーブラシ構造の設計とこれを実現する重合条件を探索する。リチウムイオンとイオン液体の相互作用によるイオン伝導性の低下現象を効率良く抑制出来るブラシの分子設計を行い、固体状態でのイオン伝導性 (@30°C) > 2mS/cm を達成する。
- 更なる電解質膜の薄膜化を達成することにより電池の出力特性を向上させ、実用的な性能を有する電池を設計・試作し、電池製造会社に技術移転する。事業化に必要な製造プロセスを確立し、新ポリマー電解質の工業化を達成するため、まずは製造コスト試算を行う。

3. 研究開発の成果

項目	目標値	達成度(終了時)
①イオン伝導ネットワーク チャンネル構造の精密 制御	イオン液体モノマーのリビング ラジカル重合法確立と SiP 合 成.	100% リビングラジカル重合法確立. SiP 合成法確立
②コロイド結晶の固体化膜 開発	イオンチャンネルの固定化法 確立. イオン伝導性 >0.5mS/cm@30°C	90% イオンチャンネルポリマー電解質(固体)の開 発に成功. 従来型ポリマーより二桁高いイオン 伝導性を達成. イオン伝導性は、0.17mS/cm であった。
③ポリマー電解質のリチウ ムイオン電池への適用	試作と初期評価を実施	70%, 1スタック型ポリマー電池を試作、新規のイオン チャンネルポリマー電解質がリチウムイオン電 池用電解質として機能することを確認した。設 計容量の 70%放電を確認した。更なるイオン伝 導性の向上あるいは薄膜化が必要であること が明らかとなった。
④イオンチャンネルポリマ ー電解質の最適化	イオン伝導性>1.0 mS/cm @ 30°C 非金属触媒での SiP 合成の 達成	90% 磁場勾配NMRにより、ポリマー電解質内での リチウムイオン拡散を評価した。当該ポリマー マトリクス内の Li イオン拡散はイオン液体中より 大きな値を示すことを見出した。 新規非金属触媒の開発に成功し、触媒金属 残渣の無いポリマー電解質の開発に成功し た。
⑤難燃型リチウムポリマー 電池設計、試作と評価	電解質膜厚<150 μ m. 電極理 論容量の 70%以上放電可能 電池試作	100% イオンチャンネルポリマー電解質を用いたバイ ポーラ型高電圧リチウムイオン電池を設計試 作し、5V 駆動電気二重層キャパシタと 3<->6V 駆動のリチウムイオン電池にて性能実証を行 った。

【主な成果】

- 1) 合成法の確立:ポリマー固体内に高イオン伝導性のイオンチャンネルを形成した全く新しいコンセプトの『難燃性イオンチャンネルポリマー電解質(ICPE)』の合成法を確立。

(内容)イオン伝導ネットワークチャンネル構造の精密制御:表面開始リビングラジカル重合法(LRP)を用いて、シリカ微粒子上でイオン液体モノマーを重合し、シリカ/ポリマーブラシ複合体(SiP)を得る。これまでにイオン液体モノマーのリビングラジカル重合特性を明らかにし、SiPの合成に成功した。SiPがイオン液体中で疑似コロイド結晶を形成し、高いイオン伝導性を持つことを確認した。

(達成度)100%

(成果の意義)世界で始めてイオン液体ポリマー型SiPが合成された。SiPが作るイオンチャンネルの存在が確認出来、新しいイオン伝導のコンセプトを実証した。

- 2) 電解質の物理化学特性評価:ICPEが従来の固体ポリマー電解質より2桁程度高いイオン伝導性(0.17mS/cm@30°C)を示すことを確認。磁場勾配NMRにより、ICPE固体中のLi⁺移動性がイオン液体中より高いことが分かった。

(内容)イオン液体ポリマーブラシ・シリカ複合微粒子を三次元配列固体化する方法を開発した。得られたポリマー膜は高いイオン伝導性を示すことを明らかにした。

(達成度)100%

(成果の意義)実用可能な伝導性と機械強度を有する難燃型ポリマー電解質が開発できた。固体化することによって液体電解質より優れた性能を示す電解質となる。ブラシ場の新しい機能が見出された。

- 3) 非金属触媒合成法確立:炭素化合物を触媒とする可逆移動触媒重合(RTCP)によりイオン液体モノマーのリビングラジカル重合を確立。さらにブロックポリマーの合成にも成功した。

(内容)ポリマー電解質合成の為に新触媒開発で触媒残留金属フリーのイオンチャンネルポリマー電解質合成が可能となった。高活性の新規開発の可逆移動触媒重合法を用いて汎用モノマーの重合に成功した。

(達成度)100%

(成果の意義)銅錯体を触媒としてイオンチャンネルポリマー電解質の合成手法を確立したが、長期作動においては触媒残渣が電池性能に悪影響を及ぼすことが危惧された。しかしながら、新しい触媒の開発により、触媒金属フリーのイオンチャンネルポリマー電解質が合成可能となり、電池の性能向上に貢献できる。

- 4) ICPE がリチウムイオン電池用電解質として機能することをセルにて確認した。試作セルでは設計容量の70%放電を確認した。
- (内容)ICPE を用いてリチウムイオン電池を設計、試作し、ポリマー電解質の性能をセルにて実証した。
- (達成度)70%
- (成果の意義) 実用可能な伝導性と機械強度を有する難燃型ポリマー電解質が開発できた。固体化することによって液体電解質より優れた性能を示す電解質となる。ブラシ場の新しい機能が見出された。
- 5) ナノディップコーティング法で厚さ10 μ m以下のICPE製膜法を確立した。また多孔質膜セパレータを用いることなく、ICPEのみを用いるセル設計が可能であることを電気二重層キャパシタ(EDLC)及びリチウムイオン(LIB)セルで確認した。
- (内容) 電解質の薄膜化の成功により、従来用いられている多孔質セパレータレスの電池設計が可能となった。
- (達成度)100%
- (成果の意義) 多孔質膜セパレータ不使用で10%以上のコストカットが可能。漏液の無い薄膜固体電解質の利用でバイポーラセル設計が可能となり、セル電圧の向上による電源の大幅なコストダウンが可能となる。
- 6) ICPEの電極上薄膜成形法を開発した。この方法で表裏に正負極を配したバイポーラ電極上にICPEを形成し、5V-EDLCと3V-6V駆動リチウムポリマー電池を試作。高電圧電気化学デバイスを試作し、機能の実証確認を終えた。
- (内容) 裏表に正負極を有するバイポーラ電極とICPEを交互に積層し、1セル内に直列接続された複数の単電池を有するバイポーラ型電池を設計、試作し、ポリマー電解質の性能を実証した。
- (達成度)100%
- (成果の意義) 漏液の無い薄膜固体電解質の利用でバイポーラセル設計が可能となり、セル電圧の向上による電源の大幅なコストダウンが可能となる。
- 7) イオン液体モノマー(数十kg/ロット)、PSiP(数百g/ロット)の工業生産プロセスを確立し、製造コスト試算を実施した。
- (内容)ICPEの事業化(工業的生産)に必要なイオン液体モノマー、SiPの工業的生産プロセスの概略

が決定出来た。

(達成度)100%

(成果の意義)ポリマー電解質製造のパートナーが選定され事業化に近づいた。

4. 成果の普及

(特許)

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2007年9月3日	特願 2007-227782	イオン液体ポリマー複合微粒子を用いた高分子固体電解質	京都大学、鶴岡工業高等専門学校
2008年5月9日	特願 2008-123817	アルコールを触媒として用いた新規リビングラジカル重合法	京都大学
2008年9月8日	特願 2008-230334	炭素化合物を触媒として用いた新規リビングラジカル重合法	京都大学
2009年10月21日	特願 2009-242879 WO2011/049113	ポリマー複合微粒子を用いた高分子固体電解質を用いた電気化学デバイス	京都大学、鶴岡工業高等専門学校

(講演・発表)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2007年5月30日	高分子学会年次大会	高密度ポリマーブラシを利用したイオン伝導ネットワークの創製	成富拓也、佐藤貴哉、辻井敬亘、福田猛
2007年5月30日	高分子学会年次大会	イオン液体型濃厚ポリマーブラシの合成と物性評価	岡安賢治、大野工司、辻井敬亘、福田猛、成富拓也、佐藤貴哉
2007年9月20日	高分子討論会	高密度ポリマーブラシイオン伝導ネットワークの電解質への応用	成富拓也、丸金祥子、佐藤貴哉、辻井敬亘、福田猛

2007年9月20日	高分子討論会	濃厚ポリマーブラシを付与した無機微粒子の合成と応用	大野工司、森永隆志、辻井敬亘、福田 猛
2007年10月27日	繊維学会秋季研究発表会	高密度ポリマーブラシイオン伝導ネットワークの電解質への応用	冨 拓也、丸金 祥子、佐藤 貴哉、辻井 敬亘、福田 猛
2008年6月19日	繊維学会年次大会	イオン液体ポリマー/シリカ複合微粒子の合成とそのイオン伝導性	八木佑介、成 冨拓也、森永隆志、佐藤貴哉、辻井敬亘、福田猛
2008年5月28-30日	第57回高分子学会年次大会	準ソフト系コロイド結晶の創製・構造解析・固定化	大野工司、森永隆志、辻井敬亘、福田 猛
2008年9月22-26日	International Conference on Advanced Functional Polymers and Self-Organized Materials 2008 (IC-PSM08)	Novel Properties of Concentrated Polymer Brushes	辻井敬亘、大野工司、後藤 淳、福田 猛
2008年9月24-26日	第57回高分子討論会	リビングラジカル重合法による精密表面改質	辻井敬亘
2008年9月24-26日	第57回高分子討論会	アルコールおよび炭化水素を触媒とするリビングラジカル重合ー可逆移動触媒重合	長澤浩司、後藤 淳、辻井敬亘、福田 猛
2008年12月9-13日	The IUMRS International	Synthesis, Structure/Properties, and	辻井敬亘、大野工司、後藤 淳、福田

	Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008)	Functions of Concentrated Polymer Brushes	猛
2009年1月29-30日	平成20年度東 海シンポジウム	濃厚ポリマーブラシの構造と 物性・機能	辻井敬亘
2009年3月16-18日	第119回講演大 会	濃厚ポリマーブラシによる低 摩擦表面	辻井敬亘
2009年5月27日	第58回高分子学 会年次大会	イオン液体モノマーのリビン グラジカル重合と高イオン伝 導性高分子電解質膜への 応用	五十嵐辰也・丸金 祥子・森永隆志・ 佐藤貴哉、大野 工司、辻井敬亘、 福田猛
2009年5月27日	第58回高分子学 会年次大会	イオン液体モノマーのリビン グラジカル重合によるハイパ ーブランチ構造イオン液体 ポリマーの合成	石塚竹生、森永 隆志、佐藤貴哉、 大野工司、辻井 敬亘、福田猛
2009年7月29日	機能性材料分科 会	濃厚ポリマーブラシの基礎と 応用	辻井敬亘
2009年8月7日	全国高専テクノ フォーラム	新しいコンセプトの難燃型ポ リマー電解質を開発	佐藤貴哉
2009年9月17日	第58回高分子討 論会	イオン液体ポリマー/シリカ 複合微粒子の合成と高イオ ン伝導性高分子電解質膜へ の応用	五十嵐辰也、丸金 祥子、森永隆志、 佐藤貴哉、大野工 司、辻井敬亘、福 田猛

2009年9月17日	第58回高分子討論会	炭素化合物を触媒として用いたリビングラジカル重合ー可逆移動触媒重合	新城綾香、長澤浩司、後藤 淳、辻井敬亘、福田 猛
2009年9月22-23日	NSYU-KU Bilateral Symposium on Materials Chemistry	New Development of Concentrated Polymer Brushes as Novel Interfaces	辻井敬亘
2009年11月11日	第24回高分子エレクトロニクス研究会講座	イオン液体と電気二重層キャパシタ	佐藤貴哉
2010年1月23日	第15回高専シンポジウム	環状ジアンモニウム塩を電解質とした電気二重層キャパシタの特性	大矢康太、佐藤貴哉、丸金祥子、森永隆志
2010年1月23日	第15回高専シンポジウム	イオン液体ポリマー/シリカ複合微粒子の合成とそのポリマー電解質への応用	五十嵐辰也、丸金祥子、森永隆志、佐藤貴哉

(論文)

1. T. Sato, S. Marukane, T. Narutomi, T. Akao, "High Rate Performance of a Lithium Ion battery using a novel ionic liquid polymer composite" *J. Power Sources* **164**, 390-396 (2007).
2. K. Ohno, T. Morinaga, S. Takeno, Y. Tsujii, T. Fukuda, "Suspensions of Silica Particles Grafted with Concentrated Polymer Brush: Effects of Graft Chain Length on Brush Layer Thickness and Colloidal Crystallization" *Macromolecules* **40**, 9143-9150 (2007).
3. T. Morinaga, K. Ohno, Y. Tsujii, T. Fukuda, "Structural Analysis of "Semisoft" Colloidal Crystals by Confocal Laser Scanning Microscopy" *Macromolecules* **41**, 3620-3626 (2008).
4. Living Radical Polymerization with Nitrogen Catalyst: Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization with N-iodosuccinimide *Macromolecules*

5. Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP): A New Class of Living Radical Polymerization *Polymer* (Feature Article)
6. Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) with Alcohol Catalysts *ACS Symp. Ser.*, **1023**, 159–168 (2009)
7. Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) Using In Situ Formed Alkyl Iodide *Aust. J. Chem.*, **62**, 1492–1495 (2009).
8. Use of Alcohol as Initiator for Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerization (RTCP) *Macromol. React. Eng.*, **4**, 272–277 (2010).
9. T. Sato, T. Morinaga, S. Marukane, T. Narutomi, T. Igarashi, Y. Kawano, K. Ohno, T. Fukuda, Y. Tsujii, “Novel solid-state polymer electrolyte of colloidal crystal decorated with ionic-liquid polymer brush”, *Advanced Materials*, submitted.
10. K. Ohno, Y. Kayama, V. Ladmiral, T. Fukuda, Y. Tsujii, “A Versatile Method of Initiator Fixation for Surface-Initiated Living Radical Polymerization on Polymeric Substrates”, *Macromolecules*, **43**, 5569–5574 (2010).
11. A. Goto, T. Wakada, T. Fukuda, Y. Tsujii, “A Systematic Kinetic Study in Reversible Chain Transfer Catalyzed Polymerizations (RTCPs) with Germanium, Tin, Phosphorus, and Nitrogen Catalysts”, *Macromolecular Chemistry and Physics*, **211**, 594–600 (2010).

5. 目的に照らした達成状況

本プロジェクトで開発のイオンチャンネルポリマー電解質が、高電圧蓄電デバイスの電解質として有望であることをセルにて実証した。開発したデバイスは任意の高電圧が取り出せるという利点に加えて、一体構造でセル環境が均一であるため、セル電圧均等化回路が大幅に低減できる可能性がある。性能向上とコストダウンの両立が可能となる。電解質自体のイオン伝導性の更なる向上と、膜強度の向上、電解質膜の工業生産プロセス確立が今後の課題となる。

6. 実用化・事業化の見通し

本研究プロジェクトで、電池用セパレータとして機能し得る膜強度、保液性、イオン伝導性を有し、電池製造プロセスに要求される熱可塑性と可撓性を有する難燃型固体ポリマー電解質を開発した。このポリマー電解質は、ポリマーマトリクス内にリチウムイオンの移動に適したイオンチャンネルを有する世界で初めてのコンセプトに基づく有機・無機ハイブリッド電解質である。電解質膜の実用性は、リチウムイオン電池なら

びに電気二重層キャパシタの試作セルによって確認された。

プロジェクトの進展に伴い、イオン液体モノマーのリビングラジカル重合特性が明らかになった。加えて世界初の可逆連鎖移動触媒重合法がイオン液体モノマーにも適用可能であることが示された。濃厚ブラシ場のイオン移動に与える効果が明らかとなるなど多くの学術的な成果が得られた。本研究で開発されたイオンチャンネルポリマー電解質の事業化に必要な電解質の工業的生産プロセスを確立した。

大目標『2030年に電池コストを当初レベル3万円/kWh(18650型セル)から1.5万円/kWhに削減、電池寿命を20年まで延伸』に対して、本開発のポリマー電解質の利用で、セパレータレス設計、プラスチックケース使用、活物質のコストダウン、安全装置の簡略化により部材コストの約50%削減が可能と試算出来る。高電圧セルの開発成功で、電源周り部材や制御回路の簡略化で大幅なコストダウンが可能となるので、コスト目標は容易に達成可能と予測できた。

難燃性固体の電解質を用いることで、寿命と安全性能を切り離すことが可能となる。安全と信頼性の低下による電池寿命の終了を考える必要がなくなるため、総合的な電池寿命は延びると予想出来た。高電圧セルでは充放電の電流値を小さくできるのでジュール熱による劣化も低減できると考えられた。

以上

3) 共通基盤研究

共通基盤研究（株式会社三菱総合研究所、財団法人電力中央研究所）

1. 事業の目的

系統連系円滑化蓄電システム技術開発（以下、本プロジェクト）で開発する3種の蓄電技術のコスト、寿命、安全性、性能の4つの項目について詳細な調査を行いながら、蓄電技術開発者と連携してデータの収集や解析を行ない、その評価手法を開発する。

2. 事業概要

本研究では、平成18年度に実施された基礎調査（三菱総合研究所が平成18年度に実施した「系統連系円滑化蓄電システム技術開発／共通基盤研究に関する基礎調査」、以下同じ）の結果を踏まえ、コスト、寿命、安全性、性能の4つの項目について更に詳細な調査を行いながら、蓄電技術開発者と連携してデータの収集や解析を行なって各種蓄電技術の評価手法を開発する。

コストについては、コスト算出の範囲やその算出方法について検討し、蓄電システムとしてのコスト評価手法を開発する。また、寿命については、風力や太陽光発電の出力変動を安定化する蓄電システムの運用を考慮した寿命試験パターンや小型セル等での加速劣化試験による寿命推定手法などを検討し、蓄電技術の寿命評価手法を開発する。さらに、安全性および性能については、既存の規格・基準をベースに必要な評価項目を整理し、その評価手法を提案する。

なお、検討した評価方法については、有識者による専門委員会及びワーキンググループを設置して適宜内容の審議等を行い、専門家の指導、助言を受けるとともに、ワークショップを開催して、ユーザーや電力会社等の外部関連業界の意見を広く取り入れ、その内容を評価方法の検討に役立てる。

3. 研究開発の実施概要、スケジュールと予算

研究開発の推進にあたっては本プロジェクトの開発者(実用化技術開発、要素技術開発、次世代技術開発)と連携し、プロジェクト全体としての横断的な議論を進めつつ開発した評価手法の妥当性を審議するための専門委員会(委員長:東京大学横山明彦教授)及びコスト評価ワーキンググループ(委員長:明星大学伊庭健二教授)、寿命・性能評価ワーキンググループ(委員長:電力テクノシステムズ岩堀徹氏)、安全性評価ワーキング(委員長:群馬大学蔦島真一教授)の3つのワーキンググループを設置した。

専門委員会は全期間で9回、WGは全体で24回実施し、専門家による指導・助言をもとに開発手法を審議し、その熟度を高めた。

加えて、共通基盤研究ワークショップを合計3回実施し、NEDO技術委員会の指針をも踏まえ、開発した手法について、本プロジェクト以外の研究者、開発者、ユーザーにまで範囲を広げて妥当性を検証し、手法に関する合意形成を図った。

図1に研究開発の実施体制を示す。

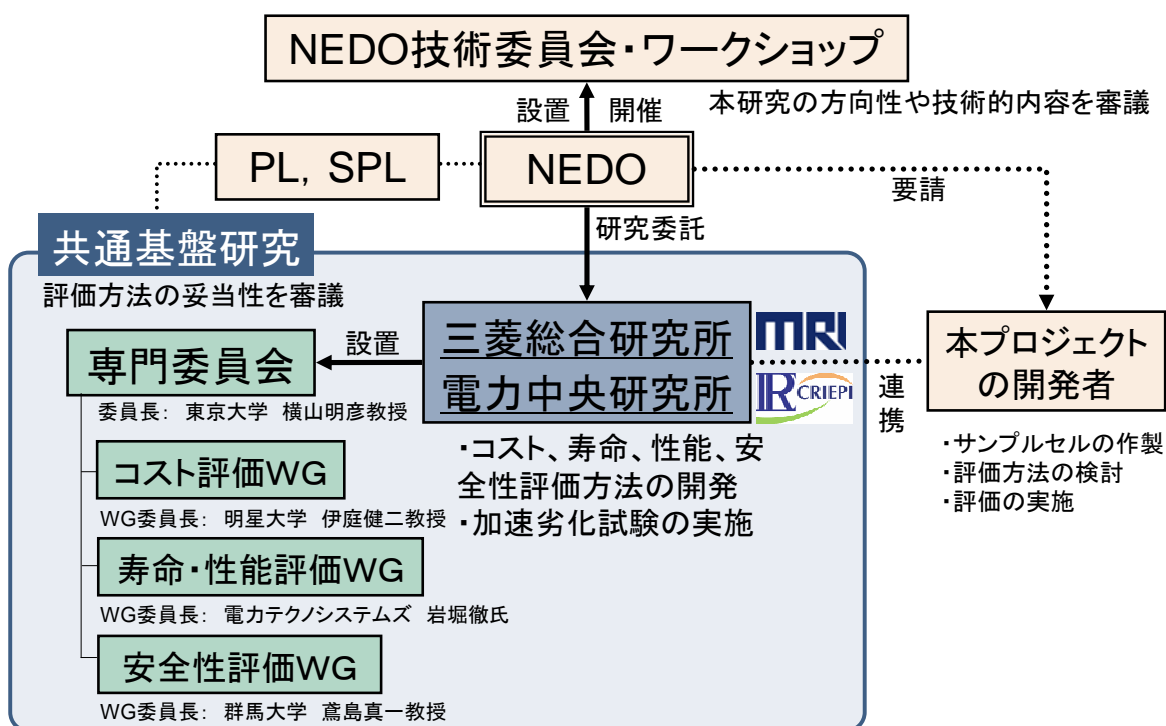


図1 共通基盤研究の実施体制

図2にスケジュールと予算について示す。

図2に示す通り、平成20年度の間年度終了時までにはセルレベルの評価手法開発を、平成22年度までの後半の2年間にモジュール・システムレベルの評価手法開発を実施した。

また、寿命評価手法開発の一部の加速劣化試験においては、平成20年度までは概ね市販セルレベル、平成21年度には最初の開発セルを、平成22年度には最終成果品としての開発セルの加速劣化試験を実施した。

研究開発項目 (開発費用: 百万円)	平成19年度 62.0	平成20年度 307.4	平成21年度 177.6	平成22年度 131.2
①コスト評価方法の開発 ▲:コスト評価WG		セルレベル ▲ ▲ ▲	モジュール・システムレベル ▲ ▲	▲ ▲
②安全性評価方法の検討 ▲:安全性評価WG		セルレベル ▲ ▲ ▲ ▲	モジュール・システムレベル ▲ ▲ ▲	▲ ▲
③性能評価方法の検討 ▲:寿命・性能評価WG		セルレベル ▲ ▲ ▲ ▲	モジュール・システムレベル ▲ ▲	▲ ▲
④寿命評価方法の開発 WGは性能評価に含む		セルレベル	モジュール・システムレベル	
加速劣化試験の実施		市販セル	開発セル I	開発セル II
専門委員会	▲	▲ ▲ ▲ ▲	▲ ▲ ▲	▲ ▲
NEDO技術委員会			▲	▲
ワークショップ		▲ ▲	▲	

図2 共通基盤研究のスケジュールと予算

4. 研究開発目標

(研究開発目標)

蓄電システムの開発目標に掲げられている4つの評価項目、すなわち、コスト・安全性・寿命・性能について、本プロジェクトで開発する蓄電システムを評価するための標準的な評価手法(システムレベル)を開発し、広く社会に周知する。

その際、将来想定される各種蓄電技術を使用した蓄電システムの導入に係る共通的条件を明確にしつつ、量産化に伴うコスト低減、蓄電技術の大型化(MW級を想定)に伴う安全性の確保や寿命・放電率等の要求性能が開発目標を達成しているか否かを評価する手法を開発する。

(想定条件・根拠)

共通基盤研究の最大の目標は、本プロジェクトで開発する蓄電システムの開発目標の達成度を測定するための標準的な評価方法の開発にある。具体的には、コスト・安全性・寿命・性能について、将来想定されるMW級蓄電システムの実運用形態におけるパフォーマンスを評価・確認していくための手法開発と評価環境の整備が最終目標となる。

加えて、本プロジェクト成果が今後社会に広く浸透していくための標準化に向けた足場を築くことが肝要である。

5. 研究開発成果

5.1 研究開発内容と達成状況

表1に各研究課題、研究開発目標に対応する研究開発内容と達成状況を整理して示す。

表1 研究開発内容と達成状況

課題	研究開発目標	研究開発内容と達成状況
①コスト評価方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> セル・モジュール・システムレベルの評価方法の確立 本プロジェクトで開発する蓄電技術への適用 	<ul style="list-style-type: none"> ◎3つのレベルの評価方法を確立し、本プロジェクトで開発する蓄電技術に適用。適用に際し、手引き書(評価手法説明書)を作成。(主な成果1) ☆開発者が共通に利用可能な基盤データを整備。(主な成果2) ☆開発に有用な知見が得られるコスト評価ツールを開発。(主な成果1) ○海外における蓄電システムの潜在需要を推計し、量産効果の妥当性を確認。(主な成果3)
②性能評価方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> セル・モジュール・システムレベルの評価方法の確立 本プロジェクトで開発する蓄電技術への適用 評価環境の整備 	<ul style="list-style-type: none"> ○3つのレベルの評価手法を開発し、本プロジェクトで開発する蓄電技術に適用。 ☆WF やメガソーラー等の実サイトのデータに基づく標準発電パターン、充放電パターンを作成。(主な成果6) ○電中研赤城試験センターにて評価試験を実施。
③寿命評価方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> セル・モジュール・システムレベルの評価方法の確立 本プロジェクトで開発する蓄電技術への適用 	<ul style="list-style-type: none"> ○3つのレベルの評価手法を開発し、本プロジェクトで開発する蓄電技術に適用。(主な成果4, 5) ☆サイクル試験パターン、標準充放電パターン、簡易充放電パターンの3種類を開発。(主な成果6, 7)
加速劣化試験の実施 (③の一部として実施)	<ul style="list-style-type: none"> 加速劣化試験の実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○開発品(セル)を対象に長期(サイクル試験:最大約3000サイクル、保存試験:最大約450日)に渡る寿命試験実施によるデータ取得。(主な成果4) ◎開発品(セル)を対象に標準充放電パターン、簡易充放電パターンによる充放電試験を実施。(開発品への適用可能性を検証。)(主な成果7) ☆温度条件による劣化加速(保存試験)の検証、ルート則の適用検証(主な成果4)
④安全性評価方法の検討	<ul style="list-style-type: none"> セル・モジュール・システムレベルの評価方法の確立 本プロジェクトで開発する蓄電技術への適用 国際認証機関への提案を目指す(提案の基盤を作る) 	<ul style="list-style-type: none"> ○3つのレベルの評価手法を開発し、本プロジェクトで開発する蓄電技術に適用。(主な成果8) ☆手法の妥当性を確認・検証しつつ、利用可能な確認試験を実施。(主な成果8) ○日EU技術ワークショップにて開発手法・アプローチを発表し、IECの標準化活動の日本窓口である電池工業会に、開発手法やプロセスを開示。海外市場を視野に入れ、システムアシュアランス手法の適用方法を確立。(主な成果9)

△～◎:最終目標の範囲内の研究開発内容の達成度, ☆:追加的に達成した研究開発内容

表中には最終目標の範囲内の研究開発内容に加え、追加的に達成した研究開発内容も示している。また、5.2に示す主な成果と対応する項目には成果1～9の番号を併記している。

5.2 主な研究成果

成果1 【コスト評価】コスト評価手法の開発とツール化

(内容)蓄電システムの製造工程や蓄電システム技術開発における開発要素を踏まえ、コスト評価範囲について合意形成を図った(表2)。

次に、新エネ併設の MWh 級蓄電システムの用途を整理し、用途別に標準的なシステム仕様を検討した(表3)。

その仕様をベースに、量産効果を反映し、生産規模に応じた評価(生産拡大によるコスト低減予測)を実現した。

これらをコスト評価ツール(図3)に盛り込み、蓄電システム併設による発電原価の増分や将来予測などの追加機能を実現した。

図4の蓄電システムのコスト試算結果に示す通り、システムレベルで残すと試算結果は、1,000MWh/年製造時でそれぞれ、

- 電力品質対策用(4.8MW-2.5MWh)システム:約 230 百万円(9.1 万円/kWh)
- 下げ代対策用(4.8MW-40MWh)システム:約 1,200 百万円(3.0 万円/kWh)

となり、量産効果を前提とすると、下げ代対策などの蓄電システムの容量が長時間の用途において、システムレベル目標コスト 4 万円/kWh をほぼ見通すことが可能であると確認された。

(達成度)120%(ツール化は追加的な目標達成)

(成果の意義)コスト評価構造についてはこれまでセル、モジュール、システムの各レベルでの共通的な構造が存在せず、同一の土俵でのコスト目標の制定やコスト評価が困難であったが、本研究成果によりそれが可能になった。開発手法のツール化を図ることにより、様々なレベルの開発課題や、部分がシステム全体に及ぼす影響を見通すために有効な成果を得ることができた。

表2 コスト評価範囲の設定

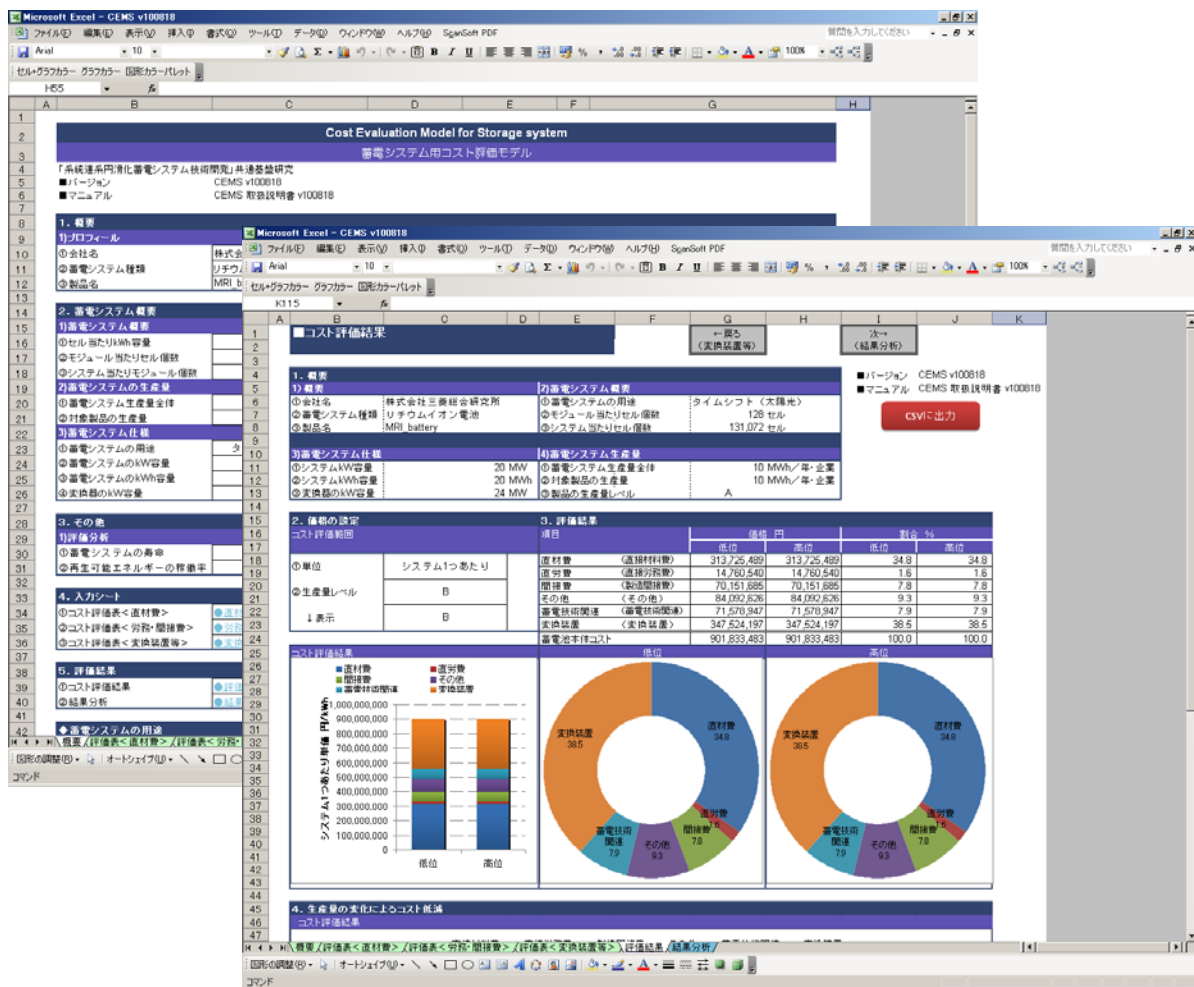
	費用項目*	範囲	評価対象		
			セル	モジュール	システム
1. 直接材料費	①正極材料	・活物質、バインダ、導電材、集電体、溶剤	○	○	○
	②負極材料	・活物質、バインダ、導電材、集電体、溶剤	○	○	○
	③電解質材料		○	○	○
	④セパレータ		○	○	○
	⑤セル部品	・セル化に要する①～④以外の部品全て	○	○	○
	⑥モジュール化部品	・モジュール化に要する①～⑤以外の部品		○	○
2. 直接労務費	①製造工程の工数	・セル化までの工程	○	○	○
	②モジュール製造工程の工数	・モジュール化までの工程		○	○
3. 製造間接費	①間接材料費	・蓄電技術の製造に使用される間接材料	○	○	○
	②間接労務費	・蓄電技術の製造に要する間接労務工数	○	○	○
	③減価償却費	・蓄電技術の製造に係わる製造設備の償却費	○	○	○
4. その他	①販売費・一般管理費		○	○	○
	②利益		○	○	○
5. 蓄電技術関連	①システム化部品	・蓄電システムを納める金枠、キュービクル等の収納部材を含む			○
	②架台	・モジュールの設置台、架台			○
	③試験調整費	・システム製造から使用まで			○
6. 変換装置	①変換器	・変換器本体のみ			○
	②変圧器	・変圧器本体のみ			○
	③制御保護装置	<直流側>制御装置、直流遮断機 <交流側>制御装置、交流遮断機			○
	④制御用電源	・変換装置に関わる電源設備			○
	⑤通信インターフェース	・充放電量などの測定や制御に用いる通信設備			○
	⑥その他付帯設備	・計測器、ケーブル類等含む。			○

*費用項目は必ずしも性能評価方法の検討で定めるセル・モジュール・システムの定義とは一致しない

表3 コスト評価のための用途別蓄電システム標準仕様

用途 / 役割	概要	併設する新エネ発電	蓄電システム容量	蓄電容量設定の根拠
電力品質対策	新エネの出力変動を抑制	風力発電	40%kW×0.5h(平滑化 20分) 50%kW×3h(平滑化 120分)	系統連系に対して出力変化率が要件となる場合を想定。 新エネ出力実データを用いて、平滑化時間 2 分および 120 分で平滑化した場合の必要蓄電池容量から算出。
		太陽光発電	70%kW×20min(平滑化 20分) 70%kW×2h(平滑化 120分)	
余剰電力対策	軽負荷期に発生する余剰電力を蓄電	太陽光発電	100%kW×4h	将来的には家庭用太陽光発電のみでも余剰電力が発生するとし、大規模太陽光発電(所)で系統から出力抑制指令を受ける場合を想定。 全量を充電(100%kW)するとし、軽負荷期の昼間に発電する 1 日分の電力を貯蔵するとして、4 時間容量とした。
下げ代不足対策	需要最小時に、供給力過剰(下げ代不足)にならないように調整	風力発電	50~100%kW×4~8h	夜間の需要最小時に系統から出力抑制・解列指令を受ける場合を想定。 同時間帯の発電量を貯蔵するが、風力発電の平均稼働率(30%)を考慮して 50%kW が必要とし、夜間時間(23 時~7 時)から 8 時間容量とした。
タイムシフト	供給側でオフピーク時の安い電力を蓄電しピーク時に放電	太陽光発電	70%kW×4h(平滑化 120分)	新エネ出力実データを用いて、太陽光出力を 2~3 時間程度貯蔵し需要ピークに放電する場合に必要な蓄電池容量を算出
		風力発電	50~100%kW×4~8h	
カットアウト時対応	新エネのカットアウト時に、バックアップ電源立ち上げまでの電力を補償	風力発電	50%kW×15~30min	バックアップ電源(ディーゼル発電等)の立ち上げ時間を 15 分~30 分程度と想定し、その間の電力を蓄電池で補償する。

※併設する新エネ発電は風力・太陽光とも 10MW、蓄電システムの交流側電圧は 6.6kV とする。蓄電システムの寿命は 10 年。



	シート名	内容
入力	①概要	蓄電システムの概要として、定格容量、重量、対象企業における蓄電システム全体の生産量等を入力する
	②評価表 <直材費>	直接材料費を算出するためのシート。使用している材料の材料使用量を入力。リストにない材料は、その材料名、価格とともに使用量を入力。
	③評価表 <労務・間接費>	直接労務費、製造間接費およびその他(販売費・一般管理費、利益)を算出するためのシート。蓄電システム製造に要する人員と1人あたり年間稼働時間、工場建屋の面積、製造設備費を入力。概算であれば、初期投資の総額を製造設備欄に入力することでも算出可能
	④評価表 <変換装置等>	システムコストを算出するためのシート。使用するシステム関連部品の使用量を入力。変換器・変圧器・制御用電源はさらに容量を入力。リストにない部品は、その部品名、価格とともに使用量を入力。
出力	④評価結果	コストの評価結果を表示するシート。結果は、 <ul style="list-style-type: none"> セルレベル:セル単位、セル kWh 単位 モジュールレベル:モジュール単位 システム:システム単位、kW 単位、kWh 単位 での表示が可能となっている。
	⑥結果分析	コストの評価結果用いて、 <ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー発電の蓄電システム導入による発電単価増分の試算 蓄電システム将来需要推計結果を反映した将来コスト予測 の分析が可能である。

図3 コスト評価ツールの入出力とイメージ

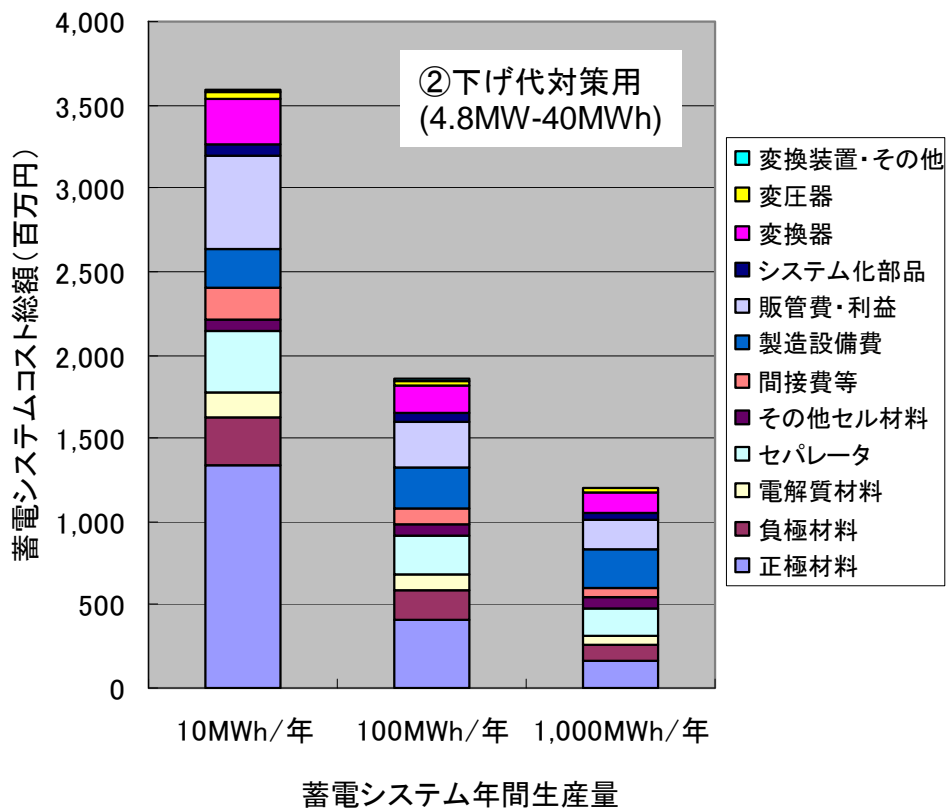
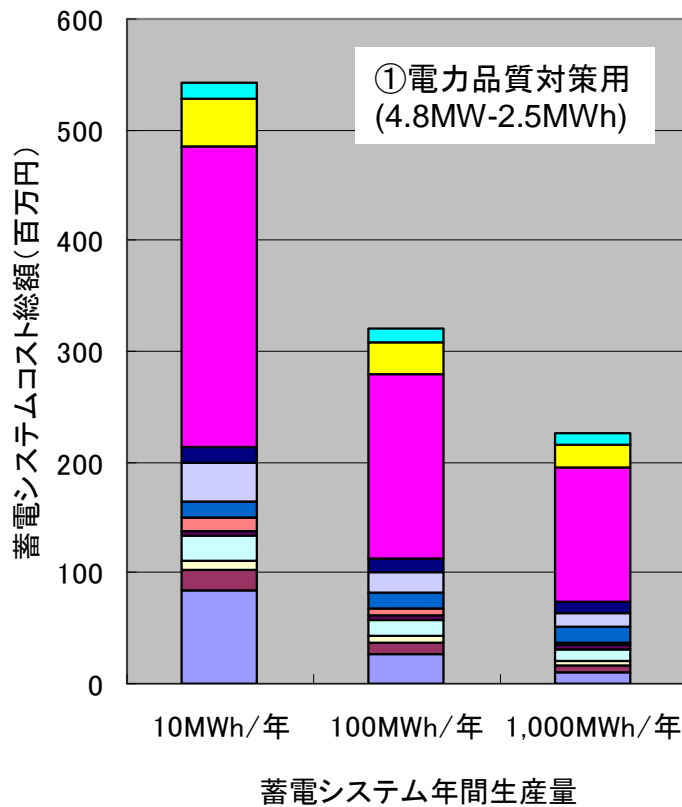


図4 蓄電システムのコスト試算結果

成果2 【コスト評価】コスト評価に係る基盤データの整備

(内容) 材料メーカーへのヒヤリングに基づき、量産効果を踏まえた材料単価データを整備した。正極活物質は「原材料費＋加工費」とし、原材料費は市況をもとに設定した。正極活物質以外は、材料メーカーヒヤリング、市況をもとに単価を作成し、開発者との調整を踏まえて設定した(表4, 図4)。

また、システムメーカー等へのヒヤリングにより、蓄電システムとしてのコスト評価に必要なシステム関連部材の価格データを整備した(表5)。現状の変換装置関連価格は、国内メーカーではこれ以上の低減が厳しいものの、海外メーカーでは機能の限定や量産で大幅な低価格(1.5万円～2万円/kW)を達成している例もあり、量産を見込んだ変換装置価格設定が課題であることがわかった。

(達成度) 追加的な目標達成

(成果の意義) 体系的に整備された原単位データは希有で貴重な存在であり、コスト評価ツールへの組み込みを図ることにより、開発者におけるコスト評価の効率化に貢献する。

表4 材料単価の設定

材料	設定単価(円/kg)※1			
	10MWh/年	100MWh/年	1,000MWh/年	
正極材料	LiCoO2	11,800～12,400	6,800～ 7,400	2,800～ 3,400
	LiNiO2	10,600～ 11,000	5,600～ 6,000	1,600～ 2,000
	LiMn2O4	10,100～ 10,100	5,100～ 5,100	1,100～ 1,100
	Ni-Co-Mn 系	10,800～ 11,200	5,800～ 6,200	1,800～ 2,200
	LiFePO4	10,200	5,200	1,200
	PVDF	5,200	3,600	2,500
	アルミニウム箔	1,200	800	550
負極材料	人工黒鉛	3,000	2,500	2,000
	天然黒鉛	2,300	1,800	1,400
	シリコン系	3,000	2,500	2,000
	スズ系	11,000	6,000	2,000
	チタン酸リチウム系	15,000	7,500	3,000
	PVDF	5,200	3,600	2,500
	銅箔	3,300	2,300	1,600
セパレータ	ポリオレフィン	520	360	250
電解液		5,500	3,800	2,600

※1 セパレータのみ単位は(円/m²)

※2 各金属原材料の市況は低位～高位でそれぞれ、コバルト地金:3,000～ 4,000円/kg、炭酸リチウム価格:600～900円/kg、ニッケル地金:1,000～1,600円/kg、電解二酸化マンガン:140～160円/kgとして算定

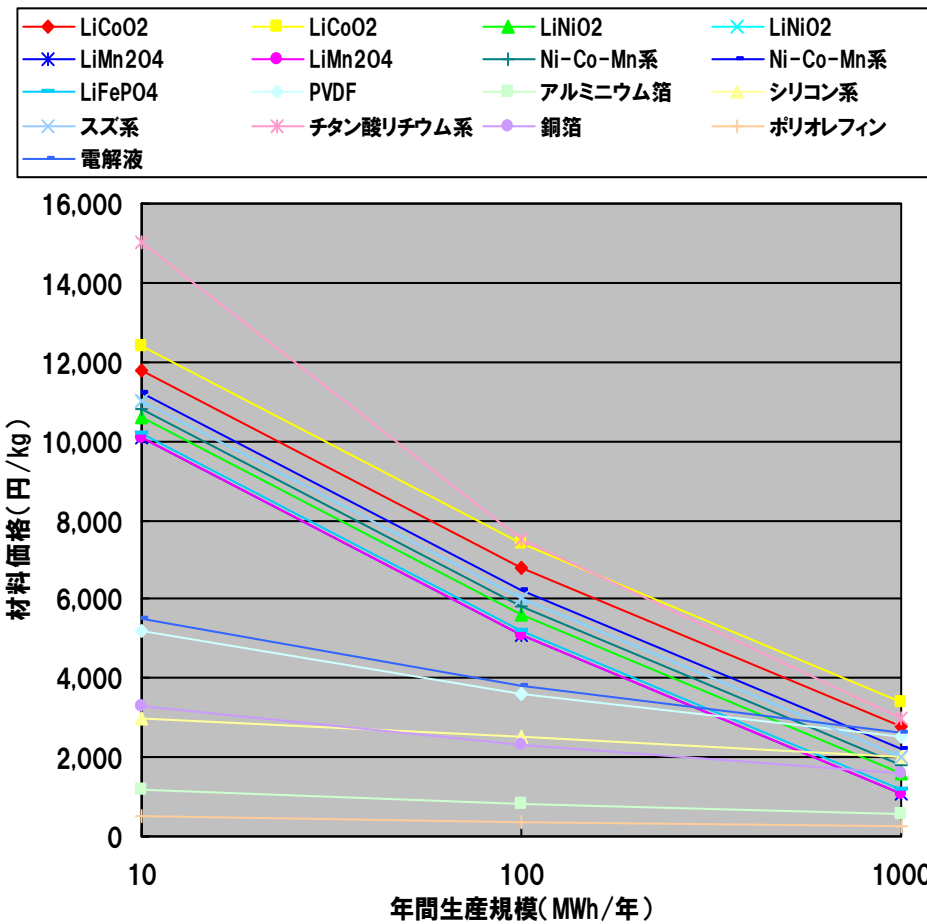


図4 材料単価の設定

表5 システム関連部材の設定価格

費用項目	設定価格	
蓄電技術関連	①システム化部品	0.4~0.6 千円/蓄電 kWh
	②架台	0.4~0.6 千円/蓄電 kWh
	③試験調整費	(人時間×人工費単価)
	④蓄電池保護装置	2 千円/変換器 kW
変換装置	①変換器	50~80 千円/変換器 kW
	②変圧器	4.5~10 千円/変圧器 kVA
	③制御保護装置	4 百万円/箇所
	④制御用電源	1 千円/電源 kW
	⑤通信インターフェース	0.8 百万円/箇所
	⑥その他付帯設備	ケーブル類:10 千円/m 計測器:0.5~1 千円/変換器 kW その他:0.2~0.5 千円/変換器 kW

成果3 【コスト評価】海外における蓄電システムの潜在需要推計

(内容)コスト評価において、量産効果分析の妥当性を検証するために、欧米中におけるMW級蓄電システムの検討動向を分析・把握し、それらの動向を踏まえて2030年までの蓄電システム需要を独自手法にて推計した。

推計では、各地で想定されているMW級蓄電システム利用用途について、地域ごとの系統規模や将来の需要や電源構成の予測等を考慮した分析を行うと共に、他技術との競合性や、利用用途間の重複性についても考慮した推計を行った。

この結果、2010～30年における欧米中の蓄電システムの潜在需要を約7.1GW/年、約22.7GWh/年(国内蓄電池生産量の約2倍の市場規模)と推計し、量産効果分析の妥当性を確認した。

(達成度)100%

(成果の意義)コスト評価の一つの鍵となる量産効果の分析においては、将来の需要規模の見積りが必要であるが、これまでは各国の需要を統一的に推計する手法は確立されていなかったが、本研究成果によりそれが可能となった。特に、他技術との競合性や利用用途間の重複性について考慮した推計結果は世界初であり、この点で独創的かつ精緻な推計が可能となり、世界に先駆けた成果を得ることができた。

表6 蓄電システムのコスト試算結果(黄色部分が推計を行った用途)

設置場所	用途/役割	概要	時間 容量	検討状況			
				欧	米	中	日
系統設置	アンシラリーサービス(短周期: Primary Reserve、Regulation)	秒～分オーダーの需給変動に従って発生する差に対応する電力の供給力。	0.5～1h	○	○		△
	アンシラリーサービス(中周期: Secondary Reserve、Spinning Reserve)	分～10数分オーダーの需給変動に対応する系統安定化のための電源。Spinning Reserveは予備電源が起動するまでに対応するもの。	5～30min	○	○		△
	送配電投資抑制	ピーク出力に合わせて送配電を整備する必要をなくす。1日のピークだけでなく、年間のピークにも対応。	1h～7h		○	—	○
	送配電混雑緩和	ピーク時の送配電混雑にかかる費用を軽減。	1～4h	—	△	—	×
	余剰電力対策	新エネ等導入によって発生する余剰電力を系統側で蓄電	1～8h				△
離島、島	電力品質対策	新エネの出力変動を抑制	1～4h	○	○	—	○
新エネ併設	電力品質対策	新エネの出力変動を抑制	1～4h				○
	下げ代不足対策	(主に風力)需要最小時に、供給力過剰(下げ代不足)にならないように調整	4～8h	×	×	×	○
	タイムシフト	供給側でオフピーク時の安い電力を蓄電しピーク時に放電	1～7h	—	○	△	○
需要家	需要家	ピークシフト、約電力削減用途として導入。	4h	○	○		○

凡例 ○:導入・実証事例あり、△:検討例あり、 :必要性が示唆されている、×:想定されていない、—:不明

表7 蓄電システムの潜在需要(積値)

		2010年	2020年	2030年	2010-30年 平均(年あたり)
出力(GW)	欧州	0	19	37	1.2
	米国	0	51	67	2.2
	中国	0	38	110	3.7
合計(GW)		0	108	214	7.1
容量(GWh)	欧州	0	69	131	4.4
	米国	0	166	187	6.2
	中国	0	128	362	12.1
合計(GWh)		0	363	680	22.7

成果4 【寿命評価】サイクル劣化と保存劣化の分離による寿命評価方法の開発

(内容) 電池の運転条件は、併設するシステム、平滑化条件により多岐にわたるため、運転時のサイクルによる劣化と保存による劣化を定量的に分離し、各平滑化条件にあてはめて寿命評価できる手法を開発した(図5)。このうち、保存劣化の加速試験では、新たに時間補正項を導入したルート側 $C=A-k(t-t_0)^{1/2}$ (C: 相対容量、A: 初期容量、k: 反応速度定数、t: 試験時間、 t_0 : 試験開始までの補正時間)を提案し、高い確度で温度加速試験に適用できることを示し(図6, 図7)、保存試験における耐用年数の高精度推定が可能となった。

(達成度) 100%

(成果の意義) サイクル劣化と保存劣化の分離・合成する寿命評価方法は、蓄電システムの多様な使い方に応用が可能であり、今後ますます多様化する蓄電システムの寿命評価に有効である。

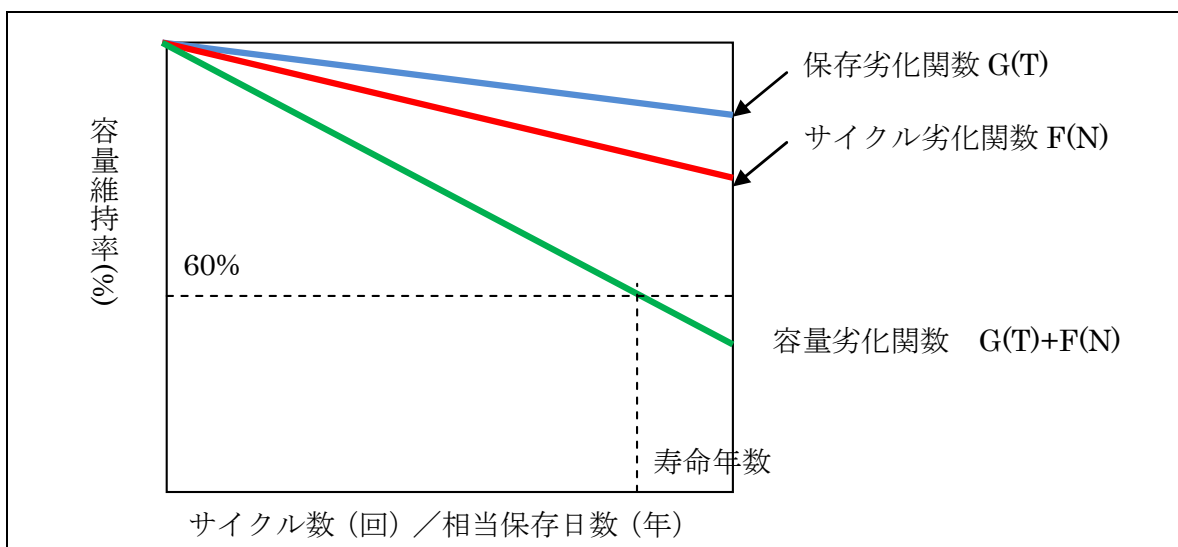


図5 寿命評価における保存劣化とサイクル劣化の分離・合成の考え方

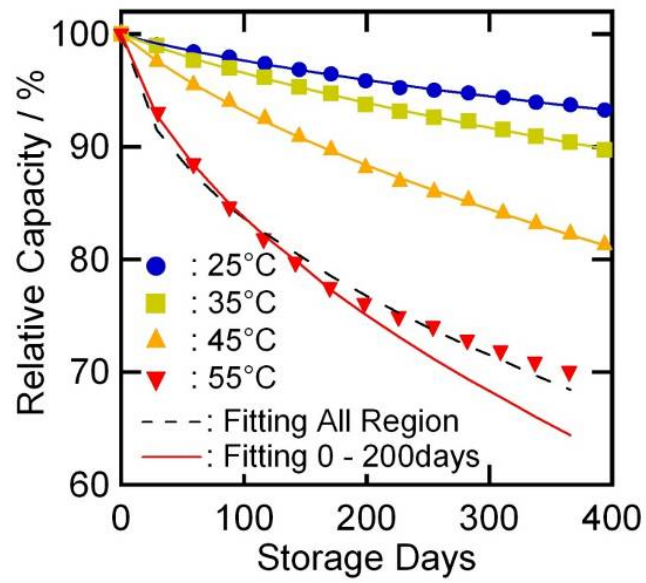


図6 時間補正項を考慮したルート則により fitting を行った各種保存試験結果

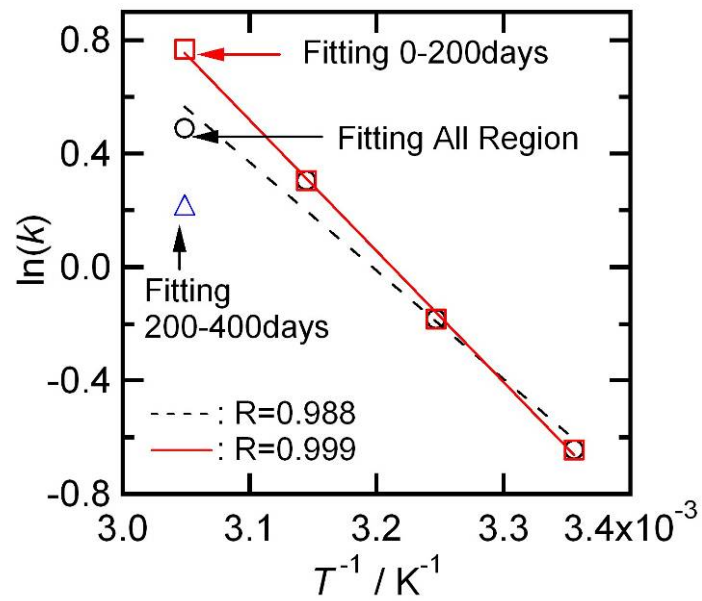


図7 Fitting により得られた k 値をもとにしたアレニウスタイププロット

成果5 【寿命評価】サイクル、保存劣化の合成による各平滑化条件での耐用年数推定

(内容) 寿命試験におけるサイクル・保存劣化割合の分離結果(図8)、および 25°C保存試験における時間補正ルート則による外挿結果(図9)をもとに、各平滑化条件におけるサイクル・保存劣化割合を合成し、3000 サイクル、10 年スケールの耐用年数が算出できることを明らかにした(表8)。

(達成度) 120% (時間補正ルート則とこれを用いた温度加速の妥当性明確化は特に新規性と実用性が高い)

(成果の意義) 従来の寿命評価は、特定の運用条件に則した試験法が適用されてきたが、本研究成果では、共通的な試験条件の運転結果をサイクル、保存劣化要素に一 分割し、風力、太陽光発電の様々な平滑化運転条件にあてはめて各劣化要素を合成する全く新しい手法を提案することにより、少ない試験結果から多岐にわたる運用条件での耐用年数の推定が可能となった。

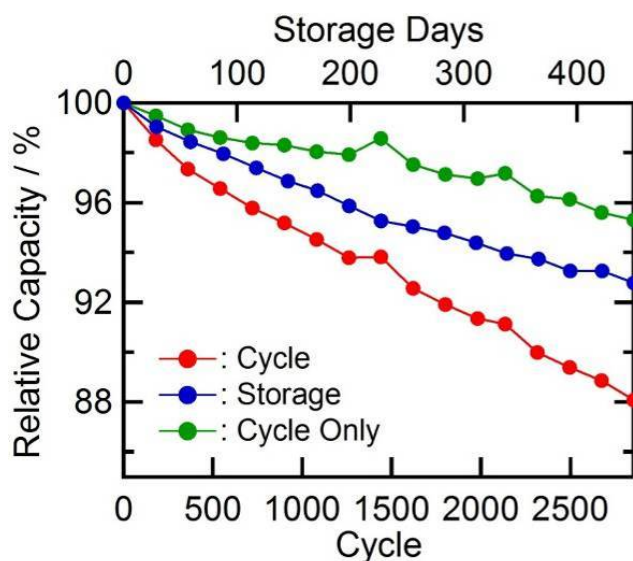


図8 C/2 充放電サイクル試験、SOC50%保存試験の容量低下傾向から算出した、サイクルのみの容量低下割合

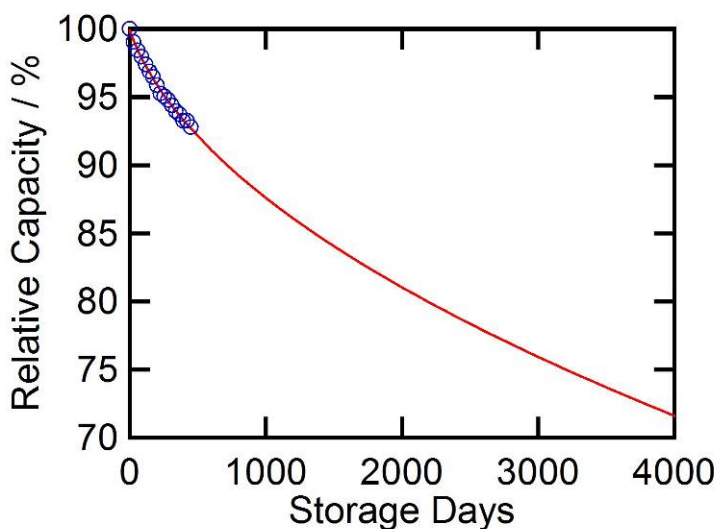


図9 25°C-SOC50%保存試験経過から外挿された保存容量低下傾向推定値

表8 保存容量低下、サイクルのみの容量低下割合から算定した各平滑化条件での耐用年数算定例
(初期容量の6割を耐用年数とした場合)

運転条件	保存容量	サイクル容量	耐用年数
PV 短周期 20 分	70%	90%	10 年
PV 短周期 120 分	65%	95%	12 年
PV 長周期 120 分	65%	95%	12 年
WT 短周期 20 分	75%	85%	7 年
WT 短周期 120 分	65%	95%	12 年
WT 長周期 120 分	65%	95%	12 年

成果6 【性能評価】 標準充放電パターンの作成

(内容) 現実の運用に した性能評価等を行うため、ウインドファーム・メガソーラー発電所の発電実績データを収集・解析し、実運用を模擬した標準的な充放電パターンを作成した。具体的には、以下の4サイトの発電実績データ(1秒または3秒周期)を1~2年程度収集した。

メガソーラー (2ヶ所): 北海道 内市 5.0MW、山 北 市 2.0MW

ウインドファーム(2ヶ所): 北海道寿都 9.95MW、取 北 13.5MW

収集した発電実績データを解析し「1日の標準発電パターン」を作成すると共に、発電実績データをもとにした蓄電池運転シミュレーションを実施し年間の挙動解析を行った。これらの結果をもとに、蓄電池を併設した場合の「標準充放電パターン(3秒周期×1日程度)」を作成。運転条件として以下を想定し、それぞれに必要な電池容量を検討した上で作成した。

運転条件: 短周期変動対策運転(平滑化 20 分、120 分)、長周期変動対策運転

(達成度) 120% (「標準充放電パターン」に加えて作成した「標準充放電パターン」は関係者からの要望が多かったため作成した追加的成果)

(成果の意義) 実運転データに基づき 3 秒レベルでの電池の充放電挙動を再現した「標準充放電パターン」は、過去に作成されたことのない貴重なデータである。本パターンを作成したことにより、電池を実サイトで利用する場合に要求される電池の性能や実サイトでの充放電効率などが容易に把握可能となったほか、実運用を想定した場合の寿命評価も可能となったという点で、得られた成果は非常に大きい。

また、標準充放電パターン検討過程で作成した「標準発電パターン」については、当初作成予定はなかったが、委員会やWG参加の多くの専門家から「今後の蓄電池技術発展のために非常に重要」との指摘を受けて作成を行ったものである。標準充放電パターンと同様、過去に例のない貴重なデータであり、本データを用いて開発者が自社の想定する運転パターン(例えば平滑化時間を変更した運転パターンや自社独自制御を採用した運転パターンなど)での評価が可能となった。今後の系統連系平滑化蓄電システムの開発進展に大きく資する成果と考えられる。

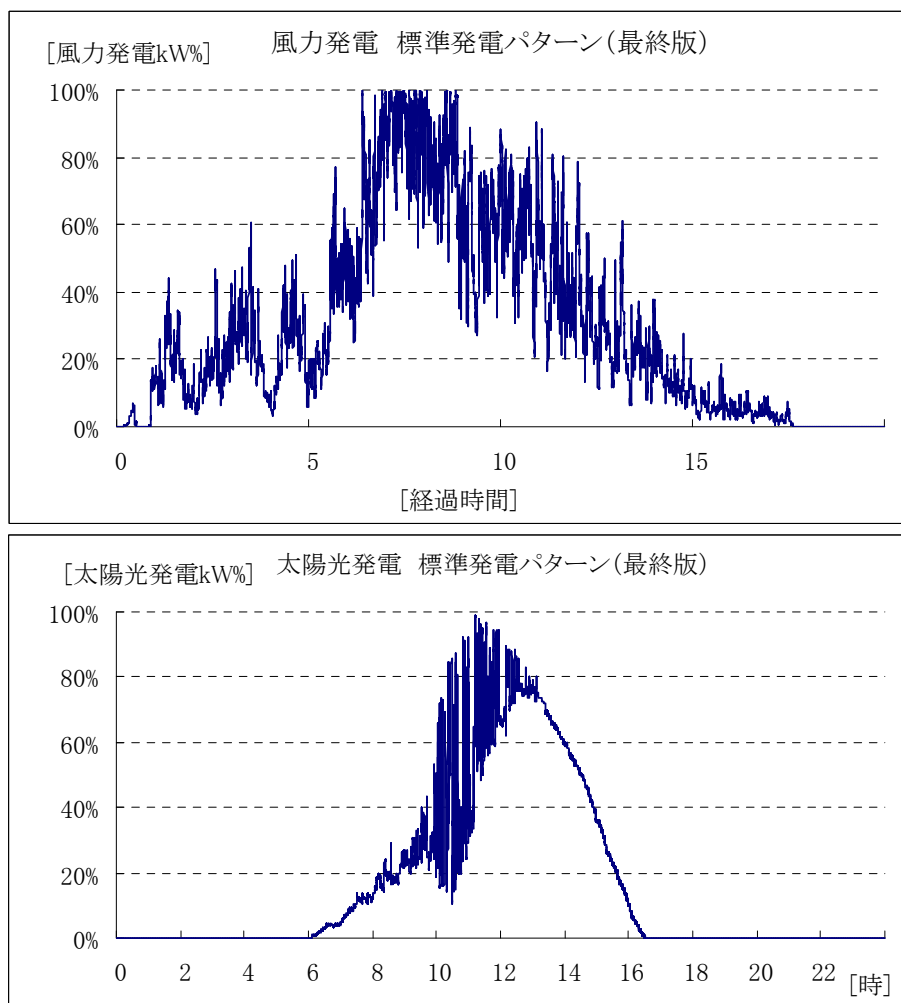
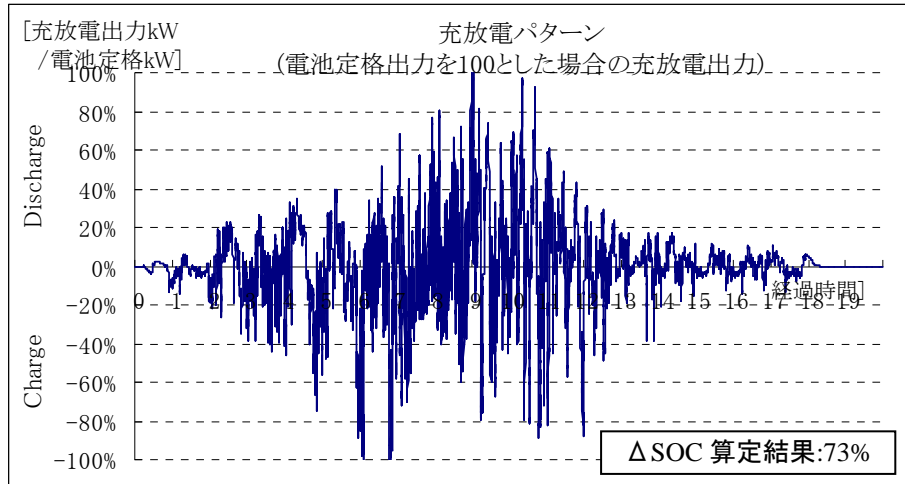
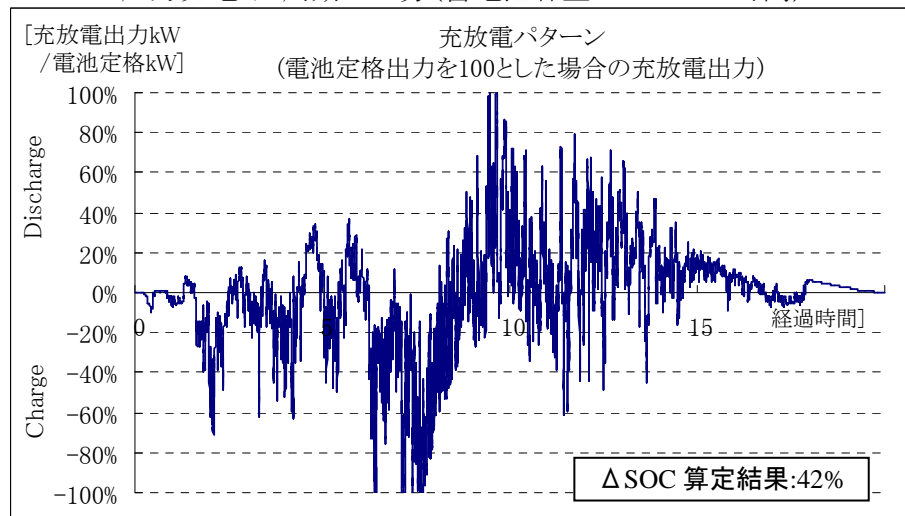


図10 標準発電パターン作成結果

風力発電・短周期 20 分(蓄電池容量 40%kW×0.5 時間)



風力発電・短周期 120 分(蓄電池容量 50%kW×3 時間)



風力発電・長周期 120 分(蓄電池容量 100%kW×4 時間)

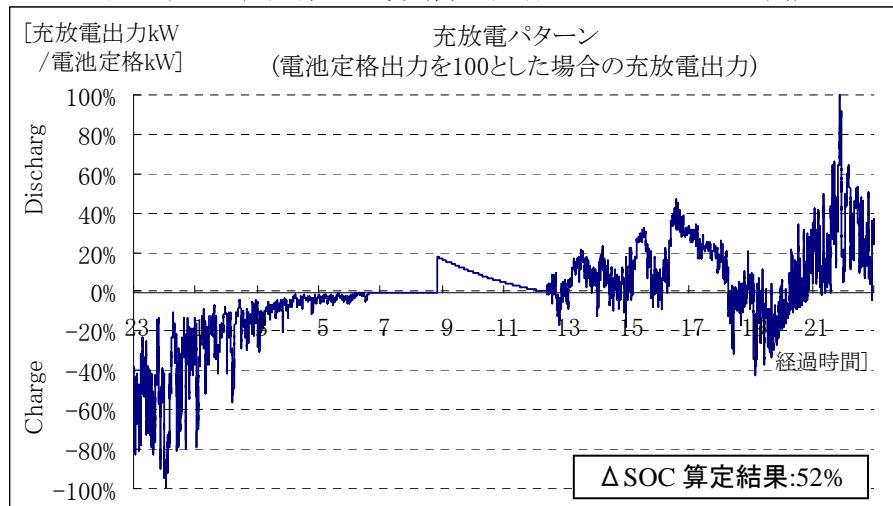
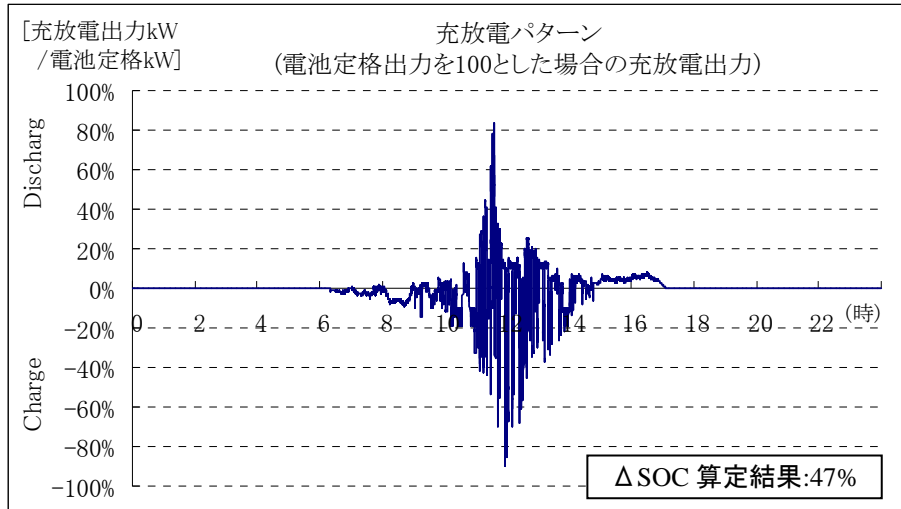
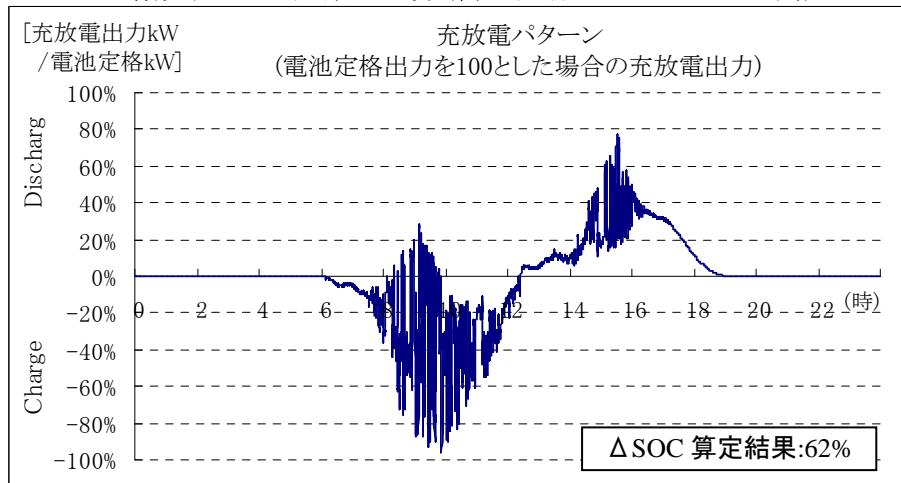


図11 標準充放電パターン作成結果(風力発電)

太陽光発電・短周期 20 分(蓄電池容量 70%kW×20 分)



太陽光発電・短周期 120 分(蓄電池容量 70%kW×2 時間)



太陽光発電・長周期 120 分(蓄電池容量 70%kW×4 時間)

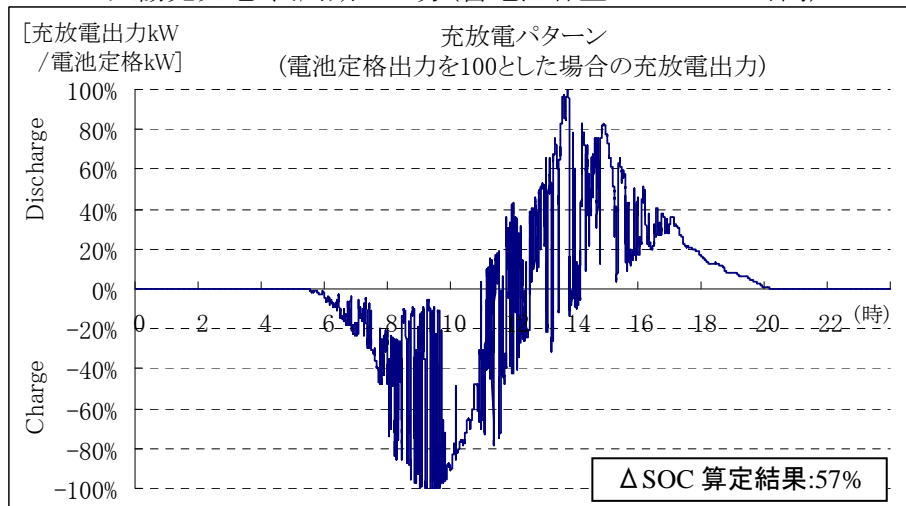


図12 標準充放電パターン作成結果(太陽光発電)

成果7 【寿命・性能評価】 簡易充放電パターンの作成と運転実証

(内容) 標準充放電パターンをもとに、汎用性の高い簡易な充放電パターンを提案した(図13)。標準時放電パターンにおける最大入出力値をパルス付加として採用しつつ、定電流試験で提案した SOC10~90%範囲、C/2 運転条件を反映させ、かつ運転時の電池温度上昇を標準充放電パターンでの試験結果に近づける試験条件とした(図14)。更に、提案した簡易充放電パターンと定電流サイクル試験の比較を行い、有意な差異が見られないことを確認し、定電流試験をもって平滑化条件の複雑な運転サイクル試験の寿命推定が可能であることを明らかにした(図15)。

(達成度) 110%(提案した簡易充放電パターンと定電流試験との相関検証は追加的な目標達成)

(成果の意義) 風力・太陽光発電の複雑な平滑化条件を汎用性が高く、かつ簡易な充放電パターンに落とし込んだ研究開発は内外でも前例がなく、実用性が高い成果である。更に、より一般的な定電流サイクル試験でも代用できることを実証した意義は大きく、今後の電池実用化時の耐用年数推定の根拠となりうる試験結果といえる。

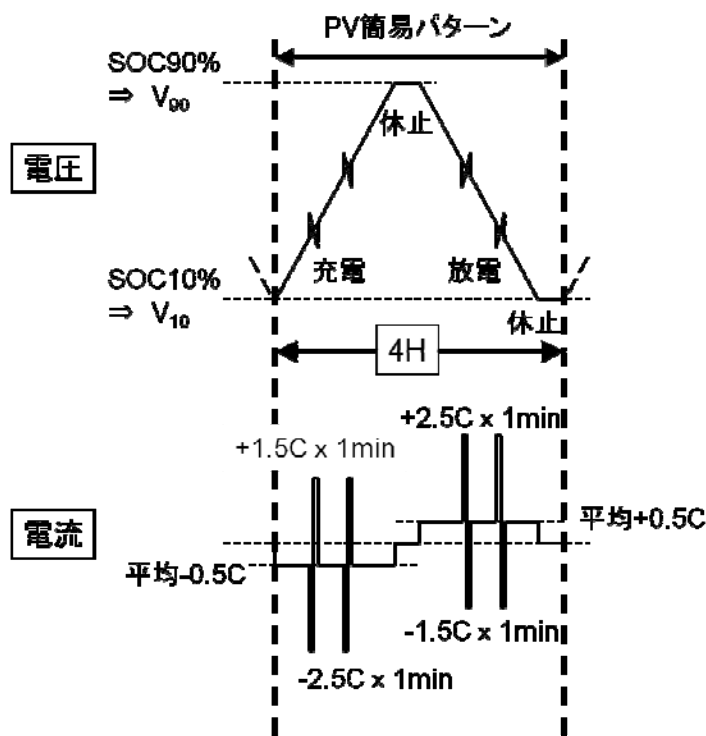


図13 提案する簡易パルス運転パターン例

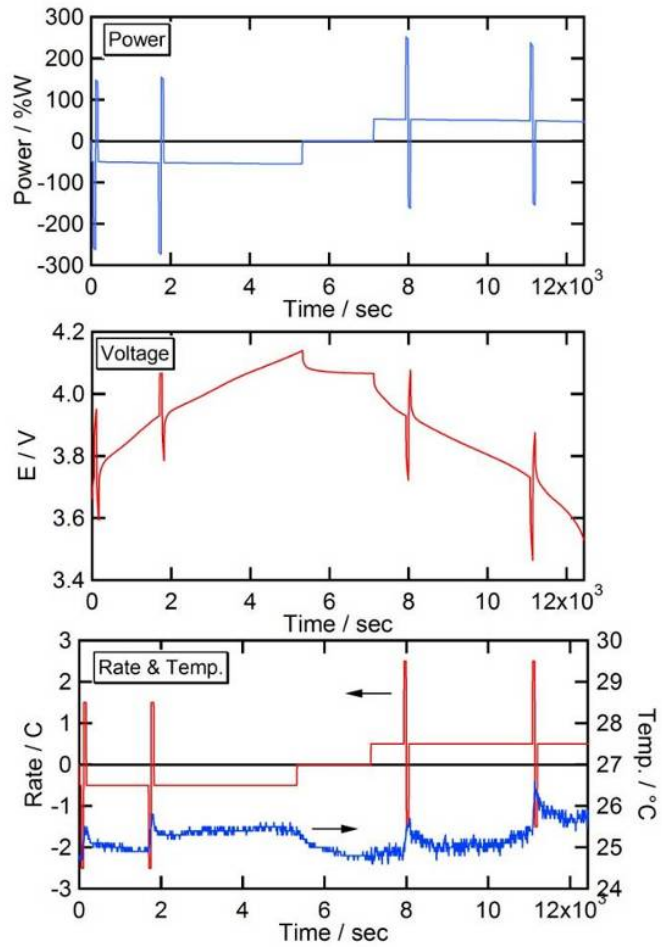


図14 提案した簡易パルスパターンを適用した電池充放電実測結果例

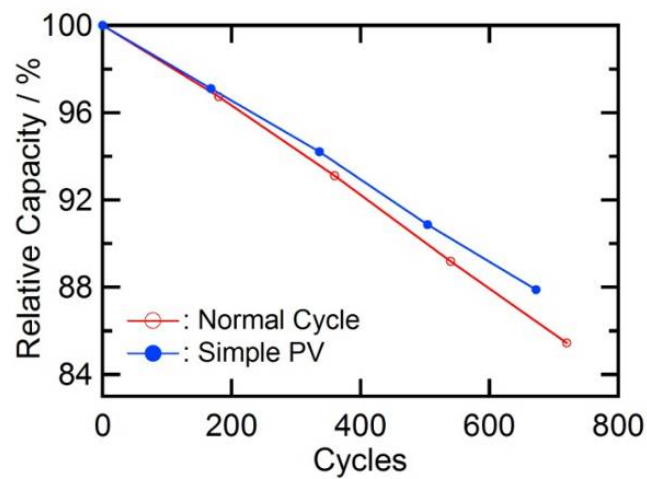


図15 定電流サイクル試験、および図14の条件における簡易パルスサイクル試験の容量推移例

成果8【安全性評価】 確認試験に基づく評価手法の確立

(内容) 蓄電池のライフサイクルを考慮したハザード分析・リスク重要度評価(図16、表8)を行うことにより、安全性評価の対象とすべき項目を選定した。選定した評価項目に対して、既存の安全性評価規格を参照しつつ、蓄電池の大型化に伴う特性の違いや利用環境・利用条件等を考慮した評価手法を提案した。さらに確認試験を行なうことで試験条件、試験方法の実現性、妥当性等を確認し(表9、図17)、評価手法の確立を図った。

(達成度) 100%

(成果の意義) 蓄電池の安全性評価方法については、小型電子機器用を想定した規格がすでに存在し、また近年においては電気自動車用やハイブリッド自動車用の検討が進展しているところであるが、大型定置用蓄電池の評価方法は未整備の状況であった。

本研究では、蓄電システムのセル、モジュール、システム各レベルに適用すべき安全性評価手法を開発した。さらに提案した安全性評価手法について確認試験を実施することで、その実現性、妥当性を示しつつ、試験条件の実現方法や再現性確保についても有用な知見を得た。

これにより、開発者は自らが開発した蓄電システムの安全性評価が可能となった。

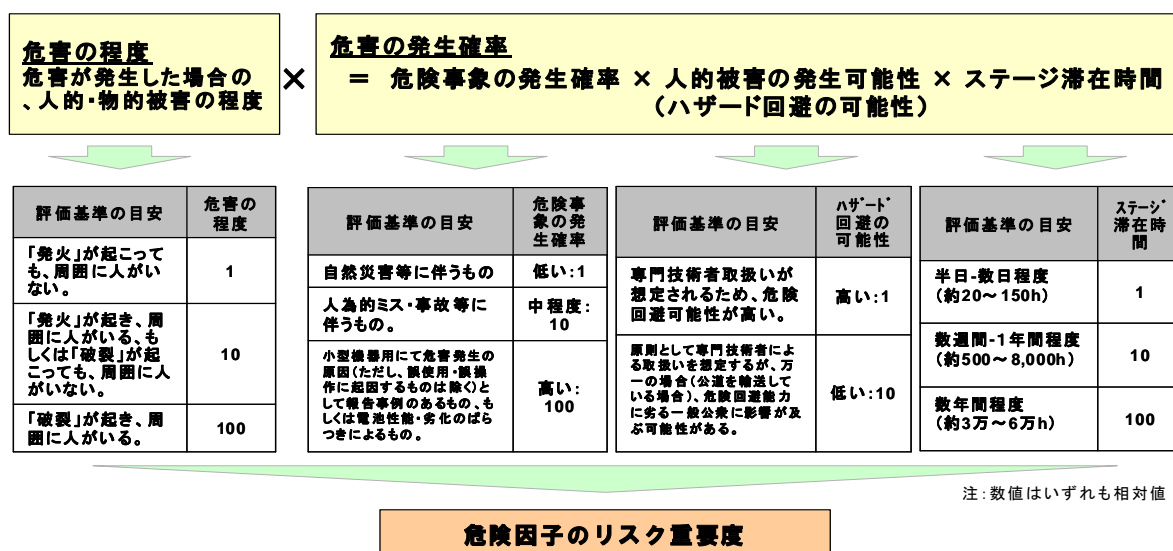


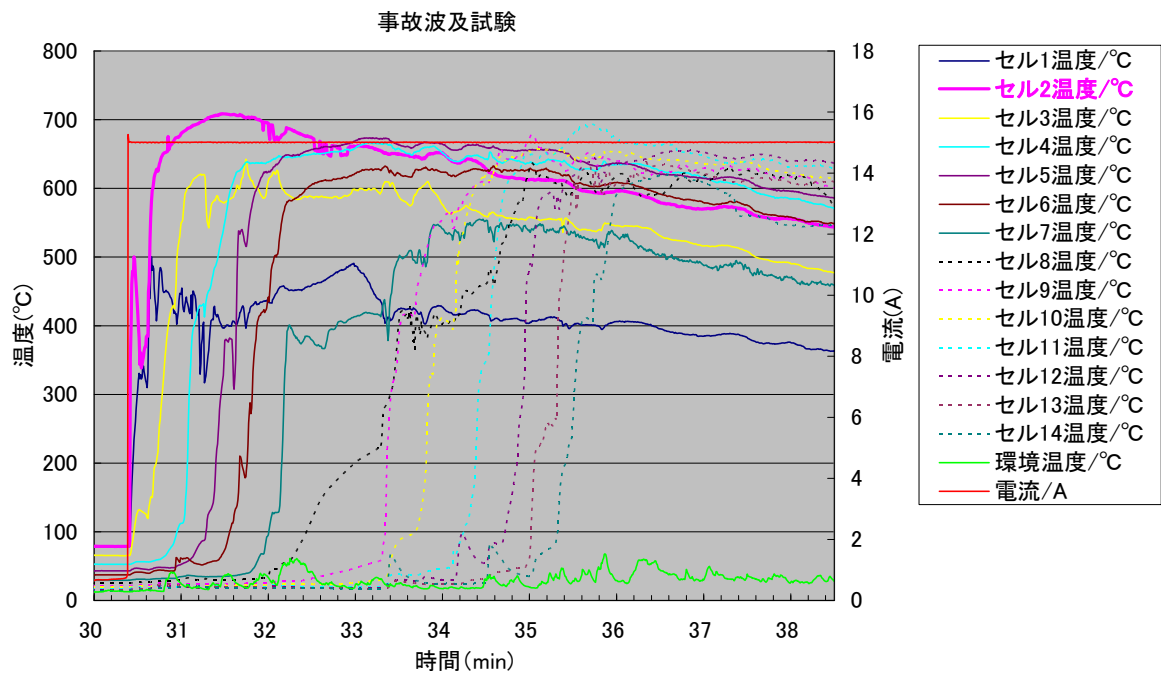
図16 系統連系用蓄電池におけるリスク評価の枠組み

表8 ステージ別の危険因子の所在及びリスク重要度評価の結果

危険因子の分類	ステージ							リスク重要度
	輸送時	設置時	運用時	定期点検時	保守作業時	解体・去時		
内部短絡	セルの故障	○	○	○	○	○	○	~10 ⁴
	セルの製造不良	○	○	○	○	○	○	~10 ⁵
外部短絡	主回路の故障	—	—	○	○	—	—	~10 ⁵
	作業時のミス	○	○	—	○	○	○	~10 ⁵
過充電	保護回路の故障	—	—	○	○	—	—	~10 ⁵
	セル間の容量・劣化のばらつき	—	—	○	○	—	—	~10 ⁵
過放電	保護回路の故障	—	—	○	○	—	—	~10 ⁵
	セル間の容量・劣化のばらつき	—	—	○	○	—	—	~10 ⁵
外的要因	外部火災	—	—	○	○	○	—	~10 ⁵
	落下	○	○	—	—	○	○	~10 ⁴
	浸水	○	○	○	○	○	○	~10 ⁴

表9 確認試験実施により得られた成果

		主な試験条件	確認試験により得られた成果
セル	外部短絡試験	外部抵抗値 1mΩ SOC 100%	短絡抵抗値は 10mΩ、1.7mΩ の 2 ケースを実施した。装置改良等により外部抵抗値として、1mΩ の達成は可能であるとの見通しを得た。
	過充電試験	初期 SOC 0% 充電電流 0.5CA で 250%まで	CCCV 充電を実施し、実現性、再現性を確認し、評価方法としての有用性を確認した。
	過放電試験	初期 SOC 100% 放電電流 0.5CA で 250%まで	
	加熱試験	初期 SOC 100% 昇温速度 5 ± 2 °C /min 保持温度 130°C、1h	周囲空気加熱による間接加熱による方法が、安定した昇温速度の確保に課題が残るものの、均一に加熱するという点において有効であることを確認した。
	内部短絡試験	初期 SOC 100% 貫通速度 2cm/sec	ラミネート型の場合、問題なく実施可能。固体容器型の場合、釘や容器の材質によって貫通困難となるケースが考えられるため注意が必要。
モジュールシステム	保護回路試験	セルバランス異常、サーミスタ故障等の故障モードを想定し、過充電時の動作を確認	セルバランス異常、サーミスタ故障を想定した保護回路動作確認は可能であり、その有用性を示した。 保護回路機構の設計は各社各様のため、特に多重防護機能が付与されているものについては、第三者評価にて故障モードを特定することが難しく、製造者からの情報提供が前提。
	事故波及試験	可能な限り中央部近くに配置されたセルを過充電により、強制的に発火・破裂させ、経過を観察	制的に特定セルに不具合を起こさせるための方法として、設計条件に左右されにくい過充電が有効であることを確認した。 セルの異常状態(発火)発生時の、他セル(モジュール全体)への波及・影響を、モジュールを構成する各セルの電圧、表面温度のモニタリングにより把握可能であることを示した。 制的に不具合を起こさせるセルは、放熱性の観点からより中央部のセルが望ましいと考えられるが、一定の条件で配列されているモジュールであれば、必ずしも中央部でなくとも、十分な評価結果を得ることが可能であることを示した。



- 市販モジュール(ラミネートタイプセル14枚積層)の端から2番目のセルを過充電により強制的に「発火」させたもの。
- 各セルの温度変化を観測することで、モジュール全体への波及影響を確認することが可能

図17 モジュール事故波及試験による各セルの表面温度の変化の例

成果9 【安全性評価】 標準化に向けた取り組み

(内容) 安全性評価に係る手法を日EU技術ワークショップあるいは電池工業会 (IEC 標準化の窓口) に提示した。

(達成度) 100%

(成果の意義) 大型の定置式リチウムイオン蓄電池の標準化検討は、IEC において開始されており、今後、安全性の立証についても議論が進むものと考えられており、その基盤となる手法を開発した意味は多大である。

本研究においては、今後、安全性立証において機能安全を含めたシステムアシュアランスの考え方が求められることを想定し、その考え方および検討手順を見える化した。機能安全の考え方は、日本のメーカーにとってなじみが薄く、対応に時間がかかる がある。しかし、システムが大型化、複雑化するほど、システム全体の安全性を立証するには、システムアシュアランスの考え方が重要になってくる。本研究での検討により、開発者は自らが開発した蓄電池の安全性立証の枠組みを検討できるきっかけができた。

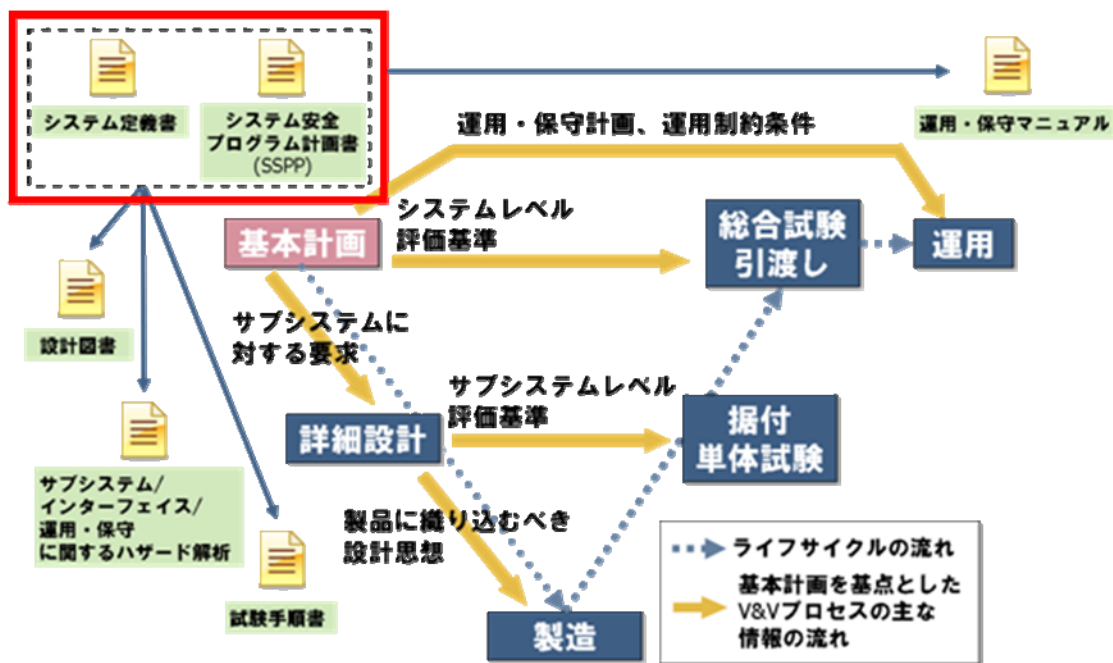


図18 システムアシュアランス手法におけるVプロセス

プロセスにおいて、トレーサビリティを確保しながら、システムのライフサイクル全体を通じた安全性を立証するための活動が、システムアシュアランスである。

STEP No.	作業項目	作業内容	ドキュメント
Step1	要求仕様の整理	事業者が提示する環境条件、性能要件などを開発者が整理	✓システム定義書
Step2	システム定義	開発者が要求仕様を満たすシステムを定義	✓システム定義書
Step3	システム安全プログラム計画	開発者が全ライフサイクルに亘り実施する安全関連の活動内容を計画	✓システム安全プログラム計画書(SSPP)
Step4	ハザード解析への準備	開発者がSTEP5, 6の実施に必要なシステム設計に関連する情報を収集、整理	✓情報整理シート
Step5	Functional Analysis	開発者がシステムを構成する要素及び、構成要素の機能を分析、整理	✓ Functional Block Diagram ✓ FAシート
Step6	PHA, FMECA, HAZOP	開発者がシステムに潜在するハザードを多角的な観点から検出	✓PHAシート ✓FMECAシート ✓HAZOPシート

図19 基本計画策定手順

システムアシュアランスにおいて、最も重要なフェーズが、企画構想・設計プロセスである。 客の要求仕様を把握し、システムを定義し、リスクを洗い出していくこのフェーズに時間とリソースを投入する必要がある。

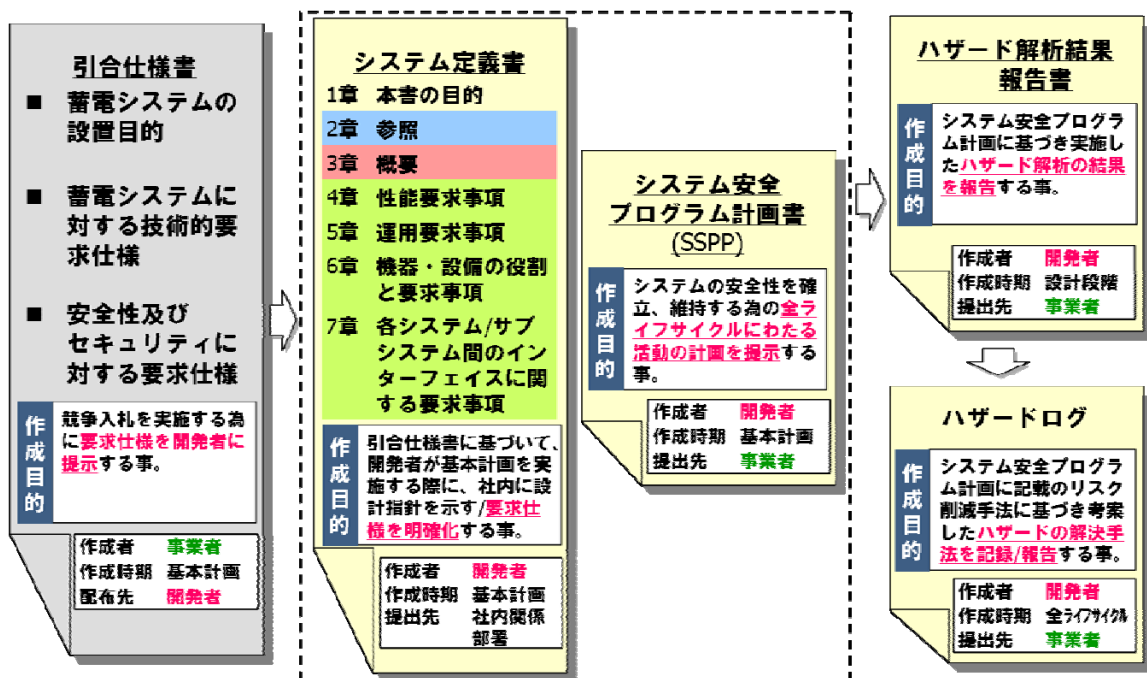


図20 ドキュメントに含まれる項目例

6. 成果の普及

研究成果については、2008年6月11日、2009年3月4日、2010年2月24日に開催した3回の共通基盤研究ワークショップで広く一般に向けて発表した。各ワークショップにおいてはそれぞれの時点での開発成果(評価手法案など)について報告し、参加者から意見やアンケートの形で意見を吸収し、手法のブラッシュアップを図るとともに手法の妥当性を確認していった。

このワークショップの他に電池討論会などの学会発表、各種メディアでの報告により、研究開発成果である評価手法について積極的な普及を図り、開発プロセスにおける課題の共有なども進めていった。

表10 成果の普及(国内会議・学会)

発表日	発表・投稿先	発表者・数	件名・概要
2008.6.11	第1回共通基盤研究ワークショップ	5件	概要説明、コスト評価、安全性評価、寿命・性能評価、加速劣化試験
2008.11.5	第49回電池討論会	1件	自然エネルギー発電用リチウム電池のサイクル試験法
2008.11.28	平成20年度電力中央研究所成果報告会	1件	風力発電導入に伴う系統安定化のための蓄電池評価試験法の開発
2009.3.4	第2回共通基盤研究ワークショップ	5件	全体の状況報告、コスト評価、安全性評価、寿命・性能評価、加速劣化試験
2009.12.2	第50回電池討論会	3件	コスト評価方法、安全性評価方法、劣化解析
2010.1.27	エネルギー・資源学会	1件	国内外における太陽光・風力発電用蓄電システムの導入量予測
2010.2.24	第3回共通基盤研究ワークショップ	6件	コスト評価、安全性評価、システムアシュアランス手法、寿命・性能評価、加速劣化試験、海外動向
2010.6.15	スマートグリッド展	小林陽	共通基盤研究成果の紹介(パネル展示)
2010.7.14	クリーン発電 スマートグリッドフェア	小林陽	共通基盤研究成果の紹介(パネル展示)
2010.11.10	第51回電池討論会	5件	性能評価手法の開発、充放電パターンの開発、安全性評価方法、コスト評価方法、システムアシュアランス手法の適用
2010.12.20	電力技術 談会講演会	山実	系統連系円滑化蓄電システムの市場展望と普及拡大に向けた課題について
2011.5	産業と環境	岩崎裕典	世界における定置用大型蓄電池の市場動向

表11 成果の普及(海外・メディア)

分類	発表・投稿日	発表・投稿先	発表者	件名・概要
国際会議	2008.9.19	欧州委員会会合	岩崎裕典	Common evaluation method development project for large scale battery system
	2008.9.19	欧州委員会会合	小林陽	uitable Battery System for Leveling of Wind & PV Power Generation
	2010.9.23	日EU蓄電技術ワークショップ	実島 也、石原 一	定置用蓄電技術の安全性評価試験方法について
	2010.10.15	218th Electrochemical Society Meeting	小林陽	AC impedance analysis of 20th lithium-ion cell for stationary application
	2010.11.23	5th International Renewable Energy Storage Conference IRES 2010	岩崎裕典	Stationary battery systems: Activities and test procedure development in Japan
メディア等	2008.6.16	電気新聞		新エネ電源用蓄電池「算定・評価手法を確立へ」
	2008.6.20	電気新聞		新型蓄電池の台頭「コスト低減で自立した電源に」
	2010.2.17	日経産業新聞	山実	2030年への 戦 大型リチウムイオン電池
	2010.4.18	日本経済新聞	山実	蓄電池つないで大容量

7. 課題と今後の取組

本プロジェクトで開発した個々の評価については、例えばコストと安全性など、相互にトレードオフの関係が生ずる部分が少なくない。そのため、各評価項目を総合的に捉えて全体としての評価を行う「総合評価」についての検討が求められる。その際、今後の蓄電システムの様々な使われ方、運用方法を想定し、目的に応じた柔軟な評価を目指していくことになる。

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋 地震による原子力発電所の停止などの影響で、停電回避のためのピークシフトやバックアップ電源としての蓄電システム用途への注目が高まっている。今後様々な社会ニーズや商品提案が顕在化してくる可能性が高い。設置場所や設置形態、設置規模、設置主体について、震災発生前には無かった概念にも幅を広げ、蓄電システムの役割やパフォーマンスについて、議論・評価していく必要がある。

8. 実用化・事業化の見通し

本研究開発は通常の製品やシステムなどのハードウェアの研究開発とは異なり、達成される目標は「評価手法の確立」というソフト的な要素に他ならない。このソフト的な要素の実用化とはすなわち、この評価手法や考え方が広く開発者あるいはユーザーに普及し、それが国や立場を問わない共通語となることといえる。本プロジェクトでは開発者における共通語の発展形としての「標準化」を視野

に入れており、本研究の結果として標準化の議論にスムーズに移行できるような状況を導いたものと認識している。

成果の実用化にあたる標準化に向けた動きとしては以下の3点が挙げられる。

まず第一に、2010年9月23日に開催された日・EU技術ワークショップにおいて安全性評価手法に係る開発手法について発表した。この結果として、定置用蓄電池システムの普及を目的として、リチウムイオン電池(セル10A以上、システム1MWh以上)について、国際標準化を視野に入れながら、日・EUが共同で蓄電池のリスク評価及び安全性評価手法の開発に取り組む方針について確認した。

第二に、IECの蓄電池分野対応審議団体である電池工業会 に研究開発成果を提示した。具体的には、IEC SC21A WG5(定置用大型蓄電池の安全性評価)等の国際標準化の検討に際し、本研究開発で行ったハザード分析・リスク評価アプローチの意義・重要性について認識を共有している。また、電池工業会 が海外からの規格提案への対抗措置、あるいは日本からの新規規格提案の検討に際して、本研究開発にて開発した安全性評価手法及びその確認試験の結果がベース情報として活用される見通しである。

第三に、システムアシュアランスアプローチについての取り組みが挙げられる。システムとしての安全性の立証への要求が高まり、蓄電システムにおいても機能安全規格 IEC61508 をベースに、運用段階を含めた安全性に関する標準化検討が進むものと予想されるが、その際に本研究の成果であるシステムアシュアランスアプローチによる対応が有効となる。

上述の通り、本研究開発の成果により、蓄電システムのパフォーマンスを確認していく上で重要なコスト、安全性、寿命・性能などの評価手法の確立が見込まれ、蓄電システム開発者やユーザー、あるいはその管理者が自然エネルギー併設型蓄電システムのパフォーマンスを適正かつ客観的に把握するための基盤が形成された。成果の実用化の原動力となるのは実用化技術開発、要素技術開発、次世代技術開発の存在であり、それぞれの成果が内外の技術開発をリードし、他の技術開発の目標となっていくことにより、自ずと評価手法も当該分野に浸透していくことになる。

蓄電システムの評価システムの確立はユーザーが各蓄電システムの導入に際しての信頼度が高まることに繋がり、蓄電システム導入の普及拡大、ひいては、そのエネルギー源としての太陽光発電、風力発電の系統の制約を超えた普及拡大をもたらすものといえる。

また、コスト、寿命、安全性、性能の客観的評価手法の確立により、特定の蓄電システムに加担することのない平等な競争環境が整うことになり、それが長寿命化をはじめとする各種性能、安全性の面での技術開発を促すことになる。これは同時に蓄電システムの価格低下にも繋がり、蓄電システム産業並びにその周辺産業の活性化や国際競争力の強化への貢献が期待される。

以上

IV. 実用化、事業化の見通し

1. 実用化、事業化のイメージ

(要素技術開発、次世代技術開発、共通基盤研究については、“実用化・出口イメージ”とする。)

本プロジェクトで実施する技術開発は、最終的にはウインドファームレベルの風力発電や、メガソーラ級の太陽光発電などの再生可能エネルギー導入事業者が、その発電出力の変動抑制のために設置しうる蓄電システムの製品化、上市に資するものである。但し、本プロジェクトで実施する実用化技術開発、要素技術開発、次世代技術開発、共通基盤研究は各々開発のステージ、開発対象が異なるため、実用化・事業化について一律にかつ具体的に規定することは難しい。このため、実用化、事業化のイメージについても、各々の開発内容に応じたものを想定する必要があり、これらについて詳細を以下に示す。

1) 実用化技術開発

本技術開発の目的は、再生可能エネルギーの出力変動を極小化する機能を有し、かつ安全・高性能な大型定置形蓄電システムの開発であり、MW 規模を実現する上で基本となる100Wh級のシステムを実現するのに必要な、単セルを直並列に組み合わせて、モジュール、システムを構成し大容量にする技術や、安全性や寿命管理上重要な多数のセルの充放電管理、温度管理、保守管理技術等を保有し、基本的には本技術開発の実施者が主体となり、系統連系円滑化のための大型蓄電システムを製品化することが、実用化、事業化のイメージとなる。

2) 要素技術開発

本技術開発の目的は、再生可能エネルギー対応の定置形蓄電システムの要件である、低コスト、長寿命を達成するため、現状の蓄電技術に基づいた量産効果やシステム的な実用化技術だけでなく、セルそのものの性能向上や、コスト低減をもたらす部材レベルでの技術開発を行うことである。具体的には、正・負極、セパレータ、電解質、集電体、モジュール管理用の回路システム等の構成部材単位の性能向上及び製造技術に関する研究開発や、これら要素技術を反映した蓄電技術のモジュールレベルの試作と性能実証などを通じて、低コスト(2010 年度末で kWh 当たり 4 万円)、長寿命(2010 年度末で 10 年)、且つ安全・高性能なシステムの開発に資することである。従って、本技術開発で得られた成果が系統連系円滑化用蓄電システムに取り込まれた形で製品化されることが、要素技術開発における実用化、出口イメージとなる。但し、広く解釈すれば、製品化は自社内での製品への適用はもちろんであるが、他社との協業による製品化や、他社へのライセンスアウトによるライセンス収入も含めたものが、実用化、出口のイメージとなる。

3) 次世代技術開発

本技術開発は、蓄電技術に関する新しい材料の探査、セルそのものの概念の見直しを行うため、実験室レベルの基礎研究の領域に踏み込んだ研究、新しいアイデアを幅広くみ上げ、アイデアの実現を支援する枠組みであり、最終的に、2030年段階で、量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命を達成する蓄電技術を確立に資することを目的とする。従って、次世代技術開発における、

実用化・出口イメージの主たるものは、量産時コスト1.5万円/kWh、20年の寿命を有する蓄電システムの実現に資することと言える。この場合、例えば、本プロジェクトの実用化技術開発や要素技術開発の成果と融合させ、大型蓄電システムとして製品化を狙う、あるいは他の企業等の事業主体に研究成果がライセンスアウトされることによっても構わない。更に実用化、出口イメージを広く解釈すれば、本プロジェクトで得られた研究成果によって、より高次の目標への課題が明確に整理され、将来的な実用化、事業化を目指し、適切な体制で継続的に研究開発が実施されている状況となっていることも、次世代技術開発における出口イメージの一つとなる。

4) 共通基盤研究

本研究では、再生可能エネルギーに対応する定置用大形蓄電システムの評価方法の開発を行った。本研究は通常の製品やシステムなどのハードウェアの研究開発とは異なり、達成される目標は「評価手法の確立」というソフト的な要素に他ならない。このソフト的な要素の実用化とはすなわち、この評価手法や考え方が広く開発者あるいはユーザーに普及し、それが国や立場を問わない共通語となることといえる。本プロジェクトでは開発者における共通語の発展形としての「標準化」を視野に入れており、本研究の結果として標準化の議論にスムーズに移行できるような状況を導くことが、本技術開発における実用化、出口イメージである。

2. 実用化、事業化の見通し

1) 実用化技術開発

①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し

各研究開発テーマの実施者においては、基本的にプロジェクト終了後も自社内で更なる高性能化、大型化等について検討し、自社製品として市場に提供する方向で、実用化、事業化に向けた技術開発を継続する予定である。各実施者での事業戦略上の位置付けは明確であり、社内開発部門と事業部門の連携や、重電、電力等との協力体制の構築も進める考えを有す。現時点での、実用化、事業化の見通しは明確であり、本プロジェクトに参画した企業として取り組む姿勢を有している。

本プロジェクトの主たる目的である再生可能エネルギー対応の大型蓄電システムの実用化事業化へのシナリオについては、開発中の蓄電システムの違いや委託先である企業の業種、業態により種々異なる。しかしながら、プロジェクト終了時点から5年程度を目処に、各実施者における成果は、風力発電あるいは太陽光発電の出力平滑化用蓄電システム、ピークシフト・ピークカット、分散電源電力貯蔵などへの応用を想定している。

②技術成果面での実用化、事業化への見通し

本開発項目で実用化、事業化に大きく関係する、技術成果は以下のようなものである。

- ・系統連系蓄電システム技術として、新規な機能である「系統事故乗り切り機能 FRT (Fault Ride Through)」、「動的電圧補償機能 DVS (Dynamic Voltage Support)」を、インバータ盤に組み込み、検証試験を実施しておりその有効性を実証している(北陸電力/エナックス)。

- ・100kW 級蓄電システムによる連続運用において、平滑化プログラムの検証やモニタシステムの長期運用を実施した。また、従来は蓄電池に流れる電流量を積算し、電池の SOC (充電状態) を算出していたため、長期間運用すると、充放電効率、電流センサのオフセット等の誤差、及び自己放電量による損失などが蓄積し、SOC 調整のための均等充電等の操作が必要であったが、誤差率±10%の高精度な SOC 管理技術を新規に確立した。さらに継続研究を通じて、実用化にあたって想定される、長期間の運転による電池性能の低下にも対応した SOC 管理技術の向上、ならびに出力安定化制御技術および蓄電池監視技術の向上を目指している。(川崎重工業)。
- ・実際の太陽光発電データ及び風力発電データを計測することを試み、発電データ(日時、風速、発電電力等)の計測を行い、計測した発電データを整理・解析し、電池寿命評価及び試験方法検討の基礎データの蓄積を行った(三菱重工業/九州電力)。

以上のような成果は実用化、事業化にあたって不可欠の技術であると考えられる。

また、各委託先において、電極基材等のコスト低減、負極余裕率の適正化、筐体コスト、製造の自動化、極板製造コスト低減等の低コスト化技術についても鋭意取り組んだ。現状、kWh 当たりのコストとして、開発するシステムによる違いはあるが、事業開始当初、およそ20万円～60万円程度と考えられてきたが、目標の4万円程度が想定されるレベルとなってきた。

2) 要素技術開発

①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し

要素技術開発においては、得られた研究開発成果を実用化技術開発の成果と合わせて実用化、事業化を指向するか、開発成果をベースにその後も自社内で独自に技術開発を継続し、実用化、事業化を狙う。要素技術開発では、ニッケル水素電池、リチウムイオン電池、キャパシタとニッケル水素電池のハイブリッドシステムの開発を行っており、特に要素技術の実施者は全て、今回開発した要素技術と強く関連する製品を自社製品として持っており、よって開発した要素技術が自社製品で実用化、事業化する計画を持っているが、実用化、事業化の時期や対象とする製品等は実施者により異なる。

当面は、実施者の製品の性能向上やコストダウンのために開発技術を適用するのが考えられるが、本来の目的であるところの再生可能エネルギー用の定置用大形蓄電システム事業を計画している実施者もある。あるいは、東日本大震災を受けての、本プロジェクト開発品よりも小さい蓄電容量で実現可能な、家庭用太陽光電力蓄電システム、及び非常用バックアップ用電源、又は都市部の分散型電力貯蔵用電源、大規模電力貯蔵用電源への適用、さらにはスマートグリッドを形成するための蓄電システムなど、長寿命で低コストの優位性を活かす事業展開を目指す実施者もある。また、将来的に想定する市場については、直近の年間数十億円規模から再生可能エネルギー用蓄電池の大規模導入が開始された場合の市場の数千億円規模まで種々想定している。低コスト化、安定量産技術の向上等を達成しつつ、更なる技術競争力強化を図り、将来の製品群、市場開拓に繋げていきたい考えである。

以上のように、現時点で、各実施者は要素技術開発で得られた成果を基に、各々事業化、実用化に向けたシナリオを有しており、社内的にも実施に向けた意思決定がなされつつある。実施者の取り組み姿勢においては、実用化、事業化に関する実現可能性は高いと言える。

②技術成果面での実用化、事業化への見通し

本開発項目で実用化、事業化に大きく関係する技術成果は以下のようなものである。

- 金属部材と樹脂を一体成形したセルを 10 個バイポーラ積層し、200Ah 級蓄電池モジュールを開発した。本モジュールは内部抵抗が約 $30\text{m}\Omega/\text{Ah}$ と小さく 90%以上の充放電効率が得られた。これらは激しい充放電を要求される用途で有効である。また電池劣化要因を解析する技術を開発し、これを踏まえて電極前処理技術の開発など電池の長寿命化に資する成果を得た。また小型電池にて 10,000 サイクル以上の寿命を達成するとともに、寿命予測技術を開発し 10 年以上の寿命の見通しを得たが、電力用の用途での 10 年以上の寿命を検証しておくことは実用化にあたっては必須である(川崎重工業)。
- 正極材に適用するマンガン酸リチウムについて寿命の改善と製造コストの低減を図るため、硝酸金属塩噴霧熱分解法によるアルミニウム置換マンガン酸リチウム(LM(Al)O)の開発を行った。また 100kWh 実証試験機の各項目のコスト割合を求め 20MWh 量産時の各項目の単価低減率を試算し、9 万円/kWh(セル含む)の目途をつけた。また、コンバータ効率向上のため、ハード面、ソフト面の改修を行い、変換器効率(片側)を約 95%とすることができた。(北陸電力/エナックス)
- 電池材料・構成部材の高性能化・低コスト化検討により選定した電池材料・部材を用いてセルを試作し、 $125\text{Wh}/\text{kg}@1\text{C}$ 、 $120\text{Wh}/\text{kg}@2\text{C}$ のエネルギー密度を確認した。なお、試作単電池については、過充電、強制放電、内部短絡の試験を行ない、破裂無し・発火が無いことを確認している。また、4個のセルがブスバーにより直列に接続され、監視回路基板を付属する構成となっており、全ての構成部品が樹脂製のケースに格納された構造となっているモジュール電池を製作し、初期特性を評価した。更に、100kWh 級ユニットの直並列構成検討の結果、システム構成として単位電池 28 直×3 並列が必要であることから、コンパクト性・メンテナンス性を考慮した筐体構造の基本設計およびモジュール電池 28 直列×3 並列よりなる 100kWh 級ユニットを制御可能な監視回路を設計した(三菱重工業/九州電力)。
- 正極材料の長寿命化に関し酸化物被覆による Mn 溶出抑制効果について検討し、被覆無しの場合と比較して容量維持率が 3%ほど高く、容量低下の抑制効果を確認した。また、高エネルギー密度化に向け、スピネル Mn と層状材の混合正極の基礎検討に着手し、層状材料を混合することで放電容量が約 30%向上する見通しを得た。更に、単電池の設計及び試作・評価を実施し、H20 年度中には、中間目標である 8 年相当寿命(1600 サイクル)を実証するレベルにある(日立製作所)。
- キャパシタと化学二次電池を接続させた「ハイブリッド組電池」を開発したことにより、さまざまな発電システムに簡便に且つ種々の充電環境に適用し得る形態を与えることができるようになり、今後の系統連系円滑化蓄電システムの実用化へ有用な提案が可能である。(日清紡)

3) 次世代技術開発

①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し

次世代技術開発は、正極、負極、電解質および電解質／電極界面について基礎的な研究開発を実施しており、各々の計画した以上の研究成果を得ることができた。

次世代技術開発で得られた成果の実用化、事業化の見通しを考えた際、しばしば問題となるのは、基礎、基盤的な技術開発成果を如何にして製品化に結びつけるかということである。その点において、本プロジェクト委託先は、例えば、研究成果の学会・展示会等でのピーアール活動を通じ、本開発技術の事業化に興味を持つ企業の探索、ベンチャーキャピタルの獲得や、本プロジェクトの実用化技術開発や要素技術開発に携わる企業、あるいは他の企業等へのライセンス供与やサンプル供与を通して、開発した成果を用いるリチウムイオン電池の実用化、事業化を目指すこと等を想定している。実際、いくつかの研究開発テーマにおいては、工業生産プロセス開発をパートナー企業と開始しているケースや、F/S 終了後に材料製造メーカーおよび電池メーカーを体制に組み込み、垂直連携により実用化、事業化を促進しているケースもあった。

さらには 22 年度事業終了後、製品化を前提として企業と連携して研究開発を行っている例もあり、事業化へ積極的に取り組んでおり、今後が期待される。

②技術成果面での実用化、事業化への見通し

本開発項目で実用化、事業化に大きく関係する技術成果は以下のようなものである。

- ・電極面積 100 cm² かつ、単一外装に 3 段のスタッキングを行い、単体の電圧が 10 V 以上の大型・高電圧ラミネート電池を実証した。本研究開発で 100 cm² 規模が外部加圧なく運転実証できたことは、将来の大型化に大きく近づく成果といえる(電中研)
- ・イオン液体モノマー、イオンチャンネルポリマー電解質の工業生産プロセスを確立し、製造コスト試算を実施した結果、工業的生産プロセスの概略が決定出来、ポリマー電解質製造のパートナーが選定され事業化に近づいた(鶴岡高専・京大)。
- ・低障壁イオン伝導性固体高分子電解質のリチウムイオン電池への応用可能性を検討した。その結果、本電解質は十分に応用可能であることが分かった(大阪大学)。
- ・炭素微小球体大粒径化することにより、容量を増加させることができ、また、初回クーロン効率も 90%以上を示したため、実用化に十分耐えうる炭素微小球体を作製できた(東海カーボン・産総研)。
- ・開発した TiO₂(B)負極材料において、平均放電電位 1.6 V、初期容量 >300 mAh/g の放電特性、良好なサイクル特性(> 1000 サイクル)、高レート特性(> 100 mAh/g at 10C)という特性を確認した。これらは実用化されている LTO 高電位負極を大幅に凌ぐ特性であることを示し、本負極材料の将来的な実用化の可能性を明らかにした(同志社大)。
- ・LiMnPO₄/C ナノ構造体粒子正極の電池特性(100mAh 級ラミネートセル、負極:黒鉛化 MCMB、電極厚み:130 μm)として、実用化に近い条件で初期エネルギー密度:58 Wh/kg(0.1C の定電流充放電)を達成(東工大)。

- ・ボロン系、シリコン系の新規な材料にも関わらず、特性面では実用化の可能性が見通せる、可逆容量のプロジェクト最終目標(190-230 mAh/g 程度以上)が達成された。(東大)

4) 共通基盤研究

①実施者の実用化、事業化シナリオ、取り組み姿勢からの見通し

共通基盤研究では開発した蓄電システムの評価方法の事業化は、開発者における共通語の発展形としての「標準化」であるとしており、本研究終了後に標準化の議論にスムーズに移行できるような状況を導けるよう考えている。具体的には、標準化に向けた動きとしては以下のようなことを行ってきた。

まず、2010年9月23日に開催された日・EU技術ワークショップにおいて日・EUが共同で蓄電池のリスク評価及び安全性評価手法の開発に取り組む方針について確認した。

また蓄電システムにおいても機能安全規格 IEC61508 をベースに、運用段階を含めた安全性に関する標準化検討が進むものと予想されるが、その際に本研究の成果であるシステムアシュアランスアプローチによる対応が有効となるので、周知活動を進める。以上のような事例をベースに今後も事業化を進めていく見通しである。

②技術成果面での実用化、事業化への見通し

コスト評価方法・性能評価方法・安全性評価方法・寿命評価方法の開発においては、これまでなかったセル・モジュール・システムレベルの評価方法一式を完成した。これにより、これらを基礎として、「標準化」へ向け、今後完成度を高めていく場が形成されたとも言えるため、その技術的は認められるべきものといえる。

3. 実用化、事業化に向けた今後の課題

1) 実用化技術開発

実用化技術開発における今後の課題としては、セルの安定した量産化技術、大型化に向けた最適なシステムの設計、安全性や寿命管理上重要な充放電管理(SOC 管理)、温度管理、保守管理技術等について開発を進める必要がある。また現状のリチウムイオン電池においては、安定に動作する周囲温度の範囲が狭く、設置場所の温度調節が必要なことも課題である。また、インバーター、コンバータなどのパワーコンバージョンシステム(PCS)の小型化、低コスト化も非常に重要な技術開発課題である。システム最適化設計、管理技術に関しては、今後も実施される「継続研究」の中で研究開発が行われている。

2) 要素技術開発

系統連系円滑化蓄電システムの本格的な普及には、電池、キャパシタの更なる低コスト化、高性能化、長寿命化に向け、材料系の見直し、生産技術の改良と開発、さらにはリサイクルなども含めた継続的な検討が求められる。また、今回抽出した安全性の確認項目、又はそれ以外の内容についてもより深い安全性の検討を継続的に行うべきであろう。

3) 次世代技術開発

今後の課題については以下のようなものがあげられる。

- ・開発した電池のより長期でのサイクル試験と大型化の実証を進め、広く定置型用途としての展開を進める(電中研)。
- ・電解質自体のイオン伝導性の更なる向上と、膜強度の向上、電解質膜の工業生産プロセス確立(鶴岡高専・京大)。
- ・低障壁イオン伝導固体高分子電解質を実電池に適用するにあたって、電解質/活物質界面のインターフェイスを開発する(大阪大学)。
- ・炭素微小球体の設計指針を明らかにし、安価で作製できる技術開発を行う(東海カーボン・産総研)。
- ・ $\text{TiO}_2(\text{B})$ 負極材料のタップ密度が電極の密度が上げられないという問題点が明らかになっておりタップ密度の向上を検討する(同志社大)。
- ・ハーフセルでの容量とフルセルでの容量の差があり、フルセルで容量を出すこと(東工大)。
- ・今回検討した以外の新規材料も視野にいれつつサイクル安定性を確保した前提での高電位化、高活性化、さらなる高容量化を検討する(東大)。

4) 共通基盤研究

太陽光発電や風力発電事業者等のユーザー、蓄電池関連企業や業界団体等による協力体制を構築し、安全性評価、性能評価等、種々の評価手法に対する要望、現状の問題点等の情報を共有化し議論することが必要である。また、自動車用蓄電池等、他用途の蓄電池の評価手法に関する検討状況も把握しつつ、整合性の取れた議論のできる実施体制を構築することも求められる。国際標準化を目指すに当たっては、海外機関との連携体制の構築についても、今後検討が必要な課題である。

更にプロジェクトで開発した個々の評価については、例えばコストと安全性など、相互にトレードオフの関係が生ずる部分が少なくない。そのため、各評価項目を総合的に捉えて全体としての評価を行う「総合評価」についての検討が求められる。その際、今後の蓄電システムの様々な使われ方、運用方法を想定し、目的に応じた柔軟な評価を目指していくことが必要である。

4. 波及効果

経済産業省は、H20年3月に「クールアース エネルギー革新技术開発」を策定し、21の重点技術分野を示しているが、その中で、「高性能電力貯蔵」蓄電システムは、部門横断技術分野の一つとして選定されている。実際、蓄電システムは、PC、携帯電話、電動工具などの一般民生用や本技術開発で実施する太陽光発電等再生可能エネルギーの負荷平準化用途のみならず、プラグインハイブリッド自動車等の次世代自動車、航空機、船舶、鉄道等の輸送器機、更には衛星、ロボット用途として、より一層の需要拡大が見込まれている。

特に、気候変動枠組条約第3回締約国会議において温室効果ガスの排出量削減量が規定されて以降、石油代替、省エネルギーの促進及び環境保全、また、我が国の産業競争力強化および新規産業創出の観点からも、プラグインハイブリッド自動車等次世代自動車の開発や、太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの更なる導入・普及が喫緊の課題となっており、それらの実現に向け、より高性能な蓄電池の開発が求められている状況にある。

市場規模について、経済産業省の設置する「次世代送配電ネットワーク研究会」の報告書によれば、国の太陽光発電の2020年における導入目標2800万kWが導入されると、太陽光発電による出力変動のため、系統安定化対策が必要となり、そのコストは、総額で約1.4～57.2兆円(将来価値換算)と試算され、対策の中身として蓄電池の設置が必要としており、これに要する費用はもっとも経済的なケースで5500億円と試算している。

また、安全性、寿命等の電池、蓄電システム評価手法の開発については、本プロジェクトの成果は、将来的な標準化に向けた活動に繋がるベースとしての価値を有している。電池、蓄電システムの標準化を積極的、戦略的に進めることにより、将来的に我が国の蓄電池産業が今後国際競争力を維持し続けられるかどうかにかかわらず影響は大きいものと考えられる。

以上