

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」
(前倒し事後評価)分科会
資料 7-1

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」

事業原簿【公開】

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

概要

プロジェクト用語集

第1章 事業の位置付け・必要性について

1.1 事業目的の妥当性	1
1.1.1 事業の目的	1
1.1.2 事業の背景	2
1.1.3 関連する上位政策・戦略	5
1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて	7
1.1.5 市場動向	9
1.1.6 特許動向	14
1.1.7 研究開発動向	19
1.2 NEDOの事業としての妥当性	27
1.2.1 NEDOの関与の必要性	27
1.2.2 実施の効果	29

第2章 研究開発マネジメントについて

2.1 研究開発目標の妥当性	31
2.2 研究開発計画の妥当性	32
2.2.1 研究開発内容	32
2.2.2 研究開発スケジュール	33
2.2.3 研究開発費	34
2.3 研究開発の実施体制の妥当性	35
2.3.1 実施者の技術力・事業化能力	36
2.3.2 指揮命令系統・責任体制	37
2.4 研究開発の進捗管理の妥当性	37
2.4.1 NEDO・実施者による進捗管理	37
2.4.2 外部有識者による進捗点検	37
2.4.3 ユーザー企業専門家による進捗点検	39
2.4.4 社会・経済情勢、政策・技術動向の把握	40
2.5 知的財産等に関する戦略の妥当性	41
2.5.1 基本的な考え方	41
2.5.2 本プロジェクトにおける知財取扱いの合意内容	41
2.6 NEDOプロジェクト間の連携マネジメント	42
2.7 中間評価への対応	43
2.8 評価に関する事項	44

第3章 研究開発成果について

3.1 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義	45
3.1.1 高電位正極(PJ-1)の成果の一例	52
3.1.2 高容量正極(PJ-2)の成果の一例	57
3.1.3 高容量負極(PJ-3)の成果の一例	62
3.1.4 難燃性電解液(PJ-4)の成果の一例	70
3.1.5 全固体電池(PJ-5)の成果の一例	76
3.2 成果の普及及び知的財産等の確保に向けた取組	86

第4章 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

4.1 成果の実用化に向けた取組	89
4.1.1 材料メーカーに対するアクション	89
4.1.2 蓄電池・自動車メーカーに対するアクション	92
4.2 成果の実用化の見通し	93
4.2.1 先進 LIB の評価技術の今後の展開	93
4.2.2 全固体電池の評価技術の今後の展開	94
4.3 波及効果	96

(添付資料)

・プロジェクト基本計画	添付資料 1
・プロジェクト事前評価書	添付資料 2
・パブリックコメント募集の結果について	添付資料 3

		最終更新日	2017年7月20日
プログラム名	未来開拓研究プロジェクト		
プロジェクト名	先進・革新蓄電池材料評価技術開発	プロジェクト番号	P13007
担当推進部/担当者	<p>スマートコミュニティ部 細井 敬 (2013年7月～現在)、桜井 孝史 (2014年4月～現在)、 安井 あい (2014年5月～現在)、上村 卓 (2015年4月～現在)、 古田土 克倫 (2015年6月～現在)、下山田 倫子 (2015年6月～現在)、 相原 茂 (2017年4月～現在)、田所 康樹 (2017年4月～現在) 豊川 卓也 (2017年4月～現在)、宮本 潤一 (2017年4月～現在) 大島 直人 (2014年6月～2016年12月)、平松 星紀 (2013年7月～2014年3月)、 釘野 智史 (2013年7月～2014年3月)、佐藤 文 (2013年7月～2014年4月)、 森山 英樹 (2014年3月～2016年2月)、高橋 悟 (2014年4月～2014年10月)</p>		
0. 事業の概要	<p>我が国蓄電池産業の競争力の維持・向上を下支えするソフトインフラの開発として、先進リチウムイオン電池（以下、「LIB」と略す。）及び硫化物系全固体電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>1.1 事業目的の妥当性 1.1.1 事業の目的 気候変動問題の深刻化や新興国の経済成長による資源獲得競争が顕著となりつつある現在、徹底した省エネルギーの推進と再生可能エネルギーの導入が求められており、技術革新による蓄電池の高性能化・低コスト化がその実現成否の鍵を握っている。また、我が国の経済成長の視点で捉えても、蓄電池は今後、市場拡大が想定される成長産業であり、国内企業が市場競争力を有した製品・サービスを他国に先駆けて開発し、外需を獲得することで貿易収支の改善に寄与していくことが期待される。</p> <p>こうした中、現在、国内自動車メーカーや蓄電池メーカー等は、国家プロジェクトあるいは自社開発において先進LIBや革新電池の技術開発を鋭意進めている。この場合、信頼性・安全性の確保を前提とした上で如何に高エネルギー密度化・高出力化を図るのが重要となり、これらの実現には電極活物質、電解質、セパレータといった蓄電池の構成材料の占めるウェイトが極めて大きい。</p> <p>そのため、本事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」は、先進LIBや革新電池の技術進展に合わせ、国内蓄電池関連産業界の共通指標として機能する材料評価技術（標準電池モデルとその作製法、評価条件・手順等）を確立し、国内材料メーカーからの迅速な新材料提案や国内自動車メーカー・蓄電池メーカー等の開発効率向上を促進することにより、高性能・低コストの蓄電池の早期実用化を図ることを目的として実施する。</p> <p>1.1.2 事業の背景 携帯電話、ノートパソコン等の民生用LIBの市場は今後、成長が鈍化すると予想されるものの、今後も市場の拡大が見込まれている。また、出力が不安定な再生可能エネルギーの大量導入時における電力貯蔵や電力システムの安定化対策、EV等の次世代自動車の本格的な導入・普及において、蓄電池は重要な技術であり、今後、市場は大きく成長すると共に、世界的な企業間競争が激化することが予想される。そのため、我が国の競争力確保に向けた技術開発を戦略的に推進する必要がある。</p> <p>2020年代の蓄電池市場でもLIBは中心に位置すると見られ、更なる高性能化・低コスト化を進めるため、蓄電池メーカー、自動車メーカー等が中心となって高電位・高容量の電極活物質、高電圧耐性を有する電解液等を用いた先進LIBの開発、さらには高い信頼性・安全性が期待できる全固体電池の開発が進行している。蓄電池の高性能化・低コスト化、耐久性、信頼性・安全性の確保において構成材料の占めるウェイトは極めて大きい。LIBの材料に関して、国内材料メーカーは高い技術力を保持しているが、近年、中国材料メーカーの存在感が増す傾向にある。競争力の維持・向上にはユーザーが望むタイミング・スピードで要求特性を満足し、かつ価格バランスの取れた材料を提供する必要がある。</p> <p>しかしながら、材料メーカーとユーザーの間では、新材料の開発に関するコミュニケーションが十分に取れず、蓄電池の実用化開発には摺合せ期間と呼ばれる開発非効率が存在している。材料メーカーが新材料を提案した場合、実用化までには5～7年の長期間を要している。加えて、最近では競争領域としての材料技術の高度化が進んでいるため、両者のコミュニケーションは従来よりもむしろ難しくなっている側面もある。この課題を解決するためには、国内蓄電池</p>		

関連産業界の共通指標として機能する材料評価技術を開発する必要がある。

1.1.3 関連する上位施策

- ① エネルギー基本計画（第四次計画：2014年4月、閣議決定）
蓄電池はエネルギーの需給構造の安定性強化に貢献する大きな可能性を持った技術であり、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていくとしている。
- ② 科学技術イノベーション総合戦略2014（2014年6月、閣議決定）
次世代蓄電池技術の実装化が重点的取組として取り上げられており、本プロジェクトと整合する「蓄電池材料評価法の開発」の実施内容・スケジュールが提示されている。
- ③ 自動車産業戦略2014（2014年11月、経済産業省策定）
EV及びPHEVの普及目標として新車販売に占める割合を2030年に20～30%を設定し、蓄電池は産産・産学で協調し、研究開発の効率化とより高度な摺り合わせを実現すべき重点分野の一つとして選定している。
- ④ 未来投資戦略2017（2017年6月、閣議決定）
2017年には世界に先駆けた「超スマート社会」（Society 5.0）の実現を目指した成長戦略である「未来投資戦略2017」（2017年6月閣議決定）が「日本再興戦略」の後継戦略として、策定された。
車載用蓄電池については、現在の液系LIBよりも安全面等で性能が高い全固体電池等の開発・実用化を加速するとしている。また、2020年に国内企業が車載用・電力貯蔵用の先端蓄電池の市場で年間5,000億円を獲得することを目指すとしている。

1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて

本プロジェクトは、この実施要綱及び「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針の一部を改正する方針」（2013年8月、経済産業省）に基づき実施している。

未来開拓研究プロジェクトでは省庁の枠を越えた連携に取り組むことになっており、本プロジェクトは文部科学省「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」と連携する。本プロジェクトの役割は、最低限のスクリーニングを受けた文部科学省プロジェクトの研究結果を受け取り、工業的視点で評価・コンサルティングを行い、産業界に橋渡しをして実用化に向けた研究開発を加速することである。

本プロジェクトでは、2015年度中に全固体電池チームの硫化物系サブチームとの間で「ALCA-LIBTEC 連携会議」を設置し、同チームと情報交換を行いながら、開発された新材料・技術のサンプルの提供を受けて、電池試作・評価を行うとともに、評価結果をフィードバックしている。2016年度には、正極不溶型リチウム硫黄電池チームとも連携を開始し、同チームの研究サンプルを受け入れ、小型のハーフセル又はフルセルでポテンシャルを評価して、その結果をフィードバックしている。

1.1.5 市場動向

蓄電池の2015年における世界市場規模は約7兆円であり、今後は多用途に及ぶ需要開拓が想定され、2025年に約14兆円へと成長することが予測されている。とりわけ、次世代自動車用蓄電池の市場規模は2015年では約1.1兆円であるが、今後飛躍的に成長し、2025年には6倍の6.4兆円になると予測されている。また、市場全体の成長分（6兆円超）の大半がLIBで占められると予測されている。

LIB材料の市場も堅調に成長しており、2015年におけるLIB材料の世界市場規模（正極材料、負極材料、電解液、セパレータ、集電体、外装・バインダーの合算）は、約7,700億円である。今後、市場は堅調に成長し、世界市場規模は2017年には1兆円、2025年には約3.5倍の2.7兆円に到達すると予測されている。用途別では、次世代自動車用途が大きく拡大し、2025年では市場のおよそ7割を占めると予測されている。

2015年における国内材料メーカーのシェア（生産量ベース）は正極活物質が約15%、負極活物質が約30%、電解液が約20%、セパレータが約45%である。中国メーカーが価格競争力を武器にシェアを拡大中であり、中国メーカーの値引きに引きずられる形で市場全体の取引価格が低下し、日本メーカーは旨味のないビジネスを強いられている。

一方、車載用LIB材料の市場では国内材料メーカーが高いシェアを獲得しており、2015年の生産量ベースのシェアは正極材料が約65%、負極材料が約80%、電解液が約65%、セパレータが約60%であり、いずれも世界トップである。但し、海外メーカーも追従してくるものと見られ、日本の材料メーカーが今後、プレゼンスを向上させていくためには、製品ラインナップ

を戦略的に取り揃え、ハイスペック化と低価格化を両立させた新材料をユーザーが望むタイミング・スピードで供給していく必要がある。

1.1.6 特許動向

LIBに係る世界全体の年間特許出願件数は、2000年代前半は約2,000件/年であったが、2010年以降、急速に増加しており、約7,000件/年と約3倍となっている。過去15年の累積の国別特許出願件数では、日本が4割を占め最多である。しかしながら、2010年以降は、中国の出願数が急増しており、技術開発の猛追が伺える。日本の特許出願件数も多いが、特許は実質的に技術を公開することに繋がり、実際、民生用LIBの市場で苦境に立たされていることから、特許出願・登録の件数が必ずしもグローバル市場の競争力に直結しないケースもあることに留意する必要がある。

全固体電池の特許出願は2006年頃より増加している。出願人国籍別で見ると、累積での出願件数6,498件のうち、日本の出願件数が最多の3,509件であり、過半数を占めている。出願件数の推移で見ると、日本がほぼ横這いであるのに対して、米国・中国・韓国は増加の傾向にある。固体電解質の材料別の特許出願件数について、本プロジェクトで取り扱っている硫化物系固体電解質は日本の出願件数が他国と比べて圧倒的に多い。

1.1.7 研究開発動向

LIBの論文発表件数は、国際的な主要論文誌に限定した場合、論文発表件数は2002年の747件から2016年の8,034件と10倍以上に増加している。また、論文の著者所属機関国籍別の発表件数比率は2007年以降、中国の発表件数が急増しており、直近5年間（2012年～2016年）ではほぼ半数（45.5%）を占めるに至っている。

国際会議の研究発表で見ると、現在もLIBの研究が中心であるものの、日本、中国、韓国で全固体電池の論文が多い傾向にある。

全固体電池の論文発表件数は2012年より急増しており、2016年は400件以上が発表されている。また、論文の著者所属機関国籍別の発表件数比率に関して、累積での発表件数2,662件のうち、日本の発表件数は全体の約17%（460件）であり、特許出願件数の約54%と比べると占有比率は小さい。

また、主要各国政府は産学官連携によるLIB及び革新電池の研究開発プロジェクトを積極的に推進している。

1.2 NEDOの事業としての妥当性

1.2.1 NEDOの関与の必要性

①産業界全体の競争力強化（公共性・汎用性）、②学術成果の産業技術への引き上げ、③開発リスク・ハードルの高さ、④関係者間の利害調整、⑤過去の材料評価技術開発プロジェクトのマネジメント経験・ノウハウの活用、⑥省庁間連携（文科省プロジェクトとの連携による開発の効率化）の観点から、本プロジェクトをNEDO事業として取り組むこと、あるいはNEDOの関与が必要である。

1.2.2 実施の効果

本プロジェクトの成果（材料評価技術）が産業界に普及・定着することにより、①新材料の開発効率向上及び開発期間短縮、②材料メーカーによる自社開発品の正確なポテンシャル把握、③技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター（LIBTEC）による材料評価のワンストップサービスの提供、④我が国蓄電池関連産業の技術力の底上げが期待される。加えて、アカデミア発の新材料・技術に対し開発成果を活用して評価することで開発の効率化が期待できる。

LIBの世界市場規模は2015年が約2.4兆円で、2025年には3倍以上の約8.2兆円に成長すると予想されている。また、LIB材料の世界市場規模は2015年が約7,700億円で、2025年には約3.5倍の約2.7兆円に成長すると予想されている。仮に、本プロジェクトの成果を活用しての差別化された製品の市場投入による日本メーカーのシェアアップ分を10%とすれば、LIBについては約8,200億円、LIB材料については約2,700億円の経済効果となる。なお、本プロジェクトに参画しているLIBTEC組合員企業のうち、市場シェア上位の材料メーカーの2015年売上げの合計は900～1,000億円規模である（NEDO推計）。さらに、アプリケーションである自動車（EV・PHEV等）、スマートコミュニティ（定置用蓄電池・関連システム）及びモバイル・IT機器の2025年世界市場規模は、それぞれ25～30兆円、約20～30兆円、70～100兆円と見込まれ（各種データを参考にNEDO推定）、これらアプリケーションに係る国内生産・雇用、輸出、内

	<p>外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上等の形を通じて、我が国経済活性化に貢献することが期待される。</p> <p>一方、本プロジェクトの平成 25 年度から平成 29 年度（5 年間）の総事業費は 23.3 億円であり、十分な費用対効果があると言える。</p>						
2. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>[中間目標] (2015 年度) 先進リチウムイオン電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。</p> <p>[最終目標] (2017 年度) 革新電池のうち全固体電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。また、必要に応じ、先進リチウムイオン電池の材料評価技術について、電池及び電池材料の開発の進展に対応した見直し・追加を行う。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H25FY	H26FY	H27FY	H28FY	H29FY	
	先進リチウムイオン電池材料の評価技術開発	←					→
	全固体電池材料の評価技術開発	←					→
事業費推移 (単位：百万円) 契約種類： 委託(○) 助成() 共同研究()	会計・勘定	H25FY	H26FY	H27FY	H28FY	H29FY	総額
	一般会計						
	特別会計(電源)						
	特別会計(需給)	306	524	600	500	403	(2,333)
	総予算額	306	524	600	500	403	(2,333)
	(委託)：負担率 1/1	306	524	600	500	403	(2,333)
実施体制	経産省担当原課	製造産業局 素材産業課					
	プロジェクトリーダー	LIBTEC 元専務理事 太田 璋 (2013 年 7 月～2016 年 6 月) LIBTEC 専務理事 吉村秀明 (2016 年 7 月～現在)					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	<p>技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター (LIBTEC)</p> <p>○組合員 (17 法人中 12 法人が参加)：旭化成株式会社、JSR 株式会社、信越化学工業株式会社、東レ株式会社、凸版印刷株式会社、日立化成株式会社、富士フイルム株式会社、三井化学株式会社、三菱化学株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社クラレ、JNC 株式会社、住友ベークライト株式会社、大日本印刷株式会社、株式会社日本触媒、三井金属鉱業株式会社、日産化学工業株式会社 (下線が参加企業)</p> <p>○連携研究機関 (6 法人)：トヨタ自動車株式会社、日立マクセル株式会社、パナソニック株式会社、日産自動車株式会社、株式会社本田技術研究所、公立大学法人大阪府立大学</p>					
研究開発の進捗管理	<p>NEDO は本プロジェクトの開発の効率化及び成果の最大化を目的として、先進 LIB から全固体電池まで技術内容が多岐に渡るため、標準電池モデル毎にプロジェクトを 5 つに分け、それぞれを進捗管理する NEDO 担当者を設けて、きめ細かな管理を実施した。さらに、外部有識者で構成される「NEDO 技術委員会 (蓄電池技術開発)」を設置運営し、プロジェクト推進部として留意すべきことや追加的に対応すべきこと等の有無を点検しながら運営した。さらに、ユーザー企業専門家による進捗点検のため、開発内容・成果に対する指摘・助言を求め、それらをプロジェクトの運営や開発技術のブラッシュアップに反映した。また本プロジェクトの身の置かれたドメイン (社会、市場、ビジネス、技術等) を把握しつつ、研究開発を進めるため、国内の有識者・専門家等を講師として招いた「LIBTEC 講演会」を合計 29 回 (本プロジェクト期間中は 14 回)、開催した。</p>						

<p>知的財産等に関する戦略</p>	<p>国際市場で競争力を獲得するためには、知的財産と標準化を戦略的に組み合わせることでビジネス戦略に相乗効果をもたらす取組を進める必要がある。その一方、特許化やデジュール標準化（公的標準化）は実質的な技術の公開に繋がるという側面を持つため、オープン&クローズの戦略が必要である。</p> <p>本プロジェクトの成果となる材料評価技術は、国内蓄電池・材料メーカーが市場競争力を有した製品を創出するため研究開発段階で使用しているツールであり、フォーラム標準に近い性質を持つ。そのため、この評価技術は基本的にはノウハウ（ブラックボックスのクローズ領域）として取り扱うものとし、特許出願やデジュール標準化は行わない方針としている。</p> <p>産業全体の競争力強化の観点においては、開発した評価技術を本プロジェクトに参加の国内関係者にも広く共有し、産業界の共通指標として普及・定着させる方針である。ただし、製品として上市されていない研究開発段階にある先進 LIB 及び全固体電池を対象としたものであり、技術情報の海外流出に対する防止対策が必要と認識している。</p>								
<p>NEDO プロジェクト間の連携</p>	<p>「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2)」(実施期間：2016 年～2020 年) とは、蓄電池の高エネルギー密度化の指針を得ることを目的とした連携を進めることで合意した。具体的に、本プロジェクトの PJ-3 で開発している厚膜正極の標準電池モデルを RISING2 に提供し、SPring-8 の放射光ビームラインを用いた高度解析技術の開発に使用することとし、2016 年 9 月より提供を開始した。また、2016 年 3 月より、「LIBTEC-RISING2 連携会議」を立ち上げ、LIBTEC が提供した標準電池モデルの作製プロセス条件及び材料物性データと RISING の解析結果を突き合わせながら議論し、厚膜正極の充放電メカニズムについて相互に理解を深めている。</p> <p>また、「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」(実施期間：2012 年～2016 年) の研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の実施者である国立研究開発法人産業総合技術研究所 (AIST) 及び一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) と LIBTEC との技術交流会をそれぞれ 2016 年 5 月、2016 年 6 月に開催した。AIST との技術交流会では、高容量負極材であるシリコン系負極材を適用した先進 LIB の劣化試験法や dV/dQ 解析手法の先進 LIB への適用性等について情報・意見交換を行った。また、JARI との技術交流会では、国際標準 IEC62660-3 (EV 用 LIB 単セルの安全要件) として発行されている異物混入を模擬した強制内部短絡試験法の代替試験法について情報・意見交換を行った。</p>								
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>・中間評価における主たる指摘事項とその対応を下表に示す。</p> <table border="1" data-bbox="448 1025 1498 2080"> <thead> <tr> <th data-bbox="448 1025 719 1059">指摘事項</th> <th data-bbox="719 1025 1498 1059">対応</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="448 1059 719 1368"> <p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p> </td> <td data-bbox="719 1059 1498 1368"> <p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1368 719 1680"> <p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p> </td> <td data-bbox="719 1368 1498 1680"> <p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1680 719 2080"> <p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p> </td> <td data-bbox="719 1680 1498 2080"> <p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p> </td> </tr> </tbody> </table>	指摘事項	対応	<p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p>	<p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p>	<p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p>	<p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p>	<p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p>	<p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p>
指摘事項	対応								
<p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p>	<p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p>								
<p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p>	<p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p>								
<p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p>	<p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p>								

評価に関する事項	事前評価	H24年度 事前評価実施
	中間評価	H27年度 中間評価実施
	事後評価	H29年度 前倒し事後評価実施
3. 研究開発成果について	<p>(1) 先進LIB/高電位正極(PJ-1)</p> <p>① LNMO正極、天然黒鉛負極、フッ素系溶媒を用いた電解液、PPセパレータの組合せで1Ah級の標準電池モデルを策定。</p> <p>② ガス発生について、カーボネート系電解液は正極との反応で電解液が変性するとともに、CO/CO₂が発生し、変性した電解液が負極と反応することでH₂が大量に発生することを確認。フッ素系電解液は正極での反応抑制でガス発生量が大幅に軽減することを確認。</p> <p>③ 策定した高電位正極標準電池モデルについて、量産を想定した試作仕様書を策定。</p> <p>④ 高電位正極電池用性能評価手順書として、民生用途だけでなく、BEV、HEV用途等も策定。加えて、dV/dQ解析による電池容量劣化分解手法の手順書を策定。</p> <p>⑤ 平成27年度までに開発した評価法の妥当性検証を行い、平成28年度末まで目標の20件を大幅に上回る43件サンプル評価実施し、材料の相対評価が可能なレベルの評価技術であることを確認。</p> <p>(2) 先進LIB/高容量正極(PJ-2)</p> <p>① 213固溶体正極、天然黒鉛負極、添加剤含有電解液、PPセパレータの組合せで1Ah級の標準電池モデルを策定。</p> <p>② 初回充電における高容量発現機構について、格子酸素(O²⁻)が高容量に大きく寄与していることを把握し、この知見に基づき、初回充電電圧4.6V、電流値0.05Cで容量規制充電を行うことにより、高容量が安定的に発現することを確認。</p> <p>③ 策定した高容量正極標準電池モデルについて、量産を想定した試作仕様書を策定。</p> <p>④ 高容量正極の標準電池モデルの性能を評価する手順書を策定。加えて、早期劣化診断が可能な三極式小型ラミネート電池を用いた劣化解析法を策定。</p> <p>⑤ 平成27年度までに開発した評価法の妥当性検証を行い、平成28年度末まで目標の10件を上回る14件サンプル評価実施し、材料の相対評価が可能なレベルの評価技術であることを確認。</p> <p>(3) 先進LIB/高容量負極(PJ-3)</p> <p>① サイクル評価まで可能なLFP/SiO-黒鉛混合、NCA/SiO-黒鉛混合の各モデルと、6.5mAh/cm²と8.0mAh/cm²の厚膜電極モデルを策定した。SiO比率を30%に高めて、高容量負極用に開発された新材料を耐久性まで含めて評価することが可能となった。</p> <p>② SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル(6.5mAh/cm²と8.0mAh/cm²)の試作仕様書を策定し、試作評価が可能となった。負極の精密評価用擬似ハーフセルや、SiO高含有率負極での加速評価用モデル、フルセル評価モデル(高出力型、高容量型)の試作仕様書を策定した。</p> <p>③ SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル用の性能評価手順書を策定し、電池性能評価が可能となった。ダイコーターを使用した厚膜電極塗工や電極のイオン伝導率・曲路率の測定、共焦点顕微鏡を用いた電極断面のオペランド観察、電極の膨張収縮変化の超精密測定等の評価法についても策定した。</p> <p>④ 平成29年6月までに合計目標件数を上回る67件の材料評価を実施し、高容量負極用の材料評価法の妥当性を検証した。電位平坦性の高いLFP正極を使った擬似ハーフセルモデルは、SiO負極の挙動を精密評価できる長所により、全評価の8割を超える利用があり、有効な評価法であることを確認できた。厚膜電極モデルは平成28年度末の策定後、電解液評価を中心に評価件数が順調に増加している。</p> <p>(4) 先進LIB/難燃性電解液(PJ-4)</p> <p>① 高電圧の安全性評価が可能な4.5V LCO/黒鉛系で標準電池モデルを策定した。NCM系より発熱しやすい高電位LCOを正極活物質に選定し、高電位における挙動の違いを明確にできるモデルに出来た。電解液添加剤Pにより高電圧でのサイクル容量維持率を改善した。</p> <p>② 高電圧の安全性評価が可能な4.5V LCO/黒鉛系の標準電池モデルの試作仕様書を策定。</p> <p>③ 標準ラミネート電池ARC評価、C80小形ラミネート電池評価、ミツバチネイル短絡試験等13種の性能評価手順書を策定した。ARC評価については、多量のガスが発生した際に、ガスを排出可能なベントを備えた評価容器を開発し、1Ah級標準電池の安全性評価を可能にした。C80評価については、30mAh級の小型ラミネート電池から取り出した電池構成部分を筒状に巻き加工したものを評価サンプルとする工夫により、発熱挙動の評価を可能にした。ミツバチネイル短絡試験については、Ni円錐とスペーサをZr球に取付けた評価治具を開発し、電極対1層短絡を再現よく実現できる評価を可能にした。</p>	

	<p>④ 平成 29 年 6 月までに合計目標件数を上回る 144 件の材料評価を実施した。電解液、セパレータや正極等の材料評価で、ARC 評価や C80 評価を標準電池の昇温試験と併せて行い、評価結果の相関性を確認した。また、ミツバチネイル短絡試験評価が、従前の強制内部短絡試験と同様に電極対 1 層短絡を実現でき、正極、電解液、セパレータ等の材料の短絡時の耐熱安全性評価として妥当なことを確認した。</p> <p>(5) 革新電池／全固体電池(PJ-5)</p> <p>① 全固体電池の構成材料の 1 次スクリーニング評価を目的とした圧粉体成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。プロセス要因を排除した材料自体のポテンシャルの評価が可能となった。</p> <p>② 材料の塗料化、塗工、シート化等のプロセス要因を考慮した材料評価を目的とした 8mAh 級のシート成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。100 サイクルレベルでも急激な容量低下は観測されず、シート成形した全固体電池の材料評価が可能となった。また、プロセス環境の影響の評価も可能なモデルとして完成させた。</p> <p>③ 車載用全固体電池の材料評価を見据え、セル大面積化に伴う影響を調査するため、大面積化した 50mAh 級のシート成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。大面積化に伴う Li デンドライト析出の要因を抽出し、その抑制に向けた技術開発の方向性を見出した。</p> <p>④ 負極側で発生する Li デンドライト析出の抑制に向けて、全固体電池の参照極を用いた Li 析出検出技術、Li 析出シミュレーション技術、負極内イオン伝導分離測定技術、シート成形電池の面内反応分布解析技術、Li デンドライトの直接観測技術を開発した。</p> <p>⑤ ALCA との連携として、ALCA 硫化物全固体チームの開発成果である液相法による電解質コート技術、電解質を充填した多孔質樹脂シート、熱分解性バインダーの 3 件の技術提供を受け、標準電池モデルを用いて評価を行い、その有用性を見出した。</p> <p>⑥ 開発した材料評価技術を用いて材料サンプルを評価した。平成 28 年度は、目標の 5 件を大幅に上回る計 15 件の材料サンプルで電池試作・評価を行った。特に、新電解質材料 4 件を評価、性能向上を確認し、高イオン電導度の固体電解質アルジロナイト結晶系材料を標準電池材料として採用した。さらに、11 件のバインダー材料の新サンプル評価も実施し、材料メーカーでの改良開発に活用している状況にある。</p> <table border="1" data-bbox="446 1120 678 1272"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>0 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件</td> </tr> </table>	投稿論文	0 件	特 許	「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)	その他の外部発表 (プレス発表等)	「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件																		
投稿論文	0 件																								
特 許	「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)																								
その他の外部発表 (プレス発表等)	「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件																								
<p>4. 実用化・事業化の見通し及び取組について</p>	<p>4.1 成果の実用化に向けた戦略と取組</p> <p>本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)は、「本プロジェクトで開発した評価技術が、材料メーカーにおける新材料の研究開発(ポテンシャル把握、実用化課題の抽出、改良の方向性の検討等)や蓄電池・自動車メーカーに対する提案活動等に活用されること。」と定めた。そのための取組は次のとおりである。</p> <p>① 材料メーカーに対するアクション</p> <p>「LIBTEC 技術委員会」において、これまでの成果を組合員企業に説明して情報共有に努めるとともに、新材料の評価活動を開始することをアナウンスし、先進 LIB 及び全固体電池の新材料サンプルの提供を呼び掛けた。また、H28 年度には組合員企業以外からも新材料サンプルの提供を受けるべく、「賛助会員制度」を設けた。なお、提供された新材料サンプルでの電池試作・評価を行う際には、事前にサンプル提供者と打合せを行い、当該材料の開発目的・適用用途に適った評価計画を提案するようにした。さらに、評価結果のフィードバックに際しては、標準電池モデルとの相対評価結果の提示だけでなく、何故、そのような結果が得られるのかの現象・メカニズムの裏付けデータも併せて提示した。</p> <p>これら国内材料メーカーから提供される新材料サンプルの評価を 29 年度末までの 2 年間継続する予定で、評価技術の妥当性検証を実施してきた。平成 29 年 6 月末現在の本プロジェクトにおける新材料サンプルの評価件数は以下の通りである。</p> <table border="1" data-bbox="446 1859 1498 2069"> <tr> <td>PJ-1 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 43 件</td> <td>H29 年度評価件数 6 件</td> <td>モデル合計 49 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-2 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 14 件</td> <td>H29 年度評価件数 4 件</td> <td>モデル合計 18 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-3 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 44 件</td> <td>H29 年度評価件数 23 件</td> <td>モデル合計 67 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-4 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 96 件</td> <td>H29 年度評価件数 48 件</td> <td>モデル合計 144 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-5 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 15 件</td> <td>H29 年度評価件数 0 件</td> <td>モデル合計 15 件</td> </tr> <tr> <td>合計:</td> <td>H28 年度評価件数 212 件</td> <td>H29 年度評価件数 81 件</td> <td>合計 293 件</td> </tr> </table>	PJ-1 モデル:	H28 年度評価件数 43 件	H29 年度評価件数 6 件	モデル合計 49 件	PJ-2 モデル:	H28 年度評価件数 14 件	H29 年度評価件数 4 件	モデル合計 18 件	PJ-3 モデル:	H28 年度評価件数 44 件	H29 年度評価件数 23 件	モデル合計 67 件	PJ-4 モデル:	H28 年度評価件数 96 件	H29 年度評価件数 48 件	モデル合計 144 件	PJ-5 モデル:	H28 年度評価件数 15 件	H29 年度評価件数 0 件	モデル合計 15 件	合計:	H28 年度評価件数 212 件	H29 年度評価件数 81 件	合計 293 件
PJ-1 モデル:	H28 年度評価件数 43 件	H29 年度評価件数 6 件	モデル合計 49 件																						
PJ-2 モデル:	H28 年度評価件数 14 件	H29 年度評価件数 4 件	モデル合計 18 件																						
PJ-3 モデル:	H28 年度評価件数 44 件	H29 年度評価件数 23 件	モデル合計 67 件																						
PJ-4 モデル:	H28 年度評価件数 96 件	H29 年度評価件数 48 件	モデル合計 144 件																						
PJ-5 モデル:	H28 年度評価件数 15 件	H29 年度評価件数 0 件	モデル合計 15 件																						
合計:	H28 年度評価件数 212 件	H29 年度評価件数 81 件	合計 293 件																						

	<p>平成 28 年度は 212 件の新材料サンプルについて電池試作・評価を実施し、当初設定の目標件数(70 件)の 3 倍もの材料評価を行ったことが分かった。これは、開発した評価手法が材料メーカーにとって有用であったためと考えられる。また、組合員企業へのアンケート調査を行った結果、本プロジェクト成果を活用して、自社開発品の事業化判断等の開発指針策定に活用している企業が 12 社、また顧客への提案に活用した企業も 9 社あり、本プロジェクトで定義する評価技術の実用化が既に進捗している状況にある。</p> <p>② ユーザーに対するアクション</p> <p>LIBTEC 内に設置済みの蓄電池・自動車メーカー14 社の専門家で構成される「アドバイザー一委員会」を設置して、指摘・助言をすくい上げながら、研究開発を進めた。得られた助言を開発成果に反映させて、ユーザーサイドからも意義のある材料評価技術としてブラッシュアップさせた。</p> <p>4.2 成果の実用化の見通し</p> <p>(1) 先進 LIB の評価技術の今後の展開</p> <p>先進 LIB の評価技術については、材料メーカーの開発やユーザーへの提案活動等に活用可能なレベルに仕上がったと考えられる。また、先進 LIB は、各ユーザーが自社製品のカスタマイズを目的とした研究開発を推進していくフェーズに移行している。従って、先進 LIB の評価技術はプロジェクト第 1 期で完了とし、平成 30 年度より LIBTEC の自主事業において、開発した評価技術を活用していくこととする。</p> <p>(2) 全固体電池の評価技術の今後の展開</p> <p>①プロジェクト第 1 期成果の公開</p> <p>全固体電池は入出力特性・安全性の確保の面で液系 LIB と比較して多くのメリットが期待できることから、近年、国内外で研究開発が活発化している。これら多数の材料評価に関して、実用化を加速するためには、研究の裾野の拡大と活性化が必要であり、データ横並び比較の容易化が必要であると考えられる。そこで、本プロジェクトの成果の一部である全固体電池の材料評価法については、プロジェクトの第 1 期終了後、国内産業界・アカデミアに対して広く共有する方針であり、その公開内容・方法・時期等を現在、検討中である。この公開により、新規参入や異分野の研究者にも門戸が開かれ、全固体電池の研究開発の底上げと裾野の拡大が図られることが期待される。</p> <p>②プロジェクト第 2 期の取組</p> <p>バルク型全固体電池には難易度の高い技術課題が数多く残されており、とりわけ、全固体電池の実用化が最も期待されている用途である EV・PHEV 用車載蓄電池においては、具体的な方向性が定まっていない。そのため、本プロジェクトの第 2 期(2018~2022 年度:5 年間)においては、市場競争力のある全固体電池と EV・PHEV の実用化で先手を取り、日本に有利なビジネス環境を創造することを狙って研究開発に取り組む方針であり、現在、経済産業省・NEDO が中心となって産業界との意見交換を進めている。</p> <p>4.3 波及効果</p> <p>期待される波及効果としては、蓄電池開発のオープンイノベーションの加速、学術成果の産業技術としての引き上げや人材育成が挙げられる。本プロジェクトでは、連携機関として参加している蓄電池メーカー及び自動車メーカーの研究者が、材料メーカーの研究者と同床執務で研究開発に取り組んでいる。このように川上企業と川下企業の研究者が協働し、幅広い知・人材の交流が図られることにより研究開発に係るパートナーシップが促進され、これまで垂直連携で開発が展開されてきた蓄電池分野において、オープンイノベーションが加速される。</p> <p>また、本プロジェクトでは、全固体電池(硫化物系)については平成 27 年度より「ALCA-LIBTEC 連携会議」を設置している。今後も、ALCA-SPRING プロジェクトとは連携を継続していく方針であり、学術成果の産業技術としての引き上げ(橋渡し)に貢献していく。</p> <p>さらに、LIBTEC では、材料メーカーの技術者を出向研究員として受け入れ、蓄電池メーカー出身のマネージャーの指導の下、蓄電池の評価技術の開発に携わることで、蓄電池の設計・作製・評価に関する技術を習得している。これまでに 48 名の出向研究員を受け入れている。LIBTEC 出向経験者は、蓄電池評価の知見が少ない材料メーカーにとって貴重な戦力であり、帰任後において蓄電池用材料開発におけるキーパーソンとなっている。</p>				
5. 基本計画に関する事項	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="448 1951 584 1989">作成時期</td> <td data-bbox="584 1951 1498 1989">2013 年 3 月 作成</td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1989 584 2020">変更履歴</td> <td data-bbox="584 1989 1498 2020">なし</td> </tr> </table>	作成時期	2013 年 3 月 作成	変更履歴	なし
作成時期	2013 年 3 月 作成				
変更履歴	なし				

プロジェクト用語集

用語	説明
AB	Acetylene Black の頭字語。アセチレンブラック。アセチレンガスを不完全燃焼して製造した高純度の粉末状の導電助材。
ARC	Accelerating Rate Calorimeter(断熱型反応熱量計)の略。電池や電池材料を一定温度で昇温加熱し、加熱に伴う自己発熱の温度や発熱量から電池構成材料間の反応性を評価する。
C	定電流放電したときに、ある時間で放電終了となる電流値。) 1 C…1 時間、0.2 C…5 時間で放電終了となる電流値。
C80	カルベ型熱量計の略号。324 個の熱電対で 0.1 μ W 単位の測定ができる。電極、セパレータ、電解液を電池構成のままに評価するため実際の電池での発熱に近い評価が可能である。
DEC (Diethyl Carbonate)	ジエチルカーボネート。低粘度溶媒であり、イオン移動度が大きいことから、LIB 向け電解液の溶媒用途に使用されている。
DOD	Depth of Discharge の頭字語。放電深さと訳され、電池(容量)を使った程度(深さ)を示す指標。完全充電状態は DOD=0で、完全放電状態は DOD=100%。
dV/dQ	充電または放電容量(Q)に対する電圧(V)の変化量。dU/dQ、dE/dQ と表記されることもある。電池の充放電試験では電圧と容量の関係(充放電曲線)が得られ、電圧(V)を容量(Q)で微分($\Delta V/\Delta Q$)することで dV/dQ 曲線が得られる。ピーク形状やシフト量、ピーク間距離等から電極内の反応分布や劣化に関する情報が得られる。dV/dQ の分母と分子を逆にした dQ/dV は非常に遅い掃引速度でのサイクリックボルタモグラム(CV)にほぼ相当することが知られており、新規活物質のプラトー電位の解析等に利用される。
EC (Ethylene Carbonate)	エチレンカーボネート。高極性溶媒であり、電解質を大量に溶解できることから、LIB 向け電解液の溶媒用途に主に使用されている。
EMC (Ethyl Methyl Carbonate)	エチルメチルカーボネート。鎖状カーボネートであり、低粘度溶媒で、イオン移動度が大きいことから、LIB 向け電解液の溶媒用途に使用されている。
EPMA	Electron Probe Micro Analysis の頭字語。和訳は、電子線マイクロアナライザー。試料に電子線を照射し、試料から発生する特性 X 線を検出し、分析することで、試料に含まれる元素の同定と量の大小が分かる。
EV (Electric Vehicle)	外部からの電力供給によって二次電池(蓄電池)に充電し、電池から電動機に供給する二次電池車。
FEC (Fluoroethylene Carbonate)	フルオロエチレンカーボネート。LIB 電解液用フッ素系添加剤。EC の水素原子を一つフッ素原子に置換した液体のフッ素化合物。LIB の負極表面に良好な皮膜を形成することにより、電解液の劣化を抑制できる。
HC	Hard Carbon の頭字語。ハードカーボンあるいは難黒鉛化性炭素と呼ばれる。材料の硬度は高いが、微小構造の特性から急速かつ大電流での充電が出来、HEV 向きとも言われる。
LCO	LiCoO ₂ コバルト酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。

用語	説明
LFP	LiFePO_4 リン酸鉄リチウム。原料が安価で、放電電圧が約 3.4V でやや低いが平坦で、かつ 400°C 超まで熱安定性に優れるので、ナノレベルの粒径にすることで、電動工具、電気自動車や定置用の電池に用途が広がっている。
Li	→リチウム
LiBOB	リチウムビス(オキサラト)ボレート。LIB の電解質塩として使用されている。LIB の電解液に添加することにより、過充電防止効果や高温化での寿命安定性、ガス発生抑止効果等がある。
LiClO_4	過塩素酸リチウム。LIB で常用される LiPF_6 とは違って加水分解することがなく、安定かつ便利であるため、実験室での試験に適している。
LiFSI	リチウムビス(フルオロスルフォニル)イミド。LIB の電解液に添加することにより、サイクル特性向上、低温負荷特性向上、イオン伝導性向上等の効果がある。
LiPF_6	六フッ化リン酸リチウム。LIB の電解質塩として使用される。
LMO	LiMn_2O_4 マンガン酸リチウム。LIB 用正極材として利用。
LNMO	スピネル型ニッケルマンガン酸リチウム $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ の頭字語。5V 正極材料として注目されている材料。
LPS	リチウム(Li)・リン(P)・硫黄(S)からなるガラスセラミックス構造の硫化物系固体電解質。
MCMB	Meso-phase Carbon Micro Beads の頭字語。メソカーボン小球体と呼ばれる。ピッチを 400°C 程度に加熱することにより生成する。電気化学的にシンプルかつ優れた電流-電圧特性を示し、電極への充填性も高い。
NCA	$\text{Li}[\text{NiAlCo}]_2\text{O}_2$ LIB 用正極材として利用。
NCM	$\text{Li}[\text{NiMnCo}]_2\text{O}_2$ LIB 用正極材として利用。
OCV	Open Circuit Voltage の頭字語。開回路電圧と呼ばれ、電池に電流が流れていない状態での電池の電圧を指す。
PA	ポリアミド樹脂。耐熱セパレータの素材として注目されている。
PC	Propylene Carbonate の頭字語。炭酸プロピレン。黒鉛材負極とは互換性が低いが、沸点が低いので電池に使用すると低温特性が良化する。
PVDF	Poly-Vinylidene Difluoride の頭字語。ポリフッ化ビニリデン。酸化還元耐性に優れる。主に正極のバインダー(結着材)に使用する。
SAICAS	Surface and Interfacial Cutting Analysis System の頭字語。電極合剤層の表面層と平行に切削して、その剪断降伏応力や剥離強度測定する装置。
SBR	Styrene-butadiene rubber の頭字語。スチレン-ブタジエンゴム。LIB 負極の水系バインダーとして使用される。
SEI	Solid Electrolyte Interface の頭字語。電解液の還元分解等により負極の表面上に形成される有機化合物や無機リチウム化合物等からなる皮膜。数~数 10nm の薄膜。SEI が形成されることにより負極上での電解液の反応を抑制している。
SMG	Surface Modified Graphite の頭字語。高充填性を実現すべく、天然黒鉛に塊状化処理を行った後に、表面改質処理を施した黒鉛。高比容量である。

用語	説明
SOC (State of Charge)	充電状態。
VGCF	Vapor Grown Carbon Fiber の頭字語。和訳は気相成長炭素繊維。
213 固溶体	$\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiMO}_2$ (M=Ni,Co,Mn 等)固溶体の略称。 Li_2MnO_3 の理論容量は約 359mAh/g と高容量であるが不活性であるため、活性な LiMO_2 と固溶体化させることにより、高容量を発現させることが可能となった。
アルジロダイト	リチウム(Li)・リン(P)・硫黄(S)・ハロゲン(X)からなる結晶質構造の硫化物系固体電解質。
活物質	電極活物質ともいう。化学電池で、その電池の起電反応のもととなる主要物質のこと。LIB では、正極活物質として、コバルト酸リチウム、マンガン酸リチウム、リン酸鉄リチウム等が、負極活物質として、黒鉛等が使用されている。
グラファイト	炭素の同位体の一つであり、炭素原子六員環が同一面に連なったグラフェン面が積層した構造となっている。商品化されている LIB の負極材料として使用されている。
合金系負極	Si や Sn のように、充放電の際に Li と合金を形成する材料のこと。炭素系負極材料に比べて、充放電電位は高くなるが、数倍の理論容量を示す。
黒鉛	→グラファイト
固体電解質	有機物又は無機物の固体の中で、リチウムイオン伝導性を示し、電解質として使用できるもの。
サイクル特性	一定条件下での充放電サイクル数と容量維持率の関係をプロットした図で表され、エネルギー密度、レート特性と並ぶ重要な電池特性。通常、室温、1 C で充放電を繰り返したときの容量値の推移を見る。二次電池のような充放電をしながら使用するデバイスでは、充放電サイクルを重ねても劣化が少ないことが要求される。
試作仕様書	標準構成電池モデルを試作(作製)する際の、材料の規定から始まって電池完成までの作製に関わる全てのプロセスを詳細に記載した書類。この仕様書に従って電池作製を行えば常に一定の品質の当該電池が作製できる。
充放電サイクル	充放電の繰り返し回数。電池の劣化していく主な原因は充放電繰り返しによるセルの内部抵抗の増大。内部抵抗が増大すると容量・放電レートや温度特性も低下。
出力密度	二次電池の単位質量又は単位容積当たりに取り出せる電気出力。W/kg、W/L 等の単位で示される。
性能評価手順書	各ロットの電池を評価する際には、複数の評価項目について試験を行うが、その際に評価順序、評価条件、評価電池個数、等を定めた評価方法を記載した書類。
セパレータ	正極と負極の間に短絡防止、間隔保持、電解液保持等の目的で挿入する多孔または微孔性の膜や不織布状のもの。
セル	単電池。電池の内部構造で、正極・負極・電解液の 1 組。又はそれを 1 組だけ持つ電池。
全固体電池	可燃性電解液の代わりに固体電解質を利用し、電池全てが固体でできた電池。電池パックの損傷等によるショート、発火する危険性が低減する。

用語	説明
電解液	二次電池内の電気化学反応に際してイオン伝導させる溶液。LIB では、極性が大きく溶解力の高いカーボネート系有機溶剤が使用される。
バインダー	活物質同士あるいは活物質と集電体を結着させ、導電ネットワークを形成し構造を維持するために、電極合剤に添加される。塗料特性、柔軟性、電解液への不溶性、電気化学的な安定性等様々な性能が要求される。
評価基準書	標準構成電池モデル毎に、その使用する材料、電極と電池の作製方法、電極と電池の評価方法、評価結果のまとめ、信頼性評価、安全性評価、留意点と展開、等を一纏めとしたもので、当該モデルの技術の全てが記載されている書類。「評価基準書一次版」には上記の「試作仕様書」、「性能評価手順書」の他に「構造解析結果」、「評価手法と評価結果」等が含まれる。「評価基準書二次版」にはこれらに加えて「信頼性」、「安全性」に関する項目が追加される。
ラミネート形電池	従来の金属ケースに代えて、水蒸気の浸透を阻止できるアルミニウム (Al) 箔を中心に、外装面に強度と対候性のあるナイロンや PET (ポリエチレンテレフタレート) の薄膜を、内装面に PP (ポリプロピレン) 等の水蒸気透過性の低い薄膜を積層した (laminated) 包材を成型し、ケースとした電池の総称。小型で軽量の電池が比較的容易に実現できる。パウチ形電池とも呼ばれる。
リチウム	元素記号 Li。原子量 6.941。銀白色の金属結晶。酸化還元電位が全元素中で最も低く、原子量が小さいことから、電極材料として使用すると、エネルギー密度の大きい電池が作製できる。反応性に富み、水、窒素、ハロゲン等と激しく反応する。
リチウムイオン電池	二次電池の一種。LIB の充放電における反応は、リチウム原子が正極・負極、両極の層状物質の層間を往復するだけのシンプルなものである。(1)起電力が約 4 V と高い、(2)エネルギー密度が高い、(3)レート特性が良い、(4)温度特性、自己放電特性が良い、(5)メモリ効果が見られない、という特徴を持っている。これらの特徴から、家電、通信機等の幅広い分野で応用されている。今後は、自動車等輸送機器用の電源としての用途が期待されている。
リチウムデンドライト	充電時に負極側に樹脂状や針状に金属 Li が析出する現象のこと。セパレータや電解質層を突き破り、析出した金属 Li が正極に接触することで短絡の要因となる。

第1章 事業の位置付け・必要性について

1.1 事業目的の妥当性

1.1.1 事業の目的

気候変動問題の深刻化や新興国の経済成長による資源獲得競争が顕著となりつつある現在、徹底した省エネルギーの推進と再生可能エネルギーの導入が求められており、技術革新による蓄電池の高性能化・低コスト化がその実現成否の鍵を握っている。また、我が国の経済成長の視点で捉えても、蓄電池は今後、市場拡大が想定される成長産業であり、国内企業が市場競争力を有した製品・サービスを他国に先駆けて開発し、外需を獲得することで貿易収支の改善に寄与していくことが期待される。

こうした中、現在、国内自動車メーカーや蓄電池メーカー等は、国家プロジェクトあるいは自社開発において先進リチウムイオン電池^{※1}や革新電池^{※2}の技術開発を鋭意進めている。この場合、信頼性・安全性の確保を前提とした上で如何に高エネルギー密度化・高出力化を図るのが重要となり、これらの実現には電極活物質、電解質、セパレータといった蓄電池の構成材料の占めるウェイトが極めて大きい。

そのため、本事業は、先進リチウムイオン電池電池や革新電池の技術進展に合わせ、国内蓄電池関連産業界の共通指標として機能する材料評価技術(標準電池モデルの仕様、作製法、性能評価条件・手順等)を確立し、国内材料メーカーからの迅速な新材料提案や国内蓄電池メーカーの開発効率向上を促進することで、高性能・低コストの蓄電池の早期実用化を図ることを目的として実施する。

本プロジェクトの成果イメージを図 1-1 に示す。標準電池モデルとその試作仕様書については、ユーザーの製造工程をモデル的に再現した設備を適用して策定する。また、性能評価条件については、想定される主要な用途をカバーするものを策定する。さらに、必要に応じ、高精度分析・測定機器を使用した個別課題の評価技術の開発とその評価手順書も策定する。

※1:先進リチウムイオン電池:高電位・高容量正極材料、高容量負極材料、高電圧耐性を有する電解質材料等を用いて、高性能化や高耐久化、低コスト化を図ったリチウムイオン電池。

※2:革新電池:リチウムイオン電池のエネルギー密度の工業的な限界(250Wh/kg程度)を超えての実用化が期待できる電池。全固体電池、多価カチオン電池、金属空気電池等

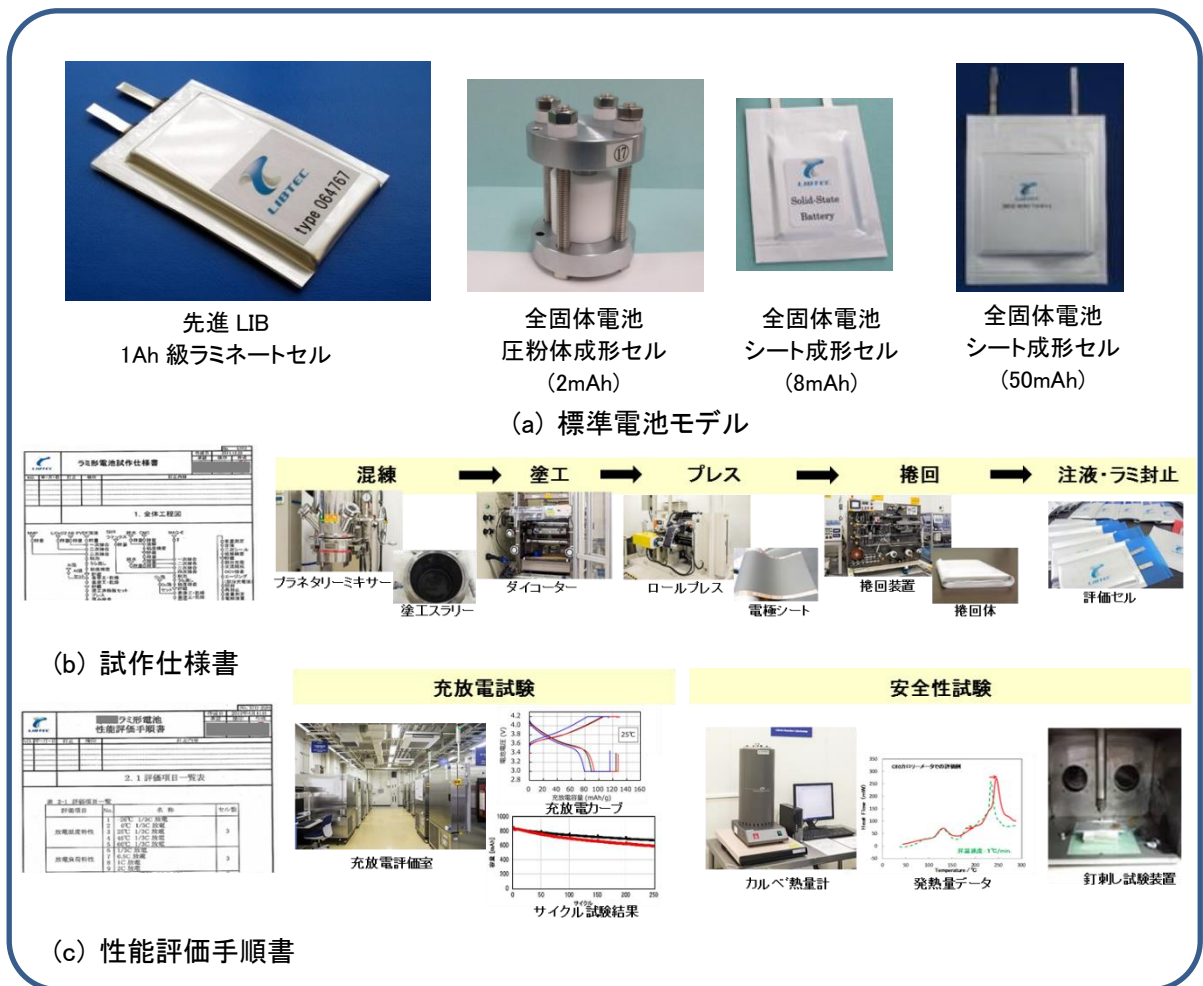


図 1-1 本プロジェクトの成果イメージ

1.1.2 事業の背景

(1) 蓄電池の技術進化の方向性

蓄電池は、大きな流れとして鉛蓄電池、ニカド電池、ニッケル水素電池 (Ni-MH 電池)、リチウムイオン電池 (LIB) の順で開発・製品化されてきた。この歴史は基本的に高エネルギー密度化の歴史であると言え、重量エネルギー密度で比較すると、ニカド電池は鉛蓄電池の約 1.5 倍、Ni-MH 電池はニカド電池の約 2 倍、LIB は Ni-MH 電池の約 2~2.5 倍となっている。

携帯電話、デジタルカメラ等の小型軽量化・高機能化やパソコン、電動工具等のコードレス化が進む中、LIB が 1991 年にソニーによって商品化されると瞬間に普及が進んだ。LIB の生産量は現在も顕著に増加しており、民生用は 2010 年の約 21GWh から 2015 年には 2 倍以上の約 48GWh に、車載用は 2010 年の約 100MWh から 2015 年には 100 倍以上の約 13GWh となっている。エネルギー密度も飛躍的に向上しており、発売当初、1,000mAh だった 18650 型 LIB は現在では 3,500mAh となり、重量エネルギー密度は 80Wh/kg から 260Wh/kg、体積エネルギー密度は 200Wh/L から 720Wh/L と 3 倍以上になっている。

このため、LIB は 2020 年代の蓄電池市場では中心に位置すると見られ、更なる高性能化・低コスト化を進めるため、蓄電池メーカー、自動車メーカー等が中心となって高電位・高容量の正極活物質、高容量負極、高電圧耐性を有する電解液等を用いた先進 LIB の開発が進行している。

その一方で、高性能化・低コスト化とトレードオフの関係にある安全性・耐久性の確保を考慮すると、LIB のエネルギー密度には工業的な限界が近づいていると言われている。例えば、EV の 1 回の充電あたりの走行距離をガソリン車並みに伸ばさせようとした場合、現在の電池パックのエネルギー密度を現状の 5 倍程度まで高める必要がある。加えて、販売価格もガソリン車並みとするには、電池パックのコストを現状の 1/5 程度まで低減する必要がある。このようなレベルでの開発目標となると、LIB での達成は難しく、LIB とは電荷キャリア、材料、構造等が異なった革新電池（ポスト LIB）を開発する必要がある。これは IT・モバイル機器でも同様であり、例えば、今後の市場拡大が予想されるウェアラブル端末（スマートウォッチ、スマートバンド等）では、端末自体が極めて小型になるため、LIB の高容量化での対応にも限界があると言われている。そのため、世界全体で、理論上 LIB のエネルギー密度を超える様々な革新電池の候補に関する研究開発の取組も行われている。

上記した蓄電池の市場イメージと技術開発の方向性を整理したものを図 1-2 に示す。

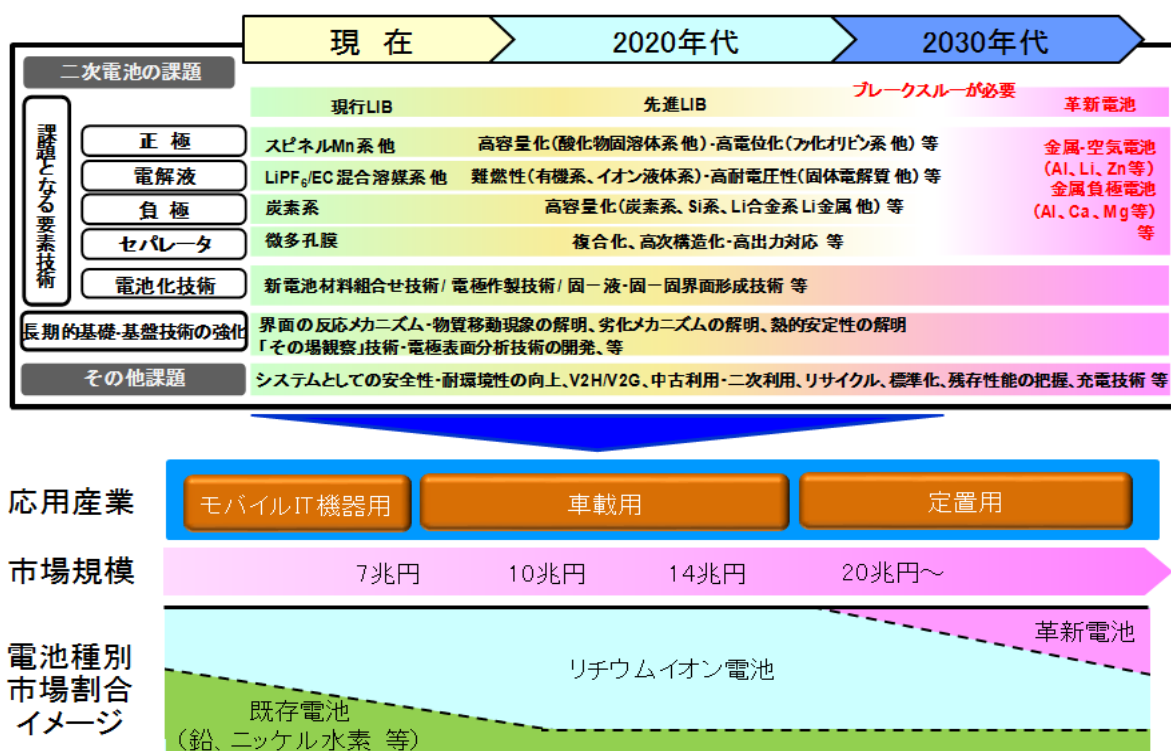


図 1-2 蓄電池の技術進化の方向性

(2) 蓄電池材料の実用化開発における課題

蓄電池の高性能化・低コスト化、耐久性、信頼性・安全性の確保において正極・負極活物質、電解質、セパレータ、バインダー、集電体、外装包材といった構成材料の占めるウェイトは極めて大きい。詳細は「1.1.5 市場動向」で述べるが、LIB の材料に関して、国内材料メーカーは高い技術力を保持しているものの、近年、価格競争力に優る中国材料メーカーの存在感が増す傾向にある。そのため、ビジネス面での競争力の維持・向上には、蓄電池メーカー、自動車メーカー等のユーザーが望むタイミング・スピードで、要求特性を満足し、かつ価格バランスの取れた材料を提供する必要がある。

従来、実用サイズのセル試作設備とその試作ノウハウを所有しない材料メーカーは、基本的に材料単体の物理・化学的特性の評価のみを行い、完成形(フルセル)でどのような性能や耐久性・安全性等が得られるかについては、材料サンプルをユーザーに提供し、その評価結果の開示を受けることで把

握してきた。しかしながら、材料メーカーにとってユーザー評価には下記①～④の課題があり、新材料開発へのフィードバックをかけ難いといった状況がある。加えて、先進 LIB や革新電池についてはユーザー自身が材料も含めて開発を手掛けており、開示情報は制限される。

- ① 評価用としてユーザーに受け取ってもらえるサンプル数が少ない(限定される)こと。
- ② ユーザー評価の結果が出るまでの期間が長いこと。
- ③ 試作セルの作製仕様(他の材料・部品の組合せ等)・プロセス、その評価条件・方法・結果等の詳細情報がユーザーより開示されないこと。
- ④ 上記③の作製仕様や評価基準は各ユーザーが個別にノウハウとして保有し、共通化されていないため、複数のユーザー評価の結果が異なった場合、その解釈が難しいこと。

一方、ユーザーの立場から見ると、材料メーカーから提示される情報は材料単体の物性・特性データであるため、電池にした際にその材料の特性を最大限に引き出すための電極構造、他の構成材料・部品との組合せ、セルの製造プロセス等を検討する必要がある。また、材料単体の物性・特性データも材料メーカーが各社各様の評価条件・方法で取得したものであるため、そのポテンシャルや有用性等を見極めることが難しく、ユーザー自らで材料データの取得を改めて行う必要が生じる場合もある。

このように、材料メーカーとユーザーの間では、新材料の開発に関するコミュニケーションが十分に取れず、蓄電池の実用化開発には摺合せ期間と呼ばれる開発非効率が存在している。そのため、図 1-3 に示すように、材料メーカーが新材料を提案した場合、実用化までには 5～7 年の長期間を要している。加えて、最近では競争領域としての材料技術の高度化が進んでいるため、両者のコミュニケーションは従来よりもむしろ難しくなっている側面もある。

これらの課題を解決するためには、国内蓄電池関連産業界の共通指標として機能する材料評価技術を開発する必要がある。

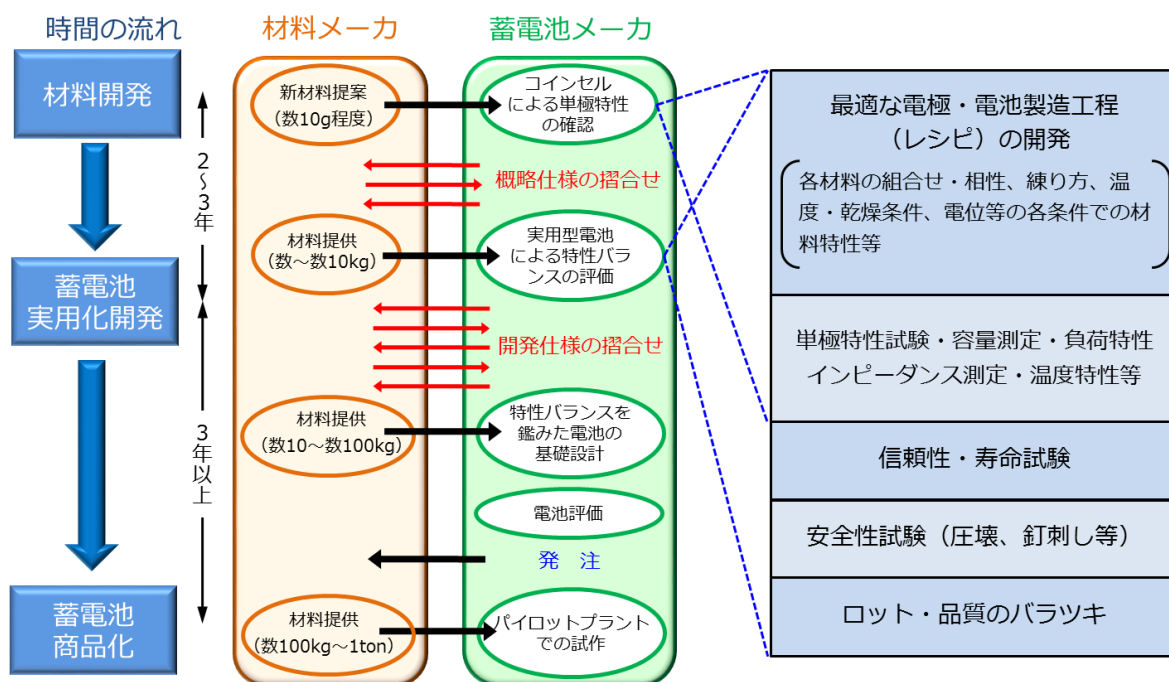


図 1-3 新材料の提案から実用化までの流れと開発内容

1.1.3 関連する上位政策・戦略

本プロジェクトが関連する下記(1)～(4)の上位政策・戦略について述べる。

- (1) エネルギー基本計画(第四次計画:2014年4月、閣議決定)
- (2) 科学技術イノベーション総合戦略2014(2014年6月、閣議決定)
- (3) 自動車産業戦略2014(2014年11月、経済産業省策定)
- (4) 未来投資戦略2017(2017年6月、閣議決定)

(1) エネルギー基本計画(第四次計画:2014年4月、閣議決定)

我が国は化石燃料に乏しく、その大宗を輸入に頼るといふ脆弱性を抱え、エネルギーを巡る国内外の状況変化に大きな影響を受けやすい構造を有している。エネルギーの安定確保は国の安全保障には不可欠であり、我が国にとって常に大きな課題である。さらに、国際的な地政学的構造の大きな変化に直面する中で、我が国のエネルギー安全保障を巡る環境は厳しさを増してきている。このような状況への対応には、長期的、総合的かつ計画的な視点に立ってエネルギー政策を遂行していく必要があり、その着実な遂行の確保を目的として、2002年に「エネルギー政策基本法」が制定された。この基本法では、政府が総合資源エネルギー調査会の意見を聴き、エネルギー需給施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るために「エネルギー基本計画」を策定することを定め、少なくとも3年には1度の頻度で内容を検討し、必要に応じて変更を行うとしている。この法に基づき、2003年に最初の計画が策定されている。その後、第二次計画が2007年に、第三次計画が2010年に策定され、東日本大震災以降では最初の計画となる第四次計画が2014年4月に策定された。

この第四次計画では、「第2章 エネルギーの需給に関する施策についての基本方針」において「電気は多様なエネルギー源から生産することが可能であり、利便性も高いことから、今後も電化率は上がっていきと考えられ、二次エネルギー構造において、引き続き中心的な役割を果たしていくこととなる。」とした上で、「第3章 エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策」において「利便性の高い電気を貯蔵することで、いつでもどこでも利用できるようにする蓄電池は、エネルギー需給構造の安定化を強化することに貢献するとともに、再生可能エネルギーの導入を円滑化することができる、大きな可能性がある技術」、「最近の安全性の向上や充放電効率の増加による性能向上によって、従来の用途に加え、車載用、住宅・ビル・事業用等の定置用の用途へも広がりつつあるが、引き続き、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていく」としている。

(2) 科学技術イノベーション総合戦略2014(2014年6月、閣議決定)

我が国政府は、「第4期科学技術基本計画」(2011年8月閣議決定)を指針とする科学イノベーション政策の大きな方向性の下、短期の工程表を具備する「科学技術イノベーション総合戦略」を毎年策定する枠組みを構築している。この枠組みに基づき、「科学技術イノベーション総合戦略2014」が2014年6月に閣議決定されているが、この戦略の「第2章 科学技術イノベーションが取り組むべき課題」の「(8)革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」において、次世代蓄電池技術の実装化が重点的取組として取り上げられている。また、図1-4に示す詳細工程表が提示されているが、同図中に記載の「蓄電池材料評価法の開発」が本プロジェクトに該当し、その実施内容・スケジュールは本プロジェクトの計画と整合している。

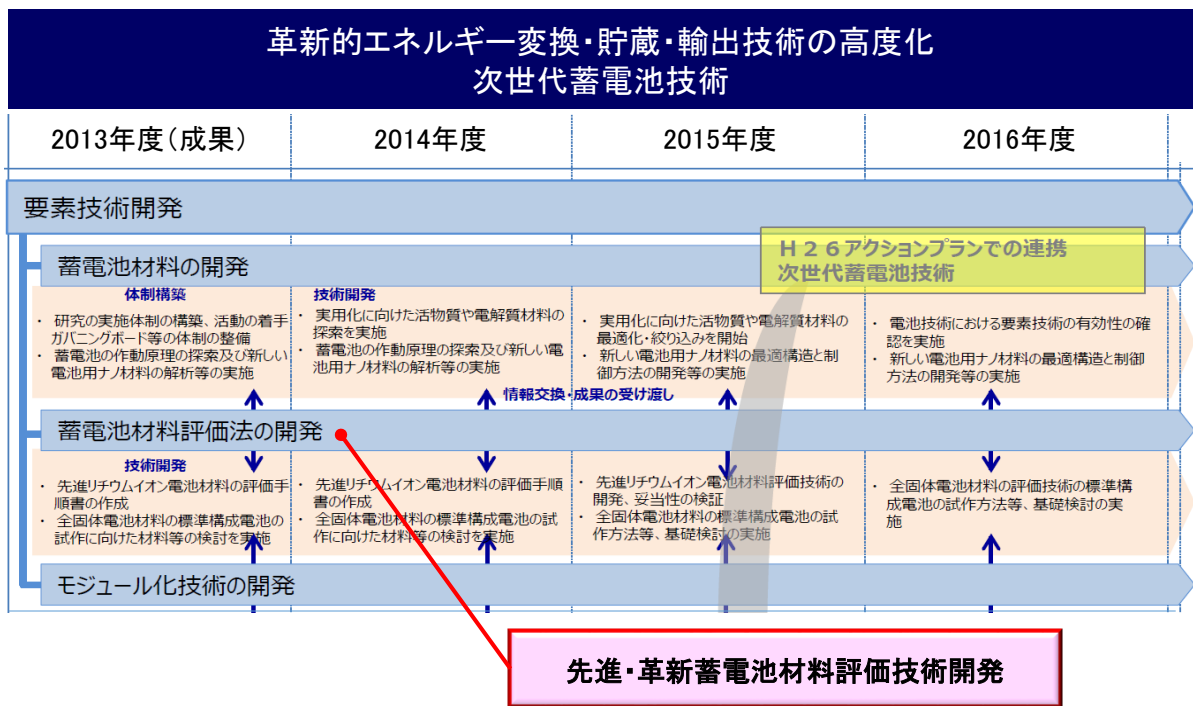


図 1-4 「科学技術イノベーション総合戦略」における本プロジェクトの位置付け

出典:「科学技術イノベーション総合戦略 2014」(別表)詳細工程表(2014年6月、閣議決定)

(3) 自動車産業戦略 2014(2014年11月、経済産業省策定)

自動車産業全般を幅広く取扱い、自動車産業が「国民産業」として今後も永続的に発展することを目指す戦略として、経済産業省は2014年11月、「自動車産業戦略 2014」を策定した。この戦略において、次世代自動車の政府の普及目標を2030年に50~70%(うちEV・PHEVは20~30%)と定め、「この普及目標は、我が国の環境・エネルギー制約の克服と同時に、我が国の自動車産業が永続的に発展していくためにも達成されなければならない、意欲ある多様な主体がさらに幅広く大同団結し、取組をさらに強化する必要がある。」とした上で、蓄電池は産産・産学で協調し、研究開発の効率化とより高度なすり合わせを実現すべき重点分野の一つとして選定している。

(4) 未来投資戦略 2017(2017年6月、閣議決定)

我が国経済を再興すべく、第二次安倍内閣の経済政策(アベノミクス)第一ステージの大胆な金融政策、機動的な財政政策に続く「第三の矢」として、「日本再興戦略」(2013年6月閣議決定)が策定された。その後、成長戦略のギアを一段階シフトアップするための「日本再興戦略 2014」(2014年6月閣議決定)、「未来投資による生産性革命の実現」と「ローカルアベノミクスの推進」を両輪とした「日本再興戦略 2015」(2015年6月閣議決定)、アベノミクス第二ステージとして「新・3本の矢」に掲げたGDP600兆円の達成を目指した「日本再興戦略 2016」(2016年6月閣議決定)が策定された。そして、2017年には世界に先駆けた「超スマート社会」(Society 5.0)の実現を目指した成長戦略として「未来投資戦略 2017」(2017年6月閣議決定)が策定された。

これら成長戦略には、達成すべき「成果目標(KPI:Key Performance Indicator)」が設定されており、このKPIを実現するために必要な個別施策の方向性、手段、実施時期等が明記されている。「未来投資戦略 2017」の「エネルギー・環境制約の克服と投資の拡大」において記載されている蓄電池に関する戦略とKPIは次のとおりである。

- ① 車載用蓄電池については、現在の液系リチウムイオン電池よりも安全面等で性能が高い全固体リチウムイオン電池等の開発・実用化を加速する。
- ② 2030 年までに乗用車の新車販売に占める次世代自動車の割合を 5～7 割とすることを目指す。
- ③ EV・PHEV の普及台数を 2020 年までに最大 100 万台とすることを目指す。
- ④ 2020 年に国内企業による車載用・電力貯蔵用の先端蓄電池の市場で、年間 5,000 億円(世界市場の 5 割程度)を獲得することを目指す。
- ⑤ 2020 年までに系統用蓄電池のコストを半分以下(2.3 万円/kWh 以下)まで低減することを目指す。

1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて

2012 年 8 月、経済産業省は、産業構造審議会・産業技術分科会・研究開発小委員会における議論を踏まえ、我が国の将来の糧となるイノベーションを創出する、従来技術の延長線上にない、開発リスクの高い革新的技術に関する中長期的な研究開発プロジェクトであって、国のイニシアティブの下、優れた技術及び知見を有する国内外の企業、大学、公的研究機関等を集め、継続的に実施されるべきものを対象とした「未来開拓研究プロジェクト実施要綱」及び「未来開拓研究プロジェクト実施に関する基本方針」を策定した。本プロジェクトは、この実施要綱及び「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針の一部を改正する方針」(2013 年 8 月、経済産業省)に基づき実施している。

未来開拓研究プロジェクトでは省庁の枠を越えた連携に取り組むことになっており、本プロジェクトの連携先として、文部科学省の「戦略的創造研究推進事業／先端的低炭素化技術開発(ALCA)」における「次世代蓄電池研究加速プロジェクト(SPRING)」(図 1-5)が選定されている。また、両プロジェクトを一体的に運営するため、「文部科学省・経済産業省ガバニングボード(蓄電池)」(戦略コーディネーター:東京大学大学院工学研究科教授 橋本和仁)が設置されており、本プロジェクトのプロジェクトリーダー(PL)及び NEDO 蓄電技術開発室長が構成員となっている。

この連携における本プロジェクトの役割は、図 1-6 に示すように、最低限のスクリーニングを受けた文部科学省プロジェクトの研究成果を受け取り、工業的視点で評価・コンサルティングを行い、学術的な研究開発成果の産業界への橋渡しを行うことである。

同ガバニングボードにおける合意により、本プロジェクトでは、2015 年度に全固体電池チームの硫化物系サブチームとの間で「ALCA-LIBTEC 連携会議」を設置し、同チームと情報交換を行いながら、開発された新材料・技術のサンプルの提供を受けて、電池試作・評価を行うとともに、評価結果をフィードバックしている。2016 年度には、正極不溶型リチウム硫黄電池チームとも連携を開始し、同チームの研究サンプルを受け入れ、小型のハーフセル又はフルセルでポテンシャルを評価して、その結果をフィードバックしている。

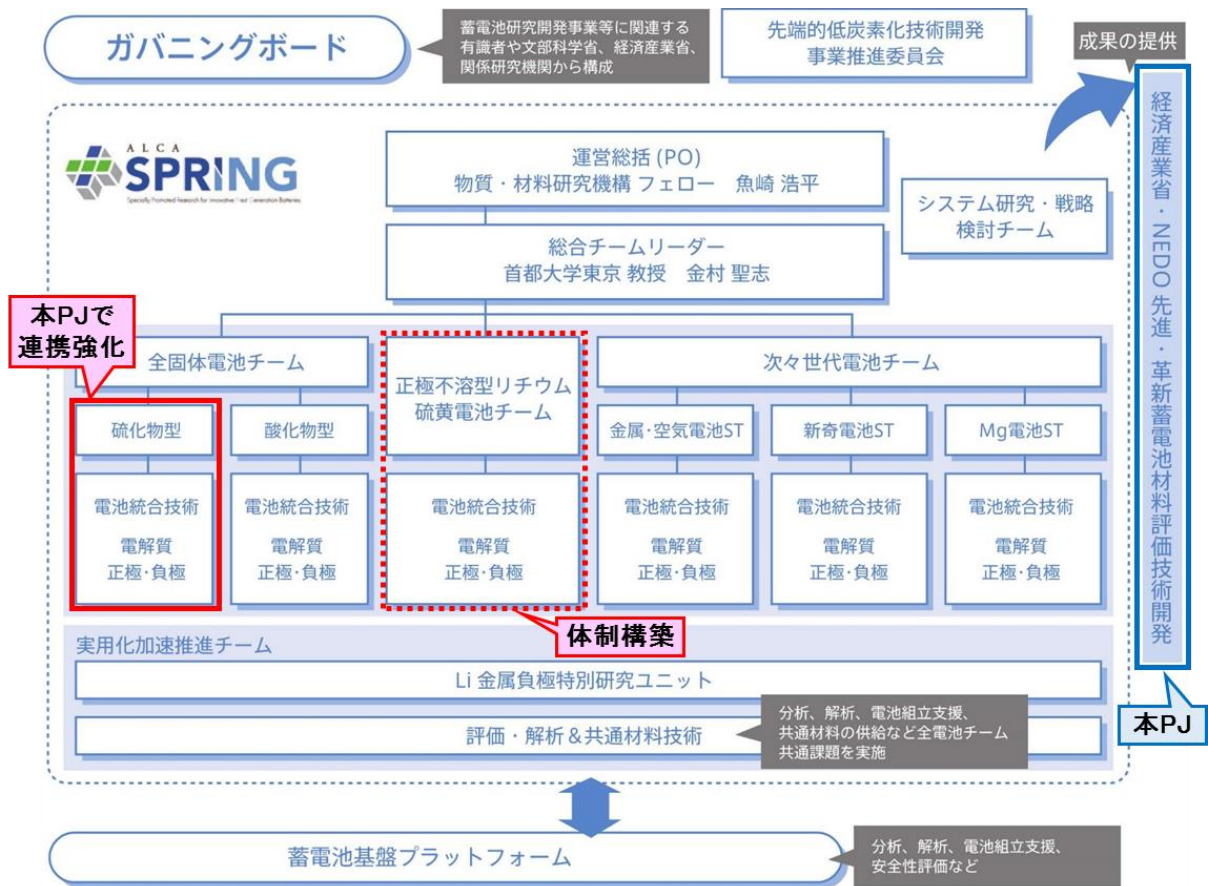


図 1-5 文部科学省「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」の運営体制

出典:ALCA-SPRING HP リーフレットのプロジェクト体制図に NEDO 加筆

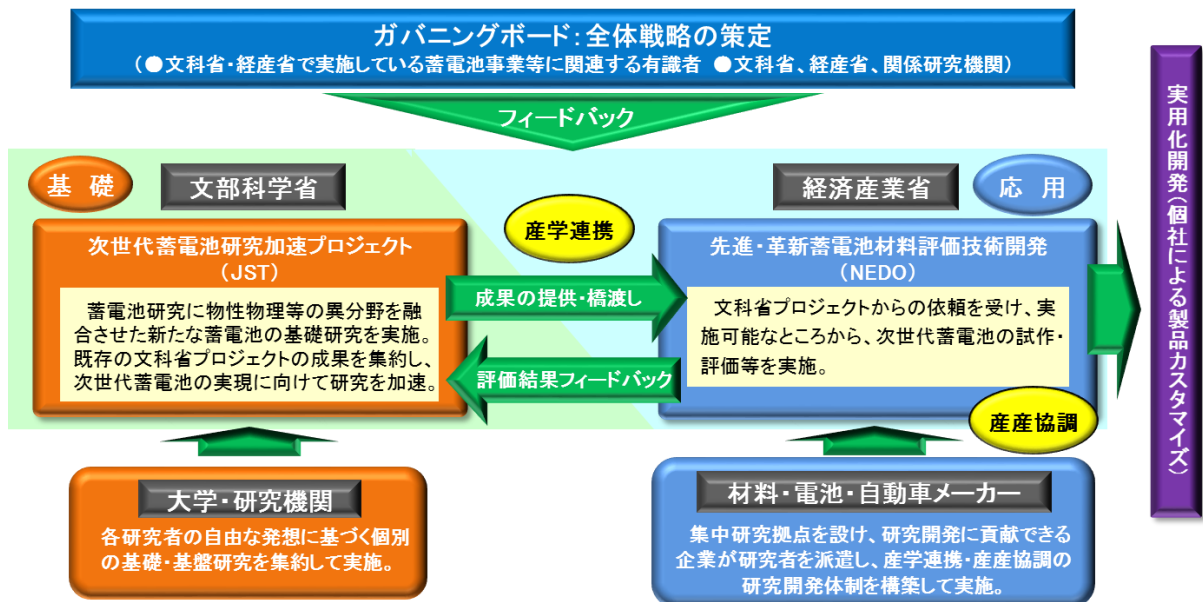


図 1-6 本プロジェクトと文部科学省プロジェクトとの連携

1.1.5 市場動向

(1) 蓄電池の市場動向

蓄電池市場の現況と将来予測を図 1-7(用途別)及び図 1-8(蓄電池種別)に示す。2015 年における蓄電池の世界市場規模は約 7.4 兆円で、今後、各用途でプラス成長が予想され、2025 年には約 14 兆円に成長するとの予測がある。とりわけ、次世代自動車用蓄電池の市場規模は 2015 年では約 1.1 兆円であるが、今後飛躍的に成長し、2025 年には 6 倍の 6.4 兆円になると予測されている。また、図 1-8 に示すように、市場全体の成長分(6 兆円超)の大半が LIB で占められると予測されており、次世代自動車用蓄電池の主力となる蓄電池は LIB となる。

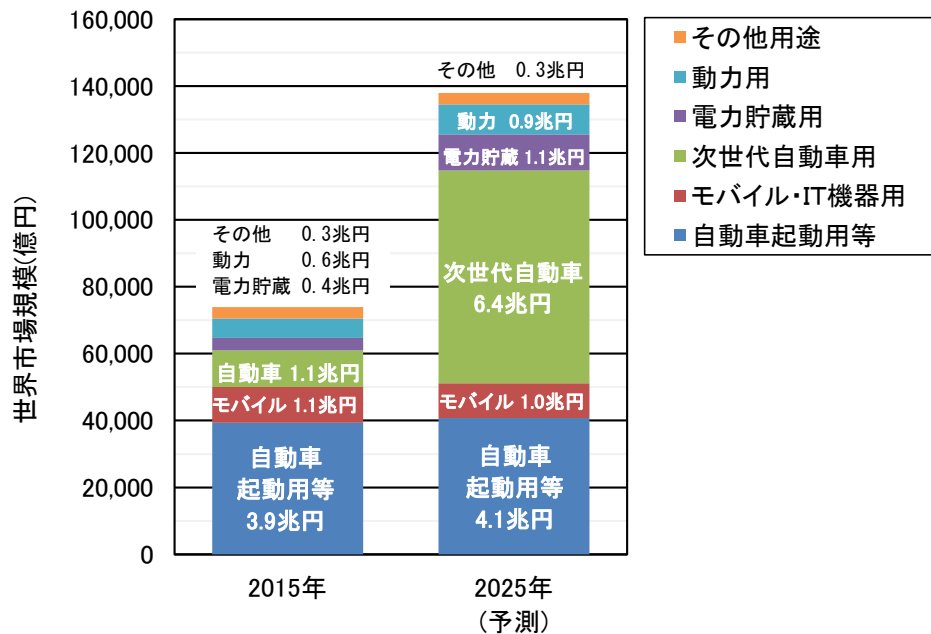


図 1-7 蓄電池市場の現況と将来予測(用途別)

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2016」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

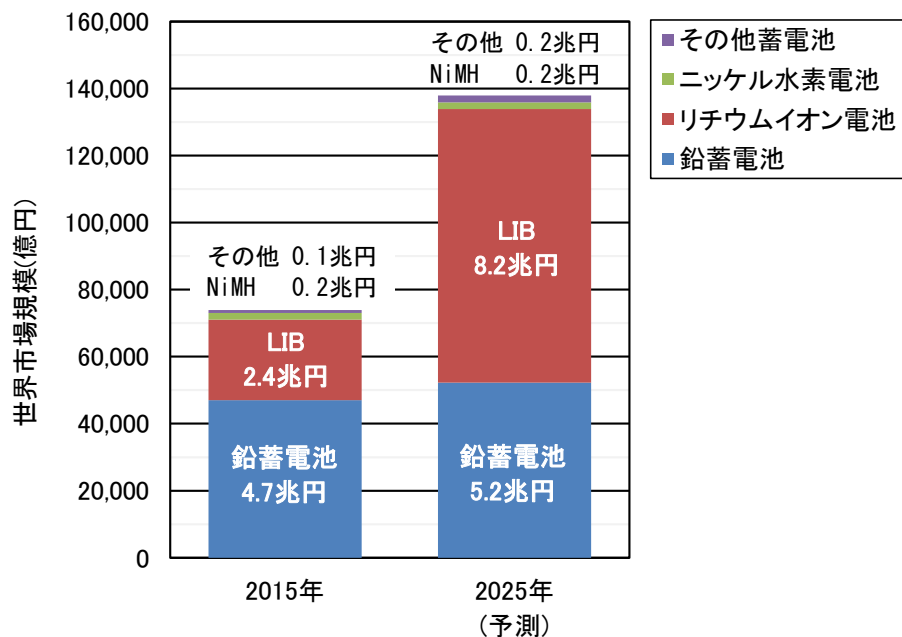


図 1-8 蓄電池市場の現況と将来予測(蓄電池種別)

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2016」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

モバイル・IT 機器向けの民生用の小型 LIB については、市場規模が数千億円であった 2000 年代初頭は、国内蓄電池メーカーの世界シェアは 90%以上を占めていた。しかしながら、国内モバイル機器メーカーの競争力低下、産業政策支援・大胆な設備投資による中韓蓄電池メーカーのコスト競争力の向上、為替相場での円高等を背景に国内蓄電池メーカーの世界シェアは落ち込んでいる。2015 年における小型 LIB の国内蓄電池メーカーの世界シェアは 20%程度^{※1}まで落ち込み、中韓蓄電池メーカーの後塵を拝している状況である。

一方、次世代自動車用蓄電池については、蓄電池自体の性能、安全性、耐久性の確保において高い技術水準が求められることに加えて、自動車メーカーの電動車両システム技術との摺り合わせにも高い技術水準が求められるため、国内蓄電池メーカーの技術力がビジネスの競争力に結び付く領域となっている。2015 年における EV・PHEV 用 LIB の国内蓄電池メーカーの世界シェアは約 60%程度^{※2}を確保している。しかしながら、次世代自動車用蓄電池の市場規模は、今後、世界各国における自動車の環境・燃費規制の強化によって急拡大することが予想される中、韓国蓄電池メーカーはリスクを取ったアグレッシブな営業展開により、欧米のグローバル自動車メーカーからの受注獲得を進めている。また、現在、中国において中央・地方政府の手厚い補助金政策により、EV・PHEV の市場が急激な成長を見せているが、中国内で販売された EV・PHEV のほぼ 100%が中国製の LIB を採用しており、材料～蓄電池～EV・PHEV のサプライチェーンが全て国内で完結する形で構築されている。現時点において、グローバル自動車メーカーが中国製 LIB を採用の動きは無いが、いずれは内需で経験値を積み、技術力を向上させた中国蓄電池メーカーが世界展開をねらうことは容易に推測され、EV・PHEV 用蓄電池に関しても、民生用と同様に、日中韓蓄電池メーカーによる競争激化が予想される。

※1 出典:「2016 電池関連市場実態総調査 上巻」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 算出

※2 出典:「2016 年版 HEV, EV 関連市場徹底分析調査」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 算出

(2) リチウムイオン電池材料の市場動向

LIB 材料の市場規模の推移と将来予測を図 1-9 に示す。2015 年における LIB 材料の世界市場規模（正極材料、負極材料、電解液、セパレータ、集電体、外装・バインダーの合算）は、約 7,700 億円である。今後、市場は堅調に成長し、世界市場規模は 2017 年には 1 兆円、2025 年には約 3.5 倍の 2.7 兆円に到達すると予測されている。用途別では、次世代自動車用途が大きく拡大し、2025 年では市場のおよそ 7 割を占めると予測されている。

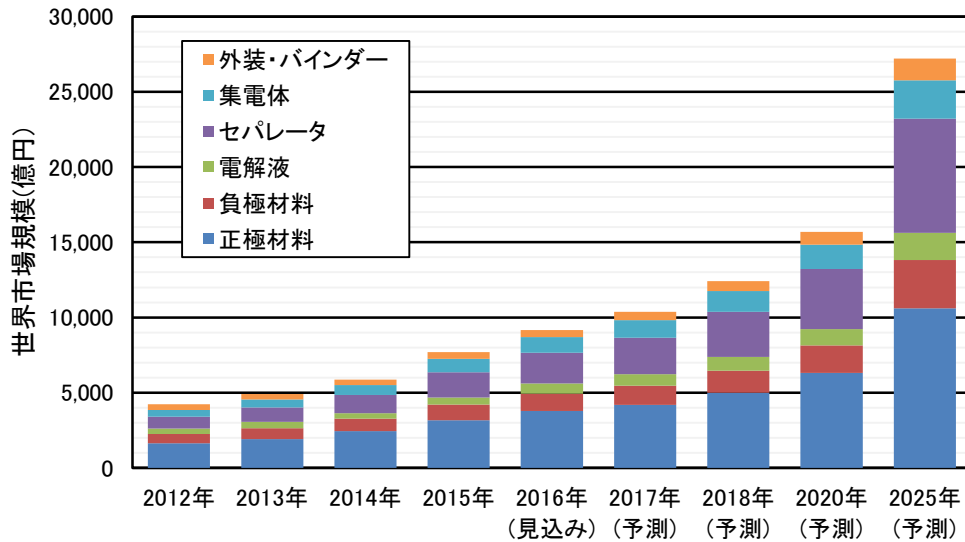


図 1-9 リチウムイオン電池材料の市場規模推移と将来予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2014, 2015, 2016」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

次に、2012 年～2015 年の 4 年間における正極、負極、電解液及びセパレータの市場規模推移を図 1-10～図 1-13 に示す。スマートフォン等のモバイル機器用セルの大型化・高容量化や EV・PHEV 新モデルの市場投入等を受け、国内材料メーカーは生産量を堅調に増加させているものの、それ以上に価格競争力に優る中国材料メーカーの生産量が増加する傾向にある。中国材料メーカーの値引きに引きずられる形で市場全体での取引価格が低下し、国内材料メーカーは利幅の少ない旨味の無いビジネスを強いられていると見られる。

このような状況は、スマートフォンの先進国需要が一巡し、新興国向けのミドル・ローエンドモデルが市場の牽引役に移行し、安価な中国製材料の採用が増加したことによると見られる。加えて、中国政府の EV・PHEV 普及と蓄電池産業への助成政策に期待し、多くの材料メーカーが過剰な設備投資に動くとともに、中国蓄電池メーカーのセル生産歩留まりの低さが拍車を掛けていると言われている。

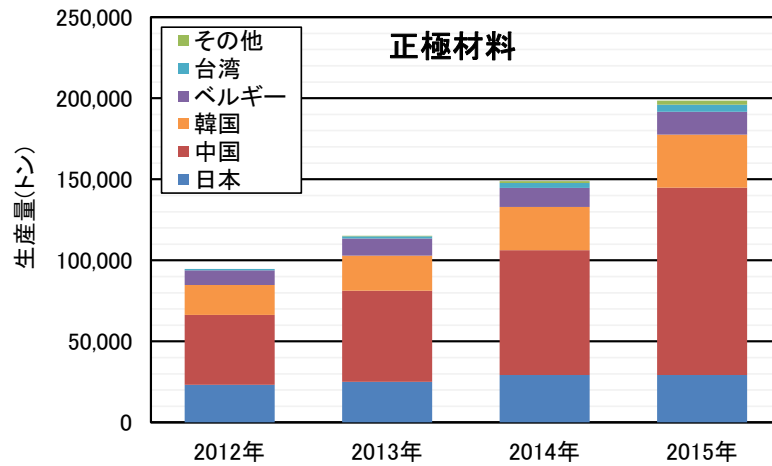


図 1-10 リチウムイオン電池・正極材料の市場規模推移

出典:「2014, 2015, 2016 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

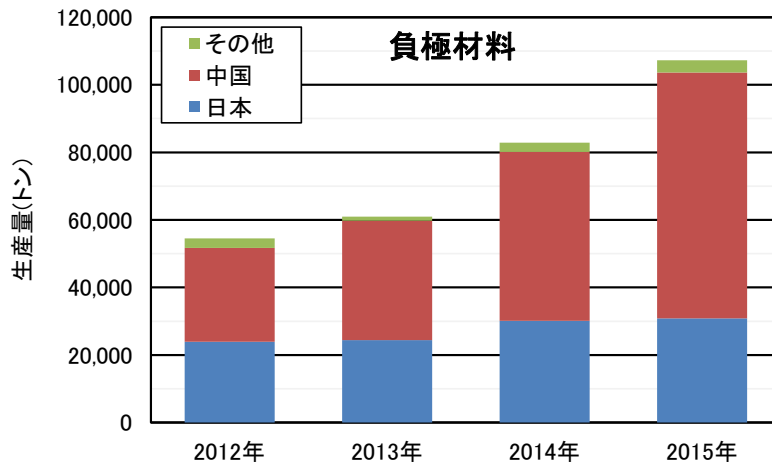


図 1-11 リチウムイオン電池・負極材料の市場規模推移

出典:「2014, 2015, 2016 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

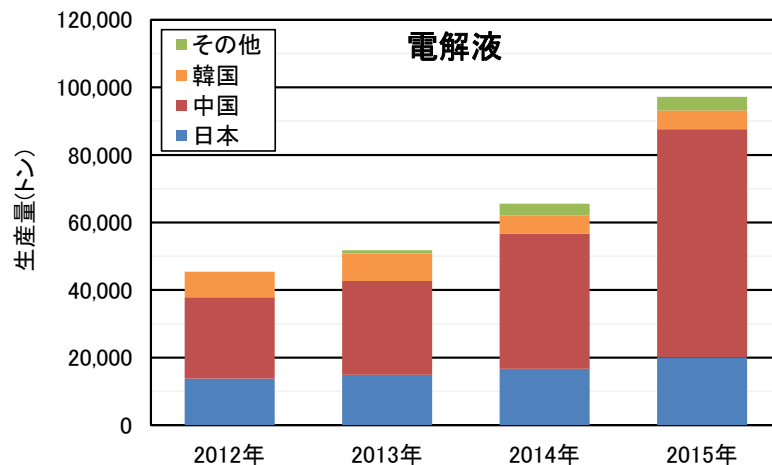


図 1-12 リチウムイオン電池・電解液の市場規模推移

出典:「2014, 2015, 2016 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

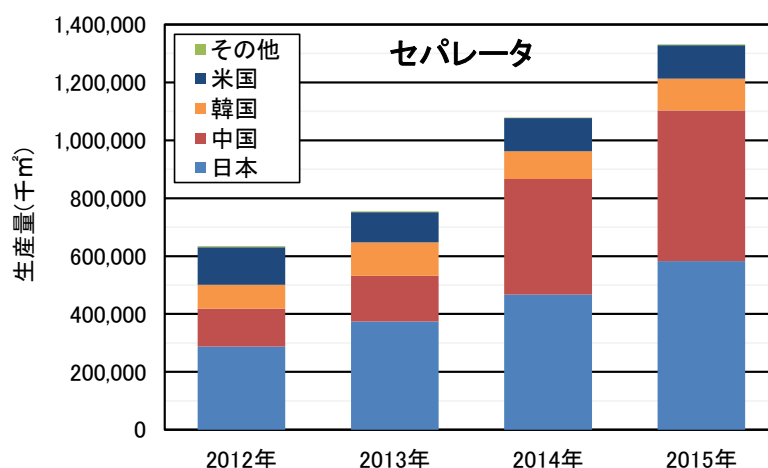


図 1-13 リチウムイオン電池・セパレータの市場規模推移

出典:「2014, 2015, 2016 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)等に基づき NEDO 作成

その一方で、モバイル機器用や車載用で高品質品の需要が増加基調にあり、高品質品をリーズナブルな価格で提供する日本の材料メーカーに対して、各国の蓄電池メーカーからの引合いが増加しているとも言われている。また、新規参入でありながらも、他社と差別化された製品を市場投入することでビジネスを成長させている日本の材料メーカーも存在する。車載用 LIB 材料ではその傾向は顕著で、国内材料メーカーが高い市場シェアを獲得しており、2015年の生産量ベースのシェアは正極材料が約65%、負極材料が約80%、電解液が約65%、セパレーターが約60%であり^{※3}、いずれも世界トップとなっている。

しかしながら、現時点でも一定の技術力を保有する中国の材料メーカーは存在し、日韓蓄電池メーカーでの採用が増えているのも事実であり、近い将来、内需によってさらに技術力を高めた状態で海外展開を強力的に推進してくることが予想される。そのため、日本の材料メーカーが今後、プレゼンスを向上させていくためには、製品ラインナップを戦略的に取り揃え、ハイスペック化と低価格化を両立させた新材料をユーザーが望むタイミング・スピードで供給していく必要がある。

※3 出典:「2016年版 HEV, EV 関連市場徹底分析調査」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 算出

1.1.6 特許動向

(1) リチウムイオン電池の特許動向

(i) 出願人国籍別の特許出願件数

2000～2014年(15年間)におけるLIBの特許出願推移を図1-14に示す。世界全体の年間特許出願件数は、2000年代前半は約2,000件/年であったが、2010年以降、急速に増加しており、約7,000件/年と約3倍となっている。

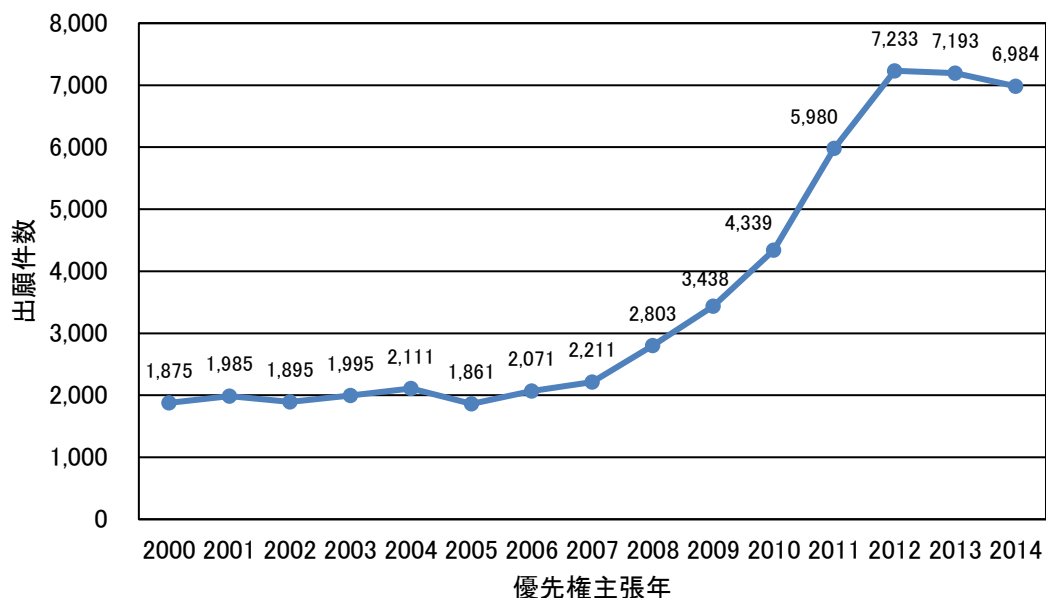


図1-14 リチウムイオン電池の特許出願件数推移

(Derwent World Patents Indexに基づきNEDO作成)

図1-15に示すように、過去15年の累積の国別特許出願件数では、日本が4割を占め最多である。しかしながら、図1-16に示すように、2010年以降は中国の出願数が急増しており、技術開発の猛追が伺える。日本の特許出願件数も多いが、特許は実質的に技術を公開することに繋がり、実際、民生用LIBの市場で苦境に立たされていることから、特許出願・登録の件数が必ずしもグローバル市場の競争力に直結しないケースもあることに留意する必要がある。

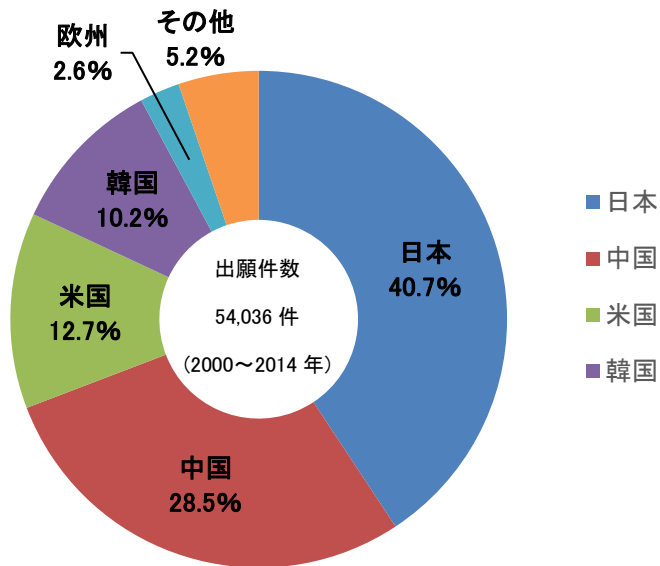


図 1-15 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

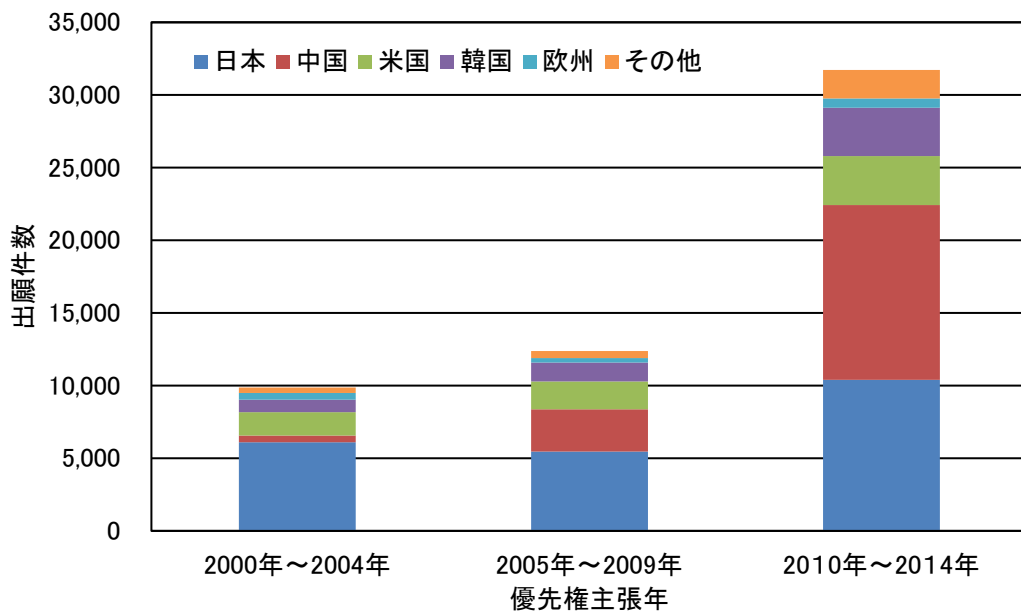


図 1-16 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数の推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(ii) 出願特許の内容

正極の材料別の出願件数を図 1-17 に示す。LNO 系、LCO 系、NCM3 元系及びオリビン系(リン酸塩系)が数多く出願されているが、最近ではオリビン系の急増が顕著である。本プロジェクトで取り扱っている LNMO 系(高電位 Ni-Mn スピネル酸化物)と 213 固溶体系(高容量 Li 過剰系)については、現時点での出願件数は 100～200 件程度と少ないが、急増の傾向にある。

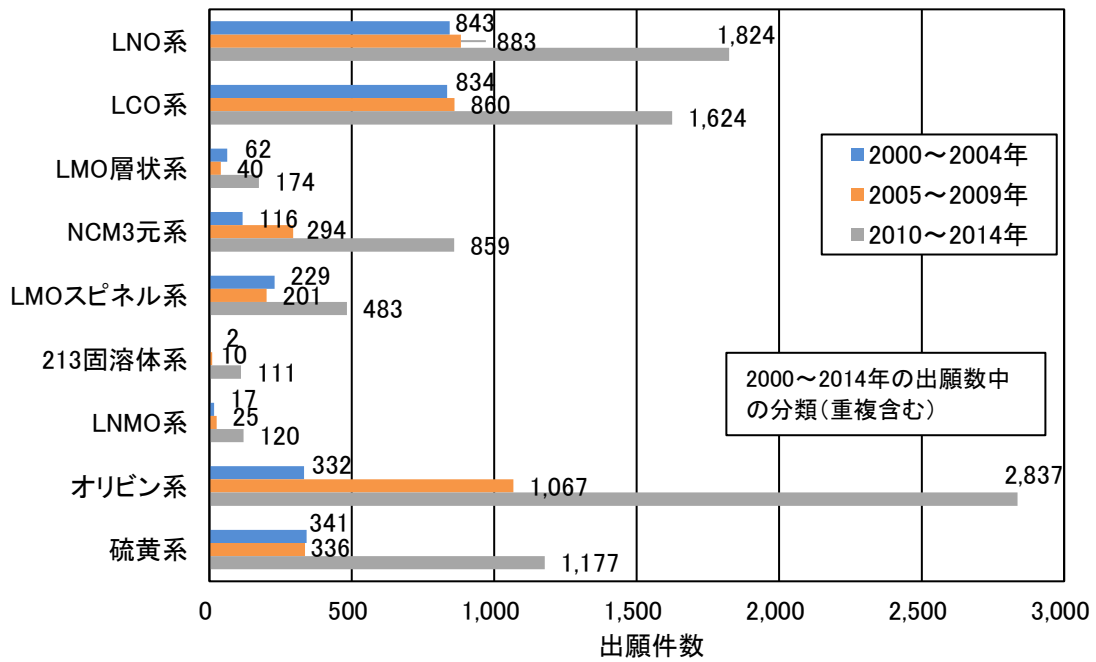


図 1-17 リチウムイオン電池・正極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

次に、負極の材料別の出願件数を図 1-18 に示す。黒鉛質炭素と Si 系が数多く出願されており、かつ 2010 年以降に急増している。本プロジェクトで取り扱っている Si 系負極は、図 1-19 に示すように、日本及び米国が特許出願で先行していたが、近年では中国・韓国の出願も急増している。

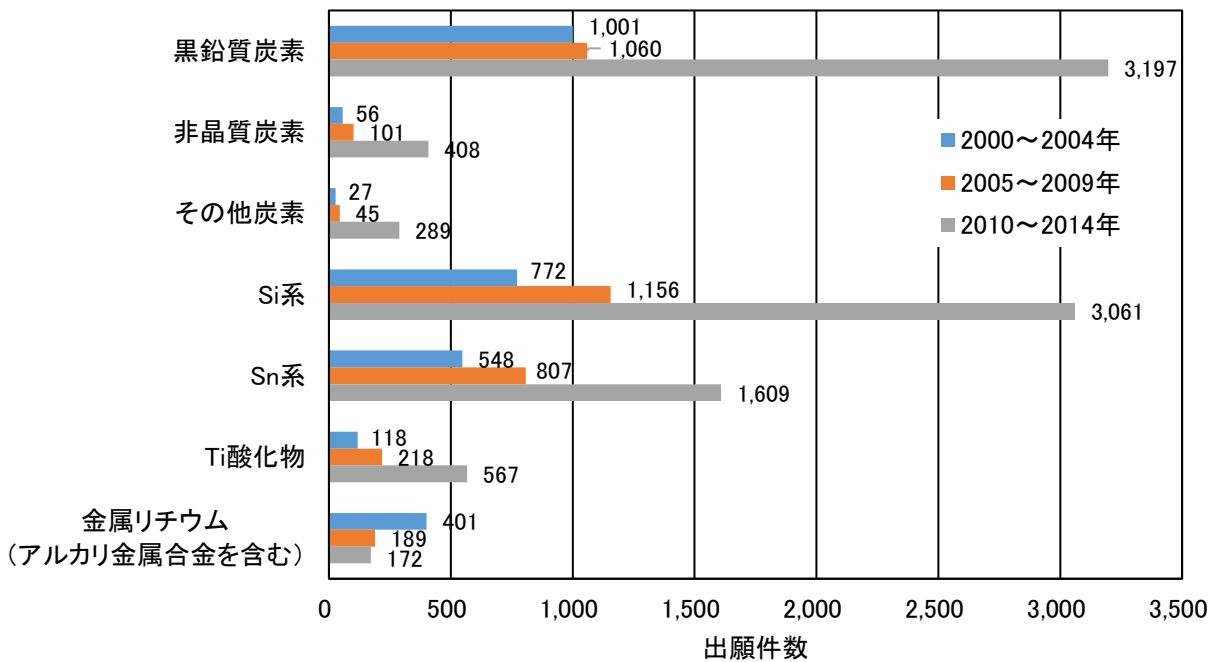


図 1-18 リチウムイオン電池・負極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

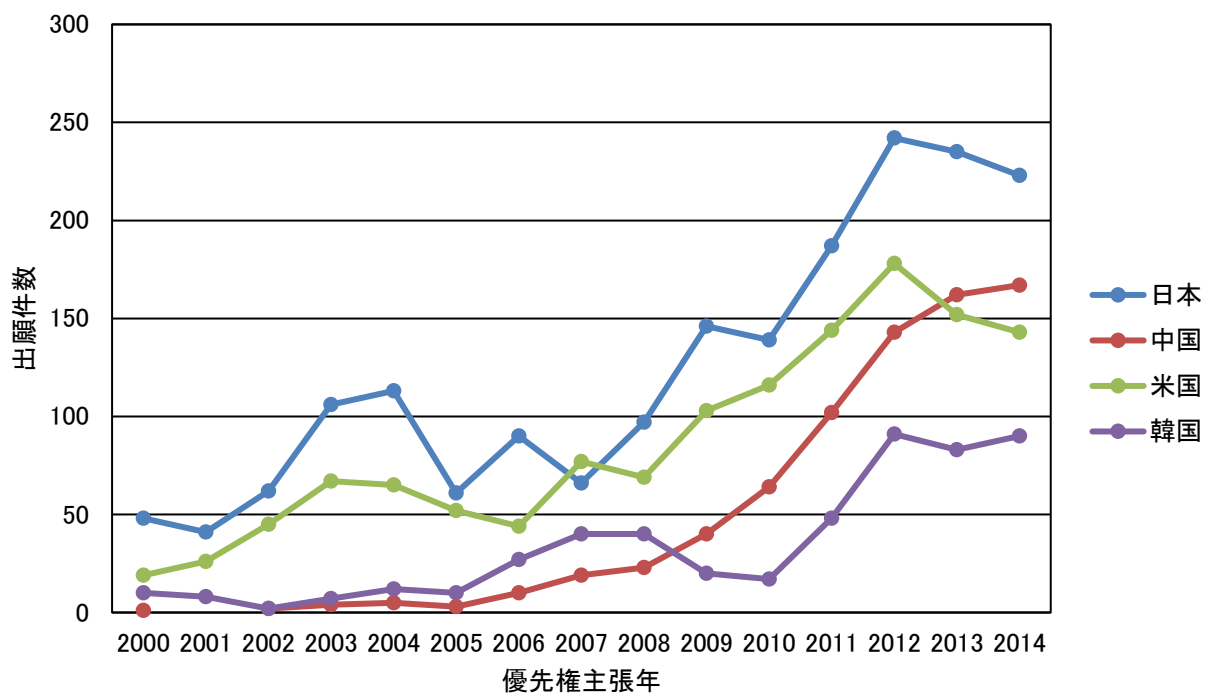


図 1-19 Si系負極材料の特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(2) 全固体電池の特許動向

図 1-20 に示すように、全固体電池の特許出願は 2006年頃より増加している。また、図 1-21 に示すように、出願人国籍別で見ると、累積での総出願件数 6,498 件のうち、日本の出願件数が最多の 3,509 件であり、過半数を占めている。出願件数の推移で見ると、日本がほぼ横這いであるのに対して、米国・中国・韓国は増加の傾向にある。

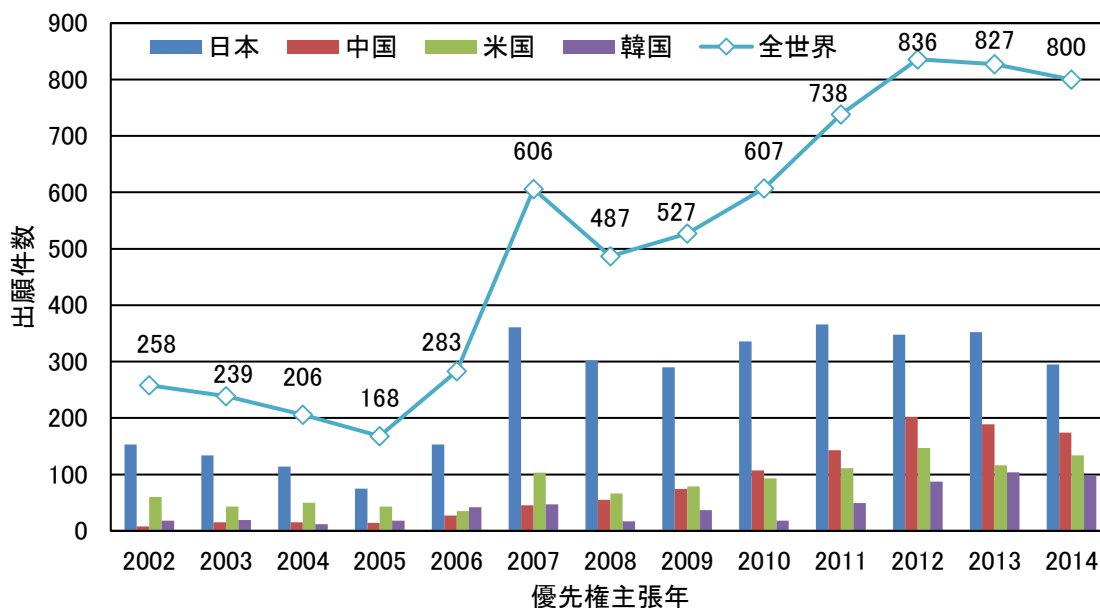


図 1-20 全固体電池・特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

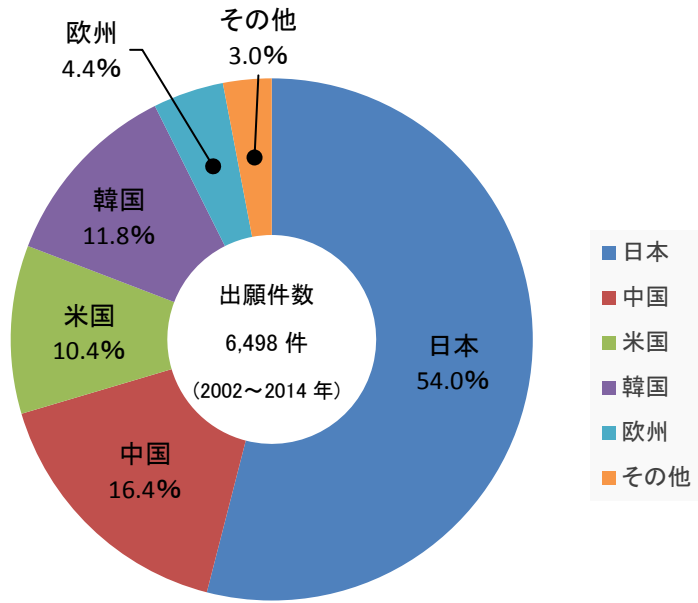


図 1-21 全固体電池・出願人国籍別出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

固体電解質の材料別の出願件数を図 1-22 に示すが、本プロジェクトで取り扱っている硫化物系固体電解質については、日本の出願件数が他国と比べて圧倒的に多い。

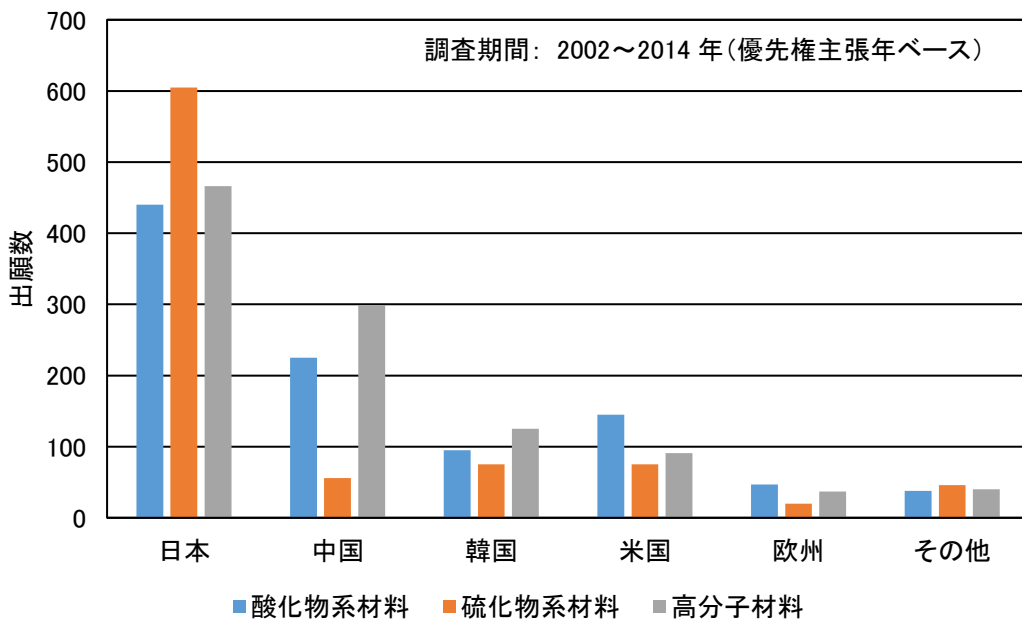


図 1-22 全固体電池・電解質の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

1.1.7 研究開発動向

(1) 学会・論文発表動向

LIB について、国際的な主要論文誌に限定した場合の論文発表件数の推移を図 1-23 に示す。論文発表件数は 2002 年の 747 件から 2016 年の 8,034 件と 10 倍以上に増加している。

また、論文の著者所属機関国籍別の発表件数比率を図 1-24 に示すが、2007 年以降、中国の発表件数が急増しており、直近 5 年間 (2012 年～2016 年) ではほぼ半数 (45.5%) を占めるに至っている。

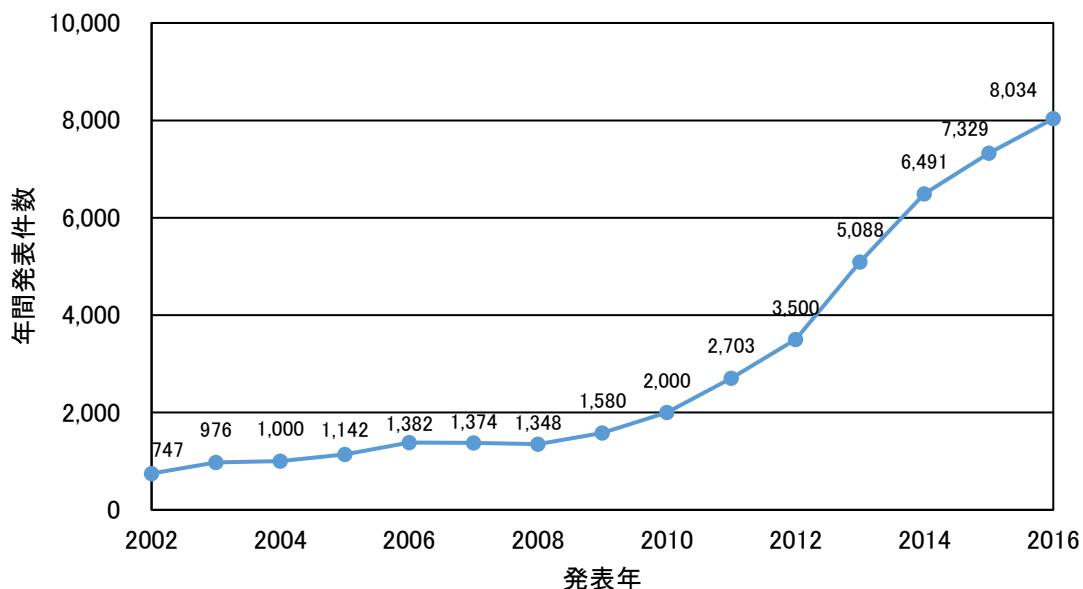


図 1-23 リチウムイオン電池の論文発表件数の推移

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

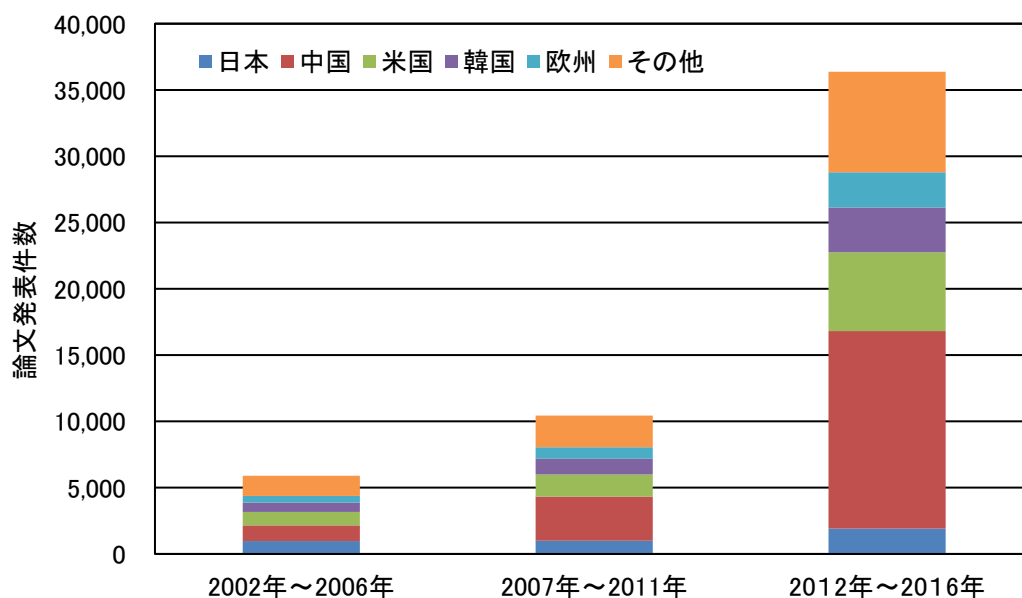


図 1-24 リチウムイオン電池・著者所属機関国籍別の論文発表件数

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

次に、IMLB2014 及び IMLB2016 の研究発表について、国・地域毎に電池タイプ別の発表件数を整理したものを図 1-25 に示す。北米で、全固体電池が 1 件から 17 件、リチウム硫黄電池が 4 件から 31 件、ナトリウムイオン電池が 3 件から 23 件、金属空気電池が 7 件から 36 件へと大幅に増加しており、革新電池の研究開発が活発化する傾向にあることが分かる。

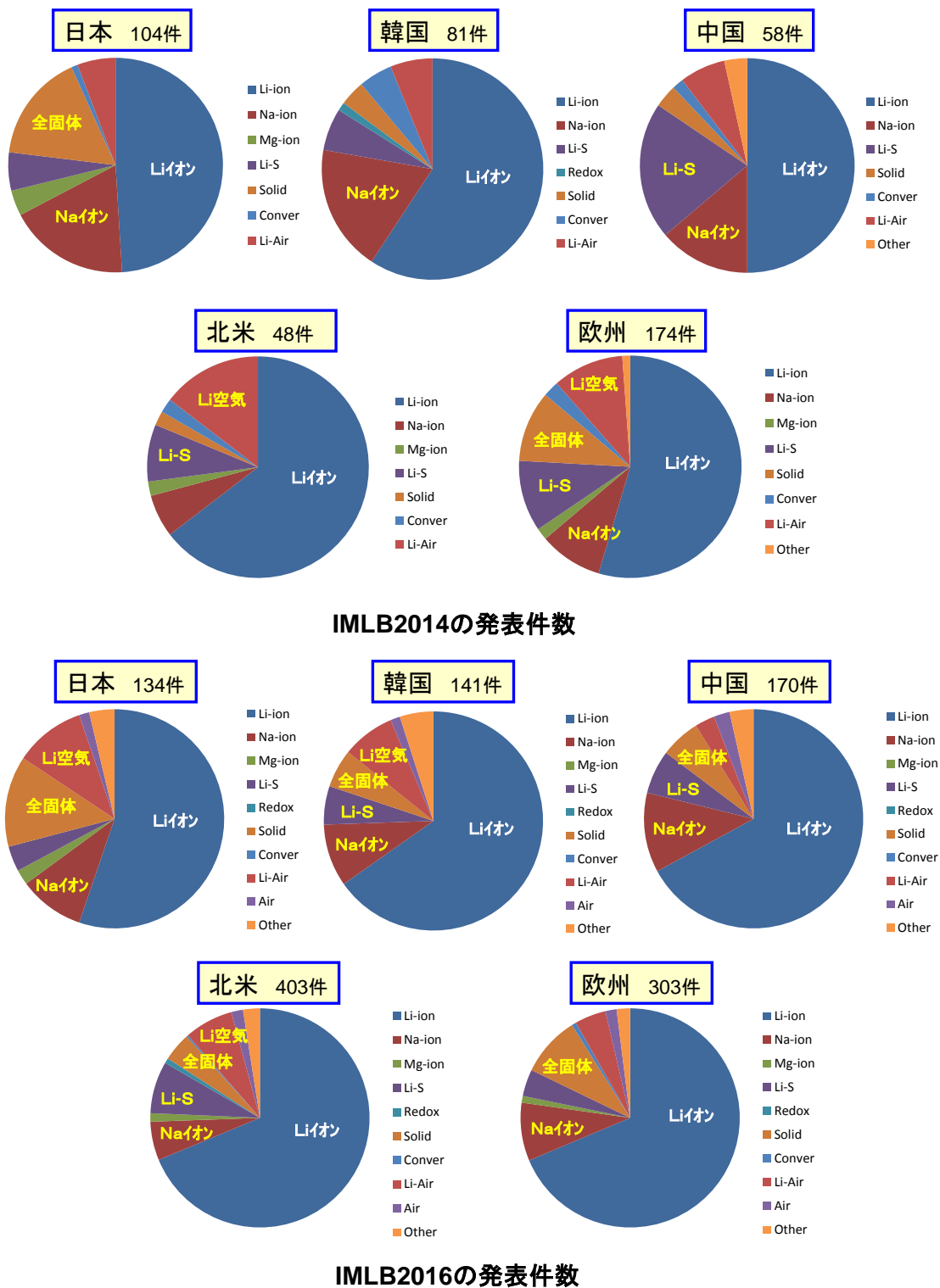


図 1-25 IMLB2014、IMLB2016 における電池タイプ別発表件数(国・地域別)

2002年～2016年(15年間)における全固体電池の論文発表件数の推移を図1-26に示す。2012年より急増していることが見て取れる。また、論文の著者所属機関国籍別の発表件数比率を図1-27に示す。累積での総発表件数 2,662 件のうち、日本の発表件数は全体の約 17% (460 件)であり、特許出願件数の約 54%と比べると占有比率は小さい。

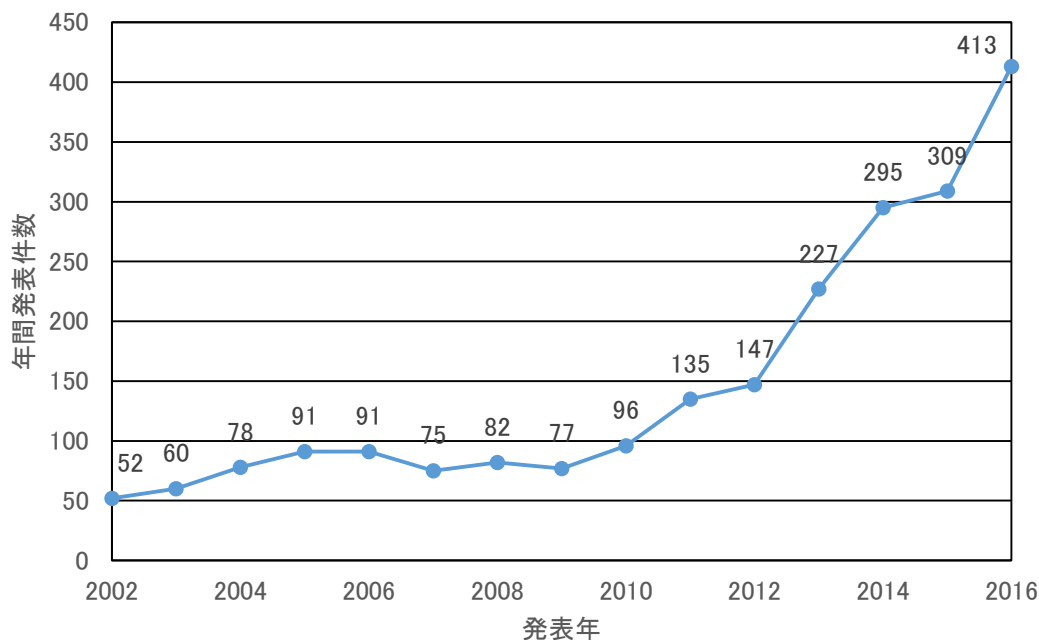


図 1-26 全固体電池・論文発表件数の推移

使用データベース : Web of Science に基づき NEDO 作成

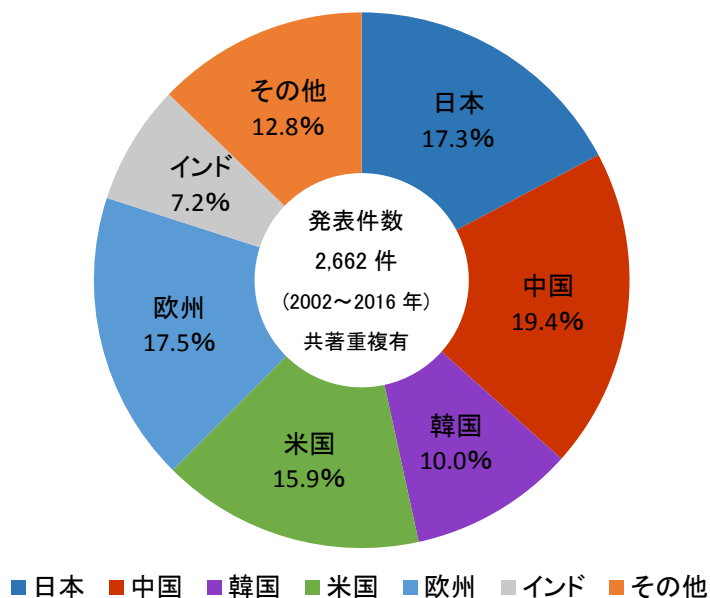


図 1-27 全固体電池・論文著者国籍別発表件数の比率

使用データベース : Web of Science に基づき NEDO 作成

(2) 主要国における技術開発プロジェクト

(i) 米 国

米国においては、エネルギー省(DOE)の各部局が蓄電池の技術開発プロジェクトを推進している。技術の成熟度の高いものから順に、自動車技術局(VTO)、エネルギー先端研究計画局(ARPA-E)、科学局(Office of Science)が担当している。

VTO は、年間 1 億ドル規模の予算を拠出して、総合的な車載用蓄電池の技術開発プロジェクト「Vehicle Technologies Battery R&D」を実施しており、この中で「Advanced Battery Development」、「Battery Testing, Analysis, and Design」、「Applied Battery Research for Transportation (ABR)」といった複数のプログラムを推進している。

「Advanced Battery Development」プログラムでは、ビッグスリー(Chrysler、Ford、GM)を幹事会社とするコンソーシアム「The United States Advanced Battery Consortium」(USABC)が主導して、複数タイプの車載用蓄電池をフルスケールサイズで開発している。Johnson Controls、3M、Maxwell、Envia systems、Amprius、Seeo 等の米国蓄電池・化学メーカーに加え、LG Chem、SK Innovation、Dow Kokam、Saft 等の海外蓄電池メーカーも参加している。これまでに、LG Chem が Mn リッチの NCM 系正極と Safety-Reinforced Separator (マイクロポーラスポリオレフィンフィルムをナノサイズのセラミック粒子で被覆したもの)を組み合わせたセルを、また、SK Innovation がコアシェル形態の安定化材料で表面を被覆した NCM 系正極を用いたセルを開発した。現在は、Envia systems が Li-Mn 過剰 NCM 系固溶体正極と Li をブレンドした SiO/炭素複合負極を組み合わせたセル、Amprius が NCM523 あるいは高電位 LCO とシリコンナノワイヤ負極を組み合わせたセル、LG Chem Power が Mn リッチの NCM 系正極と Si 系負極を組み合わせたセルの開発を行っている。

「Battery Testing, Analysis, and Design」プログラムでは、Argonne 国立研究所、Idaho 国立研究所によって車載用 LIB の性能・耐久性試験法の開発、Sandia 国立研究所によって安全性評価法の開発、国立再生エネルギー技術研究所、Oak Ridge 国立研究所、GM によって車載用 LIB の熱的挙動解析のための計算機シミュレーション技術の開発等が行われており、上記の「Advanced Battery Development」プログラムで開発された LIB の特性評価にも活用されている。

「Applied Battery Research for Transportation (ABR)」プログラムでは、車載用蓄電池の出力・サイクル寿命・低温等の特性向上を図る新材料を開発するものであり、高容量化・高電位材料の開発に加えて、セル構造や製造プロセスの最適化も検討されている。この中で、Argonne 国立研究所は、材料の量産プロセスを検討するための「Materials Engineering Research Facility (MERF)」、18650 型セルや 0.4~2Ah 級のラミネートセルの試作・評価が可能な「Cell Analysis, Modeling, and Prototyping (CAMP) Facility」、様々な条件で性能・寿命試験が可能な「Electrochemical Analysis and Diagnostics Laboratory (EADL)」、性能・寿命試験後のセル劣化を解析する「Post-Test Diagnostic Facility」を整備しており、新材料を第三者的立場でベンチマークし、産業界へ橋渡しをするための研究開発拠点となっている。また、Oak Ridge 国立研究所には、電極作製用のスラリー分散からセルの製造・評価までが可能な「Battery Manufacturing R&D Facility (BMF)」が整備されており、蓄電池メーカー、材料メーカー等に開放されている。高容量・高電位材料の開発については、Oak Ridge 国立研究所、Argonne 国立研究所、国立再生エネルギー技術研究所が中心的役割を担うコンソーシアム「Deep-Dive」において、4.7~5.0V、300mAh/g の高電位・高容量正極と 1,000mAh/g で 1,000 サイクル維持可能なシリコン負極の開発が行われている。

この他、「Manufacturing and Process Development」プログラムでは、材料メーカーによる材料量産

技術の開発、製造装置メーカーによる品質管理技術の開発等が行われている。さらに、「Advanced Battery Materials Research (BMR)」プログラムでは、LIB 及び革新型蓄電池の新材料探索や作動原理や劣化メカニズムの解明等の基礎研究が行われている。金属リチウム負極と固体電解質との組合せ、高電位・高容量正極材料、硫黄系材料、金属空気電池用の電解液等の 10 のタスクに対して、53 のテーマが大学・研究機関によって研究されている。

一方、ARPA-E は、2016 年から車載用蓄電池、定置用蓄電池及び燃料電池を対象として、イオン伝導性材料を用いた新規な電気化学デバイスの創造を目指し、予算総額 3,700 万ドルの「IONICS」プロジェクトを開始している。車載用蓄電池のコスト目標としてセルで 100 ドル/kWh 以下、電池パックで 175 ドル/kWh 以下が掲げられており、表 1-1 に示すような研究開発が行われている。

表 1-1 IONICS プロジェクトの参画機関と開発テーマ

主な参画機関	開発テーマ
Pennsylvania 州立大学	独自の低温焼結技術を用いた複合構造の酸化物系固体電解質
Colorado 大 Boulder 校	全固体電池のセル製造時間を短縮する瞬間焼結法
Iowa 州立大	ガラス系電解質の低コスト製造プロセス
Oak Ridge 国立研究所	ガラス系電解質及び低コストセル化技術
24M	Roll-to-Roll 法で製造可能な有機・無機固体電解質の保護層を設置した Li 金属負極電池
Sila Nanotechnologies	固体電解質を軟化させて正極とセパレーターに接合する製造プロセス
Ionic Materials	Li 金属負極電池用のポリマー電解質及びポリマー複合体正極
PolyPlus Battery	Li 金属薄膜とガラス系電解質薄膜で構成される電極・セパレータ複合体

Office of Science は、「Basic Energy Science (BES)」プログラムの一環として、2012 年 11 月、次世代蓄電池（車載用／定置用）の研究拠点として「Joint Center for Energy Storage Research (JCESR)」を Argonne 国立研究所に設立している。2016 年までの 5 年間の開発予算総額は 1 億 2,500 万ドル予定で、開発目標は 5 年以内にエネルギー密度 5 倍、コスト 1/5 のポストリチウムイオン電池を開発することである。Argonne 国立研究所をリーダーとして 5 国立研究所、5 大学、4 企業 (Dow Chemical, Applied Materials, Johnson Controls, Clean Energy Trust) が参加している。2016 年には、車載用電池としてリチウム金属負極と硫黄正極を組み合わせたリチウム硫黄電池を選択し、このシステムに特化して、パツクレベルで \$100/kWh の目標達成を目指しプロトタイプ化に取り組む 5 年間の継続プログラムが検討中と言われている。

(ii) 欧州

欧州においては、EU、欧州投資銀行、産業界等から官民パートナーシップ「欧州グリーンカー・イニシアティブ」(EGCI) に対して拠出される資金を使い、数多くの車載用蓄電池の技術開発プロジェクトを推進している。1 つのプロジェクトに多数の EU 加盟国の企業、大学・研究機関が参加するコンソーシアム方式で実施されている。

LIB 関連では、高性能化・低コスト化に取り組むプロジェクトが多く、主に材料開発、パイロット規模で作製されたセルの評価、LIB セルの劣化メカニズムの理解をテーマにしている。例えば、2010 年

～2013年に実施された「HELIOS」プロジェクトでは、Renault、OPEL、PSA、Volvo、Ford、Fiatといった自動車メーカーが中心となり、代表的な4種類の正極材料(NCA、LMO、LFP、NCM正極)に黒鉛負極を組み合わせた40Ah級セルを用いて、安全性・耐久性に優れるLIBを見出すための評価試験法の開発が行われた。また、2013年～2017年の5年計画で進行中の「MARS-EV」プロジェクトでは、Johnson Matthey、Rockwood、Solvionicといった材料メーカーが中心となって、LiリッチのNCM系やフッ化オリビン系/ケイ酸塩系の複数の高電位正極と黒鉛、Si合金負極の組合せで構成される高エネルギー密度のLIBの開発を行っており、モデルセルで370Wh/kgのエネルギー密度が達成されたと報告されている。さらに、「MAT4BAT」プロジェクト(Renaultが参加)ではLi過剰系正極、黒鉛負極、ゲルポリマー/固体ポリマー電解質等の組合せ、「FiveVB」プロジェクト(BMW、BOSCH、Umicore、3Mが参加)では5V級正極とSi系負極の組合せ、「eCAIMAN」プロジェクト(FIATが参加)ではLNMO正極とSi系負極の組合せ、「SPICY」プロジェクト(Umicoreが参加)ではオリビン系正極とSi系負極の組合せによる先進LIBを開発している。

全固体電池に関しては、Horizon 2020の「HS-GLASSion」プロジェクトで、2015年～2017年の2年計画で、無機ガラス系固体電解質を用いた薄膜LIBを開発している。

(iii) ドイツ

ドイツ連邦政府は、前記したEGCIのプロジェクトとは別に、EV及び車載用蓄電池の分野でドイツ企業を世界トップ水準に引き上げることを目指しており、独自の技術開発政策を展開している。2008～2015年に連邦教育研究省(BMBF)主導で実施された「LIB2015」プログラムでは、BASF、BOSCH、EVONIK、LiTec、VW等の約60の企業及び大学・研究所が参画したコンソーシアムが結成され、車載用及び定置用蓄電池を対象として、セル・材料・部品の開発、セル製造プロセスの開発、電池パック化技術の開発、バッテリーマネジメントシステム(BMS)の開発等、様々な研究開発プロジェクトが立ち上げられた。例えば、「Helion」プロジェクトでは300Wh/kg以上の車載用LIBセルの製造プロセスが検討され、「LiFive」プロジェクトでは5V級の高電圧LIBが実現可能な正極と電解液の開発が行われた。

また、「LIB2015」の後継プログラムとして、「Batterie 2020」プログラムが2016年より開始されており、車載用及び定置用蓄電池を対象としてエネルギー密度・出力密度の向上、安全性・信頼性の向上、劣化メカニズムの解明、電池の低コスト化等を目的とした研究開発が産学連携で行われている。重点分野は、LIBの材料開発と製造プロセスの開発、全固体電池、多価カチオン電池、リチウム硫黄電池、金属空気電池等の革新型蓄電池の開発である。このうち、産学連携のコンソーシアム型の「HiPoLite」プロジェクトでは、Fraunhoferが高電位正極、耐熱性セラミックセパレータ等を用いたプロトタイプセルの開発し、企業がセルの大型化やシステム化を行って実証試験に繋げる役割分担で研究開発が行われている。

ドイツの電池研究開発拠点として2009年活動開始したMünster大の蓄電技術研究センター(MEET)にはBMW、BOSCH等、30社以上の企業が参加しており、資金はMünster大とNordrhein-Westfalen(NRW)州が主に負担し、BMBF、BMWi、BMUB等の省庁も支援している。LIBの素材・部材、セルデザイン改良、劣化プロセス解明等に取り組んでおり、電解液の自動配合装置を用いて少量多品種のスクリーニングテストを行う設備や、20Ah級のLIBラミネートセルのパイロット製造ラインを保有している。

また、2011年、BMBF主導でドイツの電池産業発展のために企業と応用研究機関のネットワーク

として結成された KLIB (Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen Batterien)は、新たな素材や部品、生産技術の実用性を試験生産で見極め、量産化に繋げることを目的としており、BASF、EVONIK、BOSCH、Li-Tec、SB-LiMotive、ZSW 等の企業・研究機関等が参加している。KLIB は、LIB を中心とした基礎研究、電池試作及び電池特性評価が可能なプラットフォーム型の研究センター(eLaB)を2014年にUlmのZSW内にパートナー企業と共同して建設している。eLaBでは材料改良と量産技術、LIBセルの製造(18650型セル、ラミネートセル、20Ah級角形セル)、セルの安全性・信頼性評価等を行っている。

(iv) 中国

中国における車載用蓄電池の技術開発は、第12次5ヶ年計画(2011～2015年)の枠組みで、「国家ハイテク研究発展計画」(863計画)のLIB開発と「中国国家重点基礎研究発展計画」(973計画)の革新型蓄電池開発が実施されてきたが、現在は、2016～2020年の第13次5ヶ年計画の枠組みで、これら2つを統合した「国家重点研究開発計画」プログラムが進められている。

第13次5ヶ年計画の2020年のLIBの開発目標は、エネルギー密度300Wh/kg、サイクル寿命は1,500回、バッテリーコストは800元/kWh(13,000円/kWh)、また、革新型電池の開発目標はエネルギー密度が500Wh/kgとなっている。

「国家重点研究開発計画」プログラムの中の「新エネ車試行特別プロジェクト」では、目標達成に向けて表1-2に示す6項目の重点テーマが設定されており、LIBの高ニッケル系のNCM系正極やNCA正極の高電位・高容量正極、Siと黒鉛の混合系等の大容量負極、耐高電圧電解液を、革新型蓄電池では、全固体電池、リチウム硫黄電池及びリチウム空気電池を開発するとしている。また、評価プラットフォーム構築のため、車載用蓄電池の評価及び試験方法開発を行う予定である。5年間の総予算は約3.55億元(60億円)で計画されている。

表1-2 新エネ車試行特別プロジェクトの車載用蓄電池技術の重点テーマ

最先端の基礎研究	①車載用蓄電池の新材料、新システム
重要技術	②高エネルギー密度LIB開発
	③高出力、長寿命のLIB開発
	④車載用蓄電池のシステム技術開発
	⑤革新型高エネルギー密度電池技術
評価プラットフォーム	⑥車載用蓄電池の評価及び試験方法開発

(v) 韓国

2010年4月、韓国政府は地球温暖化対策の推進と環境科学技術産業の育成を関連付けて規定し、これを経済成長の新たな牽引力にすることを旨とする「低炭素グリーン成長基本法」を施行した。同法に基づき、知識経済部、企画財政部、教育科学技術部等は、2010年7月、二次電池を韓国の次世代の基幹産業へと育成することを目指した「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」を発表した。この計画においては、2020年までにEV用やエネルギー貯蔵用の中大型LIBの市場が急拡大することが見込まれるが、小型民生用LIBの競争力では日本と同等であるものの、中大型LIBの技術力は日本に相当劣るとし、中大型市場を狙った研究開発への投資を強化するとしている。また、蓄電池の素材メーカーは零細企業が多く、そのR&D環境は劣悪であるため、LIB素材全体

の国産化率は20%以下、特に負極材の自給率は1%に過ぎず、大部分を日本からの輸入に頼っていると、以下に示す対応を取るとしている。

- ① 今後10年間で二次電池分野の修士・博士級人材を1,000人育成。その一部を技術革新型の中小・中堅企業に派遣。
- ② 蓄電池分野のグローバル素材企業を10社以上育成し、世界市場のシェアも50%へと引き上げる。
- ③ 各大学の課程拡大や専門大学院の新設を検討。LIBの重要部材である正極材や負極材の技術者を育成。

「高性能二次電池素材開発:World Premier Materials(WPM)」(2010～2019年)においては、韓国の主要蓄電池・材料メーカー及び研究機関が広く参画して(Samsung SDIがプロジェクトリーダー)、車載用蓄電池の高ニッケルNCM正極、Si合金負極、Si/黒鉛複合負極の開発を行っている。また、「緑色産業先導型二次電池技術開発」(2011～2018年)においても、Samsung SDI、Kokam、POSCO ESM、W-SCOPE等が、Ni-Mn系層状正極、LMO系正極、Si合金系負極、バインダー・コーティング技術等を開発している。

さらに、「中大型二次電池商用化技術開発」(2016年～2020年)においては、総予算430億ウォン(政府負担分が270億ウォン)の計画で、韓国電池研究組合がプロジェクトリーダーとなって、LG Chem、現代自動車、POSCO ESM、W-SCOPE、大学・研究機関が参画するコンソーシアムを結成し、高ニッケルNCM系正極、Si/黒鉛混合負極、耐高電圧電解液、セラミックコーティングセパレータ等の開発、及びこれらを組み合わせたエネルギー密度300Wh/kg以上のLIBの開発を行っている。

全固体電池に関しては、韓国エネルギー技術評価院が2012年に策定した「EV用エネルギー貯蔵システムロードマップ」でコア技術として掲げられ、リチウムイオン伝導固体電解質材料技術や固体電解質/電極界面性能向上技術、全固体電池の製造技術の研究開発が行われている。

1.2 NEDO の事業としての妥当性

1.2.1 NEDO の関与の必要性

本プロジェクトが取り組む材料評価技術の開発については、下記①～⑦に示す理由から、NEDO 事業として取り組むこと、あるいは NEDO の関与が必要である。

① 産業界全体の競争力強化(公共性・汎用性)

低炭素化社会の構築に向けては、技術革新による蓄電池の高性能化・低コスト化が必須であり、その実現に向けては蓄電池及び蓄電池材料の中・長期的な研究開発が必要である。加えて、蓄電池及び蓄電池材料分野は日本メーカーが技術力で世界をリードしているものの、ビジネス面での国際競争は激化している。さらに、主要各国も研究開発を精力的に推進し、キャッチアップを目指している。

そのため、日本メーカーによる競争力を有した製品の早期に市場投入を実現する研究開発を加速化あるいは効率化するためには、共通的な材料評価技術の開発が必須要素である。材料自体の開発は個別の事業者の負担で行うべきであるが、材料評価技術は関連産業界全体の競争力強化を図るものであり、公共性・汎用性を有する共通基盤技術である。

② 学術成果の産業技術への引き上げ

蓄電池及び蓄電池材料については、国内の大学・公的研究機関において学術的な基礎研究が連綿として取り組まれており、また、その研究レベルも世界トップレベルにある。そのため、これら学術成果を産業技術として仕上げていく観点からも材料評価技術の整備が必要である。

③ 開発リスク・ハードルの高さ

国内の企業や大学等が異なる蓄電池及び蓄電池材料の技術を保有し、独自に研究開発を進める中、その技術進展に合わせ、適切かつ公平な評価を可能とする材料評価技術を開発することは、開発リスクとハードルが極めて高い。

④ 関係者間の利害調整

共通の「ものさし」となる材料評価技術の開発に際しては、企業を競争させるのではなく、競合関係あるいは売り手と買い手の関係にある複数の企業を連携・協調させる必要がある。特に、技術情報の開示／非開示の範囲に関して、説得性・納得性のあるルールをプロジェクト内で作る必要がある。この場合、関係者の利害得失を調整し、関係者のメリットを最大化させるのは、民間活動だけでは困難であり、中立的な立場でマネジメントを行う機関の関与が必要である。

⑤ 過去の材料評価技術開発プロジェクトの技術蓄積等の活用

NEDO は、平成 22 年度～平成 26 年度に「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2/3 助成事業)を実施した。助成先は、本プロジェクトの委託先でもある「技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター」(LIBTEC)である。

この助成事業では、既に上市されている LIB 材料(例えば、コバルト酸リチウム正極、球状黒鉛負極等)を使用し、標準電池モデル(ラミネート形 7 モデル、コイン形 5 モデル)とその試作仕様書、性能評価手順書等を策定した。また、これらの有用性・汎用性を検証するため、LIBTEC において 5 年間で約 400 件の新材料評価を行うとともに、その新材料サンプル提供を行った材料メーカーに対して評価結果のフィードバックを行った。

そのため、この助成事業で蓄積された技術及びマネジメント経験・ノウハウが本プロジェクトにも活用できる。

⑥ 蓄電技術開発プロジェクトの一体的マネジメント

NEDO は蓄電池に係る政策を所管する経済産業省の新エネルギー対策課、自動車課、素材産業課、情報通信機器課、研究開発課等と緊密に連携しつつ、第一線級の実力を有する企業、大学、公的研究機関等の技術開発能力を最適に組み合わせ、図 1-28 に示すように、共通基盤技術開発から応用・実用化開発までを戦略的かつ包括的にマネジメントしている。

「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」では、電力系統用大型蓄電システムの開発とその実証試験を行った。「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」では、本プロジェクトでも取り扱っている固溶体正極や Si 合金負極を用いた先進 LIB 及び全固体電池について、EV・PHEV 用 LIB の高性能化・低コスト化の技術開発を推進した。また、国際標準化・基準化に資する車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発を実施した。

さらに、「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発事業」では、ガソリン車並みの航続距離を有する EV の実現を目指してオールジャパンの産学官連体制を構築し、量子ビームライン技術等も活用しながらサンエンスに立脚した革新電池の共通基盤技術開発を推進している。

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

⑦ 省庁間連携

「1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて」で述べたように、本プロジェクトは未来開拓研究プロジェクトとして省庁の枠を越えた連携に取り組むことになっている。文部科学省プロジェクトの学術的な研究開発成果を産業界に橋渡しするには、NEDO のパイプ役として関与が必要である。



図 1-28 NEDO の蓄電技術開発プロジェクト

1.2.2 実施の効果

(1) 蓄電池産業の競争力強化

本プロジェクトの成果(材料評価技術)が産業界に普及・定着することによる効果、及び本プロジェクトを実施すること自体の効果として、下記①～④が挙げられる。

① 新材料の開発効率向上及び開発期間短縮

材料メーカーによる新材料の提案・サンプル供試の段階より、蓄電池の完成形(フルセル)として得られる各種特性データに基づいて、材料メーカーとユーザー(蓄電池メーカー、自動車メーカー等)がハイレベルの議論が行うことが可能となる。引き続き、フィージビリティスタディや共同開発のフェーズに移行した場合も、技術の摺合せが円滑に進展し、実用化開発の効率向上と開発期間の短縮が実現する。

② 材料メーカーによる自社開発品の正確なポテンシャル把握

ユーザーへの新材料提案の前段階において、材料メーカー自身で開発品のポテンシャル把握が可能になる。また、他の蓄電池構成材料・部品との相互影響や蓄電池製造プロセスへの適合性等も明らかになる。そのため、材料メーカーとしての開発の方向性や戦略等が明確になり、ビジネスの選択と集中の判断に繋げることができる。

③ LIBTEC による材料評価のワンストップサービスの提供

本プロジェクトにおける材料評価法の開発のため、LIBTEC に導入した標準電池モデルの作製設備、特性評価試験設備、各種分析測定装置等は、材料メーカーの実際の新材料評価に利活用可能である。そのため、組合員企業は自己資金で設備投資を行わなくても、新規に開発した材料を LIBTEC に持ち込むことにより、材料評価のワンストップサービスを受けることが可能となる。

④ 我が国蓄電池関連産業の技術力の底上げ

本プロジェクトにおける材料評価技術の開発は、蓄電池メーカー出身の研究マネージャーで構成される LIBTEC、その組合員企業である各種蓄電池材料・部品でシェア上位の材料メーカー、LIBTEC の連携研究機関である蓄電池メーカー及び自動車メーカーが協同して取り組む。そのため、蓄電池及び蓄電池材料に関する技術シーズ・ニーズや知見が双方向に伝達することにより、我が国蓄電池関連産業全体の技術力の向上が期待される。

また、全固体電池の評価技術の開発成果については公開する予定であり、これにより、企業の新規参入や異分野の研究者にも門戸が開かれ、蓄電池の研究開発の底上げや産業の裾野拡大が期待できる。

(2) 経済効果

「1.1.5 市場動向」で述べたように、LIB の世界市場規模は 2015 年が約 2.4 兆円で、2025 年には 3 倍以上の約 8.2 兆円に成長すると予想されている。また、LIB 材料の世界市場規模は 2015 年が約 7,700 億円で、2025 年には約 3.5 倍の約 2.7 兆円に成長すると予想されている。仮に、本プロジェクトの成果を活用しての差別化された製品の市場投入による日本メーカーのシェアアップ分を 10%とすれば、LIB については約 8,200 億円、LIB 材料については約 2,700 億円の経済効果となる。なお、本プロジェクトに参画している LIBTEC 組合員企業のうち、旭化成、東レ、日立化成、三井化学、三菱化学等、市場シェア上位の材料メーカーの 2015 年売上げの合計は 900～1,000 億円規模

である(NEDO 推計)。

さらに、アプリケーションである次世代自動車(EV・PHEV 等)、スマートコミュニティ(定置用蓄電池・関連システム)及びモバイル・IT 機器の 2025 年世界市場規模は、それぞれ 25～30 兆円、20～30 兆円、70～100 兆円と見込まれている(各種データを参考に NEDO 推定)。例えば、アプリケーションの一つにドローン(小型無人機)がある。閣議決定された「未来投資戦略 2017」でも、目指すべき社会像の一例として、人手不足解消や物流効率化を目的とし、ドローンを使った自動荷物配送が挙げられているが、この実現には蓄電池の高容量化・高密度化、安全性・耐久性の向上等の性能向上が必須である。このように本プロジェクトの成果が産業界に普及・定着することによって、新しいアプリケーションが生まれる可能性が大きくなり、これらアプリケーションに係る国内生産・雇用、輸出、内外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上等の形を通じて、我が国経済活性化に貢献することが期待される。

一方、本プロジェクトの平成 25 年度から平成 29 年度(5 年間)の総事業費は 23.3 億円であり、十分な費用対効果があると言える。

第2章 研究開発マネジメントについて

2.1 研究開発目標の妥当性

本プロジェクトの基本計画における研究開発目標の記載は以下のとおりである。

【中間目標】(平成 27 年度末)

先進リチウムイオン電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。

【最終目標】(平成 29 年度末)

革新電池のうち全固体電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。また、必要に応じ、先進リチウムイオン電池の材料評価技術について、電池及び電池材料の開発の進展に対応した見直し・追加を行う。

第1章で述べたように、本プロジェクトは、蓄電池の技術進展に合わせ、産業界の共通指標として機能する材料評価技術を確立することにより、市場競争力を有した蓄電池及び蓄電池材料の早期実用化を図ることを目的としている。すなわち、産業競争力の維持・向上を下支えするソフトインフラの開発であり、性能・コスト等に関する数値目標を掲げてハード(蓄電池及び蓄電池材料)の開発に取り組むものではない。

そのため、基本計画においては、「いつまでに何をするか」という観点で、「先進 LIB は3年間、全固体電池は5年間で、評価技術を開発する」ことを目標とした。また、開発する評価技術に有用性を持たせるため、エネルギー密度の向上等、新材料が持つ優れた性能向上の効果のみを評価するのではなく、寿命、安全性、信頼性まで評価可能な技術を開発することを目標とした。

先進 LIB 及び全固体電池については現在、研究開発段階にあり、ベンチマークとなる上市された製品は存在しないことに加えて、これらに適用する材料自体も実用化に向けて絞り込まれたものも存在しない。このような状況において、標準電池モデルを構成する材料の選定と調達に始まり、電池構造及び作製プロセスの検討、材料-作製プロセス間の相互影響解析等を経て、寿命、安全性、信頼性まで評価可能な技術を先取りして開発することに戦略性があると考えている。

また、先進 LIB の評価技術開発では、飛躍的な高エネルギー密度の向上に向けて大きな可能性を有した材料である高電位正極(スピネル系 LNMO)、高容量正極(213 固溶体: $\text{LMO}_2\text{-Li}_2\text{MnO}_3$)、高容量負極(SiO 系)、及び LIB の安全性・信頼性の向上に大きく寄与する難燃性電解液を基軸材料として取り上げている。また、革新電池の評価技術開発では、高電圧化・高エネルギー密度化、使用温度域の制限緩和、発火危険性の抑制を同時実現する可能性を有し、第1章で述べたように、国内外で研究開発が活発化している全固体電池を取り上げている点も戦略的であると考えている。

2.2 研究開発計画の妥当性

2.2.1 研究開発内容

(1) 先進 LIB の新材料評価技術の開発

前記したように、LIB の高エネルギー密度化や安全性向上に向けて大きな可能性を有する LNMO 正極、213 固溶体正極、SiO 系負極及び難燃性電解液の合計 4 種の材料を基軸に標準電池モデルを開発し、その試作仕様書及び性能評価手順書を策定する。性能評価は初期特性のみならず、寿命、安全性・信頼性までを対象とした。これらの策定が完了した後、LIBTEC 組合員企業等国内の蓄電池材料メーカーが開発した新材料サンプルを受け入れ、標準電池モデルに組み込んで特性評価を行い、開発した評価技術の有用性・妥当性を検証して、その評価結果をサンプル提供者にフィードバックすることとした。また、この評価事業が単なる材料の良否判定に終わることの無いように、提供される材料のキャラクタリゼーションもを行い、本プロジェクトで開発した評価技術が技術的に裏付けられたものであるかどうかを検証した。

標準電池モデル及び試作仕様書は、各構成材料の特長を最大限引き出し、かつ量産化の視点で課題の有無を把握できるものとして策定した。なお、標準電池モデルの性能は新材料サンプルに置換しての評価を行う際、リファレンスとして機能するレベルであれば良く、最先端の性能である必要はないと考えている。性能評価手順書は、電池電圧や出力特性等を考慮の上、ターゲットにする用途での新材料の得失・課題が把握できるものを策定した。

さらに、安全性試験法(電池内部への熱電対設置手法)、電極厚み変化測定法、非破壊電極構造観察法、in-situ XRD 測定法(結晶構造解析)等、各電池モデルに共通的な評価技術の開発を行った。

(2) 全固体電池の新材料評価技術の開発

硫化物系全固体電池について標準電池モデルを開発し、その試作仕様書及び性能評価手順書を策定した。性能評価項目、LIBTEC 組合員企業の新材料サンプルの評価実施、開発のポイント等については、上記(1)で述べた先進 LIB と同様である。

全固体電池については、開発は、下記①～③に示す 3 つの段階で進める計画とした。

- ① 全固体電池の基軸となる固体電解質及び電極活物質の特性評価が重要であり、その 1 次スクリーニング評価に適用する圧粉体型電池の標準電池モデルとその試作仕様書を策定した。
- ② 全固体電池の実用化展開には大面積化が必須であり、電極及び電解質のシート化技術を検討した。また、正極/電解質/負極の 3 層積層化技術、セルの充放電性能を維持するための印加荷重(圧力)や拘束手法等を検討した。
- ③ 全固体電池の特長を活かす複数セルの積層化技術(バイポーラ構造、集電体の選定)を検討した上で、シート型電池の標準電池モデル(8mAh 級)とその試作仕様書を策定することとした。なお、今後の蓄電池の市場は EV、PHV 等の車載用途の伸長が予測されている状況から、蓄電池自体も大面積化・大型化していくものと考えられ、標準電池モデル(50mAh 級)とその試作仕様書を策定し、大型モデルによる材料評価技術開発も進めることとした。

また、バルク型全固体電池の場合、イオン伝導経路を如何に形成するのかが重要であり、固体電解質の分散状態の観察技術を開発した。また、全固体電池固有の劣化モード、例えば、電極活物質-電解質の界面における抵抗層の形成、充放電に伴う体積変化(電極構造の変化)についての検討、更には全固体電池の特長である高安全性の検討を目的として安全性に係る評価解析技術の開発を行い、

その結果を性能評価手順書等に反映した。

なお、開発した全固体電池の評価技術については、JSTの「ALCA 次世代蓄電池研究加速プロジェクト」の全固体電池チームとの連携を通じて、アカデミアが研究している全固体電池の新材料・技術に係る実用化の可能性の評価・検討に活用を進めている。

2.2.2 研究開発スケジュール

本プロジェクトの全体スケジュールを図 2-1 に示す。

先進 LIB については、4 テーマ全てがプロジェクトの前半 3 年間で標準電池モデル、試作仕様書、評価手順書の策定を完了させて、後半 2 年間で LIBTEC 組合員企業等から提供される新材料サンプルの評価を通じて、開発技術の妥当性検証を行う計画とした。ただし、前半 3 年間においても、暫定版ベースで新材料サンプルを受け入れての評価とサンプル提供者へのフィードバックを実施することとした。

全固体電池については圧粉成型電池の評価技術を前半 3 年間で開発し、シート型電池の評価技術は最終年度までに開発する計画とした。

なお、本プロジェクトの基本計画では 10 年間のプロジェクトとされており、前半 5 年間の最終年度に前倒し事後評価を実施し、その評価結果を後半 5 年間の取組に反映することとしている。

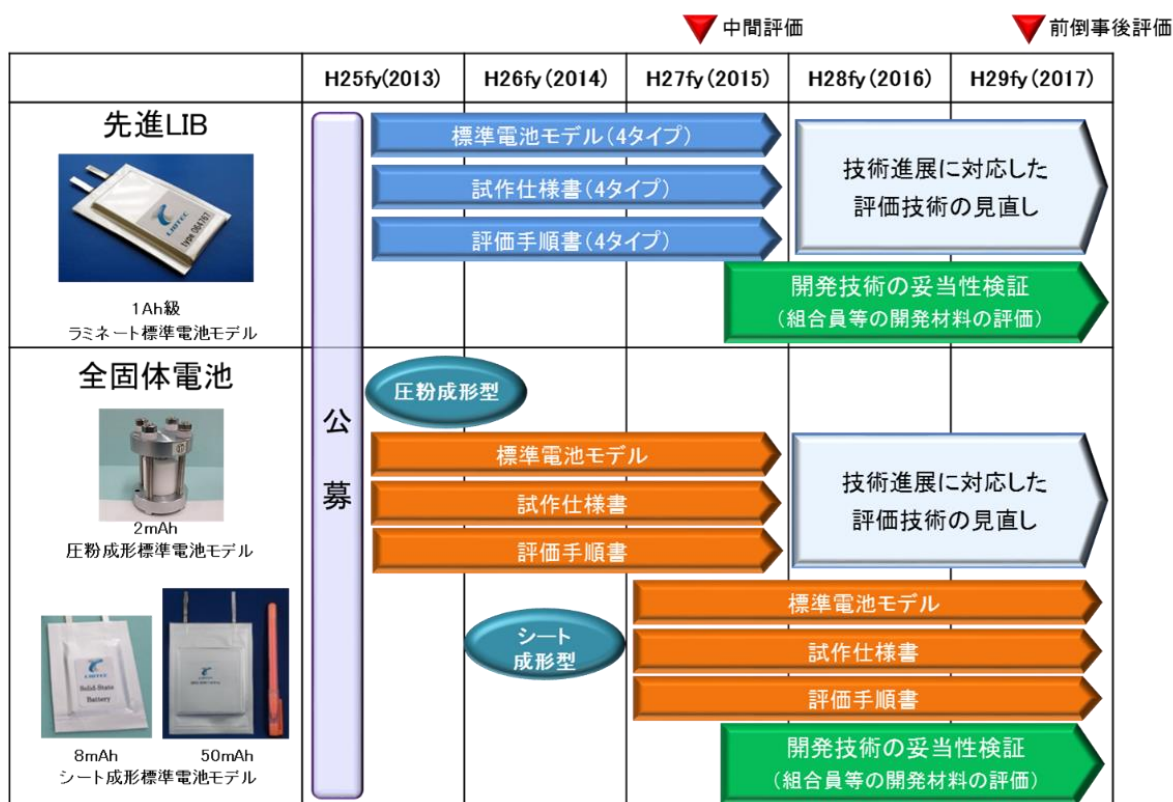


図 2-1 研究開発の全体スケジュール

2.2.3 研究開発費

本プロジェクトの研究開発予算を表 2-1 に示す。

予算総額は前半 3 年間で 1,430 百万円、後半 2 年間で 903 百万円であり、5 年間合計で 2,333 百万円を計画している。総予算の配分は先進 LIB が 1,225 百万、全固体電池が 898 百万、共通的な評価技術の開発が 210 百万である。

先進 LIB の評価技術開発では、NEDO 事業「次世代蓄電池材料評価技術開発」(平成 22 年度～平成 26 年度)において LIBTEC が取得したセル試作ライン等の研究開発資産を利活用することを原則として、従来材料と異なる物性等に対応する部分でのみ分析・測定装置を導入することにした。

一方、全固体電池の評価技術開発では、アルゴンガス雰囲気グローブボックス、圧粉体成形用プレス、正極活物質への電解質コーティング装置、電極・電解質シート塗工装置、塗工装置製造装置等を導入した。

表 2-1 研究開発予算

(単位:百万円)

研究開発テーマ		H25FY	H26FY	H27FY	H28FY	H29FY 予定	合計
先進リチウムイオン 電池	(1) 高電位正極(PJ-1)	51	57	60	55	47	270
	(2) 高容量正極(PJ-2)	21	85	56	52	43	257
	(3) 高容量負極(PJ-3)	27	94	60	90	71	342
	(4) 難燃性電解液(PJ-4)	57	58	71	93	77	356
	(1)～(4) 小計	156	294	247	290	238	1,225
全固体電池(PJ-5)		107	160	256	210	165	898
共通的评价技術の開発		43	70	97	0	0	210
合計(NEDO 委託費)		306	524	600	500	403	2,333

2.3 研究開発の実施体制の妥当性

本プロジェクト全体の実施体制を図 2-2 に示す。また、5 つの研究テーマ毎に「個別プロジェクト」(PJ-1～PJ-5)を LIBTEC 内に設置しており、その実施体制を図 2-3 に示す。

集中研究拠点である LIBTEC における研究開発に貢献できる企業が積極的に研究者・エンジニアを派遣し、相互にノウハウ・自社材料を持ち寄る連携体制を構築している。製品(蓄電池)としてのニーズ・課題を十分に把握している蓄電池メーカー及び自動車メーカーも連携研究機関として参加し、それらの情報が伝達される体制となっている。

また、各テーマに参加している LIBTEC 組合員の材料メーカーより提供される材料を用いて、標準電池モデルの開発とその試作仕様書、更には性能評価手順書を策定することとした。本プロジェクト後半からは国内材料メーカー及びアカデミアより提供された新規サンプルを受け入れて、開発した評価技術の有用性・妥当性検証を実施しているが、本プロジェクトで開発した各種評価技術がより広範に産業界に活用されるようにするため、LIBTEC 組合員以外の材料メーカーも「賛助会員」となることで LIBTEC での材料評価及びそのフィードバックを得ることができる体制を構築している。

また、「1.1.4 未来開拓プロジェクトについて」で述べたように、文科省-JST が実施している「次世代蓄電池研究加速プロジェクト(SPRING)」との連携体制については、2015 年度より硫化物系全固体電池に関する連携を強化しており、「LIBTEC-SPRING 連携会議」を設置して SPRING で研究開発されている新規の固体電解質材料やその成形シート等を LIBTEC が受け取って標準電池モデルに組み込み、電池特性の評価を既に進めている。2016 年 11 月には、NEDO 事業「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(RISING2)」も含めて、文科省-JST の蓄電池研究開発プロジェクトと合同ワークショップを開催し、研究者間の情報・意見交換による研究開発の加速を図っている。

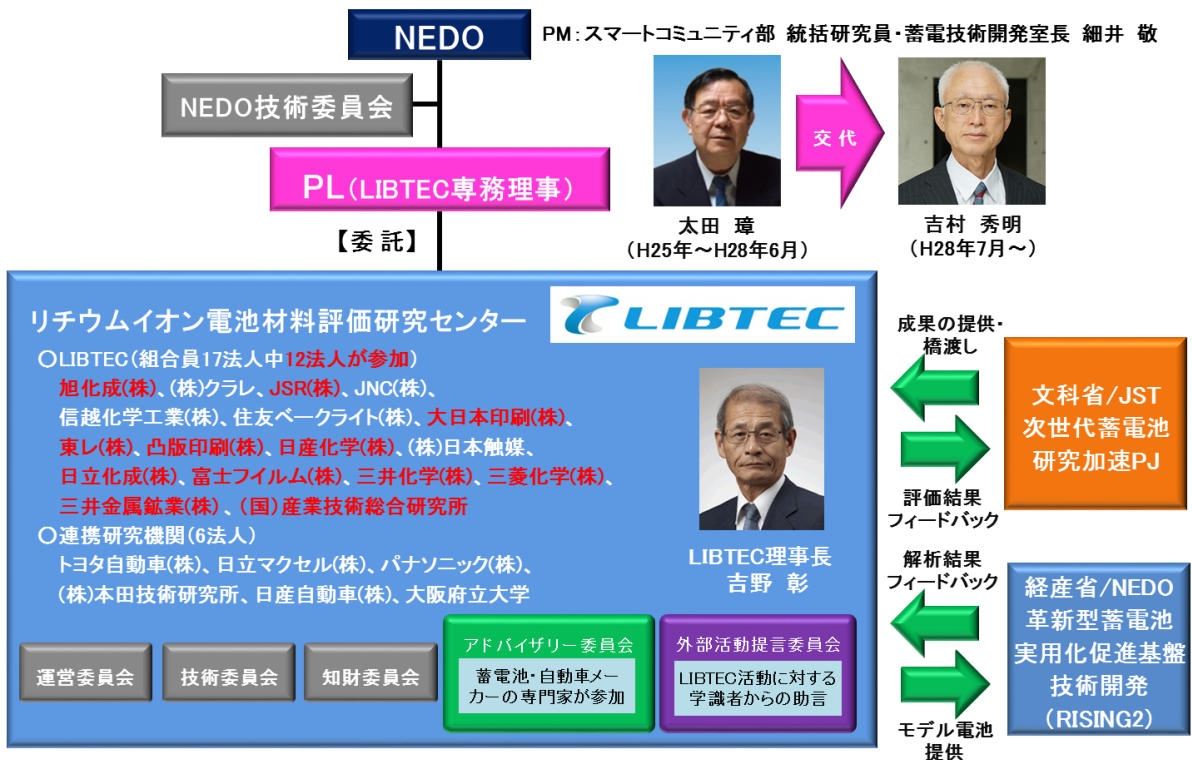


図 2-2 実施体制



図 2-3 個別プロジェクトの実施体制

2.3.1 実施者の技術力・事業化能力

「1.2.1 NEDO の関与の必要性」で述べたように、委託先の LIBTEC は NEDO 事業「次世代蓄電池材料評価技術開発」(平成 22 年度～平成 26 年度)において、既に上市されている LIB を対象に新材料の評価技術の開発を実施した。また、現在、この助成事業の成果を用いて、民間負担 100%の自主事業として組合員企業の新材料評価を行っている。そのため、LIBTEC は材料評価技術の開発に必要な技術力とその成果の実用化能力を有していると言える。

LIBTEC には組合員として LIB 材料市場でシェア上位の材料メーカー及び産業技術総合研究所が参加している。組合員企業は、本プロジェクトで取り扱う新材料の欠点・弱点や改良の方向性を掴んでいる可能性が高く、この知見を活用できるとともに、本プロジェクトの成果を活用しての新材料の製品化・事業化に繋げることできる。産業技術総合研究所は蓄電池分野で世界トップレベルの研究機関であり、反応メカニズム解明等の基礎科学の知見が活用できる。

また、本プロジェクトには、蓄電池の研究開発に豊富な経験と実績を有し、かつ事業化能力を十分に有した日立マクセル、パナソニック、トヨタ自動車、日産自動車、本田技術研究所が連携研究機関として参加している。

さらに、「1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて」で述べたように、本プロジェクトが連携する JST の SPRING プロジェクトのチームリーダーである大阪府立大学・辰巳砂教授は、全固体電池の論文発表件数で世界ランキング第 1 位である。また、プロジェクト立上げ段階で、LIBTEC は同教授より実験環境の構築、材料合成、電池試作等について指導を受けている。

2.3.2 指揮命令系統・責任体制

本プロジェクトは、NEDO がプロジェクトリーダー(PL)として委嘱した LIBTEC の太田璋専務理事(平成 25 年～平成 28 年 6 月)、及び吉村秀明専務理事(平成 28 年 7 月～現在)の下で実施している。

太田氏は我が国の蓄電池の研究開発を長年にわたりリードしてきた第一人者である。松下電池工業(現パナソニック)・技術研究所長、パナソニック EV エナジー・代表取締役社長に就任する等、その研究開発成果や事業化の功績は世界的に広く認められている。また、前記した NEDO 事業「次世代蓄電池材料評価技術開発」においても研究代表者として高い知見と指導力を発揮し、優れた成果を挙げた。また、吉村氏も同様に我が国の蓄電池の研究開発をリードしてきた 1 人であり、GS ユアサ・常務取締役役に就任する等、蓄電池に係る事業化の功績が広く認められている。

そのため、2 人の PL は本プロジェクトにおける材料評価技術開発のポイントや課題を把握している。さらに、技術的なアドバイスのみならず、成果を活用する企業の責任者との議論を行うことができる。

現在の PL である吉村氏は、LIBTEC 内に吉村氏を頂点する明確な指令命令系統及び責任体制を構築している。具体的には、LIBTEC 内に先進 LIB と全固体電池のテーマで PL を補佐する者をそれぞれ置き、さらに 5 つの個別プロジェクトのリーダーを置いて、プロジェクトを管理している。

2.4 研究開発の進捗管理の妥当性

2.4.1 NEDO・実施者による進捗管理

前記の図 2-3 に示したように、本プロジェクトの評価技術開発が 5 つの個別プロジェクトに渡っているため、個別プロジェクト毎に NEDO 担当者を設置し、各個別プロジェクトの具体的な技術開発内容に至るまで把握して、LIBTEC 側の各テーマの担当者と直接、情報交換して、助言を行う等の木目細かいマネジメントを行い、成果の最大化を図ることとした。なお、NEDO による具体的な進捗管理の状況は次のとおりである。

- ① 2～3 ケ月に 1 回、NEDO 担当者が LIBTEC を訪問し、研究開発状況や導入設備を確認。
- ② 半年に 1 回、LIBTEC より研究進捗の報告を受ける会議を開催。
- ③ 毎月、LIBTEC に予算執行状況の報告を求め、研究設備の導入や消耗品の購入状況から研究開発に遅延が発生していないことを確認している。

一方、LIBTEC では、PL を頂点とする指揮命令系統の下、次のような進捗管理を行っている。

- ① 毎週の LIBTEC 幹部会議で個別プロジェクトの各リーダーが進捗状況を PL に報告。
- ② 毎月、個別プロジェクト毎に PL に対する報告会を開催。
- ③ 2～3 ケ月に 1 回、組合員企業も含めた進捗報告会を開催。提供を受けた材料サンプルの特性評価結果の報告、課題の確認、材料サンプル等の提供依頼等を実施。

2.4.2 外部有識者による進捗点検(「NEDO 技術委員会」の開催)

NEDO は、2013 年度より、表 2-2 に示す外部有識者 6 名で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を設置・運営し、技術的な助言及びプロジェクト全体の運営管理等に関する助言をもらい、プロジェクト推進部として留意すべきことや追加的に対応すべきこと等の有無を点検している。また、技術委員会には、議題に関係する専門家・学識者、他の蓄電技術開発プロジェクトのプロジェクトリーダー、経済産業省の担当者にもオブザーバーで出席してもらっている。

表 2-3 に示すように、技術委員会はこれまで 13 回開催した。このうち、第 3 回、第 6 回、第 10 回及び第 13 回の技術委員会は、本プロジェクトを対象に開催した。第 3 回では主に安全性評価試験の開

発について、また第 6 回では中間目標達成に向けての助言をもらった。また、プロジェクトの成果を分かり易く整理することが必要であるとの指摘を受けた。第 10 回では、開発した評価技術の妥当性検証の進め方について、第 13 回では前倒し事後評価の目標達成に向けての助言をもらった。定期的な技術委員会の開催によって得られた全般的な取り組みの方向性、技術面についての助言は実施者にフィードバックし、本プロジェクトの進め方に反映させるよう努めた。

表 2-2 「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」委員一覧

	氏名	所属・役職
委員長	佐藤 祐一	神奈川大学 名誉教授
委員	小久見 善八	京都大学 産官学連携本部 特任教授
	鳶島 真一	群馬大学 理工学部 環境創生理工学科 教授
	西尾 晃治	京都大学 産官学連携本部 特任教授
	仁科 辰夫	山形大学大学院 理工学研究科 教授
	松原 英一郎	京都大学大学院 工学研究科 材料工学専攻 教授
	松本 孝直	電池工業会 部長
	三田 裕一	電力中央研究所 材料科学研究所 上席研究員
	森田 賢治	日本自動車研究所 FC・EV 研究部 調査・標準化グループ長
	山木 準一	九州大学 名誉教授

表 2-3 「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」の開催実績

	開催日	議題
第 1 回	2013 年 6 月 28 日	NEDO 蓄電技術開発プロジェクトにおけるバッテリーの安全性確保
第 2 回	2013 年 11 月 18 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発／共通基盤研究」における大規模蓄電システムの劣化診断技術について
第 3 回	2014 年 3 月 5 日	「次世代蓄電池材料評価技術開発」及び「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 4 回	2014 年 3 月 19 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の開発進捗状況
第 5 回	2015 年 1 月 16 日	「次世代蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 6 回	2015 年 4 月 10 日	「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の開発進捗状況
第 7 回	2015 年 7 月 2 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」の達成状況
第 8 回	2015 年 10 月 22 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の進捗確認 (平成 28 年度の事業終了に向けて)
第 9 回	2016 年 2 月 18 日	「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」の達成状況
第 10 回	2016 年 5 月 13 日	「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」に関する進捗及び今後の進め方
第 11 回	2016 年 7 月 17 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の進捗確認 (今年度末の事業終了に向けて)
第 12 回	2017 年 3 月 14 日	「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」の成果確認
第 13 回	2017 年 4 月 5 日	「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の達成状況

2.4.3 ユーザー企業専門家による進捗点検(「アドバイザー委員会」の開催)

LIBTEC 内に、以下に示す 2 つの「アドバイザー委員会」を設置して、蓄電池メーカー及び自動車メーカーの専門家に開発進捗・成果に対する指摘・助言を求め、それらをプロジェクトの運営や開発技術のブラッシュアップに反映している。表 2-4 に示すように、開催実績は通算で 11 回、本プロジェクト実施期間は 7 回である。なお、「アドバイザー委員会」での指摘・助言内容については、「4.1 成果の実用化に向けた戦略・取組」に記載する。

○第 1 アドバイザー委員会(8 社参加)

NEC エナジーデバイス、日立化成、GS ユアサ、ソニーエナジーデバイス、東芝、パナソニック、日立マクセル、古河電池

○第 2 アドバイザー委員会(6 社参加)

ブルーエナジー、本田技術研究所、リチウムエナジージャパン、日産自動車、日立オートモティブシステムズ、プライムアース EV エナジー

表2-4 「LIBTECアドバイザー委員会」の開催実績

●第1アドバイザー委員会

	開催日	内容
第 1 回	2010年11月30日	LIBTEC概要説明と質疑応答
第 2 回	2011年11月29日	平成23年度主要業務紹介及び平成22年度LIBTEC評価の中から推奨電池材料紹介、設備見学と意見交換
第 3 回	2012年11月13日	平成25年度の新しい事業活動について情報提供(経産省)と意見交換
第 4 回	2013年4月24日	新プロジェクトの概要説明(第1部)及びLIBTECの評価法に対する電池メーカーとの意見交換(第2部)
第 5 回	2014年11月12日	LIBTECにおける「電池材料評価法と安全性評価法の現状と将来展開」説明、施設見学と意見交換
第 6 回	2015年11月4日	施設見学と、LIBTEC現状報告及び安全性を含む電池評価法の意見交換
第 7 回	2017年5月24日	施設見学と、NEDO委託事業の前倒し事後評価に向けてのLIBTEC現状報告、並びに意見交換

●第2アドバイザー委員会

	開催日	内容
第 1 回	2014年3月20日	LIBTECの紹介、アドバイザー委員会への期待、設備見学、意見交換
第 2 回	2014年12月8日	LIBTECにおける「電池材料評価法と安全性評価法の現状と将来展開」説明、設備見学、有望電池材料の紹介、意見交換
第 3 回	2015年11月19日	施設見学と、LIBTEC現状報告及び安全性を含む電池評価法の意見交換
第 4 回	2017年6月15日	施設見学と、NEDO委託事業の前倒し事後評価に向けてのLIBTEC現状報告、並びに意見交換

2.4.4 社会・経済情勢、政策・技術動向の把握(LIBTEC 講演会の開催)

本プロジェクトの身の置かれたドメイン(社会、市場、ビジネス、技術等)を把握しつつ、研究開発を進めるため、表 2-5 に示すように、国内の有識者・専門家等を講師として招いた「LIBTEC 講演会」を合計 29 回(本プロジェクト期間中は 14 回)、開催した。

表 2-5 「LIBTEC講演会」の開催実績

	開催日	講師	演題
第 1 回	2010年6月1日	経済産業省化学課機能性化学品室 室長 福田 敦史	産業構造ビジョン2010
第 2 回	2010年7月7日	三菱化学 フェロー 宇恵 誠	電解質材料の考え方
第 3 回	2010年7月20日	旭化成 フェロー 吉野 彰	研究開発の成功の秘訣
第 4 回	2010年7月22日	三菱自動車 原口 和典	i-MIEVの技術と電池評価概要
第 5 回	2010年10月19日	産技研ユビキタス研究部門 GL 辰巳 国昭	易黒鉛化性炭素のSEI及びリチウムクラスターの構造と電解質との反応
第 6 回	2010年10月27日	佐賀大学 名誉教授 芳尾 真幸	マンガン系スピネルの高温特性
第 7 回	2010年12月14日	電力中央研究所 小林 陽	ACインピーダンス測定による電池劣化解析の可能性と課題
第 8 回	2011年8月1日	東京大学 教授 横山 明彦	スマートグリッドにおける蓄電池と展望
第 9 回	2011年4月13日	京都大学大学院工学研究科 教授 阿部 武志	炭素材料負極の寿命、入出力に及ぼす電解液とその考え方
第 10 回	2011年6月7日	IT総研 副社長 竹下 秀夫	LIB市場・技術の最新動向
第 11 回	2011年11月7日	首都大学東京大学院教授 金村聖志	電気化学測定法
第 12 回	2011年12月14日	大阪市立大大学院 教授 大槻 勉	リチウムインサージョン材料について
第 13 回	2012年3月12日	山形大学 教授 吉武 秀哉	リチウムイオン電池用性能改善電解液
第 14 回	2012年7月19日	群馬大学大学院工学研究科 教授 鳶島 真一	リチウムイオン電池の安全性の課題と評価方法について
第 15 回	2012年12月7日	日産自動車バッテリー事業本部 副本部長 矢島 和男	日産自動車における電気自動車の開発及び今後の電池に対する期待
第 16 回	2013年5月27日	日経BP社 副編集長 狩集 浩志	Liイオン2次電池の展望と研究開発動向
第 17 回	2013年8月27日	神奈川大学 教授 佐藤 祐一	213系固溶体正極の特徴と電池化の課題
第 18 回	2014年1月14日	関西大学化学生命工学部 教授 石川 正司	イオン液体を用いた電極界面挙動と電池特性
第 19 回	2014年2月25日	矢野経済研究所 CMEO事業部 田中 善章	リチウムイオン電池主部材市場動向(正極、負極、電解液・電解質、セパレーター)
第 20 回	2014年5月26日	ALCA次世代蓄電池研究加速PJ PO 魚崎 浩平	ALCA-SPRING(先端的低炭素化技術開発<次世代電池>)
第 21 回	2014年7月15日	京都大学大学院人間・環境学研究科 教授 内本 善晴	電池材料の高度解析から見てきた電池電極反応について
第 22 回	2015年2月4日	東京大学政策ビジョン研究センター シニアリサチャー 小川 紘一	電池材料産業におけるオープン&クローズ戦略
第 23 回	2015年7月28日	山形大学大学院理工学研究科 教授 仁科 辰夫	30秒で充電できる電池のサイエンスと基礎技術
第 24 回	2015年9月8日	トヨタ自動車電池材料技術部 部付 シニアスタッフエンジニア 野崎 耕	トヨタの環境車開発の取り組みと二次電池開発動向
第 25 回	2016年1月26日	大阪府立大学大学院工学研究科 物質・化学系専攻 辰巳砂 昌弘	固体電解質電池研究の最近の動向
第 26 回	2016年4月16日	東京大学工学系研究科 山田 淳夫	高濃度電解液の特異性と二次電池応用
第 27 回	2016年10月4日	京都大学 教授 山木 準一	リチウムイオン電池の安全性
第 28 回	2017年1月24日	本田技術研究所 四輪R&Dセンター 新村 光一	車両電動化に向けたグローバル動向と車載バッテリー技術の進化方向性について
第 29 回	2017年5月23日	B3 上級副社長 宮本 文司	車載LIBの市場動向と技術動向について

2.5 知的財産等に関する戦略の妥当性

2.5.1 基本的な考え方

国際市場で競争力を獲得するためには、知的財産と標準化を戦略的に組み合わせてビジネス戦略に相乗効果をもたらす取組を進める必要がある。その一方、特許化やデジュール標準化(公的標準化)は実質的な技術の公開に繋がるという側面を持つため、オープン&クローズの戦略が必要である。

本プロジェクトの成果となる材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書等)は、国内蓄電池・材料メーカーが市場競争力を有した製品を創出するため研究開発段階で使用するツールであり、フォーラム標準に近い性質を持つ。そのため、この評価技術は基本的にはノウハウ(ブラックボックスのクローズ領域)として取り扱うものとし、特許出願やデジュール標準化は行わない方針としている。

その一方、産業全体の競争力強化の観点においては、開発した評価技術を本プロジェクトに不参加の国内関係者にも広く共有し、産業界の共通指標として普及・定着させる方針である。ただし、製品として上市されていない研究開発段階にある先進 LIB 及び全固体電池を対象としたものであり、技術情報の海外流出は競争力の低下を招くおそれがあることから、その防止対策が必要と認識している。

2.5.2 本プロジェクトにおける知財取扱いの合意内容

本プロジェクトでは、「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」(平成24年12月策定)及び「運用ガイドライン」(平成25年3月発行)に基づき、知的財産に係る出願・活用ルールを定めた「知的財産権取扱規程」、情報管理・秘密保持のルールを定めた「情報管理規程」を整備済である。また、これらについて参加者間の合意を形成する「知財委員会」を設置済みである。

本プロジェクトにおける知的財産の帰属と実施権は、図2-4に示すように、発明の主題が①組員の提供した材料サンプル自体(改良・改変も含む)、②材料サンプルに固有の製法・評価法、③材料サンプルに固有ではない製法・評価法に分類して設定している。

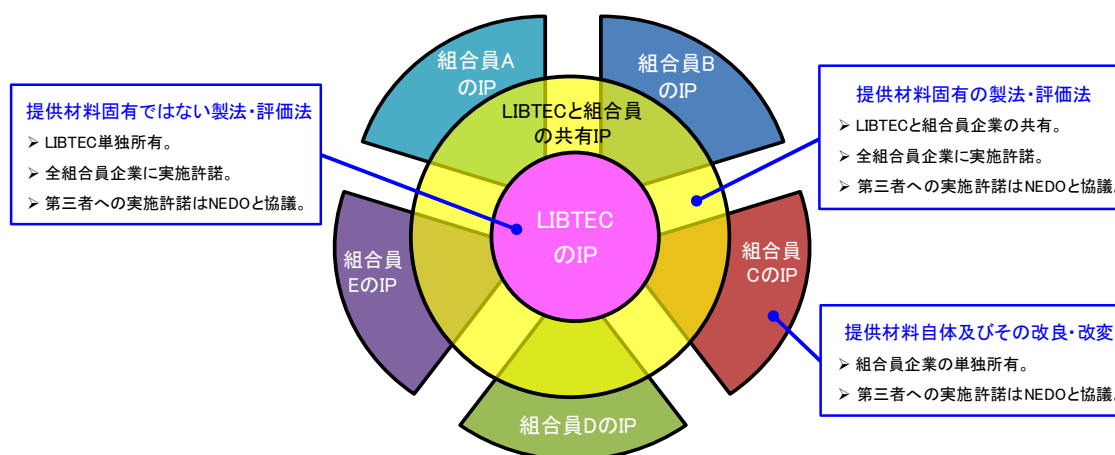


図 2-4 知的財産の帰属と実施権

なお、本プロジェクトにおける情報管理・秘密保持に関する対応は次のとおりである。

(i) 秘密漏洩防止、技術情報流出防止

- ・認証IDによる個別プロジェクト専用居室への入退室許可制
- ・サンプル・図面、試作仕様書、評価基準書等(電子媒体を含む)の外部持ち出し不可

- ・社用 PC の監視
- ・社外電子メールの監視等

(ii) 秘密保持の取扱い

- ・「情報管理規程」の下での保護(賠償請求有)を基本に研究者個人と守秘契約締結。
- ・組合員の脱会時の対応についても合意済。

一方、開発した評価技術を本プロジェクトに参加していない国内関係者にも広く共有する取組の一環として、「2.3 研究開発の実施体制の妥当性」で述べたように、平成 28 年度より LIBTEC に「賛助会員制度」を設け、LIBTEC の組合員企業外の材料メーカーからも新材料サンプルを受け入れている。この「賛助会員制度」の導入にあたっては、守秘義務のある組合員企業と区別する形で以下に示す技術情報の流出防止の対策を実施している。

- ① 賛助会員に対しては、評価する電池系の簡単な構成の開示と評価結果のみのフィードバックとし、材料評価に使用する標準電池モデルの試作仕様書や評価手順が記載された性能評価手順書は非開示としている。
- ② 賛助会員に対しては、試作したセル・電極等は提供しない。

2.6 NEDO プロジェクト間の連携マネジメント

前記した JST の ALCA/SPRING プロジェクトとの連携に加えて、NEDO で実施している他の蓄電池の研究開発プロジェクトとの連携も行って、相乗効果を図り、成果を最大化するマネジメントも推進した。

「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(RISING2)」(実施期間:2016 年～2020 年)とは、RISING2 プロジェクトがスタートした直後より、連携の方針について議論を重ねた。その結果、蓄電池の高エネルギー密度化の指針を得ることを目的とした連携を進めることで合意した。具体的には、本プロジェクトの PJ-3 で開発している厚膜正極の標準電池モデルを RISING2 に提供し、SPRING-8 の放射光ビームラインを用いた高度解析技術の開発に使用することとし、2016 年 9 月より提供を開始した。また、2016 年 3 月より、「LIBTEC-RISING2 連携会議」を立上げ、LIBTEC が提供した標準電池モデルの作製プロセス条件及び材料物性データと RISING の解析結果を突き合わせながら議論し、厚膜正極の充放電メカニズムについて相互に理解を深めている状況にある。なお、今後は、放射光以外の解析技術も連携対象に含めることで合意している。

また、「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」(実施期間:2012 年～2016 年)の研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の実施者である国立研究開発法人産業総合技術研究所(AIST)及び一般財団法人日本自動車研究所(JARI)と LIBTEC との技術交流会をそれぞれ 2016 年 5 月、2016 年 6 月に開催した。AIST との技術交流会では、高容量負極材であるシリコン系負極材を適用した先進 LIB の劣化試験法や dV/dQ 解析手法の先進 LIB への適用性等について情報・意見交換を行った。また、JARI との技術交流会では、国際標準 IEC62660-3 (EV 用 LIB 単セルの安全要件)として発行されている異物混入を模擬した強制内部短絡試験法の代替試験法について情報・意見交換を行った。

2.7 中間評価への対応

本プロジェクトの中間評価を平成 27 年 7 月 10 日に実施した。表 2-6 に研究評価分科会委員を示す。各委員より、表 2-7 及び表 2-8 に示す評価コメントが得られ、各コメントに沿って対処方針を検討し、その検討結果を計画等への反映を実施した。

表 2-6 研究評価分科会委員(平成 27 年度中間評価)

	氏名	所属	役職
分科会長	菅野 了次	東京工業大学 総合理工学研究科	教授
分科会長代理	渡邊 正義	横浜国立大学 評議員 大学院工学研究院	副研究院長 教授
委員	荒井 創	京都大学 産官学連携本部	特定教授
	田村 宜之	日本電気株式会社 スマートエネルギー研究所	主任研究員
	秦野 正治	日産自動車株式会社 総合研究所 先端材料研究所	エキスパート リーダー
	宮代 一	一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所	特別嘱託

表 2-7 中間評価に対する指摘事項と対応(1)

指摘事項	対応
① <u>一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車メーカーに提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受ける方がよい。</u>	<p>「一部で」とは、具体的には PJ-1(高電位正極)が該当と判断(標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー8社、自動車メーカー6社の専門家で構成されるアドバイザー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成28年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー2社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p>
② <u>PJ-5(全固体電池)については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけてほしい。</u>	<p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p>
③ <u>材料評価に高いノウハウが必要であることは十分理解できるが、長期にノウハウとすることは困難であり、知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</u>	<p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー16社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池(PJ-5)の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図っていく予定。</p>

表 2-8 中間評価に対する指摘事項と対応(2)

指摘事項	対応
④ 成果を広く国内の材料産業に普及・活用するためにはLIBTECのノウハウ部分をブックボックス化して保護すること等により、プロジェクト成果としての材料評価技術を組合員以外のメーカーも活用できる枠組みを検討することが重要と考える。	平成28年度よりLIBTECに「賛助会員制度」を新設した。これにより、組合員以外の材料メーカーからも新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価と評価結果のフィードバックが可能となった。平成28年度に6社、平成29年度(5月末時点)に3社が賛助会員登録を行い、本プロジェクトで開発した材料評価技術を活用している。 なお、守秘義務のある組合員企業と区別する形で、賛助会員に対しては、評価する電池系の簡単な構成の開示と評価結果のみのフィードバックとし、ノウハウが含まれる試作仕様書や性能評価手順書は非開示としている。また、試作したセル・電極等は提供しないこととしている。
⑤ 作製・プロセスを支配する原理の解明に関しては、スラリーのシミュレーション等一部に留まっており、より広い展開が望まれる。	プロセス因子に大きく支配される電極内空隙構造のマイクロX線CT観察技術の開発を行った。 また、全固体電池に関して、作製プロセスに依存する合剤負極のイオン伝導率の分離解析やシミュレーション技術等の開発を行い、リチウムデンドライト短絡の抑制に繋げている。
⑥ 海外での企業・国を越えた連携に係る情報を収集し、日本の高い蓄電池技術の維持・発展に貢献するように進めて欲しい。	海外における蓄電池研究開発の動向調査を平成28年度に実施し、本事業原簿の第1章にその内容を反映した。
⑦ 標準電池製作の仕様書作成が主な目的であるに見えるため、材料メーカーへのフィードバック等、その後の過程が分かり難い。	材料メーカーへのフィードバックは、標準電池モデルでの性能評価結果だけでなく、提供を受けた新材料サンプルの問題点や改良の方向性を示唆する解析・評価データも提示するようにした。例えば、PJ-5でメーカーから提供を受けたバインダー材料を例に述べると、塗工用スラリーにした際の経時安定性等プロセス要因も含めた評価結果を材料メーカーに提示している。
⑧ 何を以て「評価手法が妥当である」と言えるのか、そのロジックを明確にして頂きたい。	技術面での妥当性のロジックとしては、相対評価の優劣判定となることから、基準となる標準電池モデルの性能バラツキが小さいことが重要であると考えている。また、材料メーカーの開発への貢献という観点から、上記⑦と同様、提供を受けた新材料サンプルの問題点や改良の方向性を示唆するデータを得るための個別解析手法もセットで開発することとしている。例えば、Si系負極であれば、dV/dQ 電位解析や dT/dQ 厚み解析で電極の膨張収縮や充放電モードの差異に着目する等、メカニズム面での解析・解釈にまで踏み込んだ評価技術を開発することとした。

2.8 評価に関する事項

本プロジェクトに対して実施された評価を表 2-9 に示す。

表 2-9 「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」に対する評価

名称	実施時期	評価手法	事務局
事前評価	平成 25 年 3 月	事前評価書	経済産業省資源エネルギー庁
中間評価	平成 27 年 7 月	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部
前倒し事後評価	平成 29 年 7 月	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部

第3章 研究開発成果について

3.1 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

5つの研究テーマで策定した標準電池モデルの構成を表3-1に示す。このうち、先進LIB(PJ-1～PJ-4)では外形寸法が厚さ6mm×縦67.5mm×横47mmの1Ahラミネートセルを標準電池モデルとして開発した。全固体電池(PJ-5)については、2mAhの圧粉体成形セル、8mAh及び50mAhシート成形セルの合計3タイプを標準電池モデルとして開発した。

また、各テーマの開発成果と達成度を表3-2～表3-6に、今後の取組を表3-7に示す。

各テーマは全ての項目で最終目標を達成済みであり、プロジェクトの残り期間で更に材料メーカーより新材料サンプルを受け入れ、開発した標準モデルを用いた電池試作・評価と評価結果のフィードバックを継続しながら、技術のブラッシュアップに取り組む予定である。

表3-1 標準電池モデルの構成

研究テーマ	先進 LIB				革新電池
	PJ-1: 高電位正極	PJ-2: 高容量正極	PJ-3: 高容量負極	PJ-4: 難燃性電解液	PJ-5: 全固体電池
正極	LNMO	213 固溶体	LFP NCA NCM	高電圧 LCO	NCM 有機硫黄系
負極	天然黒鉛	天然黒鉛	SiO/黒鉛	人造黒鉛	人造黒鉛
電解質	フッ素系	EMC/EC 系 (添加剤入り)	EMC/EC 系 (添加剤入り)	EMC/EC 系 (添加剤入り)	Li-P-S ガラス系 アルジロダイト結晶系
セパレータ	ポリオレフィン	ポリオレフィン	ポリオレフィン	ポリオレフィン	-
外観	 <p>ラミネートセル(1Ah)</p>				 <p>圧粉体成形セル (2mAh)</p>  <p>シート成形セル(8mAh)</p>  <p>シート成形セル (50mAh)</p>

表 3-2 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-1)

研究開発項目	最終目標 (H29 年度末)	成 果	達成度
標準電池モデルの策定	<ul style="list-style-type: none"> 標準電池モデルの策定 ガス発生メカニズムの解明 	<ul style="list-style-type: none"> LNMO 正極と、天然黒鉛負極、フッ素系溶媒を用いた電解液、PP セパレータの組合せで 1Ah 級の標準電池モデルを策定した。 ガス溜まり及び電池加圧構造により、ガス発生の影響を最低限にする電池モデルを策定した。 ガス発生について、カーボネート系電解液では、溶媒が正極で酸化分解されて CO/ CO₂ が発生することを確認し、大量の H₂ の発生は放電末期に貴に分極した負極での溶媒の還元分解に起因するとの示唆を得た。フッ素系電解液は正極での反応の抑制でガス発生量が大幅に低下することを確認した。 フッ素系電解液を用いる標準電池モデルの充放電サイクルにおける容量低下の主因は、正極の容量低下と正負極間の SOC ズレであることを明らかにした。また、電池極板の歪みは、捲回構造電池の変形前後や積層構造電池において電池特性の差異がないことにより、容量劣化に影響がないことを確認した。 	◎
標準電池モデルの試作仕様書の策定	電池モデルの試作仕様書の策定	<ul style="list-style-type: none"> 策定した標準電池モデルについて、量産を想定した試作仕様書を策定した。 	○
性能評価手順書の策定	性能評価手順書の策定	<ul style="list-style-type: none"> 高電位正極電池用性能評価手順書として、民生用途だけでなく、BEV、HEV 用途等も策定した。 非破壊劣化解析法として、dV/dQ 解析による電池容量劣化解析手法の手順書を策定した。 	◎
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	組合員提供材料による電池試作・評価 15 件/H28 年度 20 件/H29 年度	<ul style="list-style-type: none"> 開発した評価法を用いた電池試作・評価について、平成 28 年度は目標の 15 件を大幅に上回る 43 件のサンプルの評価を実施し、平成 29 年度は 6 月の時点で 6 件のサンプルの評価を実施した。電解液や正極材等の各種サンプルの評価解析を実施することにより、材料の相対評価が可能なレベルの評価技術であることを確認した。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-3 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-2)

研究開発項目	最終目標 (H29 年度末)	成 果	達成度
標準電池モデルの策定	<ul style="list-style-type: none"> ・標準電池モデルの策定 ・放電後半の電圧低下のメカニズムを解明 ・サイクル劣化抑制技術の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・213 固溶体正極と、天然黒鉛負極、添加剤含有電解液、PP セパレータの組合せで 1Ah 級の標準電池モデルを策定した。 ・初回充電における高容量発現機構について、格子酸素(O²⁻)が高容量に大きく寄与していることを明らかにし、この知見に基づき、初回充電電圧 4.5 V、電流値 0.05 C で容量規制充電を行うことで、高容量が安定的に発現することを見出した。 ・EC 系電解液(添加物無し)の電池におけるサイクル時の容量低下の主因は、正極から溶出した Mn の負極への析出に伴う負極表面での SEI 生成反応の促進であることを確認した。 ・電解液への添加剤混合、若しくは正極活物質表面への無機セラミック被覆によって、負極上での Mn の析出が抑制され、充放電サイクル特性を改善した。 ・正極の放電後半の電圧低下はスピネル化の進行に起因することを解明し、Cr ドープで充放電容量は低下するが、電圧低下を抑制可能なことを確認した。 ・捲回構造電池の変形は極板群の捲回張力の緩和や、セパレータ接着等の検討により抑制可能にしたが、電池の歪みの有無で電池特性の差異がないことも確認した。 	○
標準電池モデルの試作仕様書の策定	標準電池モデルの試作仕様書の策定	<ul style="list-style-type: none"> ・策定した標準電池モデルについて、量産を想定した試作仕様書を策定した。 	○
性能評価手順書の策定	性能評価手順書の策定	<ul style="list-style-type: none"> ・高容量正極の標準電池モデルの性能を評価する手順書を策定した。 ・早期劣化診断が可能な三極式小型ラミネート電池を用いた劣化解析法の性能評価手順書を策定した。 	◎
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	組合員提供材料による電池試作・評価 10 件/H28 年度 10 件/H29 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・開発した評価法を用いた電池試作・評価について、平成 28 年度は目標の 10 件を上回る 14 件のサンプルの評価を実施し、平成 29 年度は 6 月の時点で 4 件のサンプルの評価を実施した。電解液やバインダー等の各種サンプルの評価解析を実施することにより、相対評価が可能なレベルの評価技術であることを確認した。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-4 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-3)

研究開発項目	最終目標 (H29 年度末)	成 果	達成度
標準電池モデルの策定	SiO 系負極モデルと厚膜電極モデルを策定する。厚膜電極は下記の仕様を策定する。 H28 年度: 6.5mAh/cm ² H29 年度: 8.0mAh/cm ²	<ul style="list-style-type: none"> ・サイクル評価まで可能な LFP/SiO-黒鉛混合、NCA/SiO-黒鉛混合の各モデルと、6.5mAh/cm²と 8.0mAh/cm² の厚膜電極モデルを策定した。 ・SiO 比率を 30%に高めて、高容量負極用に開発された新材料を耐久性まで含めて評価することが可能となった。 	◎
標準電池モデルの試作仕様書の策定	SiO 系負極電池モデルと厚膜電極電池モデルの仕様書を策定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル (6.5mAh/cm²と 8.0mAh/cm²) の仕様書を策定した。 ・負極の精密評価用擬似ハーフセルや、SiO 高含有率負極での加速評価用モデル、フルセル評価モデル (高出力型、高容量型) の試作仕様書を策定した。 	○
性能評価手順書の策定	SiO 系負極電池モデルと厚膜電極電池モデルの評価手順書を策定する。	<ul style="list-style-type: none"> ・SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル用の評価手順書を策定した。 ・ダイコーターを使用した厚膜電極塗工や電極のイオン伝導率・曲路率の測定、共焦点顕微鏡を用いた電極断面のオペランド観察、電極の膨張収縮変化の超精密測定等の評価法を策定した。 	○
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	組合員内外の材料を評価し妥当性を検証する。 H28 年度: 15 件 H29 年度: 15 件	<ul style="list-style-type: none"> ・H29 年 6 月までに合計目標件数を上回る 67 件の材料評価を実施し、高容量負極用の材料評価法の妥当性を検証した。 ・電位平坦性の高い LFP 正極を使った擬似ハーフセルモデルは、SiO 負極の挙動を精密評価できる長所により、全評価の8割を超える利用があり、有効な評価法であることを確認した。 ・厚膜電極モデルは H28 年度末の策定後、電解液評価を中心に評価件数が増加している。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-5 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-4)

研究開発項目	最終目標 (H29 年度末)	成 果	達成度
標準電池モデルの策定	高電圧の安全性評価が可能な標準電池モデルを策定。	<ul style="list-style-type: none"> ・高電圧の安全性評価が可能な 4.5V LCO/黒鉛系で標準電池モデルを策定した。 ・NCM 系より発熱しやすい高電位 LCO を正極活物質に選定し、高電位における挙動の違いを明確にできるようにした。 ・電解液添加剤を適用し、高電圧でのサイクル容量維持率を改善した。 	○
標準電池モデルの試作仕様書の策定	高電圧の安全性評価が可能な標準電池モデルの試作仕様書を策定。	<ul style="list-style-type: none"> ・高電圧の安全性評価が可能な 4.5VLCO/黒鉛系の標準電池モデルの試作仕様書を策定した。 	○
性能評価手順書の策定	性能評価手順書を策定(高電圧の安全性評価等)。	<ul style="list-style-type: none"> ・標準ラミネート電池 ARC 評価、C80 小形ラミネート電池評価、ミツバチネイル短絡試験等 13 種の性能評価手順書を策定した。 ・ARC 評価については、多量のガスが発生した際に、ガスを排出可能なベントを備えた評価容器を開発し、1Ah 級標準電池の安全性能評価を可能にした。 ・C80 評価については、30mAh 級の小形ラミネート電池から取り出した電池構成部分を筒状に巻き加工したものを評価サンプルとする工夫により、発熱挙動の評価を可能にした。 ・ミツバチネイル短絡試験については、Ni 円錐とスペーサを Zr 球に取付けた評価治具を開発し、電極対 1 層短絡を再現よく実現できる評価を可能にした。 	◎
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	<p>組合員内外の材料を評価し妥当性を検証。</p> <p>H28 年度:25 件 H29 年度:25 件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・H29 年 6 月までに合計目標件数を上回る 144 件の材料評価を実施した。 ・電解液やセパレータなどの材料評価では、ARC 評価や C80 評価を標準電池の昇温試験と併せて行い、結果の相関性やデータの定量性が妥当であることを確認出来た。 ・ミツバチネイル短絡試験評価は、従前の強制内部短絡試験と同様に電極対 1 層短絡を実現でき、正極、電解液、セパレータ等の材料の短絡時の耐熱安全性評価として妥当なことを確認出来た。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-6 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-5)

研究開発項目	最終目標 (H29 年度末)	成 果	達成度
評価技術 の開発	圧粉体成形電池を対象として、 (1) 標準電池モデルの策定 (2) 試作仕様書の策定 (3) 性能評価手順書の策定	・材料自体のポテンシャル評価が可能な標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。 ・標準電池モデルを用いた評価により見出した高イオン伝導度の固体電解質を適用し、シート成形電池も含め高精度な標準電池モデルへ改良した。	○
	シート成形電池を対象として、 (1) 標準電池モデルの策定 (2) 試作仕様書の策定 (3) 性能評価手順書の策定	・プロセス要因を考慮した材料評価が可能な 8mAh 標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。プロセス環境の影響評価も可能で、室温においてもデンドライト発生がなく動作することを確認し、最終目標を達成した。 ・大面積化した 50mAh の標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。10C という高出力を確認した。本モデルを用いて 25°Cでの Li デンドライト析出の発生要因を抽出し、その抑制に向けた各種検出・解析技術を開発した。	◎
	バイポーラ電池を対象として、 (1) 標準電池モデルの策定 (2) 試作仕様書の策定 (3) 性能評価手順書の策定	・負極に Si を用いたシート型 3 積層構造でバイポーラ電池の動作を確認した。また、積層した各セルの容量バラつきが、サイクル特性に与える影響を確認した。	○
解析評価技術 の開発	全固体電池の参照極を用いた電極分離測定法の確立	・固体電解質層に Cu の細線を第 3 電極として組み合わせた計測法を制定した。負極電位ゼロを検知することで、Li 析出の把握が可能となった。	◎
	電極内のイオン伝導、電子伝導の分離測定法の開発	・電極内のイオン伝導度と電子伝導度を分離測定できる手法を確立し、正・負極の特性改善に活用した。特に、負極では Li 析出の改善に重要なイオン伝導の測定が可能となった。	◎
	Li デンドライトの観察技術の開発	・高出力 X 線回折装置を用いたフルセルの充放電反応の面内分布をオペランドで解析可能な技術を開発した。 ・ラマン面内イメージングにより、解体後セルの Li デンドライトの直接観測を可能にした。	○
	安全性評価のための熱量測定法の開発	・全固体電池につき、DSC と高温 X 線回折で昇温時に生じる反応と発熱量を定量化した。	○
ALCA との連携	ALCA で開発された硫化物全固体電池関連技術の検証	・技術提供を受けた 3 件につき、電池試作・評価を行い、活用方法を検討した。	◎
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	5 件/H28 年度 8 件/H29 年度	・組合員提供の新電解質材料 4 件を評価した。高イオン伝導度の固体電解質アルジロナイト結晶系材料を標準電池材料へ活用した。 ・ゴム系バインダー 11 件の評価を行い、電解質、正極、負極に適したバインダー材料と組成を検討した。 ・平成 28 年度、目標の 5 件を大幅に上回る計 15 件の材料サンプルで電池試作・評価を行った。	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-7 最終目標の達成に向けた今後の取組

研究テーマ	今後の取組
PJ-1: 高電位正極	<ul style="list-style-type: none"> ・高電圧電池に向けた電解液関係の材料評価依頼が多く、その寿命性能低下要因分析に適するdV/dQ 解析技術について、その検証過程で得られる知見を活用して、劣化解析法のブラッシュアップに取り組み、評価手順書の更新を実施する。 ・新材料サンプルの受入れと電池試作・評価として、平成 29 年度は 20 件のサンプルを評価予定(6月の時点で6件のサンプル評価を実施)。
PJ-2: 高容量正極	<ul style="list-style-type: none"> ・高容量正極電池に向けた電解液関係の材料評価において、寿命劣化の早期診断が可能な三極式小型ラミネート電池を用いる評価技術が有効であり、その検証の過程で得られる知見を活用して、劣化解析法のブラッシュアップに取り組み、評価手順書の更新を実施する。 ・新材料サンプルの受入れと電池試作・評価として、平成 29 年度は 10 件のサンプルを評価予定(6月の時点で4件のサンプル評価を実施)。
PJ-3: 高容量負極	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 29 年度に策定した SiO-黒鉛混合負極と厚膜正極とを組み合わせた標準電池モデルに関連する評価法の仕上げや精度向上を図る。具体的には、共焦点顕微鏡を用いた厚膜電極内反応分布のオペランド観察手法や厚み変化測定法を SiO-黒鉛混合負極に適用した検討を行い、8.0mAh/cm² モデルの完成度を高める。また、厚膜負極中の SiO 含有率を 30%に高めた標準モデルの完成度を高める。
PJ-4: 難燃性電解液	<ul style="list-style-type: none"> ・安全性の基礎となる昇温系の材料評価において、標準ラミネート電池 ARC 評価、C80 小形ラミネート電池評価を中心に多数の妥当性検証を実施し、改善点があれば反映させて完成度を高める。 ・強制内部短絡試験を代替可能なミツバチネイル短絡試験評価についても、評価実施の中で課題を抽出し、必要があれば改良を進める。
PJ-5: 全固体電池	<ul style="list-style-type: none"> ・50mAh 標準電池モデルについて、25°Cでの Li デンドライト抑制に向けた、拘束圧力の均一化や負極での黒鉛粒子径増加といった方策の検証実験を N 増しして行い、効果が検証されたものについて標準電池モデルに取り込み、更なる改良を行う。 ・50mAh 標準電池モデルでも安全性試験を実施して、温度上昇等の不安全事象等のセルサイズによる差異を調査する。 ・平成 29 年度は 8 件の新材料サンプルの受入れと電池試作・評価を実施する予定。平成 28 年度の評価を通じてフィードバックされた結果を元に材料メーカーが分子構造等を改良したバインダー材料を主として評価する予定である。 ・ALCA-SPRING との連携を加速し、提供された技術の更なる評価を進める。例えば、豊橋技科大から提供された液相電解質を黒鉛負極にコートして、合剤負極内部の電解質/黒鉛活物質界面の接触性の均一化を図ったシート成形電池モデルを試作評価・解析を実施し、Li デンドライト抑制の検証等にまで踏み込んだ評価を進める。

3.1.1 高電位正極(PJ-1)の成果の一例

(1) 標準電池モデルの策定

LNMO 正極を用いた標準電池モデルとして、通常の 4V 級の電池に用いられるカーボネート系の電解液を適用した場合、正・負極と反応し易いため、ガス発生が多く、充放電サイクル劣化も激しいことにより、材料の長期的な寿命評価や 45°Cでの高温試験が困難であった。そこで、標準電池モデルの電解液として反応性の低いフッ素系電解液を採用した。この標準電池モデルの充放電サイクル寿命特性を図 3-1 に示す。25°C、45°Cともに放電容量の急激な低下は認められず、高温条件でも長期寿命特性評価が可能であることを確認した。また、図 3-2 に示すように、放電負荷特性では、5C でも 0.33C での放電容量の 50%以上の容量を保持しており、高出力試験が可能であることを確認した。また、放電温度特性では、標準電池モデルの電解液に融点の低いプロピレンカーボネート(PC)を一部混合しているため、-20°Cという低温に対しても 25°Cでの放電容量の 50%程度の容量を保持しており、-20~60°Cという広い温度範囲での試験が可能であることを確認した。

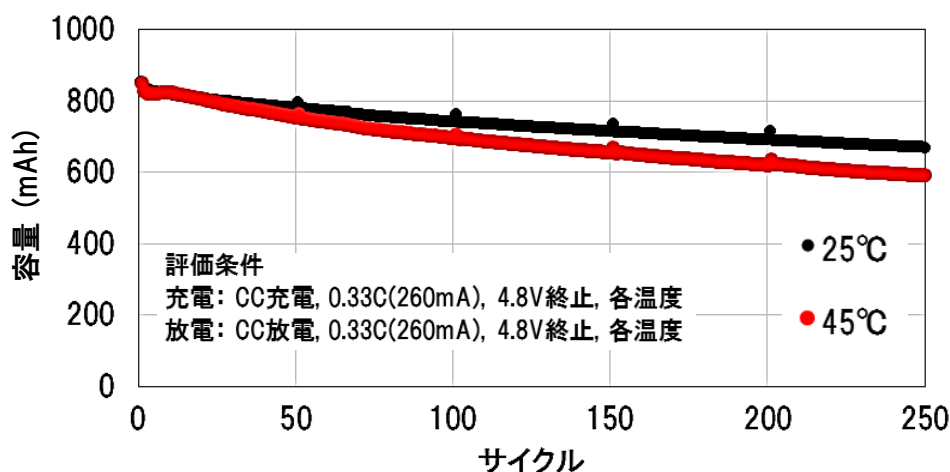


図 3-1 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの充放電サイクル寿命特性

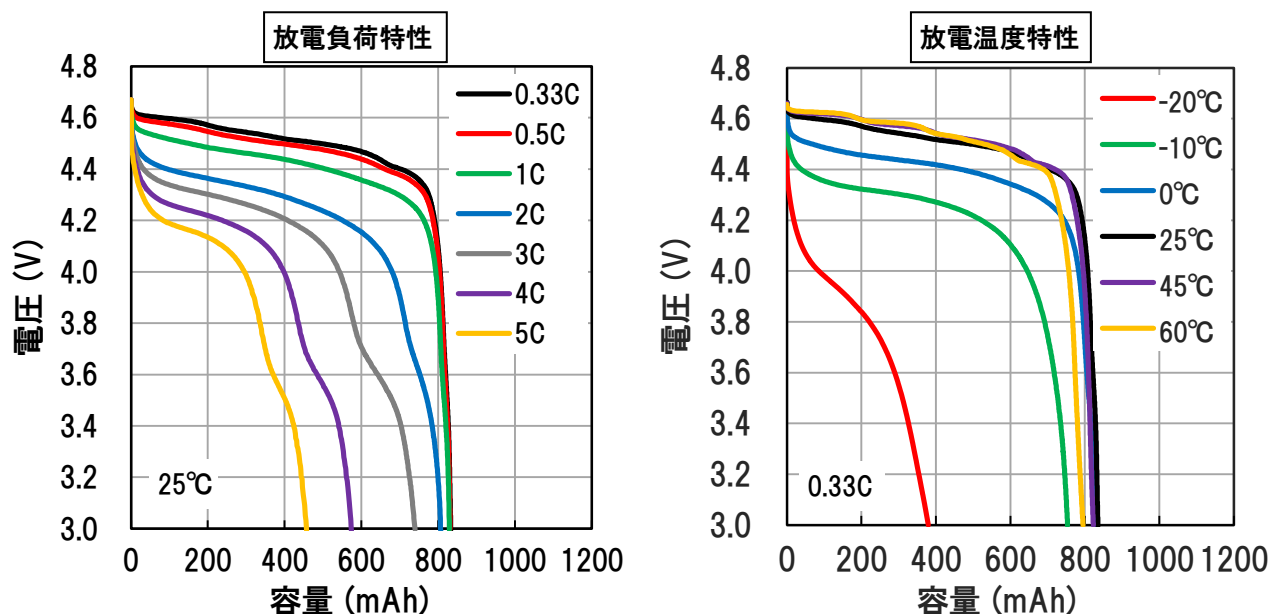


図 3-2 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの放電負荷特性及び放電温度特性

以上の結果から、LNMO 正極を用いた標準電池モデル、試作仕様書及び性能評価手順書を策定した。標準電池モデルの構成を表 3-8 に示す。

表 3-8 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの材料構成

正極	活物質:LNMO 正極、導電助剤:AB+VGCF、バインダー:PVDF
負極	活物質:SMG、導電助剤:VGCF、バインダー:CMC+SBR
セパレータ	PP 微多孔フィルム
電解液	LiPF ₆ / フッ素系溶媒 (EC, PC 含有)

(2) ガス発生メカニズムの解明

LNMO 正極を用いた標準電池モデルを開発する場合、前述のように電解液の分解等によるガス発生の問題があり、これは LiNi_{0.8}Co_{0.1}Mn_{0.1}O₂ 等、他の高電位正極を用いた電池開発の共通の課題でもあるため、材料メーカーへの開発指針の提案においても必要な観点となっている。そこでガス発生メカニズムの解明を行った。

LNMO 正極を用いた標準電池モデルで、電解液を変えた場合の充放電サイクル後のガス発生量及びガスの組成分析結果を図 3-3 に示す。通常の 4V 級 LIB に用いられるカーボネート系電解液と、充放電サイクル特性が良好であった耐酸化性が高いフッ素系電解液を比較したところ、ガス発生量を大幅に低減できることが明らかとなった。発生ガスの組成を分析したところ、カーボネート系電解液では H₂ が 58% で最も高く、次いで CO₂ が 35% であった。一方、フッ素系電解液では、CO が 48% で最も高く、次いで CO₂ が 26% であった。CO₂ と CO は、正極における溶媒のカーボネートの酸化分解によって生成し、H₂ は、図 3-4 に示すように、電池の放電末期に負極が貴な電位に分極してその SEI が分解することで、電解液の溶媒が負極活物質に直接接触して還元分解することによって生成したと考えられる。従って、フッ素系電解液では、正極での酸化分解の抑制と分解し難い SEI が形成されるため、ガス発生が減少しているものと推測した。

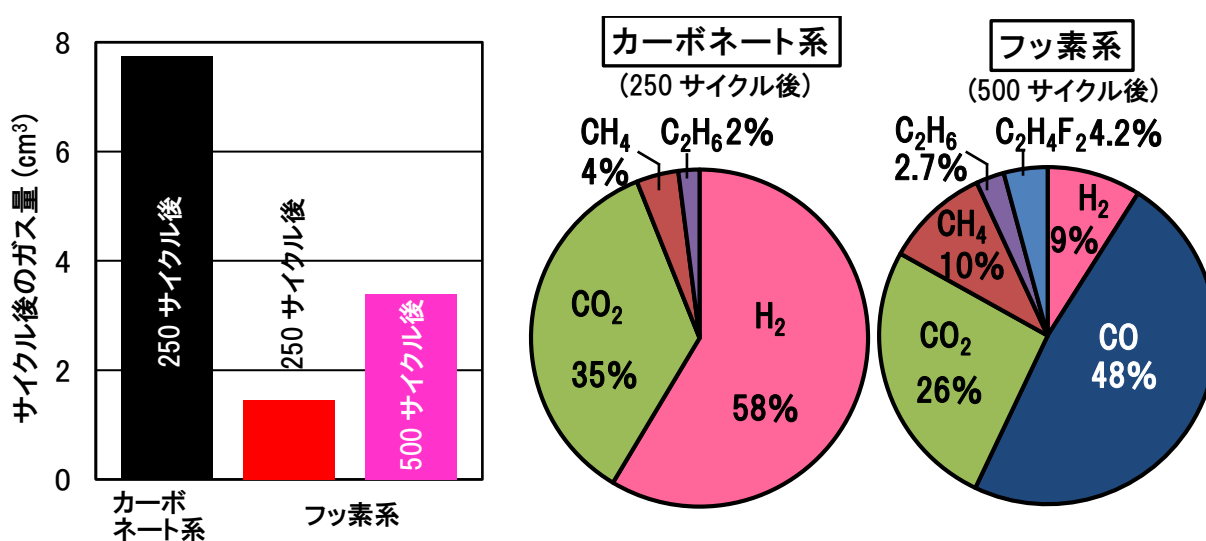


図 3-3 LNMO 正極を用いた標準電池の充放電サイクル後のガス発生量及びガスの組成分析結果

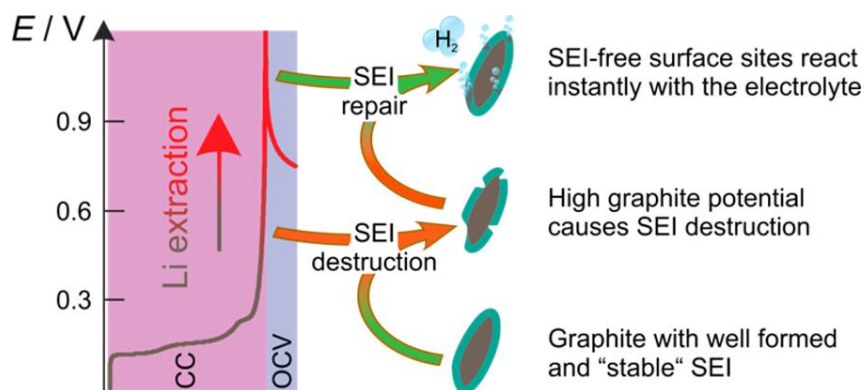


図 3-4 H₂ 発生メカニズムの概略図

(参考: B. Michalak, et. Al., J. Phys. Chem. C 2017, 121, 211–216)

(3) dV/dQ 解析法の開発

材料メーカーにおける材料開発の指針提示やユーザー企業への提案活動への活用には、標準電池モデルを用いた評価だけでなく、容量低下のメカニズムも併せて提示する必要があり、充放電サイクルの進行に伴う容量低下の要因を評価する手法が必要である。そのため、各充放電サイクルにおける電池の放電曲線の微細な変化に着目し、正負極の単極の放電電位特性のデータを基準として dV/dQ 解析を行うことで、非破壊で正極の容量低下、負極の容量低下、及び正負極間の SOC ズレに分解する方法を開発した。

この dV/dQ 解析法の検証のため、カーボネート系電解液、フッ素系電解液、及びフルオロエチレンカーボネート(FEC)を添加したフッ素系電解液を使用した標準電池モデルを試作して、充放電サイクルの進行に伴う容量低下の原因を解析した。その結果を図 3-5 に示すが、カーボネート系電解液は容量低下が著しく、フッ素系電解液ではこの容量低下が改善され、FEC 添加で更に容量維持率が向上している。

このときの 50 サイクル毎の容量確認のデータを用いて dV/dQ 解析を行った結果を図 3-6 に示す。カーボネート系電解液では、充放電サイクルの進行に伴う負極及び正極の容量低下が共に著しく、低下の傾向が同じであるため、SOC ズレは小さいことが分かる。このカーボネート系電解液において正負極の容量が同様の傾向で低下する現象は、上記したように、ガス発生量が多いため、正負極間に発生ガスが滞留することで、電池反応に寄与する正負極の対向面積が低下したと考えられる。一方、フッ素系電解液では、ガス発生が減少するため、カーボネート系電解液と比較して、正負極の容量低下が顕著に抑制されている。また、FEC の添加では、正極の容量低下がさらに抑制されているが、SOC ズレが増加しており、FEC 添加の有無で、電池の容量低下の要因が異なることを確認できた。

以上のように、この解析手法で充放電サイクルの進行に伴う電池の容量低下を、正極容量及び負極容量の低下と正負極間の SOC ズレとに分離して評価可能なことが検証できたことから、この解析の要領・手順等を個別評価手順書としてまとめた。

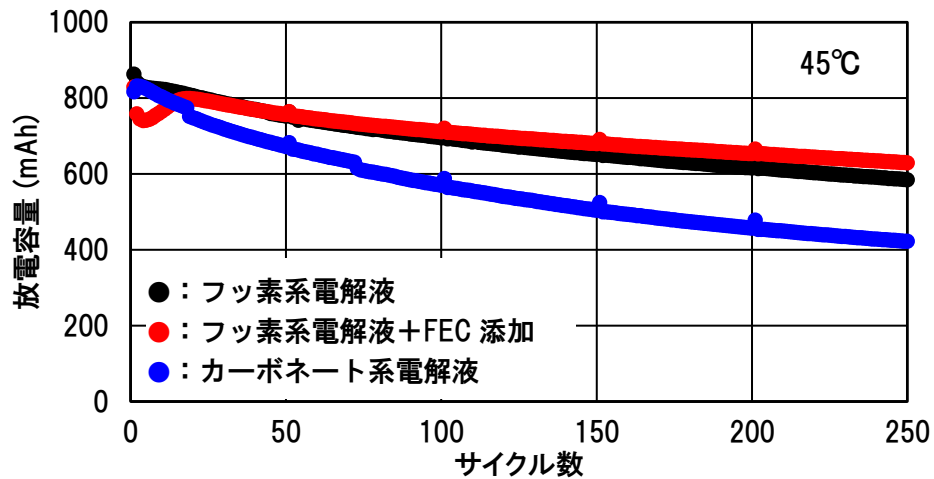


図 3-5 3種類の電解液を適用した LNMO 正極標準電池の充放電サイクル寿命特性

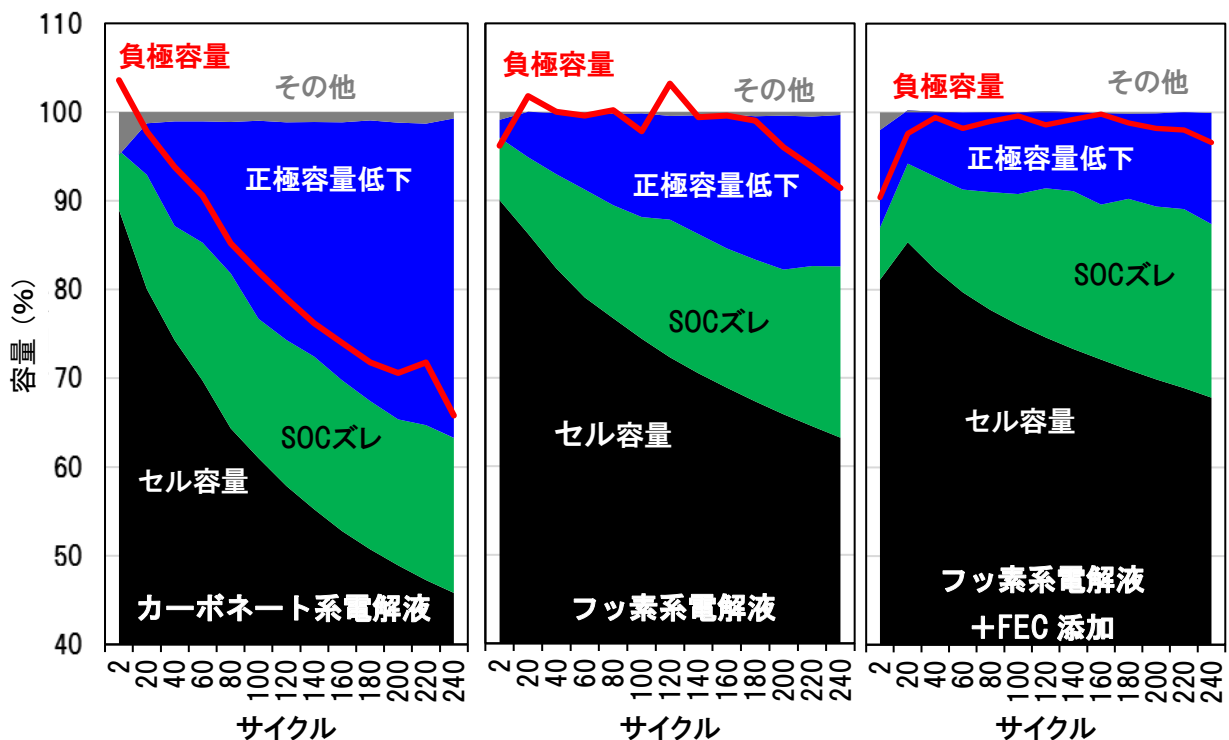


図 3-6 3種類の電解液を適用した LNMO 正極標準電池の dV/dQ 劣化解析結果

(4) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

LIBTEC 組合員及び賛助会員から新材料サンプルの提供を受けて、平成 27 年度までに開発した材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書)を適用した電池試作・評価を行った。その評価実績を表 3-9 に示す。平成 28 年度は目標件数 15 件に対してその 3 倍近い 43 件の評価を実施し、平成 29 年度は目標件数 20 件に対して 6 月時点で 6 件の評価を実施している。提供された各材料サンプルについて、性能評価として放電負荷特性、放電温度特性、保存特性、サイクル試験を実施すると共に、dV/dQ 解析等により劣化要因解析等を行った。また、図 3-7 は、標準電池モデルにカーボネート系電解液と材料メーカーの電解液サンプル(2 種)を適用した電池のサイクル寿命特性の比較である。カーボネート系電解液では初期から著しく劣化しているが、特に耐酸化性を有するとされる電解液 A においては 250 サイクルの時点でも安定しており、カーボネート系よりも高い寿命特性を示すことが

分かった。このように新材料の評価を通して開発した材料評価技術の検証から、材料の相対評価が可能と判断した。

表 3-10 にサンプル提供メーカー別の材料評価結果を示すが、全社から期待通りの成果が得られたとの評価を受けている。あるメーカーからは「電解液の開発の方向性が得られ、大いに役立った。引き続き各種材料の評価をお願いしたい。」とのコメントが得られ、平成 29 年度も材料評価の再依頼を受けていることから、開発した評価法の有用性が認知されていると考える。

表 3-9 評価技術を用いた電池試作・評価の実績

提供材料	件数	評価解析項目	
		性能評価	解析
電解液及び添加剤	23	放電負荷特性(1/3C~5C)	dV/dQ 解析
正極活物質	8	放電温度特性(-20°C~60°C)	
正極バインダー	18	保存特性(25°C、45°C) サイクル試験(25°C、45°C)	

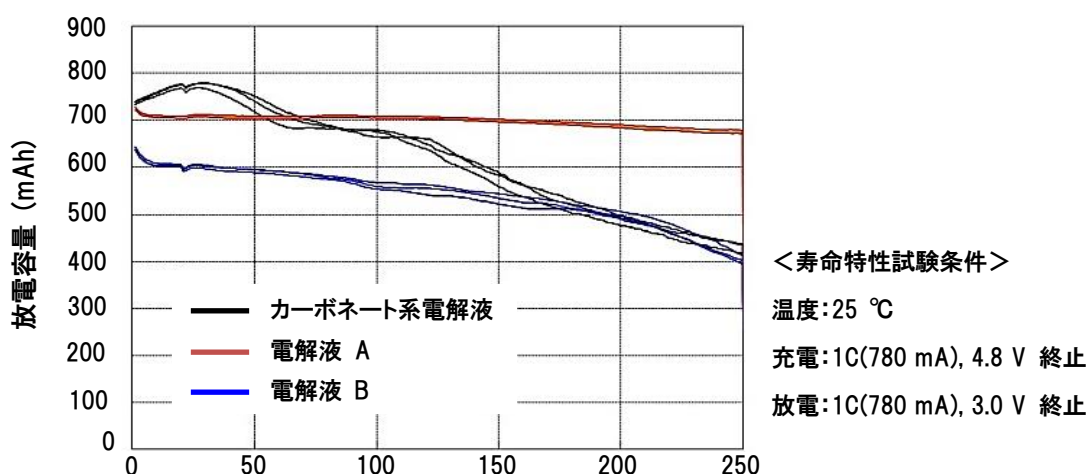


図 3-7 各種電解液を用いた LNMO 正極標準電池のサイクル寿命特性 (n=3)

表 3-10 各メーカーからの電池試作の評価結果

メーカー	提供材料	評価目的	結果に対する評価
A社	電解液及び添加剤	高電圧への耐性	期待通り
	電解液及び添加剤	同上(再依頼)	評価中
B社	電解液及び添加剤	高電圧への耐性	期待通り
C社	正極活物質	標準材料との性能比較	期待通り
D社	正極バインダー	高電圧への耐性	期待通り

3.1.2 高容量正極(PJ-2)の成果の一例

(1) 標準電池モデルの策定

213 固溶体正極は、高容量を発現させるための前処理として、4.5V 以上の高電位の印加、及び固相内の Li イオンの拡散律速のため、安定的に容量を発現させるためには低レート充電が必要であることが分かり、前処理条件として充電電圧 4.5V、充電電流 28mAh/g(正極材料)の容量規制の充電とする複数回の充放電を行うこととした。さらに、この正極材料は、その成分である Mn の電解液への溶出が起り、充放電サイクルの進行に伴う容量低下が著しく、安定したサイクル寿命特性が得られなかった。そこで、Mn の溶出を抑制する添加剤としてリチウムビス(フルオロスルフォニル)イミド(LiFSI)とリチウムビス(オキサラト)ボレート(LiBOB)を電解液に加えることとした。この標準電池モデルで得られた充放電サイクル寿命特性を図 3-8 に示す。200 サイクル経過時点で 85%以上の特性を維持しており、サイクル寿命特性を評価できるモデルであることを確認した。また、放電負荷特性及び放電温度特性を図 3-9 に示すが、放電負荷特性に関しては、2C でも 0.2C での放電容量の 50%以上の容量を保持しており、ある程度の高出力試験が可能であり、-20°Cでも 25°Cでの放電容量の 50%以上の容量を保持しており、-20~60°Cという広い温度範囲での試験が可能となっている。

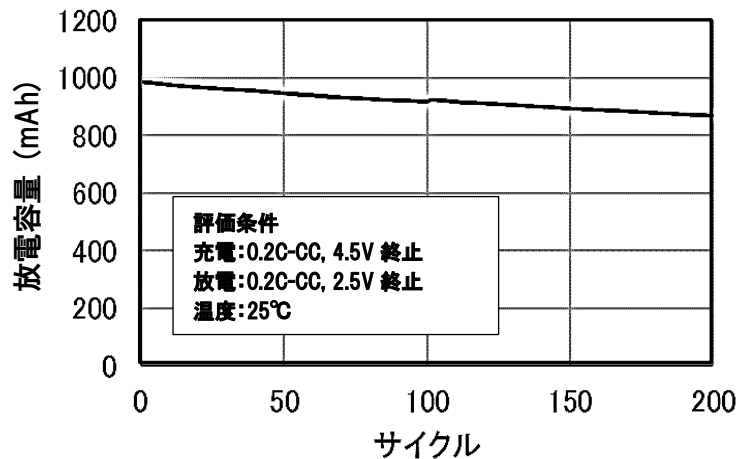


図 3-8 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの充放電サイクル寿命特性

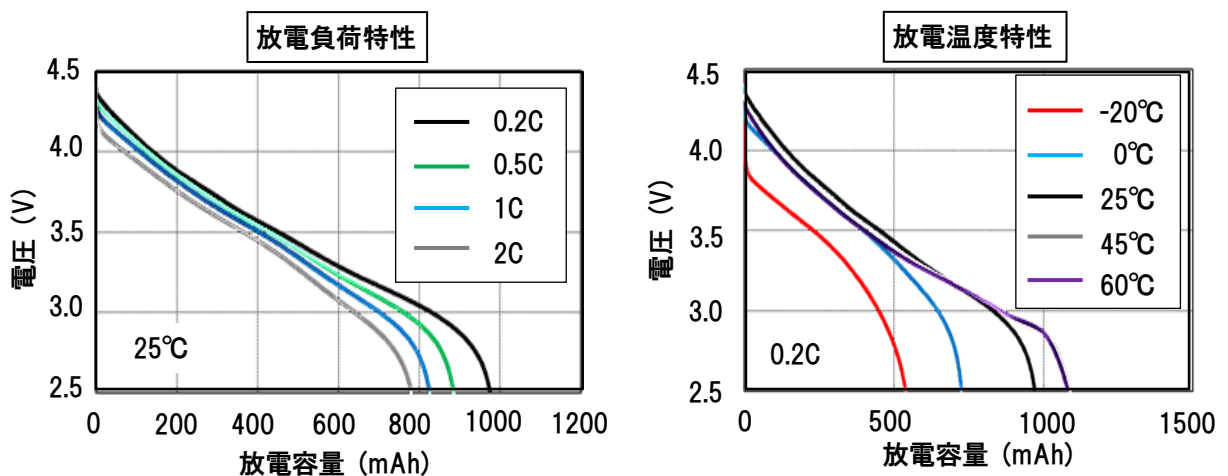


図 3-9 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの放電負荷特性及び放電温度特性

以上の結果から、213 固溶体正極を用いた標準電池モデル、試作仕様書及び性能評価手順書を策定した。標準電池モデルの構成を表 3-11 に示す。

表 3-11 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの材料構成

正 極	活物質:213 固溶体、導電助剤:AB+VGCF、バインダー:PVDF
負 極	活物質:SMG、導電助剤:VGCF、バインダー:CMC+SBR
セパレータ	PP 微多孔フィルム
電解液	LiPF ₆ / EC+EMC+添加剤(LiBOB+LiFSI)

(2) 高容量発現メカニズムの解明

213 固溶体は高容量を発現するためには電気化学的前処理が必要であるが、この原因が構成成分の金属元素の価数変化にあるのか、あるいは、酸素副格子の酸素の酸化還元にあるのかを明らかにすることとした。SPring-8 の放射光を用いた X 線吸収分光法(XAS)による解析で、黒鉛負極とともに構成した電池を実際に充放電させながら、構成成分 (Ni、Co、Mn 及び O) の価数変化を解析した結果を図 3-10 に示す。

本材料において金属構成元素では、Ni は充電に伴って価数が+2 価から上昇し 4.4V では+4 価に達している。一方、Co は充電終了の 4.7V 時点では価数が+3 価から+3.1 価に僅かに変化した。Mn の価数は+4 価で変化しなかった。Co、Mn とともに、その後の充放電でもこの現象は変わらなかった。一方、格子の酸素は充電時の電池電圧が初期から酸化反応に関与し、充電完了時の 4.7V では充電電気量の 76%を酸素イオンの酸化で補い、結局、価数が-2 価から-1.6 価まで酸化された。なお、酸素は、4.8V まではガスとして飛散しないので、定比 2.0 で存在するとして、他の構成金属元素の総価数に見合った電荷として算出した。また、第 2 回目の充電でも酸素の寄与率は 67%であり、本材料の高容量を主として担うのは酸素(格子)イオンであることが判明した。この結果から、高容量を安定に発現させるには、特に初回充電時の高電位の電位平坦領域で、主として酸素の価数変化を伴う電極反応をスムーズに起こす充電条件を設定する必要があり、更にこの領域では Li イオンの拡散速度が非常に遅いので、前処理条件として充電レートを低く抑えることが重要であると判断した。

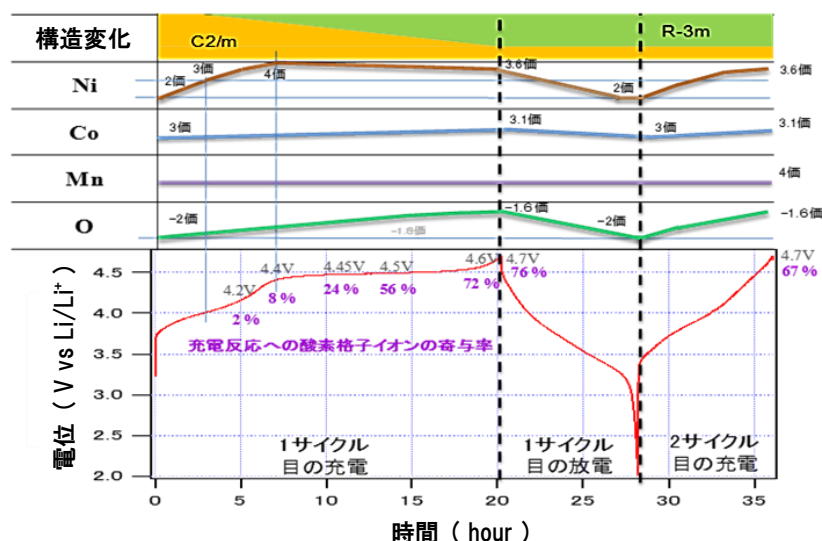


図 3-10 充放電に伴う高容量正極の構成元素の価数変化

(3) 三極式小型ラミネート電池を用いた劣化解析法の開発

213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの電解液を選定するため、ベース電解液(1M LiPF₆、EC/EMC)への添加剤の検討と併せてサイクル容量低下の要因解析を実施した。これまでの検討結果から、容量低下の要因は負極表面の SEI 成長による SOC ズレである可能性が高いことから、その解析に有効である、PJ-1 にて開発した dV/dQ 解析の適用が考えられるが、213 固溶体正極の場合、充放電サイクルの進行に伴って放電後半の電位が低下するため、一定の電位特性が維持されることを前提とする dV/dQ 解析は適用できない。そのため、電解液添加剤の有無が SOC ズレに及ぼす影響は、参照極を設置した三極式小型ラミネート電池(30mAh 級)を作製して検証することにした。

まず、添加剤無しの場合と添加剤として LiFSI 及び LiBOB を用いた場合の充放電サイクル試験の結果を図 3-11 に示す。充放電サイクルは 1C で評価し、20 サイクル毎に 0.2C にて放電を行って容量を確認した。添加剤無しの場合、80 サイクルを超えてから容量の急激な低下が起こるが、添加剤有りの場合は安定した充放電サイクル特性を示した。

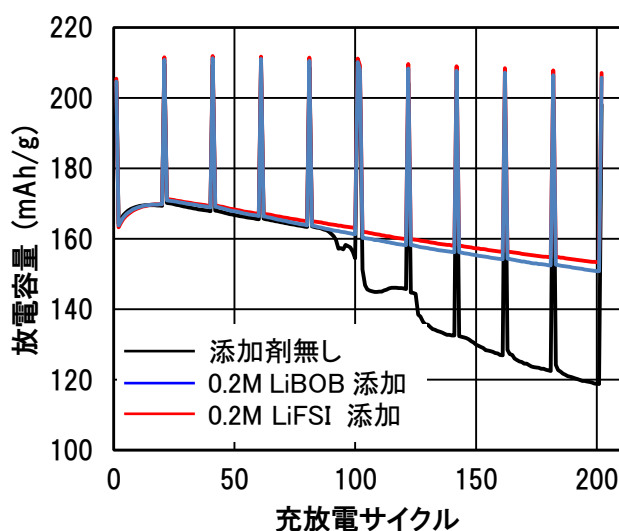


図 3-11 添加剤有無の電解液を用いた三極式小型ラミネート電池の充放電サイクル特性

次に、三極式小型ラミネート電池の負極の充電曲線を図 3-12 に示す。添加剤無しの場合は 0.06V-0.12V 付近の充電曲線が充放電サイクルの進行に伴って充電側にシフトしており、各充放電サイクルにおける電池の充電開始電位の変化が生じている。つまり、その充電に先立つ電池の放電末期の負極の SOC が徐々に低下していることであり、正負極の SOC ズレの進行を意味している。一方、添加剤有りの場合、充放電サイクルが進行しても、この現象が顕著に進まないことから、充放電サイクルの進行に伴う正負極間の SOC ズレの進行が遅いことが分かった。さらに、充放電サイクル寿命試験において電池の容量低下の差が小さい 80 サイクルよりも前の段階であっても、正負極間の SOC ズレの進行が分かるため、充放電サイクル特性の低下を判断可能であることが確認できた。従って、充放電サイクル寿命特性の早期劣化診断の手法として、三極式小型ラミネート電池を用いた劣化解析の要領・手順等を個別評価手順書としてまとめた。

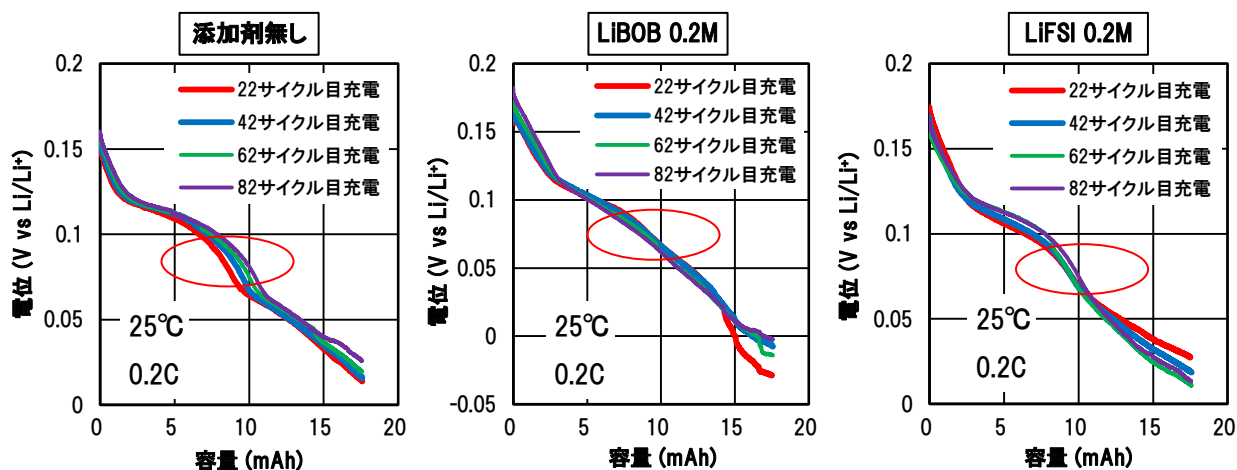


図 3-12 添加剤有無の各電解液を用いた三極式小型ラミネート電池の負極充電曲線

(4) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

LIBTEC 組合員及び賛助会員から新材料サンプルの提供を受け、平成 27 年度までに開発した材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書)を適用した電池試作・評価を行った。その評価実績を表 3-12 に示す。平成 28 年度は目標件数 10 件に対して 14 件の評価を実施し、平成 29 年度は目標件数 10 件に対して 6 月時点で 4 件の評価を実施している。提供された各材料サンプルについて、性能評価として放電負荷特性、保存特性、サイクル試験を実施すると共に、複素インピーダンス解析等により劣化要因解析等を行った。また、図 3-13 に、標準電池モデルのセパレータを接着セパレータに変えた場合のサイクル寿命特性を示したものである。接着セパレータは標準セパレータに耐酸化性の接着成分がコートされているもので、歪み改善を目的に検討した材料である。そのため、サイクル特性には影響しないと推測していたが、実際の評価でもそれが確認された。

表 3-13 にサンプル提供メーカー別の材料評価結果を示すが、全社から期待通りの成果が得られたとの評価を受けている。あるメーカーからは平成 29 年度も材料評価の再依頼があり、開発した評価法の有用が認知されていると考える。

表 3-12 評価技術を用いた電池試作・評価の実績

提供材料	件数	評価解析項目	
		性能評価	解析
電解液及び添加剤	16	放電負荷特性(1/5C~2C)	複素インピーダンス解析
負極活物質	1	保存特性(25°C、45°C)	
正極バインダー	1	サイクル試験(25°C、45°C)	

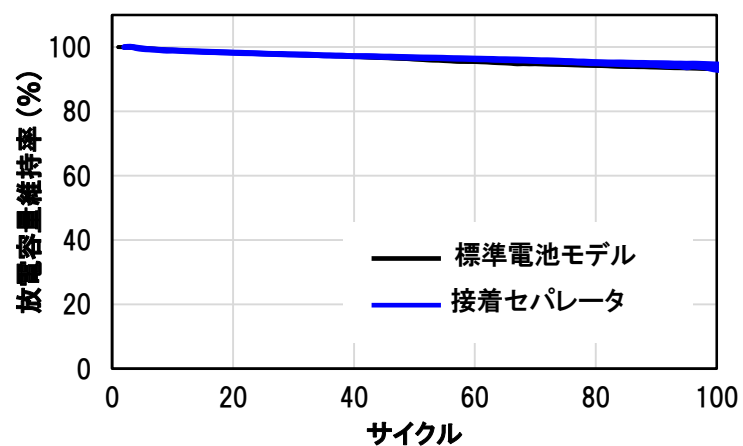


図 3-13 各種セパレータを用いた標準電池のサイクル寿命特性 (n=2)

表 3-13 各メーカーからの電池試作の評価結果

メーカー	提供材料	評価目的	結果に対する評価
A社	電解液及び添加剤	高電圧への耐性	期待通り
	電解液及び添加剤	同上(再依頼)	評価中
B社	負極活物質	標準材料との性能比較	期待通り
C社	正極バインダー	高電圧への耐性	期待通り

3.1.3 高容量負極(PJ-3)の成果の一例

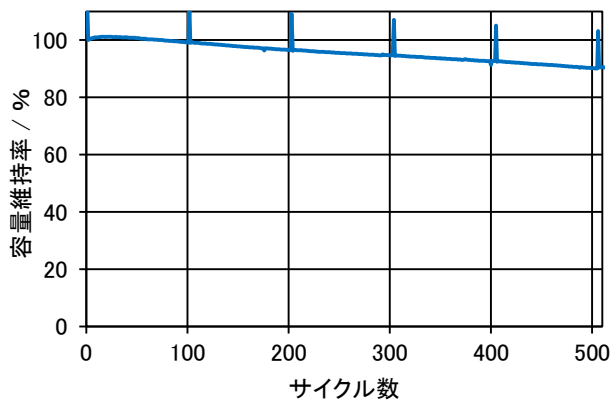
(1) 高容量負極(SiO 系)を用いた標準電池モデルの策定

標準電池モデルの材料構成を表 3-14 に示す。正極の影響を受けずに、負極の特性に着目した評価を可能とするため、広い SOC 範囲で電位が一定な LFP 正極を用いたモデル(以下、「モデル 1」という。)と、NCA 正極を組み合わせ高エネルギー密度化したモデル(以下、「モデル 2」という。)の 2 種類を開発した。SiO は初期不可逆容量が大きく、30%を超える含有率ではエネルギー密度の向上は殆ど期待できないため、SiO 含有率は最大 30%として開発することとした。

表 3-14 SiO 負極を用いた標準電池モデルの材料構成

正 極	【モデル 1】 活物質:LFP、導電助剤:黒鉛、バインダー:PVDF 【モデル 2】 活物質:NCA、導電助剤:黒鉛+AB、バインダー:PVDF
負 極	活物質:SiO 10~30%+黒鉛 導電助剤:複合カーボン バインダー:CMC+SBR
セパレータ	PE 微多孔フィルム
電解液	LiPF ₆ / EC+EMC+VC

モデル 1 とモデル 2 のサイクル特性及び放電負荷特性をそれぞれ図 3-14、図 3-15 に示すが、SiO-黒鉛混合負極に適用する材料でポイントとなるサイクル耐性向上への寄与を適切に評価できるものとなっている。

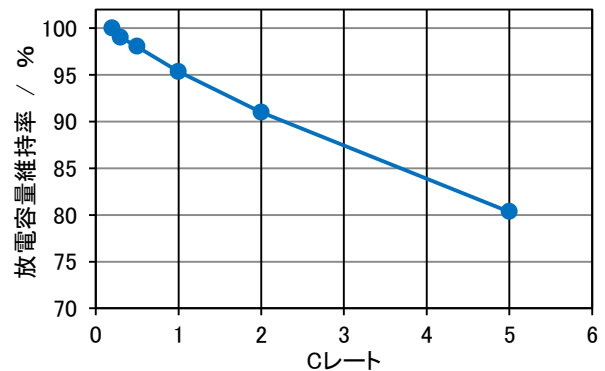


<評価条件>

充電 : CC 充電, 0.5C(340 mA), 3.4V 終止, 45°C

放電 : CC 放電, 1C(680mA), 2.7V 終止, 45°C

100 サイクル毎:0.05C で 1 サイクル

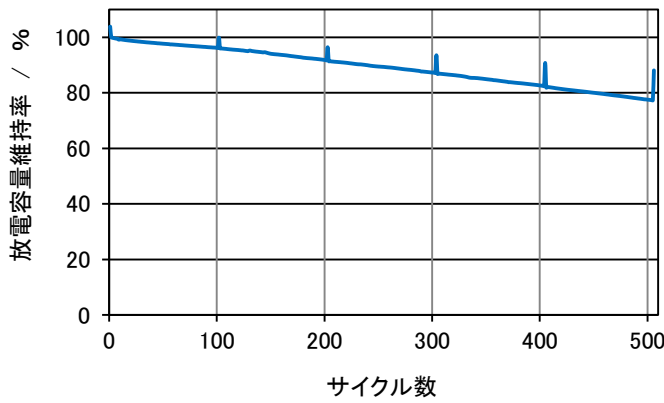


<評価条件>

充電 : CC 充電, 0.2C(136mA), 3.4V 終止, 25°C

放電 : CC 放電, 各電流値, 2.7V 終止, 25°C

図 3-14 モデル 1 (LFP 正極、SiO 30%)のサイクル特性と放電負荷特性

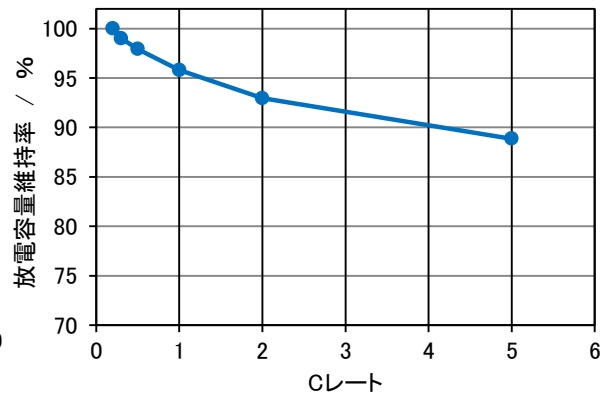


<評価条件>

充電 : CC 充電, 0.5C(470mA), 4.2V 終止, 45°C

放電 : CC 放電, 1C(940mA), 2.85V 終止, 45°C

100 サイクル毎:0.05C で 1 サイクル



<評価条件>

充電 : CC 充電, 0.2C(188mA), 4.2V 終止, 25°C

放電 : CC 放電, 各電流値, 2.85V 終止, 25°C

図 3-15 モデル2(NCA 正極、SiO 10%)のサイクル特性と放電負荷特性

(2) dV/dQ 解析による SiO-黒鉛混合負極中の劣化分離手法の開発

SiO と黒鉛の反応電位の違いを利用した dV/dQ 解析により、黒鉛と SiO の劣化を分離する手法を開発し、標準電池モデルの負極の最適化、材料メーカーに対するサンプル評価結果のフィードバック等に活用した。

図 3-16 に従来 SBR バインダーと開発バインダーを用いた電池モデルでの 100 サイクル目の dV/dQ を比較して示す。2 種類のバインダーで黒鉛の容量領域の dV/dQ に差は無く、SiO 容量領域の dV/dQ に差が生じていることが分かる。これは、充放電に伴う SiO 粒子の膨張収縮によって、電極内の導電ネットワークから SiO 粒子が脱落して孤立したためと考えられる。開発バインダーは従来 SBR に比べて、導電ネットワークからの SiO 粒子の脱落防止の効果が高いことが分かる。このように、dV/dQ 評価法は単純な充放電試験を用いた電気化学測定であるが、複合電極の劣化分離解析、特にバインダーの評価に有効であることから、この解析の要領・手順等を個別評価手順書としてまとめた。

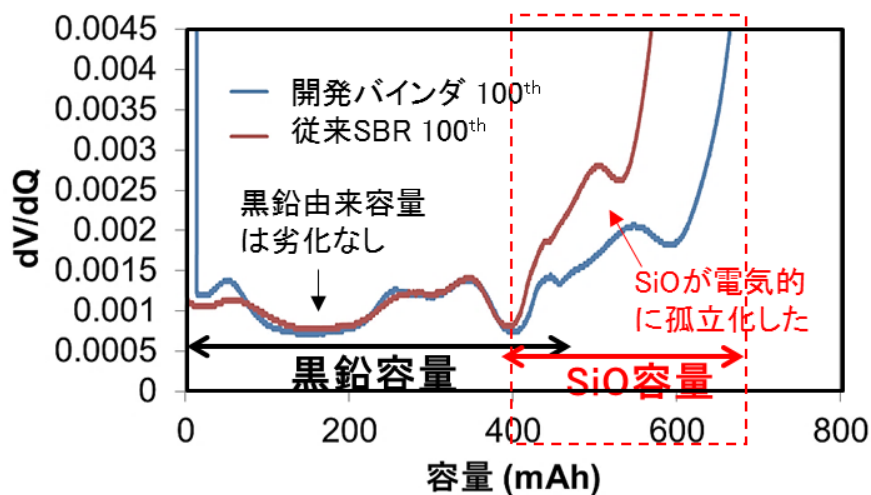


図 3-16 標準 SBR と改良バインダーの dV/dQ 比較

(3) 高精度電極膨張収縮変化測定法の開発

SiO-黒鉛混合負極の課題である膨張収縮を高精度で評価し、性能・劣化との関係を把握するため、充放電をしながらセル内の SiO-黒鉛混合負極単極の膨張収縮挙動を 1nm の高分解能かつオペランドで評価できる新規の測定法を開発した。

開発した測定装置の構成を図 3-17 に示す。セパレータとして硬質多孔質板を用い、その下側の空間内に対極を囲うことで厚み測定を対象電極に絞り、厚みに対極の影響を与えない構造のラミネートセルを開発した。電極の厚み変化の測定には非接触式変位計を用い、そこから出力される厚み情報は電圧に変換して充放電装置へ取り込み、厚み変化と電位変化を同期させた。この手法では厚み変化を光学的な手法(非接触式のレーザー変位計)を用いて観察することにより高い精度が得られるため、SiO 負極の評価だけに限定されず、バインダーの強度や微量のガス発生による電池形状の変化の測定に対しても有効活用できる。

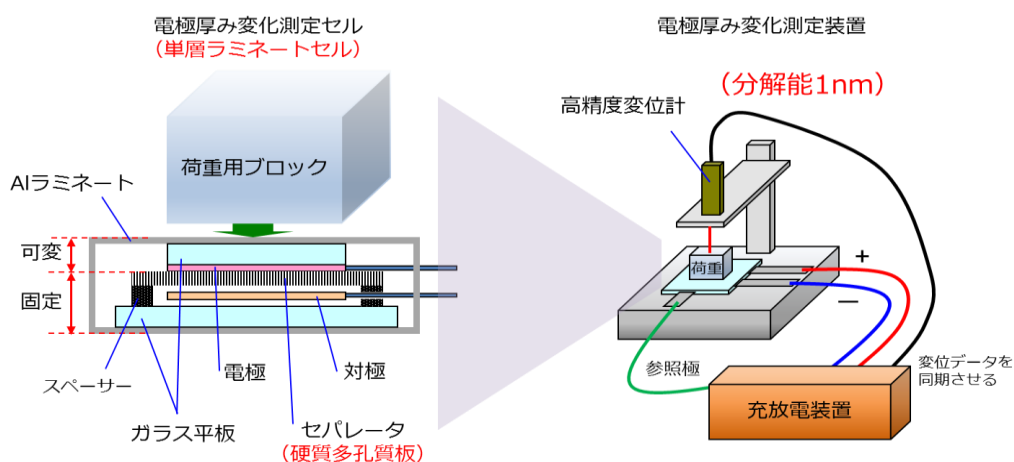


図 3-17 単極電極厚み変化測定セルと装置

この測定装置を用いて、プレス密度が異なる SiO-黒鉛混合負極単極を測定した結果を図 3-18 に示す。プレス密度が小さい方が充電後の膨張率が小さくなる傾向にあるが、これは初期の電極内の空隙量が多いため、粒子の膨張時に空隙が緩衝域となっているためと考えられる。空隙量が大幅に減少すると、電極内の電解液が絞り出され液枯れの劣化モードに繋がる懸念があり、膨張収縮は少ない方が好ましいと考えられる。

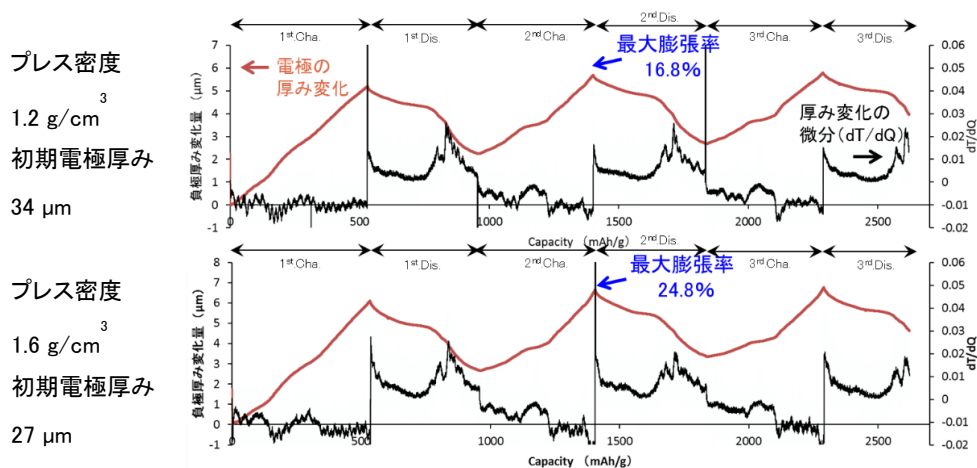


図 3-18 SiO-黒鉛混合負極の充放電曲線と厚み変化(dT/dQ)

また、図 3-19 に示すように、電極プレス密度の小さい電極ほど、サイクル寿命及び負荷特性は良好となる。初期段階で電極中に空隙を多く設ける設計にすることで電池の劣化が抑制されている。プレス密度が高いと膨張収縮率が大きくなっていることから、初期の電極内にあった導電ネットワークが大きな変形によって断裂するため性能が低下していると考えられる。そのため、SiO 含有率 10%の標準電池モデルの電極プレス密度は 1.2g/cm³を標準条件に設定している。

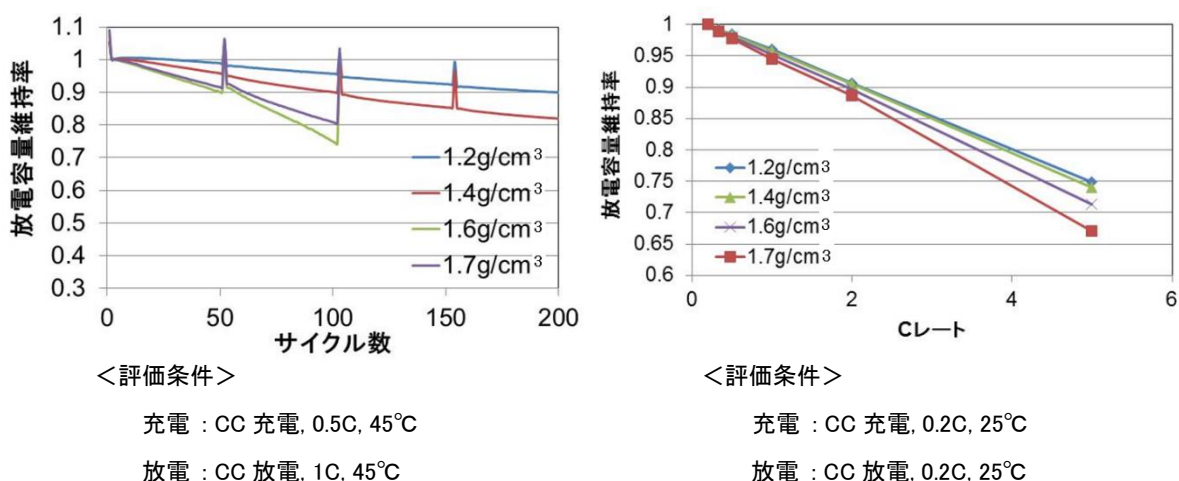


図 3-19 SiO (10%) 負極のプレス密度によるサイクル特性及び負荷特性

(4) 厚膜電極標準電池モデルの開発

EV・PHEV 用 LIB のエネルギー密度の向上を図る手段として厚膜電極の適用が自動車メーカーを中心に産業界で検討が進んでおり、評価バリエーションの拡大を目的として、平成 27 年度より、表 3-15 に示す厚膜電極の標準電池モデルの開発を実施した。

表 3-15 厚膜電極標準電池モデルの構成

6.5mAh/cm ² モデル	正 極	活物質: NCM523、導電助剤: 黒鉛+AB、バインダー: PVDF 面積容量密度: 6.5mAh/cm ² 、プレス密度: 3.1g/cc、膜厚: 139μm
	負 極	活物質: 黒鉛、導電助剤: VGCF、バインダー: CMC+SBR 面積容量密度: 7.4mAh/cm ² 、プレス密度: 1.5g/cc、膜厚: 149μm
	電解液	1M LiPF ₆ / EC+EMC, VC2%
8.0mAh/cm ² モデル	正 極	活物質: NCM811、面積容量密度: 8.0mAh/cm ² 、膜厚: 158μm
	負 極	活物質: SiO+黒鉛、面積容量密度: 9.1mAh/cm ² 、 プレス密度: 1.5g/cc、膜厚: 153μm
	電解液	1M LiPF ₆ / EC+DMC, VC2%
共通	セパレータ	PE 微多孔フィルム
	積層数	8 層 (6.5mAh/cm ² モデル)、6 層 (8.0mAh/cm ² モデル)

このモデルを検討するにあたり、目標とする面積容量密度を設定した。図 3-20 に面積容量密度と体積エネルギー密度の関係を示す。縦軸は EV 用途を想定したサイズの電池設計において、面積容量密度を種々変化させて計算した値である。現状の市販 LIB は 2~4mAh/cm²程度であるのに対して、

6.5mAh/cm²にすることで1.6倍のエネルギー密度になる。さらに、8.0mAh/cm²にすることで1.7倍のエネルギー密度になると見積もられた。しかし、これ以上の面積容量密度では飽和してメリットが少ない。電極厚膜化のメリットは、巻回数や積層数が減ることによって電池内の集電箔やセパレータの体積が減り、相対的に活物質の体積割合が増加してエネルギー密度が高くなることである。ただし、ある程度厚膜化が進むと、集電箔やセパレータの体積を減らしてもセル全体の体積は減らない。そのため、厚膜電極電池モデルの開発目標は、平成28年度に6.5mAh/cm²、平成29年度に8.0mAh/cm²とした。

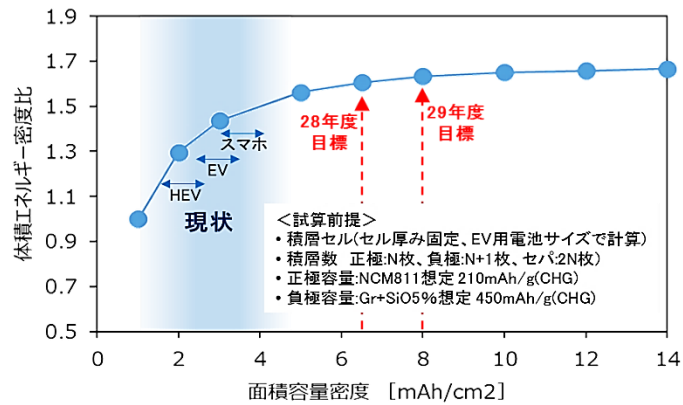


図 3-20 電極の面積容量密度と電池のエネルギー密度の関係

(5) 電気化学的手法による厚膜電極内の曲路率評価法の開発

厚膜電極の性能は、電極内の電気化学的曲路率と相関関係があると考えられ、この関係を定量化する手法を検討した。

図 3-21 に示すように曲路率 τ は、構造体厚みに対する曲路長の比で定義される。電極やセパレータ内部の空隙構造の複雑さを示すパラメータとして用いられ、電解液中の Li イオンがどの程度遠回りするのかの指標となる。

$$\text{曲路率: } \tau = L \div \ell \quad (\text{式 1})$$

τ : 曲路率

L : 経路長, 構造体内部の空隙を通り表面から裏面に到達する距離

ℓ : 表面から裏面までの最短距離, 電極では膜厚に相当

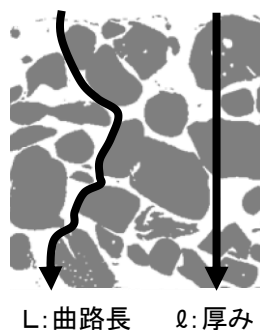


図 3-21 曲路率の定義

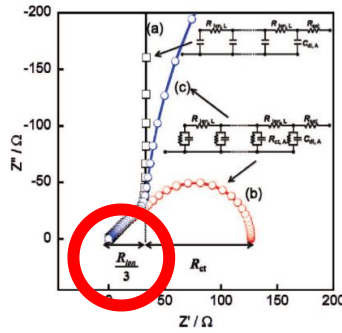
曲路率 τ は、図 3-22 に示すように、対象セルの交流インピーダンス測定で得られた多孔体電極中のイオン抵抗の $1/3(R_{ion}/3)$ を 3 倍して逆数としたイオン伝導度 σ_{ion} を式 2 の σ_{eff} に代入して求めた。

$$\sigma_{\text{eff}} = \varepsilon / \tau \times \sigma_{\text{bulk}} \quad (\text{式 2})$$

σ_{eff} : 有効イオン伝導率

σ_{bulk} : バルクの電解液のイオン伝導率

ε : 空隙率



N. Ogihara *et al.*
J. Electrochem. Soc.
 159, A1034 (2012)

図 3-22 イオン伝導率の算出法

空隙率 (\propto プレス密度) を変化させた厚膜 LCO 電極について、実験で求めた空隙率に対するイオン伝導率と曲路率の関係をそれぞれ図 3-23 に示す。空隙率 20~42% の範囲においてイオン伝導率はほぼ線形に増加した。曲路率を一般化 Bruggeman 型で近似すると式 3 の関係が得られた。そこで、合剤層及び電解液のイオン伝導率と電極の空隙率から曲路率を求めた。

$$\tau = \varepsilon^{(1-\beta)} / \gamma = \varepsilon^{1-1.45} / 0.618 \quad (\text{式 3})$$

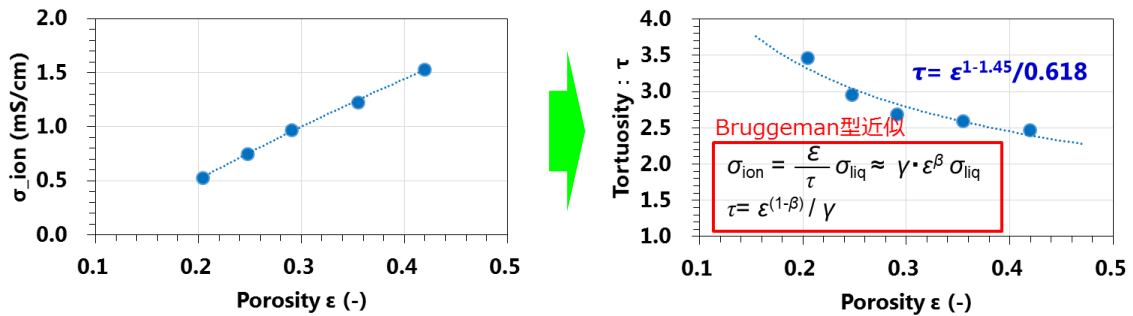


図 3-23 電極空隙内のイオン伝導率と曲路率の関係

負極の曲路率を Newman モデルシミュレーションの入力値として用いて検討した例を図 3-24 に示す。実測で得られた曲路率の値の範囲を参考にして、黒鉛負極の曲路率を 1、4.3、11.5 の各値に設定し、Newman モデルを活用した dV/dQ シミュレーションを行った。結果は曲路率が小さい場合は、黒鉛のピーク I (LiCl_2 の生成) で dV/dQ ピークがシャープになり、厚み方向で反応分布が少なくなることが分かった。一方、曲路率を大きく設定すると、ピーク I はブロードになり、厚み方向で反応分布が大きくなること分かった。また、曲路率を 4.3 とした条件では、電極が厚い場合は、反応分布があるが、厚みを 1/3 に設定すると、 dV/dQ ピークがシャープになり、厚み方向の分布が大幅に減少した。

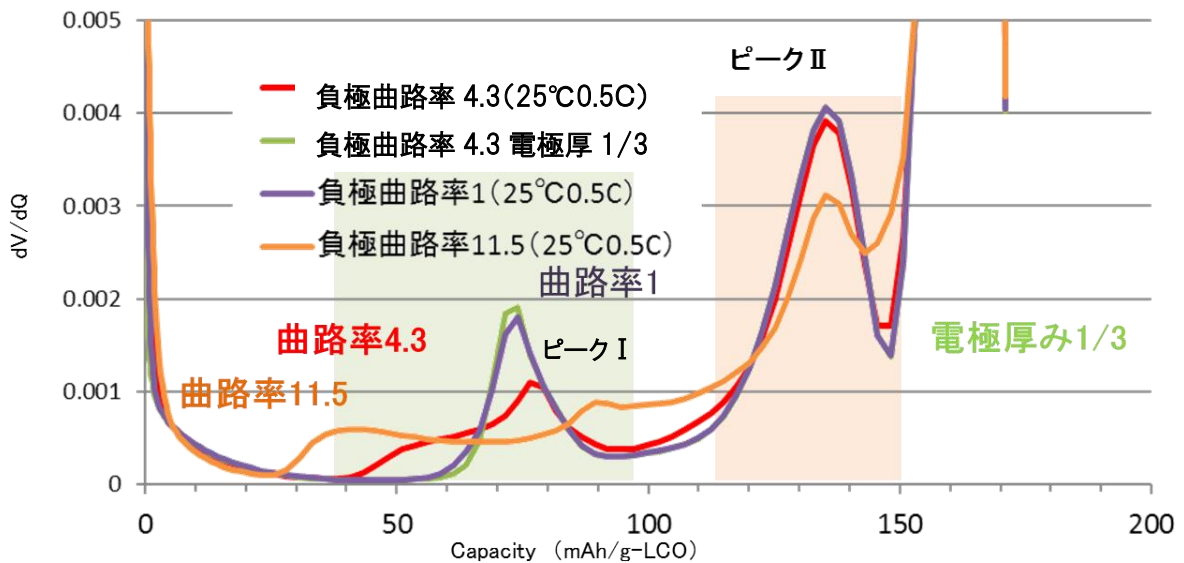


図 3-24 電極厚み・曲路率を変化させた場合の dV/dQ シミュレーション

(6) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

LIBTEC 組合員及び賛助会員から新材料サンプルの提供を受け、平成 27 年度までに開発した材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書)を適用した電池試作・評価を行った。その評価実績を表 3-16 に示す。平成 28 年度は目標件数 15 件に対して 44 件の評価を行い、平成 29 年度は目標件数 15 件に対して 6 月時点で 23 件の評価を実施している。

表 3-16 PJ-3 で開発した評価法でのサンプル評価の実績

	目標評価件数	実施件数
平成 28 年度	15 件	44 件
平成 29 年度	15 件	23 件

電池試作・評価の一例を図 3-25 に示す。LFP/SiO (30%)系標準モデルを用いて、SiO との混合に使用する黒鉛と電解液添加剤を提供された材料サンプルに置き換えて特性評価を行った。標準電池モデルから黒鉛のみをサンプル材料に変更するとサイクル特性が大きく低下した。dV/dQ 解析にて劣化要因は SiO ではなく黒鉛にあることを推定し、黒鉛の表面被膜の改善を提案した。被膜を分析するよりも、電解液添加剤の種類や量を変更して標準電池モデルで評価した方が速いと判断し、添加剤 A の添加量を 2 水準検討した評価を行った。添加剤 A を添加することで、標準電池モデルのサイクル特性よりは劣るが、添加剤の効果を確認できた。この材料メーカーより、「開発材料の LIBTEC 評価結果と、社内評価を照らし合わせることができ、開発・事業の方向性の確認ができた。第三者機関での公平なデータとして活用できる。次の開発品も是非、評価したい。」とのコメントがあった。

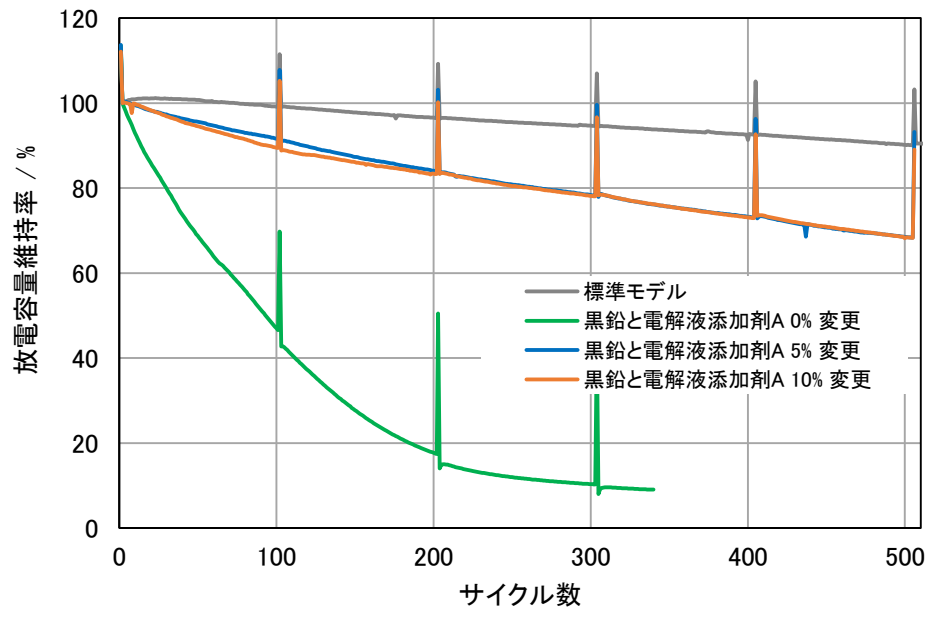


図 3-25 PJ-3 モデルを用いた黒鉛と電解液添加剤の評価の例

3.1.4 難燃性電解液(PJ-4)の成果の一例

(1) 難燃性電解液を用いた標準電池モデルの検討

高電圧・高容量材料を用いた電池評価のため、4.5V の標準電池モデルを策定した。この電池モデルの材料構成を表 3-17 に示す。

この標準電池モデルには、NCM 系より発熱しやすい高電位 LCO を正極活物質に選定した。負極活物質は人造黒鉛 MAG とし、電解液には酸化分解抑制効果を持つ添加剤を添加することにより、図 3-26 に示すように、4.5V での高電圧サイクル特性における容量維持率が 500 サイクルにおいて 63% から 70%に向上させている。また、昇温試験、過充電試験によって、材料による特性差が評価出来ることを確認した。

表 3-17 難燃性電解液を用いた標準電池モデルの材料構成

正 極	活物質：高電位 LCO、導電助剤：AB、バインダー：PVDF
負 極	活物質：人造黒鉛 MAG、バインダー：CMC+SBR
セパレータ	ポリエチレン系
電解液	1M LiPF6 EC/EMC=1/3+VC + 添加剤 P

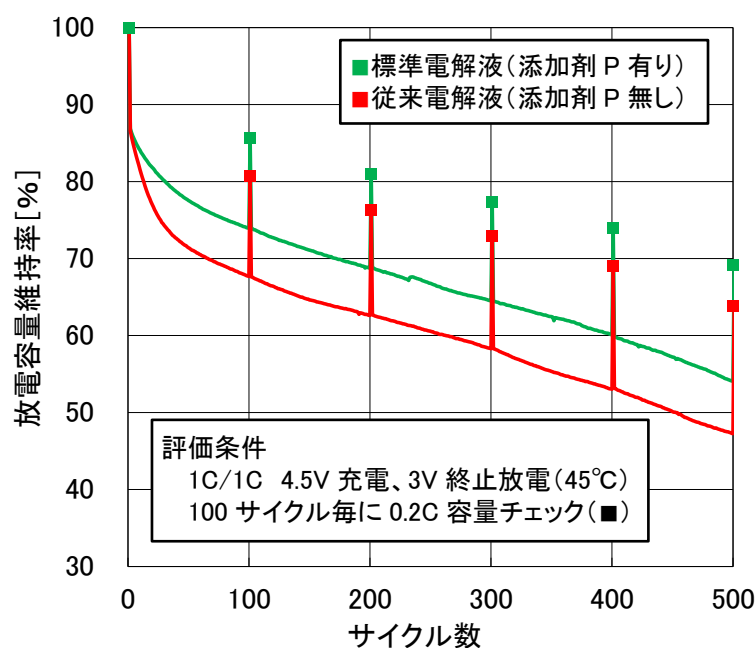


図 3-26 標準電池モデルのサイクル特性

(2) 安全性評価技術の開発

電池材料及び電池の熱特性評価のため、ARC(暴走反応熱量計)、C80(カルベ型熱量計)、DSC(示差走査熱量計)等の評価技術を開発し、性能評価手順書を策定した。

(i) 標準電池モデルを用いた ARC 評価

ARC 評価は、断熱状態で温度を保持し、電池の発熱があれば電池温度に追従して温度を保持し、発熱が一定値以下になれば次の温度に昇温するプロセスを繰り返して、電池の発熱開始温度、各温度での発熱速度($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)を測定し、フルセルとしての安全性を評価可能な手法である。単に電池

としての発煙有無だけでなく、発熱検出領域の各温度での発熱速度を詳細に測定できるのが大きな特長である。

1Ah 級の電池が熱暴走して多量のガスが発生し、内圧が上がった場合に、過剰なガスを炉内に排出し容器の破損無く ARC 測定が可能となるように、図 3-27 に示す極小幅スリットとアルミ箔によるベントを備えた金属製の評価容器を開発した。この中に標準電池モデルを設置し、容器の中で熱電対を電池モデルに圧迫しながら測定することでガス発生による熱電対の脱落も抑制でき、バラつきの少ない評価が可能である。

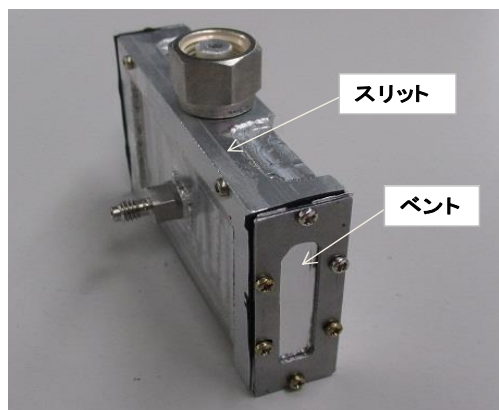


図 3-27 ARC 評価容器

(ii) C80 小形ラミネート電池評価

C80(カルベ型熱量計)装置を図 3-28 に示す。評価サンプルの昇温時の発熱挙動について、324 個の熱電対で $0.1 \mu W$ 単位の測定ができる。30mAh 級の小形ラミネート電池から電極部分を取り出して、筒状に巻き加工した後、検知部に設置できるように工夫した。この工夫によって、正極、負極、セパレータ、電解液を電池構成のままで評価可能となり、実電池での発熱挙動に近い評価が可能である。

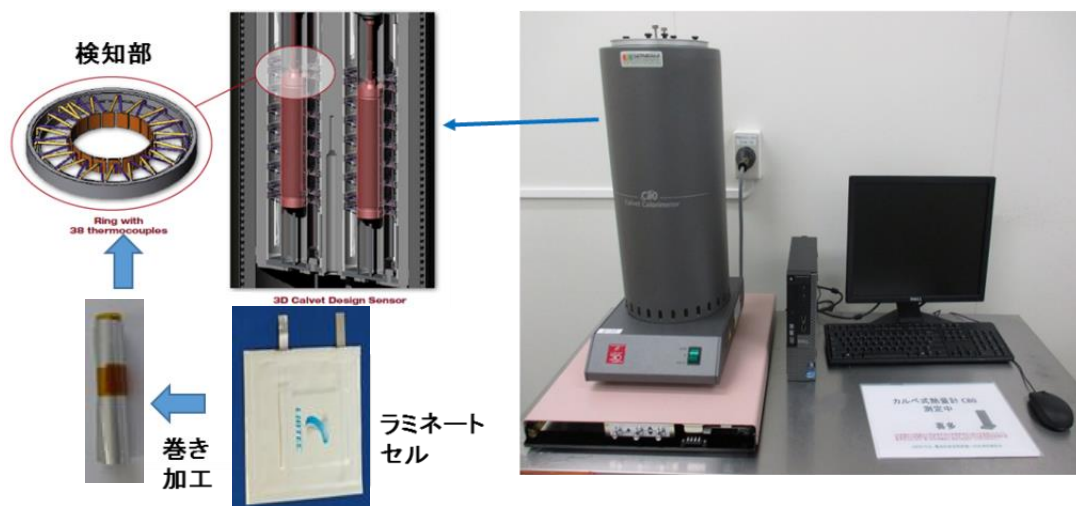


図 3-28 カルベ型熱量計 C80 による小形ラミネート電池評価

(iii) ミツバチネイル短絡試験評価

ミツバチネイル短絡試験評価技術は、強制内部短絡試験を代替できる評価手法として開発した。強制内部短絡試験は、電池内の微小金属粉不純物等の混入による内部短絡に対して安全性を評価する目的で作られた試験法であるが、充電した電池を解体し、Ni 小片を配置する必要があり、試験作業時に危険が伴う。

図 3-29 に示すように、3mm φ の Ni 円錐とスペーサを Zr 球に取付けた評価治具を開発した。スペーサの厚みを変更し、1 層短絡に必要な Ni 円錐先端長さを調整することで、短絡時の電極せり上がりによる短絡層数増加の防止、スペーサ変形によるエッジでの短絡防止を可能とした。

標準電池モデルについて、ミツバチネイル短絡試験法と他の短絡試験法で評価した結果を表 3-18 に示す。電池解体の必要が無いミツバチネイル短絡は N=5 の評価において、強制内部短絡試験と同じく1層短絡を再現よく実現できる試験方法であることを確認した。

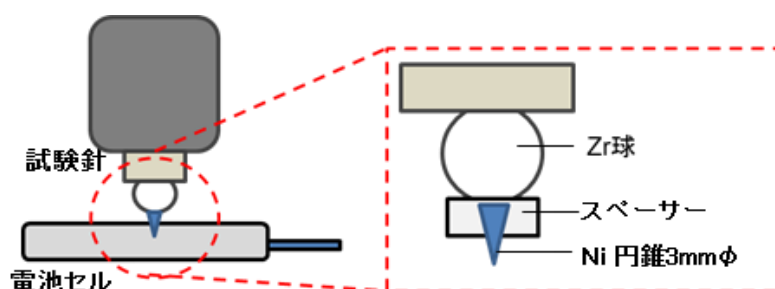


図 3-29 ミツバチネイル評価治具の模式図

表 3-18 ミツバチネイル短絡試験と他の短絡試験法との比較

試験名		セラミック 釘刺し	Blunt Rod	ミツバチネイル 短絡	強制内部 短絡
試験時セルの解体		必要無し	必要無し	必要無し	必要
短絡時 状況	熱暴走頻度	0%	25%	0%	0%
	電極せり上がり	有り	有り	無し	無し
	短絡層数	3 層	5 層	1 層	1 層

(3) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

LIBTEC 組合員、賛助会員から提供された新材料サンプルについて、これまでに開発した材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書)を適用した電池試作・評価を行った。その評価実績を表 3-19 に示すが、平成 28 年度は目標の 25 件を大幅に上回る計 96 件、平成 29 年度は、平成 29 年 6 月時点で、目標の 25 件を超える 48 件を実施している。評価した材料は、安全性能に関係する電解液、セパレータ、正極活物質等である。以下に、評価結果の例を示す。

表 3-19 PJ-4 で開発した評価法でのサンプル評価の実績

	目標評価件数	実施件数
平成 28 年度	25 件	96 件
平成 29 年度	25 件	48 件

(i) 標準ラミネート電池 ARC 評価

添加剤 B を添加した電解液と添加しない電解液を用いた標準電池モデルを、ARC を用いて評価した結果を図 3-30 に、150°C 昇温試験を行った結果を図 3-31 に示す。ARC 評価では、添加剤 B の添加により、100°C や 160°C 付近の発熱が抑制されている。昇温試験では、添加剤 B 無しの電池モデルでは熱暴走が起り、発煙に至ったが、添加剤 B の添加により熱暴走が起らず、安全性が向上する結果が得られた。この結果から、ARC 評価は、昇温試験の結果と対応する材料の評価が可能であり、評価法として妥当なことが確認できた。

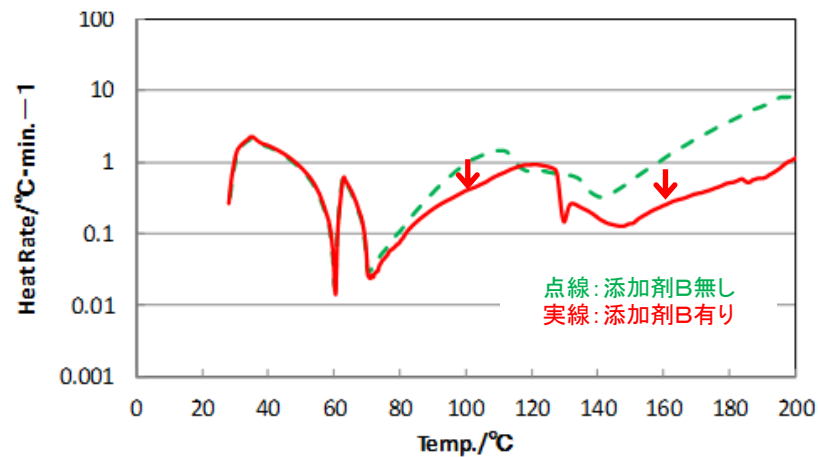


図 3-30 1Ah 級標準電池の ARC 評価結果

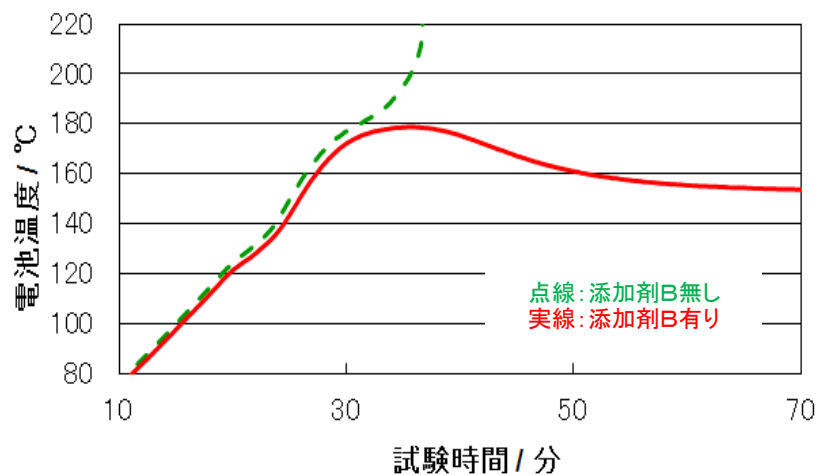


図 3-31 1Ah 級標準電池の 150°C 昇温試験結果

(ii) C80 小形ラミネート電池評価

添加剤 B を添加した電解液と添加しない電解液を用いた小形ラミネート電池を用いて、C80 を用いて評価した結果を図 3-32 に示す。添加剤 B 無しの電池では 233℃ 付近に大きな発熱ピークを有するが、添加剤 B の添加により 170℃ 以上の温度領域での発熱が抑制されており、発熱ピークが 13℃ 高温側にシフトすることが分かった。この結果は、図 3-31 の昇温試験の結果と対応しており、評価法として妥当なことが確認できた。

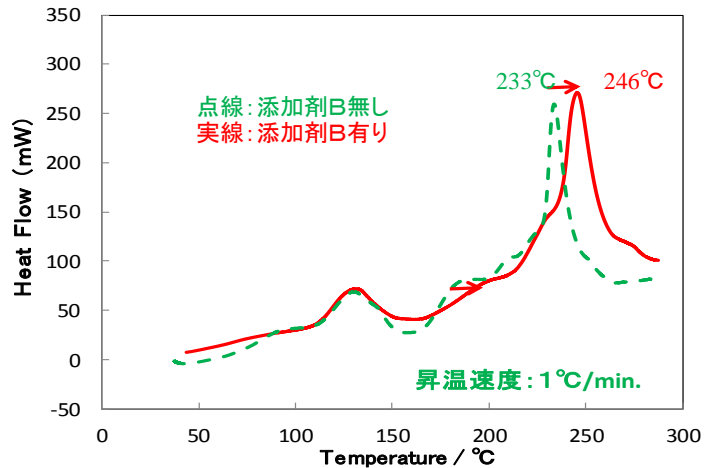
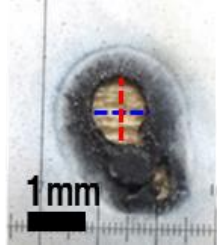
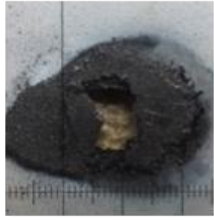
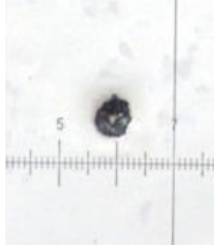


図 3-32 C80 小形ラミネート電池評価結果

(iii) ミツバチネイル短絡試験評価

ミツバチネイル短絡試験法で、ポリオレフィン(PO)系セパレータと耐熱セパレータを用いた 1Ah 級標準電池の安全性を比較した結果を表 3-20 に示す。いずれも発煙はみられなかったが、130℃ から 160℃ に融点を持つポリオレフィン系セパレータでは短絡部位がセパレータ溶融により広がっていたのに対し、融点が 200℃ 以上の耐熱セパレータでは、短絡時もセパレータが溶融せず、短絡部位が広がらないことが分かった。また、このセパレータが溶融した穴のサイズと電池電圧変化の大きさが関連していることも分かり、耐熱セパレータでは短絡時の安全性向上が図れることが確認できた。このようにミツバチネイル短絡試験法は、1 層短絡を実現出来る短絡時の耐熱安全性評価法として妥当なことが確認できた。

表 3-20 ミツバチネイル短絡試験によるセパレータ評価結果

種類	PO系セパ①	PO系セパ②	耐熱セパ
短絡層数	1層	1層	1層
電圧変化	-0.36 V	-0.25 V	-0.05 V
セパレータ 写真			
穴のサイズ	1.0×1.1 mm	0.9×1.0 mm	0.2×0.2 mm
セパレータ 溶融	有り	有り	無し

3.1.5 全固体電池(PJ-5)の成果の一例

(1) 圧粉体成形標準電池モデルの開発

全固体電池の構成材料の1次スクリーニング評価を目的に圧粉体成形標準電池モデルを開発した。図 3-33 に圧粉体成形標準電池モデルの試作工程、表 3-21 にその仕様を示す。このモデルでは、電池を構成する固体電解質や活物質といった材料粉末を充填、加圧するだけで成立する電池系のため、プロセス要因を排除した材料自体のポテンシャルの評価が可能である。

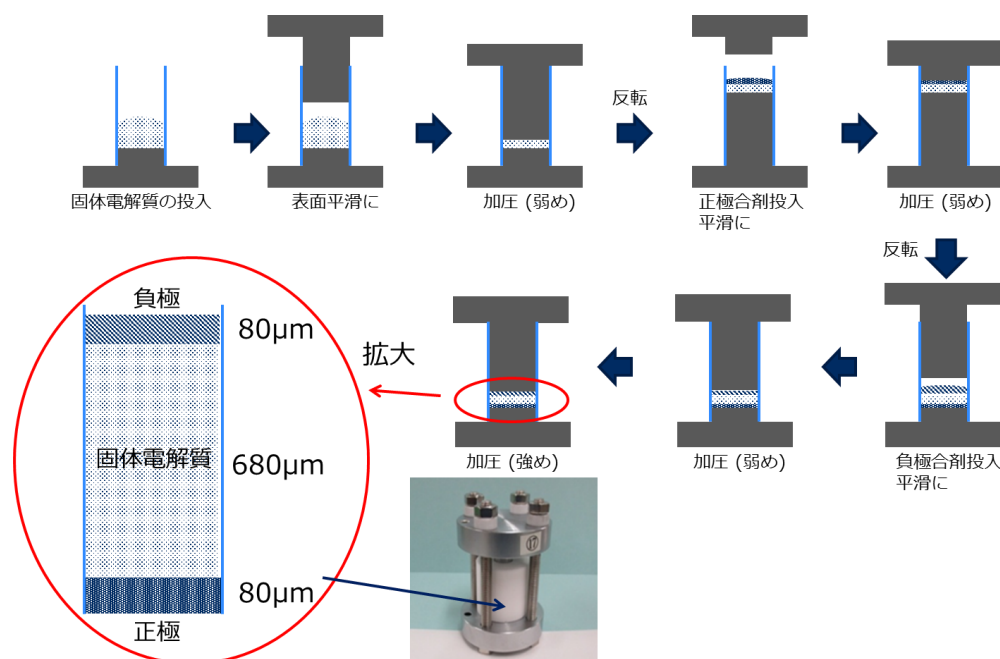


図 3-33 圧粉体成形電池の試作工程

表 3-21 圧粉体成形標準電池モデルの仕様

容量	2mAh	
形状	ボタン形(円形)	
寸法	直径 11.25mm(電極面積 1cm ²) 厚さ 840 μm(電解質 680 μm、正・負極各 80 μm)	
特性評価時の拘束圧力	2,000kg/cm ² (ボルト締付トルク: 6Nm)	
材料	正極	活物質: NCM523 (LiNbO ₃ 被覆品) 電解質: Li-P-S ガラス系 → アルジロナイト結晶系 活物質/電解質の体積比: 50/50
	負極	活物質: 人造黒鉛 電解質: Li-P-S ガラス系 → アルジロナイト結晶系 活物質/電解質の体積比: 60/40
	電解質	Li-P-S ガラス系 → アルジロナイト結晶系

このモデルを用いた新材料サンプルの電池試作・評価の一例として、Li-P-S ガラス系を用いた標準電池モデルにイオン伝導度の高い固体電解質の新規材料(アルジロナイト結晶系)を組み入れて、比較評価を行った結果を図 3-34 に示す。アルジロナイト結晶系の方が、その高いイオン伝導率に起因して、高い出力特性及び容量特性が得られていることが確認された。この固体電解質材料を新たに標準

表 3-22 シート成形標準電池モデルの仕様

		(i) 8mAh シート成形標準電池モデル	(ii) 50mAh シート成形標準電池モデル
容 量		8mAh	50mAh
形 状		正方形	正方形
寸 法		ラミネート包材: 40×40mm 正極: 20×20mm(電極面積 4cm ²) 負極、電解質: 30×30mm 厚さ: 260 μm (電解質 100 μm、正・負極各 80 μm)	ラミネート包材: 100×106mm 正極: 66×66mm(電極面積 43.56cm ²) 負極、電解質: 70×70mm 厚さ: 260 μm (電解質 100 μm、正・負極各 80 μm)
特性評価時の拘束圧力		2,000kg/cm ²	207kg/cm ²
材 料	正 極	活物質: NCM523(LiNbO ₃ 被覆品) 電解質: アルジロナイト結晶系 平均粒径 2 μm 活物質/電解質の体積比: 50/50 バインダー: ゴム系	同左
	負 極	活物質: 人造黒鉛 電解質: アルジロナイト結晶系 平均粒径 2 μm 活物質/電解質の体積比: 40/60 バインダー: ゴム系	同左
	電解質	アルジロナイト結晶系 平均粒径 2 μm バインダー: ゴム系	同左
	集電体	正極: SUS 箔、負極: Al 箔	同左

(i) 8mAh シート成形標準電池モデル

8mAh シート成形標準電池モデルは、図 3-36 に示すように、25℃で、ほぼ設計容量に近い放電容量が発現し、サイクル特性も 100 サイクルレベルで急激な容量も起きていない。また、放電曲線に異常箇所が無いことから、25℃でも Li デンドライト析出による短絡も起きていない。このシート成形標準電池モデルにつき、その試作仕様書、性能評価手順書一式をとりまとめた。

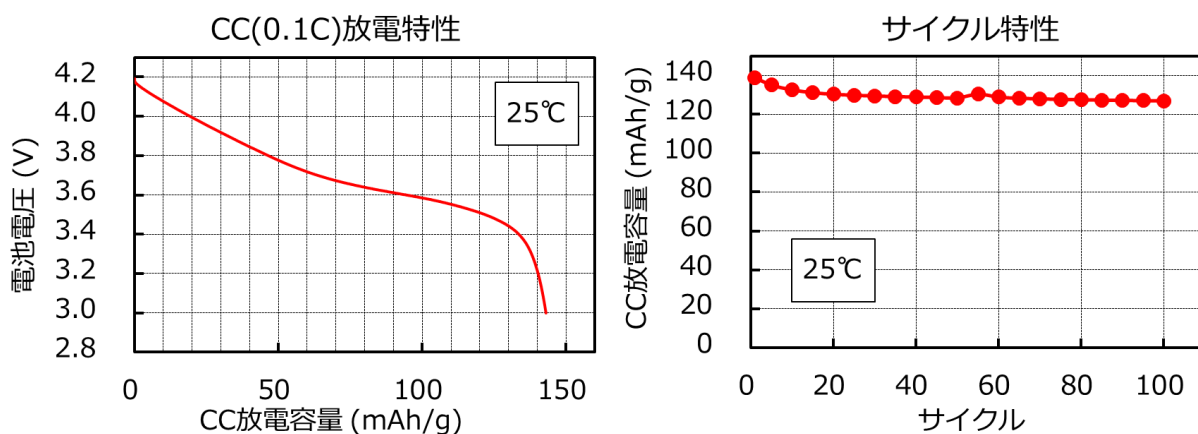


図 3-36 シート成形標準電池モデルの放電曲線とサイクル特性

このシート成形電池モデルはセル作製プロセスの影響評価も可能なモデルであり、その一例を示す。従来の試作環境は露点 -80°C のArガスグローブボックス中であつたが、量産時の設備コストを考えると、一般的なドライ空気環境で生産できることが望ましい。図 3-37 に電池試作環境の充放電特性への影響を示す。露点 -70°C 以下のドライ空気で作成した電池はAr環境のものと同等であることを確認した。このように、シート成形標準電池モデルは、プロセス環境の影響評価も可能なモデルである。

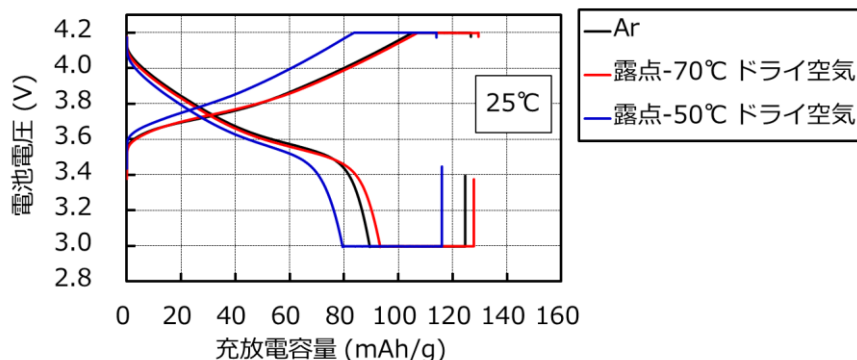


図 3-37 電池試作環境の充放電特性への影響

(ii) 50mAh シート成形標準電池モデル

車載用途への全固体電池の適用を見据え、セル大面積化に伴う影響を把握するため、50mAh 級のシート成形標準電池モデルを開発した。図 3-38 に 60°C における放電特性を示す。この標準電池モデルは、 60°C では 10C の高出力放電が可能である。

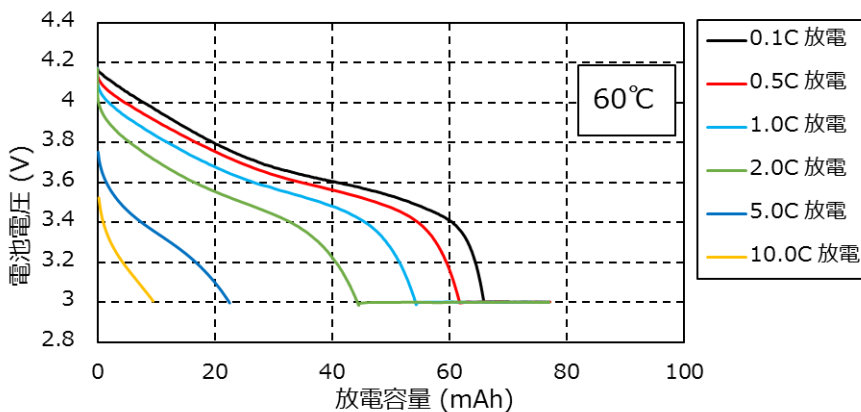


図 3-38 60°C での標準電池モデルの放電特性

また、図 3-39 に標準電池モデルの温度による設計容量を 100 とした充放電容量率を示す。 60°C では、ほぼ 100%の充放電効率を維持しているが、 25°C では、見かけ上充電容量が増加して、大きく充放電効率が低下していることから、Li デンドライト析出による短絡が生じたものと考えられる。大面積化に伴い、特に負極側の電極構造、例えば空隙率や厚み等の面内不均一性により、負極内部のイオン伝導度に面内分布が生じた結果、充電時に部分的にイオン電流が集中して、Li デンドライト析出・短絡が発生しているものと推定され、大面積化に向けては電極構造及び充放電駆動時のセル拘束圧力等の面内均一性の向上が重要となると考えた。

そこで充放電駆動時の拘束圧力の面内均一性向上のために、加圧面に緩衝層として弾性のある樹

脂シートを挿入して拘束圧力の面内分散による均一化の効果を検証した。図 3-40 に、樹脂シート有無それぞれの場合に、感圧着色紙で測定した拘束圧力の面内分布を比較して示す。樹脂シートを用いた場合に、加圧面の圧力分布が均一になっているのが分かる。図 3-39 に示すように、樹脂シート有りの場合の 25℃の充放電容量率がほぼ一致し、充電した容量分と同等の容量分放電していることが分かる。現在のところ、N 数が 1 であるが、拘束圧力の面内均一性の向上に伴い、25℃においても、Li デンドライト析出による短絡が抑制されたものと考えている。今後、N 数を増して検証を続ける予定である

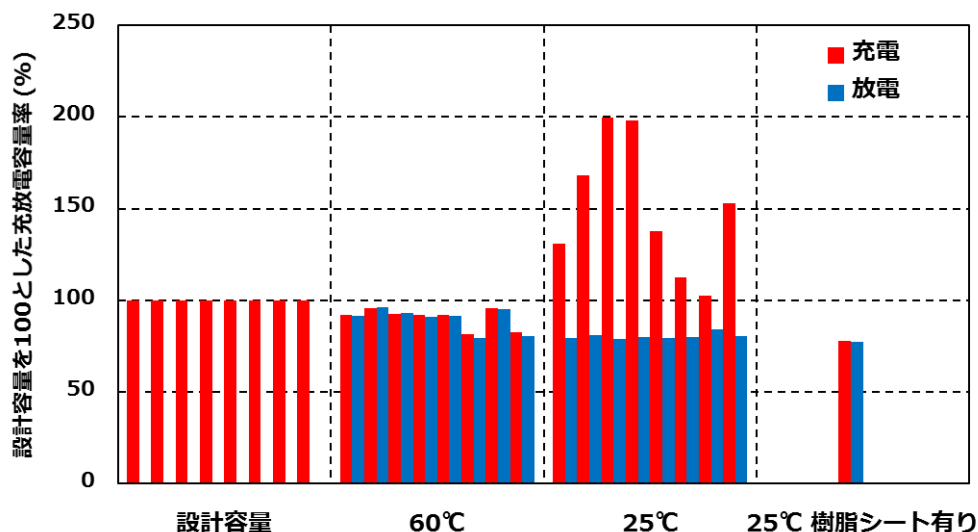


図 3-39 温度による充放電容量率

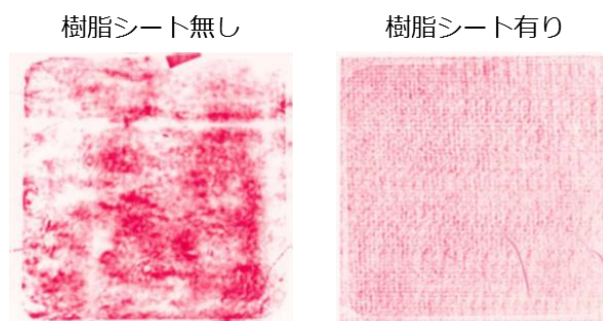


図 3-40 加圧面の圧力分布

(3) 解析評価技術の開発

負極側で発生する Li デンドライト析出の抑制に向けて、デンドライト析出を検出、解析する各種技術を開発した。特に、開発した 5 種類の解析評価技術は大面積化によるデンドライトショートを抑制する方策を見出すために重要な技術である。

(i) 全固体電池の参照極を用いた Li 析出検出技術

図 3-41 に示すように、電池に Cu の細線を参照極として組み合わせて、正極と負極を分離してそれぞれの電位を測定する技術を開発した。塗工正負極に Cu 細線を組み込んだ圧粉電解質を組み合わせることでシート成形電池の正極電位と負極電位を分離して測定可能である。

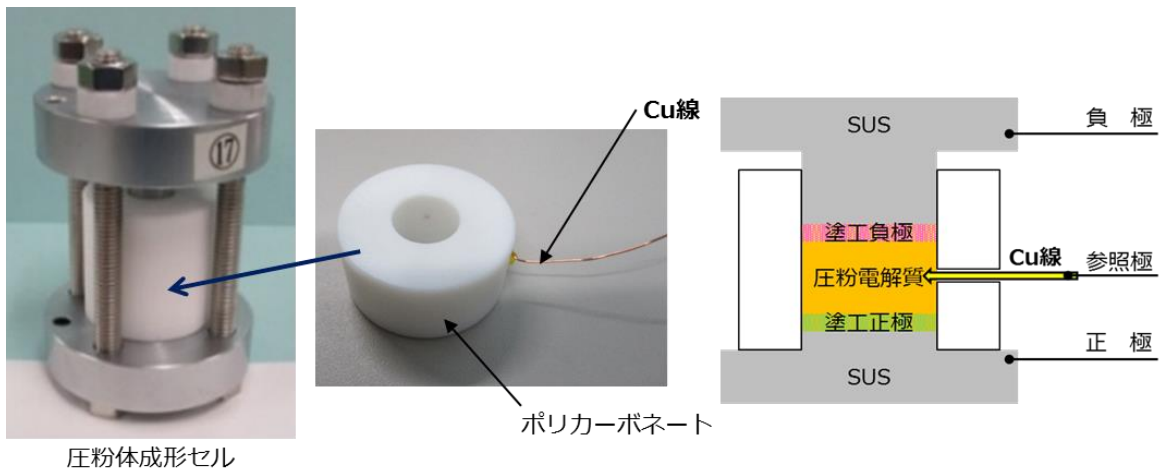


図 3-41 参照極を用いた正極・負極分離測定

図 3-42 に充電時の分離測定のための充電曲線を示す。充電時の正極と負極の充電曲線を分離して、負極側の電位ゼロを検知することで、Li 析出が充電中のどの段階で発生するかを把握することが可能となった。

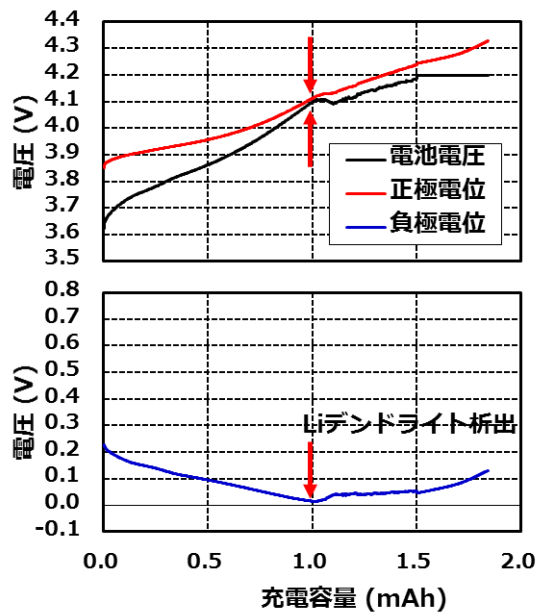


図 3-42 分離測定のための充電曲線

(ii) Li 析出シミュレーション技術

前項 (i) で述べた正負極電位を分離計測する技術に加え、負極電位をシミュレーション計算して Li 析出を予測する技術も開発した。

図 3-43 にそのシミュレーション結果の一例を示す。合剤負極内部のイオン伝導度を変化させて、一定レートで充電した場合の負極電位をシミュレーションにより算出したものである。この結果から、この合剤負極では負極内部のイオン伝導度が 1×10^{-4} S/cm 以下になると、充電が終了する以前に負極電位ゼロとなって Li 析出することが予測される。また、この結果は実際の実験系の結果とよく整合しており、合剤負極内部のイオン伝導度をある基準値以上とすることで、Li 析出の抑制に寄与することが確認された。

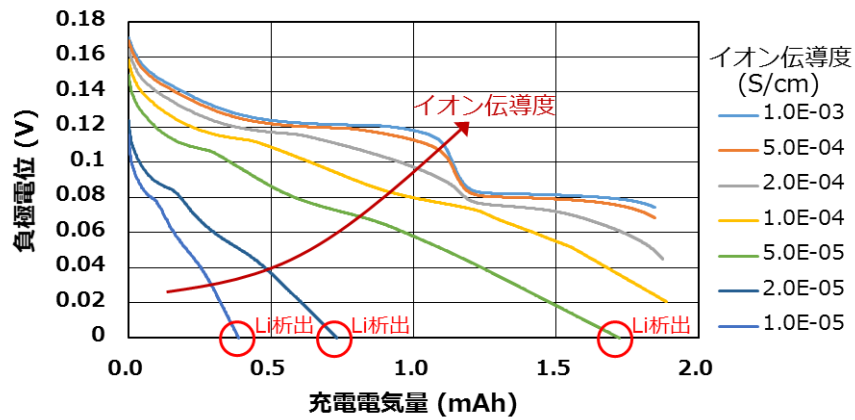


図 3-43 Li 析出シミュレーション結果

(iii) 負極内イオン伝導分離測定技術

前項(ii)で述べたように、負極内のイオン伝導度の向上が Li 析出抑制の鍵である。そこで、負極内のイオン伝導のみを分離して計測する技術を開発した。負極では活物質が黒鉛で高い電子伝導性をもっており固体電解質と混合電極とした場合、電子伝導に隠れてイオン伝導を数値化することが困難であるため、合剤負極内のイオン伝導を電子伝導と分離して測定する方法を開発した。図 3-44 に示すように、圧粉体成形セルを活用し、塗工法等で作製した負極合剤の間に電子伝導を遮断するため固体電解質層を挟んだ積層体構造を考案して、分離測定を行った。

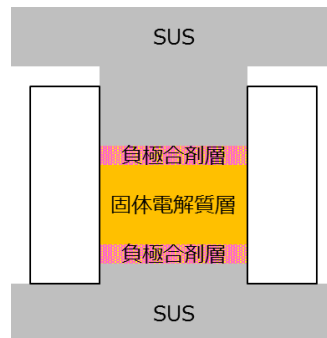


図 3-44 負極内イオン伝導分離測定

この積層体構造セルの AC インピーダンス測定を行った。図 3-45 に負極の黒鉛粒子径を変えた場合の測定結果を示す。測定結果は 45°の傾斜から垂直に上がる図を描く。黒鉛粒径増加に伴い、合剤負極内部のイオン伝導抵抗が低下することが確認された。こうした(i)～(iii)までの一連の解析技術を活用することで、Li デンドライト析出の耐性も評価可能な技術として仕上げた。

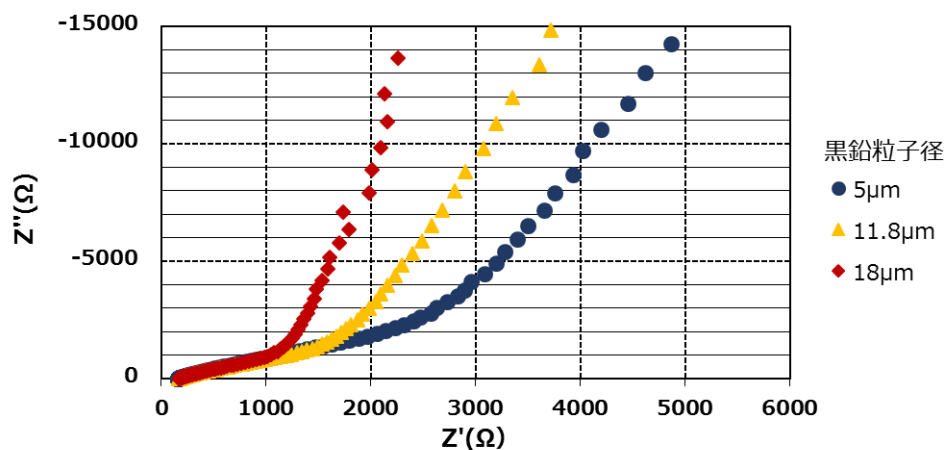


図 3-45 黒鉛粒子径を変えた場合の負極イオン伝導抵抗

(iv) シート成形電池の面内反応分布解析技術

高出力 X 線回折装置を用いたフルセルの充放電反応の面内分布をオペランドで評価可能な技術を開発した。図 3-46 にシート成型電池の面内反応分布を解析した一例を示す。図中の P1～P5 は、正極と負極が対向している点で、P6 と P7 は正極が負極と対向していない点である。

充放電後共に測定を実施しているが、両方とも負極側の X 線回折ピーク位置が面内位置で異なっていることから、充放電反応が不均一であり、負極側のイオン電流に面内分布があると考えられる。

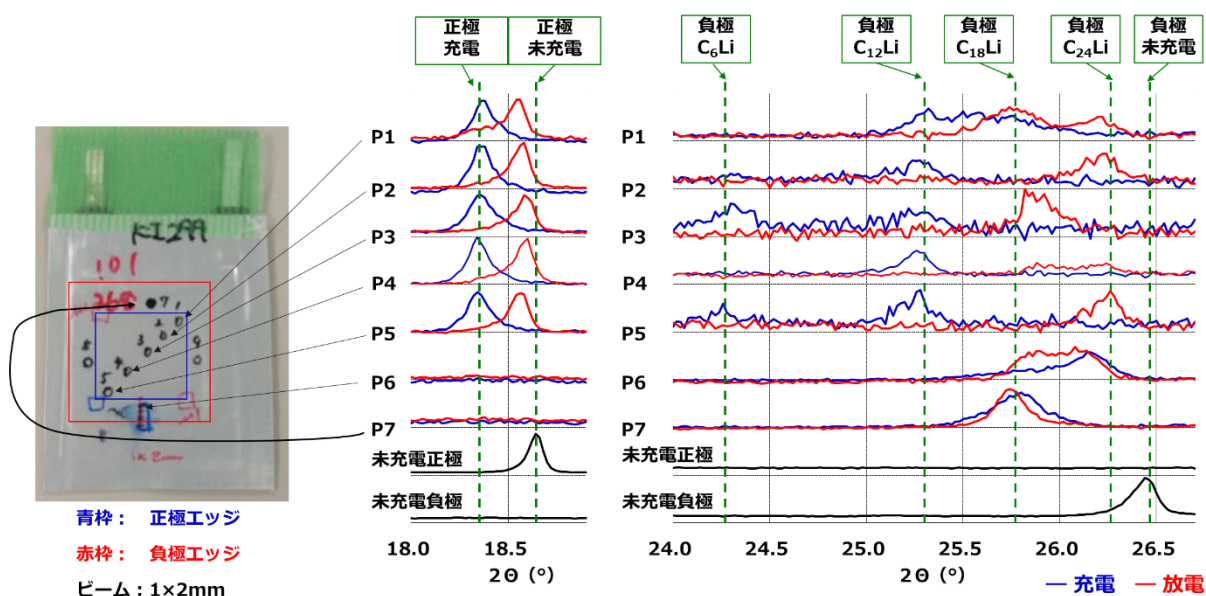


図 3-46 シート成型電池の面内反応分布解析

(v) Li デンドライトの直接観測技術

前項 (iv) ではオペランド解析の一例を示したが、解体後のセルをラマン面内イメージングすることで、セル内の Li デンドライトを直接観測する技術を開発した。図 3-47 の光学像における C 点は金属光沢のある部分で Li が析出している部分である。C 点からは $1,820\text{cm}^{-1}$ のピークが検出されており、 $1,820\text{cm}^{-1}$ のピークに着目してイメージングすることで Li 析出を観測できる。本来、金属はラマン分光では検出できないが、金属 Li は活性で、電解質中の S や大気中の CO_2 や H_2O と反応して表面被膜を作り易いため、その被膜がラマン分光の $1,820\text{cm}^{-1}$ のピークとして検出されたと理解できる。

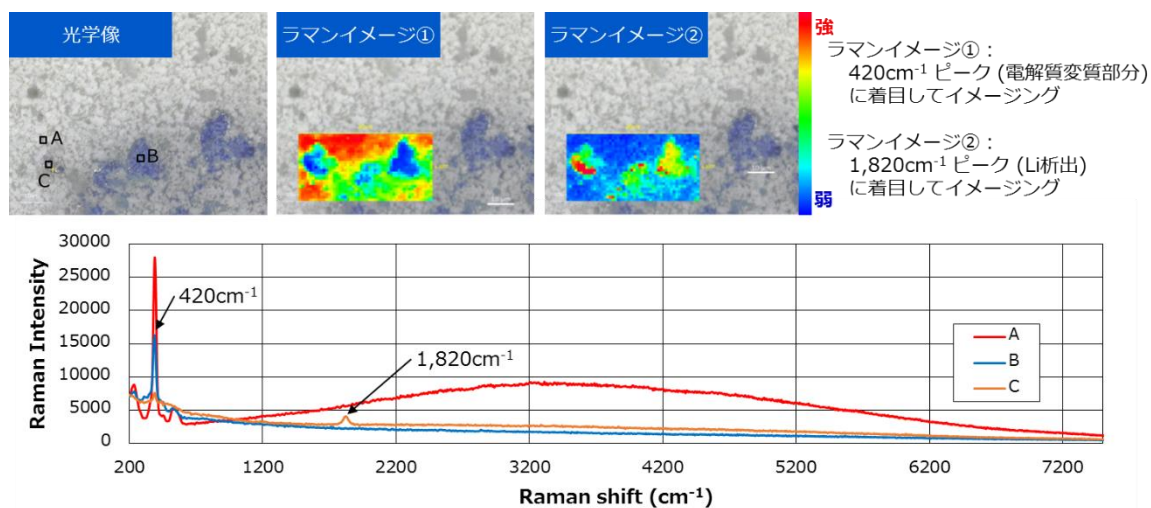


図 3-47 ラマン顕微鏡を用いたデンドライト析出の直接観察

(4) ALCA との連携

文科省プロジェクト「ALCA-SPRING」の硫化物全固体電池チームの成果の一つとして、豊橋技術科学大学の硫化物固体電解質の液相合成技術の提供を受けた。この技術で得られる固体電解質溶液に負極活物質である人造黒鉛を浸漬・加熱して、液相法で硫化物電解質コートをした人造黒鉛を製作・評価した。

図 3-48 に液相法で電解質をコートした人造黒鉛を用いた負極材をハーフセルで評価した結果を示す。負極側でも人造黒鉛に電解質をコーティングすることで、コーティングしない場合よりも高容量が得られることが分かった。これは合剤負極内において人造黒鉛と電解質との均一界面が形成されたためと考えられる。活物質と電解質との均一な界面形成は、合剤負極内のイオン伝導度の面内分布低減に有効であり、Li デンドライト析出の抑制が期待できる。

機械的な乾式法で電解質粒子を活物質にコーティングする技術を人造黒鉛に適用すると、黒鉛が柔らかいため黒鉛粒子が破碎され性能が低下することから、本技術のように液相法で電解質をコーティングする技術は工業的に価値のあるものと考えている。今後 Li デンドライト短絡の抑制効果等を検証する。

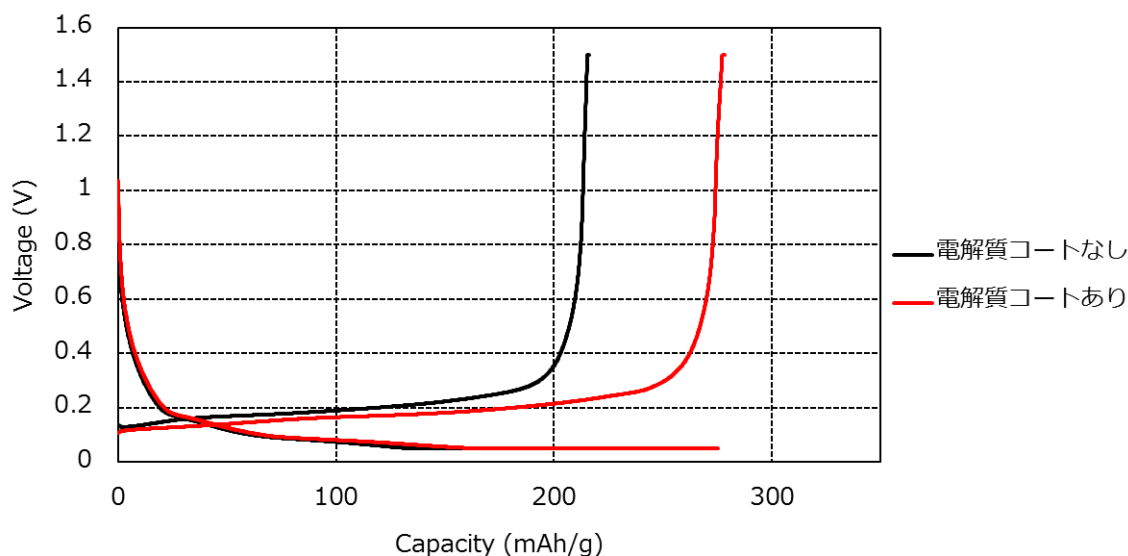


図 3-48 負極に液相法電解質を用いた結果

(5) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

LIBTEC 組合員から新材料サンプルの提供を受け、開発した材料評価技術(標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書)を適用した電池試作・評価を行った。

圧粉体成形標準電池モデルでは、組合員提供の新電解質材料 4 件を評価、先の図 3-34 に示したように従来の電解質材料との比較で電池性能向上を確認し、高イオン伝導度を示したアルジロナイト結晶系材料を新たな標準電池材料として圧粉体成形標準モデル及びシート成形標準電池モデルへ反映した。

シート成形標準電池モデルでは、ゴム系バインダー材を主に評価した。その際、正極側に適用できるかどうかを判定するための耐酸化性や、スラリーの経時安定性向上及び塗工性向上といったプロセス面の観点から、スラリー化した場合の粘度等に着目し評価した。また、バインダー単独ではスラリー粘度が低く、塗工性が確保できない場合でも、硫化物固体電解質と反応劣化しない増粘剤を添加したスラリーも合わせて評価して、材料メーカーにフィードバックした。

フィードバックした結果を基に、標準バインダー材をベースに分子構造等を改良したバインダー材 11 件を受け入れ、電解質、正極、負極のそれぞれへの適合性も含め性能検証を進めた。このように蓄電池産業界の新材料開発に本プロジェクトの評価技術は活用されている状況にあり、今後もこうした取組を推進していく。

なお、平成 28 年度の実施評価件数は、目標の 5 件を大幅に上回る計 15 件であった。

3.2 成果の普及及び知的財産権等の確保に向けた取組

LIBTEC は技術情報の流出に配慮しつつ、表 3-23 及び表 3-24 に示す 20 件の研究発表・講演を行った。その中で、第 57 回電池討論会に発表された「電極厚み方向の反応分布の評価とシミュレーション」に関しては、電池技術委員会賞も受賞した。

また、材料評価技術に係る知的財産は、「2.5 知的財産等に関する戦略の妥当性」で述べた戦略に沿って、ノウハウ化(ドキュメント化も含む)を進めた。また、材料評価技術の開発の過程において発生した硫化物正極の特許を 1 件、及び分析・解析評価技術開発に関連して、安全性試験評価に係る特許を 2 件出願している。

表 3-23 LIBTEC の研究発表・講演リスト(1)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014 年 11 月 19 日	第55回 電池討論会	Li ₂ MO ₃ 固溶体正極の初回充 電時のガス発生挙動	西村大、山崎昌保、上田浩視、 澤田大輔、森田好洋、江田信夫、 太田璋
2014 年 11 月 19 日	第55回 電池討論会	3 極セルを用いた各種 In-situ 測定と充放電微分曲線の評価	幸琢寛、黒角翔大、宮脇悟、長井龍、 小山章、江田信夫、太田璋
2014 年 11 月 20 日	第55回 電池討論会	電極塗布乾燥プロセスでの 電極構造変化と放電特性の 影響	畠山望、鈴木悦子、大串巧太郎、 三浦隆治、鈴木愛、宮本明、幸琢寛、 小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2015 年 11 月 11 日	第56回 電池討論会	Li ₂ MnO ₃ 固溶体正極の初回充 放電時のガス発生挙動その 2	斉藤聡平、鰐淵瑞絵、山崎昌保、 上田浩視、西村大、江田信夫、太田璋
2015 年 11 月 11 日	第 56 回 電池討論会	アルコールを原料とした有機 硫黄系正極材料の電池特性	竹内友成、小島敏勝、蔭山博之、 長井龍、太田璋
2015 年 11 月 12 日	第 56 回 電池討論会	硫黄系固体電解質を用いた 全固体電池の電気化学評価 手法の検討	佐藤智洋、八幡稔彦、平瀬征基、 小森知行、前田英之、木下郁雄、 廣瀬道夫、幸琢寛、竹内友成、 小島敏勝、蔭山博之、井龍、太田璋
2015 年 11 月 13 日	第 56 回 電池討論会	高精度 Operando 電極厚み測 定法の開発	幸琢寛、麻生圭吾、宮脇悟、 黒角翔大、松村安行、江田信夫、 長井龍、太田璋
2015 年 11 月 13 日	第 56 回 電池討論会	Newman モデルを応用したサ イクル劣化シミュレーション	幸琢寛、長井龍、松村安行、近藤正 一、山川幸男、江田信夫、小山章、田 中俊、太田璋、畠山望、鈴木悦子、 大串功太郎、三浦隆治、鈴木愛、宮本 明
2016 年 1 月 21 日	電気化学会 電気化学セミナー1 「最先端電池技術－ 2016」	LIBTEC における電池材料評 価法の開発	幸琢寛
2016 年 3 月 3 日	株式会社パウレック第 5 回講演会	LIBTEC における電池材料評 価技術の開発 ～材料評価解析基盤の整備 と実電池を用いた材料評価 法の確立を目指して～	幸琢寛

表 3-24 LIBTEC の研究発表・講演リスト(2)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2016 年 3 月 14 日	2015 年度 化学工学会 第 81 年会	人工知能融合マルチスケール・マルチフィジックス計算化学手法の開発と蓄電池プロセスへの応用	畠山望、大串巧太郎、Bonnaud Patrick、三浦隆治、鈴木愛、宮本直人、張山昌論、宮本明、幸琢寛、小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2016 年 3 月 15 日	電池技術委員会 新電池構想部会 第 95 回講演会	合剤電極構造とシミュレーション	幸琢寛
2016 年 3 月 19 日	2015 年度 第 63 回 応用物理学会 春季学術講演会	蓄電池プロセスのためのマルチスケール・マルチフィジックス計算化学手法の開発	畠山望、長山千恵子、鈴木悦子、宮野正之、大串巧太郎、Bonnaud Patrick、三浦隆治、鈴木愛、宮本直人、小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2016 年 3 月 20 日	2015 年度 第 63 回 応用物理学会 春季学術講演会	人工知能融合超高速化量子分子動力学法の開発と蓄電池プロセスへの応用	宮野正之、佐藤愛美、小原幸子、石澤由紀江、佐藤絵美、稲葉賢二、Bonnaud Patrick、三浦隆治、鈴木愛、宮本直人、畠山望、張山昌論、宮本明、幸琢寛、小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2016 年 3 月 29 日	電気化学会 第 83 回大会	4.5V LiCoO ₂ -黒鉛系電池の ARC での発熱挙動	喜多房次、永川桂大、西村大、水野悠、加門慶一、田中俊、江田信夫、太田璋
2016 年 5 月 25 日	2016 年度自動車技術会春季大会 (公益社団法人自動車技術会)	人工知能融合超高速化量子分子動力学法によるマルチスケール蓄電池シミュレーション	畠山望、三浦隆治、鈴木愛、宮本直人、張山昌論、宮本明、幸琢寛、小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2016 年 9 月 22 日	2016 年度第 118 回 触媒討論会 (一般社団法人触媒学会主催)	人工知能融合マルチスケール・マルチフィジックス蓄電池シミュレータの開発と応用	畠山望、佐藤愛美、小室怜、鈴木悦子、宮野正之、大串巧太郎、Bonnaud Patrick、三浦隆治、鈴木愛、宮本直人、張山昌論、宮本明、幸琢寛、小山章、江田信夫、長井龍、太田璋
2016 年 12 月 1 日	第 57 回 電池討論会	リチウムイオン電池の強制内部短絡試験代替法の検討	加門慶一、喜多房次、永川桂大、高橋勇人、田中俊、村田利雄、太田璋、吉村秀明
2016 年 12 月 1 日	第 57 回 電池討論会	電極厚み方向の反応分布の評価とシミュレーション	幸琢寛、坂口眞一郎、三浦克人、河南順也、松村安行、長井龍、村田利雄、太田璋、吉村秀明、大串巧太郎、畠山望、宮本明
2017 年 2 月 7 日	第 385 回 電池技術委員会	電池・電極の膨張収縮挙動の精密測定と反応分布のイメージング及びシミュレーション	幸琢寛

また、本プロジェクトの取組に関して、NEDO は一般に対する情報発信を行っており、以下に示す学

会・セミナー・シンポジウム等における講演、専門誌への寄稿等、合計 13 件に対応している。

表 3-25 NEDO の情報発信実績

No.	発表年月日	発表媒体	発表形態	発表タイトル
1	2014 年 10 月 3 日	CEATEC JAPAN2013／第 10回JEITA電子材料セミナ ー	講演	NEDO における蓄電技術開発
2	2014 年 10 月 3 日	近化電池セミナー	講演	次世代蓄電技術開発の現状、課題とその先へ
3	2014 年 11 月 29 日	「おかやま電池関連技術研 究会」第3回技術セミナー	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
4	2014 年 1 月 24 日	日本電気化学会／電気化 学セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
5	2014 年 11 月 19 日	第 55 回電池討論会	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
6	2014 年 12 月 11 日	豊橋技術科学大学・未来ビ ークルシティリサーチセンタ ーシンポジウム	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
7	2014 年 12 月	シーエムシー出版／「蓄電 デバイスの今後の展開と電 解液の研究開発」	寄稿	NEDO における次世代蓄電池の研究開発計画
8	2015 年 1 月 21 日	日本電気化学会／電気化 学セミナー	講演	NEDO におけるスマートコミュニティ海外実証と次 世代蓄電技術開発
9	2015 年 11 月	シーエムシー出版／ナトリウ ムイオン二次電池の開発と 二次電池の市場展望	寄稿	NEDO における次世代蓄電技術開発の状況
10	2016 年 6 月 21 日	日本電気化学会／電気化 学セミナー・最先端電池技 術 2016	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発とスマートコ ミュニティ海外実証
11	2016 年 9 月 32 日	EVEX(EV・PHV 普及活用技 術展)セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
12	2016 年 11 月 17 日	近畿化学協会／近化電池 セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
13	2017 年 1 月 19 日	日本電気化学会／電気化 学セミナー・最先端電池技 術 2017	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発

第4章 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)は以下のように定めた。

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)

本プロジェクトで開発した評価技術が、材料メーカーにおける新材料の研究開発(ポテンシャル把握、実用化課題の抽出、改良の方向性の検討等)や蓄電池・自動車メーカーに対する提案活動等に活用されること。

4.1 成果の実用化に向けた取組

4.1.1 材料メーカーに対するアクション

(1) 研究開発状況の情報共有

表 4-1 に示すように、プロジェクト実施期間中、「LIBTEC 技術委員会」において評価技術の開発進捗、サンプル材料を用いた電池試作・評価の状況等を報告し、材料メーカーとの情報共有に努めた。

表4-1 「LIBTEC技術委員会」の開催実績

	開催日	主要議題
第 28 回	2013 年 8 月 27 日	先進・革新蓄電池材料評価技術開発プロジェクト他
第 29 回	2013 年 9 月 4 日	第 15 回理事会及び第 12 回臨時総会議案他
第 30 回	2013 年 11 月 29 日	4.35V 系高電圧電池の評価結果報告他
第 31 回	2014 年 1 月 14 日	平成 26 年度事業計画案他
第 32 回	2014 年 2 月 25 日	平成 26 年度予算案他
第 33 回	2014 年 4 月 16 日	委託特許調査報告他
第 34 回	2014 年 5 月 23 日	平成 25 年度事業報告、収支決算書案他
第 35 回	2014 年 7 月 15 日	第 21 回理事会議案他
第 36 回	2014 年 11 月 18 日	自主事業の実施概要案他
第 37 回	2015 年 2 月 4 日	評価シミュレーション技術開発の計画と進捗他
第 38 回	2015 年 5 月 22 日	自主事業に係る電池材料試作・評価規程案の協議他
第 39 回	2015 年 7 月 28 日	自主評価事業の追加評価、NEDO 中間評価の概要説明他
第 40 回	2015 年 9 月 8 日	自主事業の研究施設使用規則の改定案協議他
第 41 回	2015 年 10 月 14 日	第 56 回電池討論会の発表紹介、ベンチマーク解析報告第 1 弾他
第 42 回	2016 年 1 月 26 日	強制内部短絡試験法手順書配付・説明、自主事業の研究施設利用対象拡充
第 43 回	2016 年 2 月 23 日	ベンチマーク電池解析報告他
第 44 回	2016 年 4 月 18 日	平成 28 年度の妥当性検証(評価)のガイドライン説明、PJ-1~4 の試作仕様書及び評価手順書の配布、説明他。
第 45 回	2016 年 5 月 24 日	賛助会員向け材料評価規則の設定案協議他
第 46 回	2016 年 6 月 24 日	NITE 見学会と、秘密情報取扱規則の改定案協議他
第 47 回	2016 年 10 月 4 日	ベンチマーク電池解析、妥当性検証用材料提供の要請他
第 48 回	2016 年 11 月 8 日	第 57 回電池討論会の発表概要紹介他
第 49 回	2017 年 1 月 24 日	ベンチマーク解析報告、特許出願釘刺試験内容紹介、電池委員会賞講演他
第 50 回	2017 年 5 月 23 日	ベンチマーク電池解析報告、標準ラミの電池形状変化他

(2) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

材料メーカーの新材料サンプルを数多く入手して電池試作・評価を行い、サンプル提供者にとって有益なフィードバックを行うことで、開発した評価技術の有用性を認知させることとした。

平成 28 年 4 月開催の「LIBTEC 技術委員会」(第 44 回)において、開発した評価技術を適用した新

材料サンプルの評価活動を開始することをアナウンスし、新材料サンプルの積極的な提供を呼び掛けた。

また、平成 28 年度より LIBTEC に「賛助会員制度」を新設し、組合員以外の材料メーカーからも新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価と評価結果のフィードバックを可能とした。平成 28 年度には 6 社が、平成 29 年度(5 月末時点)に 3 社が賛助会員として LIBTEC に加入した(1 社退会)。

なお、提供された新材料サンプルでの電池試作・評価を行う際には、事前にサンプル提供者と打合せを行い、当該材料の開発目的・適用用途に適った評価計画を提案するようにした。この場合、電気化学的評価やメカニズム解析等の実施も提案した。さらに、評価結果のフィードバックに際しては、材料の開発(改良)の方向性を助言するようにした

平成 29 年 6 月末現在の電池試作・評価の件数を表 4-2 に示す。また、標準電池モデル別の評価件数及び電池材料別の評価件数を図 4-1 に示す。

平成 28 年度は 212 件(材料メーカー:延べ 30 社)の新材料サンプルについて電池試作・評価を実施した。当初設定した評価件数の目標は 70 件であったが、その 3 倍の評価依頼があったのは、開発した評価技術が材料メーカーにとって有用であったためと考えられる。

なお、全評価件数 293 件のうち、PJ-4(難燃性電解液)のモデルによる評価件数、電解質・セパレータの評価件数が半数を占め、安全性向上の市場・ユーザーニーズが高まっており、本プロジェクトで開発した安全性評価技術の有用性が認められたことを示唆している。

表 4-2 新材料サンプルの評価件数

	平成 28 年度 評価件数	平成 29 年度 評価件数 (6 月末時点)	合 計 (モデル別評価件数)
PJ-1 モデル	43 件	6 件	49 件
PJ-2 モデル	14 件	4 件	18 件
PJ-3 モデル	44 件	23 件	67 件
PJ-4 モデル	96 件	48 件	144 件
PJ-5 モデル	15 件	0 件	15 件
合 計	212 件	81 件	293 件

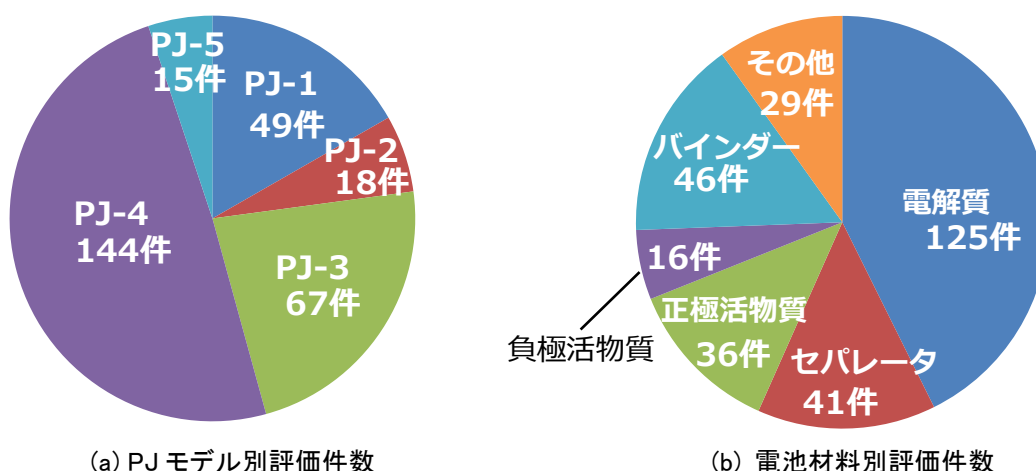


図 4-1 新材料サンプルの評価件数内訳

(3) 材料メーカーに対するアンケート調査

本プロジェクトで開発した評価技術の材料メーカーの開発への貢献を把握するため、平成 29 年 2 月、新材料サンプルを提供した材料メーカー15 社にアンケートを実施した。その結果を整理したものを図 4-2 に示す。本プロジェクトに関与することで得られた成果として、電池作製・評価・分析技術の理解、技術者の育成、実電池による客観評価結果、問題点・課題の抽出、ベンチマーク評価の取得等が挙げられた。材料評価の主な目的は、新規材料開発、性能向上、顧客向けデータ取得であった。評価結果の活用に関しては、開発の方向性判断及び総合評価も「期待どおり」との評価であった。

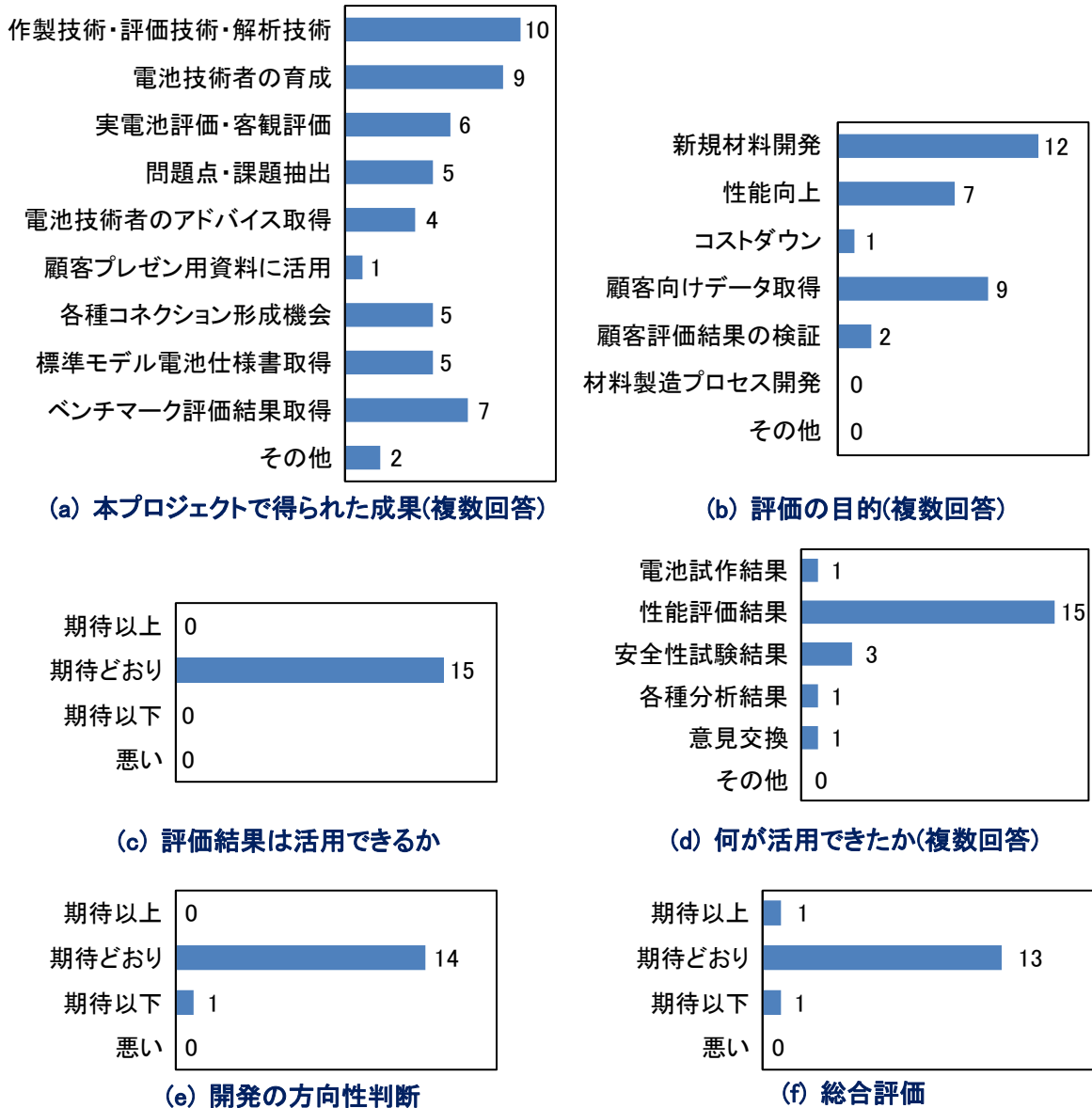


図 4-2 材料メーカーのアンケート結果

上記のアンケート結果を踏まえて、材料メーカー15 社のヒアリングを実施し、詳細な意見を聴取した。その結果、材料メーカーから寄せられた主なコメントを以下に示す。

- ① 評価手順書等は、自社の研究開発を進める上で大変参考になっている。
- ② 自社の評価では入手が困難な標準材料との組合せで特性評価ができ、参考となる。
- ③ 標準電池モデルによる評価で、ガス発生の問題点・影響を明確にすることができた。

- ④ 各種評価や解析技術について、今後の材料開発を進める上で有効な知見になる。
- ⑤ サンプル提供した材料の技術確立と事業化について社内で承認された。また、本技術の発明は社内表彰された。表彰者には本プロジェクトに参画した3名が含まれている。
- ⑥ 評価結果は客観的データとして、自動車・蓄電池メーカーへの提案用として活用している。
- ⑦ LIBTEC の対応が良く、滞りなく物事を進めることができた。(複数社からの回答)
- ⑧ 賛助会員制度を有効活用している。

4.1.2 蓄電池・自動車メーカーに対するアクション

開発した評価技術を産業界の共通指標として機能させるためには、ユーザーサイドの蓄電池・自動車メーカーにも「この評価技術で用いて開発された材料、あるいは取得されたデータであれば信頼できる。」という認識を持たせる必要がある。そのため、「2.4.3 ユーザー企業専門家による進捗点検」で述べたように、蓄電池・自動車メーカー14社の専門家で構成される「アドバイザリー委員会」を設置して、指摘・助言をすくい上げながら、研究開発を進めた。

表 4-3 にアドバイザリー委員会での主な指摘事項とその対応内容を示す。

表 4-3 アドバイザリー委員会の主な指摘事項と対応

指摘事項	指摘事項への対応
耐久性の評価期間をどれだけ短縮できるかが、蓄電池メーカーでの開発コストに関わってくる。耐久性試験のデータだけでなく、その材料の劣化メカニズムが明らかにされている必要がある。	充放電サイクル試験で、電池の放電容量として顕在化しない早期のうちから、電池の内部で起こっている劣化因子を非破壊で連続的に追跡できる評価技術の開発(PJ-1 及び PJ-3 の dV/dQ 解析技術等)を行った。
安全性についてはセルの試験結果だけでは物足りない。昇温速度が小さい、発熱量が少ないといった材料自体の反応挙動に結び付けたデータが示されることが重要である。	高精度熱量計解析によるフルセル特有の発熱挙動のメカニズム解析技術の開発を行った。また、材料メーカーの要求があれば、ARC、DSC、C80 等の測定データも評価報告書に盛り込むようにした。
本質的安全性の確保には、材料からのアプローチが重要であり、材料でどこまで安全性を確保できるかの見極めが大切である。	材料の安全性を多面的に見極めるため、DSC、ARC、精密熱量計解析、ミツバチネイル短絡試験、並列短絡試験等の評価技術を開発した。
車載用(HEV/EV)、定置用、民生用では求められる特性が変わってきている。	PJ-1 及び PJ-3 では、汎用(民生用)、BEV 用、HEV 用及び定置用の電池性能評価手順書を策定した。
放電レート特性は良く取られているが、充電特性のデータが少ない。	PJ-1 及び PJ-3 の BEV 用、HEV 用及び定置用の電池性能評価では、-20~45℃の温度範囲で、10C までの充放電特性の評価を行うようにした。
全固体電池は大面積化した際の必要な圧力、クラックや振動試験時の影響を先行して考えておくべき。	油圧プレスで安定的な加圧が可能な試験法の開発と、クラックの検出に活用するマイクロ X-CT を導入した。

また、平成 29 年 5 月に第 1 アドバイザリー委員会(蓄電池メーカーで構成)を、平成 29 年 6 月に第 2 アドバイザリー委員会(車載用蓄電池メーカー・自動車メーカーで構成)を開催し、過去 4 年間の研究開発の成果を一括とりまとめて報告した。

蓄電池・自動車メーカーの専門家のコメントを以下に示す。

- ① 液系 LIB の標準電池モデルによる評価法は蓄電池メーカーの実用化開発に近いレベル。また、Si 系負極の電極厚みの計測手法は優れている。【蓄電池メーカー】
- ② dV/dQ 解析は自社でもやっているが、十分活用されており、感心した。【車載用蓄電池メーカー】

- ③ 開発した dV/dQ 解析法から得られるデータには様々な情報が含まれ、蓄電池メーカーが行っている種々の材料評価法の代替となる可能性がある。【蓄電池メーカー】
- ④ 液系 LIB、全固体電池ともにバックグラウンドで学際的に綿密な検討をされており、データの信頼性は高い。【自動車メーカー】
- ⑤ 全固体電池の性能向上について良く考えて取り組んでおり、今後の発展が期待できる。全固体電池では界面の評価が特に重要であるが、この部分でも良く検討し、きっちり評価している。【蓄電池メーカー2社】
- ⑥ 個別評価法の中には、高度のノウハウが含まれる一方で、難易度が高く習熟に時間が掛かるものがある。材料メーカーにとっては時間軸が大切なので、LIBTEC より難易度を克服するアドバイスを行って欲しい。さらに、簡略化された評価法の提案にも期待する。【蓄電池メーカー2社】
- ⑦ 研究設備が研究開発の目的に沿ってタイムリーに導入され、また非常に良く整備されている。【蓄電池メーカー2社、車載蓄電池メーカー】
- ⑧ 蓄電池メーカーでも電池の試作・評価は重要なテーマであり、電池特性を精度良く評価するサポート部署が大切である。そういう意味で LIBTEC は良く活動している。【蓄電池メーカー】
- ⑨ LIBTEC は蓄電池メーカーと協力して信頼性のあるデータを出しており、安心できる。また、運営も順調である。【車載用蓄電池メーカー】
- ⑩ 材料メーカーより LIBTEC で評価した材料の提案を受ける機会が増加している。社内でも事前評価無しで材料サンプルが持ち込まれることがあるが、LIBTEC で事前評価が受けられると有り難い。そういう意味で賛助会員制度をスタートしたのは良い。LIBTEC のアドバイスを受けた材料メーカーの材料であれば、蓄電池メーカーも安心した評価が可能である。【蓄電池メーカー】
- ⑪ 材料評価の内容はアプリケーションに対応させる必要があり、蓄電池・自動車メーカー等が評価条件を開示しないとできない面もあるので、今後はユーザー企業とさらに連携を深めていくことが望ましい。【蓄電池メーカー】
- ⑫ LIBTEC はきちんと電池を試作し、妥当な評価法で解析・分析しながら評価していくところまで成長し、完成形に近づいた印象である。一部の評価技術に関しては負けているものもある。蓄電池メーカーでの研究開発との境界線の線引きが難しいが、ここまで来たので、次のことを一緒に考えていきたい。【車載用蓄電池メーカー】
- ⑬ デバイスとしての使われ方、アプリケーション側の要求を意識して材料の評価技術に落とし込み、確立した者がリーダーシップを取り、グローバル標準を獲得することになる。それが今後の LIBTEC の取組の看板になるのではないかと。【自動車メーカー】

4.2 成果の実用化の見通し

4.2.1 先進 LIB の評価技術の今後の展開

先進 LIB の評価技術については、前記「4.1 成果の実用化に向けた取組」で述べた材料メーカーへのアンケート・ヒアリング結果及びアドバイザリー委員会でのユーザー企業専門家のコメントからも窺い知れるように、材料メーカーの開発やユーザーへの提案活動等に活用可能なレベルに仕上がったと考えられる。また、第 1 章で述べた市場・特許・研究開発動向からも明らかのように、先進 LIB は、個々の自動車・蓄電池・材料メーカーが自社のビジネス戦略に基づき、自社製品のカスタマイズを目的とした研究開発を推進していくフェーズに移行している。

従って、先進 LIB の評価技術はプロジェクト第 1 期で完了とし、平成 30 年度より LIBTEC の自主事

業(組合員の賦課金で運営される新材料の評価・コンサルタント事業)において、開発した評価技術を活用していくこととする。「2.3.1 実施者」でも述べたように、LIBTEC は過去の NEDO 事業で開発した現世代 LIB の評価技術を活用し、自主事業を平成 27 年度より行っている。この自主事業には、毎年 10 社以上の材料メーカーが参加し、LIBTEC は 100 件/年以上の評価依頼を受けている。LIB の高容量化・高安全化の要求は高まっており、本プロジェクトで開発した高容量電極材料や難燃性電解液の評価技術をメニューに加え、材料メーカー各社がビジネス展開を狙うアプリケーションに密着した木目細かい評価・コンサルタントを行うことで、この自主事業はさらに発展していくと考える。さらにユーザー企業とのパートナーシップを拡大し、本プロジェクトの成果が国内蓄電池産業全体の開発効率の向上に貢献していくように、LIBTEC の組織運営体系を見直す方針である。

この他、安全性評価技術に関しては、IEC・ISO 規格の審議団体である電池工業会や日本自動車研究所と LIBTEC との間で情報・意見交換を密に行いながら、本プロジェクトで取得したデータ等も提供し、国際標準化の議論に有効活用していく方針である。

4.2.2 全固体電池の評価技術の今後の展開

(1) プロジェクト第 1 期成果の公開

蓄電池を高エネルギー密度化していく技術トレンドにおいて、全固体電池は入出力特性・安全性の確保の面で液系 LIB と比較して多くのメリットが期待できることから、近年、国内外で研究開発が活発化している。小容量の薄膜型の全固体電池については、気相法を適用した製造プロセスが確立されており、IC カード内蔵用として製品化した企業も存在する。しかしながら、高容量が求められる用途に適用するバルク型の全固体電池については、厚膜化を実現できる高イオン伝導性を有した電解質、電極活物質と電解質の界面における副反応抵抗層の解消技術等、難易度の高い技術課題が数多く存在している。加えて、セルの材料構成、構造形式、量産プロセス等の方向性が定まっておらず、様々な研究者が個々のアイデア・コンセプトに基づいた研究開発を行っている。そのため、材料特性やセル特性を横並びで比較評価が可能な評価法は存在しておらず、各研究者が自身の判断基準で研究開発を進めており、国全体で見た場合に研究開発投資の効率の低下を招いている可能性がある。

そのため、本プロジェクトで開発した圧粉成形タイプの標準電池モデル(2mAh 級コインセル)、シート成形タイプの標準電池モデル(8mAh 級及び 50mAh 級ラミネートセル)、参照極を用いた Li 析出検出技術、負極内イオン伝導分離測定法、面内反応分布解析技術等については、プロジェクトの第 1 期終了後、国内産業界・アカデミアに対して広く共有する方針であり、その公開内容・方法・時期等を現在、検討中である。この公開により、新規参入や異分野の研究者にも門戸が開かれ、全固体電池の研究開発の底上げと裾野の拡大が図られることが期待される。

(2) プロジェクト第 2 期の取組

上記したように、バルク型全固体電池には難易度の高い技術課題が数多く残されており、実用化に向けては国内企業が幅広く協調・連携するとともに、アカデミアの公的研究成果や科学的知見も活用した研究開発を行う必要がある。とりわけ、全固体電池の実用化が最も期待されている用途である EV・PHEV 用車載蓄電池において、どのような開発目標仕様を設定し、どのようなセルデザイン、どのような生産プロセスを適用してセルの大型化・量産化・低コスト化等に対応するのかについては具体的な方向性が定まっていない。

そのため、本プロジェクトの第 2 期(2018~2022 年度:5 年間)においては、市場競争力のある全固

体電池とEV・PHEVの実用化で先手を取り、日本に有利なビジネス環境を創造することを狙って、下記(i)～(iv)に示す研究開発に取り組む方針であり、現在、経済産業省・NEDOが中心となって産業界との意見交換を進めている。

(i) 第1世代全固体電池に係る研究開発

第1世代全固体電池(2025年頃に量産化を想定。硫化物系電解質を適用。)の大型化・量産化のボトルネックとなっている技術課題を解決する基盤技術を検討する。

- ・固体電解質の量産・低コスト化合成技術
- ・電極設計技術
- ・電極活物質への電解質コーティング技術
- ・電極・電解質シートの塗工技術等

上記の検討結果を用いて、第1世代全固体電池に用いる新材料・部品を組み込み、セルとしての性能・耐久性・安全性を評価することで、新材料・部品の得失や技術課題等を把握するための標準電池モデル(20Ah級)を開発する。

また、企業が開発した新材料・部品サンプルを受け入れて標準電池モデルで評価を行い、開発した評価技術の妥当性を検証するとともに、評価結果を分析して実用化課題を抽出し、サンプル提供者にフィードバックする。

(ii) 次世代全固体電池に係る研究開発

次世代全固体電池(2030年頃に量産化を想定。高性能硫化物系電解質または酸化物系電解質を適用。)として、第1世代全固体電池からの性能向上や低コスト化を実現するための基盤技術を検討する。

- ・高性能固体電解質材料の適用技術
- ・固体電解質-電極活物質界面の抵抗低減技術
- ・高性能電極活物質の適用技術
- ・専用外装構造、バイポーラ積層等

上記の検討結果を用いて、次世代全固体電池に用いる新材料・部品を組み込み、セルとしての性能・耐久性・安全性を評価することで、新材料・部品の得失や技術課題等を把握するための標準電池モデル(1Ah級)を開発する。

また、企業・大学等が開発した新材料・部品サンプルを受け入れて標準電池モデルで評価を行い、開発した評価技術の妥当性を検証するとともに、評価結果を分析して実用化課題を抽出し、サンプル提供者にフィードバックする。

(iii) 共通基盤技術の研究開発

全固体電池のセル及び電池パックの諸特性や不安全化・劣化及び熱的挙動を計算機シミュレーションによって予測・把握する技術を開発する。

また、国際規格・基準への反映を視野に入れた全固体電池の安全性・耐久性試験法を開発する。さらに、全固体電池の劣化機構解析・現象解明を行い、セル及び構成材料・部品の劣化要因マップを策定するとともに、劣化加速試験法を開発する。

加えて、我が国の蓄電池関連産業の競争力の維持・向上に資するビジネスと一体となった全固体電池の国際標準化戦略を策定する。

(iv) 政策・市場・研究開発動向に係る調査研究

全固体電池及びEV・PHEVに係る国内外の政策・市場・研究開発動向の調査・分析を行い、

社会システム全体のシナリオ・デザインや標準化戦略等を組み立てながら、前記(i)～(iii)の研究開発を進める。なお、シナリオの構築にあたっては、エネルギー・鉱物資源、リユース・リサイクル、EV・PHEV 充電インフラ等も視野に入れた全体的な社会システムデザインを検討する。

4.3 波及効果

(1) オープンイノベーションの加速

本プロジェクトでは、集中研究拠点である LIBTEC において材料・蓄電池・自動車メーカーが出向協働で研究開発に取り組んでいる。このように、同業-異業者であったり、川上企業-川下企業の研究者が協働し、ニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られることにより、これまで垂直連携を基本として展開されてきた我が国の蓄電池の研究開発において、オープンイノベーションが加速される。

(2) 学術成果の産業技術としての引き上げ

本プロジェクトでは、全固体電池(硫化物系)については平成 27 年度より「ALCA-LIBTEC 連携会議」を設置している。「3.1.5 全固体電池(PJ-5)の成果の一例」で述べたように、ALCA-SPRING プロジェクトの硫化物全固体電池チームで開発された新材料のサンプルを受け入れ、電池試作・評価を行った結果、3 件の有望材料・技術(液相法による電解質コート技術、電解質充填の多孔樹脂シート、熱分解性バインダー)を見出している。今後も、ALCA-SPRING プロジェクトとは連携を継続していく方針であり、学術成果の産業技術としての引き上げ(橋渡し)に貢献していく。

(3) 人材育成を通じた技術レベルの向上

材料メーカーからの出向研究員が蓄電池メーカー出身の LIBTEC のマネージャーの指導の下、蓄電池の評価技術の開発に携わることで、蓄電池の設計～作製～評価に関する技術を習得している。これまでに受け入れた出向研究員は延べ 48 名である。LIBTEC 出向経験者は、蓄電池の設計及び試作・評価のノウハウを所有しないが材料メーカーにとっては貴重な戦力であり、帰任後、蓄電池材料開発におけるキーパーソンとなっている。