

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)」
(中間評価)分科会
資料 7-1

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)」

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 次世代電池・水素部 蓄電技術開発室
-----	--

目次

概要

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
1.1.1 本事業の目的	1 - 1
1.1.2 市場動向	1 - 3
1.1.3 技術動向	1 - 6
1.1.4 上位施策・制度への寄与	1 - 23
1.2 NEDOの事業としての妥当性	1 - 25
1.2.1 NEDOの関与の必要性	1 - 25
1.2.2 実施の効果	1 - 27

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	2 - 1
2.2 研究開発計画の妥当性	2 - 3
2.2.1 研究開発内容	2 - 3
2.2.2 研究開発スケジュール	2 - 5
2.2.3 研究開発費	2 - 6
2.3 研究開発実施体制の妥当性	2 - 7
2.3.1 実施者の技術力・実用化能力について	2 - 9
2.3.2 指揮命令系統・責任体制	2 - 9
2.4 研究開発の進捗管理の妥当性	2 - 10
2.4.1 NEDOによる進捗管理	2 - 10
2.4.2 実施者による進捗管理	2 - 12
2.5 知的財産に関する戦略の妥当性	2 - 12
2.5.1 知的財産戦略	2 - 12
2.5.2 知的財産マネジメント	2 - 13
2.6 国際標準化について	2 - 13

第3章 研究開発成果について

3.1 「研究開発項目① 共通基盤技術開発」の研究開発成果	3 - 1
3.1.1 要素技術に関する研究開発成果	3 - 1
3.1.2 材料特性評価技術の開発	3 - 15
3.1.3 シミュレーション技術の開発	3 - 17
3.1.4 試験評価法の開発	3 - 20
3.1.5 中間・最終目標達成に向けた取組	3 - 24
3.2 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の研究開発成果	3 - 25

3.2.1 検討の流れ	3 - 25
3.2.2 ユーザー意識調査	3 - 26
3.2.3 全固体 LIB 搭載車の導入シナリオの検討	3 - 31
3.2.4 国内乗用車普及台数の推計	3 - 33
3.2.5 中間・最終目標達成に向けた取組	3 - 36
3.3 成果の普及	3 - 37
3.3.1 特許出願・対外発表実績	3 - 37
3.3.2 情報発信	3 - 37

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	4 - 1
4.1.1 開発成果の参加企業の活用に向けた取組	4 - 1
4.1.2 材料特性評価技術の産業界・学界の活用に向けた取組	4 - 3
4.1.3 国内標準化関係者との研究開発情報の共有	4 - 5
4.1.4 企業を交えた「社会システムデザインの検討」の実施	4 - 5
4.2 成果の実用化の見通し	4 - 6
4.3 波及効果	4 - 7
4.3.1 オープンイノベーションの推進	4 - 7
4.3.2 人材育成	4 - 7
4.3.3 全固体 LIB の他用途への展開	4 - 8

(添付資料)

基本計画	添付資料 1
事前評価結果	添付資料 2
パブリックコメント募集結果	添付資料 3
特許論文等リスト	添付資料 4

概要

		最終更新日	2020年9月29日	
プロジェクト名	先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)	プロジェクト番号	P18003	
担当推進部/ PMまたは担当者	<p>次世代電池・水素部 蓄電技術開発室 PM 細井 敬(2018年4月～現在) 担当者 田所 康樹(2018年4月～現在)、北山 賢一(2018年4月～現在)、 中島 港人(2018年11月～現在)、中村 将司(2019年4月～現在)、 奥村 貴典(2020年4月～現在)、曾我 巖(2020年4月～現在)、 山本 孝博(2020年4月～現在)、 相原 茂(2018年4月～2020年3月)、宮本 潤一(2018年4月～2020年3月)、 豊川 卓也(2018年4月～2019年3月)、内田 雄輔(2018年4月～2020年3月)、 安井 あい(2018年4月～2020年3月)、佐藤 恵太(2018年4月～2018年10月)</p>			
0. 事業の概要	<p>コストパフォーマンスに秀でた全固体リチウムイオン電池(LIB)及びそれを搭載した電気自動車(EV)及びプラグインハイブリッド自動車(PHEV)の市場投入により、世界全体の環境・エネルギー問題に貢献するとともに、我が国の産業競争力を維持・向上することをねらいとして、国内企業(自動車・蓄電池・材料メーカー等)が幅広く協調・連携するとともに、大学・研究機関の公的研究成果や科学的知見も活用する体制を構築して、産業界の共通指標として機能する全固体 LIB の材料評価技術を中心とした共通基盤技術を開発する。</p> <p>また、本事業の成果を産業界の競争力として結実させるためのビジネスと一体となった国際標準化戦略の策定、国際規格化を想定した安全性・耐久性試験評価法の開発、国内外の政策・市場・研究開発動向の調査・分析に基づいた社会システムのシナリオ・デザインの検討等を行う。</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 本事業の目的</p> <p>本事業のねらいは、EV・PHEV の利便性向上と低価格化を同時実現する上で最も有望なアプローチと考えられる全固体 LIB について、その実用化で日本が世界の先手を取るとともに、その後の技術革新も日本が世界をリードしていくことである。そして、日本の蓄電池関連産業界にとって有利なビジネス環境やサプライチェーンを創造することを目指している。これらを実現するため、本事業においては、産業界の共通指標(ものさし)として機能する全固体 LIB の材料評価技術を中心とした共通基盤技術の確立とそのプラットフォームの構築に取り組むこととしている。取組の概要を以下に示す。</p> <p>「研究開発項目① 共通基盤技術開発」</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 全固体 LIB 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要素技術及び全固体 LIB の更なる性能向上・低コスト化を実現するための要素技術を開発する。 2) 全固体 LIB への適用を想定し、今後、企業・大学等で開発される新材料をセルに組み込み、特性評価を行って、実用化課題や改良の方向性等を洗い出し、サンプル提供者にフィードバックするための特性評価の体系を構築する。 3) 上記の特性評価に用いるセル(以下、「標準電池モデル」という。)を、全固体 LIB の量産を想定した工業的な製造プロセス・装置を用いて作製する技術体系を構築する。 4) 実用サイズのセル及び車載電池パックの充放電特性や発熱挙動・温度分布等を予測する計算機シミュレーション技術を開発する。 5) 車載バッテリーの国際標準試験法としての発展を見据え、全固体 LIB の性能試験法及び安全性試験法を開発する。また、全固体 LIB の劣化解析・現象解明を行い、セル及び構成材料・部品の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。 <p>「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」</p> <p>自動車市場、車載バッテリー、充電インフラ等に係る政策・市場、ユーザーニーズ、バリューチェーン、リユース・リサイクル等について、現状の動向把握と将来分析を行うことにより、本事業の成果を産業競争力として結実させるための社会システムのシナリオ・デザインをとりまとめる。</p> <p>1.1.2 市場動向</p> <p>液系 LIB の市場規模は現在、約5兆円であるが、2025年には約12兆円、2035年には約24兆円に成長すると予測されている。この市場拡大を牽引するのが、EV・PHEV等の次世代自動車用の液系 LIB である。そこで中国及び韓国の蓄電池メーカーは液系 LIB の生産設備投資を精力的に進めている。特に中国政府による手厚い EV・PHEV 導入補助金政策の恩恵を受けた中国蓄電池メーカーの躍進には目覚ましいものがあり、最近では、欧米自動車メーカーのみならず、日系自動車メーカーからも車載バッテリーを受注するようになってきている。この結果として、日系蓄電池メーカーは生産・販売量は増やしているものの、シェアは大きく低下している。</p> <p>そのため、日系蓄電池メーカーが市場プレゼンスを向上させるためには、先を見据えた次の一手が</p>			

必要であることは明白である。そして、ハイスペック化と低コスト化を両立させた全固体 LIB を早期に製品ラインナップ化することが最善手である可能性が高い。

1.1.3 技術動向

自動車ユーザーの EV 購入意欲を掻き立てると同時に、自動車メーカーの EV・PHEV ビジネスを加速させるには、車載バッテリーについて信頼性・安全性を損ねることなく、エネルギー密度を向上させることにより、低コスト化及び軽量・コンパクト化を図る必要がある。しかしながら、この課題を液系 LIB で解決するのは難しく、全固体 LIB が注目されている。全固体 LIB は無機固体電解質(硫化物あるいは酸化物のリチウムイオン伝導体)の化学的安定性(実用的な高電圧耐性)を活かし、液系 LIB の有機溶媒電解液では分解・ガス発生が起きる高電圧条件でもセルを動作させることができる。そのため、セルのエネルギー密度を数 10%程度、向上させることができる。また、無機固体電解質の熱的安定性を活かし、電池パックの冷却システムの小型化あるいは不要化が期待できる。さらに、無機固体電解質は不燃性であり、発火リスクが大幅に低減するため、電池パックの安全系システムの簡素化も期待できる。電解液の漏液の問題もない。その結果として、1/2～1/3 のオーダーで電池パックの小型化と低コスト化が期待できる。加えて、無機固体電解質はシングルイオン伝導体であるため、輸率が 1 となり、入出力特性が格段に向上し、数倍レベルでの「超急速充電」の実現も期待できる。

そのため、世界中の研究機関や企業で精力的な研究開発が進められている。公的資金による研究開発も主要国で行われており、本事業に加えて、科学技術振興機構(JST)の「戦略的創造推進事業／先端的低炭素化技術開発／次世代蓄電池」(ALCA-SPRING)、米国エネルギー省(DOE)のエネルギー効率・再生可能エネルギー局(EERE)の「Advanced Battery Materials Research」(BMR)及びエネルギー先端研究計画局(ARPA-E)の「IONICS」、ドイツ連邦教育研究省(BMBF)の「FestBatt」、英国ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)の「Ftaday Battery Challenge」、中国「新エネルギー車試行特別プロジェクト」等で全固体電池が研究されている。

論文発表動向としては、2001 年の 52 件から 2019 年の 1,126 件と 20 倍以上に発表件数が増加している。19 年間の累積の総論文発表件数は 4,880 件であり、国別の発表件数で見ると、主要国で大差は無いものの、直近の 5 年間では中国の発表件数が急増しており、今後、中国が日本を含め他国を圧倒する可能性が高い。

特許動向としては、2001 年～2018 年の過去 18 年間における全世界での全固体電池の特許出願件数の推移を見ると、2000 年代前半は 200 件／年以下であったが、2006 年より急増し、2017 年以降、約 1,000 件／年以上となっている。また、2016 年より中国の出願件数が日本を上回るようになっており、18 年間の累積の特許出願件数ではまだ日本は他国をリードしているものの、将来、中国に追い抜かれる可能性が高い。ただし、出願人別の出願件数では上位 20 位内に日本企業 14 社が入っており、非常に多くの技術蓄積があることが分かる。

1.1.4 上位施策・制度への寄与

蓄電池に関しては、これまで我が国の様々な政策において研究開発の必要性・重要性が謳われてきている。このうち、本事業が密接に関連し、その目標達成に寄与する上位施策は以下のとおりである。

- ① 未来投資戦略 2018(2018 年 6 月閣議決定)
- ② エネルギー基本計画(2018 年 7 月閣議決定)
- ③ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(2019 年 6 月閣議決定)
- ④ 革新的環境イノベーション戦略(2020 年 1 月統合イノベーション戦略推進会議決定)

1.2 NEDO の事業としての妥当性

1.2.1 NEDO の関与の必要性

本事業が取り組む全固体 LIB の共通基盤技術の開発については、下記①～⑥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)
- 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 過去の蓄電池材料評価技術開発事業におけるマネジメント経験の活用
- ⑥ 国内の蓄電池開発事業間の連携促進

1.2.2 実施の効果

本事業の成果が国内産業界に普及・定着することによる効果、及び本事業を実施すること自体の効果として、下記の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の短縮
- 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 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

また、国内産業界による全固体 LIB の手の内化によって、全固体 LIB を搭載した EV・PHEV の実

用化・普及が進むことで、以下に示す経済効果とCO₂削減効果が得られる。

<経済効果>
 車載バッテリーの年間売上としての経済効果は2035年が約6,700億円/年、2040年が約9,300億円/年となる。なお、EV・PHEVの価格を200万円とした場合、その年間総売上としての経済効果は2030年が約5兆円/年、2040年が約7兆円となる。

<CO₂削減効果>
 全固体LIB搭載のEV・PHEVの普及開始10年後となる2035年の累積普及台数は475万台となり、約700万トン/年のCO₂排出量の削減を実現する。また、普及開始15年後となる2040年の累積普及台数は775万台となり、約1,200万トン/年のCO₂排出量の削減を実現する。

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」

【中間目標】(2020年度末)

- 1) 第1世代全固体LIBの大型化・量産化に必須となる固体電解質の量産、電極設計、電極活物質粒子への電解質コーティング、合剤電極の塗工及び電極厚膜化・大面積化等の要素技術を開発する。
- 2) 第1世代全固体LIBに用いられる新材料について性能、耐久性、安全性・信頼性を大型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 3) 量産プロセスをモデル的に再現した標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 4) 次世代全固体LIBとして、第1世代全固体LIBからの飛躍的な性能向上を実現する高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等の候補材料を選定する。
- 5) 次世代全固体LIBでユーザー訴求力を有したEV・PHEV用の電池パックを実現するための外装パッケージ構造及びセル積層構造の候補を抽出する。
- 6) イオン濃度・輸送の理論モデルに基づいて、セルの不安定化・劣化、熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。また、車両走行パターンにおける電池モジュール・パックの充放電・熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。
- 7) 将来の国際規格・基準への反映を想定した全固体LIBの試験評価法としての試験項目をリストアップし、試験条件・方法・クライテリア等を明確化する。

【最終目標】(2022年度末)

- 1) 第1世代全固体LIBの標準電池モデルを用いた材料評価技術について、産業界における新材料開発の進展に対応した見直しを行い、性能、耐久性及び安全性・信頼性に加えて、量産への適合性も評価可能な技術として仕上げる。
- 2) 高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等を次世代全固体LIBに適用するための電解質-電極活物質の界面形成技術を開発するとともに、合剤電極での配合比や電極構造の最適化を行う。
- 3) 次世代全固体LIBに適用する外装パッケージ構造及びセル積層構造のコンセプトを策定する。
- 4) 次世代全固体LIBに用いられる新材料について性能、耐久性及び安全性・信頼性を小型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 5) 次世代全固体LIBの標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 6) 国際規格・基準への反映を想定した全固体LIBの試験評価法の原案を策定する。
- 7) 全固体LIBの耐久性試験データや劣化メカニズム解析、劣化現象解明の結果に基づき、全固体LIBの劣化・不安定化要因マップを策定する。また、長期耐久性を短期間で予測可能な劣化加速試験法を開発する。
- 8) 全固体LIB及び全固体LIBを搭載したEV・PHEVの国際標準化戦略・方針を策定する。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」

【中間目標】(2020年度末)

国内外の政策・市場・研究開発動向等の調査・分析結果に基づき、エネルギー・資源、リユース・リサイクル産業、充電インフラ等も視野に入れた全固体LIB及びEV・PHEVを取り巻く社会システムの将来像を提示する。

【最終目標】(2022年度末)

本事業の成果を産業競争力として結実させるための社会システムのシナリオ・デザインをとりまとめる。

	主な実施事項	2018FY	2019FY	2020FY	2021FY	2022FY	
事業の計画内容	研究開発項目①						
	第1世代全固体 LIB の共通基盤技術	←					→
	次世代全固体 LIB の共通基盤技術	←					→
	シミュレーション技術	←					→
	試験評価法	←					→
	研究開発項目②						
	社会システムデザインの検討	←					→
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	2018FY	2019FY	2020FY	2021FY	2022FY	総額
	一般会計						
	特別会計(需給)	1,531	2,095	2,130			5,756
	開発成果促進財源						
	総 NEDO 負担額	1,531	2,095	2,130			5,756
	(委託)	1,531	2,095	2,130			5,756
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 素材産業課、自動車課					
	プロジェクトリーダー	プロジェクトリーダー(PL) 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) 常務理事 石黒 恭生 サブプロジェクトリーダー(SPL) 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) 第1研究部 部長 阿部 武志 第2研究部 部長 蕪木 智裕 第3研究部 部長 福岡 歩 第4研究部 部長 川合 光幹					
	プロジェクトマネージャー	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 次世代電池・水素部 統括研究員 兼 蓄電技術開発室長 細井 敬					
	委託先 (組合が委託先に含まれる場合は、その参加企業数及び参加企業名も記載)	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) (参加 24 機関) 旭化成、出光興産、クラレ、GS ユアサ、JSR、住友金属鉱山、大日本印刷、東レ、凸版印刷、トヨタ自動車、日産化学、日産自動車、日本触媒、パナソニック、ビークルエナジージャパン、富士フイルム、本田技術研究所、マクセル、三井化学、三井金属鉱業、三菱ケミカル、村田製作所、ヤマハ発動機、産業技術総合研究所 (再委託 7 機関) 京都大学、早稲田大学、東京大学、鳥取大学、大阪大学、東北大学、産業技術総合研究所 産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所(2018年度のみ)、大阪産業技術研究所、大阪府立大学、九州大学、京都大学、群馬大学、甲南大学、東京工業大学、豊橋技術科学大学、名古屋大学(再委託:オハラ)、兵庫教育大学、北海道大学、日本自動車研究所					

研究開発の進捗管理	<p>NEDO による進捗管理としては以下を実施。</p> <p>① NEDO 担当者による進捗管理。 本事業の研究開発テーマ毎に複数名の NEDO 担当者を配置。実施者の研究進捗を常に把握するとともに、目標への到達度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等も分析・評価しながら、事業のマネジメントを推進している。</p> <p>② 外部有識者による進捗点検(「NEDO 技術委員会」の開催)。 外部有識者で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を設置・運営し、研究開発内容に関する技術的な助言や事業全体の運営管理に関する助言・指摘をすくい上げながら、事業を推進している。NEDO 技術委員会での助言・指摘は、必要に応じて、事業の実施方針や各実施者の研究計画に反映している。</p> <p>③ サテライト機関のステージゲート審査の実施。 本事業の研究進捗管理の一環として、サテライトの各大学・研究機関が実施している個別の研究開発を対象とし、これまでの研究開発成果、今年度末の目標達成の見通し、本事業への貢献(集中研究拠点との連携)、成果の産業界での利活用の見通し等を考慮したステージゲート審査を行う予定である。</p> <p>実施者による進捗管理としては以下を実施。</p> <p>① 「PL・SPL 会議」「PL 報告会」を毎週開催。 PL・SPL 間で各研究開発チームの研究進捗を共有。</p> <p>② 「研究開発チーム会議」を 2～3 ヶ月に 1 回開催。 研究開発チーム内で研究進捗を共有。</p> <p>③ 「LIBTEC/SOLiD-EV 技術委員会」を 3 ヶ月に 1 回程度開催。 参画企業の開発責任者等と研究進捗を共有。</p> <p>④ 「SOLiD-EV シンポジウム」を年に 1 回(もしくは 2 回)開催。 本事業の関係者全員で事業全体の研究進捗を共有。</p>						
知的財産に関する戦略	<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。</p> <p>本事業の成果となる材料特性評価技術(標準電池モデル、材料特性評価の条件・要領・手順、個別の物性測定・分析評価手法等)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する。</p> <p>一方、要素技術開発の成果(要素技術開発の過程で創出される材料発明を含む。)については、以下に示す戦略を取る。</p> <p>① 全固体 LIB ビジネスの武器となる基本特許の創成活動を推進する。</p> <p>② 国外特許出願を積極的に行う。</p> <p>③ 電極活物質・電解質等の材料発明は積極的に権利化する。</p> <p>④ 製造方法や運転・制御方法等の発明は、原則、ノウハウとして秘匿化する。</p>						
国際標準化	<p>新規技術である全固体 LIB のグローバル市場への投入と普及拡大に向けては、性能・品質、安全性、互換性等の統一的なルールとなる国際規格の整備が必要となる。全固体 LIB の標準化の方向性としては、全固体 LIB が持つ高い耐久性・安全性の価値を客観的に浮かび上がらせて、ユーザーに高い訴求力を示すための試験評価法の国際標準化に取り組む必要がある。</p> <p>また、この試験評価法の国際標準化を迅速・円滑に進めるには、ISO、IEC 等の国際標準化機関における議論を早く始めることが重要である。そのため、本事業における研究開発成果が速やかに国際標準化機関における議論の場で活用されることを目的として、車載/バッテリーに関する国内標準化関係者との会合を定期的に持ち、研究開発の状況を共有するとともに、意見・助言をすくい上げて研究開発活動に反映する。</p>						
評価に関する事項	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="307 1564 535 1627">事前評価</td> <td data-bbox="535 1564 1342 1627">2017 年度実施 担当部 スマートコミュニティ部</td> </tr> <tr> <td data-bbox="307 1627 535 1691">中間評価</td> <td data-bbox="535 1627 1342 1691">2020 年度 中間評価実施</td> </tr> <tr> <td data-bbox="307 1691 535 1751">事後評価</td> <td data-bbox="535 1691 1342 1751">2022 年度 事後評価実施(予定)</td> </tr> </table>	事前評価	2017 年度実施 担当部 スマートコミュニティ部	中間評価	2020 年度 中間評価実施	事後評価	2022 年度 事後評価実施(予定)
事前評価	2017 年度実施 担当部 スマートコミュニティ部						
中間評価	2020 年度 中間評価実施						
事後評価	2022 年度 事後評価実施(予定)						

3. 研究開発成果について

3.1 「研究開発項目① 共通基盤技術開発」の研究開発成果

3.1.1 要素技術に関する研究開発成果

イオン伝導性を損なわずに正負極間の絶縁を担保した上で化学的反応性に富む固体電解質層を薄膜化すること、電極内での活物質・電解質粒子の凝集及び粒子間空隙の発生、電極自体のひび割れの発生等を抑制しつつ、活物質の充填比率を高め、かつ厚膜化することにより電極の高容量化を図ること、「活物質と電解質の界面において高抵抗の副反応被膜層の生成を抑制し、電極の高入力化を図ること等を目的として、第1世代全固体LIBの各種要素技術の開発を進めた。

上記した要素技術の開発成果を取り込んだ実証セルを試作し、体積エネルギー密度 450Wh/L 以上及び 6C レート充電を実証し、開発した要素技術の妥当性を検証した。また、固体電解質粒子の微細化の検討、ニオブ酸リチウムを用いた正極活物質の被覆プロセス条件の適正化の検討、その被覆状態の評価技術の開発、負極活物質(黒鉛)の選定基準の検討、負極内イオン輸送抵抗の低減の検討、三極セルを用いた電極の電位・抵抗の分離計測手法の開発等を実施した。

次世代全固体LIBの要素技術開発としては、主に以下に示す検討を実施した。

- ① 合剤正極の厚膜化
- ② 電極の高容量化・高電位化
- ③ 高安定性固体電解質の創出に向けた検討

3.1.2 材料特性評価技術の開発

今後、企業・大学等で開発される全固体LIB用の新材料サンプルについて、セルとしての特性評価を行って、新材料の得失、技術的課題及びセル量産プロセスへの適合性等を把握することに使用する標準電池モデル(セル)の開発を進めた。その結果、体積エネルギー密度 200Wh/L の□2cm 単層セルの標準電池モデルの開発が完了した。

3.1.3 シミュレーション技術の開発

Newmanモデルをベースにして、液系LIBとは異なってくる全固体LIBの電極構造情報、すなわち、電極内の空隙の存在及び活物質と電解質の接触状態を考慮したマクロ電極モデルを開発した。□2cm 単層セルの実際の放電曲線を再現できることを確認した。

EVの走行時や急速充電時のセル及び電池パックの発熱挙動を予測する手法の開発を進めた。マクロ電極モデルの計算体系を一部簡略化して汎用有限要素法の物理シミュレーションソフトに組み込み、3次元のセルの伝熱計算モデルを構築した。0.3C放電時の温度上昇の計算結果と実測値を比較した結果、概ね一致することが確認された。また、液系LIBで実績のある電池パック解析モデルに、全固体LIBのセル解析モデルを組み込み、セル形状・寸法が異なる電池パックの発熱挙動の解析を行った。

3.1.4 試験評価法の開発

IEC 62660-1「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -性能試験-」に規定されている各性能試験項目について、試験温度範囲を広げて実施した。その結果、液系LIBでは電解液の分解によるガス発生が起きる80℃以上でも全固体LIBは問題なく作動することを確認した。

また、IEC 62660-2「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -信頼性・乱用試験-」及びIEC 62660-3「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -安全性要求事項-」に規定されている各安全性試験が全固体LIBにも適用可能かを検討した結果、強制内部短絡試験(FISC試験)のみが適用困難であるとの結論に至った。そのため、セルの解体が不要でかつ拘束状態でも試験が可能となる釘刺し方式の内部短絡試験法を開発した。

3.2 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の研究開発成果

3.2.1 検討の流れ

社会システムデザインの検討を以下に示す流れで実施した。

- ① 一般ユーザー及び法人ユーザーを対象としたEV・PHEVの受容性調査を実施。その結果に基づいて、国内乗用車普及台数推計ツールを作成する。
- ② 全固体LIB及び競合技術となる液系LIBについて、市場・技術動向を整理した上で、性能向上やコストダウン見通しを検討。
- ③ 全固体LIB搭載EV・PHEVの市場導入シナリオ(車両スペック・価格、市場投入タイミング等)を設定し、上記①で作成した普及台数推計ツールを用いてEV・PHEV(全固体LIB搭載車及び液系LIB搭載車)の普及台数を推計。
- ④ 上記③で推計されるEV・PHEVの普及台数を全固体LIBの開発・実用化がもたらす社会的インパクトとして定義し、これを実現するために必要とされる施策を検討。
- ⑤ 全固体LIB搭載EV・PHEVの広範な普及が実現した際の社会システム像を整理。

3.2.2 ユーザー意識調査

自動車ユーザー1,423人(EV・PHEVユーザー227人を含む)に対して、一般アンケート調査及びコンジョイントアンケート調査を実施し、EV・PHEVの受容性や次回購入する自動車に対する意識(価格、ランニングコスト等の属性の重要度)を把握した。

<p>3.2.3 全固体 LIB 搭載車の導入シナリオの検討 全固体 LIB 搭載車の普及初期におけるターゲット市場としては、経済性が成立しやすい都市内で利用される商用車を選定した。商用車での普及が拡大することにより、全固体 LIB のコストダウンが進み、全固体 LIB 搭載車とガソリン車の価格差が縮まることでユーザーの利便性・経済性が改善し、乗用車としての普及拡大に繋がると考えられる。</p> <p>3.2.4 国内乗用車普及台数の推計 E.M.Rogers によって提案されたイノベーションモデル(理論)に基づいた国内乗用車普及台数推計ツールを作成し、全固体 LIB 搭載車を含めた国内乗用車普及台数推計のケーススタディを行った。 その結果、EV・PHEV の普及に対して、全固体 LIB の導入が大きな社会インパクトを与えることが分かった。具体的には、EV・PHEV 保有台数は液系 LIB のみ場合に比べて約 360 万台(24%)の増加効果が得られること、さらに「継ぎ足し充電」での運用により 37 万台上積みが見込めることが確認された。 今後は、台数推計に基づいたインパクト分析における残課題への対応や定量的評価の追加等を継続して行うとともに、ユーザーの動向を注視しつつ、社会システム将来像のブラッシュアップと実現への課題の明確化を進め、社会システムデザインを描いていく。</p>	
投稿論文	「査読付き」5 件
特許	出願済 4 件(うち外国出願 1 件) (2020 年度中に 7 件を追加予定)
その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演は国内外を含めて 47 件(2020 年度中に 12 件を追加予定)、 学術誌等へは 5 件(2020 年度中に 2 件を追加予定) 寄稿

本事業における成果の実用化の考え方は、以下のように定義した。

本事業における成果の実用化の考え方(定義)

本事業の成果(全固体リチウムイオン電池の共通基盤技術及び社会システムのシナリオ・デザイン)が、材料メーカー・大学等における新材料の研究開発や自動車・蓄電池メーカーにおける電動車及び車載バッテリーの研究開発に活用されること。

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見直し

- 4.1 成果の実用化に向けた取組
上記した定義に基づく成果の実用化に向けた基本的な戦略と具体的な取組は以下のとおりである。
- 4.1.1 開発成果の参加企業の活用に向けた取組
本事業の集中研究拠点である LIBTEC には、全固体 LIB や車載バッテリーで豊富な技術蓄積を有する材料・蓄電池・自動車メーカー 23 社より、研究者・エンジニアを出向研究員として受け入れ、各社の技術シーズ・ニーズを循環させつつ、大学・研究機関のサイエンスの知見を取り入れて研究開発を進めている。こうした企業間連携及び産学連携により価値を高めた技術の有用性は、各出向研究員が強く実感しており、各出向研究員が出向元企業に復帰することで、自ずと参加企業内で活用され、その後、産業界全体に浸透していくと考えられる。
この産業界浸透の迅速化をねらい、事業期間中より、参加企業の開発担当者に対しても研究開発情報をタイムリーに共有し、開発技術の有用性を認知させることを基本戦略として、以下に示す取組を進めた。
- ①「SOLiD-EV 技術委員会」の開催(開催実績:7 回)
 - ②「SOLiD-EV 技術シンポジウム」の開催(開催実績:3 回、各回参加人数:約 150~190 名)
 - ③ 参加企業に対する「個別限定情報」の開示(開示実績:157 件)
 - ④ 研究設備の企業見学会の開催(開催実績:29 回)
- 4.1.2 材料特性評価技術の産業界・学界の活用に向けた取組
本事業で開発している全固体 LIB の材料特性評価技術については、材料メーカーのみならず、大学・研究機関も広く活用して、我が国における全固体 LIB の研究開発を効率的に進め、日本が全固体 LIB の技術進化でリードする状況を作る必要がある。
この材料特性評価技術の産業界・学界への浸透には、実際のユーザーの立場で成果を利用してもらい、その有用性を実感させるのが最も効果的である。そのため、事業期間中より、新材料の受入れと電池試作・評価、標準電池モデルの提供を行うことを基本戦略として、以下に示す取組を進めた。
- ① 新材料の受入れと電池試作・評価(サンプル評価実績:62 件)
 - ② 大学・研究機関への標準電池モデルの提供(提供実績:6 機関)
 - ③ 全固体 LIB の特性評価及び分析・解析に係るドキュメント類の整備(文書発行実績:69 件)

4.1.3 国内標準化関係者との研究開発情報の共有
 試験評価法の国際標準化を迅速・円滑に進めるには、国際標準化機関における議論を早く始めることが重要である。そのため、事業開始初年度より、国内の標準化関係者と定期的に会合を持ち、研究開発の状況を共有していくとともに、意見・助言をすくい上げて実験データを取得した。

4.1.4 企業を交えた「社会システムデザインの検討」の実施
 全固体 LIB 搭載電動車の社会実装に向けた推進力・担い手となるのは自動車・蓄電池メーカーである。そのため、自動車・蓄電池メーカー9社の専門家で構成されるワーキンググループを LIBTEC 内に設置し、定期的に会合を開催し、各専門家の意見・助言をすくい上げながら検討を進めた。

4.2 成果の実用化の見通し
 次の 1)～3)に示す理由により、本事業の成果は、我が国における全固体 LIB の研究開発及び実用化を手戻りなく効率的に進めるための強力なツールとして、国内産業界及び学会で活用されることが期待できる。

- 1) 本事業に参加している企業は、蓄電池開発・実用化のパイオニア的な存在であり、この分野で世界トップの技術力を保有している。本事業では、こうした産業界・アカデミアの経験、技術力、人材等を最大限に活かす産学連携・企業間連携の体制で研究開発を進めている。
- 2) 全固体電池の研究開発が世界的に活発化しており、欧州では産学連携による国家プロジェクトも開始されているが、総合的に見て本事業の方が実施体制に厚みがあり、開発している要素技術や特性評価のプラットフォームは世界トップレベルの水準にある。
- 3) 事業期間中より、成果を企業・アカデミアに浸透させていく取組を研究開発と同時進行で行っており、順調に進展している。

4.3 波及効果

4.3.1 オープンイノベーションの推進
 本事業においては、自動車・蓄電池・材料メーカー23社が競合・売買関係等の垣根を取り払い、協調して研究開発に取り組んでいる。集中研究拠点である LIBTEC においては、企業各社からの出向研究員によってニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られている。また、LIBTEC がハブとなって国内の大学・研究機関を研究ネットワークに取り込み、課題・ニーズを共有しながら課題解決型の研究開発を進めることにより、学術成果の産業技術としての引き上げを実現している。さらに、各研究チームの内外で、大学・研究機関相互及び異分野の研究者相互の連携・協力も実現している。

4.3.2 人材育成
 本事業では、「科学者(アカデミア)とエンジニア(産業界)の交流」及び「蓄電池研究者と電池設計・プロセス技術者の交流」を実現している。その結果として、科学者は研究と社会(産業)との繋がり・結び付き、企業のコスト意識や時間感覚等を体感し、一方、エンジニアは大学・研究機関が保有するサイエンスに立脚した研究を体感している。また、産学両方のフィールドで、「サイエンスを理解した電池設計・プロセス技術者」及び「電池設計・プロセス技術を理解した蓄電池研究者」が育成される。

4.3.3 全固体 LIB の他用途への展開
 全固体 LIB は EV・PHEV 用途だけでなく、電動バイク、無人搬送車、フォークリフト、ロボットといった他の動力分野用途にも応用できる。さらには、住宅設置、需要家設置、系統設置等の電力貯蔵システム用途でも応用できる。本事業に参加している企業は EV・PHEV 用以外でもビジネスを展開しており、本事業の成果は様々な分野の世界市場に展開することができる。

5. 基本計画に関する事項	作成時期	2018年1月 作成
	変更履歴	なし

用語集

用語	説明
C	評価対象の電池の容量から規定される電池を充放電する際の電流値の表記法。定電流放電したときに、1時間で対象電池の全容量を放電できる電流値を1Cと規定する。2Cの定電流放電では電流値が1Cの電流値の2倍であり、0.5時間で充電状態から全容量が放電される。
C600	カルペ型熱量計の略号。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。室温~600°Cの温度範囲で計測可能。
CIP	Cold Isostatic Press の頭字語。和訳は冷間等方圧加圧法。対象物をゴム製など変形性を有する容器内に密封して水やオイルなどの媒体中に浸し、媒体を加圧することで対象物を当方的に加圧処理する方式。
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。
EV	Electric Vehicle の頭字語。外部からの電力供給によって搭載する二次電池(蓄電池)に充電し、電池から電動機に供給することで走行する電動車。
FCV	Fuel Cell Vehicle の頭字語。燃料電池自動車。燃料から電気化学反応により電流を取り出す燃料電池で発電した電力で電動機を駆動し走行する自動車。燃料として水素(と大気中の酸素)を利用するタイプでは、水以外排出されない。
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。
HEV	Hybrid Electric Vehicle の頭字語。ハイブリッド電気自動車。充電可能な二次電池を搭載し、内燃エンジンと電動機で走行可能な電動車。二次電池の充電は内燃エンジンで行う。低速走行時やアイドリング時は内燃エンジンを停止しているため、内燃エンジン車より燃費が良い。
ICE	Internal Combustion Engine の頭字語。ガソリンや軽油等を燃焼させて動力を取り出す内燃機関(エンジン)。
IEC/TC21	International Electrotechnical Commission の頭字語。和訳は国際電気標準会議。電気・電子技術分野の国際規格の制定を行っている非政府国際標準化機関。制定された規格はIEC62660などと付番される。IECには、技術分野毎に規格を開発するための専門技術委員会があり、これらはTC(Technical Committee)と呼ばれる。TCはTC1からTC114まであり、TC21は蓄電池である。
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。
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。
LGPS	リチウム(Li)・ゲルマニウム(Ge)・リン(P)・硫黄(S)からなる硫化物系固体電解質。2011年に東京工業大学で発見されリチウム塩を有機溶媒にとした有機系電解液に匹敵するリチウムイオン伝導度を示し、その後の改良材は電解液を上回る伝導度を示すものも開発されている。
Li	リチウム
LIB	リチウムイオン電池(Lithium Ion Battery)
LMO	LiMn ₂ O ₄ マンガン酸リチウム。LIB用正極材として利用。
LNO	LiNiO ₂ ニッケル酸リチウム。LIB用正極材として作動し、LCO、LMOと比較して重量当たりの理論容量は高いが、安定性などの問題で広くは用いられていない。

用語	説明
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。
NCA	$\text{Li}[\text{NiCoAl}]\text{O}_2$ LIB 用正極材として利用。
NCM	$\text{Li}[\text{NiCoMn}]\text{O}_2$ LIB 用正極材として利用。三元系正極活物質とも呼ばれる。Ni、Co、Mn の比率に応じて Ni:Co:Mn=5:2:3 であれば NCM523 などと表記される。
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。
OEM	Original Equipment Manufacturer の頭字語。一般には他社ブランドの製品を製造すること、またはその企業に使われる場合が多いが、自動車産業関係の話題では、自動車製造者(カーメーカー)の事を OEM と呼ぶ。
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle の頭字語。プラグインハイブリッド電気自動車。外部から充電可能な二次電池を搭載し、内燃エンジンと電動機で走行可能な電動車。一般的に HEV と比較すると搭載する電池容量は大きく、電池単独で走行できる距離が長い。
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。
SE	Solid Electrolyte の頭字語。固体電解質の略号として使用される。
SOC	State of Charge の頭字語。電池の規定容量に対してどの程度充電されているかの状態。SOC 100%で満充電。SOC 0%で完全放電状態。
VGCF	Vapor Grown Carbon Fiber の頭字語。和訳は気相成長炭素繊維。
圧粉体セル	粉末状の材料を円筒状の形状を有する評価セルの内部に充填し、密閉、必要に応じて加圧することで電池として作動する構成を実現し評価をおこなうセル。
アルジロナイト	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。
液系 LIB	電解質に電解液を使用するリチウムイオン電池。
オリビン系	結晶形の一つ。正極活物質であるリン酸鉄リチウムがこの構造をとるため、蓄電池分野ではリン酸鉄リチウム(LFP)を意味することが多い。
革新型蓄電池	現在広く普及しているリチウムイオン電池より容量などにおいて優れる二次電池。リチウム硫黄電池や金属空気電池が候補とされることが多い。
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	黒鉛ともいう。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。還元状態でリチウムを層間に吸蔵できるため、商品化されている LIB の負極材料として使用されている。
グローブボックス	大気から遮断された環境で実験をおこなう設備。作業は外部から壁面に取り付けられたグローブを通しておこなう。内部は必要に応じて不活性ガスや特定成分除去空気などが充填される。
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。
合剤	電池の電極を構成する集電体を除いた部分の成分。活物質、バインダー、導電材、電解質などを含む。
交流インピーダンス法	EIS(ElectroChemical Impedance)とも略される。電気化学測定法の1種。セルなどの測定対象に周波数を掃引しつつ交流を印加し、その際のインピーダンス(抵抗)を測定し、電極反応などの解析を行う手法。
黒鉛	グラファイトともいう。実際には鉛は含まれていない。
コーター	塗料を基材に塗布して塗布膜を形成する装置。

用語	説明
固体電解質	有機物また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。
酸化物系固体電解質	酸素を主成分として含有する酸化物の固体電解質。安定性に優れ、真空製膜などの製法でも膜形成できる。
三元系正極活物質	リチウムイオン電池の正極活物質の一種。層状結晶を有するリチウム金属酸化物で金属にコバルト(Co)、ニッケル(Ni)、マンガン(Mn)の3種を使用する物質。NCMとも呼ばれる。
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また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。
集電体	電池セル内において、電流を通電させるための部材。液系リチウムイオン電池においては一般的に正極側ではアルミニウム箔、負極側では銅箔。
シングルイオン伝導体	電解質中をイオンが移動する際、移動するイオンが1種類の電解質。電解液では解離したプラスイオン、マイナスイオンの2種類が移動する。
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・電解質の1組。またはそれを1組だけ持つ電池。
全固体 LIB	電解質に固体電解質を使用するリチウム二次電池。全固体電池。本事業では全固体電池を、紛れを避けるために全固体 LIB と呼称する。
全固体電池	電解質として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。液体をゲル化などの手法で固化した電池を固体電池と称する例もあり、液体成分を含まない構成を特に「全」を付して識別するが、使用者によって定義が異なることもあるため注意が必要がある
先進 LIB	原稿のリチウムイオン電池から材料などの改良により性能を向上させたリチウムイオン電池。電解質としては液系の電解液を想定している。
ダイコーター	塗布方式における塗料塗布方法の一つ。塗料を細いスリットを有するダイから押し出して塗布面に塗布することにより塗膜を形成するコーター。
蓄電池	電気化学的に電気エネルギーの保存が可能な電池。二次電池。リチウムイオン電池などの他、レドックスフロー電池など種々の異なる原理に基づく電池もある。
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。
電極	二次電池においてエネルギーの保存に関与する部材。正極、負極がある。リチウムイオン電池では活物質をバインダーと混合し集電体上に膜形成したもの。
デンドライト	リチウムデンドライトの項を参照。デンドライト自体は他の金属でも見られる現象。
導電助材	電極中の電気伝導度を高めるために加えられる材料。炭素微粒子や金属微粒子が用いられる。
二次電池	充電することで繰り返し利用することが可能な電池。蓄電池とも言う。鉛蓄電池、ニッケルカドミウム電池、ニッケル水素電池(Ni-MH 電池)、リチウムイオン電池など。

用語	説明
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。
パック (電池パック)	蓄電池の搭載機器において蓄電池が収納されているユニット。電動車に対して用いる場合が多く、複数の電池と電池制御システムを一つの函体に収めたパーツ。
ハーフセル	検討対象の電池において、想定する正極、負極の一方を参照用のリチウム金属などで代替したセル。評価対象極の挙動を単独に評価する場合に用いられる。
評価基準書	標準電池モデル毎に、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。
標準電池モデル	一定のカテゴリの材料系を用いた電池において、安定かつ十分な性能を発現できる電池構成、電池作製プロセスを開発しモデルとした電池。材料評価、特性評価の基準として活用する。
不可逆容量	充電した後に、放電することができなかった容量。蓄電池の効率低下につながる。
フルセル	検討対象の電池において、想定する正極、負極の双方を有するセル。一方が参照用のリチウム金属などで代替される場合はハーフセルという。
放射光	磁場中を円運動する電子が曲げられるときに放射(シンクロトロン放射)する紫外～X線。通常の光源に比べ強度と指向性が極めて高く、電池をはじめ物理、化学、生物、工業分野での研究に広く活用されている。国内では Spring-8、フotonファクトリー等の施設がある。
枚葉式コーター	基材供給方式として一定のサイズに切り出された基材フィルムを一枚ずつ供給して、これに塗布していく枚葉方式を採用したコーター。
モジュール	通常複数のセルを組みあわせて一つのユニットとした部材。電池パックは複数のモジュールを搭載して構成されることが多い。
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、ラミ電池とも呼ばれる。
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 1 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。
硫化物系固体電解質	LPS や LGPS のように硫黄 (S) を主成分として含有する固体電解質。高いリチウムイオン伝導度を示す材料系が複数知られている。
ロール to ロール	塗布システムにおける基材供給方式の一つ。RtoR と記載される場合もある。ロール状に巻き取られた基材フィルムを巻出しながら走行させ、フィルム面に塗工をおこない、そのまま乾燥ゾーンで乾燥し後にロールに再び巻き取ることでフィルムへの塗工をおこなう方式。フィルム長を長くでき、走行速度を高速化することで、多量生産、高効率な塗工が実現できる。
ロールプレス	近接配置あるいは密接加圧されている 2 本のロールの間をフィルム上の対象物を通過させることで、対象物を押圧処理するプレス機。

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 本事業の目的

多様なエネルギー源を転換して生産することが可能であり、利便性も高い 2 次エネルギーである電気を蓄え、繰り返し使用可能にする電気化学デバイスが蓄電池である。今日、様々な用途で利活用されており、技術革新による更なる高性能化・低コスト化が期待されている。

蓄電池の高性能化・低コスト化において、中心的な役割を果たすのは電極活物質、電解質、セパレータといった蓄電池を構成する材料である。ただし、材料単体の性能を向上させても、その性能をセルで最大限発揮させるには、合剤電極・セルの構造、他の材料との相性・組合せ、量産プロセスへの適合性等を検討する必要がある。加えて、適用を想定しているアプリケーションの要求仕様をクリアできることの検証も必要もある。そのため、新材料の実用化には、材料単体の改良と実際のセルに組み込みでの特性評価というキャッチボールを迅速かつ効率的に行っていく開発のアプローチが必要である。

本事業のねらいは、電気自動車 (EV) 及びプラグインハイブリッド自動車 (PHEV) の利便性向上と低価格化を同時実現する上で最も有望なアプローチと考えられる全固体リチウムイオン電池 (以下、「全固体 LIB」という。) について、その実用化で日本が世界の先手を取るとともに、その後の技術革新も日本が世界をリードしていくことである。そして、日本の蓄電池関連産業界にとって有利なビジネス環境やサプライチェーンを創造することを目指している。これらを実現するため、本事業においては、産業界の共通指標 (ものさし) として機能する全固体 LIB の材料評価技術を中心とした共通基盤技術の確立とそのプラットフォームの構築に取り組むこととしている。この取組のイメージを図 1.1.1-1 に示す。



図 1.1.1-1 本事業の取組イメージ

詳細は「第 2 章 研究開発マネジメント」で述べるが、取組の概要を以下に示す。

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」

- 1) 全固体 LIB 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要素技術及び全固体 LIB の更なる性能向上・低コスト化を実現するための要素技術を開発する。
- 2) 全固体 LIB への適用を想定し、今後、企業・大学等で開発される新材料をセルに組み込み、特性評価を行って、実用化課題や改良の方向性等を洗い出し、サンプル提供者にフィード

バックするための特性評価の体系を構築する。

- 3) 上記の特性評価に用いるセル(以下、「標準電池モデル」という。)を、全固体 LIB の量産を想定した工業的な製造プロセス・装置を用いて作製する技術体系を構築する。
- 4) 実用サイズのセル及び車載電池パックの充放電特性や発熱挙動・温度分布等を予測する計算機シミュレーション技術を開発する。
- 5) 車載バッテリーの国際標準試験法としての発展を見据え、全固体 LIB の性能試験法及び安全性試験法を開発する。また、全固体 LIB の劣化解析・現象解明を行い、セル及び構成材料・部品の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。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」

自動車市場、車載バッテリー、充電インフラ等に係る政策・市場、ユーザーニーズ、バリューチェーン、リユース・リサイクル等について、現状の動向把握と将来分析を行うことにより、本事業の成果を産業競争力として結実させるための社会システムのシナリオ・デザインをとりまとめる。

1.1.2 市場動向

(1) 液系 LIB の市場動向

有機溶媒電解液を用いた LIB(以下、「液系 LIB」という。)が、1991 年にソニーによって実用化されると、ニカド電池やニッケル水素電池を一気に代替し、瞬く間にモバイル・IT 機器への搭載が進んだ。その後の技術改良による高性能化・低コスト化も著しく、今日、LIB は自動車の電動化、電力自由化、再生可能エネルギーの導入量拡大、災害対応、スマートコミュニティの社会実装等も担うキーデバイスとなっている。

図 1.1.2-1 に示すように、液系 LIB の市場規模は現在、約 5 兆円であるが、2025 年には約 12 兆円、2035 年には約 24 兆円に成長すると予測されている。この市場拡大を牽引するのが、EV・PHEV 等の次世代自動車用の液系 LIB であり、その市場規模は現在の約 3 兆円から 2025 年には約 8 兆円、2035 年には約 20 兆円に成長すると予測されている。

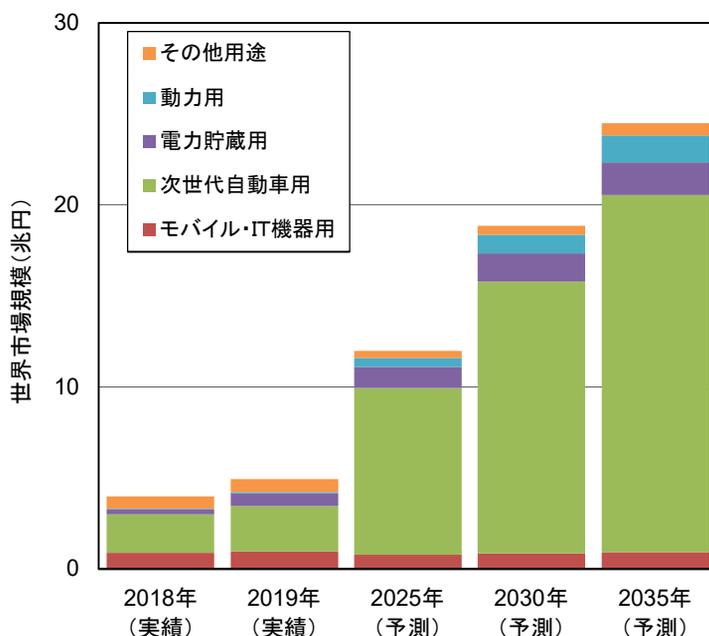


図 1.1.2-1 液系 LIB の市場規模推移と将来予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2018、2020」及び「2019 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)を参考に NEDO 推定

次世代自動車用の液系 LIB の市場拡大が予測される理由としては、環境・エネルギー問題の深刻化を背景に、主要各国が自動車の燃費規制・排出ガス規制を強化すると同時に、自動車メーカーに一定比率以上の EV・PHEV の販売を義務付ける政策を推進していることに他ならない。英国、フランス、ドイツ、中国等は、段階的にガソリン車の販売を禁止する政策も打ち出している。このような政策動向を踏まえ、昨今、国内外の大手自動車メーカーは今後、100 万台を超える規模で EV・PHEV を市場投入するとの計画を競うように公表している。

これに追従し、中国及び韓国の蓄電池メーカーは液系 LIB の生産設備投資を精力的に進めている。特に中国政府による手厚い EV・PHEV 導入補助金政策の恩恵を受けた中国蓄電池メーカーの躍進には目覚ましいものがあり、最近では、欧米自動車メーカーのみならず、日系自動車メーカーからも車載バッテリーを受注するようになってきている。この結果として、図 1.1.2-2 に示すように、日系蓄電池メーカーは生産・販売量は増やしているものの、シェアは大きく低下している。

今後、大手自動車メーカーは、公表している電動車両の販売を計画どおりに遂行するために、調達先の多角化を更に進めることが予想され、その際には蓄電池メーカーに対する値引き要請も一段と厳しさを増すことになる。そのため、日系蓄電池メーカーが市場プレゼンスを向上させるためには、先を見据えた次の一手が必要であることは明白である。そして、ハイスペック化と低コスト化を両立させた全固体 LIB を早期に製品ラインナップ化することが最善手である可能性が高い。

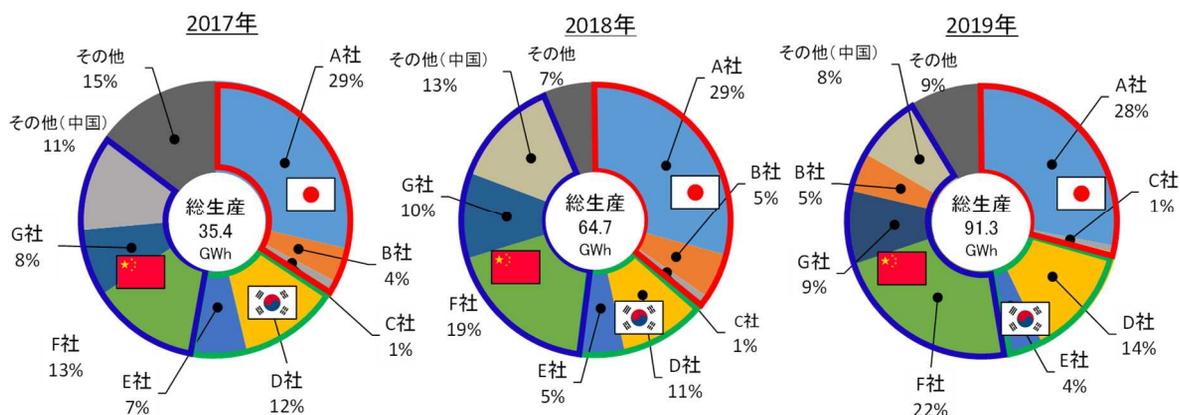


図 1.1.2-2 次世代自動車用の液系 LIB の市場シェア推移

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2019、2020」
(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(2) 液系 LIB 材料の市場動向

正極・負極活物質、電解液、セパレータ等の液系 LIB 材料の市場規模推移と将来予測を図 1.1.2-3 に示す。現在の市場規模は約 3 兆円であるが、2025 年には約 5 兆円、2030 年には約 8 兆円まで成長すると予測されている。

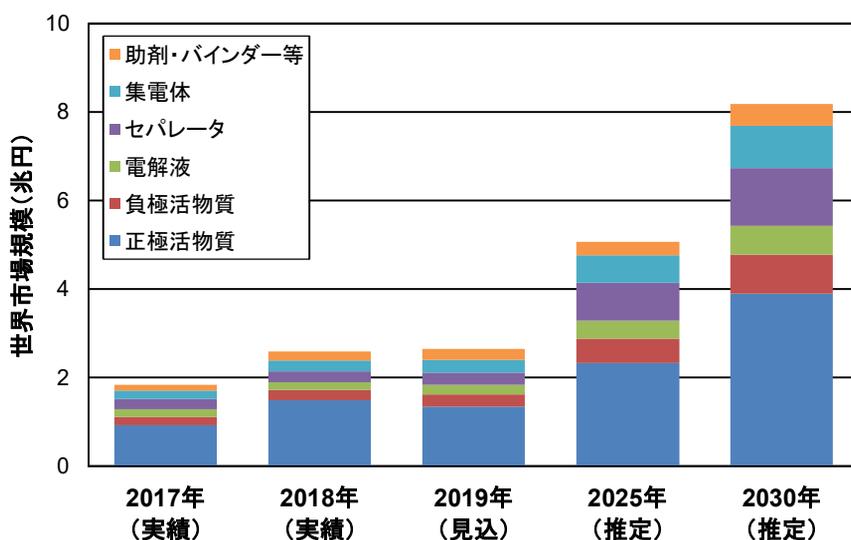


図 1.1.2-3 液系 LIB 材料の市場規模推移と将来予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2018」及び「2017～2019 電池関連市場実態総調査」
(株式会社富士経済)を参考に NEDO 推定

次に、正極・負極活物質及び電解液について、2017年と2019年の国別生産量を図 1.1.2-4 に示す。前記した液系 LIB の市場と同様に、自国の EV・PHEV 導入補助金政策の恩恵を受けた中国材料メーカーが生産量を大幅に増加させ、市場プレゼンスを向上させている。一方、日系材料メーカーは一定のプレゼンスを維持にするに留まっている。

また、図 1.1.2-5 に示すように、日系材料メーカーの場合、車載用 LIB 向けの生産が全体の 70～80%を占めている。これは、日系材料メーカーが車載用 LIB に求められる高安全性・高品質に対応するハイレベルの技術力を保有することを示すものである。その一方で、前記したように、ユーザーからのコストダウン要請は今後、厳しさを増すことが予想され、利幅の少ない旨味の無いビジネスを強いられる可能性がある。そのため、全固体 LIB 用の材料を早く手の内化し、液系 LIB 用の材料との両輪で持続可能なビジネスモデルを構築していくことが望ましいと考えられる。

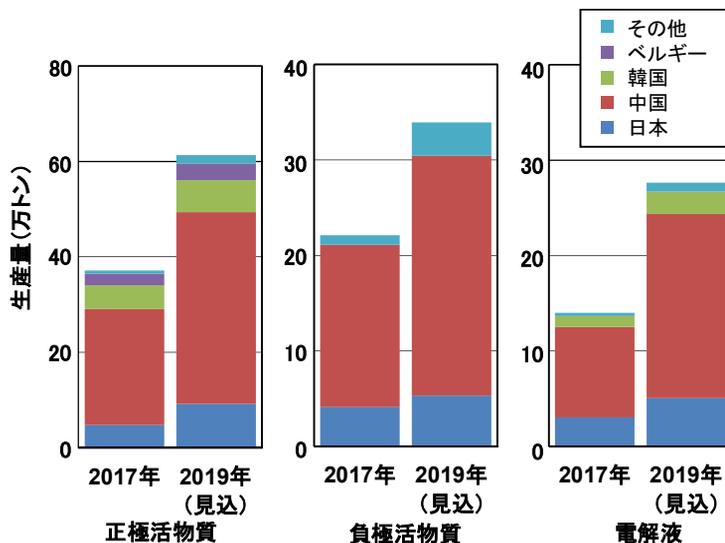


図 1.1.2-4 液系 LIB 材料の世界生産量の推移

出典:「2018、2019 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

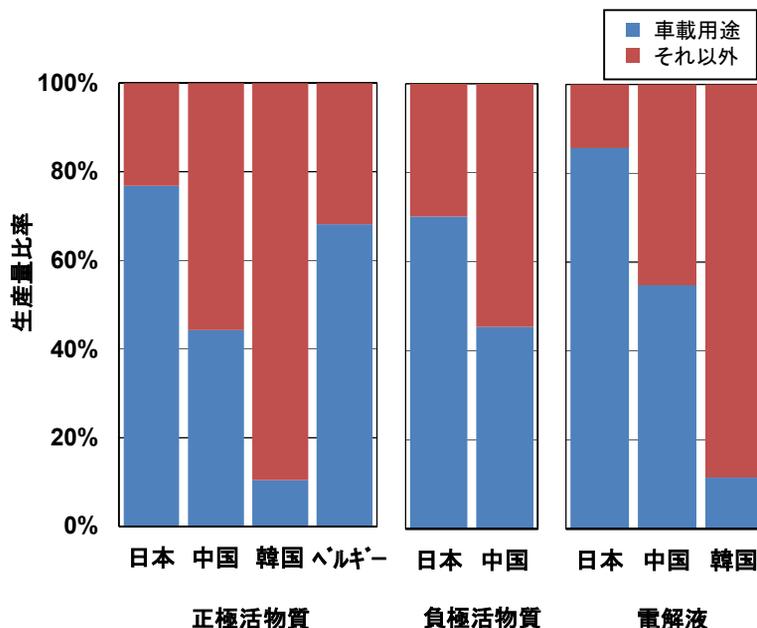


図 1.1.2-5 2017 年における液系 LIB 材料の生産割合

出典:「エネルギー・大型蓄電池の将来展望 2018」(株式会社富士経済)を参考に NEDO 推定

1.1.3 技術動向

(1) 液系 LIB の課題

前記したように、世界規模での環境・エネルギー問題の解決という観点において、EV・PHEV 及び車載バッテリーは今後、高い確度で市場成長が見込まれているが、その一方で、自動車ユーザーの意識として、現在の EV・PHEV は航続距離が短い、充電時間が長い、充電インフラが少ない等の利便性であったり、車両価格がガソリン車と比べて割高感があり、中古車としての下取り価格が低い等の経済性についてマイナスイメージが存在する。加えて、スタイリング及び車内空間にも物足りなさを感じ、購入決断に踏み出せない状況を招いている。今後、これらの課題が解消されないと、EV・PHEV の購入層は限定的なものとなるが、その支配的要因となっているのが車載バッテリーの性能とコストである。

現在の EV・PHEV に用いられている液系 LIB のエネルギー密度は、セル重量エネルギー密度で 200~250Wh/kg、セル体積エネルギー密度で 400~700Wh/L のレベルにある。しかしながら、液系 LIB は一歩間違えると発火の危険性があり、また、高レートでの充放電による温度上昇で劣化が進むため、電池パックには安全系や冷却系(熱マネジメント系)のシステム部品が数多く組み込まれている。この結果、電池パックでは、重量エネルギー密度が 130~160Wh/kg 程度、体積エネルギー密度が 150~240Wh/L 程度となっている。図 1.1.3-1 に示すように、航続距離が 400km を超える EV に搭載される大型の電池パックであれば、重量で 300kg 以上、体積で 250L 以上と重く嵩張るものとなり、車両デザインに大きな制約を与えている。また、生産コストも高く、車両コストの約 1/3 を占めると言われており、低価格帯の車両モデルではガソリン車と同レベルの収益性を確保することが困難となっている。



図 1.1.3-1 現在の EV に用いられている液系 LIB のセル・電池パック

そのため、自動車ユーザーの EV 購入意欲を掻き立てると同時に、自動車メーカーの EV・PHEV ビジネスを加速させるには、車載バッテリーについて信頼性・安全性を損ねることなく、エネルギー密度を向上させることにより、低コスト化及び軽量・コンパクト化を図る必要がある。しかしながら、この課題を液系 LIB で解決するのは難しい。

この理由としては、LIB の充放電反応は Li イオンの活物質への挿入・脱離反応(トポケミカル反応)を用いるため、Li を挿入・脱離するホスト材料が必要なこと、Li の挿入・脱離量はホスト材料の Li の結晶学的位置の数で決まること、Li の脱離量が多くなるとホスト材料に構造相転移が起こって可逆性が低下

すること等により、数倍レベルのエネルギー密度の向上は困難であるからである。仮に数割レベルの向上を図るにしても、例えば、NCM系(三元系)正極活物質の高容量化に有効なNi含有量の増加は、結晶構造の分解温度を低下させ、異常時の高温熱分解による放出酸素と電解液の反応による発火リスクを高めることになる。また、高電位の正極活物質を用いるにしても、有機溶媒電解液の酸化還元分解とガス発生の問題がある。難燃性・不燃性の電解液も検討されているが、性能・経済性を損ねずに安全性を抜本的に改善するものはまだ見出されていない。

上記したような技術的な課題に加えて、諸外国による技術キャッチアップという課題もある。その具体例の一つとして、主要論文誌に掲載された液系LIBの論文発表件数の推移を図1.1.3-2に示す。液系LIBの論文発表件数は2001年の約700件から2019年の約11,000件と飛躍的に増加しており、特に2010年以降、急増している。こうした中、中国の発表件数が著しく伸びており、直近5年間(2014年～2019年)ではほぼ半数を占めている。さらには、図1.1.3-3に示すように、2001年から2019年までの累積発表件数でも中国が約4割を占めており、他国に大きく差をつけている。一方、日本は単年の発表件数と累積発表件数の両方について、中国のみならず米国、欧州、韓国の後塵を拝している。

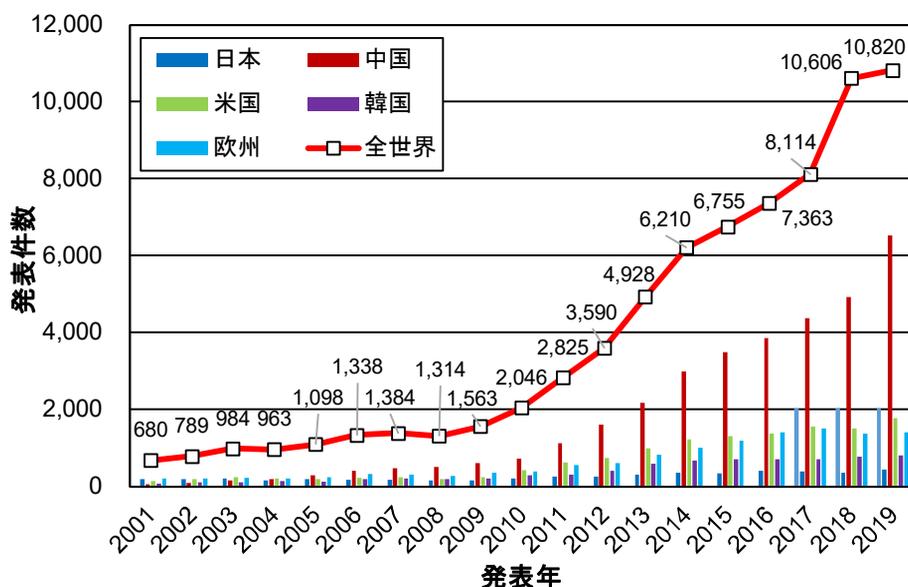


図 1.1.3-2 液系 LIB の論文発表件数の推移
(Web of Science に基づき NEDO 作成)

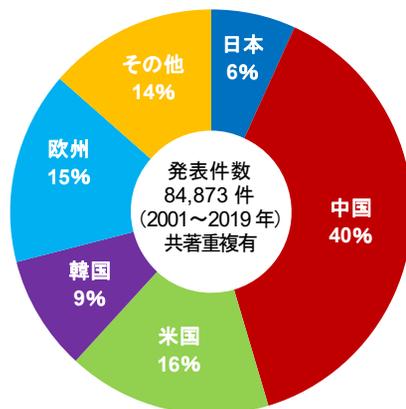


図 1.1.3-3 液系 LIB の著者所属機関国籍別の発表件数
(Web of Science に基づき NEDO 作成)

同様に、2001年から2018年の18年間における液系LIBの特許出願件数の推移を図1.1.3-4に示す。液系LIB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、2008年以降、急速に増加しており、2018年には約11,000件/年と約6倍となっている。こうした中、中国の出願件数が急増しており、2012年に日本は単年の出願件数で中国に追い抜かれている。さらには、図1.1.3-5に示すように、2018年には累積出願件数でも中国に追い抜かれている。

論文発表件数及び特許出願件数は必ずしも産業競争力に直結するものではないが、他国は日本発祥の技術である液系LIBについて相当量の技術的知見・ノウハウを蓄積しているのは明らかであり、今後、液系LIBの技術領域において、日本が独占排他のビジネスを実施可能とする特許網を構築していくのはかなり難しい状況になっている。

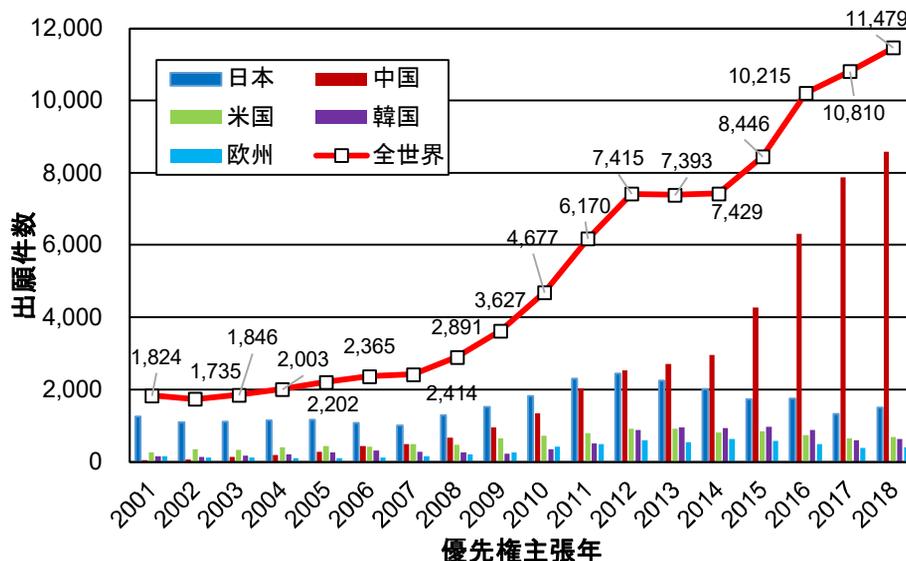


図 1.1.3-4 液系 LIB の特許出願件数推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

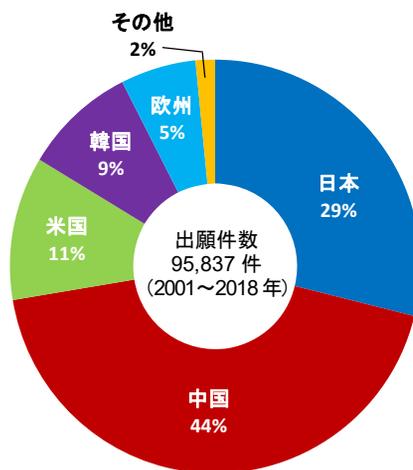


図 1.1.3-5 液系 LIB の出願人国籍別累積出願件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(2) 全固体 LIB の実用化の期待

前記した車載バッテリー・液系 LIB の課題を解決する蓄電池として全固体電池に実用化の期待が高まっている。

全固体電池は無機固体電解質(硫化物あるいは酸化物のリチウムイオン伝導体)の化学的安定性(実用的な高電圧耐性)を活かし、液系 LIB の有機溶媒電解液では分解・ガス発生が起きる高電圧条件でもセルを作動させることができる。そのため、セルのエネルギー密度を数 10%程度、向上させることができる。将来的にバイポーラ型でセル構造が実現できれば更にエネルギー密度は向上できる。また、無機固体電解質の熱的安定性を活かし、電池パックの冷却システムの小型化あるいは不要化が期待できる。さらに、無機固体電解質は不燃性であり、発火リスクが大幅に低減するため、電池パックの安全系システムの簡素化も期待できる。電解液の漏液の問題もない。その結果として、1/2～1/3 のオーダーで電池パックの小型化と低コスト化が期待できる。加えて、有機溶媒電解液中では陽イオンと陰イオンが同時に移動するため、Li イオンの輸率は 0.5 以下と低いが、無機固体電解質はシングルイオン伝導体であるため、輸率が 1 となり、入出力特性が格段に向上し、数倍レベルでの「超急速充電」の実現も期待できる。

かつて固体電解質は Li イオン伝導性が低く、全固体電池の実用化は困難と見られていた。しかしながら、近年、優れた硫化物系の固体電解質が日本で相次ぎ発見され、小型のセルであったものの、液系 LIB を凌駕する性能が実証された。この結果、詳細は「1.1.4 研究開発動向」で述べるが、世界中で研究開発が活発化しており、トヨタ自動車、Volkswagen、Daimler、GM、Samsung SDI、CATL、BYD 等、大手自動車・蓄電池メーカーが早期実用化に向け、研究開発に取り組んでいる。また、米国・欧州には固体電解質を用いた蓄電池を手掛けるベンチャー企業が多数存在する。さらに、米国、EU、英国、ドイツ、フランス、中国、韓国においては公的資金による研究開発も進められている。

NEDO が想定している車載バッテリーに関する技術シフトを図 1.1.3-6 に示す。当面は液系 LIB が市場の主流であるが、2025 年頃には、研究開発が先行している硫化物系固体電解質に液系 LIB に使われている電極活物質を組み合わせた第 1 世代全固体 LIB が実用化・製品化され、市場開拓が行われると考えている。そして、2030 年頃よりは、さらにイオン伝導性を高めた硫化物系電解質や化学的安定性の高い酸化物系電解質に、高電位・大容量の電極活物質を組み合わせることで、全固体 LIB の特長を最大限まで引き出した次世代全固体 LIB が実用化・製品化されて、EV・PHEV の普及拡大に貢献していくと考えている。なお、図 1.1.3-6 中における採用比率とは、あくまで日系自動車メーカーが生産・販売する EV・PHEV に搭載する割合であり、海外の自動車メーカーの EV・PHEV は考慮していない。

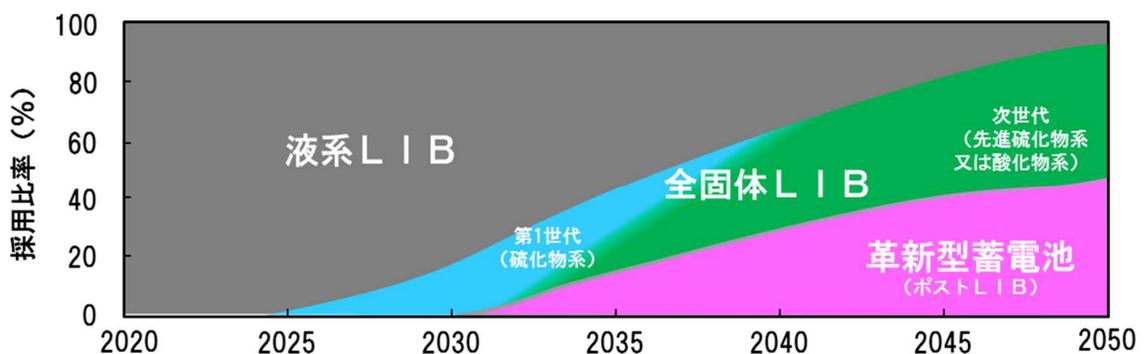


図 1.1.3-6 車載用バッテリーの技術シフトの想定

(3) 全固体電池の研究開発動向

(a) 日本

NEDO は全固体電池の研究開発に約 13 年間、取り組んできている。そのスタートポイントは、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」(2007～2011 年度)において東京工業大学が実施した「全固体電池のための固体電解質及び三次元メソ構造体電極の研究開発」である。この研究開発により確立されたイオン伝導体の探索指針を適用し、有機溶媒電解液を超える 10^{-2}S/cm 以上のイオン伝導率を有する Li-Ge-P-S (LGPS) 系固体電解質が東京工業大学によって見い出されている。

引き続いた全固体 LIB の研究開発は、「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」(事業期間:2012～2016 年度)においてトヨタ自動車と豊田中央研究所が実施した「電極のナノコンポジット化による高性能全固体電池の研究開発」である。この研究開発においても、東京工業大学とトヨタ自動車によって世界最高の Li イオン伝導率 $2.5 \times 10^{-2}\text{S/cm}$ を有する Li-Si-P-S-Cl 系固体電解質が見い出され、コインセルではあったが液系 LIB の 3 倍以上の高出力特性が実証されている。

本事業の第 1 期(2013～2017 年度)においては、全固体 LIB の基軸材料となる固体電解質・電極活物質の特性評価に適用する圧粉成形タイプの標準電池モデル(2mAh 級コインセル)、セル特性の評価に適用するシート成形タイプの標準電池モデル(8mAh 級、50mAh 級、200mAh 級単層ラミネートセル)が開発された。また、全固体 LIB 特有の電気化学特性及び劣化メカニズムの解析評価手法が開発された。

国立研究法人科学技術振興機構(JST)の「戦略的創造研究推進事業／先端的低炭素化技術開発(ALCA)」の枠組みにおいて2017年から開始された「次世代蓄電池研究開発プロジェクト」(以下、「ALCA-SPRING」という。)でも全固体 LIB(全固体リチウム硫黄電池も含む。)の研究開発が行われている。なお、本事業は ALCA-SPRING と連携関係を構築しており、ALCA-SPRING で開発される材料を受け入れてセルを試作し、その特性評価を行っている。この連携の詳細は、「4.2.2 新材料の受入れと電池試作」で後述する。

次に、個別の国内企業による全固体電池開発の主な取組は以下のとおりである。

トヨタ自動車は、2017 年 12 月発表の「電動車普及に向けたチャレンジ」において、全固体電池について 2020 年代前半での実用化を目指して開発を進めることを公表した。また、トヨタ自動車とパナソニックが 2020 年 4 月に発足させた車載用角形電池事業に関する合弁会社「プライム プラネット エナジー&ソリューションズ株式会社」の事業範囲には全固体電池が含まれている。その開発状況に関しては、例えば、日経 Automotive の 2018 年 9 月号において、セルの重量エネルギー密度で約 180Wh/kg、体積エネルギー密度で約 400Wh/L のレベルに引き上げることに成功し、さらに高性能に向けて開発中であることが紹介されている。また、最近では、全固体電池を搭載した 1 人乗りの EV での実証テストの状況もシンポジウム・講演会等で発表されている。さらに、2020 年 7 月に開催が予定されていた東京オリンピック／パラリンピックに全固体電池を搭載した EV を提供する計画があったことを各種情報メディアが報道している。

日立造船は、独自の薄層成膜・加圧成型技術により材料粒子間のイオン伝導性を向上させることで、機械的加圧無しでも充放電が可能な硫化物系全固体電池の開発に成功したことを発表している。室温における充放電サイクルテストでは 400 サイクル後の容量維持率は 96%であったとしている。□ 10cm サイズのセルを試作し、外部機関での評価も進行中であり、まず宇宙用途に製品化した後、車載バッテリーとしての製品化にも移行する計画があることを発表している。

マクセルは、2019 年 9 月、硫化物系電解質を使用した容量 8mAh、直径 9mm のコイン型全固体電池のサンプル出荷を開始した。三井金属鉱業とアルジロダイト系固体電解質を共同で改良し、電極

活物質の表面制御、電極活物質と電解質の均一混合、電解質層の均一形成、活物質-電解質層の界面制御等の技術確立により、高容量化と高出力化の両立、寿命と耐熱性の大幅な向上を実現したと発表している。このコイン型全固体電池は、従来の液系 LIB に比べて、高負荷時の放電容量が約 30% 向上し、また、作動温度範囲は -50°C から 100°C 以上をカバーし、100°C でのサイクル試験では 100 サイクル後にも初期の容量をほぼ維持したとしている。当初は、ウェアラブル機器向けに出荷し、車載機器や IoT 機器等高い耐熱性や長寿命特性が求められる市場にも展開していく予定としている。

固体電解質の実用化・量産化の動きとして、出光興産が硫化物系固体電解質の商業生産に向けた実証設備を新たに建設し、2021 年度第一四半期を稼働開始予定と発表している。また、三井金属鉱業は 2019 年 12 月に全固体電池向けアルジロナイト型硫化物固体電解質の量産試験用設備を導入することを発表している。

エレクトロニクス機器用の数～数 10mAh レベルと極めて小容量・小型の全固体電池については、村田製作所、TDK、日本ガイシ等、多くの国内企業がサンプル出荷を行うステージに入っている。

(b) 米 国

エネルギー省 (DOE) のエネルギー効率・再生可能エネルギー・自動車技術局 (EERE-VTO) は、2019 年開始の「Advanced Vehicle Technologies Research (AVTR)」において、プログラム全体の予算総額 5,900 万ドル (3 年間) のうち 1,500 万ドルを全固体電池に割り当てている。表 1.1.3-1 に示す 15 の参画機関・開発テーマで固体電解質、製造プロセス、診断ツール、モデリング等の研究開発が実施されている。固体電解質は酸化物系、硫化物系及び高分子系が開発対象になっている。

表 1.1.3-1 Advanced Vehicle Technologies Research の参画機関と開発テーマ

参画機関	開発テーマ
Maryland 大 College Park	高エネルギーリチウム電池用デンドライトフリー固体電解質
Solid Power, Inc.	多機能電解質材料による全固体電池
Iowa 州立大学	ガラス系電解質の低コスト製造プロセス
Michigan 大	Li 含有セラミック薄膜形成における挙動解析
Maryland 大 College Park	正極-電解質界面の低抵抗化
Virginia 州立工科大	全固体電池と高電圧リチウム電池に適用可能な高分子電解質
General Motors LLC	硫化物ガラス電解質を用いた全固体電池のホットプレス工程
West Virginia 大 Research Corp.	全固体電池用のシングルイオン伝導電解質開発
Pennsylvania 州立大	高エネルギー密度固体 Li 硫黄電池用の材料開発
Wisconsin 大 Milwaukee	In-situ 生成による Li 金属負極保護層の開発
Wildcat Discovery Technologies	Li との界面を制御した複合固体イオン伝導体
General Motors	全固体電池の界面挙動の基礎的研究
Houston 大	Li 固体電池の界面挙動の多次元診断
Virginia Commonwealth 大	固体電解質の第一原理モデリング
Louisville 大	全固体リチウム硫黄電池の正極と界面の挙動予測手法開発

また、DOE のエネルギー先端研究計画局 (ARPA-E) が 2013～2017 年に実施した「RANGE」においては、開発予算総額 4,000 万ドル(5 年間)で 20 を超える企業、国立研究所、大学等が参画したが、そのうち、Solid Power、Bettery、Oak Ridge 国立研究所、Maryland 大学が全固体電池の研究開発に取り組んだ。なお、Maryland 大学の酸化物系電解質を用いた全固体電池の研究開発は 2021 年まで延長され、500 万ドルの追加予算が配賦されている。

ARPA-E が 2016 年に開始した「IONICS」では、予算総額 3,700 万ドル(5 年間)で大学・国立研究所・企業等の 16 テーマが採択されたが、表 1.1.3-2 に示す 9 テーマが全固体電池関連である。車載バッテリーの目標コストは、セルで 100 ドル/kWh 以下、電池パックで 175 ドル/kWh 以下となっている。

表 1.1.3-2 IONICS の参画機関と開発テーマ

参画機関	開発テーマ
Pennsylvania 州立大学	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 大学 Boulder 校	全固体 LIB のセル製造時間を短縮する瞬間焼結法
Iowa 州立大学	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 Technologies	有機・無機固体電解質保護層を設置した 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
UC Sandiego 校	サイクルによる損傷を修復し、デンドライトを抑制する自己修復電解質

次に、個別の米国企業による全固体電池開発の主な取組は以下のとおりである。

General Motors は、前記したように AVTR プログラムに参加し、硫化物系電解質を用いた全固体電池の開発を進めている。

Ford は、AVTR プログラムに参加しているベンチャー企業 Solid Power と全固体電池で技術提携したことを発表している。なお、Solid Power には Samsung Venture Investment、三桜工業、A123 Systems 等も出資している。

前記した IONICS プログラムに参加しているベンチャー企業 Ionic Material は、2019 年 6 月、中国の大手自動車部品メーカーである万向集団の子会社 A123 System と共同で三元系正極、黒鉛負極による全固体電池を開発し、2022 年の市場投入を予定すると発表している。

シリコンバレーのベンチャー企業 Ampcera は硫化物系及び酸化物系の固体電解質を開発しており、研究用試薬として外販は既に実施しているが、2020 年 1 月、低コストで量産適応性のある全固体電池向け固体電解質メンブレン技術を開発したと発表している。

(c) EU

EU の官民パートナーシップ「欧州グリーンピークル・イニシアティブ」(EGVI) は、様々な車載バッテリーの研究開発プロジェクトを数多く推進しているが、2017 年開始のプロジェクト「IMAGE」では、BMW (独)、VARTA (独)、Umicore (ベルギー)、Arkema (仏)、Hydro-Québec (加) 等の 13 企業・大学・研究機関が参画し、4 年間の総予算 490 万ユーロで Li 金属負極とゲルポリマー電解

質を組み合わせた全固体電池でエネルギー密度 300Wh/kg 以上を目指している。

また、欧州研究開発フレームワーク「Horizon2020」においても、全固体電池の研究開発プロジェクトが推進されている。2015～2017 年に実施されたプロジェクト「HS-GLASSion」では、独立系ナノエレクトロニクス研究機関 Imec(ベルギー)が無機ガラス系電解質を用いた薄膜タイプの全固体電池を研究した。また、2020 年開始のプロジェクト「ASTRABAT」では、フランス原子力・代替エネルギー庁(仏)、PSA(仏)、Umicore(ベルギー)、Leclanche GMBH(独)等の 14 企業・大学・研究機関が参画し、4 年間の総予算 780 万ユーロで酸化物と高分子の複合電解質を用いた量産可能な全固体電池の開発に取り組んでいる。なお、「Horizon2020」における車載バッテリー用途の全固体電池の開発目標を表 1.1.3-3 に示す。

表 1.1.3-3 「Horizon2020」における全固体電池の開発目標

	2020～2022 年	2025～2030 年
重量エネルギー密度	350 Wh/kg	400 Wh/kg
体積エネルギー密度	1,000 Wh/L	1,200 Wh/L
重量出力密度	—	10,000 W/kg
コスト	—	100 ユーロ/kWh

(d) ドイツ

ドイツ連邦教育研究省(BMBF)は全固体電池の基盤技術を確立するため、2018 年に研究クラスター「FestBatt」を立ち上げた。総予算(3 年間)は 1,600 万ユーロであり、Justus-Liebig 大学、Karlsruhe 工科大学、Jülic 研究所、(FZJ)、ドイツ航空宇宙センター(DLR)、Helmholtz Ulm 研究所、Max Planck 研究所、Duisburg 大学、Marburg 大学、Darmstadt 工科大学等、14 の大学・研究機関が参画している。重点研究テーマは、表 1.1.3-4 に示すように、3 つの電解質材料系(硫化物、酸化物、ポリマー)の開発と 2 つのプロセスプラットフォーム(分析評価、理論・データプロセッシング)で構成されている。

表 1.1.3-4 FestBatt の主な研究開発テーマ

電解質	硫化物	・L-M-S 等の合成
	酸化物	・LLZ 及び LATP の合成表面改質
	ポリマー	・高分子電解質(ポリロタキサン、ポリスルホンアミド)合成 ・ポリエチレンオキサイドを用いたゲルポリマー電解質合成
プロセス	分析評価	・微細構造の特性評価 ・イオン伝導度及び電気化学インピーダンス測定方法の確立
	理論・データプロセッシング	・原子スケール及びマイクロスケールでのモデリング ・データ管理

また、BMBF は、全固体電池の量産化技術の開発を行うプロジェクトとして「ARTEMYS」を 2017 年に立ち上げた。開発予算は 3 年間で 600 万ユーロの予算となっている。Braunschweig 工科大、BMW、BASF、Thyssen Krupp System Engineering、Rehm 等の企業・大学が参加している。酸化物系全固体電池については、量産に適用する電解質の合成技術や正極層と固体電解質層を一体化

させて塗工・乾燥・焼成する技術等を検討している。硫化物系全固体電池についてはテープキャスト法で成形する正極層及び電解質層に Li 金属負極を組み合わせることで 1Ah 級の積層セルを開発するとしている。

次に、個別のドイツ企業による全固体電池開発の主な取組は以下のとおりである。

Volkswagen は、2018 年に硫化物固体電解質の特許を多数出願している米国 Stanford 大発のベンチャー企業 QuantumScape に 1 億ドルを投資し、QuantumScape が開発中の全固体電池を 2025 年までに実用化することを目指すとして発表した。2020 年には 2 億ドルの追加投資を行うと発表している。

Daimler はカナダの電力公社 Hydro-Quebec と技術提携しており、開発加速のため新材料を実用に近い状態でテストする計画があることが 2020 年 2 月に報道されている。

(e) 英国

ビジネス・エネルギー・産業戦略省 (BEIS) が 2017 年に開始したプログラム「Faraday Battery Challenge」において、種々の蓄電池の基礎研究及び応用・実用化開発が行われている。この中には全固体電池の研究テーマが含まれている。予算総額は 246 百万ポンドであり、基礎研究には 78 百万ポンドの予算が割り充てられており、多くの企業・大学等が参加している。

また、医療用インプラント機器向けに半導体プロセスで作製する全固体電池の開発を手掛けてきたベンチャー企業 Ilika Technologies は、2018 年より上記のプログラムに参加し、約 500 万ポンドの資金提供を受けて、EV 用に大型化した全固体電池 Goliath の開発を進めている。

(f) フランス

フランス高等教育・研究・イノベーション省が 2011 年に開始したプログラム「Research Network on Electrochemical Energy Storage」において、種々の蓄電池、スーパーキャパシタ等の基礎研究及び応用・実用化開発が行われている。この中には全固体 LIB や全固体ナトリウムイオン電池の研究テーマが含まれている。フランス国立科学研究センターが研究ネットワークのハブとなり、17 大学・国立研究所、15 企業、3 政府系機関が参加している。主な参加企業は Airbus、Renault、SAFT、SOLVAY、Umicore である。

(g) ベルギー

独立系ナノエレクトロニクス研究機関 Imec は、多孔質メソポーラスシリカコンポジットを電解質に用いた全固体電池の研究開発を進めている。この電解質のイオン伝導率は室温で $1 \times 10^{-2} \text{S/cm}$ レベルにあり、正極活物質にリチウムリン酸鉄 (LFP)、負極活物質に金属リチウムを用いた 5Ah 級セルで体積エネルギー密度 425Wh/L を達成したことを 2019 年 6 月に発表している。2024 年までに体積エネルギー密度を 1,000Wh/L、充電レートを 2~3C まで向上させるとしている。

(h) 中国

第 13 次 5 ヶ年計画 (2016~2020 年) の一環として、中国科学技術部が中心となり、「国家重点基礎研究計画／新エネルギー車試行特別プロジェクト」を 2016 年に開始した。総予算 (5 年間) は約 3.5 億元 (約 60 億円) である。中国科学院 (CAS) とその傘下の研究所群が中心となり、車載用バッテリーに適用する液系 LIB、全固体 LIB 及び次世代電池 (リチウム硫黄電池、リチウム空気電池等) に用いる新材料、セルの高エネルギー密度化・高出力化技術、システム化技術及び試験評価法等に関する

る研究開発を実施している。

このプロジェクトにおける全固体 LIB の取組として、LPS 系硫化物電解質をナノ粒子化して正極活物質表面を被覆する研究、酸化物固体電解質への高分子の被覆で界面抵抗と電気化学安定性を改善し、高電位正極と Li 金属負極の適用を試みた研究、硫化物系あるいは酸化物系固体電解質と高分子系固体電解質のコンポジット膜を形成する研究等の報告例がある。

次に、個別の中国企業による全固体電池開発の主な取組は以下のとおりである。

BYD はポスト液系 LIB の有力候補と位置づけ、硫化物系・高分子系電解質を用いた全固体 LIB の開発に取り組み、10 年後を目途に全固体電池の量産化する計画であることを発表している。

CATL は硫化物系電解質を用いた全固体 LIB の開発に取り組んでいる。液系 LIB と同様のウェットコーティング法を適用したパイロットプラントの立ち上げに着手済みで、試作品は完成済みとしているが、性能確認に要する期間や品質担保等の観点から実用化は 2030 年以降になるとの見通しを発表している。

また、前記したように、万向 A123 は米国ベンチャー企業 Ionic Material と技術提携し NMC 正極と黒鉛を用いた高分子系固体電池を開発し、2022 年に市場に投入する予定であると発表している。

(i) 韓国

韓国では、産業通商資源部や教育科学技術部等の公的資金による全固体電池の研究開発が推進されている。

産業通商資源部が所管する韓国エネルギー技術評価院 (KETEP) は、2012 年に「エネルギー技術 R&D ウェアハウス」と題したエネルギー関連技術のロードマップを策定したが、その中の「EV 用エネルギー貯蔵システムロードマップ」において全固体電池をコア技術として選定した。このロードマップに基づき、KETEP は全南大学、蔚山科学技術大学、江原大学、韓国電子通信研究院、韓国電気研究院、韓国科学技術研究院等に対して開発資金を配賦し、電解質材料の探索、電解質-活物質界面の抵抗低減、電池インテグレーション、製造技術等に関する研究開発を進めていると見られる。例えば、韓国電気研究院が、硫化物系電解質の合成プロセスを改善して $1.3 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ のイオン伝導率を実現し、これに Ni 配合率 60% の NCM 正極活物質と Li 金属負極を組み合わせたセルで容量密度 150mAh/g を発現させたとの報告がある。また、韓国科学技術研究院がアルジロダイト硫化物系電解質で $1 \times 10^{-2} \text{S/cm}$ のイオン伝導率を実現したとの報告もある。

個別の韓国企業による全固体電池開発の主な取組は次のとおりである。

Samsung SDI 及び日本サムスン研究所は、硫化物系電解質を用いた全固体 LIB の開発に取り組んでいる。2015 年には、この全固体 LIB の重量エネルギー密度が 300Wh/kg に到達済みで、2025 年に商品化する予定であるとの報道があった。また、2020 年 3 月には、アルジロダイト系の硫化物系固体電解質、Ni 配合率 90% の NCM 正極活物質 (Zr 被覆有り)、Ag-C 複合体負極活物質を組み合わせた 0.6 Ah 級セルで、体積エネルギー密度 900 Wh/L を実証するとともに、0.5C レートでの充放電サイクル試験で 1,000 サイクル後の容量維持率が 89% であったことを発表した。

現代自動車は、韓国科学技術研究院や漢陽大学等と硫化物系電解質を用いた全固体 LIB を開発しており、LPS 系の硫化物系電解質に硫化ニッケルを添加することで結晶中の硫黄欠損を制御し、イオン伝導率 $2 \times 10^{-3} \text{S/cm}$ を実現したとの報告がある。

(4) 全固体電池の論文発表動向

2001年～2019年の過去19年間における全固体電池の論文発表件数の推移を図 1.1.3-7 に、論文の著者所属機関国籍別の発表件数の割合を図 1.1.3-8 に示す。

全固体電池の論文発表件数は、2001年の52件から2019年の1,126件と20倍以上に増加している。19年間の累積の総論文発表件数は4,880件であり、国別の発表件数で見ると、主要国で大差は無いものの、直近の5年間では中国の発表件数が急増しており、今後、中国が日本を含め他国を圧倒する可能性が高い。

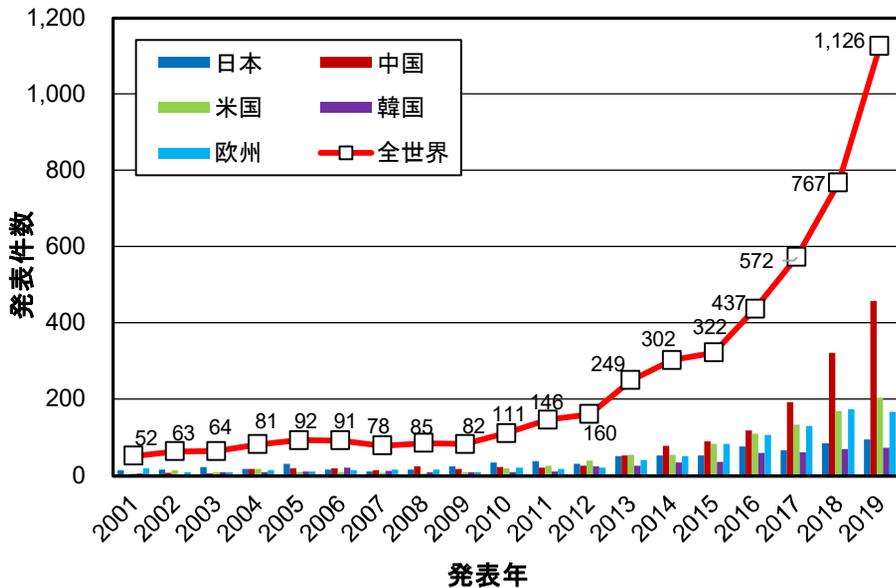


図 1.1.3-7 全固体電池の論文発表件数の推移

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

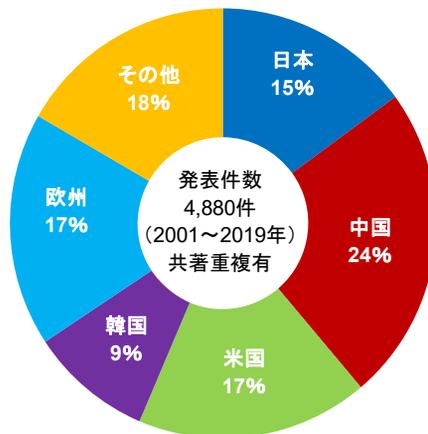


図 1.1.3-8 全固体電池の論文著者所属機関国籍別の累積発表件数

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

次に、4,880 件の全固体電池の論文中で取り扱われている固体電解質の種別で、論文発表件数の推移を整理したものを図 1.1.3-9 に、著者所属機関国籍別の累積発表件数を整理したものを図 1.1.3-10 に示す。

硫化物系電解質と酸化物系電解質の発表件数が横並びで増加する傾向にあるが、2015 年より硫化物系電解質の発表件数の増加が顕著である。国別の発表件数で見ると、日本と米国は硫化物系電解質の発表件数が酸化系の約 2 倍となっているが、中国、韓国及び欧州は硫化物系と酸化物系の発表件数に大きな差はない。

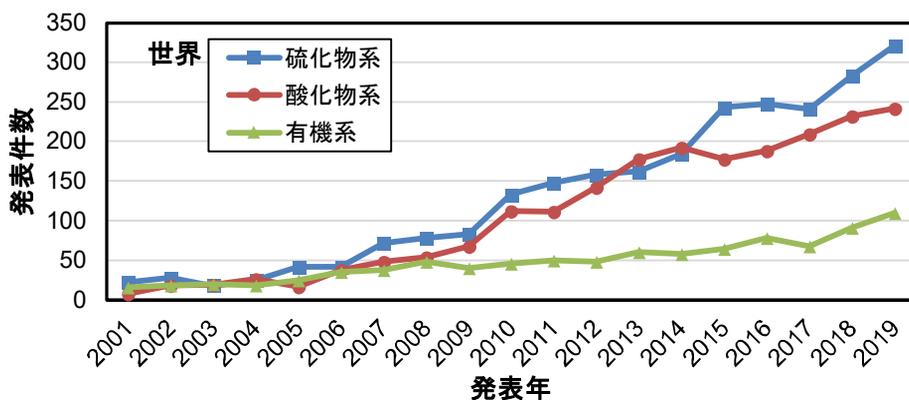


図 1.1.3-9 固体電解質種別の論文発表件数の推移
(Web of Science に基づき NEDO 作成)

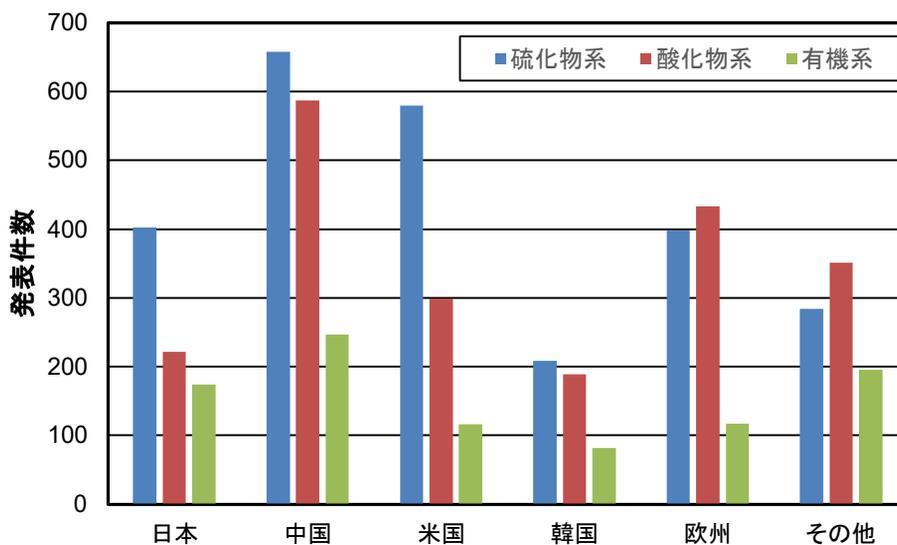


図 1.1.3-10 固体電解質種別／論文著者所属機関国籍別の累積発表件数
(Web of Science に基づき NEDO 作成)

(5) 全固体電池の特許動向

2001年～2018年の過去18年間における全固体電池の特許出願件数の推移を図1.1.3-11に示すが、2000年代前半は200件/年以下であったが、2006年より急増し、2017年以降、約1,000件/年以上となっている。また、2016年より中国の出願件数が日本を上回るようになってきている。図1.1.3-12に示すように、18年間の累積の特許出願件数ではまだ日本は他国をリードしているものの、将来、中国に追い抜かれる可能性が高い。

特許は量より質と言われるものの、技術力を示すバロメーターの一つであり、前記した論文動向と併せて考えると、他国の技術キャッチアップがかなり進んでいることが窺える。

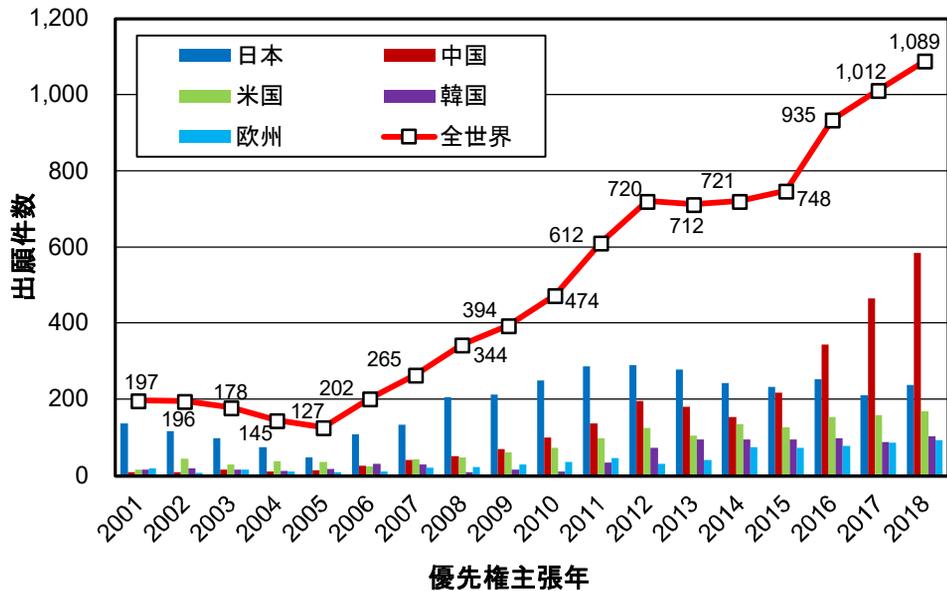


図 1.1.3-11 全固体電池の特許出願件数の推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

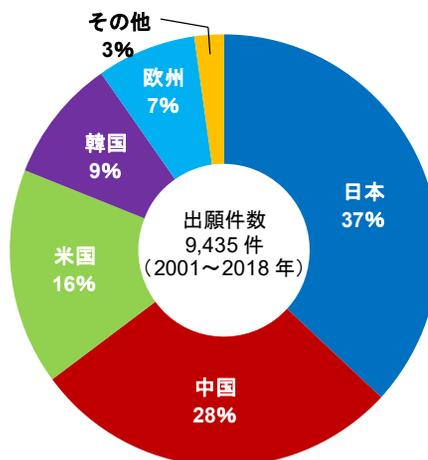


図 1.1.3-12 全固体電池の出願人国籍別の累積出願件数の割合
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

国別の出願件数で見ると日本のリードはあまり大きくないと言えるが、表 1.1.3-5 に示すように、出願人別の出願件数では上位 20 位内に日本企業 14 社が入っており、産業技術総合研究所を含めると日本は上位 20 位内の 75%を占めている。特にトヨタ自動車の出願件数は 2 位の Samsung Group の 2 倍以上となっており、非常に多くの技術蓄積があることが分かる。

表 1.1.3-5 全固体電池の出願人別の出願件数ランキング
(Derwent World Patents Indexに基づき NEDO 作成)

順位	企業・機関名	出願件数	順位	企業・機関名	出願件数
1	トヨタ自動車	753	11	京セラ	98
2	Samsung Group (韓国)	358	11	OKTECH(中国)	98
3	出光興産	325	13	オハラ	95
4	住友電工	241	14	ソニー	92
5	LG Group (韓国)	203	15	産業技術総合研究所	78
6	日本ガイシ	179	16	三洋電機	76
7	パナソニック	173	17	日本触媒	73
8	日産自動車	156	17	JSR	73
9	村田製作所	112	19	清華大学(中国)	72
10	本田技研工業	102	20	SHENZHEN(中国)	68

次に、前記した約 9,500 件の出願特許について「課題」で出願件数を整理したものを図 1.1.3-13 に示す。各国共通で「エネルギー密度」及び「充放電特性」で大半が占められており、全固体電池で期待されている初期特性の発現に研究開発の重点が置かれていることが分かる。

一方、「耐久性」、「安全性」、「電池作製プロセス」を課題とする出願はまだ少ない状況にある。これらの課題は、市場に出てから起こる不具合の防止(市場品質の確保)、そして何千万・何億個という量産を行った時に起こる不具合の防止(製造品質の確保)と密接に関連している。この領域はノウハウとして秘匿されるべきものかもしれないが、仮に競合国が回避することが困難で、かつ差止め請求が可能な実効性のある特許を権利化できた場合には、日本にとって有利なビジネス環境を招き入れることができる。

NEDO としては、本事業で開発する材料評価技術が利活用されることにより、こうした課題領域での日本企業の発明が強化され、強固な特許ポートフォリオが構築されていくことを目指している。

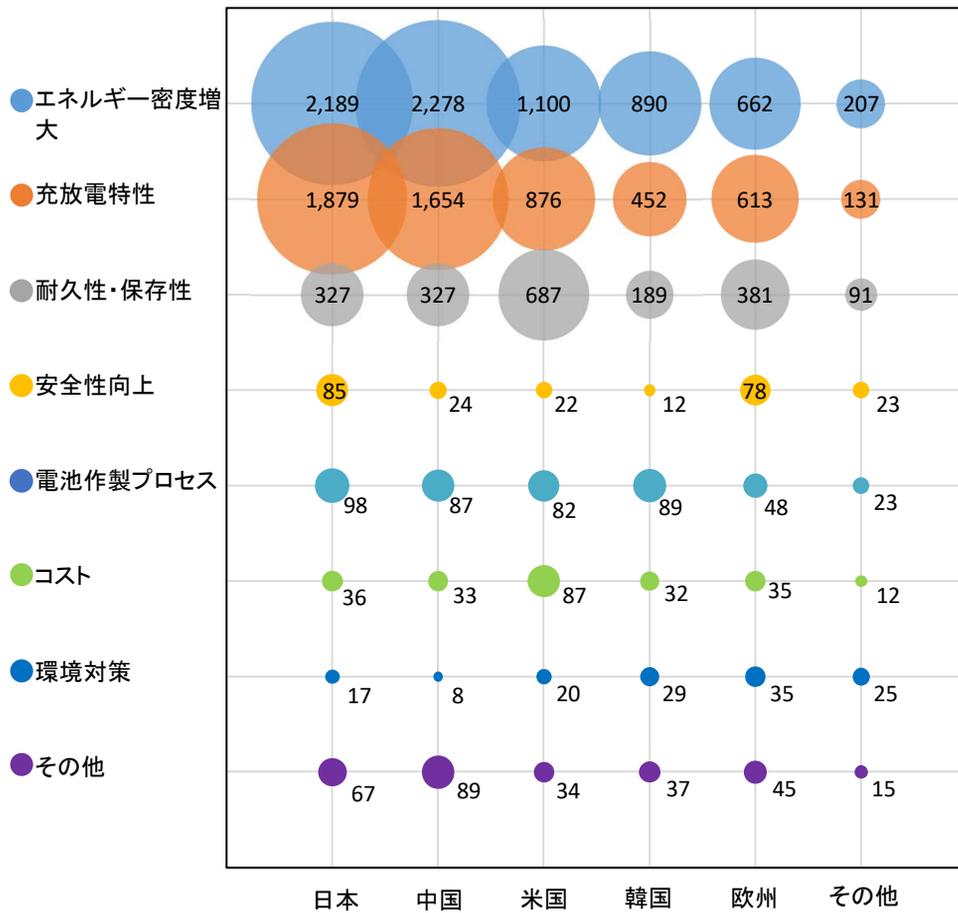


図 1.1.3-13 全固体電池の課題別の特許出願件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

同様に、約 9,500 件の出願特許について技術内容で出願件数を整理したものを図 1.1.3-14 に示す。

各国共通で固体電解質及び電極活物質で大半が占められており、材料の研究開発に重点が置かれていることが分かる。

材料は少数の特許で独占排他のビジネスが実施可能となることから、積極的に特許で権利化する必要がある。NEDO としては、本事業で開発する材料評価技術が利活用されることにより、日本企業により強い材料特許が創出されることを目指している。

一方、電解質層・電極層の形成技術、集電体、外装等に関する出願はまだ少ない状況にある。これらの発明はサイエンス面での価値は低いのかもしれないが、蓄電池の実用化(量産)・製品化には必須の技術アイテムであり、本事業の実施によって強い製法・用途特許の創出に繋がる技術的知見が蓄積されることも目指している。

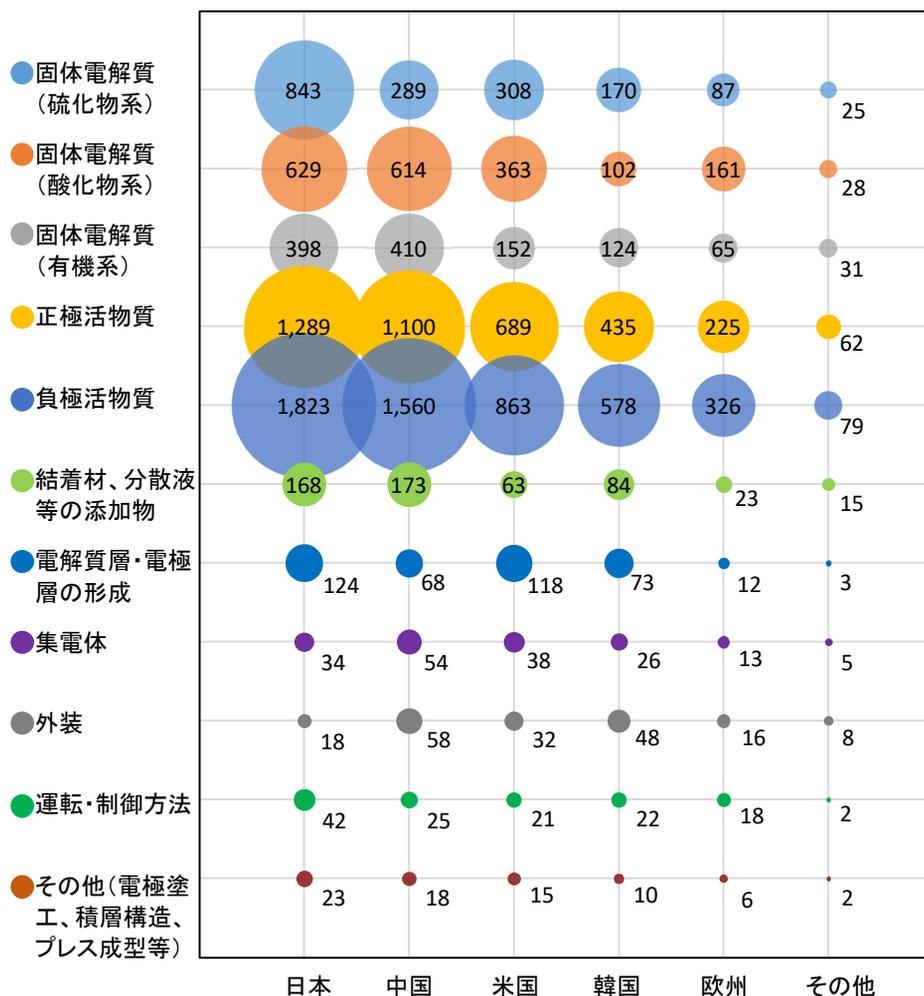


図 1.1.3-14 全固体電池の技術内容別の特許件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

次に、固体電解質の特許出願件数の推移を図 1.1.3-15 に、国別の累計出願件数を図 1.1.3-16 に示す。硫化物系電解質と酸化物系電解質の出願件数が右肩上がりに伸びており、近いうちに 300 件／年レベルに到達することが見込まれる。日本は累積出願件数で他国をリードしている。特に硫化物系電解質では米国及び中国の約 3 倍を出願しており、500 件近いリードがある。しかしながら、他国の出願件数の伸びは日本以上であり、ここ数年のうちにデッドヒートの状況になるものと予想される。

全固体電池で基軸の材料となるのは固体電解質である。NEDO は本事業の実施によって卓越した特性を発揮する固体電解質が日本で創出・実用化される環境を構築したいと考えている。

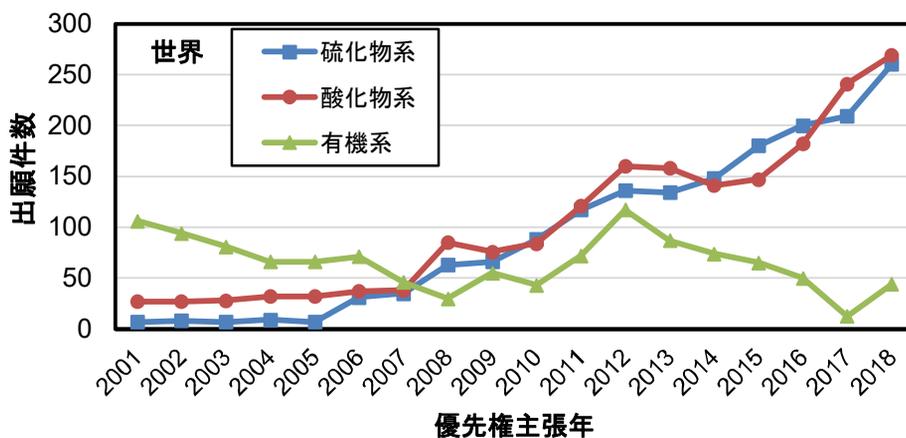


図 1.1.3-15 固体電解質の特許出願件数の推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

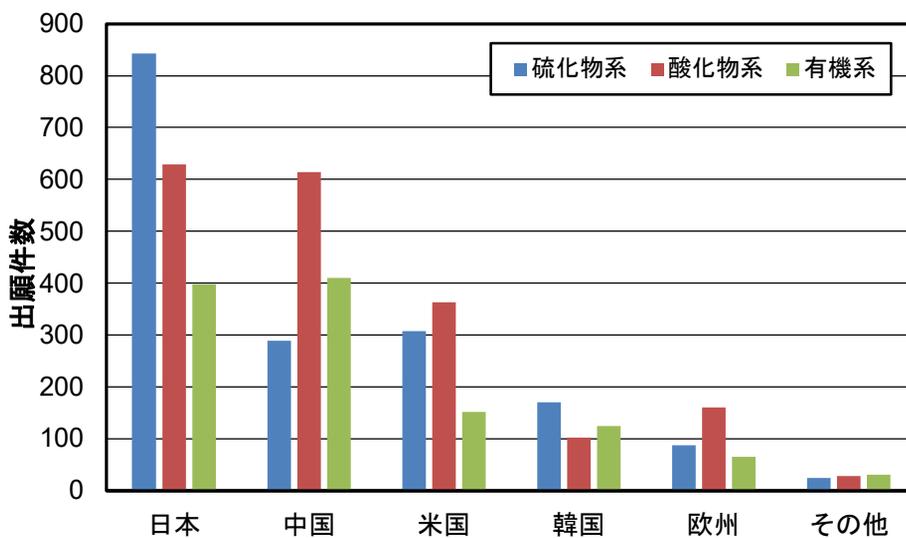


図 1.1.3-16 出願人国籍別の固体電解質の累積出願件数の割合
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

1.1.4 上位施策・制度への寄与

(1) 関連する上位施策

蓄電池に関しては、これまで我が国の様々な政策において研究開発の必要性・重要性が謳われてきている。このうち、本事業が密接に関連し、その目標達成に寄与する上位施策を以下に示す。

① 未来投資戦略 2018(2018 年 6 月、閣議決定)

世界に先駆けた「超スマート社会」(Society 5.0)の実現を目指し、運輸部門の省エネルギー化を推進するため、EV・PHEV 等の次世代自動車の普及、新たな燃費基準等の自動車単体対策、より高効率な車載用蓄電池の開発・実用化を進めるとしている。特に、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や革新型蓄電池の研究開発を加速し、全固体電池は 2025 年、革新型蓄電池は 2030 年の実用化を目指すとしている。

② エネルギー基本計画(2018 年 7 月閣議決定)

徹底した省エネルギー社会の実現に向け、運輸部門の更なる省エネルギー化を図るため、2030 年までに新車販売に占める次世代自動車の割合を 5 割から 7 割とすることを目指すとしている。特に、自動車単体の対策については、次期燃費基準の策定を進めるとともに、自動車の電動化、自動化、サービス化等の大きな環境変化を踏まえた世界最先端の制度環境・社会インフラの整備や次世代電池をはじめとした基盤技術開発の抜本的強化等に向けた戦略を定め、官民一体でこれを進めるとしている。

また、エネルギー産業政策としても、我が国がリードする先端技術の 1 つである蓄電池は、今後、利用用途が世界的にも大きく拡大していく状況にあることから、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。

③ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(2019 年 6 月閣議決定)

我が国は今世紀後半のできるだけ早期に脱炭素社会を実現することを目指す。蓄電池は脱炭素のキーテクノロジーの 1 つであり、コスト、効率等の具体的な目標を掲げ、大胆に政策・経営資源を投入するとともに、官民一体で取り組むとしている。

また、運輸部門における気候変動問題への積極貢献対策として、2050 年までに世界で供給する日本車について世界最高水準の環境性能(具体的には日本車 1 台あたりの温室効果ガス排出量を 2010 年比で 8 割程度削減)を実現するとしている。この場合、自動車の電動化が重要となるが、そのキーテクノロジーである蓄電池については、技術革新が進み、価格低下が進展しているものの、電動車が内燃機関自動車と同等の価格・スペックを実現するまでには更なる技術革新が必要としている。そのため、産学官連携や企業の壁を越えたオープン・イノベーションにより、蓄電池、モーター、インバーター等の次世代電動化関連技術の早期実用化及び生産性の向上に取り組むとしている。

④ 革新的環境イノベーション戦略(2020 年 1 月統合イノベーション戦略推進会議決定)

運輸部門において、2050 年までに日本車 1 台あたりの温室効果ガス排出量を 2010 年比で 8 割程度削減を長期のゴールと定めた上で、EV・PHEV 等の電動車の普及拡大に向け、全固体電池等の高性能蓄電池の技術開発に取り組むとしている。また、この開発に際しては、基礎基盤研究を進めつつ、大学・ベンチャー等の知識も取り込みながら、国内外の研究機関との連携体制を構築するとしている。さらに、電池特性の基礎的課題の解明に取り組む拠点を設置し、電池設計から電池材料開発、電池作製・評価解析までを一貫通貫で行う体制を整備するとしている。

(2) 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、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。

本事業(第1期及び第2期)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)に基づき実施してきている。

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、本事業の連携先として、前記したJST所管事業「ALCA-SPRING」に加えて、文部科学省所管事業「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」及びNEDO所管事業「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」が選定されている。

1.2 NEDO の事業としての妥当性

1.2.1 NEDO の関与の必要性

本事業が取り組む全固体 LIB の共通基盤技術の開発については、下記①～⑥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)

「1.1.2 市場動向」で述べたように、今後、飛躍的な市場拡大が予想される車載バッテリー用途の液系 LIB とその構成材料の市場は、大胆な生産設備投資により価格競争力を獲得した中国・韓国勢にインベードされつつある。また、「1.1.3 技術動向」で述べたように、国内蓄電池・材料メーカーは液系 LIB で高い技術力を保有するものの、他国企業も技術的知見を蓄積しており、今後、差別化された製品を生み出し難い状況となっている。また、液系 LIB 自体の性能も工業的な限界に近づきつつあり、液系 LIB を用いて国内自動車メーカーが差別化した EV・PHEV を実現することも難しい状況となっている。そのため、国内自動車・蓄電池・材料メーカーにとって、全固体 LIB は「虎の子」、「ゲームチェンジ」の技術であると言え、世界全体で研究開発が活発化している中、実用化で世界の先手を取るとともに、その後の技術進化でも世界をリードしていく必要がある。

この実現に向けては、全固体 LIB の高性能化・低コスト化において中心的な役割を果たす電解質や電極活物質等の新材料を迅速かつ効率的に実用化へと導く必要がある。そのため、本事業では、国内自動車・蓄電池・材料メーカー 23 社及び大学・研究機関 15 法人の幅広い協調・連携により、適切かつ公平な評価を可能とする材料評価技術の開発に取り組んでいる。また、この開発成果は、将来的には本事業に参加していない国内企業・大学等が開発した材料・部品やその加工プロセス等の評価にも活用し、実用化を後押ししていく予定である。

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・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。特に全固体 LIB については、優れた固体電解質や電解質-電極活物質界面の抵抗低減技術等が国内の大学・研究機関で見出され、世界的にも高い評価を得ている。こうした学術成果を産業技術に引き上げていく観点からも本事業における産学連携の取組が必要である。

具体的には、本事業(第 2 期)の開始時に、JST 事業の ALCA-SPRING で硫化物系全固体電池の研究開発を行っていた大学・研究機関を多数、受け入れている。また、現在も ALCA-SPRING の全固体電池チーム(硫化物型サブチーム)及び正極不溶型リチウム硫黄電池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、評価結果のフィードバックを行う取組を推進している。

③ 開発リスク・ハードルの高さ

全固体 LIB で期待される性能を発揮させるためには、活物質-電解質界面に生じる抵抗層の解消、電解質層の薄膜化・緻密化、合剤電極内での活物質・電解質粒子の凝集防止、これら粒子間での空隙発生防止等に対応する必要がある。液系 LIB に比べると技術的なハードルが高い。高い信頼性・耐久性が求められる車載用バッテリーとしての実用化になると、ハードルは一層高くなる。また、全固体 LIB は研究開発段階にあり、ベンチマークとなる製品が存在しない中、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リスクが高く、企業単独の活動のみでは困難である。

④ 関係者間の利害調整

共通基盤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必要があり、中立的な立場でマネジメントを行う NEDO の関与が必要である。

また、本事業には数多くの大学・公的研究機関が参加している。アカデミアにおける教育研究は知識の普及と伝承・共有化を行う活動であり、秘密保持を行わない公開性が基本であるのに対して、本事業のような産学連携は知識の財産化と企業活用が目的であり、守秘性が基本となる。この相反を理解した上で、アカデミア、産業界双方のモチベーションを維持する妥協点を探索するマネジメントを行う必要があり、NEDO の関与が求められる。

⑤ 過去の蓄電池材料評価技術開発事業におけるマネジメント経験の活用

NEDO は、蓄電池材料評価技術の開発に約 10 年間、取り組んできている。

その第一歩として実施した「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2010～2014 年度)では、既に実用化されている液系 LIB 用材料(コバルト酸リチウム正極活物質、三元系正極活物質、黒鉛系負極活物質等)の高性能化をねらい、1Ah 級及び 5Ah 級の標準電池モデル(捲回積層セル)とこれらを用いた特性評価法を開発した。そして、材料メーカーより 400 以上の新材料サンプルを受け入れて特性評価を行った。

また、本事業の第 1 期(2013～2017 年度)では、将来の実用化が想定される先進的な液系 LIB (4.5V 超級スピネル系正極活物質、固溶体系正極活物質、SiO 系負極活物質、難燃性電解液等を使用)及び全固体 LIB の材料評価技術を開発した。先進的な液系 LIB については、1Ah 級の標準電池モデル(捲回積層セル)とこれを用いた特性評価法を開発し、材料メーカーより 400 以上の新材料サンプルを受け入れて特性評価を行った。また、全固体 LIB については、硫化物系電解質、三元系正極活物質、黒鉛系負極活物質を組み合わせ、2mAh 級の圧粉体成形セル、8mAh 級、50mAh 級及び 200mAh 級シート成形セルの合計 4 タイプの標準電池モデル(単層セル)とこれらを用いた特性評価法を開発し、材料メーカー及び大学等から約 30 の新材料サンプルを受け入れて特性評価を行った。

これらの事業で蓄積されたマネジメントの知見・ノウハウが本事業にも活用できる。

⑥ 国内の蓄電池開発事業間の連携促進

前記したように、「未来開拓研究プロジェクト」として位置付けられた本事業は、他の JST 事業、文科省事業及び NEDO 事業と省庁の枠を越えた連携に取り組むことになっている。これら事業間の連携を効果的・効率的に行うため、各事業に関係している有識者から構成される「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:東京大学総長特別参与・教授 橋本和仁)が設置されている。NEDO 蓄電技術開発室長(本事業のプロジェクトマネージャー)はこのガバニングボードの構成員であり、図 1.2.1-1 に示すように、他の 3 事業との連携関係を構築し、シナジー効果の獲得に取り組んでおり、この点においても NEDO の関与は適切である。

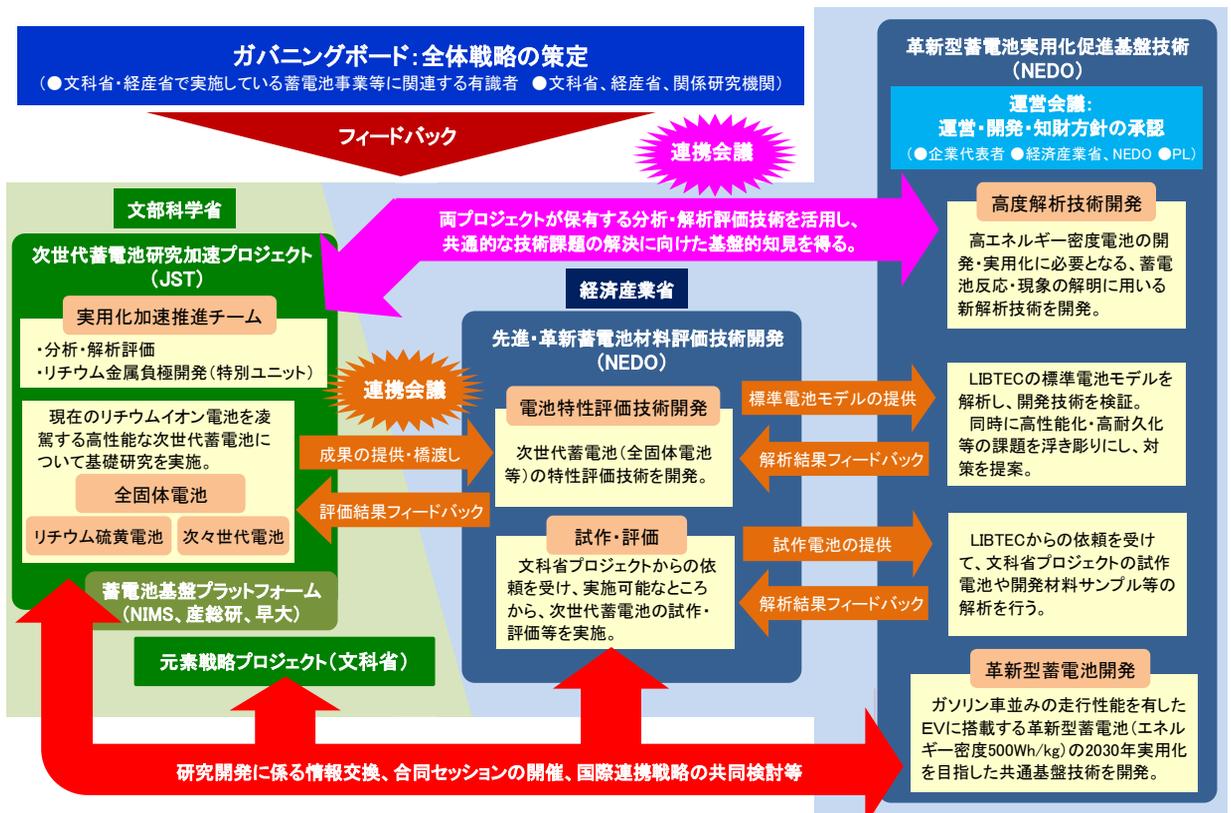


図 1.2.1-1 他の蓄電池開発事業との連携

1.2.2 実施の効果

(1) 蓄電池産業の競争力強化

本事業の成果(全固体 LIB の材料評価技術を中心とした共通基盤技術)が国内産業界に普及・定着することによる効果、及び本事業を実施すること自体の効果として、下記の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の短縮

材料メーカーによる新材料・部品の提案(サンプル供試)の段階より、全固体 LIB 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(自動車・蓄電池メーカー)でハイレベルの議論が行うことができる。引き続いて、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、技術の摺り合わせが円滑に進展し、実用化に至るまでの開発期間が短縮される。

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、他の構成材料・部品との相互影響やセル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

本事業における共通基盤技術の開発のために LIBTEC に導入した各種製造設備、試験評価設備、分析装置等は、個別の企業が実際に開発した材料・部品等の評価に利活用可能である。そのため、企業が自己資金で設備投資を行わなくても、開発品のサンプルを LIBTEC に持ち込むことにより、特性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

大手自動車・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大手自動車・蓄電池・材料メーカー23社、高い技術力を有する大学・研究機関15法人による幅広い企業間連携・産学連携で本事業の開発に取り組むことにより、全固体 LIB に関する様々な技術シーズ・ニーズ及び知見が蓄積され、共有される。その結果として、我が国蓄電池関連産業全体での全固体 LIB の技術力の向上に繋がる。

(2) アウトカム

国内産業界による全固体 LIB の手の内化によって、全固体 LIB を搭載した EV・PHEV の実用化・普及が進むことで、以下に示す経済効果と CO₂ 削減効果が得られる。

(a) 経済効果

本事業に参加しているトヨタ自動車、日産自動車、本田技研工業が最近、発表している電動化戦略に示されたセールスマックスを参考として、これら3社合計での電動車の世界生産台数を NEDO が試算(予測)した結果を図 1.2.2-1 に示す。各種電動車のうち、EV・PHEV の世界生産台数は、2035 年で EV が約 230 万台、PHEV が約 570 万台、2040 年で EV が約 270 万台、PHEV が約 700 万台と試算された。

これら EV・PHEV に全固体 LIB が搭載される割合を 2035 年が 30%、2040 年が 35%とし、また、電池パックの容量を EV が 60kWh、PHEV が 15kWh、コストを EV・PHEV 共通で 1 万円/kWh とすると、車載バッテリーの年間売上としての経済効果は 2035 年が約 6,700 億円/年、2040 年が約 9,300 億円/年となる。なお、EV・PHEV の価格を 200 万円とした場合、その年間総売上としての経済効果は 2030 年が約 5 兆円/年、2040 年が約 7 兆円となる。

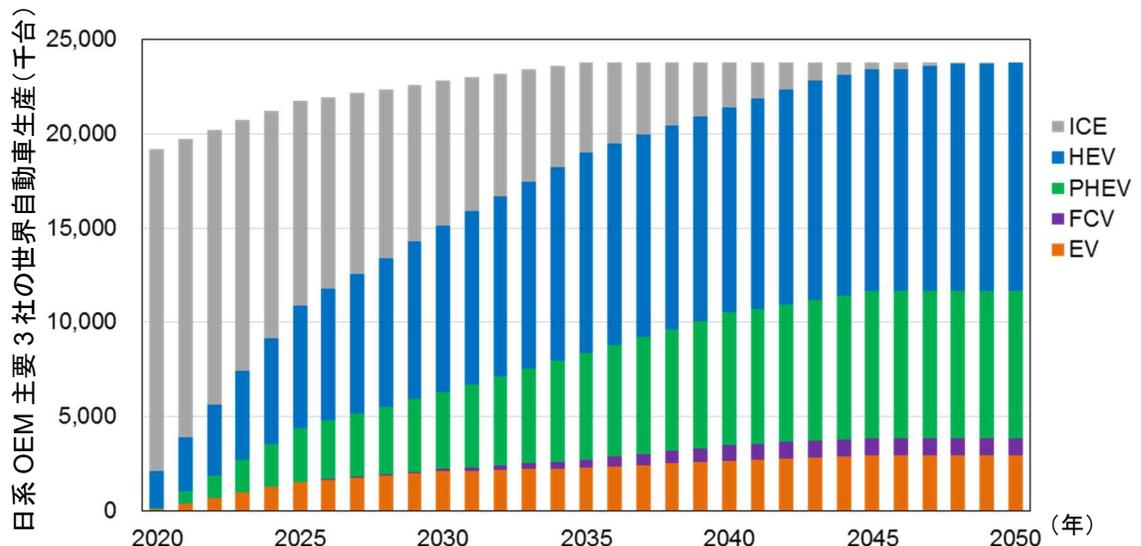


図 1.2.2-1 国内自動車メーカーの電動車生産台数(NEDO 試算)

(b) CO₂ 削減効果

耐久性に優れ、かつ充電時間が短くてすむ全固体 LIB を搭載した EV・PHEV であれば、ガソリン車と同等の 1 万 km レベルの年間走行距離で使用されるものと予想され、1 台あたり約 1.5 トン/年の CO₂ 排出量の削減効果がある。(注:電気事業連合会が「長期エネルギー需給見通し」に基づいて

定めた 2030 年度の電力 CO₂ 排出係数の目標値を用いて試算。)

全固体 LIB 搭載の EV・PHEV の国内普及シナリオとして、2025 年に普及開始し、毎年 10 万台レベルで規模を拡大させ、2030 年以降は年 60 万台の普及を継続すると仮定する。この場合、普及開始 10 年後となる 2035 年の累積普及台数は 475 万台となり、約 700 万トン／年の CO₂ 排出量の削減を実現する。また、普及開始 15 年後となる 2040 年の累積普及台数は 775 万台となり、約 1,200 万トン／年の CO₂ 排出量の削減を実現する。

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

本事業の基本計画に記載されている目標は以下のとおりである。

各目標に対する達成度判定指標については、実施者(委託先)の公募採択決定後、NEDO と実施者で協議の上、実施計画書において定めることとした。

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」

【中間目標】(2020 年度末)

- 1) 第1世代全固体 LIB の大型化・量産化に必須となる固体電解質の量産、電極設計、電極活物質粒子への電解質コーティング、合剤電極の塗工及び電極厚膜化・大面積化等の要素技術を開発する。
- 2) 第1世代全固体 LIB に用いられる新材料について性能、耐久性、安全性・信頼性を大型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 3) 量産プロセスをモデル的に再現した標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 4) 次世代全固体 LIB として、第1世代全固体 LIB からの飛躍的な性能向上を実現する高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等の候補材料を選定する。
- 5) 次世代全固体 LIB でユーザー訴求力を有した EV・PHEV 用の電池パックを実現するための外装パッケージ構造及びセル積層構造の候補を抽出する。
- 6) イオン濃度・輸送の理論モデルに基づいて、セルの不安定化・劣化、熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。また、車両走行パターンにおける電池モジュール・パックの充電電・熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。
- 7) 将来の国際規格・基準への反映を想定した全固体 LIB の試験評価法としての試験項目をリストアップし、試験条件・方法・クライテリア等を明確化する。

【最終目標】(2022 年度末)

- 1) 第1世代全固体 LIB の標準電池モデルを用いた材料評価技術について、産業界における新材料開発の進展に対応した見直しを行い、性能、耐久性及び安全性・信頼性に加えて、量産への適合性も評価可能な技術として仕上げる。
- 2) 高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等を次世代全固体 LIB に適用するための電解質-電極活物質の界面形成技術を開発するとともに、合剤電極での配合比や電極構造の最適化を行う。
- 3) 次世代全固体 LIB に適用する外装パッケージ構造及びセル積層構造のコンセプトを策定する。
- 4) 次世代全固体 LIB に用いられる新材料について性能、耐久性及び安全性・信頼性を小型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 5) 次世代全固体 LIB の標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 6) 国際規格・基準への反映を想定した全固体 LIB の試験評価法の原案を策定する。
- 7) 全固体 LIB の耐久性試験データや劣化メカニズム解析、劣化現象解明の結果に基づき、全固体 LIB の劣化・不安定化要因マップを策定する。また、長期耐久性を短期間で予測可能な劣化加速試験法を開発する。
- 8) 全固体 LIB 及び全固体 LIB を搭載した EV・PHEV の国際標準化戦略・方針を策定する。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」

【中間目標】(2020 年度末)

国内外の政策・市場・研究開発動向等の調査・分析結果に基づき、エネルギー・資源、リユース・リサイクル産業、充電インフラ等も視野に入れた全固体 LIB 及び EV・PHEV を取り巻く社会システムの将来像を提示する。

【最終目標】(2022 年度末)

本事業の成果を産業競争力として結実させるための社会システムのシナリオ・デザインを取りまとめる。

上記した目標は、本事業の企画・立案段階において自動車・蓄電池メーカー各社の開発デジジョンメーカーを一堂に集めて意見交換した結果を反映したものである。また、京都大学・小久見善八名誉教授、群馬大学・鳶島真一教授(現名誉教授)、同志社大学・稲葉稔教授の学識者 3 名で構成される NEDO 技術委員会を開催し、そこで受けた指摘や助言も反映している。

自動車・蓄電池メーカーの要望、すなわち、企業・大学等で研究開発されている新材料がどの程度、セル性能を向上させるポテンシャルを有するのか、その新材料のポテンシャルを十分に引き出すにはどんな改良が必要であるのか、セルの量産プロセスには適合するのか等を理解するためのエンジニアリングデータを取得し、全固体 LIB の開発・実用化を加速したいという要望に応えるものとなっている。

戦略的な目標設定であること理由は次のとおりである。

- ① 「第 1 世代全固体 LIB」(研究開発が先行している硫化物系電解質に液系 LIB でも使われている電極活物質を組み合わせたもの。)と「次世代全固体 LIB」(高性能電解質に高電位・高容量の電極活物質を組み合わせたもの。)の材料評価技術を開発することは、全固体 LIB の実用化で日本が世界の先手を取り、かつ、その後の技術革新もリードしていくことに繋がるため。
- ② 「2.2.1 研究開発内容」で後述するように、「第 1 世代全固体 LIB」及び「次世代全固体 LIB」の要素技術開発に関する実証目標は、基盤技術という観点から見ると、非常に高いレベルに設定しているため。
- ③ ベンチマークとなる上市された製品が存在しない全固体 LIB について、標準電池モデルに使用する材料の選定・調達に始まり、合剤電極・セルの構造及び作製プロセスの検討等を経て、耐久性・安全性まで評価可能なプラットフォームを先取りして構築するため。また、数値解析によるセル及び電池パックの充放電特性や発熱挙動の予測であったり、開発した評価技術の国際規格への展開もスコープに含めているため。
- ④ 自動車を巡っては、CASE と呼ばれる技術革新の潮流によって、今後、産業構造が大きく変化する可能性がある。CASE の中心となる EV・PHEV の普及には、上流(資源)～中流(バッテリー、車両、充電インフラ)～下流(リユース、リサイクル)まで様々な課題が存在している。また、EV・PHEV がどのタイミング・規模で導入されていくことが適当かは、経済成長段階やエネルギー需給制約等、地域の状況によって大きく相違してくる。よって、全固体 LIB の価値を最大化するには、研究開発と並行して、産業構造変化や社会システムの将来像を先読みする必要がある、この検討を含めているため。

2.2 研究開発計画の妥当性

2.2.1 研究開発内容

(1) 「研究開発項目① 共通基盤技術開発」の研究開発内容

研究開発テーマの構成を図 2.2.1-1 に示す。

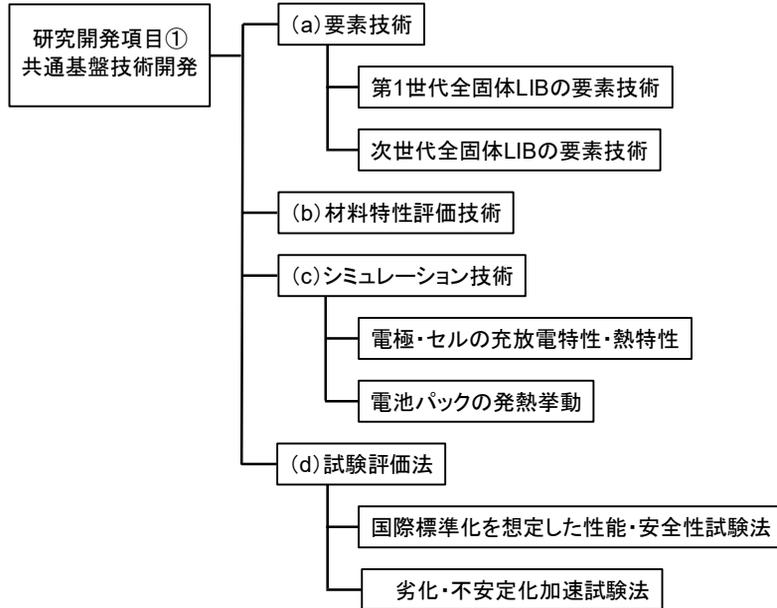


図 2.2.1-1 「研究開発項目① 共通基盤技術開発」のテーマ構成

(a) 要素技術開発

全固体 LIB の主要な技術課題を図 2.2.1-2 に示す。

本事業では、これらの技術課題を解決する各種要素技術の開発を、図 2.2.1-3 に示す第 1 世代全固体 LIB、次世代全固体 LIB それぞれの電池コンセプトに対応させて行う。また、開発成果を取り込んだセルを試作し、性能実証を行うことにより開発した要素技術の妥当性を検証する。

なお、性能実証の目標は、第 1 世代全固体 LIB が体積エネルギー密度 450Wh/L 以上及び 6C レート充電とし、次世代全固体 LIB が体積エネルギー密度 800Wh/L とした。

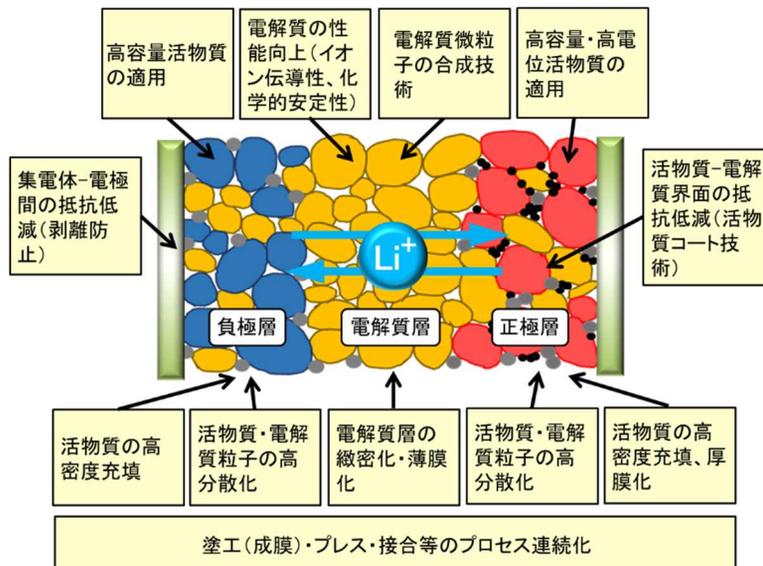


図 2.2.1-2 全固体 LIB の技術課題

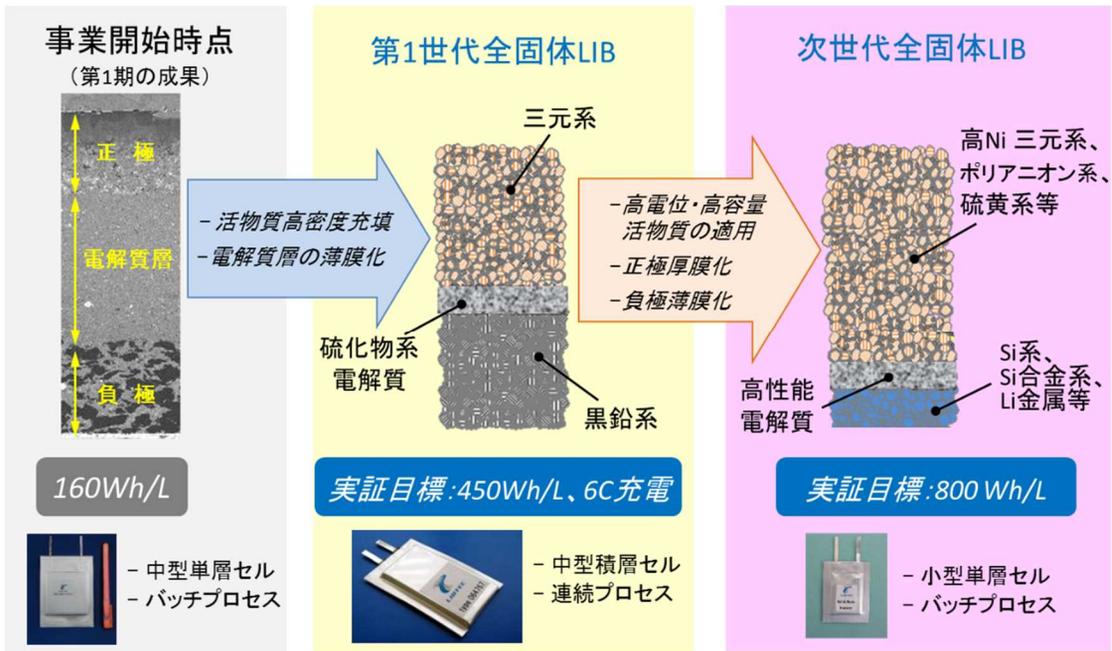


図 2.2.1-3 全固体 LIB の電池コンセプト

(b) 材料特性評価技術開発

図 2.2.1-4 に示すように、全固体 LIB への適用を想定し、今後、企業・大学等で開発される新材料サンプルを標準電池モデル(セル)に組み込み、特性評価を行うことにより、新材料のメリット・デメリットや改良の方向性を把握する技術(評価基盤)を開発する。

標準電池モデルのバリエーションとしては、□2cm 単層セル、□7cm 単層セル、□7cm 積層セルをそろえるものとし、性能バラツキが無く、安定的に作製できるようにする。

標準電池モデルによる特性評価の前段階として実施する材料物性測定やハーフセル試験等も含め、材料種も考慮した評価項目をリストアップし、評価項目毎のサンプル数、試験条件、試験方法等を検討するとともに、使用する設備・装置を整備する。



図 2.2.1-4 標準電池モデルを用いた新材料の特性評価の流れ

(c) シミュレーション技術の開発

全固体 LIB の電極・セル及び電池パックの充放電特性や発熱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。なお、このシミュレーション技術は、本事業において実施する各種要素技術開発の課題解決や妥当性検証にも活用する。

(d) 試験評価法の開発

車載バッテリーの国際標準試験法としての発展を見据えた全固体 LIB の性能試験法及び安全性試験法を開発する。液系 LIB については以下の国際規格が制定されており、これらを参考としつつ、全固体 LIB の特長を強くアピールし、液系 LIB との差別化が図れる試験評価法を開発する。

IEC 62660-1 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -性能試験-」

IEC 62660-2 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -信頼性・乱用試験-」

IEC 62660-3 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -安全性要求事項-」

また、電解質・活物質の変化・変質や電解質-活物質界面の崩壊等、全固体 LIB 特有の不安定化・劣化のメカニズムを調べ、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。

(2) 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の研究開発内容

電動車、車載バッテリー、充電インフラ等に係る政策・市場、ユーザーニーズ、バリューチェーン、リユース・リサイクル等について、動向把握と将来分析を行うことにより、本事業の成果を産業競争力として結実させる社会システムのシナリオ・デザインをとりまとめる。

2.2.2 研究開発スケジュール

研究開発スケジュールを表 2.2.2-1 に示す。

第 1 世代全固体 LIB の要素技術に関しては、前半 3 年間で電解質層の薄膜化、電極層の高容量化・高入力化、プロセス連続化等の技術を開発し、これらの開発成果を取り込んだ□2cm 及び□7cm 単層セルで性能実証(エネルギー密度 450Wh/L 以上、6C 充電)を行う。後半 2 年間では、積層セル化の技術を開発し、□7cm 積層セルで性能実証を行う。

次世代全固体 LIB の要素技術に関しては、前半 3 年間で正極厚膜化技術の開発、高容量・高電位活物質の選定、電解質の安定性評価法の検討等を行う。後半 2 年間では、単層セル化の技術を開発し、□2cm 単層セルで性能実証(エネルギー密度 800Wh/L)を行う。

材料特性評価技術に関しては、前半 3 年間で□2cm 単層及び□7cm 単層の標準電池モデルを開発するとともに、その作製仕様書のドキュメント化や作製設備の整備を行う。また、後半 2 年間では、□7cm 積層の標準電池モデルの開発、作製仕様書のドキュメント化、作製設備の整備を行う。さらに、5 年間を通じて、新材料サンプルを標準電池モデルに組み込み、特性評価を行うプラットフォームの整備を行う。

シミュレーション技術に関しては、前半 3 年間で第 1 世代全固体 LIB のセル及び電池パックの解析モデルを構築する。後半 2 年間では、解析結果と実測データを比較検討することにより、モデル化や計算手法の妥当性を検証する。また、次世代全固体 LIB のセル及び電池パックの解析モデルを構築する。

試験評価法に関しては、前半 3 年間で国際標準試験法に係る新業務項目提案 (NP 提案) に向けた試験項目、試験条件、試験方法等を検討するとともに、その妥当性を説明するためのデータ取得を行う。後半 2 年間では、NP 提案後の国際標準化 (IS 化) に向けたデータ取得を行う。さらに、前半 3 年間で全固体 LIB 特有の不安定化・劣化のメカニズムを調べ、後半 2 年間で劣化要因マップの策定と劣化加速試験法を開発する。

表 2.2.2-1 研究開発スケジュール

		2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度
研究開発項目① 共通基盤技術開発	第1世代全固体LIB 要素技術 (450Wh/L、6C充電)	SE層薄膜化、電極容量化・高入力化、プロセス技術			積層セル化技術	
		単層セル性能実証			積層セル性能実証	
	次世代全固体LIB 要素技術 (800Wh/L)	正極厚膜化、活物質候補の選定、電解質安定性評価等			単層セル化技術	
					単層セル性能実証	
	材料特性評価技術	標準電池モデル(□2cm単層、□7cm単層)			標準電池モデル(□7cm積層)	
		特性評価プラットフォームの構築				
	シミュレーション技術	電極・セルの解析モデルの構築			妥当性検証	
		電池パックの解析モデルの構築			妥当性検証	
	試験評価法	IEC-NP提案に向けた性能・安全性試験法の検討			IS化に向けたデータ取得	
		不安定化・不安全化メカニズムの把握			加速試験法の検討	
研究開発項目② 「社会システムデザインの検討」	動向調査・分析(車載バッテリー市場、技術開発、充電インフラ、リユース・リサイクル)					
	全固体LIB搭載車の普及シナリオ、普及台数推計、社会システムの将来像					

2.2.3 研究開発費

本事業の研究開発予算を表 2.2.3-1 に示す。

予算総額は、2018 年度から 2020 年度の 3 年間で 5,756 百万円である。

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」では、集中研究拠点の LIBTEC において要素技術開発と標準電池モデルの作製に使用する活物質表面コーティング装置、電解質・合剤電極のスラリー化装置、電解質層・合剤電極層の塗工装置及びプレス装置等を導入した。また、シミュレーション技術の開発に使用する計算機及びソフトウェア、試験評価法の開発に使用する安全性試験装置、充放電試験装置、固体電解質の耐水性評価装置等を導入した。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」においては、各種動向調査の外注費を計上した。

表 2.2.3 -1 研究開発予算

(単位:百万円)

研究開発テーマ		2018 年度	2019 年度	2020 年度	合 計
研究開発項目① 共通基盤 技術開発	(1)第1世代全固体 LIB の 要素技術開発	739	1,007	896	2,642
	(2)次世代全固体 LIB の 要素技術開発	264	312	437	1,012
	(3)シミュレーション技術	84	110	125	319
	(4)試験評価法	398	550	555	1,502
	(1)～(4) 小計	1,485	1,978	2,012	5,475
研究開発項目② 社会システムデザインの検討		46	117	118	281
合 計 (NEDO 委託費)		1,531	2,095	2,130	5,756
集中研究拠点(LIBTEC)の予算		1,219	1,640	1,554	4,413
サテライト(大学・研究機関)の予算		312	455	576	1,343

2.3 研究開発実施体制の妥当性

本事業全体の実施体制を図 2.3-1 に示す。

集中研究拠点である LIBTEC に自動車・蓄電池・材料メーカー等、24 法人が研究者・エンジニアを派遣し、相互に技術的ノウハウや自社材料等を持ち寄る企業間連携の体制を構築している。LIBTEC 内には、「材料開発チーム」、「電池設計チーム」、「電池製造プロセスチーム」、「電池試作評価・分析チーム」の 4 つの研究チームが設けられており、前記の「2.2.1 研究開発内容」で述べた各研究開発テーマを分担している。また、本事業には、NEDO の委託先として大学・研究機関 15 法人(23 研究室)が、LIBTEC の再委託先として大学・研究機関 7 法人(8 研究室)が参画し、上記した 4 研究チームの何れかに所属し、LIBTEC と連携しながら研究開発を進めている。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」に関しては、LIBTEC 及び日本自動車研究所が NEDO 委託先である。図 2.3-2 に示すように、LIBTEC 内に自動車・蓄電池メーカーの専門家で構成されるワーキンググループを設置し、LIBTEC が実施した各種動向の調査・分析結果や普及シナリオ・市場デザインの検討結果について意見・助言を受けながら、検討を進めている。なお、ワーキンググループは、事業部門の担当者や充電インフラ関連の担当者も含まれており、広い視野で議論ができるメンバー構成となっている。

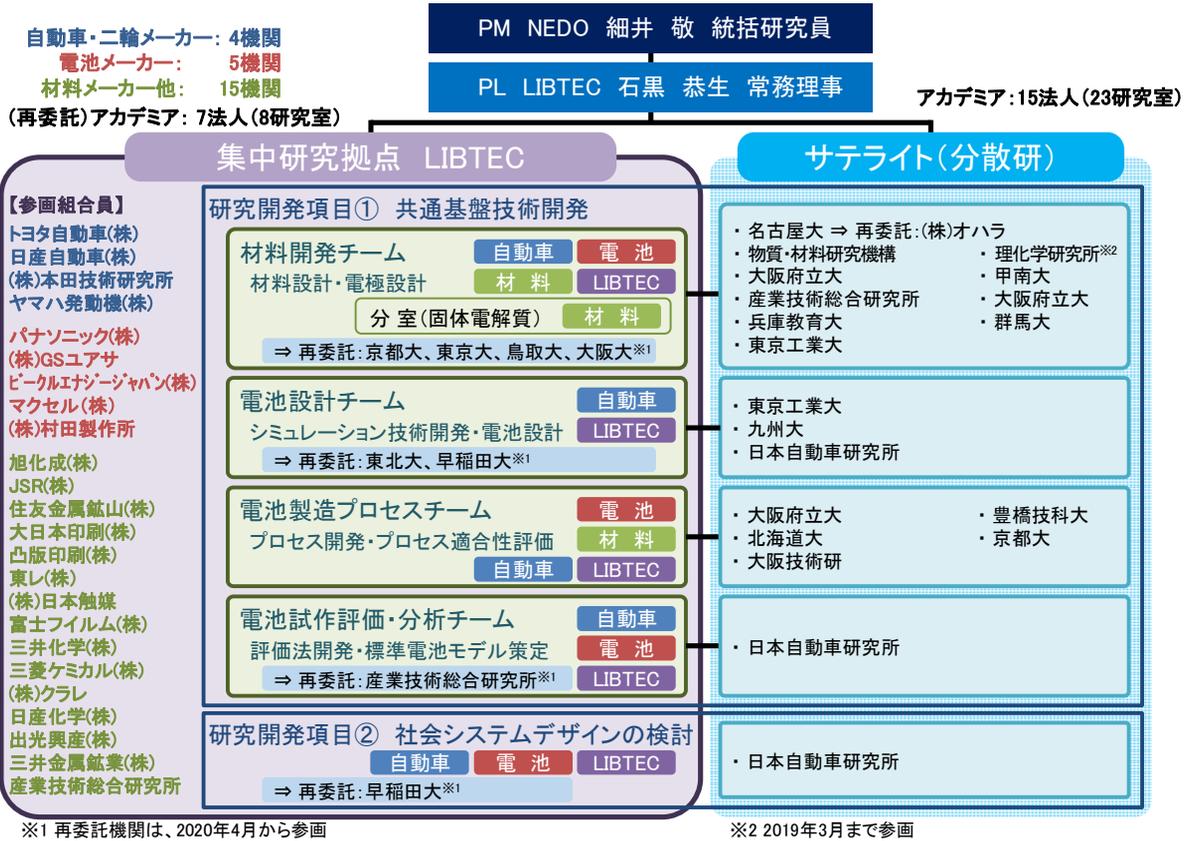


図 2.3-1 事業全体の実施体制

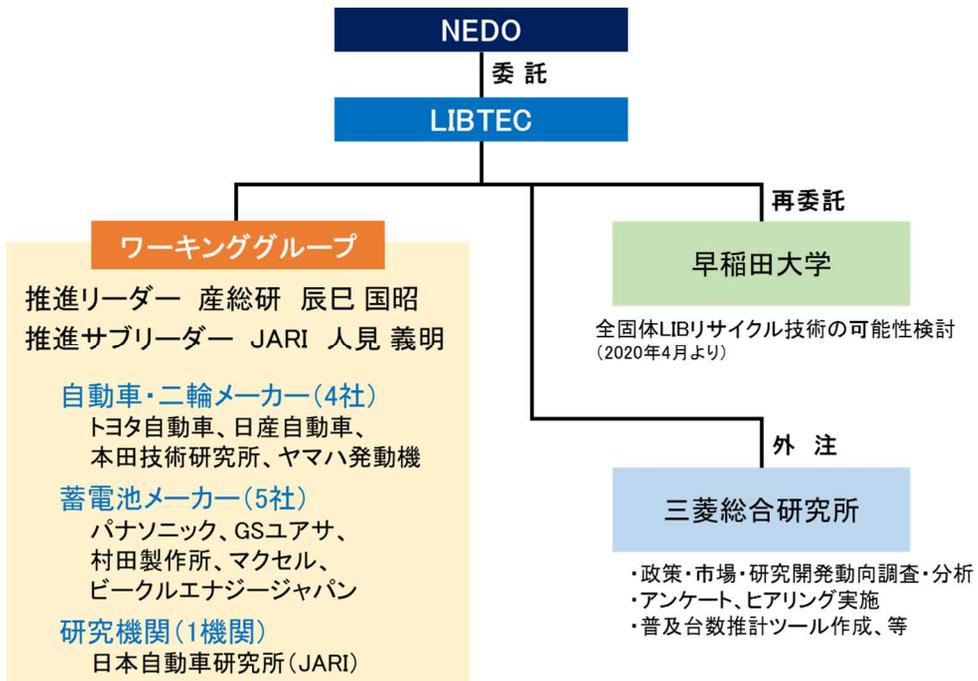


図 2.3-2 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の実施体制

2.3.1 実施者の技術力・実用化能力について

LIBTEC は、前記の「1.2.1 NEDO の関与の必要性」で述べた 2 つの NEDO 事業、すなわち、「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2010～2014 年度)及び「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第 1 期)」(2013～2017 年度)の助成先・委託先として、液系 LIB 及び全固体 LIB の材料評価技術の開発に取り組んできた。また、これらの成果を活用し、2017 年より材料評価サービスや蓄電池開発コンサルティングを自主事業として展開している。そのため、LIBTEC は材料特性評価技術の開発におけるポイントを押さえており、本事業に必要な技術力と成果の実用化能力を有していると言える。

同様に、本事業に参加している各自動車・蓄電池・材料メーカーも、液系 LIB 及び車載バッテリー分野におけるビジネス及び研究開発の豊富な経験と実績を有しており、本事業に必要な技術力と成果の実用化能力を有していると言える。また、前記の「1.1.3 技術動向」で述べたように、全固体 LIB の研究開発で世界リードするトヨタ自動車、コイン形全固体 LIB のサンプル出荷を開始したマクセル、硫化物系固体電解質の商業生産を計画している出光興産及び三井金属鉱業といった技術蓄積がある企業が参画している。

本事業に参加しているサテライトの大学・研究機関も高いレベルの技術力を保有している。参加 15 法人のうち、12 法人(大阪府立大学、京都大学、群馬大学、甲南大学、東京工業大学、豊橋技術科学大学、兵庫教育大学、北海道大学、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所、大阪産業技術研究所)は、JST/ALCA-SPRING の硫化物型全固体電池チームで 5 年間の活動実績がある。大阪府立大学・辰巳砂教授(学長)、東京工業大学・菅野教授といった全固体電池の研究で広く世界に認知されている研究者も参加している。

加えて、日本自動車研究所は、電動車両及び車載バッテリーの国際標準化を担当する国内審議団体であり、本事業の成果を戦略的かつ迅速に標準化活動に展開することができる。

2.3.2 指揮命令系統・責任体制

NEDO は、研究開発実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、研究開発の実施主体である LIBTEC の中からプロジェクトリーダー(PL)及びサブプロジェクトリーダー(SPL)を選定している。具体的には、PL を石黒恭生氏(LIBTEC 常務理事)に、SPL を阿部武志氏(LIBTEC 第 1 研究部長)、蕪木智裕氏(LIBTEC 第 2 研究部長)、福岡歩氏(LIBTEC 第 3 研究部長)、川合光幹氏(LIBTEC 第 4 研究部長)に委嘱している。

石黒 PL は、LIBTEC 内に石黒氏を頂点とする明確な指令命令系統及び責任体制を構築しており、前述した 4 つの研究チームのリーダーとして SPL を配置し、プロジェクト全体を管理している。また、各 SPL は、自研究チームに所属するサテライトの大学・研究機関の研究進捗を管理している。

石黒 PL はトヨタ自動車において、阿部 SPL、蕪木 SPL、福岡 SPL、川合 SPL は、それぞれトヨタ自動車、日産自動車、パナソニック、本田技術研究所において全固体 LIB も含めた蓄電池及び車載バッテリーの研究開発に深く携わってきており、全固体 LIB に係る技術的なポイントやボトルネック課題を把握している。また、所管する研究チームのメンバーに対する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議論することができる。

また、東京工業大学・菅野教授及び大阪府立大学・林教授が大学・研究機関側のリーダーとなって、サテライト側での連携・協力関係を構築している。

2.4 研究開発の進捗管理の妥当性

2.4.1 NEDO による進捗管理

(1) NEDO 担当者による進捗管理

NEDO は、本事業の研究開発テーマ毎に複数名の NEDO 担当者を配置して、実施者の研究進捗を常に把握するとともに、目標への到達度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等も分析・評価しながら、事業のマネジメントを推進している。

NEDO による具体的な進捗管理の内容は次のとおりである。

- ① 毎月、全実施者(LIBTEC 及び大学・研究機関)に登録研究員の従事月報の提出を求め、登録研究員ベースでの研究開発に遅滞が生じていないことを確認。
- ② 毎月、全実施者に予算執行状況の報告を求め、研究設備の導入状況や消耗品の購入状況から委託先単位での研究開発の遅延が発生していないことを確認。
- ③ 2～3 ヶ月に 1 回、NEDO 担当者が LIBTEC を訪問し、研究開発状況や研究設備の稼働状況を確認。
- ④ 2～3 ヶ月に 1 回開催される「研究開発チーム会議」(LIBTEC 主催)に NEDO 担当者も出席し、チーム単位での研究開発進捗を確認。
- ⑤ 半年に 1 回、NEDO 担当者が大学・研究機関を訪問し、研究開発状況や研究設備の稼働状況を確認。
- ⑥ 半年に 1 回、「PM・PL 会議」(NEDO 主催)を開催し、PM、PL・SPL、NEDO 担当者間で事業全体の研究進捗や課題・障壁の有無を確認。
- ⑦ 年に 1 回(若しくは 2 回)開催される「SOLiD-EV シンポジウム」(LIBTEC 主催)に NEDO 担当者も出席し、事業全体の研究進捗を確認。なお、この機会を利用して、他事業との「連携会議」を開催することもある。

(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 年度より外部有識者で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を設置・運営し、研究開発内容に関する技術的な助言や事業全体の運営管理に関する助言・指摘をすくい上げながら、事業を推進している。NEDO 技術委員会での助言・指摘は、必要に応じて、事業の実施方針や各実施者の研究計画に反映している。

外部有識者委員のメンバー構成を表 2.4.1-1 に示す。蓄電池・電気化学分野における著名な研究者、自動車・蓄電池メーカーにおける蓄電池研究のデシジョンメーカー、国際標準化の担当者等で構成されている。

NEDO 技術委員会は過去 19 回開催しているが、本事業を対象としては、第 14 回(2018 年 10 月 29 日)、第 15 回(2019 年 5 月 13 日)、第 17 回(2019 年 12 月 9 日、10 日開催)の計 3 回開催した。

事業開始初年度の第 14 回では、事業全体の研究計画(目標、内容、スケジュール等)が審議された。第 15 回では、主に集中研究拠点である LIBTEC のこれまでの成果と今後の研究開発の進め方が審議された。第 17 回では、主にサテライトの大学・研究機関のこれまでの成果と今後の研究開発の進め方が審議された。

表 2.4.1-1 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	小久見 善八	京都大学 名誉教授
副委員長	稲葉 稔	同志社大学 工学部 機能分子・生命化学科 教授
委員	安部 武志	京都大学 工学研究科 物質エネルギー化学専攻 教授
	板井 幸彦	本田技術研究所 オートモービルセンター 第5技術開発室 第3ブロック 主任研究員
	射場 英紀	トヨタ自動車 先端材料技術部 電池材料技術・研究部 担当部長
	大澤 充	本田技術研究所 先進技術研究所 主任研究員
	小谷 幸成	トヨタ自動車 先進技術開発カンパニー 先端材料技術部 主査
	嶋田 幹也	パナソニック テクノロジーイノベーション本部 資源・エネルギー研究所 蓄電池技術分野 主幹研究長
	鳶島 真一	群馬大学 工学部 環境創生理工学科 教授
	仁科 辰夫	山形大学 大学院理工学研究科 教授
	新田 芳明	日産自動車 総合研究所 先端材料・プロセス研究所 エキスパートリーダー
	長谷川 真也	パナソニック テクノロジーイノベーション本部 資源・エネルギー研究所 全固体電池プロジェクト 部長
	秦野 正治	日産自動車 総合研究所 先端材料・プロセス研究所 エキスパートリーダー
	松本 孝直	電池工業会 二次電池第2部会 普及促進担当 新種電池研究会 部長
三田 裕一	電力中央研究所 材料科学研究所 電気化学領域 上席研究員	
山木 準一	九州大学 名誉教授	

(所属、役職は委員会開催時点のもの)

(3) サテライト機関のステージゲート審査の実施について

今年度、本事業の研究進捗管理の一環として、サテライトの各大学・研究機関が実施している個別の研究開発を対象としたステージゲート審査を行う予定である。

ステージゲート審査は、本事業を所管する NEDO 蓄電技術開発室が主体となり、前記した NEDO 技術委員会の外部有識者の協力も得て行う予定である。審査項目は、これまでの研究開発成果、今年度末の目標達成の見通し、本事業への貢献(集中研究拠点との連携)、成果の産業界での利活用の見通し等となる。

この審査の結果に基づいて、来年度以降における委託契約継続の可否、契約継続する場合の研究内容(技術の取捨選択や技術の融合)を判断する予定である。

2.4.2 実施者による進捗管理

研究開発実施者サイドでは、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、「PL・SPL 会議」を開催し、PL・SPL 間で各研究開発チームの研究進捗を共有。
- ② 毎週、「PL 報告会」を開催し、PL が研究開発チーム毎の研究進捗を確認。
- ③ 2～3ヶ月に1回、「研究開発チーム会議」を開催し、研究開発チーム内で研究進捗を共有。
- ④ 3ヶ月に1回程度、「LIBTEC/SOLID-EV 技術委員会」を開催し、研究進捗を参画企業の開発責任者と共有。また、新材料サンプルの提供依頼も行っている。
- ⑤ 年に1回(若しくは2回)、「SOLID-EV シンポジウム」を開催し、本事業の関係者全員で事業全体の研究進捗を共有。また、ポスターセッションを設けて、技術的交流を深めている。

2.5 知的財産に関する戦略の妥当性

2.5.1 知的財産戦略

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。

本事業の成果となる材料特性評価技術(標準電池モデル、材料特性評価の条件・要領・手順、個別の物性測定・分析評価手法等)は、国内自動車・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に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、これらの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。ただし、国内産業界全体の競争力強化の観点から、本事業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。この場合、まだ製品として上市されていない全固体 LIB 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、その防止対策を設けることが必要と認識している。

一方、要素技術開発の成果(要素技術開発の過程で創出される材料発明を含む。)については、以下に示す戦略を取ることを基本としている。

- ① 全固体 LIB ビジネスの武器となる基本特許の創成活動を推進する。この場合、量よりも質を重視する。創成した基本特許は、補正・分割・改良出願等して、他国企業が回避困難な堅固な特許網を計画的・戦略的に構築することを狙う。
- ② 国外特許出願を積極的に行う。国外出願しない特許は日本出願もしない方向で進めることも検討する。出願対象国は、海外競合企業のバッテリー及びバッテリー材料の製造工場が存在する国及び主要な電動車普及国とする。
- ③ 電極活物質・電解質等の材料発明は、少数の特許で独占排他のビジネスが可能となることから、積極的に権利化する。また、海外競合企業には基本的にライセンスしないか、若しくは高料率・拘束条件付のライセンスを行う。
- ④ 秘匿することがビジネス上有利となる製造方法や運転・制御方法等の発明は、原則、ノウハウとして秘匿化する。ただし、リバースエンジニアリングの容易性や他国企業の出願可能性等のリスクを考慮して最終判断する。同時に、秘匿に際しての先使用権主張の準備も行う。

なお、本事業の成果に関わる知的財産権は、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属することになっている。

2.5.2 知的財産マネジメント

本事業では、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」(2012 年策定、2015 年改訂)及び「運用ガイドライン」(2013 年発行)に基づき、知的財産マネジメントを推進している。

事業開始初年度において、本事業参加の全機関で成果活用のために必要な知的財産の取扱いについて合意を形成する場として「知財運営委員会」を設置済みである。また、知的財産の帰属、実施許諾、継承・移転等の細目を定めた「知財合意書」、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」を策定済みである。

知的財産の出願に関しては、参加企業及び大学・研究機関において個別出願又は共同出願を適宜、柔軟に選択することが可能となるルールを設けている。

また、情報管理に関しては、認証 ID による専用居室への入退室許可制、サンプル・図面等(電子媒体を含む)の外部持ち出し不可、社用 PC・社外電子メールの監視等のルールを設けている。さらに、秘密保持に関しては、「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を締結している。なお、企業については、LIBTEC からの脱会時の対応についても合意済みである。

2.6 国際標準化について

新規技術である全固体 LIB のグローバル市場への投入と普及拡大に向けては、性能・品質、安全性、互換性等の統一的なルールとなる国際規格の整備が必要となる。また、近年は様々な産業分野で技術革新のスピードが増す中、海外企業はブラックボックス化とオープン化を組み合わせた標準化戦略の仕掛けで競争優位を發揮しており、自社や自国に不利にならない国際規格を作ることが産業競争力の強化には不可欠である。加えて、国際規格は法的拘束力を持たないが、近年は各国の規制において国際規格を引用するケースが増加しており、この点を考慮して国際標準化の取組を進める必要がある。

全固体 LIB の標準化の方向性としては、市場における車載用バッテリーの耐久性・安全性に対する関心の高まりと、中韓蓄電池メーカーの液系 LIB の技術向上・低価格化が顕在化しつつあることを踏まえ、全固体 LIB が持つ高い耐久性・安全性の価値を客観的に浮かび上がらせて、ユーザーに高い訴求力を示すための試験評価法の国際標準化に取り組む必要があると NEDO は認識している。

また、この試験評価法の国際標準化を迅速・円滑に進めるには、ISO、IEC 等の国際標準化機関における議論を早く始めることが重要であると認識している。そのため、本事業における研究開発成果が速やかに国際標準化機関における議論の場で活用されることを目的として、車載バッテリーに関する国内標準化関係者との会合を定期的に持ち、研究開発の状況を共有するとともに、意見・助言をすくい上げて研究開発活動に反映している。

第3章 研究開発成果について

3.1 「研究開発項目① 共通基盤技術開発」の研究開発成果

3.1.1 要素技術に関する研究開発成果

(1) 第1世代全固体LIBの要素技術開発

イオン伝導性を損なわずに、また、正負極間の絶縁を担保した上で化学的反応性に富む固体電解質層を薄膜化することを目的として、微細・均一な固体電解質粒子の合成・加工技術の開発、塗料化技術の開発（溶媒選定、塗料粘性の最適化等）、薄膜塗工技術の開発、プレス装置を用いた加圧（緻密化）技術の開発等を実施した。

また、電極内での活物質・電解質粒子の凝集及び粒子間空隙の発生、電極自体のひび割れの発生等を抑制しつつ、活物質の充填比率を高め、かつ厚膜化することにより電極の高容量化を図ることを目的として、最適な粒子サイズ・粒子配合比の検討、塗料化技術の開発、ダイコートを用いた厚膜塗工技術の開発、プレス装置を用いた加圧技術の開発、電解質との接合技術の開発等を実施した。

さらに、活物質と電解質の界面において高抵抗の副反応被膜層の生成を抑制し、電極の高入力化を図ることを目的として、正極活物質の被覆技術の開発、入力性に優れる負極活物質の選定、負極活物質の表面改質・表面被覆技術の開発等を実施した。

上記した要素技術の開発成果を取り込んだ実証セルを試作し、性能実証することで開発した要素技術の妥当性を検証した。

この妥当性検証の結果は以下のとおりである。

- ① 実証セルの基本仕様を表 3.1.1-1 に示す。設計容量 11mAh の□2cm サイズの単層セルであり、アルジロダイト系電解質、三元系正極活物質、天然黒鉛系負極活物質を用いている。
- ② 実証セルの充放電試験結果を図 3.1.1-1 に示す。実証セルの放電比容量は 180mAh/g 以上となっており、要素技術の性能実証目標として設定した体積エネルギー密度 450Wh/L 以上をクリアしている。また、図 3.1.1-2 に示すように、6C レート充電についてもクリアしている。
- ③ 実証セルの作製プロセスを図 3.1.1-3 に示す。電解質スラリーはサブストレート上にブレードコーターで塗工・成形し、合剤正極・負極スラリーは集電体上にダイコーターで塗工・シート成形した後、各シートを積層し、一体で加圧することにより接合・緻密化している。図 3.1.1-3 中に実証セルの断面 SEM-EDX マッピング像を示しているが、電解質層及び電極層は均一な厚さで成形されており、また、緻密な電解質薄膜及び活物質・電解質粒子が高分散した厚膜電極が得られている。

表 3.1.1-1 実証セルの基本仕様

設計容量	11mAh
電極形状・サイズ	□20×20mm 単層
正極活物質	三元系
負極活物質	天然黒鉛系
電解質	アルジロダイト結晶系

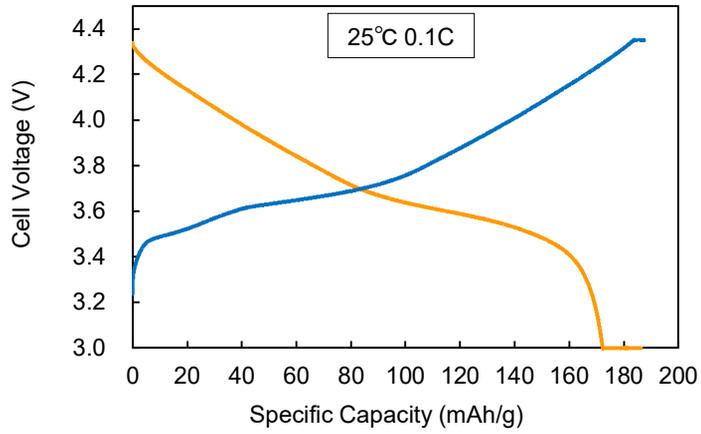


図 3.1.1-1 実証セルの充放電曲線

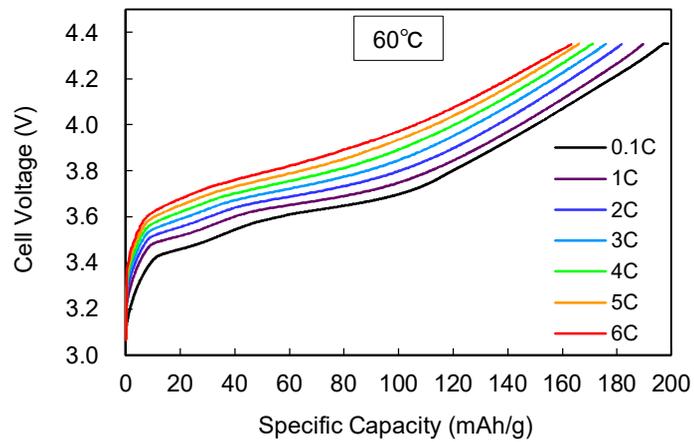


図 3.1.1-2 実証セルの充電レート特性

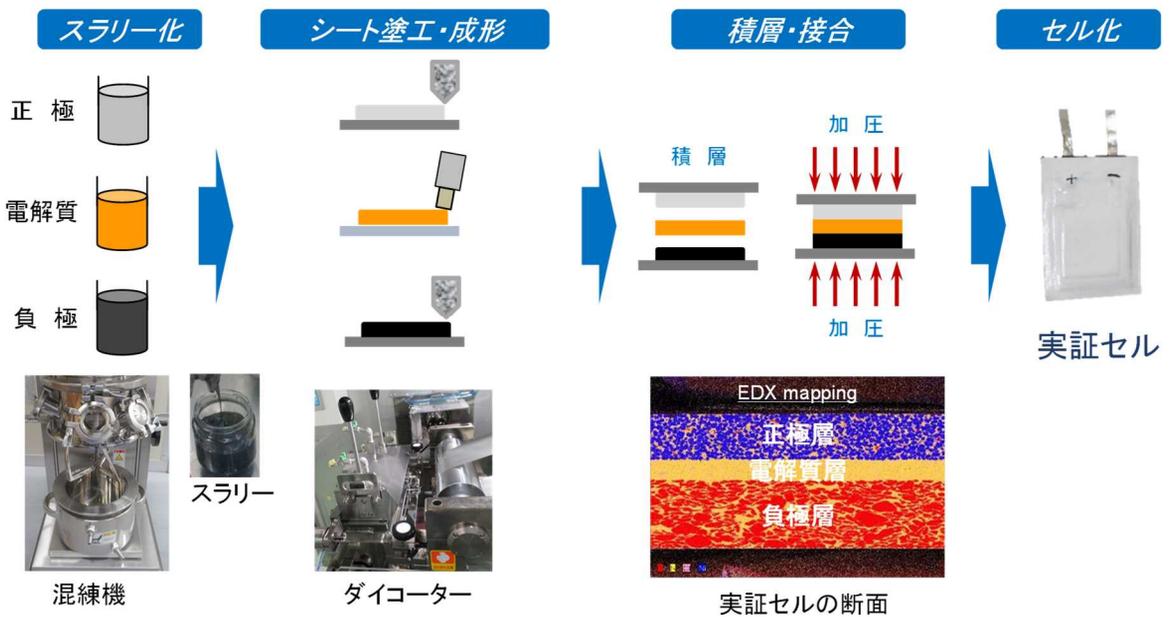


図 3.1.1-3 実証セル(第 1 世代全固体 LIB)の作製プロセスとセル断面 SEM 像

次に、第1世代全固体LIBの要素技術開発の一環として実施した個別技術の成果について以下に示す。

(a) 固体電解質粒子の微細化の検討

電極内での活物質-電解質界面の密着性を向上させ、同時に活物質の充填比率を高めるためには、微細で均一な固体電解質粒子を用いる必要がある。

そこで、イオン伝導度を低下させることなく、微細化が実現可能な粉砕方式を選定するとともに、そのプロセス条件の適正化を図ることにより、固体電解質粒子の微細化を試みた。その結果、アルジロダイト系電解質においては三井金属鉱業が検討を行い、従来がメディアン径 $D_{50}=0.7\mu\text{m}$ であったのに対して、 $D_{50}=0.5\mu\text{m}$ まで微細化できた。

また同様に、ガラスセラミック系電解質についても出光興産が検討を行い、従来の粒径が $5\sim 10\mu\text{m}$ レベルであったのに対して、サブミクロンレベルの微細化を達成した。

(b) LiNbO_3 被覆正極活物質の検討

前記したように、正極活物質と固体電解質の界面においては副反応により高抵抗の被膜が形成されるが、活物質表面をニオブ酸リチウム (LiNbO_3) で被覆することで副反応を抑制できることが知られている。ただし、図 3.1.1-4 に示すように、この被覆が不均一である場合には露出した活物質表面が電解質に曝され、部分的に副反応が進行してしまう。その一方で、露出部分を低減するために過剰な量の被覆を施すと、固固界面の Li イオン伝導性が低下し、全固体LIBに期待されている充電(入力)性能の発揮を阻害する。そのため、 LiNbO_3 の被覆形態としては「均一かつ薄い」状態で「活物質全表面が覆われている」ことが求められる。

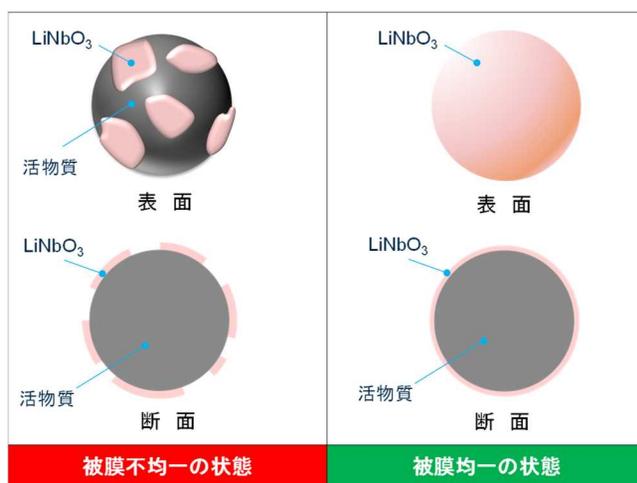


図 3.1.1-4 LiNbO_3 による正極活物質の被覆状態イメージ

本事業においては、図 3.1.1-5 に示す流動層造粒、遠心転動造粒及び撈拌造粒の3機能が付加された転動流動造粒コーティング装置を用いて、均一かつ薄い LiNbO_3 層で被覆された三元系正極活物質の微粒子を造粒するためのプロセス条件(被覆スプレー液の濃度、噴霧量、噴霧速度等)の適正化を検討した。

(c) 正極活物質の LiNbO₃ 被覆状態評価技術の開発

LiNbO₃ 被覆の状態を評価する方法として TEM と SEM が考えられるが、前者は活物質表面の部分的な観察となり、後者は低空間分解能であり、また定量性に乏しいため、得られる情報が限定的かつ定性的となる。そのため、LiNbO₃ が「均一かつ薄い」状態で「活物質全表面を覆っている」ことを定量的に評価する手法の開発に取り組んだ。

まず、LiNbO₃ が「均一かつ薄い」状態であることの評価手法として、蛍光 X 線元素分析法 (XRF) によって LiNbO₃ の被覆全量を測定するとともに、X 線光電子分光法 (XPS) によって表面から深さ方向で 5nm 程度の領域における元素構成 (表面の Nb 濃度) を測定し、これらの測定値を縦横軸上にプロットすることで評価する手法を考案した。前記した転動流動造粒コーティングのプロセスの適正化前と適正化後の LiNbO₃ 被覆活物質について、XRF と XPS の測定結果をプロットしたものを図 3.1.1-8 に示す。この結果より、プロセス条件の適正化後の正極活物質については、LiNbO₃ の被覆全量が半分以下となり、また、表面に近い領域での Nb 濃度が約 1.1 程度になっていることから、均一かつ薄い状態の被覆が施されていると判断した。

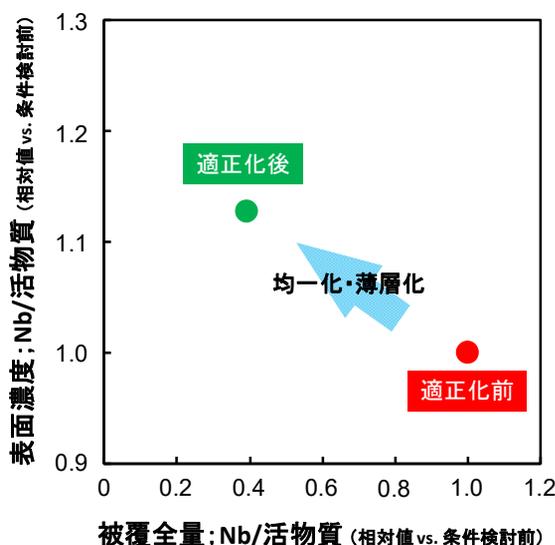


図 3.1.1-8 プロセス条件の異なる正極活物質の XRF・XPS 測定結果

ただし、前記したように、XPS の測定範囲は表面から 5nm 程度の領域となるため、例えば、2nm の厚みで活物質が被覆された状態にあった場合、測定結果には下地 (活物質) の情報も含まれるため、活物質全表面が、LiNbO₃ で覆われているのかは正確に把握できない。そこで、低エネルギーイオン散乱分光法 (LEIS) によって、LiNbO₃ 被覆活物質の表面元素量 (例えば、三元系活物質由来の Ni、Co、Mn の量) を測定し、LiNbO₃ が被覆されていない活物質の表面元素量と比較する手法を考案した。

この場合における被覆活物質における表面被覆率は、次式で定義することにした。

$$\text{表面被覆率} = 1 - (\text{被覆活物質の表面元素量} \div \text{未被覆活物質の表面元素量})$$

前記と同様に、転動流動造粒コーティングのプロセスの適正化前と適正化後の LiNbO₃ 被覆活物質について、LEIS 測定を行い、表面被覆率を算定した結果を図 3.1.1-9 に示す。この結果より、プロセス条件の適正化後の正極活物質については、LiNbO₃ の表面被覆率が 95% 以上に向上していると判断した。

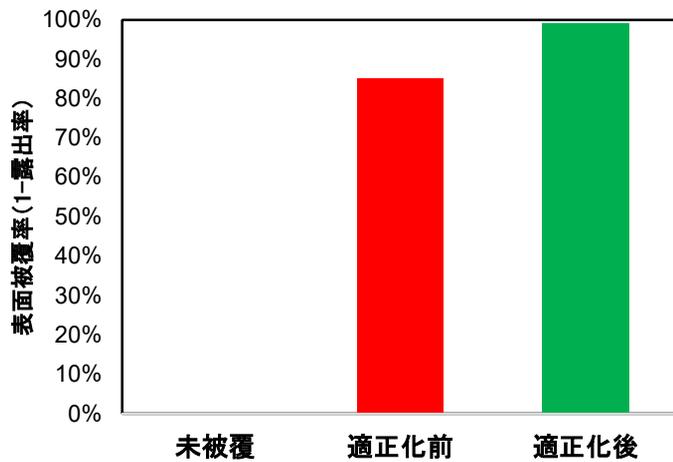


図 3.1.1-9 プロセス条件の異なる正極活物質の LEIS 測定結果に基づく表面被覆率

(d) 負極活物質(黒鉛)の選定基準の検討

種々の黒鉛活物質を入手し、硫化物系固体電解質と組み合わせてハーフセル(圧粉体成形)を作成し、25°Cにおける比容量を測定した。この測定結果と黒鉛活物質の層間距離及び結晶子サイズの間係を整理したものを図 3.1.1-10 に示す。この結果より、液系 LIB の場合と同様に、黒鉛活物質の黒鉛化度とバルク結晶性が高いほど比容量が高い傾向にあることが確認され、これを黒鉛活物質の選定基準とすることにした。

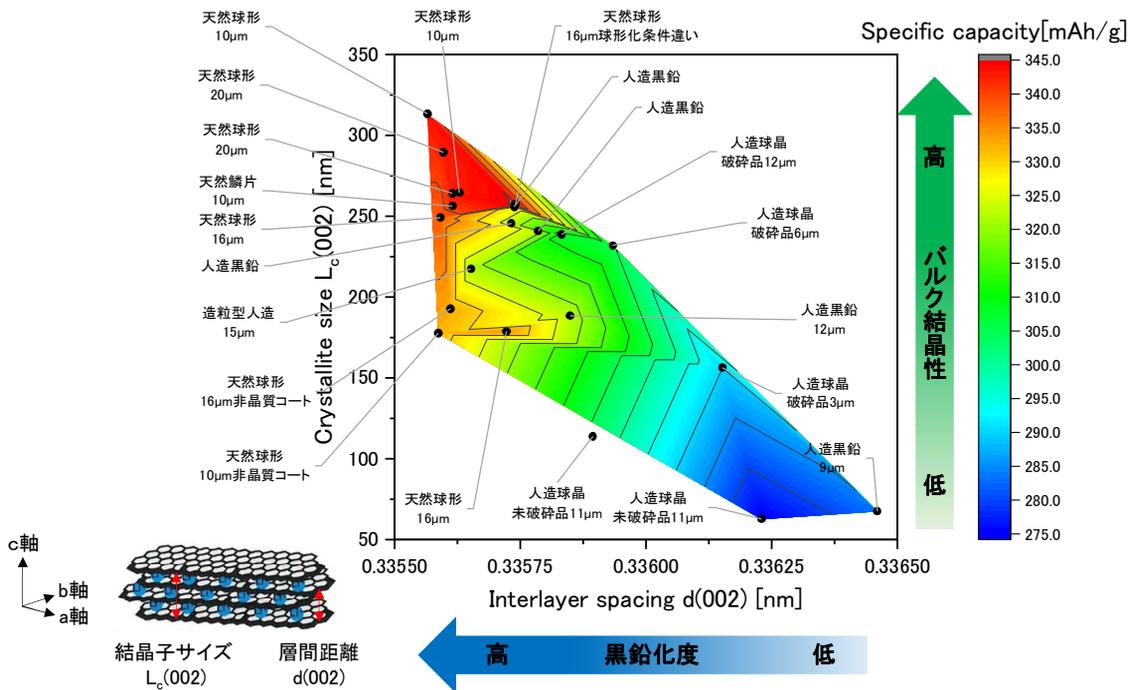


図 3.1.1-10 黒鉛負極の比容量と活物質の黒鉛化度・バルク結晶性の関係

(e) 負極内のイオン輸送抵抗低減の検討

図 3.1.1-11 に示すように、シート塗工・成形後の電極をプレス加圧(緻密化)した際、黒鉛活物質粒子が電極の厚み方向に対して横長に配向・変形することにより、Li イオンの伝導パスが伸長し、イオン輸送抵抗が増大し、セルの入力特性の低下を招く。

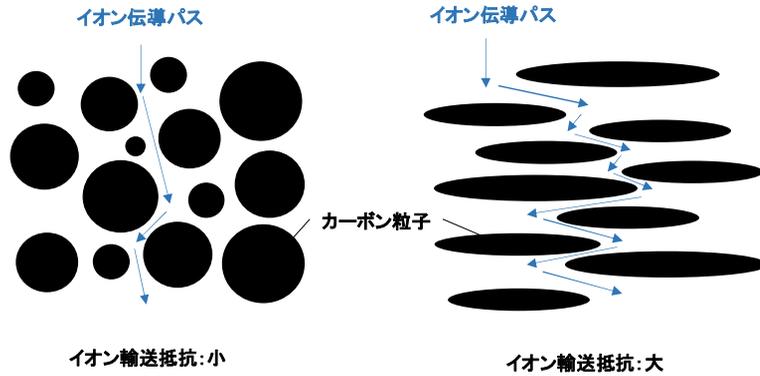


図 3.1.1-11 黒鉛活物質粒子形状と電極のイオン輸送抵抗の関係

そのため、種々の黒鉛活物質について、その機械的性質（弾性率、硬度等）、粒形サイズ、及びプレス加圧前後における粒子形状（アスペクト比、球形度、包絡度等）に関するデータベースを構築した。このデータベースに基づいて改良した黒鉛活物質について、プレス加圧後の電極のイオン輸送抵抗を測定したところ、従来の黒鉛活物質に比べて約 20%の低減が確認されたことから、これを前記した実証セルに組み込むこととした。

このイオン輸送抵抗低減の検討を実施する上で、黒鉛活物質原粉の粒子形状解析手法を構築した。

液系 LIB で広く適用されているレーザー回折式の粒度分布測定では、球体を仮定して粒径分布だけを試算するため、粒子形状に関する統計情報を得ることはできない。そこで、マルバーン・パナリティカル社製の光学顕微鏡画像解析システム「モフォロギ G3」を用いて、カーボン材の粒子形状分布の統計解析を行うこととした。図 3.1.1-12 に黒鉛活物質の形状分布解析結果の一例を示す。実証セルの電極設計仕様では 1mm²あたりに含まれる黒鉛活物質の粒子数は約 1 万個であることから、余裕をもって 2~3 万個の粒子に対して計測した。なお、正確に統計情報を得るためには活物質粒子の凝集を解消する必要があり、付属の加圧式噴霧分散機を用いた。オートフォーカス機能とオート検出機能を有する光学顕微鏡により粒子ごとに画像を撮影し、粒径に関する情報に加え、アスペクト比、球形度、包絡度、真円度等に関する統計情報が得られている。

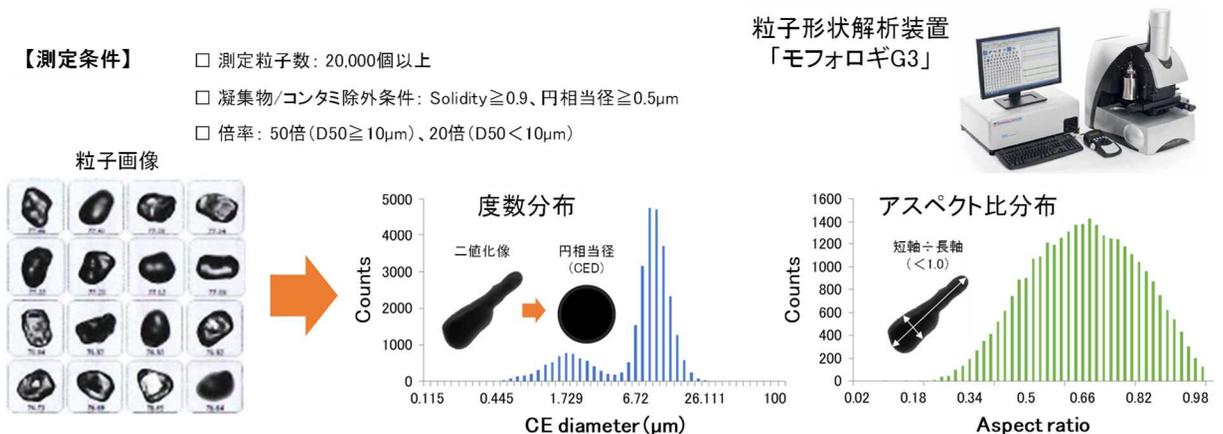


図 3.1.1-12 黒鉛活物質の粒子形状解析結果の一例

(f) 負極内の反応抵抗低減の検討

前記したように、プレス加圧後における黒鉛活物質の球形化度を高く維持した方がイオン輸送抵抗の低減を回避できるが、その一方で比表面積が小さくなるため、電解質との接触面積が少なくなり、電極としての反応抵抗は大きくなる。

そこで、何種類かの黒鉛活物質粒子について、表面の結晶性、物理的な表面構造、比表面積を測定するとともに、ハーフセルに組み込んで電極の反応抵抗を測定した。その結果、ピッチ系炭素を用いた液相等により黒鉛活物質粒子の表面を被覆あるいは改質し、表面結晶性を制御すると、電極の反応抵抗が 50%以上、低減することが確認された。

この反応抵抗低減の検討を実施する上で、黒鉛活物質原粉の幾何表面積を算定する手法を構築した。

上記した光学顕微鏡による画像解析システムで計測された円相当径を用いて、2~3 万個の黒鉛活物質粒子それぞれについて体積と表面積を算出し、合計体積に真密度を乗じて総重量を算出することとした。そして、総表面積を総重量で除した値を幾何比表面積と定義した。この手法で算出した幾何比表面積と BET 法で計測した比表面積の関係を図 3.1.1-13 に示す。

造粒型の天然球形化黒鉛、一次粒子系の人造黒鉛のどちらにおいても、同一原鉱(同じメーカーの同じ出発原料)であれば、幾何比表面積と BET 値はほぼ線形関係であることが分かった。一方、表面コートをした天然球状化黒鉛の場合、表面の微細な凹凸や粒子内細孔が被覆されるため、BET 値が大幅に小さくなることが分かった。

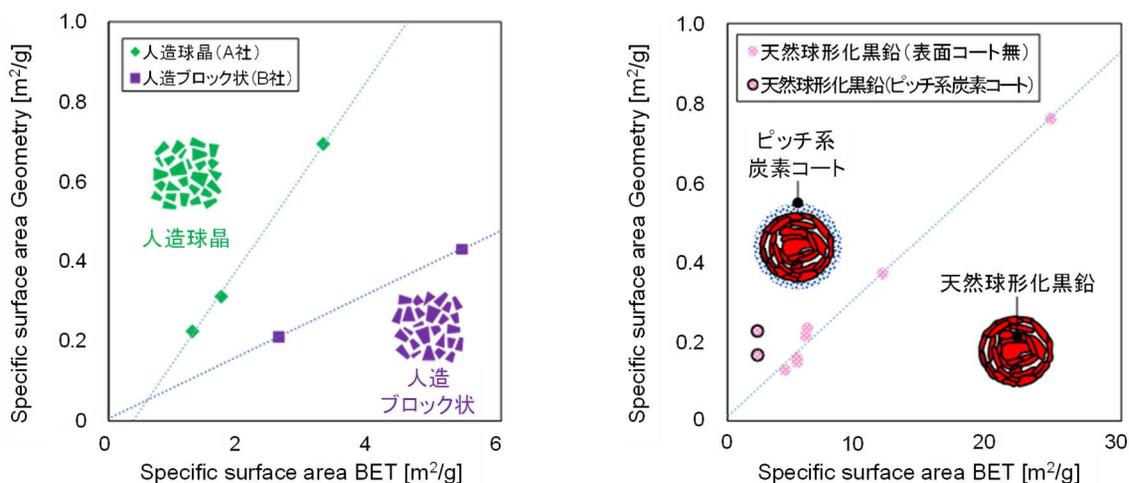


図 3.1.1-13 画像解析で求めた幾何比表面積と BET 値の関係

(g) 電極の電位・抵抗計測手法

全固体 LIB の性能向上に向けた知見の獲得を目的として、参照極を有する圧粉成形の三極セルを用い、正極と負極の電位及び抵抗変化を分離して計測する手法を開発した。

三極セルの組立方法を図 3.1.1-14 に示す。リチウム挿入型チタン酸リチウム (Li-LTO) 製のリングを予めホルダ内に設置しておき、上下から固体電解質ペレットを挿入して挟み込んだ後、正極・負極ペレットを挿入し、プレス加圧を行うことで 3 極セルは完成する。参照極材料である Li-LTO は、硫化物系電解質に対する化学的安定性や電位平坦性に優れ、リチウムで部分的に還元されているため電子伝導性も得られる。

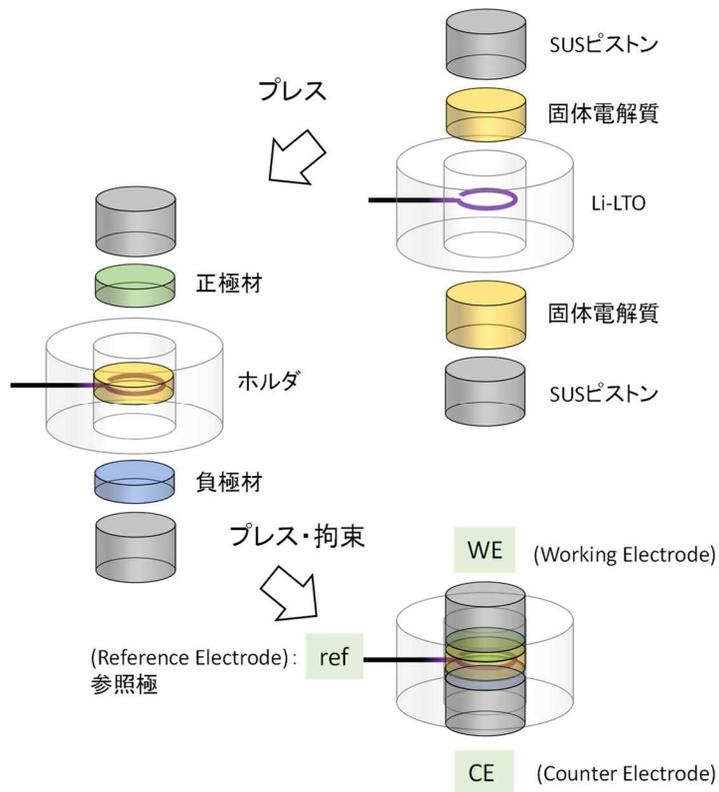


図 3.1.1-14 圧粉成形の三極セルの組立方法

この三極セルを用いて得られた電位・インピーダンスの測定データの一例を図 3.1.1-15 に示す。

電位の計測では正極、負極の電位が分離して測定可能であり、定電流放電のカットオフが主としてどちらの極の電位変化により起こっていることや、CV 放電時の正負極のそれぞれの電位変化を測定することができている。また、放電時には負極に対して正極の抵抗が大きい可能性が示唆されている。さらに、インピーダンス測定では 10kHz より低周波領域での正負極の抵抗分離が可能であることが確認された。

今後は、この手法を本事業における三極セル測定の標準手法として実施者間で活用していく予定であり、また、シート成形された電極を用いたラミネートセルにも応用し、フルセル動作時の電極電位の挙動把握を行うことで技術的な検討を進めている。

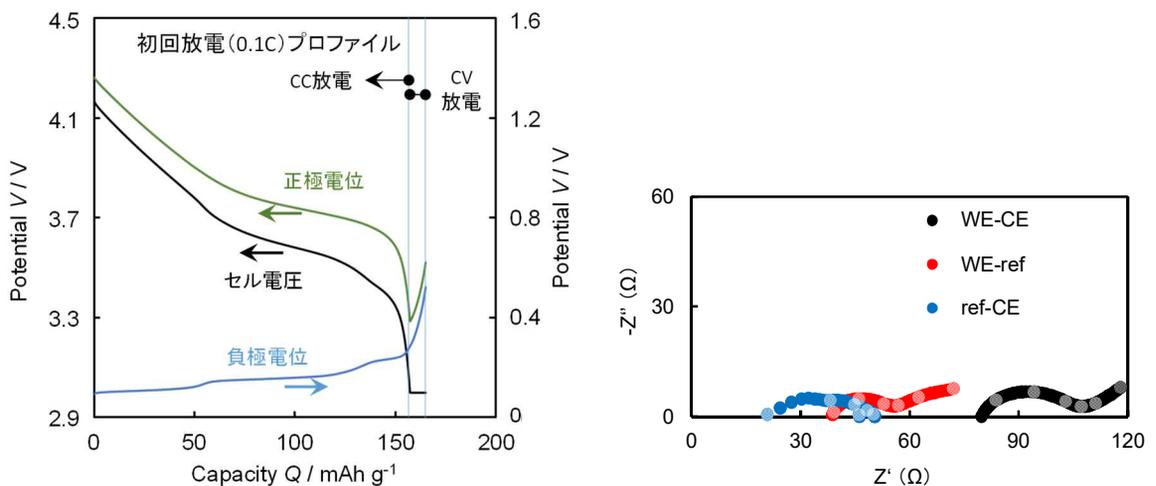


図 3.1.1-15 圧粉成形の三極セルの測定データ

(2) 次世代全固体 LIB の要素技術開発

次世代全固体 LIB の要素技術開発としては、主に以下に示す検討を実施し、これらの成果を取り込んだ小型の単層ラミネートセルを、実験室レベルのプロセス・装置を用いて試作し、体積エネルギー 800Wh/L を□2cm 程度の単層セルで実証することを目標としている。

① 合剤正極の厚膜化

第 1 世代全固体 LIB の電極高容量化の検討で得られる技術・知見を活用しつつ、より厚膜化した合剤正極を形成する技術を検討する。また、この厚膜正極における反応均一性を向上させるための解析・分析測定も実施する。

② 電極の高容量化・高電位化

高容量あるいは高電位の電極活物質を用いて、電極の高容量化・高電位化を図る検討を実施する。また、正極活物質については、第 1 世代全固体 LIB と同様に、活物質-固体電解質界面における高抵抗被膜の形成有無及びメカニズムを把握しつつ、活物質表面の被覆技術を検討する。

③ 高安定性固体電解質の創出に向けた検討

硫化物系電解質は水分と容易に反応して硫化水素を発生し、Li イオン伝導性が著しく低下する。そのため、セルの作製は水分を含まない不活性雰囲気で行う必要があり、製造コストを押し上げる要因となる。そのため、電解質と水分との反応メカニズムの解明やその反応性を定量評価する技術の開発を行い、耐水性に優れた電解質の探索に向けた指針を策定する。

これまでに次世代全固体 LIB の要素技術開発の一環として実施した検討の成果について以下に述べる。

(a) 電極活物質の組合せの検討

第 1 世代全固体 LIB の実証セルの設計・試作で得られた知見をベースに、高容量・高電位の正極・負極活物質を選択した際に得られるセルの体積エネルギー密度の範囲をラフに試算した。その結果を図 3.1.1-16 に示す。なお、電解質層の厚さは第 1 世代全固体 LIB の実証セルと同等としており、電解質のイオン伝導性が飛躍的に向上すれば、超厚膜の電極構造が取れるため、異なる結果が得られるものと予想される。

この試算結果より、体積エネルギー密度 800Wh/L 以上が得られる次世代全固体 LIB の実用化に向けては、正極活物質として高 Ni 三元系及び硫黄を、また、負極活物質として Si、Si 合金及び金属 Li を用いる必要があることが分かり、本事業においては、これらの電極活物質の組合せでセルを構築し、所定の充放電性能を発揮させるための要素技術の開発を進めることとした。

ただし、硫黄正極や金属 Li 負極は高エネルギー密度化のポテンシャルは高いものの、技術的な課題が多く、またそのハードルも高いことから、まずは液系 LIB でも採用が検討されている高 Ni 三元系正極活物質と Si 系の負極活物質の組合せを中心に研究開発を進めることとした。

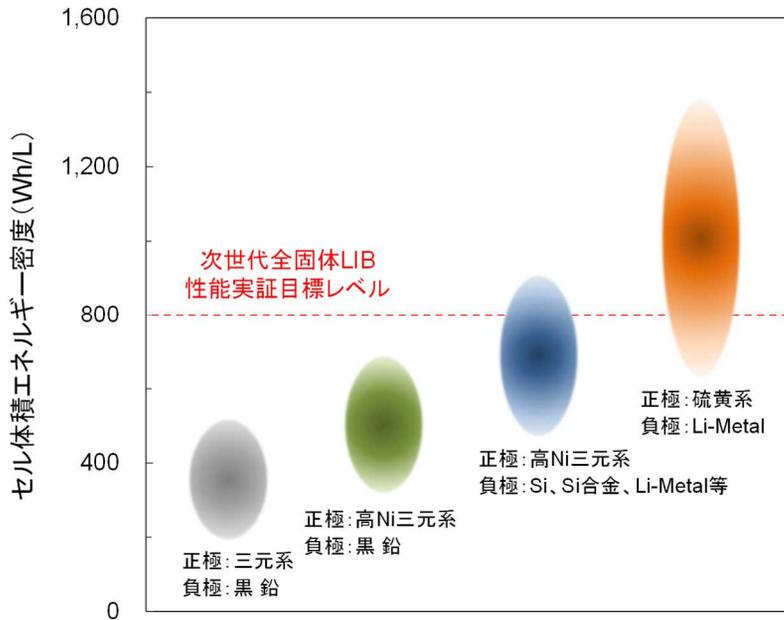


図 3.1.1-16 各種電極活物質の組合せによるセルの体積エネルギー密度の試算例

(b) 正極活物質候補の検討

各種正極活物質の体積エネルギー密度の試算結果を図 3.1.1-17 に示す。

この結果より、次世代全固体 LIB の正極活物質としては、①高電位のポリアニオン型活物質、②固溶体(Li 過剰系)、Conversion 正極等の高容量活物質、③高 Ni 化により容量密度を向上させた層状岩塩型酸化物(主に三元系)、④三元系活物質の作動電圧向上(4.5V レベルの中電位化)、⑤非晶質酸化物の 5 つを候補として選定した。

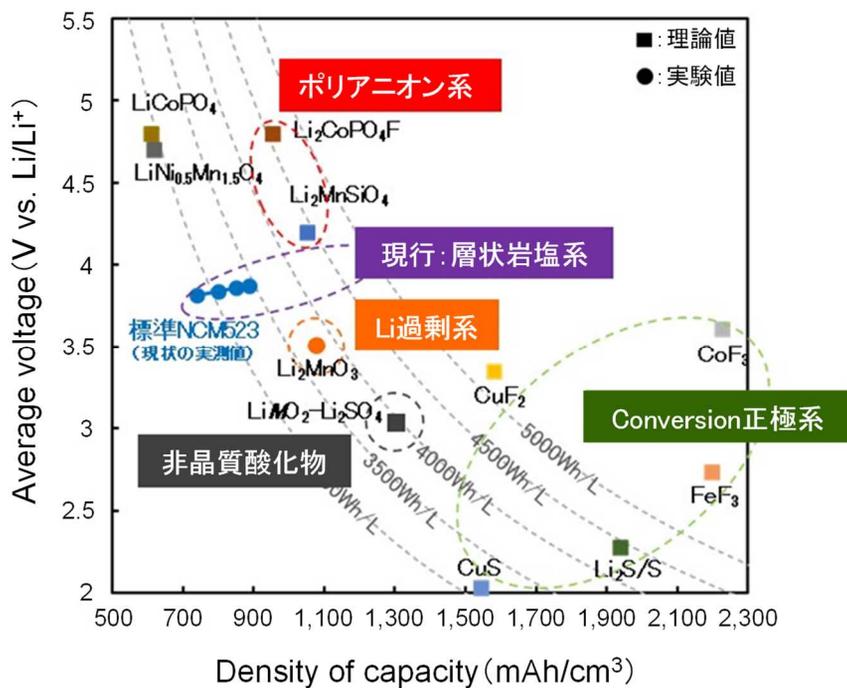


図 3.1.1-17 各種正極活物質の体積当たりの比容量の計算結果

(c) 高容量・高電位正極活物質の被覆技術の検討

第1世代全固体 LIB と同様に、活物質-電解質界面における高抵抗被膜の形成有無及びメカニズムを把握しつつ、高容量・高電位の正極活物質表面への被覆技術の検討を進めた。

その検討の第一ステップとして、第1世代全固体 LIB の実証セルに適用した LiNbO_3 被覆が三元系活物質の中電位化にも対応可能であるのかについて検討した。

圧粉体成形の In-Li ハーフセルを用いて、4.55V での充放電を3サイクル実施した結果を図 3.1.1-18 に示す。この結果、4.2V レベルの充放電では起こらなかった容量劣化が確認された。また、別途実施した XRD 解析ではバルクの活物質に結晶構造変化が確認されなかったことより、 LiNbO_3 被覆層で副反応が進行していると推測された。

そのため、活物質-電解質界面近傍について、高 X 線吸収微細構造 (XAFS)、電子エネルギー損出分光法 (EELS)、飛行時間型二次イオン質量分析法 (TOF-SIMS) 等による化学状態や電子状態等の把握を進めた。また、これらの分析・計測結果を踏まえて、被覆材料の改良の方向性を検討した。

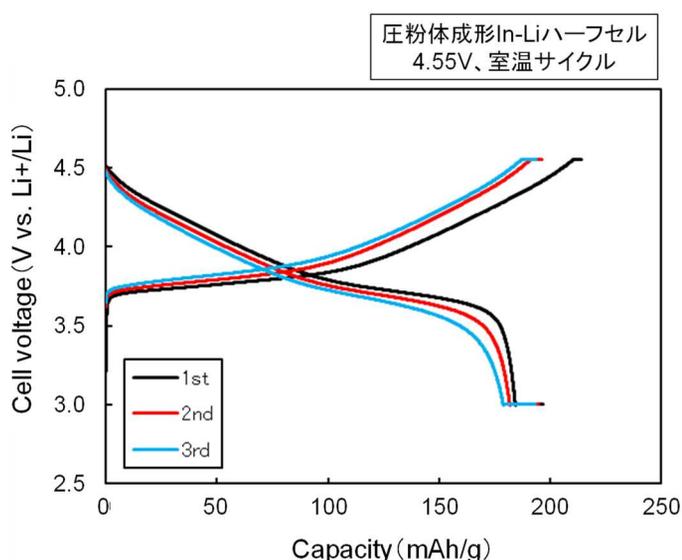


図 3.1.1-18 LiNbO_3 被覆三元系正極の 4.55V 充放電時の容量劣化

(d) 高容量負極活物質の検討

サテライトの大学・研究機関が検討している Si 溶射膜及び Si 粉末について、硫化物系固体電解質を組み合わせた In-Li ハーフセルを作製し、その特性を評価した。

Si 溶射膜については、柔軟性を向上させた硫化物系固体電解質層を適用することにより、表面に凹凸・空隙が存在する Si 溶射膜との密着性を向上させた結果、Si の理論容量に近い 3,000mAh/g レベルの初期容量が得られることが確認された。また、Si 粉末についても、Si、電解質、導電助剤の配合比の適正化を図り、図 3.1.1-19 に示すように、3,000mAh/g レベルの初期容量が得られることが確認された。

ただし、図 3.1.1-20 に示すように、Si 溶射膜、Si 粉末のどちらも充放電サイクルを繰り返すと、著しい容量劣化が生じていることが確認された。原因としては、Si 系活物質に特有の膨張収縮による粒子割れやイオン・電子伝導パスの損壊であると推察される。そのため、Si 溶射膜については異種元素の添加、Si 粉末については炭素材料との複合化の検討を進めることとした。

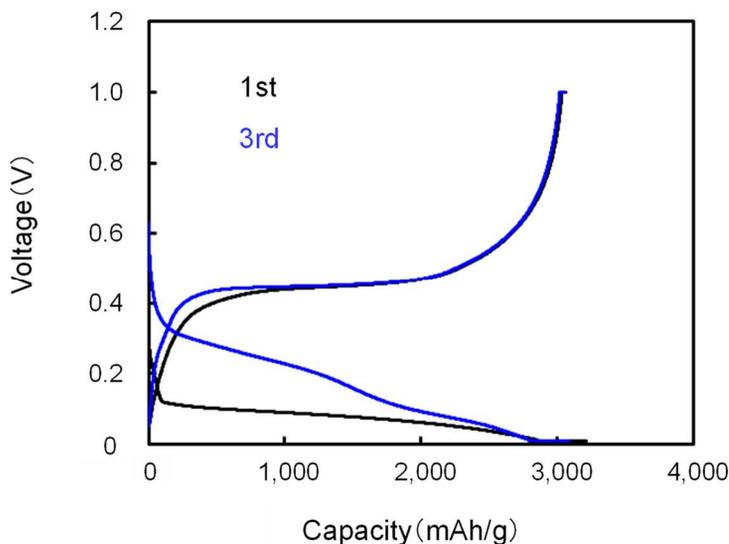


図 3.1.1-19 Si 粉末合剤負極を用いたハーフセルの充放電曲線

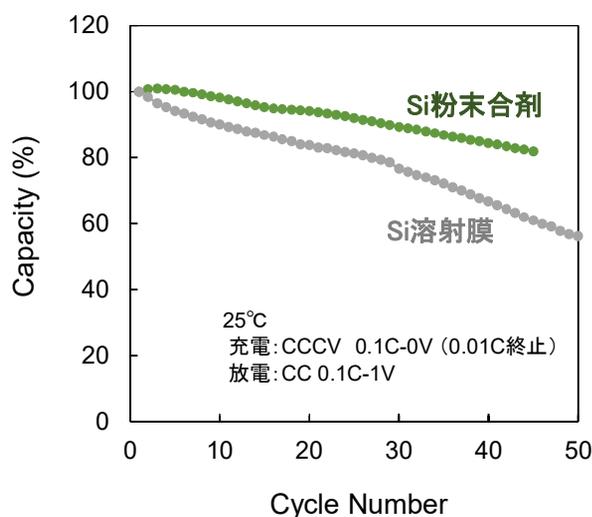


図 3.1.1-20 Si 系活物質を用いたハーフセルの充放電サイクル試験結果

(e) 固体電解質の耐湿性評価システムの構築

硫化物系固体電解質がどの程度の水分暴露でイオン伝導度が低下するのか、水分暴露の時間経過による性能変化の進み方はどうなるのかといった変質・劣化の挙動を正確に把握することに使用する評価システムを集中研究拠点 (LIBTEC) に構築し、種々の電解質の耐湿性を確認した。

耐湿性評価システムの構成を図 3.1.1-21 に示す。グローブボックス (調湿ボックス) に除湿機を接続し、設定露点に対する現在の露点の差を計測し、除湿機の運転にフィードバックすることにより、グローブボックス内を所定の露点に制御し、ここから調湿された空気をポンプにより一定の流量で反応容器に供給するシステムとなっている。除湿機を 2 台連結することにより、グローブボックス内の空気の露点は、 -10°C から -50°C で $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の精度で制御可能となっている。反応容器には硫化水素濃度系が接続されており、リアルタイムで硫化水素濃度を計測することで、硫化水素発生速度を定量的に把握可能である。

また、サテライトの大学・研究機関においては、暴露前後の電解質に対して XRD 測定とインピーダンス測定を行う手法や、調湿空気を流しながら in-situ で XRD 測定を行う手法を開発した。さらに、暴

露前後の電解質について Raman 分光、SEM-EDX、TEM 等による分析・観察を行い、劣化メカニズムの解明を進めた。

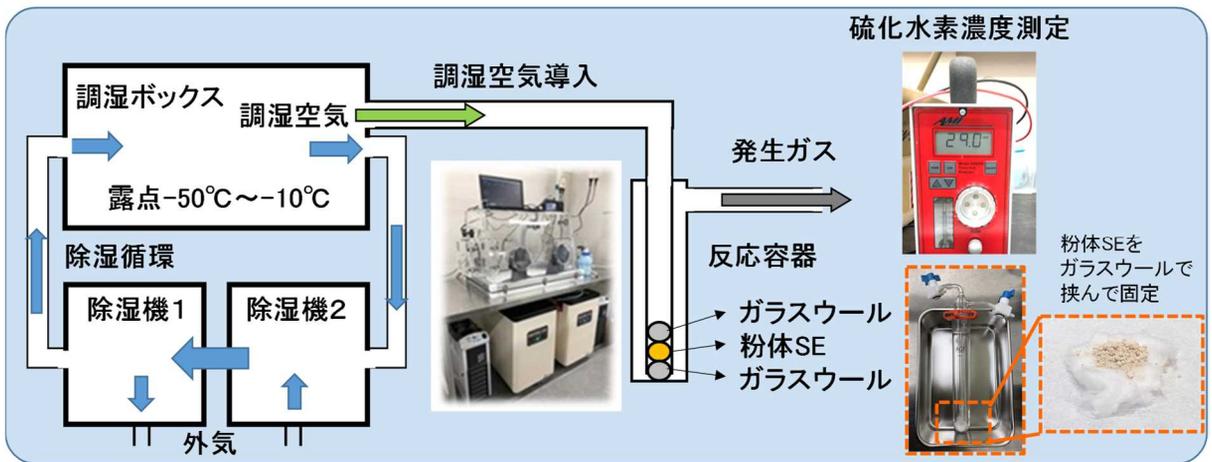


図 3.1.1-21 固体電解質の耐湿性評価システム

3.1.2 材料特性評価技術の開発

今後、企業・大学等で開発される全固体 LIB 用の新材料サンプルについて、セルとしての特性評価を行って、新材料の得失、技術的課題及びセル量産プロセスへの適合性等を把握することに使用する標準電池モデル(セル)の開発を進めた。

標準電池モデルのバリエーションとしては、□2cm 単層セル、□7cm 単層セル、□7cm 積層セル(10 積層程度)を揃えることを計画しており、要素技術開発の進展に合わせて開発する方針である。また、容量や体積エネルギー密度等の性能も、要素技術開発の進展に合わせて向上させていく方針である。ただし、標準電池モデルの性能は、標準材料から新材料サンプルに置換しての評価を行った際、リファレンスとして機能するレベルで良く、最高である必要はないと考えている。むしろ、新材料評価を効率的に回すには、性能バラツキがなく、安定的に作製可能とする必要がある。

現在、体積エネルギー密度 200Wh/L の□2cm 単層セルの標準電池モデルの開発が完了し、体積エネルギー密度を 300Wh/L に高めたモデルの開発を進めている。

開発済みの標準電池モデルの基本仕様を表 3.1.2-1 に示す。設計容量は 8mAh であり、アルジロナイト系電解質、三元系正極活物質、天然黒鉛系負極活物質を用いている。

この標準電池モデルの 25°C、0.1C レートでの充放電曲線を図 3.1.2-1 に示す。放電、充電ともに、設計どおりの容量が発現している。図中には同一ロットの 7 個のセルの充放電曲線をプロットしているが、どれも大差なく、放電・充電容量は±3%以内に収まっている。

表 3.1.2-1 標準電池モデルの基本仕様

設計容量		8mAh
セル外形・サイズ		□65×45mm
電極形状・サイズ		□20×20mm 単層
体積エネルギー密度		200 Wh/L
標準材料	正極活物質	三元系
	負極活物質	天然黒鉛系
	固体電解質	アルジロナイト結晶系

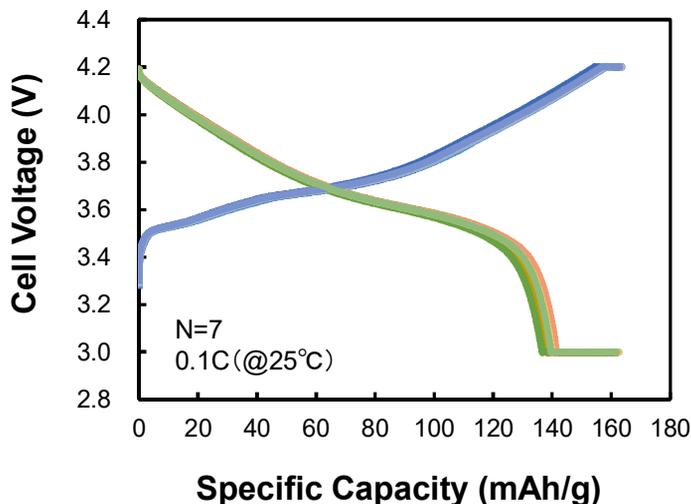


図 3.1.2-1 標準電池モデルの充放電曲線

また、この標準電池モデルの作製プロセスを図 3.1.2-2 に示す。電解質スラリー、合剤正極・負極スラリーは基板(ステンレス箔)上にアプリケータを用いて塗工・シート成形している。引き続き、固体電解質シートと合剤負極シートは重ねた状態で、一方、合剤正極シートは単独で、冷間等方プレス(CIP)により加圧・緻密化している。その後、ステンレス箔を取り除き、2 つの合剤電極シートを重ね、集電体で挟み込み、ラミネート外装に入れて真空封止している。

この作製プロセスを適用することで、月当たり 100 個の標準電池モデルを歩留り約 90%のレベルで作製可能であることを確認し、この標準電池モデルに関する作製仕様、作製要領、評価手順等もドキュメント化した。また、初期充放電特性及び寿命特性を安定化させるとともに、微短絡等の不具合が発生しやすい標準電池モデルを排除するため、現在、完成後に実施するコンディショニングの方法・条件等を検討中であり、今後はこの結果もドキュメントに反映する予定である。

なお、この標準電池モデルは、既に本事業に参加している大学・研究機関に供給しており、全固体 LIB の反応・メカニズム解明や国際標準化を想定した試験評価法の開発等に活用している。

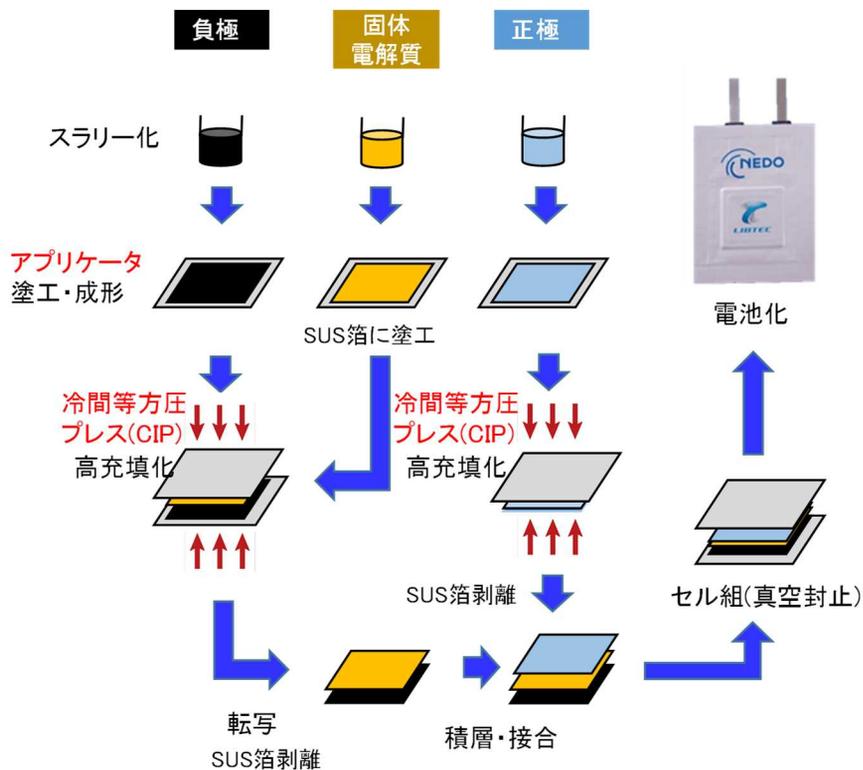


図 3.1.2-2 標準電池モデルの作製プロセス

3.1.3 シミュレーション技術の開発

(1) 電極・セル特性のシミュレーション技術

液系 LIB の充放電特性のシミュレーションには、電極層厚さ方向のイオン・電子の輸送方程式、電気化学反応式、粒子内 Li 拡散方程式を連成して解析する方法である、J.Newman らにより提案された電気化学モデルが広く利用されている。本事業においては、この Newman モデルをベースにして、液系 LIB とは異なってくる全固体 LIB の電極構造情報、すなわち、電極内の空隙の存在及び活物質と電解質の接触状態を考慮したマクロ電極モデルを開発した。

開発したマクロ電極モデルを用いた全固体 LIB の充放電特性のシミュレーションの手順と計算式を図 3.1.3-1 に示す。シミュレーションの概略手順は以下のとおりである。

- ① 300nm レベルの空間解像度を有するコーンビーム X 線 CT システムを用いて、100 μ m スケールの視野で実電極の 3 次元構造を撮像し、この撮像データを解析することにより、電極内の活物質、電解質、空隙の体積割合を求める。
- ② 解析の対象とする電極の 3 次元構造を辺長 20 μ m 程度のブロックに細分化してモデル化する。ブロック毎に上記の X 線 CT 撮像で求めた体積割合で活物質、電解質、空隙の 3 相をランダムに配置し、イオン伝導の曲路率及び活物質-電解質界面の接触率を算出・設定する。
- ③ また、各ブロックからの周囲へのイオン・電子伝導度を曲路率と各相の体積割合に対応させて有効伝導度に置換し、図 3.1.3-1 中に示す Newman モデルをベースとした多孔質電極理論の計算式に基づき、活物質-電解質界面での反応、活物質内 Li 濃度、活物質の電子電位及び電解質中のイオン電位を連成して解く。

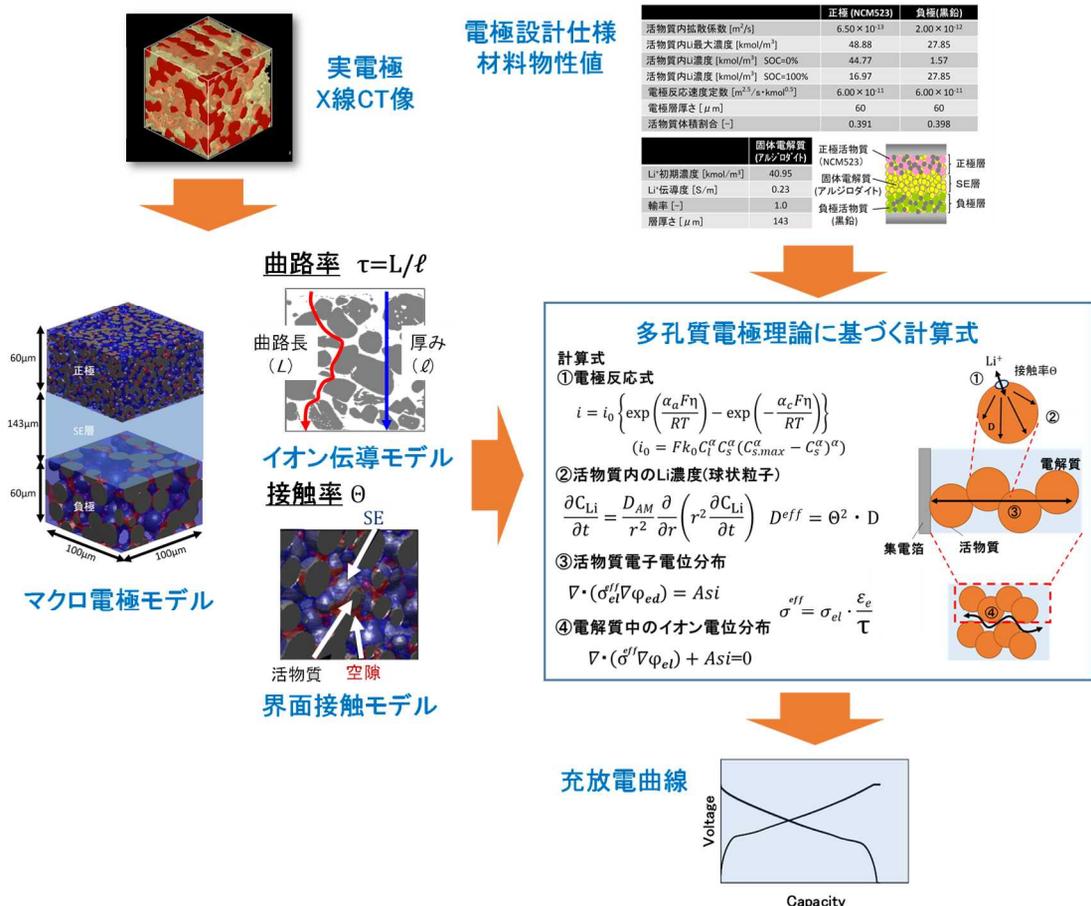


図 3.1.3-1 マクロ電極モデルによる充放電特性シミュレーションの流れ

前記したマクロ電極モデルを用いて計算した□2cm 単層セルの放電曲線を、実測データと比較して図 3.1.3-2 に示す。電圧低下が緩やかな放電中期までは実際の放電特性を再現できている。

しかしながら、放電末期においては実測データと乖離が生じている。計算では活物質及び電解質の材料物性値を放電中は一定と仮定しているが、実際には、セルに加えられる締付力や活物質の膨張収縮に伴って発生する応力によって、活物質-電解質の接触率や反応面積等が変化すると考えられ、これが乖離の原因ではないかと考えられる。そのため、今後、マクロ電極モデルにおける電気化学反応と電極内応力分布の変化をカップリングすることを検討している。

また、実電極について窒素吸着法による細孔計測を行ったところ、100nm サイズの空隙が多く存在することが確認された。そのため、今後は、実電極の構造情報を高輝度放射光施設 SPring-8 の X 線 CT システムで取得する予定である。この場合、通常の画像解析技術では活物質と電解質の X 線吸収率の差が小さく、識別が困難であるため、機械学習を用いて識別を行う予定である。

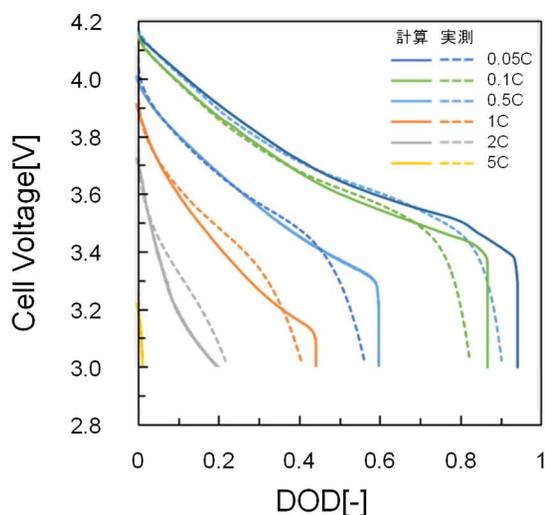


図 3.1.3-2 マクロ電極モデルによる□2cm 単層セルの放電曲線の再現例

(2) 電池パック発熱挙動のシミュレーション技術

EV の走行時や急速充電時のセル及び電池パックの発熱挙動を予測する手法の開発を進めた。

まず、前記(1)で述べたマクロ電極モデルの計算体系を一部簡略化して汎用有限要素法の物理シミュレーションソフトに組み込み、3次元のセルの伝熱計算モデルを構築した。この計算モデルの妥当性を検証するため、□7cm 単層セルの充放電時の温度計測実験を行った。図 3.1.3-3 に 0.3C 放電時の温度上昇の計算結果と実測値を比較して示すが、概ね一致することが確認された。

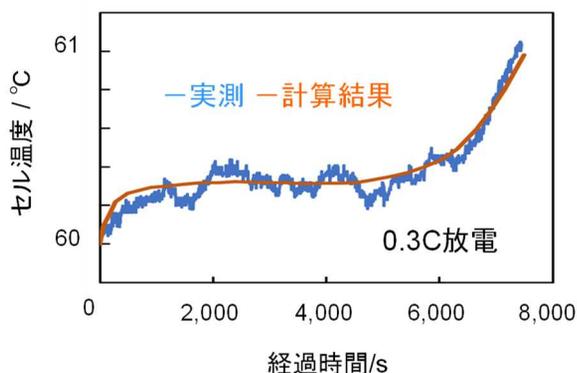


図 3.1.3-3 3次元伝熱計算モデルによる□7cm 単層セルの放電時温度上昇の再現例

次に、仮想 EV を設定し、大型ラミネートセル及び電池パックの設計を行い、形状・寸法等の詳細仕様を決定した。この詳細仕様に基づいて、大型ラミネートセル及び電池パックの 3 次元伝熱計算モデルを構築した。セルの伝熱計算モデルには、前記した 7cm 単層セルの温度計測実験で妥当性が検証されたモデル化手法を適用した。一方、電池パックの伝熱計算モデルには、液系 LIB の電池パックの発熱挙動予測で実績のあるモデル化手法を適用した。また、EV 走行シミュレータを用い、仮想 EV の走行パターン及び充電プロトコルに対応したセル及び電池パックへの入出力を算出し、伝熱計算モデルに対する入力条件を決定した。

セルの形状・寸法や配列等が異なる 2 つの 55kWh 級電池パックについて、6C レートでの急速充電を行った場合の温度分布の計算結果の例を図 3.1.3-4 に示す。

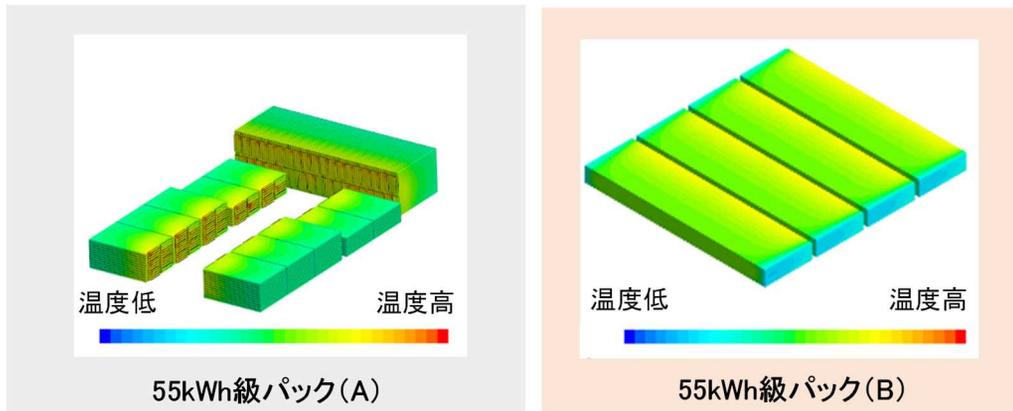


図 3.1.3-4 3 次元伝熱計算モデルによる電池パックの 6C 充電時温度分布の計算結果例

3.1.4 試験評価法の開発

(1) 性能試験法に関する検討

IEC 62660-1 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -性能試験-」に規定されている性能試験項目と試験温度を表 3.1.4-1 に示すが、揮発性の有機電解液を用いる液系 LIB を前提としているため、各試験項目の試験温度は 45°C を上限としている。

一方、無機固体電解質を用いる全固体 LIB は高温動作が可能であり、液系 LIB に比べて冷却システムを各段に簡素化した電池パックが実現できる。そのため、全固体 LIB の性能評価に適用する国際標準試験法では、より高い温度条件で試験を実施する規定を設けることが望ましい。

そこで、「3.1.2 材料特性評価技術の開発」で述べた全固体 LIB の標準電池モデル(□2cm 単層セル)を用いて、表 3.1.4-1 に示した各性能試験を試験温度範囲を広げて実施した。

-40°C~100°Cの温度条件で実施した全固体 LIB の標準電池モデルの容量試験の結果を、ほぼ同サイズで同種の電極活物質を用いた液系 LIB セルの容量試験結果と比較して図 3.1.4-1 に示す。なお、グラフ縦軸の容量は、全固体 LIB の標準電池モデルと液系 LIB セルで容量が異なることから、25°Cでの放電容量を 100%として、これに対する割合をプロットした。これらの試験の結果、液系 LIB では電解液の分解によるガス発生が起きる 80°C以上でも問題なく作動することが確認された。

この結果を踏まえ、その他の性能試験項目についても同様のデータを取得している。

表 3.1.4-1 IEC62660 の性能試験項目と温度条件

試験項目	試験内容の概略	試験温度
容量	25°Cで充電後、1/3 C もしくは 1C の放電容量	0 ~ 45°C
入出力	SOC20%、50%、80%における 10 秒入出力	-20 ~ 40°C
エネルギー密度	容量試験の結果と平均電圧から算出	0 ~ 45°C
保存試験	SOC50%、100%で保存し、一定期間毎に性能評価	45°C
サイクル試験	走行時の入出力を想定した充放電サイクル試験	45°C
効率	所定 SOC の充電容量に対する放電容量比	-20 ~ 45°C

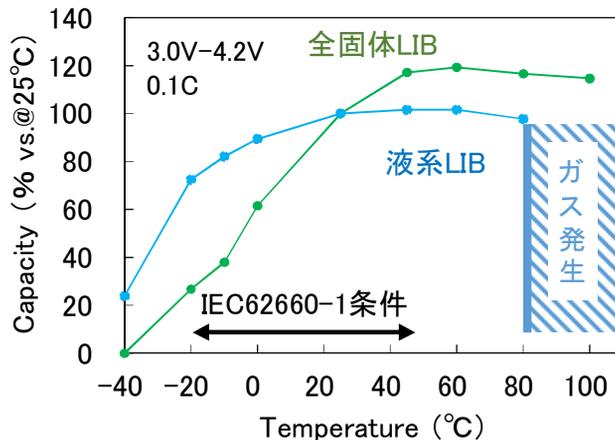


図 3.1.4-1 全固体 LIB と液系 LIB の容量試験結果

(2) 安全性試験法に関する検討

IEC 62660-2 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -信頼性・乱用試験-」及び IEC 62660-3 「電動車両推進用リチウムイオン二次電池 -安全性要求事項-」 に規定されている安全性試験項目及びそのクライテリアを表 3.1.4-2 に示す。

表 3.1.4-2 IEC62660 の安全性試験項目・試験内容・クライテリア

試験項目	試験内容の概略	クライテリア	全固体 LIB 適用可否
強制放電	SOC 0%から 1C、90 分放電	漏液、開弁、 発火破裂爆発無	○
振 動	ランダム波、5~2000 Hz、8 h×3 方向	同 上	○
衝 撃	加速度 500 m/s ² 、持続時間 6 ms、10 回×6 方向	同 上	○
温度サイクル	-40~85℃若しくは製造者指定温度範囲で 30 回	同 上	○
外部短絡	SOC100%から 5 mΩ 以下の抵抗を介して短絡	発火爆発無	○
過充電	1C で SOC130%又は最大電圧の 120%まで充電	同 上	○
圧 壊	半円柱状若しくは半球の治具で、1/3 電圧又は 15%以上の変形若しくはセル質量の 1,000 倍まで	同 上	○
加 熱	SOC100%で 130 °Cまで昇温後 30 分保持	同 上	○
強制内部短絡 (FISC)	正負極間に模擬的な異物(Ni 片)を挿入後、再度セルとして組み立て、外力を加え短絡	同 上	×

表 3.1.4-2 に記載した各安全性試験が全固体 LIB にも適用可能かを検討した結果、強制内部短絡試験 (FISC 試験) のみが適用困難であるとの結論に至った。

図 3.1.4-2 に、IEC62660-3 に規定された FISC 試験の概要を示す。この試験は製造時の万一の金属異物混入等を想定し、正負極一層のみを短絡させるものである。試験の手順としては、セルを開封して電極群を取り出し、正負極の間に L 字型の Ni 片を挿入し、再度セルとして組み立てた後、外力を加えて短絡させることとなる。

しかしながら、全固体 LIB の場合、正極、固体電解質、負極を一体化してセル化するため、液系 LIB のようにセルを解体して、正負極間に Ni 片を挿入することはできない。また、全固体 LIB は治具で拘束して使用されることから、セルに外力を加えることも困難である。そのため、セルの解体が不要でかつ拘束状態でも試験が可能となる釘刺し方式の内部短絡試験法を開発することとした。

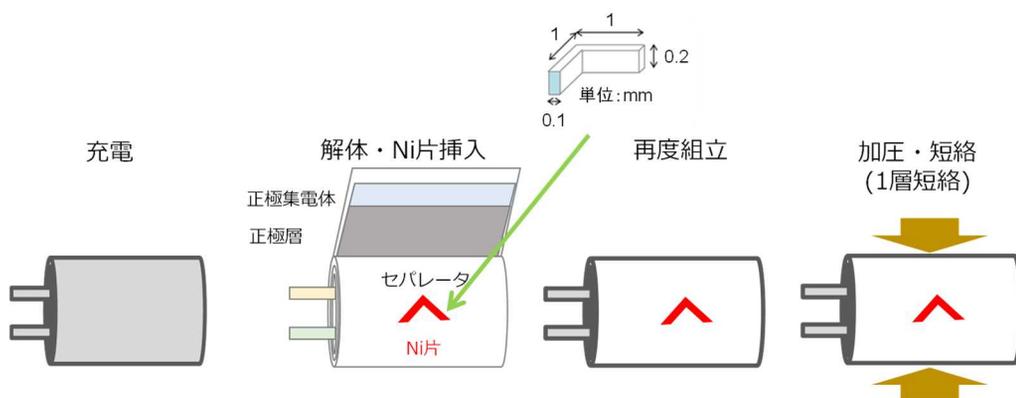


図 3.1.4-2 IEC62660-3 の強制内部短絡試験の方法

開発した内部短絡試験法を図 3.1.4-3 に示す。拘束状態での釘刺しを可能とするため、拘束治具に釘を挿入する孔(直径 3.5mm)を設けた。また、物理的に一層短絡を実現できるよう、3mm 径のニッケル製円柱の先端を鋭利な突起に加工したネイルを開発した。このネイルを用いて釘刺しする際、先端の平坦部がセルの外装に当たることで突起部のみがセルに刺さり、短絡深さが制限され一層短絡を実現できる。

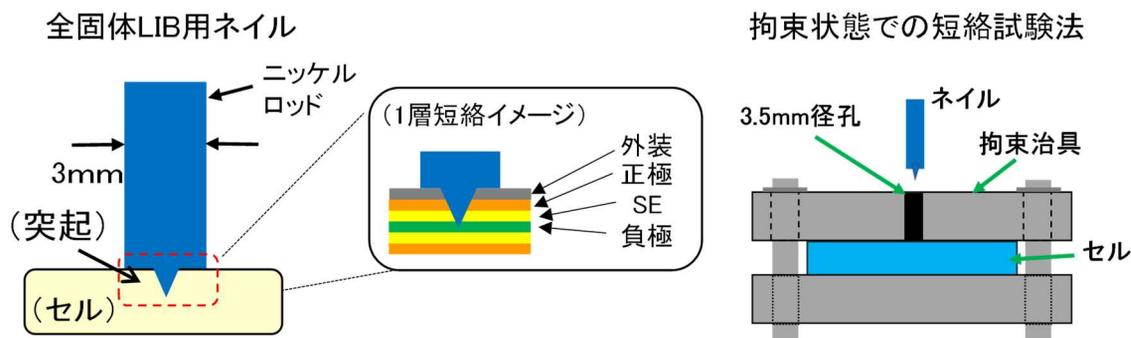


図 3.1.4-3 開発した全固体 LIB の強制内部短絡試験法 (Ni ネイル短絡試験) の概要

開発した強制内部短絡試験法(以下、「Ni ネイル短絡試験法」という。)の妥当性を検証するための実験を行った。

液系 LIB の 1Ah 級セルを用いて、Ni ネイル短絡試験と FISC 試験を行った結果を図 3.1.4-4 に示す。FISC 試験では短絡と同時に電圧が低下し、時間の経過とともに短絡部のジュール熱によりセル温度が上昇した。一方、Ni ネイル短絡試験においても、FISC 試験よりは穏やかであるが短絡による断続的な電圧低下と温度上昇が認められた。この結果から、Ni ネイル短絡試験でも FISC 試験と同様に一層短絡が実現できる見通しを得た。

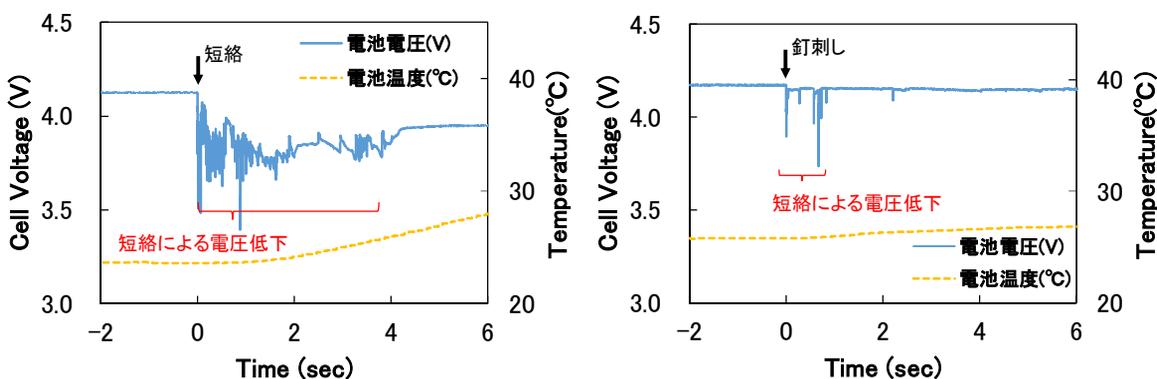


図 3.1.4-4 内部短絡試験時における液系 LIB の 1Ah 級セルの電圧・温度変化 (左: FISC 試験、右: Ni ネイル短絡試験)

次に、全固体 LIB の標準電池モデル(□2cm 単層セル)を用いて、Ni ネイル短絡試験を行った。その試験方法を図 3.1.4-5 に示すが、標準電池モデルが 8mAh と小容量であるため、液系 LIB の 1Ah 級セルを並列接続することで、標準電池モデルの短絡部に 1Ah 級セルと同等の電流が流れることで、

短絡現象が明瞭になることを期待した。

この試験結果を図 3.1.4-6 に示すが、短絡と同時に電圧が 0.5V 以上低下し、セル温度も短絡後 5 秒で 5°C 以上上昇した。この挙動は、図 3.1.4-4 に示した内部短絡試験時の液系 LIB の挙動と同様であり、全固体 LIB に対し一層短絡を実現できている。

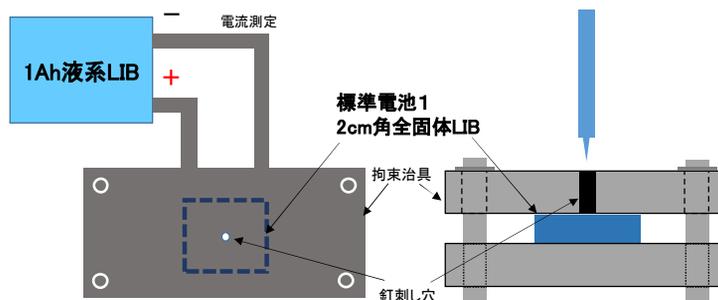


図 3.1.4-5 全固体 LIB の□2cm 単層セルを用いた Ni ネイル短絡試験の方法

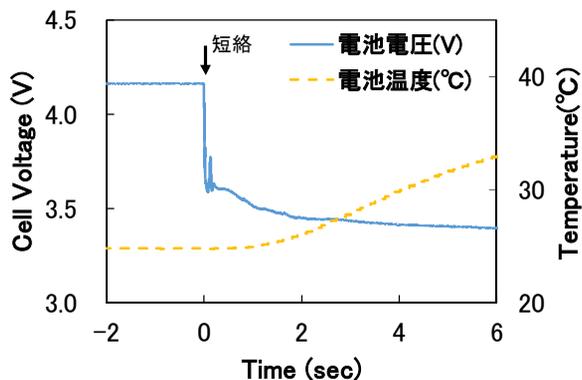


図 3.1.4-6 Ni ネイル短絡試験時における全固体 LIB の□2cm 単層セルの電圧・温度変化

3.1.5 中間・最終目標達成に向けた取組

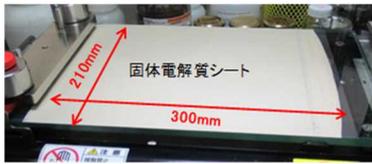
表 3.1.5-1 に中間目標達成に向けた今年度末までの取組及び最終目標達成に向けた 2021 年度以降の取組を示す。

現在、電解質層及び電極層の大面积化技術の開発を進めており、表 3.1.5-1 中に示すように、電解質層については A4 サイズのシート塗工・成形に成功している。同様に、電極層の大面积化技術も開発が進展している。そのため、□7cm 単層セルによる第 1 世代全固体 LIB の要素技術の妥当性検証は今年度末までに完了の見込みであり、計画どおり、来年度より積層セル化技術の開発に移行できる。

また、第 2 世代全固体 LIB の要素技術も、電極活物質候補は絞り込まれており、□2cm 単層の実証セルの基本設計が今年度末までに完了の見込みであり、来年度より実証セルでの技術検証に移行できる。

その他の研究テーマについても、上記の要素技術開発と歩調を合わせて進めることで、計画している来年度以降の取組に移行できる。

表 3.1.5-1 今年度末までの取組及び 2021 年度以降の取組

研究テーマ	今年度末までの取組（予定）	2021 年度以降の取組（計画）
第 1 世代全固体 LIB の要素技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大面积化技術の開発。 ・ □7cm 単層セルで各要素技術の効果・妥当性を検証。  <p>A4 サイズ電解質シートの試作品</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各要素技術のブラッシュアップ。 ・ 積層セル化技術の開発。 <p>（今年度中に積層装置テスト機を導入予定。）</p>
次世代全固体 LIB の要素技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電極活物質候補の選定。実証セルの基本設計を完了。 ・ 活物質表面コート技術の開発方針を策定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ アカデミアによる新材料開発の推進。 ・ □2cm 単層セルで新材料のポテンシャル把握及び要素技術の効果・妥当性を検証。
材料特性評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ □7cm 単層の標準電池モデルの基本仕様を策定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ □7cm 積層標準電池モデルの基本仕様を策定。 ・ 標準電池モデルを用いた材料特性評価プラットフォームの整備。 ・ 各種仕様書・要領書のドキュメント化。
シミュレーション技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ □7cm 積層の実証セルの特性予測（設計支援）。 ・ 次世代全固体 LIB の電極モデルの構築に必要な構造パラメータや物性データの取得。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電極モデルの改良（電解質内部及び固固界面のイオン輸送特性をより正確に反映）。 ・ 次世代全固体 LIB の特性予測。
試験評価法	<ul style="list-style-type: none"> ・ NP 提案に向けた試験条件・方法等の検証データの蓄積。 ・ 国内標準化関係者との意見交換継続。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ NP 提案後の IS 化に向けた試験条件・方法等の検証データの取得。 ・ 不安定化・劣化メカニズムの把握。劣化要因マップの策定と劣化加速試験法の検討。

3.2 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の研究開発成果

3.2.1 検討の流れ

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」における検討の流れを図 3.2.1-1 に示す。この検討の流れの概略は以下のとおりである。

- ① 一般ユーザー及び法人ユーザーを対象とした EV・PHEV の受容性調査を実施。その結果に基づいて、全固体 LIB を搭載した EV・PHEV の有望な領域を想定するとともに、ユーザーの購入要因を関数パラメータとして反映した国内乗用車普及台数推計ツールを作成する。
- ② 続いて、全固体 LIB 及び競合技術となる液系 LIB について、市場・技術動向を整理した上で、性能向上やコストダウン見通しを検討する。また、原材料の需給バランスを分析し、コストダウン見通しに反映する。
- ③ 上記②の検討結果に基づいて、全固体 LIB 搭載 EV・PHEV の市場導入シナリオ(車両スペック・価格、市場投入タイミング等)を設定し、上記①で作成した普及台数推計ツールを用いて EV・PHEV(全固体 LIB 搭載車及び液系 LIB 搭載車)の普及台数を推計する。
- ④ 上記③で推計される EV・PHEV の普及台数を全固体 LIB の開発・実用化がもたらす社会的インパクトとして定義し、これを実現するために、あるいは、より大きなインパクトをもたらすために必要とされる施策を検討する。
- ⑤ 全固体 LIB 搭載 EV・PHEV の広範な普及が実現した際の社会システム像を整理する。

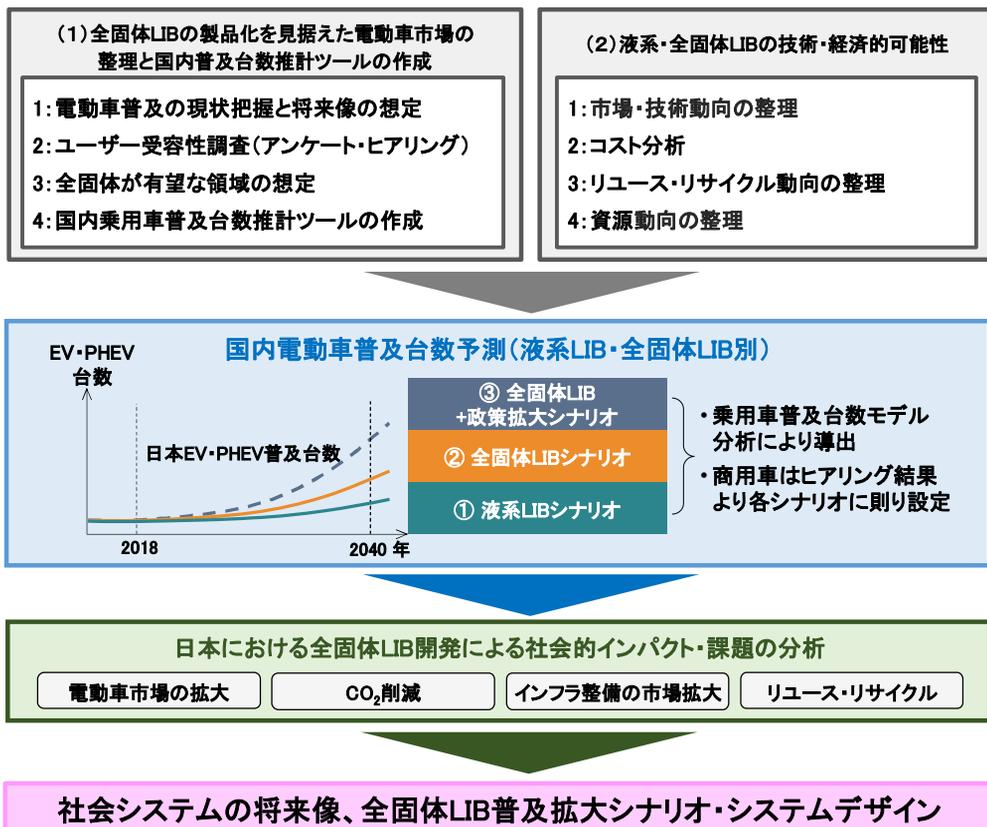


図 3.2.1-1 「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」の流れ

3.2.2 ユーザー意識調査

(1) 一般アンケート調査・分析

自動車ユーザーの乗用車利用実態や購入意思等のニーズを把握するため、自動車ユーザー1,423人(EV・PHEV ユーザー227人を含む)を対象として、表 3.2.2-1 に示す一般的なアンケート調査を実施した。その結果について、以下に述べる。

表 3.2.2-1 一般アンケート調査の概要

対象者	自動車保有者 1,423 人(うち、EV・PHEV ユーザーは 227 人) 【年齢】 20～69 歳、【性別】男女、【地域】全国
構成・内容	【一般属性】 保有台数、性別、世帯年収、利用目的等 【自動車利用状況属性】 目的別走行距離、長距離走行頻度、ランニングコスト 【EV・PHEV 関連属性】 EV・PHEV のメリット・デメリット、インフラへの要望、充電の残量許容度・許容時間等 【その他】 次回購入希望(動カタイプ、予算範囲)

(a) 利用状況

通勤・通学、家族の送迎、買い物時の片道走行距離は、全ユーザーの 78%が 30km 未満と回答した。一方、図 3.2.2-1 に示すように、旅行・帰省時の片道走行距離は、全ユーザーの 78%が 300km 未満と回答し、アウトドア・レジャー時の片道走行距離は全ユーザーの 97%が 300km 未満と回答した。

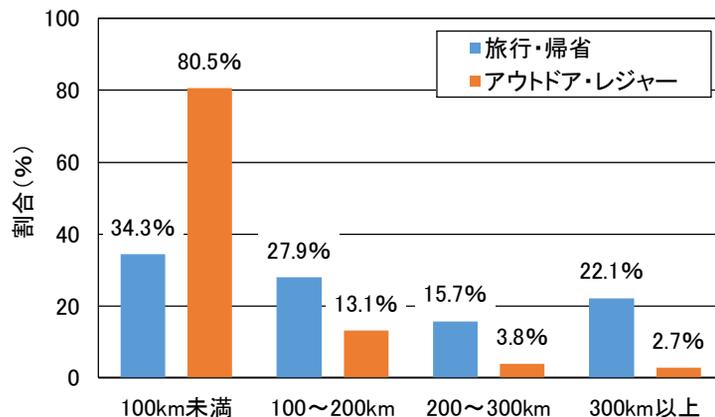


図 3.2.2-1 旅行・帰省、アウトドア・レジャー時の走行距離に関するアンケート集計結果

(b) EV・PHEV のメリット・デメリット

EV・PHEV のメリット・デメリットに関するアンケート回答の集計結果を図 3.2.2-2 及び図 3.2.2-3 に示す。

メリットに関しては、EV・PHEV ユーザーの約 50%が「家庭で充電ができるので利便性が高い」、「ランニングコストが安く経済性がある」、「走行性能・乗り心地が良い」、「先進的なイメージがある」と回答した。

一方、デメリットに関しては、全ユーザーの 60～70%が「車両価格が高い」と回答した。また、全ユーザーの 20～40%が「1 充電当たりの走行距離」、「充電スタンドの整備状況が不十分」、「充電時間が長い」と回答した。

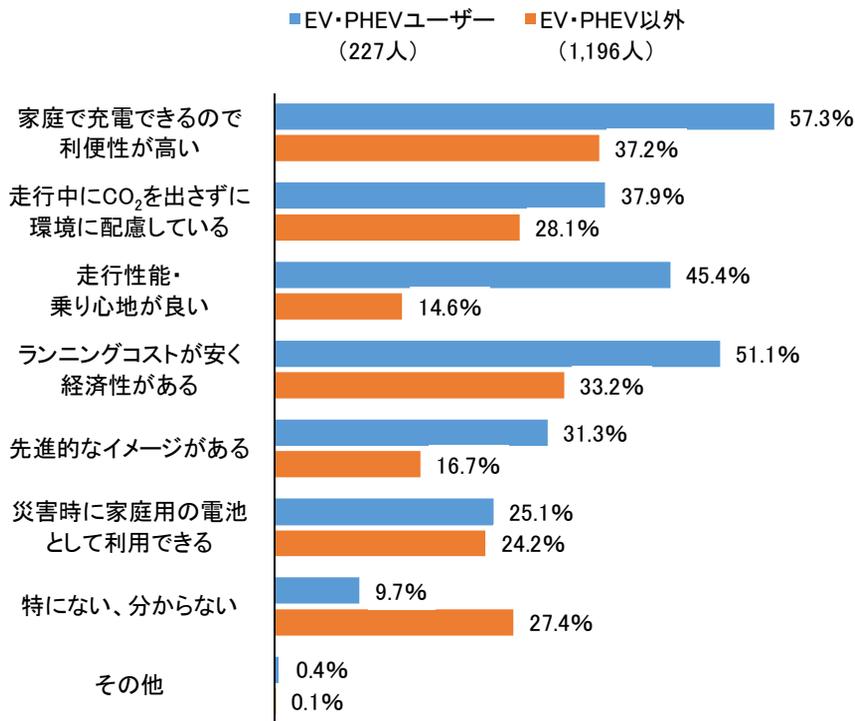


図 3.2.2-2 EV・PHEV のメリットに関するアンケート集計結果

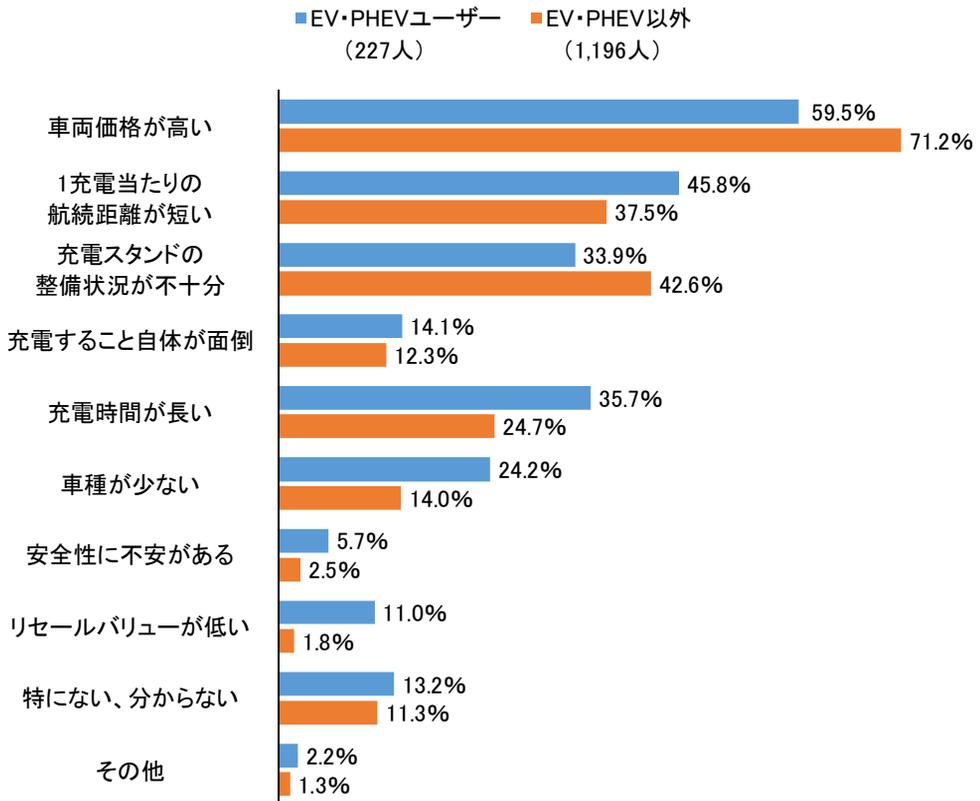


図 3.2.2-3 EV・PHEV のデメリットに関するアンケート集計結果

(c) 次回購入希望の動力タイプ及び購入予算

次回に購入希望の動力タイプ及び購入予算に関するアンケート回答の集計結果を図 3.2.2-4 及び図 3.2.2-5 に示す。

EV・PHEV ユーザーの 35%が次回は EV・PHEV を購入しないと回答し、非 EV・PHEV ユーザーの 88%が EV・PHEV を購入しないと回答した。

次回購入予算は、EV・PHEV ユーザーの 53%が 300 万円以上と回答し、非 EV・PHEV ユーザーの 75%が 300 万円未満と回答した。

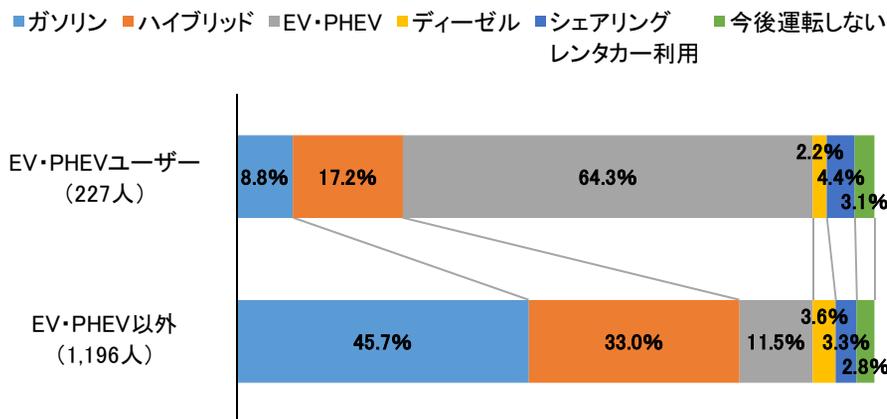


図 3.2.2-4 次回購入希望の動力タイプに関するアンケート集計結果

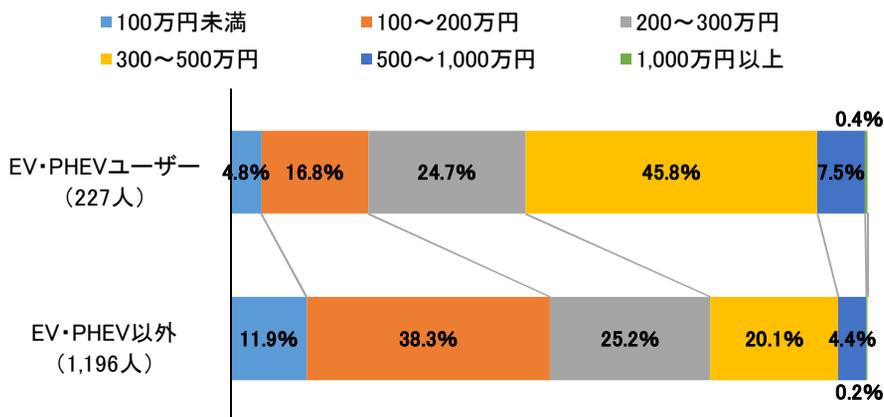


図 3.2.2-5 次回購入時の予算に関するアンケート集計結果

(2) コンジョイントアンケート調査・分析

一般アンケート調査と同じ自動車ユーザー1,423 人を対象に、コンジョイントアンケート調査を実施し、その結果についてコンジョイント分析を行った。

なお、コンジョイント分析とは、商品やサービスの「どこ」を「どの程度」変更すれば、消費者に気に入ってもらえるのかを明らかにする商品開発の戦略立案に適した分析手法である。商品アイデアを直接的に対象者に評価させるのではなく、考える商品スペックの組合せを実験的に作成し、各々について評価させる。その際、商品の具体的スペックにトレードオフが発生するように設定することにより、対象者別の「本当に重視すること」を明らかにした上で、商品スペックの各々の「買いたい気持ちを強める力(効用値)」を算出可能である。

実施したコンジョイントアンケート調査の概要を表 3.2.2-2 に示す。アンケートは、「動力タイプ」とその他の水準を有する全 8 つの属性から、最も利用頻度が高い車を買う際の意思に該当する項目を選ばせる構成となっている。

表 3.2.2-2 コンジョイントアンケート調査の概要

対象者	一般アンケートと同じ自動車ユーザー
構成・内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 8 つの属性「動力タイプ」、「ガソリン車と EV・PHEV 車の車両購入価格差」、「PHEV の電動航続距離」、「EV の電動航続距離」、「ランニングコスト」、「リセールバリュー」、「急速充電時間」、「急速充電器設置箇所数」の各水準から選択。 ・ 「リセールバリュー」、「電動航続距離」、「急速充電時間」への対価の額を明確化。 ・ 液系 LIB に対する全固体 LIB の優位性が比較できるように属性を設定。

アンケートの集計結果に対するコンジョイント分析結果の一例として、乗用車購入に影響を及ぼす 8 つの属性間での相対的な重要度を比較した結果を図 3.2.2-6 に示す。

EV・PHEV ユーザー、非 EV・PHEV ユーザーともに、「動力タイプ」の重要度が最も高く、次いで「車両購入価格差」となった。ただし、非 EV・PHEV ユーザーの方が「車両購入価格差」の重要度が高く、EV・PHEV ユーザーの方が「動力タイプ」の重要度が高くなっている。その他の属性は EV・PHEV のスペックに深く関係するものであるが、EV・PHEV ユーザー、非 EV・PHEV ユーザーで重要度には大差がない。

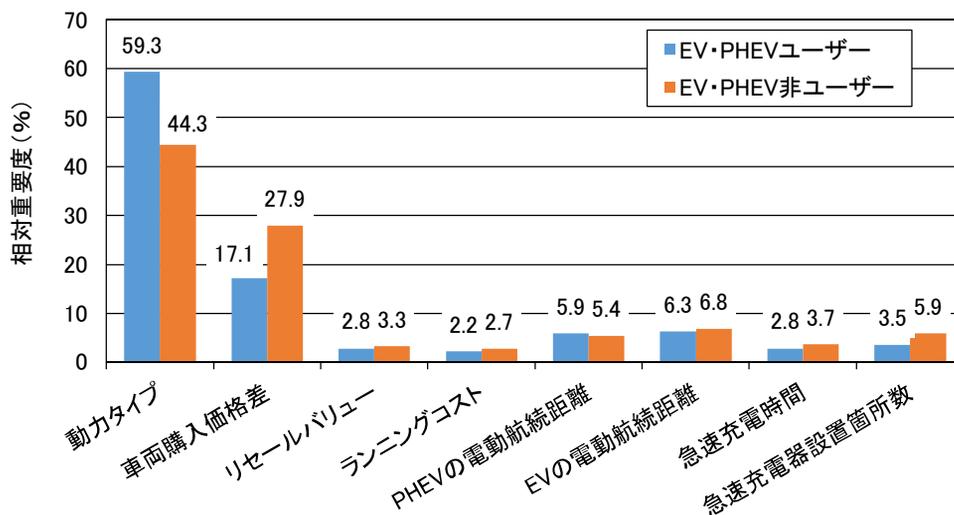


図 3.2.2-6 乗用車購入時に影響を及ぼす属性の重要度 (コンジョイント分析結果の一例)

(3) 法人ユーザーのヒアリング調査・分析

「タクシー」、「外回り営業」、「物流」、「バス」の各業界の法人ユーザーを対象としたヒアリング調査を実施し、現在の自動車の利用実及び将来のEV・PHEVの導入に向けたニーズを把握した。

この調査結果をまとめたものを表 3.2.2-3 に示すが、EV・PHEV 導入のポイントは各業界共通で車両価格であることが確認された。また、各業界での自動車利用実態に適合した走行可能距離への対応が欠かせないことが確認された。さらに、商用車は乗用車と比べて稼働率が高く、1 日の走行距離も長いいため、急速充電のニーズが高いことも確認された。

表 3.2.2-3 法人ユーザーのヒアリング調査結果のまとめ

業界	主な車両	利用実態	電動車導入の決定ポイント
タクシー	普通乗用車	【運用状況】 ・法人は1日2交代。ハイヤー、個人タクシーは1日1交代。 【電動車の充電関連】 ・都内法人タクシーは300～400km/日走行。EVの場合、1日に急速充電を4～5回する必要があるとあり、評判が悪い。	<ul style="list-style-type: none"> ・走行距離（急速充電のニーズあり。法人タクシーは交代の際に30～60分充電可能） ・車両価格
外回り営業	1.5L以下のコンパクトカー	【運用状況】 ・卸売業、運送業が多く、コストが最重要。 【電動車の充電関連】 ・走行パターンがある程度固定で、夜間営業所に戻るケースも多く（1.5～2千km/月程度）、夜間充電で対応可能。	<ul style="list-style-type: none"> ・車両価格、走行距離 ・EV導入のインセンティブ（リース会社はEVをリースするインセンティブが欠けている。）
物流	小型貨物車 10トンクラス	【運用状況】 ・小型貨物は拠点から個人宅等への輸送、10トンクラスは物流会社の倉庫間等の移動に利用。 【電動車の充電関連】 ・拠点間走行で急速充電ニーズが高い。	<ul style="list-style-type: none"> ・車両価格 ・走行距離
バス	中・大型バス車両	【運用状況】 ・1路線の走行距離は不定。複数路線を車両1台で賄うことが多い。100km/日以上走行が多い。 【電動車の充電関連】 ・昼間や路線の折返しでの待機時間があり、急速充電可能。	<ul style="list-style-type: none"> ・走行距離（最低1回の充電で100km） ・急速充電可能 ・車両価格 ・運用管理

3.2.3 全固体 LIB 搭載車の導入シナリオの検討

全固体 LIB 搭載車の導入シナリオの検討結果を図 3.2.3-1 に示す。

マスマーケットである「自家用車」の場合、中・長距離走行での利用形態において全固体 LIB の急速充電性能が活かせるが、中・長距離走行のために電池パックを大容量化する必要があり、車両の低価格化、すなわち、電池パックのコストダウンが普及の大きな課題となる。

一方、商用車は乗用車に比べてライフタイムでの走行距離が長いこと、ランニングコスト(燃料費)が低いという電動車のメリットを享受できる。しかしながら、現状の液系 LIB では、走行距離を担保するために大容量の電池パックを搭載する必要があり、また電池劣化に伴う交換の必要性も想定されるため、実際にはガソリン車との車両価格差を埋め難い。

そのため、全固体 LIB の潜在的特長である長寿命性や急速充電耐性を活かせば、電動化メリットを引き出すことができると考えられる。具体的には電池パックの交換回数を抑え、なおかつ継ぎ足し充電を取り入れて運用することで、利用実態に適合した電池パックの容量を低減し、ガソリン車に比べて割高となる車両価格を低く抑えることができる。

そこで、全固体 LIB 搭載車の普及初期におけるターゲット市場は、経済性が成り立ちやすい都市内で利用される商用車とし、商用車での普及が拡大することにより、全固体 LIB のコストダウンが進み、全固体 LIB 搭載車とガソリン車の価格差が縮まることでユーザーの利便性・経済性が改善する。このようなシナリオを経て、乗用車として全固体 LIB 搭載車が普及していくと考えられる。

全固体 LIB 搭載車が有望となる商用車の具体的な用途としては、表 3.2.3-1 に示すように、「都市内配送」、「路線バス」、「タクシー」、「都市間バス」が考えられる。これらの用途の場合、比較的短時間の走行と急速充電を繰り返す運用が行われるため、全固体 LIB の長寿命性と急速充電耐性を活かせると考えられる。「営業車」及び「都市間配送」は走行ルートが不定であり、移動中の急速充電は難しく、そもそも EV・PHEV 自体が不向きな用途である。

なお、乗用車への全固体 LIB 展開時は、PHEV の小型乗用車が先行し、その後、PHEV の中・大型車、EV の小型車、EV の中・大型車と順次展開されていくと考えられる。

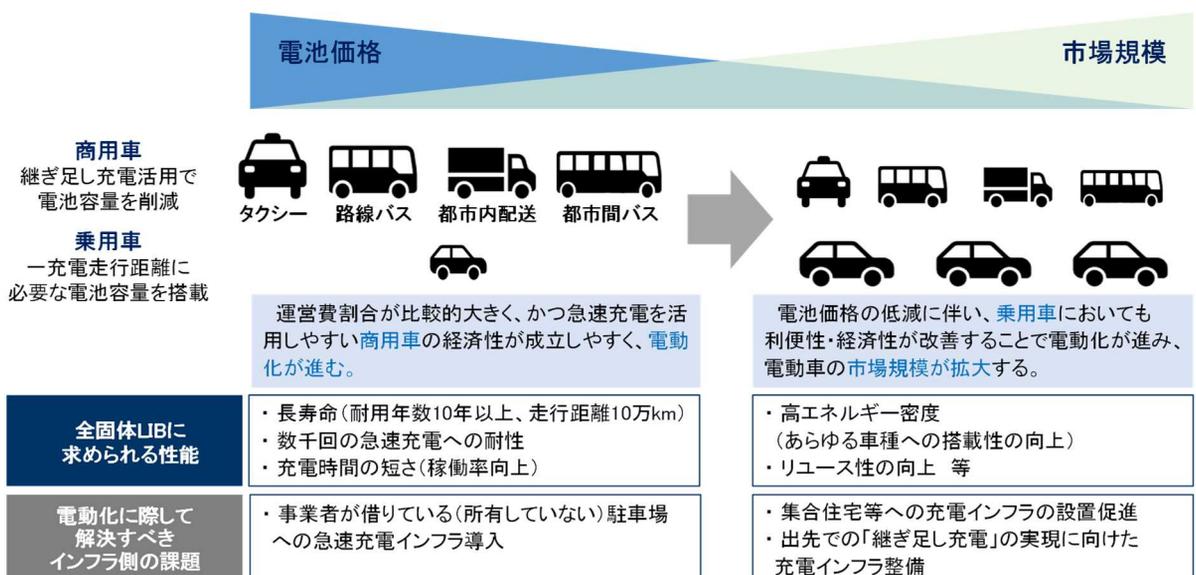


図 3.2.3-1 全固体 LIB 搭載車の導入シナリオ

表 3.2.3-1 全固体 LIB 搭載商用車の有望用途

			1日の走行距離に対するニーズ	急速充電へのニーズ・対応可能性
乗用車	自家用車		200~300km	高速 SA 等での経路充電時に 30 分未満のニーズが高い
	営業車		150km	ルート不定のため日中の急速充電は困難
商用車	都市内配送		300km	1日 2~3 回のドライバー交代時(1 時間)に可
	路線バス		150km	ピーク外の昼間に営業所・路線折り返し場所で待機中に可
	タクシー		400km	1日 2~3 回のドライバー交代時(1 時間)に可
	都市間バス		500km	2 時間移動後の SA 等で 20 分程度の休憩時に可
	都市間配送		500km	ルート不定のため日中の急速充電は困難

3.2.4 国内乗用車普及台数の推計

E.M.Rogers によって提案されたイノベーションモデル(理論)に基づいた国内乗用車普及台数推計ツールを作成し、全固体 LIB 搭載車を含めた国内乗用車普及台数推計のケーススタディを行った。

なお、E.M.Rogers のイノベーションモデルとは、新たな技術や商品、サービス等の普及速度の変化を消費者の行動科学の面から記述するマーケティングモデルである。EV 普及率が 50%を超えたノルウェーでの EV 普及速度に当て嵌めた研究報告例がある。

この国内乗用車普及台数推計に用いたシナリオとその前提条件を表 3.2.4-1 に示す。

表 3.2.4-1 国内乗用車普及台数推計に用いたシナリオとその前提条件

シナリオ	<p>S1:液系 LIB S2-1:全固体 LIB 開発 標準ケース(全固体 LIB と液系 LIB の電池パック容量は同じ) S2-2:全固体 LIB 開発 継ぎ足し充電ケース(全固体 LIB の電池パック容量が液系 LIB の 1/2)</p>	
車種	<ul style="list-style-type: none"> ガソリン車、EV、PHEV の 3 タイプを設定。 液系 LIB 搭載車は 3 車種・・・EV:小型車、中・大型車 PHEV:中・大型車 全固体 LIB 搭載車は 4 車種・・・EV:小型車、中・大型車 PHEV:小型車、中・大型車 (全固体 LIB は液系 LIB より電池パックが小型化できるため、小型車 PHEV への搭載も想定) 	
車両購入価格差	<ul style="list-style-type: none"> 電池パック容量: 電池パック容量は現状の車両程度の航続距離があればカバーできるため、既存車両の搭載容量を参考に設定。継ぎ足し充電ケースの全固体 LIB 搭載車は、その 1/2 容量に設定。 電池パック価格: 液系 LIB は、現状単価は既存電動車と同等のガソリン車との価格差から設定。2025 年、2030 年以降は量産効果による低コスト化を考慮。 全固体 LIB は、EV 向け 2025 年単価は商用車で経済性が成立する単価を目安に設定。2030 年以降は量産効果による低コスト化を考慮。PHEV は kWh 当たりの価格を EV の 2 倍に設定。 補助金額: 液系 LIB 搭載車への補助額を参考に、電池パック価格の 1/4～1/3 の補助額を設定。全固体 LIB 搭載車は同車種の液系 LIB 搭載車への補助額と同額に設定。 算式: 購入価格差 = 電池パック価格 - 補助金額 	
リセールバリュー	<ul style="list-style-type: none"> 現状のガソリン車、液系 LIB の EV・PHEV のリセールバリュー価格を参考に、液系 LIB 搭載車は将来もこの価格が継続するとした。 全固体 LIB 搭載車は電池の長耐久化の実現により、リセールバリューがガソリン車と同程度になるとする。 	<p>ランニングコスト</p> <ul style="list-style-type: none"> ユーザーアンケートを踏まえ、ガソリン車と比べた場合の毎月のランニングコスト削減額を設定。全固体 LIB の PHEV は急速充電の高速化により充電頻度が増えて日常は基本的に電動走行になることを想定し、EV と同額とする。 V2X の収益については、制度が整う可能性がある 2025 年以降、そのメリットを反映。
EV・PHEV 電動航続距離	<ul style="list-style-type: none"> 電池搭載量 購入価格差での説明と同様。 電費 現状の車両の電費を参考に設定。 算式 航続距離 = 電池搭載容量 × 電費 	
急速充電時間・設置箇所数	<ul style="list-style-type: none"> 急速充電時間は、現状の車両における急速充電時間(80%充電時間)に対して、電池搭載容量と急速充電器出力に比して設定。(全固体 LIB の急速充電時間は今後の開発に応じて見直す予定) 急速充電器設置箇所数は、乗用車の利用シーンを踏まえて、現状と同程度の 7,000 箇所(現状のガソリンスタンドの 1/4 程度)に設定。 	

国内電動車保有台数の推計結果を図 3.2.4-1～図 3.2.4-3 に示す。

図 3.2.4-1 は全固体 LIB が実用化されず、液系 LIB 搭載車のみが普及するシナリオ(「S1 シナリオ」という。)であり、2040 年での保有台数は 1,486 万台となる。

図 3.2.4-2 は液系 LIB と同容量の電池パックを用いる全固体 LIB 搭載車が実用化普及するシナリオ(「S2-1 シナリオ」という。)である。この場合、2040 年の保有台数は全固体 LIB 搭載車が 1,155 万台、液系 LIB 搭載車が 691 万台、両者の合計が 1,846 万台となる。従って、S1 シナリオと比較すると、全固体 LIB が実用化されることにより、約 360 万台(24%)の保有台数増となる。

図 3.2.4-3 は液系 LIB の 1/2 の容量の電池パックを用いる全固体 LIB 搭載車(継ぎ足し充電での運用となる)が実用化・普及するシナリオ(「S2-2 シナリオ」という。)である。この場合、2040 年の保有台数は全固体 LIB 搭載車が 1,223 万台、液系 LIB 搭載車が 660 万台、両者の合計が 1,883 万台となる。S2-1 シナリオと比較すると、電動車全体の保有台数差は約 37 万台、全固体 LIB 搭載車のみに着目すると約 68 万台となる。電池パック容量を 1/2 にして車両価格を低減しても、保有台数として得られる効果は限定的ではあるものの、S2-1 シナリオに比べて S2-2 シナリオの方が普及初期の台数増加ペースが速くなる効果が得られる。

以上のように、EV・PHEV の普及に対して、全固体 LIB の導入が大きな社会インパクトを与えることが分かった。一方で、「全固体 LIB が入った時の社会システム将来像」を描き、実現していくためには、様々な技術開発面や普及促進面での課題がある。例えば、S2-2 シナリオの場合には、継ぎ足し充電をストレスなく行うための急速充電設備の設置と普及、S2-1 シナリオの場合には、S2-2 シナリオよりも多くの全固体 LIB を製造する必要がある、そのための固体電解質の製造や全固体 LIB の新規工場投資による CO₂ 発生量の検証などが必要である。

さらには、いずれのシナリオにおいても、全固体 LIB リサイクルシステムの構築(現状では液系 LIB であっても市場からの回収数が少ないため主となるリサイクルシステムが構築されていない)や、ガソリン車よりコスト高となる電動車(全固体 LIB 導入時)への普及補助策の検討等が必要である。

今後は、台数推計に基づいたインパクト分析における残課題への対応や定量的評価の追加等を継続して行うとともに、ユーザーの動向を注視しつつ、社会システム将来像のブラッシュアップと実現への課題の明確化を進め、社会システムデザインを描いていく。

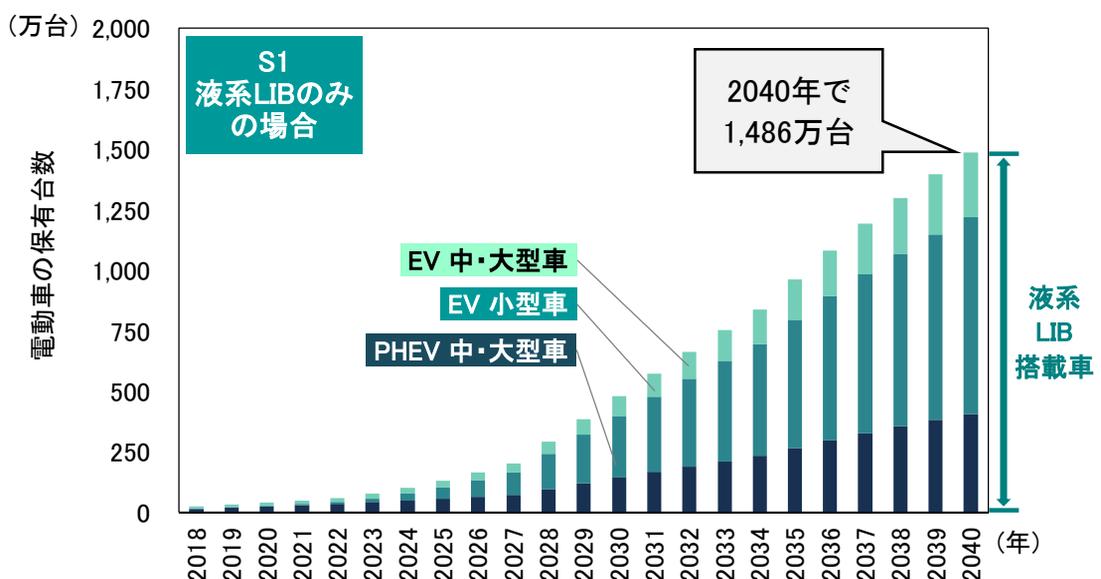


図 3.2.4-1 国内自動車保有台数の推計結果(S1 シナリオ)

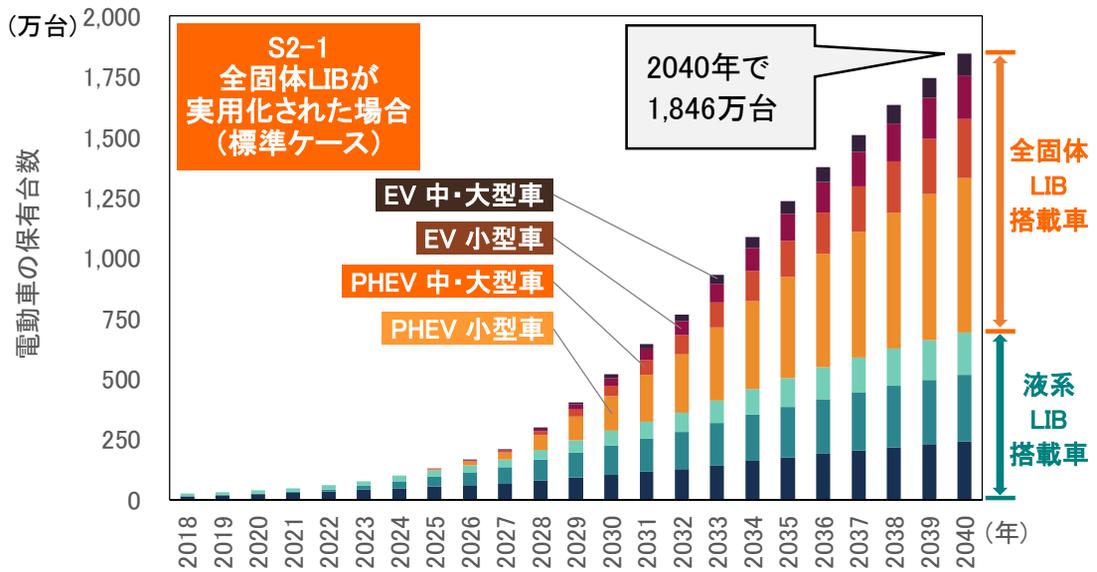


図 3.2.4-2 国内自動車保有台数の推計結果(S2-1 シナリオ)

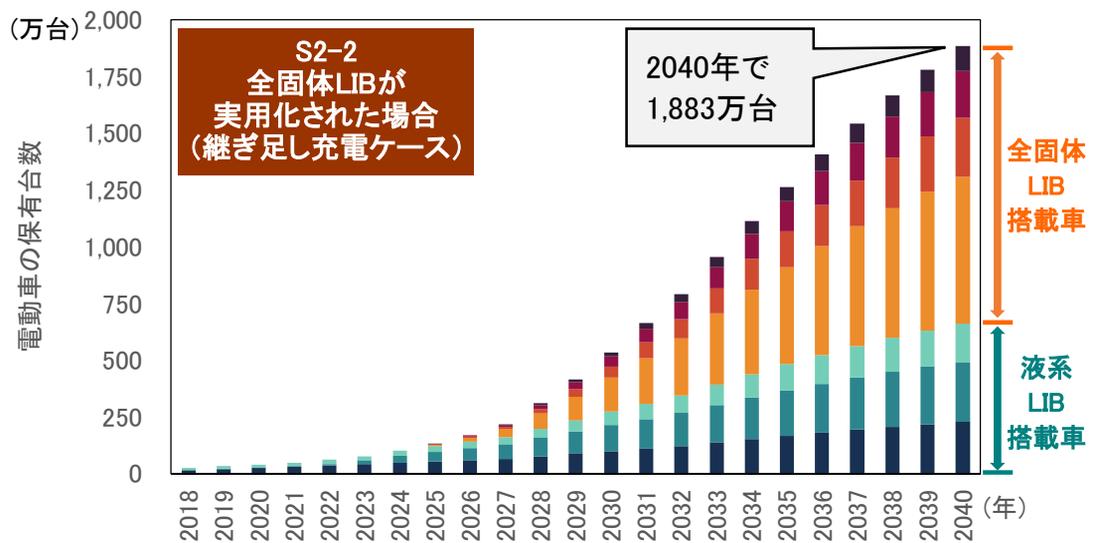


図 3.2.4-3 国内自動車保有台数の推計結果(S2-2 シナリオ)
(全固体 LIB の電池パック容量を液系 LIB の 1/2 とした場合)

3.2.5 中間・最終目標達成に向けた取組

(1) 2020 年度末までの取組

全固体 LIB 搭載車について、資源採掘から製造、使用、廃棄に至るまでのライフサイクルにおける CO₂ 排出環境負荷の分析・評価 (Life Cycle Assessment) を行う。

また、全固体 LIB のリサイクルについて、液系 LIB とは異なる技術の適用が必要となる処理工程を抽出し、適用すべき技術とその技術課題を明らかにする。

さらに、国内乗用車普及台数の推計結果を国内関係者で議論し、その結果を反映することで、中間目標である全固体 LIB 搭載車を取り巻く社会システムの将来像をとりまとめる。

(2) 2021 年度以降の取組

市場動向、技術動向、政策動向等を調査・分析を継続し、その結果を全固体 LIB 搭載車の導入シナリオや国内普及台数推計に反映する。

また、国内乗用車普及台数推計ツールの改良を行いつつ、ケーススタディを追加実施する。

そして、これらの結果に基づいて、全固体 LIB 搭載車の普及拡大を図り、かつビジネスを有利に展開するためのシナリオデザインをとりまとめる計画である。

3.3 成果の普及

3.3.1 特許出願・対外発表実績

特許出願及び対外発表等の実績を表 3.3.1-1 に示す。なお、現時点で外国未出願特許は出願後 1 年未満であり、今後、外国出願を行うことを検討中である。

表 3.3.1-1 特許出願及び対外発表実績

	特許出願 (うち外国出願)	論文 (うち査読付き)	研究発表・講演	雑誌等への掲載
件数	4 件 (1 件)	5 件 (5 件)	47 件	5 件
2020 年度の追加予定件数	7 件	—	21 件	2 件

注：件数は筆頭者の所属機関でカウント

3.3.2 情報発信

NEDO 及び実施者は、本事業における研究開発活動及びその成果を広く周知するための対外情報発信に取り組んでいる。例えば、図 3.3.2-1 に示すように、2018 年 6 月、事業開始のニュースリリースと記者会見を実施した。37 社 71 名のマスコミ関係者を招いた記者会見には NEDO、LIBTEC、LIBTEC 組合員企業である自動車、蓄電池、材料メーカー 23 社の経営層が出席し、本事業の目的・意義等を説明した。また、図 3.3.2-2 に示すように、LIBTEC のホームページでも本事業の情報を発信している。さらに、図 3.3.2-3 に示すように、NEDO は、2019 年 11 月の第 60 回電池討論会において「ナショナルプロジェクト合同セッション」を開催し、本事業の成果を発表した。このセッションの聴講者数は 1,000 名を超えた。



— 全固体リチウムイオン電池の研究開発プロジェクトの第 2 期が始動
— 産学官の力が結集する体制を構築し、EV 用途での早期実用化を目指す —

NEDO は、世界各国でモビリティの電動化に向けた動きが活発化する中、高エネルギー密度化と安全性の両立が可能な蓄電池として注目されている全固体リチウムイオン電池を早期実用化するための研究開発プロジェクトの第 2 期をスタートさせました。

本プロジェクトでは、自動車・蓄電池・材料メーカー 23 社および大学・公的研究機関 15 法人が連携・協調し、全固体リチウムイオン電池のボトルネック課題を解決する要素技術を確立しつつ、プロトタイプセルを用いて新材料の特性や量産プロセス・EV 搭載への適合性を評価する技



図 3.3.2-1 事業開始時のニュースリリースと記者会見 (2018 年 6 月)



図 3.3.2-2 LIBTEC のホームページ



図 3.3.2-3 第 60 回電池討論会「ナショナルプロジェクト合同セッション」会場の様子 (2019 年 11 月)

第4章 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて

本事業における成果の実用化の考え方は、以下のように定義した。

本事業における成果の実用化の考え方(定義)

本事業の成果(全固体リチウムイオン電池の共通基盤技術及び社会システムのシナリオ・デザイン)が、材料メーカー・大学等における新材料の研究開発や自動車・蓄電池メーカーにおける電動車及び車載バッテリーの研究開発に活用されること。

4.1 成果の実用化に向けた取組

上記した定義に基づいた成果の実用化に向けた基本的な戦略と具体的な取組について以下に述べる。

4.1.1 開発成果の参加企業の活用に向けた取組

本事業の集中研究拠点である LIBTEC には、全固体 LIB や車載バッテリーで豊富な技術蓄積を有する材料・蓄電池・自動車メーカー23 社より、研究者・エンジニアを出向研究員として受け入れ、各社の技術シーズ・ニーズを循環させつつ、大学・研究機関のサイエンスの知見を取り入れて研究開発を進めている。こうした企業間連携及び産学連携により価値を高めた技術の有用性は、各出向研究員が強く実感しており、出向元企業に復帰することで、自ずと参加企業内で活用され、その後、産業界全体に浸透していくと考えられる。

この産業界浸透の迅速化をねらい、事業期間中より、参加企業の開発担当者に対しても研究開発情報をタイムリーに共有し、開発技術の有用性を認知させることを基本戦略として、以下に示す取組を進めた。

(1) 「SOLiD-EV 技術委員会」の開催

参加企業 23 社の開発責任者が出席する「SOLiD-EV 技術委員会」を定期開催し、研究開発の計画及び進捗状況を共有してきた。開催実績を表 4.1.1-1 に示すが、これまでに合計 7 回開催した。

なお、この委員会においては、知的財産の取扱いや情報管理といった成果活用に係る方針についても、協議・調整している。例えば、知財運営委員会で精査された特許の中で、不実施機関となる大学・研究機関が出願する特許を関連企業に紹介し、産学の双方の利益誘導を推進した。

表 4.1.1-1 「SOLiD-EV 技術委員会」(LIBTEC 主催)の開催実績

回次	開催年月日	内容
第1回	2018年7月11日	事業全体の研究開発計画の確認。知財合意内容の確認。
第2回	2018年9月19日	委員会の開催方法の協議。
第3回	2018年11月14日	各チームの開発進捗の報告。
第4回	2019年2月20日	事業全体の開発進捗の報告。
第5回	2019年6月24日	事業の年度計画の報告。参加研究員等の確認。
第6回	2020年2月18日	2020年度予算の報告。成果利用ルールの協議等。
第7回	2020年9月11日	ノウハウ管理に関する協議等。

(2) 「SOLiD-EV 技術シンポジウム」の開催

参加企業 23 社の開発責任者及び担当者に加えて、参加大学・研究機関の研究者、連携中の他事業関係者、外部有識者(NEDO 技術委員)、経済産業省及びNEDO 担当者が参加する「SOLiD-EV 技術シンポジウム」を開催し、関係者全員で研究開発の進捗状況を共有してきた。

開催実績を表 4.1.1-2 に示すが、これまでに合計 3 回(延べ 5 日間)開催し、1 回あたり約 150～190 名が出席した。また、シンポジウムの会場風景を図 4.1.1-1 に示す。このシンポジウムでは、ポスターセッションを設け、各企業の関係者が大学・研究機関の研究開発内容について技術的な理解を深める機会を提供してきた。同時に業種・競合等の垣根を越えた企業間の交流を促進してきた。

表 4.1.1-2 「SOLiD-EV 技術シンポジウム」(LIBTEC 主催)の開催実績

回 次	開催年月日	内 容	参加者数
第 1 回	2018 年 9 月 3 日	事業全体の研究開発方針・計画、個別研究テーマ(29 件)の研究内容を共有。	146 名
第 2 回	2019 年 1 月 21 日 ～2019 年 1 月 22 日	事業全体及び個別研究テーマ(34 件)の進捗状況を共有。	159 名
第 3 回	2019 年 12 月 9 日 ～2019 年 12 月 10 日	事業全体及び個別研究テーマ(42 件)の進捗状況を共有。	188 名



開発進捗報告の状況



ポスターセッションの状況

図 4.1.1-1 「第 3 回 SOLiD-EV 技術シンポジウム」の会場風景

(3) 参加企業に対する「個別限定情報」の開示

LIBTEC では、出向研究員が取り組んでいる研究開発の情報を出向元企業に対して報告することが出来るルールを設け、企業内での全固体 LIB の研究開発を促進してきた。なお、この報告内容は、LIBTEC において「個別限定情報」として管理されている。

これまでの「個別限定情報」の開示実績は、表 4.1.1-3 に示すように合計 157 件である。1 社あたり約 7 件の開示件数となっている。

表 4.1.1-3 LIBTEC の組合員企業への個別限定情報の開示実績

期 間	企業の業種	件 数
2018 年 7 月 ～2020 年 8 月	自動車・二輪メーカー	56 件
	蓄電池メーカー	38 件
	材料・プロセスメーカー	63 件
	合 計	157 件

(4) 研究設備の企業見学会の開催

LIBTEC は、組合員企業の開発責任者や出向研究員の上司・同僚が参加する見学会を開催し、本事業で導入した研究開発設備や研究開発現場の状況等を紹介してきた。

これまでの企業見学会の開催実績は、表 4.1.1-4 に示すように延べ 29 回であり、12 社、約 60 名が参加した。

表 4.1.1-4 LIBTEC による企業見学会の開催実績

期 間	企業の業種	回数(企業数)
2018 年 9 月 ～2020 年 8 月	自動車・二輪メーカー	12 回(3 社)
	蓄電池メーカー	3 回(2 社)
	材料・プロセスメーカー	14 回(7 社)
	合 計	29 回(12 社)

4.1.2 材料特性評価技術の産業界・学界の活用に向けた取組

本事業で開発している全固体 LIB の材料特性評価技術については、材料メーカーのみならず、大学・研究機関も広く活用して、我が国における全固体 LIB の研究開発を効率的に進め、日本が全固体 LIB の技術進化でリードする状況を作る必要がある。

この材料特性評価技術の産業界・学界への浸透には、実際のユーザーの立場で成果を利用してもらい、その有用性を実感させるのが最も効果的である。そのため、事業期間中より、新材料の受入れと電池試作・評価、標準電池モデルの提供を行うことを基本戦略として、これらの取組を進めた。

(1) 新材料の受入れと電池試作・評価

本事業に参加している材料メーカー及び大学・研究機関を中心として、なるべく多くの新材料サンプルを受け入れて電池試作・評価を行い、その結果をフィードバックすることで、技術の有用性を認知させてきた。加えて、フィードバックの際は、単に評価結果のデータを提示するのではなく、何故、このような評価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てきた。

これまでの新材料を用いた電池試作・評価の実績は、表 4.1.2-1 に示すように合計 62 件である。この結果のフィードバックにより、サンプル提供者が性能向上に結び付けた材料が複数ある。

また、昨年度、本事業と連携関係にある JST 事業・ALCA-SPRING プロジェクトにおいて開発された硫黄系正極活物質を受け入れて電極厚膜化の技術を開発し、フィードバックした。さらに、この正極活物質を用いた 10Ah 級セル(イオン液体電解液を使用)の試作・評価も実施した。今年度も引き続き、ALCA-SPRING から硫黄系活物質を受け入れ、全固体電池への適用に向けた検討を進めている。

さらに、今後は、本事業に参加していない企業からも新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価を行う予定である。具体的には、現在、NEDO イノベーション推進部が実施中の「新エネルギー等のシーズ発掘・事業化に向けた技術研究開発事業／全固体 LIB に係る課題設定枠(2019 年度)」で採択された 2 つの研究テーマ、「電極活物質への無機材料の薄膜コート技術の実用化研究開発」及び「全固体リチウムイオン電池(電極層並びに固体電解質)薄膜化成形用精密プレスの技術開発」の実施者である中小・ベンチャー企業の成果物について、LIBTEC が技術的コンサルティングを行う予定である。

表 4.1.2-1 LIBTEC による新材料を用いた電池試作・評価実績

対 象	評価材料種	サンプル件数
第 1 世代全固体 LIB	正極活物質	10
	負極活物質	25
	固体電解質	11
	バインダー	6
	固体電解質層支持体	4
	分散剤	3
次世代全固体 LIB	正極活物質	2
	負極活物質	1
合 計		62

(2) 大学・研究機関への標準電池モデルの提供

標準電池モデル(□2cm 単層セル)を、本事業に参加している大学・研究機関に提供し、各機関が担当している研究開発の加速に繋げるとともに、将来、アカデミアの全固体 LIB の研究開発活動において標準電池モデルが広く活用されていく布石を打ってきた。

これまでの標準電池モデルの提供実績は、表 4.1.2-2 に示すように合計 6 機関(7 研究室)である。大学・研究機関自身では全固体 LIB フルセルの解析評価体系を構築することは困難であり、標準電池モデルは有効に活用されている。

また、今後、本事業に参加していない大学・研究機関にも標準電池モデルを提供する予定もある。具体的には、現在、NEDO イノベーション推進部が実施中の「エネルギー・環境新技術先導研究プログラム」の研究テーマ「車載用蓄電池の内部状態解析に基づく診断技術の研究開発」の実施者に対して、LIBTEC が標準電池モデルを提供し、全固体 LIB の劣化メカニズムを共同で把握する予定である。

さらに、今後、適宜バージョンアップした標準電池モデルを LIBTEC 組合員企業にも提供し、企業内における全固体 LIB の研究開発にも活用されるようにして、産業界共通の指標として浸透させていく予定である。

表 4.1.2-2 LIBTEC による標準電池モデルの提供実績

提供先	提供目的
大学 A	要素技術の開発／電極電位評価の検討
大学 B	シミュレーション技術の開発／電極モデルの検討
大学 C	シミュレーション技術の開発／電極モデルの検討
大学 D	リサイクル技術の課題検討
	シミュレーション技術の開発／電極反応の解析
研究機関 F	試験評価法の開発／寿命評価法の検討
	試験評価法の開発／安全性試験法の検討
研究機関 G	試験評価法の開発／安全性試験法の検討

(3) 全固体 LIB の特性評価及び分析・解析に係るドキュメント類の整備

本事業で開発する材料特性評価技術が広く活用されるには、「この技術で取得されたデータであれば、自社あるいは自大学の開発品のポテンシャル把握に信頼して使用できる。」、あるいは「顧客への提案資料や研究発表資料に用いたり、顧客評価結果の検証データとして有効に使用できる。」といっ

た認識を関係者に抱かせる必要がある。そのため、LIBTEC では、材料・セルの特性評価や分析・解析に係る試験(実験)の条件、方法等をドキュメント化し、仕様書、要領書といった組織文書として発行・管理してきている。

これまでの文書発行の実績は、表 4.1.2-3 に示すように合計で 69 件である。なお、69 件には一部、作成中のものを含む。

表 4.1.2-3 LIBTEC による特性評価・分析・解析ドキュメントの発行実績

文書の分類	件数
材料評価関連	39 件
製造プロセス関連	10 件
シミュレーション技術関連	10 件
試作・電池評価技術関連	10 件
合計	69 件

4.1.3 国内標準化関係者との研究開発情報の共有

「2.6 国際標準化について」で述べたように、試験評価法の国際標準化を迅速・円滑に進めるには、国際標準化機関における議論を早く始めることが重要である。そのため、事業開始初年度より、国内の標準化関係者と定期的に会合を持ち、研究開発の状況を共有していくとともに、意見・助言をすくい上げて実験データを取得してきた。

なお、国際標準化の進め方は国内審議団体の委員会／専門分科会で今後、決定されるため、現時点では規格審議や制定のスケジュールは未確定であるが、審議に有効活用可能なデータを前広に取得していく予定である。

4.1.4 企業を交えた「社会システムデザインの検討」の実施

全固体 LIB 搭載電動車の社会実装に向けた推進力・担い手となるのは自動車・蓄電池メーカーである。そのため、自動車・蓄電池メーカー9社の専門家で構成されるワーキンググループを LIBTEC 内に設置し、定期的に会合を開催し、各専門家の意見・助言をすくい上げながら検討を進めた。メンバーには充電インフラ関連の実務担当者も含まれており、広い視野で社会システムの議論を進めてきた。

ワーキンググループの開催実績は、表 4.1.4-1 に示すように合計で 8 回である。

また、国内の蓄電池開発プロジェクトに関係している有識者で構成される「文部科学省・経済産業省ガバナリングボード(蓄電池)」においても、検討状況を報告した。

表 4.1.4-1 「社会システムデザインの検討」ワーキンググループの開催実績

回次	開催年月日	議論の内容
第1回	2018年10月22日	全体計画
第2回	2018年12月12日	動向調査の内容
第3回	2019年2月21日	動向調査の進め方、アンケート調査内容等
第4回	2019年3月28日	2019年度の計画、普及台数推計ツール等
第5回	2019年6月3日	アンケート調査結果
第6回	2019年8月5日	電動車市場の分析結果、全固体 LIB の技術的・経済的可能性、普及台数推計ツール等
第7回	2019年10月28日	普及台数推計条件及び推計結果
第8回	2020年1月20日	動向調査結果、中間とりまとめ

4.2 成果の実用化の見通し

次の 1)～3)に示す理由により、本事業の成果は、我が国における全固体 LIB の研究開発及び実用化を手戻りなく効率的に進めるための強力なツールとして、国内産業界及び学会で活用されることが期待できる。

- 1) 本事業に参加している企業は、蓄電池開発・実用化のパイオニア的な存在であり、この分野で世界トップの技術力を保有している。また、参加している自動車メーカーは優れた環境性能と顧客ニーズを両立した電動車をいち早く開発・量産してきた実績がある。加えて、全固体 LIB の研究開発で世界をリードしている企業・アカデミアや商業生産を表明している企業も参加しており、これら企業は硫化物系全固体 LIB の特許出願ランキングの上位を占めている。本事業では、こうした産業界・アカデミアの経験、技術力、人材等を最大限に活かす産学連携・企業間連携の体制で研究開発を進めている。
- 2) 「1.1.3 技術動向」で述べたように、全固体電池の研究開発が世界的に活発化しており、欧州では産学連携による国家プロジェクトも開始されているが、総合的に見て本事業の方が実施体制に厚みがあり、開発している要素技術や特性評価のプラットフォームは世界トップレベルの水準にある。
- 3) 「4.1 成果の実用化に向けた取組」で述べたように、事業期間中より、成果を企業・アカデミアに浸透させていく取組を研究開発と同時進行で行っており、順調に進展している。

また、本事業の成果と技術蓄積を活用し、将来、LIBTEC が全固体 LIB の材料評価サービスを展開することが予想される。「2.3.1 実施者の技術力・実用化能力について」で述べたように、既に LIBTEC は、過去の NEDO 事業で開発した液系 LIB の材料評価技術及び導入した設備・装置を活用し、材料評価サービス、蓄電池開発コンサルティング、電池技術者育成プログラム等の自主事業を展開している。この自主事業に参加している企業数は 17 社であり、今年度に評価する材料サンプル数は 400 件以上が計画されている。今後においては、本事業に参加の材料メーカー、不参加の材料メーカーを問わず、全固体 LIB 用の新材料を個別に改良したいというニーズや、本事業への参加により派生した企業間コネクションに基づいて個別の研究開発体制を作り、セルのカスタマイズを図りたいというニーズが発生すると予想され、LIBTEC において自主事業化の検討を進める予定である。

なお、全固体 LIB の試験評価法に関する国際標準化の進め方は、国内審議団体内に設置される国内委員会／専門分科会で決定されるため、現時点で国際標準化機関における審議開始や規格制定等のタイミングを明言することはできないが、審議に有効活用可能なデータをタイムリーに提供できるように前広に取得していく予定である。

4.3 波及効果

4.3.1 オープンイノベーションの推進

グローバルな競争の激化、資源流動性の高まり、科学技術の高度化・複雑化、研究開発コストの高騰等を背景として、様々な分野でオープンイノベーションが推進されている。世界のトップ企業は、世界中の企業・大学等が産み出す先端的な知識・技術を吸収し、それらを量産用に統合することでビジネスを大きく拡大させている。また、これとは逆に、自社の経営資源を積極的に外部に提供し、他社のイノベーションを促進することで、自社技術が市場に辿り付く最短ルートを切り開き、ビジネスの成功に結び付けている企業も数多く存在している。

このようなビジネス形態の変化と我が国の蓄電池産業の現状を照らし合わせて考えると、これまで国内の蓄電池開発が基本としてきたクローズドイノベーション、すなわち、自前主義的な開発スタイルには限界が近づいていると考えられる。そのため、技術的な難易度が高く、開発リスクが存在する全固体 LIB の研究開発、とりわけ共通基盤技術の研究開発は、研究開発の効率やスピードの観点からオープンイノベーションの枠組みで推進することが望ましいと NEDO は考えており、この考えに則って本事業を推進している。

図 4.3.1-1 に示すように、本事業においては、自動車・蓄電池・材料メーカー 23 社が競合・売買関係等の垣根を取り払い、協調して研究開発に取り組んでいる。集中研究拠点である LIBTEC においては、企業各社からの出向研究員によってニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られている。また、LIBTEC がハブとなって国内の大学・研究機関を研究ネットワークに取り込み、課題・ニーズを共有しながら課題解決型の研究開発を進めることにより、学術成果の産業技術としての引き上げを実現している。さらに、各研究チームの内外で、大学・研究機関相互及び異分野の研究者相互の連携・協力も実現している。

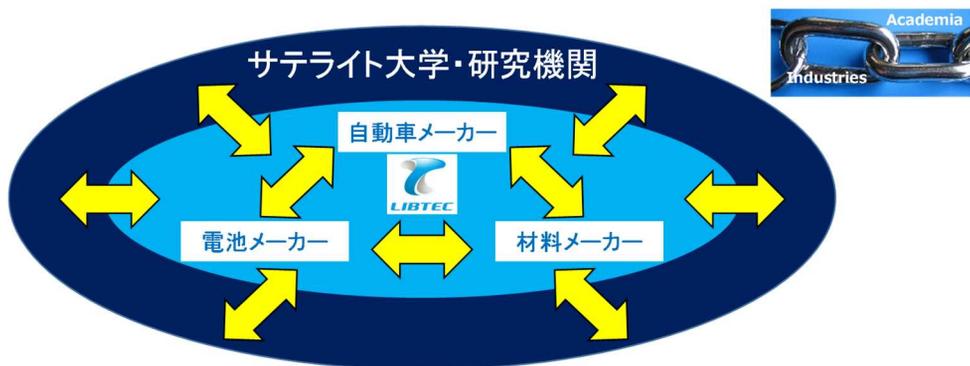


図 4.3.1-1 本事業におけるオープンイノベーションの取組

4.3.2 人材育成

本事業では、「科学者(アカデミア)とエンジニア(産業界)の交流」及び「蓄電池研究者と電池設計・プロセス技術者の交流」を実現している。その結果として、科学者は研究と社会(産業)との繋がり・結び付き、企業のコスト意識や時間感覚等を体感し、一方、エンジニアは大学・研究機関が保有するサイエンスに立脚した研究を体感している。また、産学両方のフィールドで、「サイエンスを理解した電池設計・プロセス技術者」及び「電池設計・プロセス技術を理解した蓄電池研究者」が育成される。

特に、過去の NEDO 事業に関与した LIBTEC への出向研究員は電池技術者として大きく成長し、出向元復帰後は第一人者として自社の蓄電池開発を牽引しており、本事業においても同様の効果が生まれるものが期待できる。

4.3.3 全固体 LIB の他用途への展開

全固体 LIB は EV・PHEV 用途だけでなく、電動バイク、無人搬送車、フォークリフト、ロボットといった他の動力分野用途にも応用できる。さらには、住宅設置、需要家設置、系統設置等の電力貯蔵システム用途でも応用できる。本事業に参加している企業は EV・PHEV 用以外でもビジネスを展開しており、本事業の成果は様々な分野の世界市場に展開することができる。

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)」基本計画

次世代電池・水素部

1. 研究開発の目的・目標・内容

1.1 研究開発の目的

(1) 政策的な重要性

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つつあり、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の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。そのため、以下に示すように、我が国においては様々な政策で蓄電池の技術開発の必要性・重要性が謳われている。

○「エネルギー基本計画」(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。

○「科学技術イノベーション総合戦略2014」(2014年6月閣議決定)

電気エネルギーを有効に貯蔵する次世代蓄電池の実装化が重点取組として取り上げられ、研究開発を推進するとしている。

○「自動車産業戦略2014」(2014年11月、経済産業省)

2030年の新車販売のうち、電気自動車(EV)・プラグインハイブリッド自動車(PHEV)の割合を政府目標として20~30%とすることを目指すとしている。また、この普及促進に向け、技術開発の効率化とより高度な摺り合わせを実現するために産産・産学で協調して研究開発を進める重点分野の一つとして蓄電池が選定されている。

○「未来投資戦略2017」(2017年6月閣議決定)

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(世界市場の5割程度)を獲得することを目指すとしている。また、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・実用化を加速するとしている。

(2) 産業・市場の動向

a. 蓄電池の産業・市場の動向

2016年の蓄電池の世界市場規模は約7.9兆円である。今後、民生用、車載用、電力貯蔵用等の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。

民生用の小型リチウムイオン電池については、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2016年における国内蓄電池メ

メーカーの世界シェアは 20%程度まで落ち込み、中韓蓄電池メーカーの後塵を拝している。

一方、車載用蓄電池については、蓄電池自体の性能、安全性、耐久性の確保に高い技術水準が求められることに加え、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。2016 年の世界市場規模は約 1.4 兆円であるが、国内蓄電池メーカーの世界シェアはリチウムイオン電池で約 50%、ニッケル水素電池でほぼ 100%を確保している。しかしながら、車載用蓄電池の世界市場規模は、2025 年には 6.6 兆円になるとの報告も出ているように、今後、各国の自動車燃費規制・CO₂ 排出規制の強化により急拡大することから、韓国蓄電池メーカーはアグレッシブな営業展開により、欧米の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 の市場が爆発的な成長を見せているが、中国国内で販売された EV・PHEV のほぼ 100%が国産のリチウムイオン電池を採用しており、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、欧米自動車メーカーによる中国製蓄電池の採用の動きは目立っていないが、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、車載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。

b. 蓄電池材料の産業・市場の動向

2016 年におけるリチウムイオン電池材料の世界市場規模(正極・負極活物質、電解液、セパレータ、バインダー、外装の合算)は約 1.1 兆円である。世界シェアのトップは中国の約 50%(約 5,400 億円)であり、日本は約 30%(約 3,100 億円)で第 2 位である。民生用セルの大型化・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、多くの材料メーカーが過剰な設備投資に動いていることや、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。

一方、車載用に限定すると、高品質品をリーズナブルな価格で提供する国内材料メーカーが一時期高い市場シェアを獲得していた。しかし、近年の中国における EV・PHEV の販売拡大により、2016 年のシェア(生産量ベース)はセパレータが約 40%で首位であるものの、正極・負極活物質、電解液はいずれも 20~30%程度であり、中国に次ぐ第 2 位となっている。

(3) 技術開発の方向性

上記(2)で述べた産業・市場の動向は、有機液体電解質を使用したリチウムイオン電池(以下「液系 LIB」という。)に関するものである。液系 LIB については、今後、個々の企業(自動車・電機・蓄電池・材料メーカー等)が自社の事業戦略に基づき、自社製品のカスタマイズを目的とした研究開発が中心となっていく技術領域である。これに対して、無機固体電解質を

使用したリチウムイオン電池(以下「全固体 LIB」という。)については、産学官が連携・協調して研究開発に取り組むべき技術である。

全固体 LIB は、固体電解質の電気化学安定性が液系 LIB の有機電解液よりも格段に高く、高電位の電極活物質を適用してセルの高エネルギー密度化が図れる。また、難燃性・耐高温性もあるため、車載用蓄電池であれば電池パックの安全部品の点数を大幅に削減しての低コスト化・コンパクト化も可能である。しかしながら、全固体 LIB は技術難易度が高く、高イオン伝導性を有した電解質の合成技術や、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、国内企業が実用化障壁として直面している本質的な技術課題を解決するには、アカデミアの科学的知見も取り入れた研究開発が必要である。同時に、液系 LIB と構造が異なる全固体 LIB の量産プロセスには未知な部分が多く、ものづくり企業の創意工夫も開発初期から積極的に取り入れることが必要である。

全固体 LIB の特許出願件数は日本が圧倒的に多く(全体の約 50%)、研究開発で他国を大きくリードしている。しかしながら、他国も日本をキャッチアップするための研究開発を精力的に推進しており、例えば米国ではエネルギー省(DOE)の自動車技術局(VTO)が所管する車載用電池の技術開発プロジェクトにおいて全固体 LIB の研究開発テーマが多数存在し、DOE のエネルギー先端研究計画局(ARPA-E)も全固体 LIB を対象とした研究開発プロジェクト「IONICS」を 2016 年に開始している。また、韓国でも韓国エネルギー技術評価院(KETEP)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」において全固体 LIB がコア技術として掲げられ、政府予算による研究開発が大学・研究機関で行われている。さらに、中国でも、第 13 次 5 ヶ年計画(2016 年～2020 年)の指針に基づいた「国家重点研究開発計画」の中で全固体 LIB が重点プログラムの一つに含まれており、今後、研究開発を開始する計画があると言われている。

(4) 本事業のねらい

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第 2 期)」(以下「本事業」という。)においては、コストパフォーマンスに秀でた全固体 LIB 及びそれを搭載した EV・PHEV の市場投入により、世界全体の環境・エネルギー問題に貢献するとともに、我が国の産業競争力を維持・向上することをねらいとして、国内企業(自動車・蓄電池・材料メーカー等)が幅広く協調・連携するとともに、大学・研究機関の公的研究成果や科学的知見も活用する体制を構築して、産業界の共通指標として機能する全固体 LIB の材料評価技術を中心とした共通基盤技術を開発する。

また、本事業の成果を産業界の競争力として結実させるためのビジネスと一体となった国際標準化戦略の策定、国際規格化を想定した安全性・耐久性試験評価法の開発、国内外の政策・市場・研究開発動向の調査・分析に基づいた社会システムのシナリオ・デザインの検討等を行う。

なお、本事業は、日本の将来の糧となるイノベーションを創出し、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・公的研究機関が参加して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」(2013 年 8 月、経済産業省)に基づき実施する。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、本事業の連携先として、文部科学省・科学技術振興機構（JST）の「戦略的創造研究推進事業／先端的低炭素化技術開発(ALCA)／次世代蓄電池研究加速プロジェクト（SPRING）」が選定されている。この連携における本事業の役割は、最低限のスクリーニングを受けた SPRING の研究開発成果を受け取り、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。

1.2 研究開発の目標

(1) 本事業の第1期の取組について

a. 取組の概要

本事業の第1期(2013～2017年度)では、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・蓄電池メーカーとのハイレベルな摺り合せを実現するために、委託先の「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」(略称:LIBTEC、国内材料メーカー16社及び産業技術総合研究所が組合員として参加)において、先進 LIB(有機電解液を使用)及び全固体 LIB(硫化物系固体電解質を使用)を対象に、我が国産業界の共通指標として機能する材料評価技術の開発を進めた。

プロジェクトリーダーは LIBTEC の吉村秀明専務理事である。また、評価技術に自動車メーカーや蓄電池メーカーの知見・意見も取り入れ、ユーザーにとっても有用性のある評価技術として仕上げるため、パナソニック、マクセル、トヨタ自動車、日産自動車及び本田技術研究所が連携研究機関として参画した。

また、前記したように、文部科学省・JSTの「ALCA／次世代蓄電池研究加速プロジェクト」と連携し、同プロジェクトに参画する大学等が開発した全固体 LIB の新規材料・技術について、実施可能なところから試作・評価を行い、工業的な価値を確認した。

b. 研究開発内容と成果

先進 LIB については、高電位正極、高容量正極、高容量負極及び難燃性電解液の4種の材料を基軸とした標準電池モデル(1Ah 級ラミネートセル)を開発し、その作製仕様書及び性能評価手順書を策定した。また、これらの成果を用いて、LIBTEC 組合員企業が開発した新材料サンプルを受け入れ、360件以上(2017年度末見込み)の電池試作・評価を行い、耐久性、安全性や量産プロセスへの適用性等を評価し、評価結果をサンプル提供者にフィードバックした。

一方、全固体 LIB については、基軸材料となる硫化物系固体電解質、電極活物質の特性評価に適用する圧粉成形タイプの標準電池モデル(2mAh 級コインセル)、セル特性の評価に適用するシート成形タイプの標準電池モデル(200mAh 級ラミネートセル)を開発し、これら標準電池モデルの作製仕様書及び性能評価手順書を策定した。また、高容量の有機硫黄系正極活物質の適用可能性の検討や全固体 LIB 特有の電気化学特性、劣化メカニズム、安全性の解析評価手法を開発した。さらに、先進 LIB と同様に、LIBTEC 組合員企業や JST の「ALCA／次世代蓄電池研究開発プロジェクト」が開発した新材料・シート化技術を受け入れ、25件以上(2017年度末見込み)の電池試作・評価を行い、評価結果をサンプル提供者にフィードバックした。

(2) アウトプット目標

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」

【中間目標】(2020 年度末)

- 1) 第 1 世代全固体 LIB^{注1)}の大型化・量産化に必須となる固体電解質の量産、電極設計、電極活物質粒子への電解質コーティング、合剤電極の塗工及び電極厚膜化・大面積化等の要素技術を開発する。
- 2) 第 1 世代全固体 LIB に用いられる新材料について性能、耐久性、安全性・信頼性を大型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 3) 量産プロセスをモデル的に再現した標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 4) 次世代全固体 LIB^{注2)}として、第 1 世代全固体 LIB からの飛躍的な性能向上を実現する高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等の候補材料を選定する。
- 5) 次世代全固体 LIB でユーザー訴求力を有した EV・PHEV 用の電池パック^{注3)}を実現するための外装パッケージ構造及びセル積層構造の候補を抽出する。
- 6) イオン濃度・輸送の理論モデルに基づいて、セルの不安定化・劣化、熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。また、車両走行パターンにおける電池モジュール・パックの充放電・熱的挙動を予測するシミュレーション技術を開発する。
- 7) 将来の国際規格・基準への反映を想定した全固体 LIB の試験評価法としての試験項目をリストアップし、試験条件・方法・クライテリア等を明確化する。

【最終目標】(2022 年度末)

- 1) 第 1 世代全固体 LIB の標準電池モデルを用いた材料評価技術について、産業界における新材料開発の進展に対応した見直しを行い、性能、耐久性及び安全性・信頼性に加えて、量産への適合性も評価可能な技術として仕上げる。
- 2) 高性能固体電解質や高電位・高容量電極活物質等を次世代全固体 LIB に適用するための電解質-電極活物質の界面形成技術を開発するとともに、合剤電極での配合比や電極構造の最適化を行う。
- 3) 次世代全固体 LIB に適用する外装パッケージ構造及びセル積層構造のコンセプトを策定する。
- 4) 次世代全固体 LIB に用いられる新材料について性能、耐久性及び安全性・信頼性を小型の標準電池モデルで評価する技術を開発する。
- 5) 次世代全固体 LIB の標準電池モデルの作製設備を設計・製作し、標準電池モデルを性能バラツキが無く、安定的に作製可能であることを検証する。
- 6) 国際規格・基準への反映を想定した全固体 LIB の試験評価法の原案を策定する。
- 7) 全固体 LIB の耐久性試験データや劣化メカニズム解析、劣化現象解明の結果に基づき、全固体 LIB の劣化・不安定化要因マップを策定する。また、長期耐久性を短期間で予測可能な劣化加速試験法を開発する。
- 8) 全固体 LIB 及び全固体 LIB を搭載した EV・PHEV の国際標準化戦略・方針を策定する。

注1) 第1世代全固体 LIB は、図-1 に示すように、研究開発が先行している硫化物系の固体電解質を適用し、2020 年代後半より車載用蓄電池の市場において主流となることを想定する。

注2) 次世代全固体 LIB は、図-1 に示すように、高イオン伝導性の硫化物系固体電解質又は化学的安定性の高い酸化物系固体電解質を適用し、2030 年代前半より車載用蓄電池の市場において主流となることを想定する。

注3) ユーザー訴求力を有した EV・PHEV 用の電池パックの目標仕様は、本事業を具体化する過程において、国内の専門家・研究者との意見交換を行って検討を深め、液系 LIB とは明確に差別化できるものを設定するものとする。なお、参考として、現時点で想定している目標仕様の例を表-1 に示す。

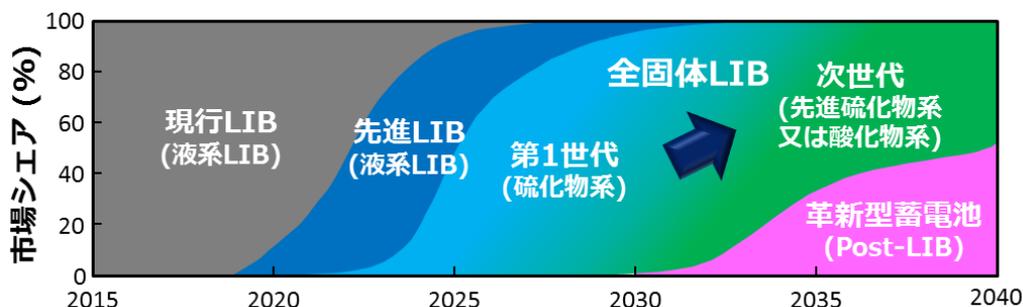


図-1 車載用蓄電池の技術シフトの想定

表-1 全固体 LIB を適用した EV・PHEV 及び電池パックの実用化目標仕様の例

普及時期	2025 年普及モデル		2030 年普及モデル	
蓄電池種別 (電解質のタイプ)	第1世代全固体 LIB (硫化物系) 正極: 3 元素等 負極: 炭素系等		次世代全固体 LIB (高イオン伝導性硫化物系 又は 酸化物系)	
車両種別	EV	PHEV	EV	PHEV
電動走行距離	400km	200km	480km	240km
車両価格	200~220 万円		180~200 万円	
電池パック容量	40kWh	20kWh	40kWh	20kWh
電池パックコスト	60 万円	30 万円	40 万円	20 万円
電池パック容量コスト	1.5 万円/kWh		1 万円/kWh	
電池パック重量	133kg	67kg	100kg	50kg
電池パック重量エネルギー密度	300Wh/kg		400Wh/kg	
電池パック体積	67L	33L	50L	25L
電池パック体積エネルギー密度	600Wh/L		800Wh/L	
電池パック重量出力密度	2,000W/kg		2,500W/kg	
電池パックカレンダー寿命	10 年		15 年	
電池パックサイクル寿命	1,500 回		2,000 回	
車両環境温度	-30~60℃		-30~60℃	
電池パック安全性	ガソリン車と同等の 安全性確保が可能		ガソリン車と同等の 安全性確保が可能	
電池パック充電時間(普通充電)	6 時間	3 時間	6 時間	3 時間
電池パック充電時間(急速充電)	20 分	10 分	20 分	10 分

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」

【中間目標】(2020 年度末)

国内外の政策・市場・研究開発動向等の調査・分析結果に基づき、エネルギー・資源、リユース・リサイクル産業、充電インフラ等も視野に入れた全固体 LIB 及び EV・PHEV を取り巻く社会システムの将来像を提示する。

【最終目標】(2022 年度末)

本事業の成果を産業競争力として結実させるための社会システムのシナリオ・デザインをとりまとめる。

(3) アウトカム目標

a. 経済効果

本事業の成果に基づく全固体 LIB が国内自動車メーカー生産の EV・PHEV に搭載され、「自動車産業戦略 2014」で目標として設定されている 2030 年の新車販売台数に占める EV・PHEV の割合 30%が実現すると、直近 10 年間での年間平均の国内乗用車生産台数の約 830 万台を当て嵌めれば、2030 年の国内 EV・PHEV 生産台数は約 250 万台/年となる。また、この販売割合を国内自動車メーカーの海外生産台数約 1,900 万台(2016 年実績)に当て嵌めると、海外での EV・PHEV 生産台数は約 570 万台/年となる。この生産台数に、前記の表-1 に示した 2030 年の EV・PHEV 販売価格 200 万円を乗じて求められる経済効果は、国内生産分で約 5 兆円/年、海外生産分で約 11 兆円/年となる。

上記した EV・PHEV 生産台数に対応する電池パックの生産容量は、EV・PHEV の生産比率を 1:1、電池パック容量を EV で 40kWh、PHEV で 20kWh とすると、国内生産分で約 75GWh/年、海外生産分で約 171GWh/年となる。これら電池パックの生産容量と前記の表-1 に示した電池パックコスト 1 万円/kWh を乗じて求められる経済効果は、国内生産 EV・PHEV 用で約 0.8 兆円/年、海外生産 EV・PHEV 用で約 1.7 兆円/年となる。なお、電池パックについては、技術のキャッチアップに留意した適切なタイミングで海外のグローバル自動車メーカーに対しても供給していく展開も考えられ、更なる経済効果の上積みも期待できる。

b. CO₂削減効果

高エネルギー密度の全固体 LIB が実用化されることにより、EV・PHEV の電動走行距離が伸長し、ガソリン車と同等の 1 万 km レベルの年間走行距離で使用されれば、1 台あたり約 1.3 トン/年の CO₂ 排出量の削減効果がある^{注4)}。2016 年における国内の四輪車保有台数は約 7,800 万台、うち乗用車保有台数は約 6,100 万台であり、この 30%が EV・PHEV になれば、日本全体で約 2,400 万トン/年という大きな CO₂ 排出量の削減効果が得られる。また、国内自動車メーカーは年間約 410 万台の輸出と年間約 1,900 万台の海外生産を行っており、世界全体の CO₂ 排出量の削減にも大きく貢献する。さらに、経済効果と同様に、他タイプの電動車両や他用途・市場への応用展開により、社会全体の CO₂ 排出量の低減に貢献する。

注4) 市販ガソリン車の燃費カタログ値、市販 EV・PHEV の電費カタログ値、電力の CO₂ 排出係数 2015 年度実績値等に基づいて NEDO で試算。

c. 波及効果

本事業の実施を通じて幅広い知・人材の交流が図られることにより、基礎研究や人材育成に係る産学パートナーシップが拡大し、我が国におけるオープンイノベーションが加速される。加えて、蓄電池の技術は、化学、電気化学、材料(無機・有機材料)、電気、機械等、広範囲で高度な設計技術の裾野を必要とし、かつ高度な製造技術も必要となるが、本事業の実施を通じて、技術立国日本を担う若手工学技術者の育成を促進できる。

(4) アウトカム目標達成に向けた取り組み

a. 開発技術の国内産業界・学会への浸透・定着

本事業で策定する全固体 LIB の実用化ロードマップ、開発目標性能・仕様、電極・セルの基本構造等は、本事業に参加する企業には勿論のこと、本事業に参加しない企業にも開示することにより、国内産業界全体でベクトルとスピード感を合わせ、日本の技術力を結集しての研究開発を促進するものとする。また、本事業で明確となる材料・部品の要求仕様、その要求仕様に適う新材料・部品を研究開発するに当たっての一次スクリーニング機能を有した評価方法等は、本事業の実施期間中及び終了後、国内産業界・アカデミアに対して公表し、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業及び研究開発の裾野を広げるものとする。さらに、本事業で構築するセルの試作・評価基盤や材料の計測・分析基盤等も、本事業の終了後、国内産業界・アカデミアが広く利活用できるようにする。

b. 国際標準化への対応

全固体 LIB 及びそれを搭載する EV・PHEV の市場投入と普及のためには性能、品質、安全性、形状及び互換性等の統一的なルールとなる国際規格の整備が必要となってくる。また、近年は様々な産業分野で技術革新のスピードが増す中、海外企業はブラックボックス化とオープン化を組み合わせた標準化戦略の仕掛けで競争優位を發揮している。そのため、本事業の成果を活用して製品化される全固体 LIB 及びアプリケーションが持つ高い信頼性・耐久性の価値を客観的に浮かび上がらせ、ユーザーに高い訴求力を示すことで海外製品との差別化を図ることができるよう、本事業においては、研究開発と並行して、関連する国際規格の国内審議団体、業界団体及び企業の標準化関係者とも情報・意見交換等を積極的に行い、ビジネスと一体となった国際標準化の戦略を検討するとともに、国際規格への反映を目指した試験評価法の開発及びその裏付けデータの取得に取り組む。

1.3 研究開発の内容

【委託事業】

「研究開発項目① 共通基盤技術開発」

産業界における全固体 LIB の実用化開発への進展を見据え、産学が幅広く連携・協調し、下記(1)～(3)の研究開発を一体的に進める。

(1) 第1世代全固体 LIB の共通基盤技術

a. 要素技術開発

第1世代全固体 LIB 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要素技術を開発する。

- ・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

b. 材料特性評価技術の開発

第1世代全固体 LIB 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、技術的課題及びセル量産プロセスへの適合性等を把握するための標準電池モデルとその作製仕様書及び性能評価手順書を策定する。

また、企業や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。同時に、評価結果を分析して、実用化課題や改良の方向性をサンプル提供者にフィードバックする。

(2) 次世代全固体 LIB の共通基盤技術

a. 要素技術開発

次世代全固体 LIB として、第1世代全固体 LIB からの性能向上や低コスト化を実現するための要素技術を開発する。

- ・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
- ・専用構造等

b. 材料特性評価技術の開発

次世代全固体 LIB 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、技術的課題及びセル量産プロセスへの適合性等を把握するための標準電池モデルとその作製仕様書及び性能評価手順書を策定する。

また、企業や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。同時に、評価結果を分析して、実用化課題や改良の方向性をサンプル提供者にフィードバックする。

(3) 数値解析・試験評価法等

a. シミュレーション技術の開発

全固体 LIB 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。

b. 国際標準化に向けた試験評価法の開発

国際規格・基準への反映を視野に入れた全固体 LIB の安全性・耐久性試験法を開発する。また、全固体 LIB 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。

また、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 LIB の国際標準化戦略を策定する。

なお、上記(1)～(3)の研究は、NEDO の既存事業である「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発（平成 28～32 年度事業）」とも連携し、開発している量子ビームライン技術等の高度解析技術を活用する。

「研究開発項目② 社会システムデザインの検討」

全固体 LIB 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、「研究開発項目① 共通基盤技術開発」と連携して研究開発を進める。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が、具体的な研究テーマと内容については、提案者が公募時に提案し、採択決定後に NEDO と協議の上、実施計画書において定める。

2. 研究開発の実施方式

2.1 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー(PM)に NEDO 次世代電池・水素部 細井 敬 統括研究員・蓄電技術開発室長を任命して、プロジェクトの進行全体の企画・管理を行い、本事業に求められる技術的成果及び政策的効果の最大化を図るものとする。

なお、研究開発実施者は、企業や大学・研究機関等(以下「団体」という。)のうち、原則として、日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するとともに、集中研究拠点を設置し、研究開発の連携体制や知的財産のマネジメント体制を構築するものとする。ただし、国外の団体の特別な研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な部分は、当該の研究開発等に限り、国外の団体と連携して実施することができるものとする。

また、NEDO は、研究開発実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、研究開発の実施主体の中からプロジェクトリーダー(PL)及びサブプロジェクトリーダー(サブ PL)を選定する。PL 及びサブ PL は PM との明確な役割分担に基づき、研究開発を推進する。

2. 2 研究開発の運営管理

PM は PL、サブ PL 及び研究開発実施者との密接な連携を維持しつつ、本事業全体を運営管理する。また、本事業に求められる技術的成果及び政策的効果の最大化を図るものとする。

(1) 進捗管理

PM は、本事業の実施期間中、国内外の関連技術動向を把握するとともに、事業全体の進捗を把握・管理する。

(2) 知的財産マネジメント

PM、PL 及びサブ PL は、オープン&クローズ戦略としての成果の秘匿化と海外も含めた権利化・国際標準化等を適切に組み合わせて、産業競争力の維持・向上に繋げる知的財産マネジメントを実施する。

また、PM は、本事業の成果の円滑な権利化及びその実用化・事業化を図るため、研究開発実施者間の知的財産権の調整を主導する。

(3) 研究開発資産等の利活用のルール作り

PM、PL 及びサブ PL は、事業の実施期間中及び事業終了後において、本事業で技術及びそれが組み込まれた機械装置等を有効に利活用するための運用体制、運用形態・方法等に関する枠組み・ルール作りを主導する。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 30 年度から平成 34 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

4. 1 中間評価等

産業界、学術界等の外部の専門家・有識者を活用し、数値化された指標を用いて中間評価を平成 32 年度に実施する。中間評価の実施に当たっては、技術開発の進捗状況に加え、プロジェクト・マネジメントの適切性について、より重点を置きつつ、中間目標達成度を把握するとともに、社会経済情勢等を踏まえた上で、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていく。

4. 2 事後評価

産業界、学術界等の外部の専門家・有識者を活用し、数値化された指標を用いて、技術的成果、実用化の見通し、マネジメント等を評価項目とした事後評価を平成 35 年度に実施する。

5. その他の重要事項

5. 1 研究開発成果の取り扱い

(1) 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

(2) 知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、開発当初から事業化を見据えた知財戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。

(3) 知財マネジメントに係る運用

本事業は、「NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」を適用する。

5. 2 基本計画の変更

NEDO は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、本事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

5. 3 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号二及び九号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

平成 30 年 1 月 制定

平成 29 年度事前評価結果

研究評価委員会において平成 30 年度NEDO新規案件の事前評価を実施しました。結果は以下の通りです。

当該評価結果は、今後基本計画等に反映してまいります。

平成 29 年 9 月
平成 29 年 12 月更新

案件名	新産業創出に向けた新技術先導研究プログラム
推進部署	イノベーション推進部
総合コメント	<p>民間の研究開発が短期的な成果重視になりがちなのに対して、画期的な「技術の原石」を探し出し、磨き上げていく本制度は、今こそ必要なものであり、NEDO として実施する意義は高い。ただし、アウトプット目標やアウトカム目標は、先導研究実施件数や国家プロジェクトに繋げた先導研究件数にとどまらず、その効果の内容まで踏み込んだ目標を期待したい。制度の枠組みとして、短期間の先導研究では、人材を含めた研究資源の確保や企業側の事業性評価を取り入れたビジネスプランへのパス検証が困難になるなど、研究組織としてのリスクがあるため、実施期間延長を可能とする柔軟な実施体制が望まれる。また、技術課題の広範な設定、あるいは、設定にとらわれない提案の可能性等を検討すべきである。研究開発推進委員会を設置して研究の進捗状況を管理することは評価できるが、目標達成の成否の議論だけでなく、事業化に向けての研究助言も与えられる委員会になることが望ましい。先導研究の成果が真に有用でかつ収益力のある技術や製品に成長するためには、各テーマの技術開発だけではなく、それらの有効な連携・統合を評価し、加速の判断が出来る仕組みも検討すべきである。また、各テーマ終了後の継続的な投資として、ベンチャーキャピタル等に接続していくための有効な仕組み作りを期待する。</p>

案件名	次世代人工知能・ロボットの中核となるインテグレート技術開発事業
推進部署	ロボット・AI 部
総合コメント	<p>AI 及びロボットは今後の産業の中核要素技術の一つであるが、特に AI 分野の開発や応用で出遅れている我が国の状況を考えれば、これらの技術の融合を積極的に推進する意義は極めて高い。本提案が、プラットフォーム化のための技術開発と啓蒙教育、及びユーザーや専門家を含めた現場の実証を行う実践的な内容となっていることは評価できる。</p> <p>ただし、国際的な競争が特に激しいこれらの分野での差別化、ポジショニング及び優位性確保のための戦略を明確にすることが求められる。そのためにはベンチマーキングを実施し、強み・弱み分析等から課題設定の妥</p>

	<p>当性を十分に詰めておくべきである。また、目標や実施計画が機動的に変更できる柔軟なマネジメントの方策を、具体的に検討する必要がある。</p> <p>研究開発内容とアウトプット目標に関して、より具体的な記述が求められるが、先行プロジェクト等で実施する AI モジュール開発を考慮して、早急に社会実装のターゲットテーマを具体化すべきである。また、ソフトとハードの開発だけでなく、コンテンツ作成に有効なシステム開発が必要である。加えて、独創的な研究成果を事業化に結びつける橋渡し人材の育成も重要である。さらに、NEDO 内外のプロジェクトとの連携や、民間資金をうまく活用できるコンソーシアム形成の検討を期待したい。</p> <p>アウトカム目標として、CO₂ 排出削減と市場獲得だけでなく、生産性向上や国民生活の利便性と安心・健康について設定することが求められる。また、新市場創出効果は、生産性の向上による既存事業の効率化と、新規サービス市場の創出を区別して検討するとよい。</p> <p>既に AI の社会活用は想定範囲内にあり、非連続ナショナルプロジェクトに選定すべきかは再考を要する。</p>
--	---

案件名	高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業 ※
推進部署	IoT 推進部
総合コメント	<p>半導体及びコンピューティング分野で、世界における我が国のプレゼンスが低下している中、それを覆す可能性を持ったプロジェクトであり、着実に推進すべきである。ハードウェア、ソフトウェア、応用を一体で開発することにより、具体的な社会課題解決に繋がることを期待したい。日本の産業の真の復活を目指す戦略的提案に繋げるべく、国内外の先端研究プロジェクトの動向と成果を精査し、研究開発シーズの現状把握と強み・弱みの分析をしっかりと行った上で、研究開発項目のより具体的な選定と、それらの有機的な連携を実現するシナリオを策定する必要がある。</p> <p>このような非連続的イノベーションを目指す研究では、単純な数値目標や年次線表で道筋を示すような進捗管理ではなく、リーダーの権限を強化し、機動性・融通性を重視した、スピード感のあるプロジェクトマネジメントが重要である。また、人材の発掘・育成・活用が成功の鍵であり、産学連携や中小ベンチャー企業支援を通じて、それらを柔軟に行える体制づくりをするべきである。</p>

案件名	AI チップ開発加速のためのイノベーション推進事業 ※
推進部署	IoT 推進部
総合コメント	<p>半導体及びコンピューティング分野で、世界における我が国のプレゼンスが低下している中、それを覆す可能性を持ったプロジェクトであり、着実に推進すべきである。ハードウェア、ソフトウェア、応用を一体で開発することにより、具体的な社会課題解決に繋がることを期待したい。日本の産業の真の復活を目指す戦略的提案に繋げるべく、国内外の先端研究プロジェクトの動向と成果を精査し、研究開発シーズの現状把握と強み・弱みの分析をしっかりと行った上で、研究開発項目のより具体的な選定と、それらの有機的な連携を実現するシナリオを策定する必要がある。</p> <p>このような非連続的イノベーションを目指す研究では、単純な数値目標や年次線表で道筋を示すような進捗管理ではなく、リーダーの権限を強化し、機動性・融通性を重視した、スピード感のあるプロジェクトマネジメントが重要である。また、人材の発掘・育成・活用が成功の鍵であり、産学連携や中小ベンチャー企業支援を通じて、それらを柔軟に行える体制づくりをするべきである。</p>

※「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発事業」及び「AI チップ開発加速のためのイノベーション推進事業」については、事前評価当時は一事業であったため、同一の評価結果を記載しています。

案件名	省エネ製品開発の加速化に向けた複合計測分析システム研究開発事業
推進部署	材料・ナノテクノロジー部
総合コメント	<p>計測分析機器の技術開発及び社会実装は、科学技術に基づく社会の発展及び産業競争力向上に不可欠であり、推進する意義は大きい。幅広い活用シーンを想定した研究開発内容となっているが、日本の高い技術ポテンシャルを活かせる領域に絞り込み、現実にシェアを獲得できる、具体的なアウトプット目標を設定すること。計測機器の改善が産業界全体の高度化に繋がるためには、ユーザ側を広く巻き込み、活用方法や汎用性について検討を進める必要がある。また、他省でも実施されている計測分析機器に関する研究開発と情報・成果を共有し、位置付けを明確化した上で、NEDOは個別のシーズ開発を超えたシステム及びプラットフォーム構築を進めるべきである。</p>

案件名	超高压水素技術等を活用した低コスト水素供給インフラ構築に向けた研究開発事業
推進部署	新エネルギー部
総合コメント	<p>水素・燃料電池戦略において、水素ステーションの設置にかかわるコスト削減に寄与する研究開発は必須であり、インフラ整備として国が推進すべき開発である。また技術開発とそれによる規制改革を目指すことは妥当である。</p> <p>研究開発内容では、インフラ整備・運営コストの大幅な引き下げを可能とする具体的な要素技術とその構成方法を明示すること。また、FCV 利用者の増加等、水素ステーションの運営を民間主体で持続させられるような水素利用普及の具体的なアウトカム指標を設定することが望ましい。さらに、自動車以外への応用も視野に入れた取組を期待する。</p>

案件名	海洋エネルギー発電技術の早期実用化に向けた研究開発事業
推進部署	新エネルギー部
総合コメント	<p>離島用電源として海洋エネルギー発電の実用化・高効率化を目指すことは、我が国の将来のエネルギー施策において極めて重要である。その目的での開発課題を明確化した上で、これまで実施してきたプロジェクトの成果及び活用法を整理し、本プロジェクトの開発要素をより具体的に示すこと。また、発電方式はプロジェクトの中で適宜適切な選択や複合を図ることが望まれる。さらに、メンテナンス(耐久性や保守性など)の評価方法についても詳細に検討すべきである。プロジェクトのアウトカム達成までに時間を要することは理解できるが、課題解決の道筋をより具体化することで、早期の実用化を期待したい。</p>

案件名	省エネ型電子デバイス材料の評価技術の開発事業
推進部署	スマートコミュニティ部
総合コメント	<p>材料要素技術から評価技術・シミュレーション・標準化までを包含した研究開発であり、実用化に向けて必要な技術開発項目がよく検討されている。アウトカムとして、経済性に加えて様々な産業分野への波及、日本の産業競争力の強化を期待したい。プロジェクトの重要なアウトプットとして、技術側面だけではなく、応用先の拡大を加味した社会実装へのシナリオを描くことが望まれる。</p> <p>なお、リチウムイオン二次電池は産業内で競争的に開発が進んでいる技術であるため、民間による独自のオープンイノベーションを阻害しないプロジェクト管理をすべきである。チーム間の相乗効果、ユーザーとの連携効果が十分発揮できるよう、機動的な体制の構築及び運営が望まれる。研究</p>

	開発内容については、第 1 期の研究成果をきちんとレビューした上で、国際競争力の強化とシェアの拡大を実現していくための本質的課題を明確にし、それを加速する評価技術の確立を行うべきである。
--	---

案件名	省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発
推進部署	環境部
総合コメント	<p>本プロジェクトで取り上げる高効率低 GWP 冷媒は、過去の NEDO の開発成果に基づく優れた技術シーズであり、それを活用した次世代空調機器開発の基盤技術として、評価手法の開発及び標準化は、国が世界をリードして取り組むべき課題である。</p> <p>国際標準獲得のロードマップを実効性あるものにするためには、この材料の高い性能と安全性を広く世界に認知させ、支援国を増やすことが鍵であり、その目的を踏まえてアウトプット目標をより具体的に設定する必要がある。また、気体爆発を含む可燃性冷媒の爆発影響評価はハードルの高い課題であるため、専門家を巻き込んで、通常の屋内環境だけでなく作業場での環境も考慮した安全性の検証を慎重に進めること。</p> <p>さらに、世界市場シェア獲得というアウトカム目標達成に至るまでの道筋を明確にするためには、次世代空調機器の事業戦略にまで踏み込んだ検討をするべきである。</p>

案件名	環境調和型製鉄プロセス技術の開発事業(水素還元活用製鉄プロセス技術の開発事業)
推進部署	環境部
総合コメント	<p>温室効果ガス排出削減および日本の産業競争力強化に貢献するプロジェクトである。開発内容、アウトプット目標は具体的に設定されているが、アウトカム目標については、2030 年以降のビジョンも明示するべき。また、CO₂ 分離・貯留については、すでに行われている研究開発との相違を明確にし、独自性のあるアウトプットを明確にすることが望ましい。開発に実効性を持たせるための具体的な戦略を示し、スピード感をもって進めることを期待する。</p> <p>実施に当たっては、フェロコックス活用プロセスと水素還元活用製鉄プロセスは、一体のプロジェクトとして相互に連携すべきである。そのためには、プロジェクト参加企業のシナジー効果を発揮させるために有効なマネジメント体制のほか、知財戦略や知財ルールの運用が重要である。ノウハウも含めて技術的成果の共有を NEDO が中心となって図ることが望ましい。</p>

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第2期）基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成30年2月5日

NEDO

スマートコミュニティ部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
貴重なご意見をいただき、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間
平成30年1月4日～平成30年1月18日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計5件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題 への反映
「1.2 研究開発の目標」について		
<p>[意見1]（5件） 表-1「全固体LIBを適用したEV・PHEV及び電池パックの実用化目標仕様の例」において、3元系正極と炭素系負極の組合せによる第1世代全固体LIB（硫化物系）の電池パック体積エネルギー密度が600Wh/Lと記載されているが、上記の電極材料では実現が難しいと思われる。</p> <p>同様に、電池パックのカレンダー寿命が10年、サイクル寿命が1,500回と記載されているが、航続距離400kmでの電池パックを前提とすると、単純計算では60万kmの走行距離に相当し、日本における平均的な自家用乗用車の年間走行距離は1万kmであることから、目標設定が高過ぎると思われる。</p>	<p>[考え方と対応] 全固体LIBは安全性が高まることで、パッケージや安全確保のための部品や冷却構造等を簡素化できるため、既存の電極材料を用いても電池パックの体積エネルギー密度を大幅に向上できるという報告があります。また、液系LIBの有機電解液に比べて固体電解質は電気化学的及び熱的な安定性が高いため、全固体LIBでは耐久性も大幅に向上できるという報告があります。</p> <p>上記した理由に加え、グローバルな電動車両・蓄電池市場で我が国が圧倒的な競争力を確保するということを想定し、期待を込めて電池パック体積エネルギー密度600Wh/L、サイクル寿命1,500回という高い実用化目標を記載しました。ただし、基本計画（案）では以下のように注記しておりますように、表-1はあくまで目標仕様の例示であり、今後、プロジェクトを進める過程において、国内の専門家・研究者との意見交換を通じて検討を深め、適宜、見直すことに致します。</p> <p><u>注3）ユーザー訴求力を有したEV・PHEV用の電池パックの目標仕様は、本事業を具体化する過程において、国内の専門家・研究者との意見交換を通じて検討を深め、液系LIBとは明確に差別化できるものを設定するものとする。なお、参考として、現時点で想定している目標仕様の例を表-1</u></p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>

に示す。

なお、電池パックのサイクル寿命につきましては、国内学識者・専門家で構成される委員会で策定した「NEDO二次電池技術開発ロードマップ2013」においても1,000～1,500回を目標としており、また、欧米・中国の技術開発プロジェクト等においてもサイクル寿命の目標は1,000～1,500回となっておりますことから、過剰な値ではないと考えます。さらに、実際のEVにおける電池パックはSOCが0%⇔100%の完全充放電で利用されるものではないこと、欧米等で年間走行距離は日本より相当長くなること、加えて今後はV2H (Vehicle to Home) やV2G (Vehicle to Grid) といった新たな利用形態での普及も予想されること等より、日本の自家用乗用車の年間走行距離をベースにサイクル寿命の目標を決めるべきではないと考えます。ただし、このサイクル寿命の設定の考え方につきましても、今後、プロジェクトを進める過程において、国内の専門家・研究者との意見交換等により、明確化することに致します。

特許論文等リスト

表 1 特許出願及び対外発表実績まとめ

	特許出願 (うち外国出願)	論文 (うち査読付き)	研究発表・講演	雑誌等への掲載
件数	4件 (1件)	5件 (5件)	47件	5件
2020年度の 追加予定件数	7件	—	21件	2件

【注記】件数は筆頭者の所属機関でカウント

表 2 NEDO 事業の情報発信実績(査読つき論文)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表機関
2019年 2月19日	Nature Reviews Chemistry, Vol. 3, No.3, 189-198 (2019).	Liquid-phase syntheses of sulfide electrolytes for all-solid-state lithium battery	北海道大学他
2019年 9月15日	Journal of Power Sources	Exothermal mechanisms in the charged $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ electrode layers for sulfide-based all-solid-state lithium batteries	大阪府立大学 京都大学
2019年 10月1日	Journal of Power Sources	Thermal behavior and microstructure of the $\text{Li}_3\text{PS}_4\text{-ZnO}$ composite electrolyte	大阪府立大学 群馬大学
2020年 6月5日	RSC Advances	High ionic conductivity of multivalent cation doped $\text{Li}_6\text{PS}_5\text{Cl}$ solid electrolytes synthesized by mechanical milling	豊橋技術科学 大学
2020年 5月8日	Electrochemistry Communications	Performance of $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ -based Reference Electrode for Electrochemical Analysis of All- solid- state Lithium-ion Batteries	東京工業大学

表 3 NEDO 事業の情報発信実績(研究発表・講演)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表機関
2018年 6月15日	プロジェクト発足の 記者会見	先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (第2期) プロジェクト概要	NEDO
		先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (第2期) プロジェクトの取り組み	LIBTEC
2018年 9月26日	平成30年度 NEDO 次世代電池・水素部 成果報告会	EV用全固体リチウムイオン電池の開発	LIBTEC
		全固体リチウムイオン電池の実用化に 対するアカデミアのチャレンジ	東京工業大学
2018年 10月13日	11 th International Conference on Advance Lithium Batteries for Automotive Applications	NEDO's R&D Strategies of Next- generation Batteries	NEDO
2018年 10月16日	NIMS WEEK 2018 最新成果展示会	“死の谷”を超える電池開発 トヨタ MIRAI や全固体電池で得た知見	LIBTEC

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表機関
2018年 11月27日 ～29日	第59回電池討論会	液相法による形態制御された Li6PS5Clの合成	北海道大学
2019年 1月22日	「電気化学セミナー1」 最先端電池技術-2019	NEDOにおける次世代蓄電池開発	NEDO
2019年 2月14日	熊本県工業連合会 次世代自動車・エネルギー産業部会セミナー	NEDOにおける次世代蓄電池開発	NEDO
		自動車用電池の課題と全固体電池 への期待	LIBTEC
2019年 2月14日	熊本県工業連合会 次世代自動車・エネルギー産業部会セミナー	全固体電池実現にむけた研究の 取り組み	大阪府立大学
		全固体電池の3次元微細構造の X線CT計測	東京工業大学 LIBTEC
2019年 3月27日 ～29日	電気化学会 第86回大会	全固体電池の3次元微細構造の X線CT計測	東京工業大学 LIBTEC
2019年 4月17日	住友グループ水会 大阪水会 第561回例会	自動車用電池の課題と 全固体電池への期待	LIBTEC
2019年 4月19日	第27回バッテリー技術 シンポジウム 全固体電池	SOLiD-EVプロジェクトにおける 全固体電池開発	LIBTEC
2019年 5月29日 ～31日	第56回日本伝熱 シンポジウム	全固体電池の超高压下 X線CT構造解析	東京工業大学 LIBTEC
2019年 6月16日 ～19日	The 22nd International Conference on Solid State Ionics (SSI-22)	Thermal behavior and microstructure of Li3PS4-ZnO composite electrolyte	大阪府立大学 群馬大学
		Anomalous High Ionic Conductivity of Li3-2xCa _x PS4 Glass and Its Derivatives at High Temperature	豊橋技術科学 大学
2019年 7月8日	とよま次世代自動車研 究会 令和元年度 次世 代自動車 第1回技術セ ミナー	NEDOにおける次世代自動車向け 蓄電池開発プロジェクト	NEDO
2019年 7月18日	平成31年度 NEDO 次世代電池・水素部 成果報告会	NEDOの次世代電池開発	NEDO
		SOLiD-EVの全体概要	LIBTEC
		全固体LIBシミュレーションの概要	LIBTEC 東京工業大学
		全固体電池・電池反応の解明	東京工業大学
2019年 8月29日	日産アーク 車載電池 の現実に取り組む解析 技術	LIBTECにおける硫化物系全固体電池 の評価方法開発	LIBTEC
2019年 9月5日	2019年電気化学 秋季大会	X線CT計測に基づく全固体電池内 応力分布解析	東京工業大学 LIBTEC
		リチウムイオン伝導性硫化物系 固体電解質を用いたシリコン溶射膜の 負極材料特性評価	甲南大学
2019年 9月17日	Lithium Battery Discussion 2019	Behavior of lithium cobalt oxide electrodes in two- and three-electrode all -solid-state cells	東京工業大学
2019年 9月25日	2nd World Conference on Solid Electrolytes for Advanced Applications	Interfacial Properties at the Model Interface between Graphite Negative Electrode and Sulfide-based Solid Electrolyte	名古屋大学他
2019年 10月2日	JARI シンポジウム 2019	JARIにおける燃料電池、蓄電池の 耐久性評価技術に関する研究紹介	日本自動車 研究所

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表機関
2019年 10月7日	12 th International Conference on Advance Lithium Batteries for Automotive Applications	NEDO's R&D Strategies of Next-generation Batteries	NEDO
2019年 10月15日	236 th ECS Meeting	X-ray CT Measurement of All Solid State Lithium-ion Battery Under High Pressure Condition	東京工業大学 LIBTEC
2019年 10月29日	The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM13)	Development of self-supporting thin-layer solid electrolyte sheets for all-solid-state rechargeable lithium batteries	大阪産業技術研究所 和泉センター
2019年 10月30日	表面真空学会 学術講演会	硫化物全固体電池動作時における 正極/電解質界面構造変化と電気化学特性	東京工業大学
2019年 11月13日 ～15日	第60回電池討論会 ナショナルプロジェクト (MEXT・JST・NEDO) 合同セッション	ナショナルプロジェクトにおける 次世代電池の研究開発	NEDO JST
		硫化物系全固体電池の X 線 CT 撮影と 応力解析	東京工業大学 LIBTEC
2019年 11月13日 ～15日	第60回電池討論会 ナショナルプロジェクト (MEXT・JST・NEDO) 合同セッション	数値解析を用いた全固体リチウムイオン 電池におけるイオン伝導抵抗分離	LIBTEC 九州大学
2019年 11月13日 ～15日	第60回電池討論会	硫化物系全固体電池用 LiNi1/3Mn1/3Co1/3O2 正極の 発熱反応解析	大阪府立大学 京都大学
		シリコン溶射膜の硫化物系 全固体電池用負極としての特性	甲南大学
		参照極を用いた全固体電池における コバルト酸リチウムの挙動解析	東京工業大学
		Characterization of amorphous and crystalline Li _{3-x} M _y PS ₄ (M = Mg ²⁺ , Ca ²⁺ , Al ³⁺) solid electrolytes prepared by mechanical milling	豊橋技術科学 大学
		マイクロ波加熱を用いた Li ₂ S-P ₂ S ₅ 系 固体電解質の液相合成	北海道大学
2019年 11月29日	電気設備学会講演会	NEDO の次世代電池開発	NEDO
2019年 12月6日	COMSOL Conference 2019	全数値シミュレーションによる リチウムイオン二次電池の解析	LIBTEC
2019年 12月19日	電子情報技術産業協会 (JEITA)主催 全固体 電池に関する講演会	「“死の谷”を超える電池開発」トヨタ MIRAI や全固体電池開発での取り組み	LIBTEC
2019年 12月20日	第364回電池技術委員 会講演会	SOLiD-EV の全体概要および 全固体 LIB シミュレーションについて	LIBTEC
2020年 1月21日	「電気化学セミナー1」 最先端電池技術-2020	NEDO における次世代蓄電池開発	NEDO
2020年 2月28日	スマートエネルギー Week2020 国際二次電池展 (Battery Japan)	液相からの硫化物系固体電解質の合成 と全固体リチウムイオン二次電池の構築	豊橋技術科学 大学
2020年 6月21日～ 6月26日	International Meeting of Lithium Batteries 2020(Germany) ポスター発表	Reduced Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ Reference Electrode for All Solid State Battery	東京工業大学

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表機関
2020年 10月4日 ～9日	PRiME2020	Calculational clarification of the reduction factors against ionic conductivity of solid electrolyte in all-solid-state battery	LIBTEC 九州大学
	PRiME2020	All-Solid-State Three-Electrode Cells with Reduced Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ Reference Electrode	東京工業大学
	PRiME2020	Effect of particle dispersion condition in electrode layer on cell performance of all-solid-state batteries	九州大学
	PRiME2020	Sulfide electrolytes based on the LGPS related materials	東京工業大学
2020年10 月23日	第131回 黒鉛化合物研究会	硫化物系全固体リチウム二次電池炭素系負極の動向	名古屋大学
2020年11月 13～15日	第61回電池討論会	還元型チタン酸バリウム参照極を用いる全固体電池用電極のインピーダンス測定と解析	東京工業大学
		硫化物全固体リチウムイオン電池の中温域(RT～150℃)の発熱特性	産業総合研究所
		硫化物系全固体電池における短絡セル内に生じたリチウム析出物の解析	LIBTEC
2020年11月 13～15日	第61回電池討論会	硫化物系全固体電池における接合界面の影響	LIBTEC
		粉体シミュレーションを用いた全固体電池電極構造の検討	LIBTEC
		参照極を有するラミネート型硫化物系全固体リチウムイオン電池の挙動解析	LIBTEC
		硫化物固体電解質/正極の固固界面における高電位劣化機構の解明	LIBTEC
		共焦点 XRD 法を用いた全固体 LIB の電極厚さ方向反応分布の拘束下オペランド測定	LIBTEC
		硫化物系固体電解質のドライルーム模擬環境での変性挙動解析	LIBTEC
		硫化物系全固体 LIB のコンディショニング条件検討	LIBTEC
		硫化物系全固体 LIB 研究プロジェクト SOLiD-EV の概要	LIBTEC
		硫化物系固体電解質シートの作製と全固体電池への応用	大阪産業技術研究所 和泉センター
		エチルプロピオネートを用いて合成した Li ₂ S-P ₂ S ₅ 系電解質の熱処理条件が局所構造とリチウムイオン伝導度に及ぼす影響	京都大学
液相合成 Li ₂ S-P ₂ S ₅ 固体電解質の局所構造とリチウムイオン伝導度に及ぼす溶媒の影響	京都大学		
2020年12 月12～15日	17th Asian Conference on Solid State Ionics(ACSSI-2020)	Thermal stability and microstructure of the LiNi _{1/3} Mn _{1/3} Co _{1/3} O ₂ electrode layer using air-stable Li ₄ SnS ₄ solid electrolyte	大阪府立大学
予定 2020年秋頃	電気化学系学会	5V-class LiCoMnO ₄ cathode for all-solid-state Li batteries	NIMS

表 4 NEDO 事業の情報発信実績(雑誌等への掲載)

発行年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2018年 11月5日	月刊「機能材料」11月号	硫化物系全固体電池の構築プロセスと評価法	LIBTEC 石黒 恭生
2018年 11月5日	月刊「電気総合誌オーム」 11月号	次世代電池の研究開発動向 全固体電池開発-	LIBTEC 石黒 恭生 蕪木 智裕
2020年 2月1日	月刊「学術の動向」 2020年2月号 (日本学術協力財団発行)	特別企画 吉野彰博士の2019年ノーベル 化学賞受賞-次世代電池:ノーベル賞受賞 液系リチウムイオン電池を将来へ繋ぐ全固 体電池開発-	LIBTEC 石黒 恭生
2020年 3月5日	月刊「電気化学会誌」2020 年 88 巻 1 号(電気化学 会)	全固体電池実用化に向けた実践評価技術	LIBTEC 幸 琢寛 森野 裕介 大谷 和史
2020年 3月31日	全固体電池の界面抵抗低 減と作製プロセス、評価技 術(技術情報協会)	硫化物系固体電解質／黒鉛系負極界面 の電気化学的評価	名古屋大学 福塚 友和 京都大学 安部 武志
予定 2020年夏頃	学術雑誌	5V-class LiCoMnO4 cathode for all- solid-state Li batteries	NIMS
予定 2020年冬頃	学術雑誌	5V-class LiCoPO4 cathode film for all- solid-state Li batteries	NIMS