

「次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発」

事業原簿

公開版

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 自動車・蓄電池部
-----	---

目次

概要	概要-1
プロジェクト用語集	プロジェクト用語集-1
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋	1-1
1.1 事業の位置づけ・意義	1-1
1.2 アウトカム達成までの道筋	1-32
1.3 知的財産・標準化戦略	1-33
2. 目標及び達成状況	2-1
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	2-1
2.2 アウトプット目標及び達成状況	2-9
3. マネジメント	3-1
3.1 実施体制	3-1
3.2 受益者負担の考え方	3-4
3.3 研究開発計画	3-5
(添付資料)	
・添付資料1：プロジェクト基本計画	
・添付資料2：プロジェクト開始時関連資料（事前評価書）	
・添付資料3：論文・外部発表等リスト	

概要

プロジェクト名	NEDO プロジェクト名： 「次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発」 METI 予算要求名称： 「次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発」	プロジェクト番号	P23005
担当推進部/ プロジェクト マネージャー または担当者 及び METI 担当課	自動車・蓄電池部 車載蓄電池ユニット PM 臼田 浩幸（2024 年 7 月～現在） 担当者 曾我 巖（2024 年 7 月～現在）、山木 孝博（2024 年 7 月～現在）、 向井 寛（2024 年 7 月～現在）、太田 英男（2024 年 7 月～現在）、 久世 智（2024 年 7 月～現在）、佐藤 勇人（2024 年 7 月～現在）、 丸内 亮（2024 年 7 月～現在）、松下 智子（2024 年 7 月～現在）、 田中 直樹（2024 年 11 月～現在）、紅山 史子（2024 年 12 月～現在）、 加藤 祐作（2025 年 1 月～現在）、加州 大輔（2025 年 4 月～現在） 鷺野 誠一郎（2024 年 7 月～2024 年 10 月）、 米川 輝（2024 年 7 月～2024 年 11 月）、磯部 裕史（2024 年 7 月～2024 年 12 月） 亀尾 祐介（2024 年 7 月～2025 年 3 月） スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 蓄電技術開発室 PM 臼田 浩幸（2023 年 4 月～2024 年 6 月） 担当者 曾我 巖（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、山木 孝博（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 向井 寛（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、太田 英男（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 久世 智（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、佐藤 勇人（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 丸内 亮（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、磯部 裕史（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 米川 輝（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、亀尾 祐介（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 鷺野 誠一郎（2023 年 4 月～2024 年 6 月）、 松下 智子（2023 年 4 月～2024 年 6 月）		
0. 事業の概要	本事業では、2030 年以降に訪れる全固体リチウムイオン電池（全固体 LIB）の本格導入期に向けた新規材料開発を促進するため、材料評価を行うための標準電池モデル（ものさし電池）の開発や材料評価の方法等の共通基盤技術開発を実施する。また、これらの取組を通じて、全固体 LIB の本質的な課題（耐久性や拘束圧等）について現象・機構解明と対応策の検討にもつなげる。 本事業を通じ、耐久性の課題を根本から解決するとともに、業界内で共通基盤技術を活用して、新材料を常に生み出し続けるエコシステムを創出する。		
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋			
1.1 本事業の 位置付け ・意義	2050 年カーボンニュートラルの実現に向け、2030 年以降の車載用蓄電池市場の急速な拡大が予想される。全固体 LIB は、次世代蓄電池の 1 つとして政策的にも期待されており、海外でも活発に研究開発が行われている。 今後の車載用蓄電池市場において、日本がイニシアティブを獲得するためには、全固体 LIB の早期市場投入と、競争力の維持・拡大に向けた産業界共通の研究開発基盤の強化が重要である。グリーンイノベーション基金事業（GI 基金事業）による各社への支援により、2030 年までの早期実用化を目指すとともに、本事業では、2030 年以降の全固体 LIB 本格導入期に新材料を提供するための共通基盤技術を開発する。		
1.2 アウトカム 達成までの 道筋	本事業は業界全体に寄与する共通基盤技術開発である。また、本事業の成果は、標準電池モデルを始めとする全固体蓄電池材料の材料評価技術、固固界面課題を解決し競争力のある全固体蓄電池の実現に向けた電池設計や製造プロセス、新材料の提案、および本事業で蓄積される、材料、電池の試験・評価データである。これらの成果を材料メーカー、電池メーカー、自動車メーカーへ展開し、GI 基金事業を始めとする個社の全固体 LIB 及びその材料の開発加速並びに全固体 LIB およびパックの商品設計へ活かしていく。これにより、2030 年の全固体 LIB 搭載 EV・PHEV の市場投入における本格実用化を図る。さらに、車載用蓄電池の規格・標準化活動を進める国内審議団体・業界団体に対し、情報提供や試験用電池の提供等の適切なサポートすることで、EV・PHEV の本格普及を推進する。		
1.3 知的財産・ 標準化戦略	知的財産：将来の産業競争力の維持・向上を念頭に、研究開発成果の内容に応じてオープン（公表、論文発表、標準化）とクローズ（特許化、秘匿ノウハウ）を判断する。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）に関する成果は、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である。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。）は、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し、国外特許出願も積極的に実施し、特に、電極活物質・電解質等の材料発明は積極的に権利化するが、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。 標準化戦略：全固体 LIB の標準化の方向性は、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、ユーザーに強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。全固体 LIB の試験評価法に係る国際標準化の推進に向け、前身事業である先進・革新蓄電池材料評価技術開発（SOLiD-EV）から引き続き、本事業においても国内の標準化関係者と定期的に会合を実施している。当面求められる標準化に関連した研究開発は、SOLiD-EV にて既に実施してきたことから、本事業では、標準化活動を進める中で必要なデータや試験用電池の提供等、業界に対して適切なサポートを実施する。									
2. 目標及び達成状況										
2.1 アウトカム目標及び達成見込み	本事業のアウトカム目標は前述したとおり、2050 年のカーボンニュートラル実現への貢献である。詳細は省略するが、アウトカム目標として、EV・PHEV への全固体 LIB の搭載が 2028 年に開始され、2030～2035 年の年率と同じ年率で 2040 年まで増加、液系 LIB を含む総台数に対する割合を 2040 年に 35%（EV が約 330 万台、PHEV が約 102 万台）と仮定する。その時の、経済効果および CO₂ 排出削減効果は以下の通りである。 <table><tr><td>経済効果</td><td>車載用全固体 LIB パック売り上げ（世界）約 2.1 兆円/年（2040 年）</td></tr><tr><td>CO₂削減効果</td><td>約 1,400 万トン/年（2040 年）</td></tr></table>	経済効果	車載用全固体 LIB パック売り上げ（世界）約 2.1 兆円/年（2040 年）	CO ₂ 削減効果	約 1,400 万トン/年（2040 年）					
経済効果	車載用全固体 LIB パック売り上げ（世界）約 2.1 兆円/年（2040 年）									
CO ₂ 削減効果	約 1,400 万トン/年（2040 年）									
2.2 アウトプット目標及び達成状況	研究開発区分と開発内容 本事業のアウトプット目標達成に向けた開発戦略は、標準電池モデルの開発とともに、固体電解質間や活物質との界面形成とその維持という固固界面の技術課題を解決することで、全固体 LIB の本来のポテンシャルを引き出すことである。 <table><tr><td>開発区分</td><td>開発内容</td></tr><tr><td>① 材料評価基盤技術開発</td><td>標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。</td></tr><tr><td>② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明</td><td>サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。</td></tr><tr><td>③ 電極・セル要素技術開発</td><td>次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。</td></tr></table>	開発区分	開発内容	① 材料評価基盤技術開発	標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。	② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明	サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。	③ 電極・セル要素技術開発	次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。	
	開発区分	開発内容								
	① 材料評価基盤技術開発	標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。								
	② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明	サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。								
	③ 電極・セル要素技術開発	次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。								
研究開発区分とアウトプット目標 <table><tr><td>開発区分</td><td>中間目標（2025 年度末）</td><td>最終目標（2027 年度末）</td></tr><tr><td>① 材料評価基盤技術開発</td><td>標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。</td><td>標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。</td></tr><tr><td>② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明</td><td rowspan="2">固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は 450Wh/L 以上を目安とする。</td><td rowspan="2">固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。</td></tr><tr><td>③ 電極・セル要素技術開発</td></tr></table>	開発区分	中間目標（2025 年度末）	最終目標（2027 年度末）	① 材料評価基盤技術開発	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。	② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は 450Wh/L 以上を目安とする。	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。	③ 電極・セル要素技術開発
開発区分	中間目標（2025 年度末）	最終目標（2027 年度末）								
① 材料評価基盤技術開発	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。								
② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は 450Wh/L 以上を目安とする。	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。								
③ 電極・セル要素技術開発										

	上記の中間目標に対する、2025 年 3 月末現在での達成状況を下記に示す。			
	開発区分	中間目標 (2025 年度末)	成果 (2025 年 3 月)	達成度 (見込み)
	① 材料評価 基盤技術開発	標準電池モデルなどの 次世代全固体 LIB 材料 評価技術の一次仕様・ コンセプトを 2 件以上 提示する。	4 件を提示 <u>高耐久型 (2 種類)</u> エネ密: 400Wh/L、出力: 5C 耐久: 10 万km相当以上 <u>高入力型</u> エネ密: 250Wh/L、出力: 8C <u>単極評価モデル</u> LTO 対極	○ 2025 年 3 月に 達成済み
	② 全固体 LIB 特有の現象・ 機構解明 ③ 電極・セル 要素技術開発	固固界面課題を解決するた めの個々の要素技術の達成 度を測る指標を充放電サイ クルによる耐久性とし、 EV10 万 km 走行を想定した 充放電試験後の容量維持率 を 70%以上、と定める。 なお、前提として、エネル ギー密度は 450Wh/L 以上を 目安とする。	EV10 万 km 走行を 想定した充放電試験後の 容量維持率 93% (拘束圧 20MPa、 25℃、1C 充放電試験 300 サイクル後) ※エネルギー密度 450Wh/L	○ 2024 年 10 月に 達成済み
3. マネジメント				
3.1 実施体制	経産省担当原課	製造産業局 素材産業課、自動車課、商務情報政策局 電池産業課		
	プロジェクト マネージャー	自動車・蓄電池部 車載蓄電池ユニット PM 白田 浩幸 (2024 年 7 月～現在) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 蓄電技術開発室 PM 白田 浩幸 (2023 年 4 月～2024 年 6 月)		
	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) 理事 幸 琢寛 (2023 年 4 月～現在) 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 黒葛原 実 (2023 年 4 月～現在) 第 2 研究部 部長 遠藤 英司 (2025 年 4 月～現在) 第 2 研究部 部長 荻原 航 (2023 年 4 月～2025 年 3 月まで) 第 3 研究部 部長 川本 浩二 (2023 年 4 月～現在) 第 4 研究部 部長 藤原 良也 (2023 年 4 月～現在)		
	委託先	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) (参画 35 機関) アイシン、旭化成、いすゞ中央研究所、出光興産、AGC、ENEOS マテリアル、 大阪ソーダ、関西ペイント、クラレ、小松製作所、GS ユアサ、SUBARU、 住友化学、住友金属鉱山、大日本印刷、東亜合成、東レ、 TOPPAN ホールディングス、トヨタ自動車、日産自動車、日本触媒、 パナソニックホールディングス、ピークルエナジージャパン、日置電機、 堀場製作所、本田技術研究所、マクセル、マツダ、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、 ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ、産業技術総合研究所 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (再委託：九州大)、 国立研究開発法人物質・材料研究機構、国立大学法人京都大学、 国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学 (共同実施：オハラ)、 国立大学法人東京科学大学、国立大学法人豊橋技術科学大学、 国立大学法人名古屋工業大学、 国立大学法人奈良国立大学機構奈良女子大学、 国立大学法人北海道国立大学機構北見工業大学、 国立大学法人北海道大学、国立大学法人横浜国立大学、 公立大学法人大阪大阪公立大学、学校法人早稲田大学、 一般財団法人電力中央研究所、一般財団法人日本自動車研究所、 一般財団法人ファインセラミックスセンター (17機関)		

3.2 受益者負担の考え方	(単位：百万円)																																																																
		2023年度	2024年度	2025年度	合計																																																												
	集中研究拠点 (LIBTEC) の予算	1,162	1,377	1,393	3,932																																																												
	サテライト (大学・研究機関) の予算	544	500	487	1,531																																																												
	合計 (NEDO 委託費)	1,706	1,877	1,880	5,463																																																												
3.3 研究開発計画																																																																	
	<table><tr><td></td><td>2023年度</td><td>2024年度</td><td>2025年度</td><td>2026年度</td><td>2027年度</td><td>2028年度</td></tr><tr><td rowspan="2">①材料評価基盤技術開発</td><td colspan="3">標準電池モデル (一次仕様・コンセプト)</td><td colspan="3">標準電池モデルの開発</td></tr><tr><td colspan="5">材料物性等の標準的評価手法開発</td><td></td></tr><tr><td rowspan="2">②全固体LIB特有の現象・機構解明</td><td colspan="5">現象解明、指針方策策定</td><td></td></tr><tr><td colspan="5">高度分析・解析技術、物理化学・電気化学計算・シミュレーション技術開発</td><td></td></tr><tr><td rowspan="3">③電極・セル要素技術開発</td><td colspan="5">次世代材料提案</td><td></td></tr><tr><td colspan="5">電極・セル作製要素技術開発</td><td></td></tr><tr><td colspan="2">検証</td><td colspan="2"></td><td>検証</td><td></td></tr><tr><td>評価時期</td><td></td><td></td><td>中間評価</td><td></td><td></td><td>終了時評価</td></tr></table>							2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	①材料評価基盤技術開発	標準電池モデル (一次仕様・コンセプト)			標準電池モデルの開発			材料物性等の標準的評価手法開発						②全固体LIB特有の現象・機構解明	現象解明、指針方策策定						高度分析・解析技術、物理化学・電気化学計算・シミュレーション技術開発						③電極・セル要素技術開発	次世代材料提案						電極・セル作製要素技術開発						検証				検証		評価時期			中間評価			終了時評価
	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度																																																											
①材料評価基盤技術開発	標準電池モデル (一次仕様・コンセプト)			標準電池モデルの開発																																																													
	材料物性等の標準的評価手法開発																																																																
②全固体LIB特有の現象・機構解明	現象解明、指針方策策定																																																																
	高度分析・解析技術、物理化学・電気化学計算・シミュレーション技術開発																																																																
③電極・セル要素技術開発	次世代材料提案																																																																
	電極・セル作製要素技術開発																																																																
	検証				検証																																																												
評価時期			中間評価			終了時評価																																																											
情勢変化への対応	金属 Li 負極は、Si 負極と並び次世代負極として期待される材料であり、事業開始以降、日本の自動車メーカーが金属 Li 負極を採用する動きが見られた。各国でも取組が活発化する中、速やかに対応が必要と考え、金属 Li を負極に活用した場合の新規材料評価基盤の検討に着手した。本事業では、本取組に技術委員会での議論も経て、2024 年度に 2,000 万円の予算を増額した。今後、本取組を通じて、金属 Li 負極のあらゆる要素技術開発を実施することになり、基盤的な知見を日本の全固体 LIB 開発メーカーに提供するなどの貢献ができ、これにより、各社の開発加速も期待される。																																																																
中間評価結果への対応																																																																	
評価に関する事項	事前評価	2022 年度実施 担当部 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部																																																															
	中間評価	2025 年度 中間評価実施予定																																																															
	終了時評価	2028 年度 終了時評価実施見込み																																																															
別添																																																																	
投稿論文	「論文」：9 件、そのうち「査読付き」8 件 (2023 年度 1 件、2024 年度 8 件) 「研究発表」：113 件 (23 年度 27 件、24 年度 86 件) 「受賞」：1 件 (23 年度 1 件、24 年度 0 件)																																																																
特 許	「出願済」8 件 (2023 年度 1 件、2024 年度 7 件) 特記事項：2025 年 5 月時点で公開前のため、添付はなし																																																																
その他の外部発表 (プレス発表等)	2 件 (23 年度 0 件、24 年度 2 件)																																																																
基本計画に関する事項	作成時期	2023 年 1 月 作成																																																															
	変更履歴	2024 年 8 月 改訂 (組織改編による部署名変更にとまなう)																																																															

プロジェクト用語集

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 1 C と規定する。2 C 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。
EV	電気自動車。Electric Vehicle の頭字語。外部からの電力供給によって搭載する蓄電池に充電し、蓄電池から電動機に電力を供給することで走行する、内燃エンジンを搭載していない自動車。
HEV	Hybrid Electric Vehicle の頭字語。ハイブリッド電気自動車。蓄電池を搭載し、内燃エンジンと電動機で走行可能な自動車。蓄電池の充電は内燃エンジンで行う。
IEC	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。
LCA	Life Cycle Assessment の頭文字。製品・サービスのライフサイクル全体(資源採取—原料生産—製品生産—流通・消費—廃棄・リサイクル)における環境負荷を定量的に評価する方法である。
LIB	リチウムイオン電池 (Lithium Ion Battery)。本事業では、電解質に固体電解質を使用するリチウムイオン電池を全固体 LIB、電解質に電解液を使用するリチウムイオン電池を液系 LIB と呼称する。
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。
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蓄電池を搭載し、内燃エンジンと電動機で走行可能な自動車。
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。
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。
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。
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。
酸化物系固体電解質	酸素を主成分の一つとして含有する酸化物の固体電解質。化学的安定性に優れるが、リチウムイオン伝導度が相対的に低い物質が多い。
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 と呼ばれる。
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。
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。

用 語	説 明
セル	電池の内部構造で、正極・負極・電解質の 1 組を有し蓄電機能を有する最小単位として機能する構造体。またはそれを 1 組だけ持つ電池。
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、電池の構成成分全てが固体からなる電池。液体をゲル化などの手法で固形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」を付けて識別するが、使用者によって定義が異なることもある。
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。
二次電池	蓄電池。充電することで繰り返し利用することが可能な電池。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。充電できない乾電池などを一次電池、充電できる電池を二次電池と区別する。
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筐体に収めたパーツ。
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。
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。
ラミネート形電池	従来の金属ケースに代えて、金属箔、高分子フィルムなどを積層(laminate)した複合フィルムからなる包材を成型し、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。
リチウムイオン電池	二次電池の 1 種。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。
硫化物系固体電解質	Lithium phosphorus sulfide など硫黄(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。

第1章 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

1.1 事業の位置づけ・意義

1.1-1 事業の背景・目的

蓄電池は、モビリティの動力源や再生可能エネルギーの導入に向けた調整源等、カーボンニュートラル達成に向けて寄与するだけでなく、様々な製造業の生産活動の発展に不可欠な重要技術である。基本的な構造は、正極、負極、電解質の3つから構成され、これら各材料が電池性能向上の中心的な役割を果たす。さらに、実用的な蓄電池として仕上げるためには、これら材料単体の性能向上に加え、各種構成材料との組合せやアプリケーションの要求仕様との適合性等、総合的な検討が必要となる。

革新的な新規材料を開発するためには、正極や負極等の材料単体の開発に加え、電池全体(以下、「フルセル」という。)としての材料評価も重要であり、これらの開発と評価サイクルの繰り返しが求められる。

しかしながら、(材料メーカーが開発した)新規材料について蓄電池メーカーを代表とするユーザーがフルセルで評価し、詳細にフィードバックを実施することは、自社の電池設計の情報開示等につながる可能性もあるため容易ではない。このような課題を解決するため、本事業では、材料評価用の「ものさし」としてフルセルで材料評価を行うための材料評価用電池や材料評価の方法等、共通基盤技術の開発を実施している。本事業の成果により、材料メーカーとユーザー企業との擦り合わせが加速し、効率的に全固体リチウムイオン電池(以下、「全固体 LIB」という。)の新規材料創出につながることを狙う。

また、NEDO では、グリーンイノベーション基金事業にて 2030 年頃までの車載用電池としての実用化を目指し全固体 LIB の技術開発を行っている。このグリーンイノベーション基金事業の実用化の時期を全固体 LIB の初期導入期とするならば、本事業の共通基盤技術は、その先にある 2030 年以降に訪れる全固体 LIB の本格導入期に投入される電池材料への貢献を想定している。加えて、本事業では材料評価用の電池開発を通じ、全固体 LIB の本質的な課題(耐久性や拘束圧等)について現象・機構解明と対応策の検討も行う。この成果は、事業期間中においてもグリーンイノベーション基金事業の技術開発の促進に貢献する。

1.1-2 市場動向

(1) LIB の市場動向

含 Li 金属酸化物、炭素系負極を使用し、有機溶媒電解液を用いた LIB(以下、「液系 LIB」という。)は 1990 年代に実用化され、容量、電圧の高さからモバイル・IT 機器への搭載が急速に進んだ。その後の技術改良による高性能化・低コスト化は著しく、今日、LIB は自動車の電動化、再生可能エネルギーの導入量拡大、災害対応、ドローンや自立型ロボットの性能向上、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、LIB の市場規模は 2024 年の見込みで約 30 兆円だが、2030 年には約 52 兆円、2040 年には約 73 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 等の電動車用の LIB である。使用される蓄電池としては、現時点では液系 LIB が主に採用されており市場規模は 2024 年の見込みで約 27 兆円であるが、2030 年には 43 兆

円、2040 年には約 58 兆円に成長すると予測されている。

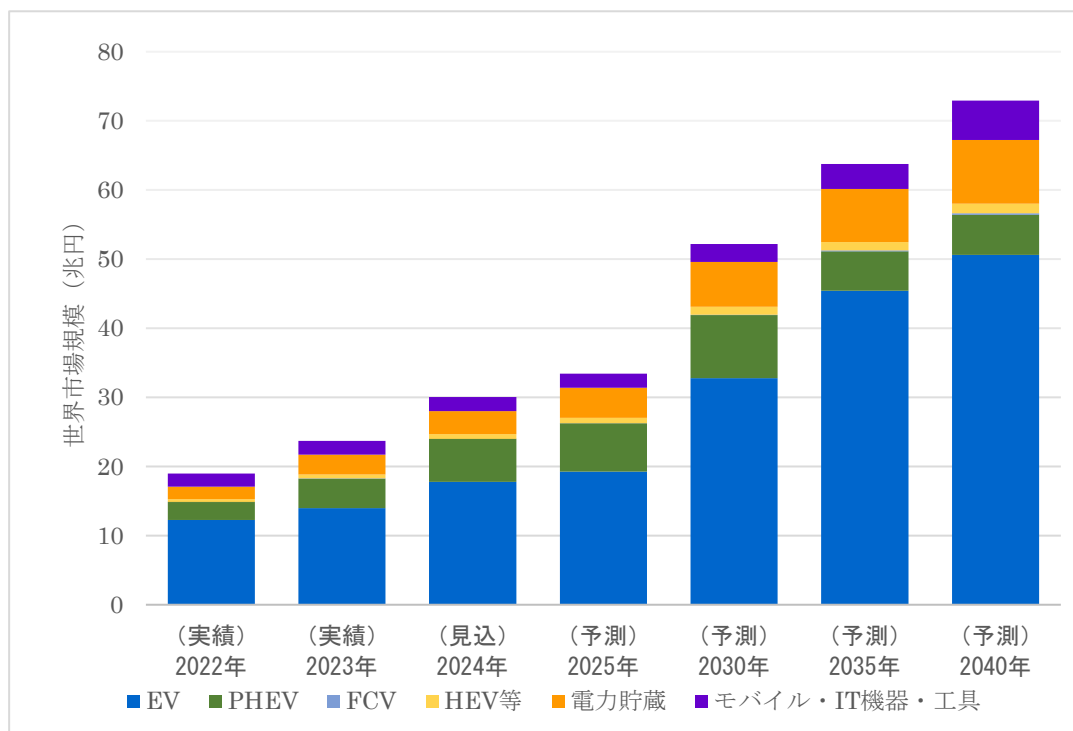


図 1.1-2-1 LIB の市場規模推移と将来予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2023,2024」(株式会社富士経済)
を参考に NEDO 推定

電動車の LIB の市場拡大が予測される主な理由は、中長期的には自動車が化石燃料に依存し続けるには制約があり、再生可能エネルギーを利用できる電動車の活用は欠かせないことである。これまで環境・エネルギー問題に対応するため、各国は自動車の燃費規制・排出ガス規制を強化すると同時に、電動車、特に EV・PHEV への補助金政策、ガソリン・ディーゼル車販売を段階的に禁止する政策等を推進してきた。世界的なカーボンニュートラルを目指す動きの中、自動車メーカー各社も 2030 年前後に数百万万台規模の EV 販売を目標とする電動車へのシフトを発表している。現時点においては米国における環境対策の後退、国際情勢の変化、欧米における蓄電池育成の遅れ等から電動車の導入に関しては停滞感もあるが、2050 年のカーボンニュートラル達成に向けては、電動車の活用は必須の要素であり、政策、産業基盤、技術が整えば再び導入が進行すると予想される。

電動車の大幅な導入が予想される中、中国及び韓国の蓄電池メーカーは 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支援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る。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、シェアは低下している。

今後、電動車用蓄電池の市場が拡大していく中で、日本が市場でのプレゼンスを向上させるためには、国内製造基盤を強化し、国内で確立した技術をベースに海外展開を戦略的に展開するとともに、全固体電池を含む次世代電池を世界に先駆けて実用化し、次世代電池市場を着実に獲得していくことが重要と考えられる。

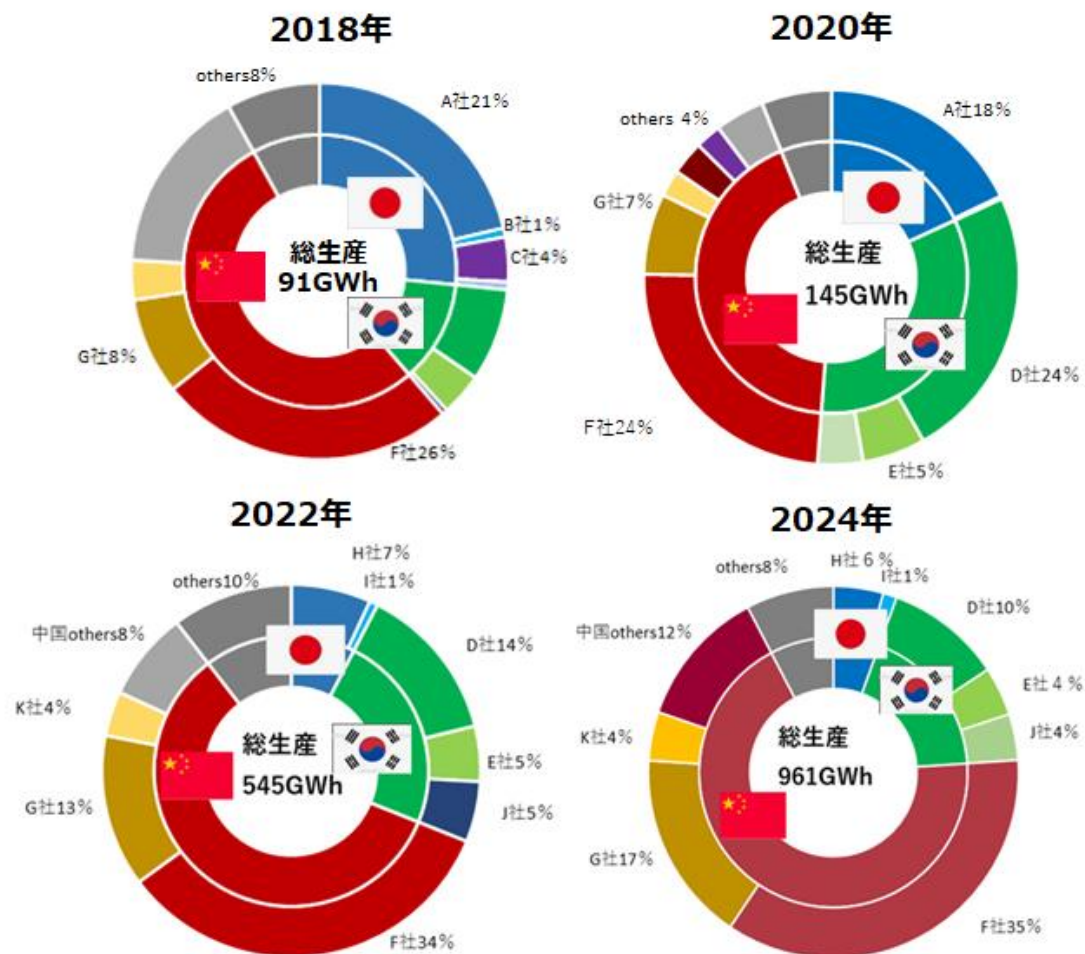


図 1.1-2-2 電動車用 LIB の市場シェア推移
 出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2019,2021,2024」(株式会社富士経済)
 に基づき NEDO 作成

1.1-3 技術動向

(1) LIB の現状と課題

カーボンニュートラル政策を契機とした CO₂ 排出量削減の要請に伴い、再生可能エネルギーの利用拡大や、CO₂ 排出量の 17%を占める運輸部門、特にその中の 9 割弱を占める自動車についての対策が必要となっている。蓄電池は車両の電動化による CO₂ 排出量削減に効果的であることから導入拡大が期待されている。そのため製造設備の拡充に対する投資に加え、生産性向上、電池性能向上に向けた研究開発が継続している。一方で予想される市場の大幅な拡大は蓄電池に使用する資源の枯渇やサプライチェーンリスク、蓄電池製造プロセスの CO₂ 排出量削減、多量に発生することが確実となっている使用済み蓄電池の処理方法などの新たな課題も発生させている。

蓄電池の需要の中心となっている電動車では、飛躍的な市場の成長期待を踏まえ、EV・PHEV 用の蓄電池市場は拡大を続けているものの、車両価格がエンジン車との比較で高い、航続距離が短い、充電時間が長い、充電インフラが少ないなどの技術課題と利便性の課題は依然として残っており、各国は課題を解決するための政策的支援や研究開発を継続的に進めている。また、性能向上に向けた研究開発や産業支援に加えて、蓄電池のリユース・リサイクルへの取組も

行われており、欧州では、域内での電池生産と循環を推進する電池規則案制定の協議が始まっている。今後、EV・PHEV の普及が進むにつれ、車載用蓄電池としてコスト低減、エネルギー密度向上による航続距離延長、充電性能向上による充電時間短縮等はいっそう重要となってくる。

現在、車載用蓄電池の主流となっている液系 LIB は、他の電池系に比してエネルギー密度が高いという特徴から車載用以外の用途も含め採用が進んできた。現在では更なるエネルギー密度向上や安全性向上、リサイクル対応などの技術課題に対して検討が進められるとともに、リン酸鉄正極の採用など目的に応じた最適化を指向する動きも見られる。一方で幅広く普及し生産量が飛躍的に増大し、一定の完成形も存在することから、技術的優位性視点での製品差別化は困難となりつつあり、技術競争領域からコスト競争領域に移行してきているという面もある。それゆえ、中期的には日本の蓄電池産業は、液系 LIB での一定の市場確保を狙うため、生産基盤強化のための大規模投資、戦略的なグローバルアライアンスの確立を段階的に推進することを検討していく一方で、製品性能として差別化可能な全固体電池を含む次世代電池の技術開発への中長期的な投資を進めている。

現状の EV・PHEV に用いられている液系 LIB は、電解質に有機溶媒電解液を用いていることから、異常時に発火の危険性があり、また、高レート of 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。また、電池パックの生産コストも高く、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。

そのため、車載バッテリーについては、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、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、この課題を現状の液系 LIB の技術開発の延長線上で解決するには多くの課題がある。

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・脱離反応を用いるため、安定的に充放電できる材料には制限があり、大きな比容量を示す材料は構造変化や体積変化、副反応といった課題があるため、電池セルでの数倍レベルのエネルギー密度の向上は簡単ではないことが挙げられる。高電位の正極活物質を用いることで電圧を上げる方向にしても、有機溶媒電解液の酸化分解とガス発生の問題がある。セルレベルでのエネルギー密度向上の困難性から cell to chassis などモジュール、パックレベルでセルの充填密度を高める試みも進められているが、セルを密に充填する事は発熱制御や異常時の延焼の危険性など安全性とのバランスが課題になる。

この様に種々の課題は存在し、解決のための技術的な課題の難易度は高いが、液系 LIB は車載用蓄電池における現在の主流であり、将来的にも有望であることから各国では研究開発が盛んに進められている。

(2) 全固体電池の特徴と期待

前記した液系 LIB の課題を解決する手段として、液系 LIB そのものの技術開発や、他の電池系、例えば水系電解質などを用いる電池系の開発などに加えて、全固体電池の開発が進められている。

全固体電池は固体電解質(硫化物、酸化物や固体有機物のイオン伝導体)を電解質として使用した電池であり、種々の電池系で実現しうるものである。液系 LIB において有機溶媒電解液をリチウムイオン伝導性を有する固体電解質に置き換えれば、LIB でも全固体電池を実現すること

ができる。固体電解質の物理的、化学的安定性(揮発性がない点や実用的な高電圧耐性)を活かすことで、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現行より向上させることができる。また、流動性のない電解質を使用するためバイポーラ型構造を採用することも可能であり、将来的にバイポーラ型の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。無機系固体電解質を用いる場合は、そ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やシステムレス化を推進することが可能であるとともに、不燃性・難燃性である特徴から発火リスクが大幅に低減することから安全装置の簡素化が期待できる。結果として、電池パック段階でのエネルギー密度向上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、全固体リチウムイオン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、世界中で研究開発が活発化しており、トヨタ自動車、日産自動車、本田技研工業、Volkswagen、Mercedes-Benz Group、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、ドイツ、英国、中国、韓国等においては公的資金による研究開発も進められている。

当面は液系 LIB が市場の主流であるが、全固体 LIB の第一段階として、2030 年頃までに研究開発が先行している硫化物系固体電解質を活用した全固体 LIB の市場投入が期待される。

(3) 全固体電池の研究開発動向

全固体電池の研究開発は、基本材料である固体電解質の材料開発から固体電解質を用いた電池設計・プロセス開発、基礎解析まで幅広く、固体電解質も硫化物系、酸化物系、高分子系など多岐にわたる。以下では本事業で対象としている硫化物系固体電解質及びそれを用いた全固体電池を中心に全固体電池の研究開発動向を示す。

① 日 本

NEDO の全固体電池研究開発では、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(2013～2017 年度)において、硫化物系固体電解質を想定した全固体 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。

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発 第 2 期(SOLiD-EV)」(2018～2022 年度)においては、三元系正極活物質、黒鉛系負極、硫化物系固体電解質を用いた系で、実用生産でも使用されるロール to ロールプロセスでシートタイプの、4×12.5cm 中型単層セルを作成し車載用蓄電池として適用可能なレベルの 450Wh/L のエネルギー密度を実証した。これにより全固体 LIB が実用可能な電池系であることが示された。また、チャレンジングな取組として、三元系正極活物質、

シリコン系負極活物質を用いた 2cm 角単層の実証セルを製作、860Wh/L の体積エネルギー密度を実証し、高エネルギー密度化への可能性も示した。加えて、これらの成果を踏まえ、安定的に製作可能な標準電池モデルを製作した。特に、三元系正極活物質、黒鉛系負極、硫化物系固体電解質を用いた標準電池モデルを開発した事は、材料構成や製作方法、耐久性も含め、全固体 LIB 材料評価用の「ものさし」として機能する「原型」を生み出した非常に大きな成果と言える。本事業では、SOLiD-EV で培われた「原型」を発展させ、適切に材料開発を行うための材料評価用として、高耐久型、高入力型、高容量型の 3 つの標準電池モデルの開発に取り組んでいる。

さらに、NEDO は、全固体 LIB の本格量産に向けて必要な技術開発にも取り組んでいる。2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略の中で定められた「グリーンイノベーション基金事業」では、高性能電池・材料、省資源化、生産技術、リサイクル等を研究対象として、2030 年の本格実用化を目標に、電池パックでのエネルギー密度 700～800Wh/L 以上等の目標を掲げたテーマを実施している。全固体 LIB と関連材料の研究開発テーマとしては表 1.1-3-1 に示すテーマが採択され、現在では各社とも開発フェーズから、パイロットラインの設計・ライン建設に移りつつあり、実用化に向け着実に進捗している状況である。例えば、本田技術研究所では電極材の混練から、塗工、ロールプレス、セル・モジュールの組み立てまでの各工程の検証が可能なパイロットラインを完成させている。出光興産では固体電解質の小型実証設備における検討に引き続き、大型パイロット装置の設計を開始している。なお、本事業では、材料評価用の標準電池モデルの開発を通じて、材料評価技術による新材料評価や固固界面現象の解明等、共通基盤研究を実施しており、これら研究成果を通じて各テーマの取組を支援している。

表 1.1-3-1 グリーンイノベーション基金事業 全固体 LIB と関連材料の研究開発テーマ

機関	研究開発テーマ
本田技研工業株式会社 株式会社本田技術研究所	次世代全固体電池の開発
日産自動車株式会社	ASSB(全固体電池)パイロットラインによる高性能・低 LCA バッテリー生産のプロセス確立
株式会社 GS ユアサ	先進固体電池開発
住友金属鉱山株式会社	次世代蓄電池用高性能正極材料の開発と実証
株式会社アルバック	次世代蓄電池向けリチウム金属負極生産技術開発
出光興産株式会社	硫化物系固体電解質の量産技術開発
株式会社大阪ソーダ	全固体電池用超高イオン伝導性ポリマーの開発

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)」の枠組みで従来の蓄電池の性能を凌駕する革新的な蓄電池の創製を目指した「次世代蓄電池研究開発プロジェクト」(2013～2022 年度、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個別材料や要素技術の開発、メカニズムの解明にとどまらず、蓄電池として最大のパフォーマンスが発揮できるよう、電池の最適化が研究された。また、文部科学省 科学研究費助成事業 「蓄電固体界面科学」(2019～

2023 年度)においては、界面イオンダイナミクスに関わる因子の解明(基礎学理構築)を目標とした研究を行い、構築した学理をもとに全固体電池の産業競争力強化に資する次世代固体イオンクスデバイスの界面設計指針を明確にした。JST「共創の場形成支援プログラム」(COI-NEXT)においては2021年より「先進蓄電池研究開発拠点」で全固体電池に取り組んでおり、起電力、出力、エネルギー密度、寿命といった性能がさまざまで、多用途な蓄電池を設計するための電池解析・開発設計プロトコルを作り上げている。そして、2023年に開始された革新的GX技術創出事業(以下「GteX」という。)の蓄電池領域においては、GHG 削減・経済波及効果に対して量的貢献が見込める蓄電池技術の創出を目指し、高安全性を実現する硫化物型全固体電池および酸化物型固体電池の開発が行われている。

なお、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」第2期においては、ALCA-SPRINGと連携関係を構築しており、事業開始時においてALCA-SPRINGの全固体電池チームから硫化物型サブチームのメンバーが参画し、事業開始後は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きた。2021年からは「蓄電固体界面科学」とも連携を進め、ALCA-SPRINGと同様の取組を実施してきた。本事業においても協力関係を引き継ぎ、GteXの開始後は内部会議に相互に参加するなどより強化された事業連携を行っている。

次に、個別の国内企業による全固体電池開発の主な取組について、以下に示す。

トヨタ自動車株式会社は、2021年9月に、電池・カーボンニュートラルに関する公開説明会で全固体電池を実用化するという目標をあらためて表明し、全固体電池の特長を生かした高出力という特徴をハイブリッド車に適応させるとしていた。2023年6月の技術説明会では課題であった電池の耐久性を克服する技術的ブレイクスルーを発見したため、従来のHEVへの導入を見直しBEV用電池として開発を加速し、量産に向けた工法を開発中で、2027～2028年の実用化にチャレンジしていると発表した。2023年10月には出光興産と連携に合意し2027～2028年の全固体電池実用化をより確実なものとするとしている。電池寿命の短さを克服する新技術の発見と、出光興産の固体電解質にトヨタグループの正極・負極材、電池化技術を組み合わせることで全固体電池の性能と耐久性を両立する目途がついたとしている。2024年9月には、全固体電池も対象に含む生産・開発計画が経済産業省の「蓄電池に係る供給確保計画」に認定されている。

日産自動車株式会社は、「Nissan Ambition 2030」(2021年11月発表)の中で、2028年度までに自社開発の全固体電池を搭載した電気自動車(EV)を市場投入することを目指すとした。2024年4月には、2028年度の実用化を目指して研究開発を行っている全固体電池のパイロット生産ラインを公開した。このパイロットラインを用いて、電気自動車(EV)用の全固体電池の実用化に向け、革新的な工法を取り入れながら、様々な生産技術の課題に取り組んでいくとしている。

本田技研工業株式会社は、2040年に世界市場で販売する全車両を電気自動車(EV)または燃料電池車(FCV)にする計画の中で、電池戦略としては液系LIBの生産拡大と革新電池の実現の両面で投資していく方針としている。2024年11月には栃木県さくら市の本田技術研究所の敷地内に投資額約430億円で建設した全固体電池のパイロットラインを初公開した。従来の液体リチウムイオン電池の製造プロセスをベースにしながら、固体電解質層の緻密化に寄与し連続加工が可能な、ロールプレス方式を採用することで、電極界面との密着性を高めるとともに生産性の向上を目指すとしている。さらに、一連の組立プロセスを集約するとともに高速化することにより、1セルあたりの製造時間の大幅な短縮を目指すとしている。

株式会社GSユアサは、2021年11月に硫化物と組み合わせる最適な材料(窒化物及びハロ

ゲン化物)を効率的に選定することで、高いイオン伝導度と優れた耐水性を兼ね備えた窒素含有硫化物固体電解質の合成に成功したことを公表している。2020 年代後半に衛星用などの特殊用途から実用化し、2030 年代には車載用に展開していくとしている。

マクセル株式会社は、硫化物系固体電解質を採用し、バイポーラ構造を適用することで高電圧・高出力を実現したコイン型全固体電池のサンプル出荷を 2021 年 11 月から開始し、2022 年 7 月に約2倍のエネルギー密度をもつセラミックパッケージ型の全固体電池を新たに開発、製品化したと発表した。2023 年 10 月には 200mAh と大容量化した円筒形全固体電池の開発を進めており、2024 年 1 月にサンプル出荷を予定と発表した。インフラモニタリングなどのセンシング用途を含めた主電源用途でも適用可能な全固体電池の大容量化のニーズに対応するとしている。2024 年 5 月には全固体電池の作動上限温度を 150°Cに引き上げる技術開発に成功したと発表している。

カナデビア株式会社(日立造船から改名)は、機械加工技術を活用した独自の製造方法による全固体 LIB を開発している。硫化系固体電解質を使用し充放電時におけるセルの機械的加圧が不要であるとしている。2024 年 11 月には従来比厚さ 1/4 の 1Ah 全固体リチウムイオン電池を開発したと発表しており、厚さ 3.0mm、体積当たりエネルギー密度 200Wh/L 以上としている。カナデビアは JAXA との全固体リチウムイオン電池の実用化に向けた実証実験に関する共同研究契約を締結しており、2022 年 8 月、全固体リチウムイオン電池が世界で初めて宇宙で充放電できることを確認したとしている。2025 年 1 月の見本市では宇宙産業用向け全固体電池を展示するなど宇宙用途向けでの利用を念頭に進めている。

出光興産株式会社は小型実証設備第 1 プラント(2021 年 11 月稼働開始)、小型実証設備第 2 プラント(2023 年 7 月稼働開始)で、固体電解質の量産プロセスを検討している。2023 年 10 月、トヨタと全固体電池の量産化に向けて、固体電解質の量産技術開発や生産性向上、サプライチェーン構築に取り組むことに合意した。2024 年 10 月、固体電解質の大型パイロット装置の基本設計を開始したと発表しており、2025 年 2 月には総事業費の約 213 億円で原料となる硫化リチウムの大型製造設備を建設すると発表した。

三井金属鉱業株式会社は量産試験設備で生産した全固体電池向け固体電解質「A-SOLiD[®]」のサンプル供給を 2021 年 11 月に開始し、2023 年 2 月には生産能力を倍増すると発表した。2024 年 2 月には第 2 次生産能力増強投資を発表し、2024 年 9 月には固体電解質「A-SOLiD[®]」の「初期量産工場」の新設を決定したと発表している。

AGC 株式会社は 2023 年 9 月に車載用全固体電池向け硫化物固体電解質の新生産技術開発に成功したと発表した。ガラスと化学の技術を融合させた独自の熔融法を確立し、量産を視野に入れたプロセスの下、従来の製法では難しかった多様な組成を高品質で作ることが可能になったとしている。またリサイクルされた原料の利用が容易であるとしている。

住友金属鉱山株式会社は 2023 年 4 月、全固体電池用正極材をはじめとする次世代正極材料および新しい製造プロセスを開発するため、パイロット設備の導入とそれらの設備を収容する建屋(電池研究所第 2 開発棟、2025 年 12 月完成予定)の建設を決定したと発表している。

② 米 国

米国では主にエネルギー省(Department of Energy、DOE)がエネルギー関連の産業・研究開発支援を統括している。蓄電池関連では DOE 部局の科学局(Office of Science、OS)、エネ

ルギー先端研究局(Advanced Research Projects Agency- Energy、ARPA-E)、エネルギー効率・再生可能エネルギー局(Office of Energy Efficiency and Renewable Energy、EERE)の下自動車技術局(Vehicle Technologies Office、VTO)などが基礎研究、新規材料開発、電池系開発から資源リスク対応、リサイクル、寿命診断などを含む蓄電池運用方法、産業支援に至るまで幅広い分野にわたる支援を実施している。

全固体電池関連では ARPA-E が 2013～2017 年に実施した耐久性に優れ実用的な価格の次世代蓄電システム(Robust Affordable Next Generation Energy Storage Systems)を開発することを目指した「RANGE」プロジェクトにおいて、予算総額 4,000 万ドル(5 年間)で燃料電池やリチウムイオン電池など 22 のテーマが採択された中、3 テーマが固体電池関連で、Solid Power、Bettergy、Maryland 大学などが研究を実施した。Solid Power のテーマは 350 万ドルの予算で 3 年半実施され硫化物系固体電解質を使用した全固体電池開発に取り組んだ。

ARPA-E が 2022 年から実施した低炭素社会向け電動車(Electric Vehicles for American Low-carbon Living)を目指した「EVs4ALL」プロジェクトでは、当初予算総額 4,200 万ドル(3 年間)で急速充電対応や安全性向上、資源リスク対応(カリウム電池、Ni・Co 削減など)、劣化解析等の 12 テーマが採択され、4 テーマが固体電池関連(24M Technology のテーマは半固体電池が中心と思われる)でありいずれも継続中である。表 1.1-3-2 に 4 テーマの概要を示す。4 テーマの予算額合計は 1,600 万ドルで全体の約 4 割となっている。プロジェクトの目標として 5～15 分で電池容量の 80%充電、20 万マイル走行後の容量維持率 80%以上、商業レベルで\$75/kWh 以下を目指すことなどを掲げている。

表 1.1-3-2 EVs4ALL の固体電池関連開発テーマと代表参画機関

参画機関	開発テーマ
Ampcera	熱的変調で制御する高安全急速充電対応固体電池。Ni-rich 正極と Si 負極を使用
24M Technologies	低コスト、高エネルギー密度のアノードレスナトリウム金属電池。NASICON タイプ固体電解質セパレータ層
Univ. of Maryland	急速充電対応、高エネルギー密度の固体電池。酸化物系のイオン、電子伝導セラミックス開発。
Solid Power	急速充電対応、高エネルギー密度の固体電池。全固体リチウム硫黄電池。

ARPA-E の最近のプロジェクトでは 2024 年 7 月から実施した鉄道、船舶、航空機の電動化を目的とした PROPEL-1K プロジェクトにおいて、当初予算総額約 1,600 万ドル(2 年間)で燃料電池やレドックスフロー電池、アルミニウム空気フロー電池、リチウム空気フロー電池などテーマが採択される中、3 テーマが固体電池関連で Li 空気固体電池のテーマなどが実施されている。3 テーマの予算総額は約 230 万ドルでプロジェクト全体の予算総額も小規模であるが、鉄道、船舶、短距離航空機の電動化を目的にしたプロジェクトになっている。1K とは 1,000Wh/kg、1,000Wh/L を蓄電システム全体で実現し、かつ製品使用末期でも維持する技術としている。カテゴリ A では航空機向けに短時間最大出力と持続的出力について高コストを許容して実現、カテゴリ B では鉄道、船舶向けに最大出力は抑えて持続的出力を低コストで実現するとして用途別に目標を区分している。

ARPA-E では他に分野横断的プログラムでいくつかの固体電池開発を支援しており、2023 年開始の SCALEUP 2023 プログラムの中では Ion Storage Systems, Inc.が予算 2,000ドルで固体電池の製法検討を、2016 年開始の OPEN 2015 プログラムの中では Zakuro 社が酸化物系固体電解質 LLZO の量産法検討を実施している。

エネルギー効率・再生可能エネルギー局自動車技術室 (EERE-VTO) は、Advanced Battery Materials Research (BMR) などのプログラムを通じて車載向け蓄電池開発を継続的に支援している。全固体電池関連としては 2015 年頃から Oak Ridge 国立研究所や University of Maryland が酸化物系固体電解質や高分子複合固体電解質のテーマを実施している。

2019 年開始の「Advanced Vehicle Technologies Research (AVTR)」プログラムでは、全体の予算総額 5,900 万ドル(3 年間)のうち 1,500 万ドルが全固体電池に割り当てられた。テーマは 1A:固体電池を実現するための材料、1B:固体電池の診断技術開発、1C:固体電池のモデリング技術に区分され 15 テーマが採択された。代表機関として Maryland 大、Michigan 大などの大学や、Solid Power などのベンチャー、General Motor(米)など参画し固体電解質、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た。固体電解質としては酸化物系、硫化物系及び高分子系が開発対象になっている。

表 1.1-3-3 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	硫化物系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

2021 年 10 月に開始の新たなプロジェクト(Li-Bridge)では電気自動車や先端電池、コネクテッド自動車に焦点を当てた 26 件のテーマが 2 億 900 万ドルの予算で 5 年間で予定して採択された。このプロジェクトでは基礎的研究成果を実用成果に結びつけるとしており、アルゴンヌ国立研究所が中心になって国立研究所と産業界を橋渡しするとしている。全固体電池の開発に関

係するプロジェクトは、AOI 2: Solid State Electrolytes for Lithium Metal の下の Multiple solid electrolyte、Ceramic solid electrolytes、Sulfide solid electrolytes、Composite solid electrolytes、Other solid electrolytes の各 Focus で区分された 17 テーマであり合計予算は約 5,000 万ドルである。硫化物系固体電解質を対象としたテーマは5件であり、Partner として参画している機関には Solid Power 社などがある。

また Li-Bridge では AOI 1: Battery500 Research Consortium として 2017 年から 2021 年まで Pacific Northwest 国立研究所が主導して実施された Battery500 プロジェクトが Battery500 Phase 2 として予算 7,500 万ドルで 5 年間延長された。Battery500 は Li 金属負極を採用して 500Wh/kg と 1,000cyc の寿命を実現することを目指したプロジェクトであり、正極は Ni-rich 系や硫黄系、電解質は液体電解質を中心に検討を進めていたが、2022 年 12 月に技術提案のリクエストとして、Battery500 Solid-State Battery Seedling Projects をアナウンスし固体の Li 金属硫黄電池についての提案を募集した。今後、固体 LiS 電池に検討を拡げる可能性がある。

科学局 (Office of Science, OS) は、Office of Science Programs などのプログラムを通じて研究支援をおこなっており、Basic Energy Sciences (BES) のもとの Energy Innovation Hub において蓄電池関連の支援を実施している。Batteries and Energy Storage Hub program では Argonne 国立研究所が中心となった Joint Center for Energy Storage Research (JCESR) が蓄電池関連の研究に 2013 年から取り組み 2018 年には総額 12,000 万ドルの予算で 5 年間延長されたが 2024 年に終了した。その後、新たに Aqueous Battery Consortium (ABC) と Energy Storage Research Alliance (ESRA) が予算 12,500 万ドル、5 年間予定で立ち上がった。ESRA では金属空気電池や多価反応有機材料に加えて固体電池も検討対象に掲げている。

Energy Earthshots の枠組みの中では局間をまたがるプログラムとして Energy Storage Grand Challenge が設定され 2022 年には Storage Innovations 2030 が開始された。策定された Energy Storage Strategy and Roadmap の中にはリチウムイオン電池技術の新たな技術としてシリコン負極やリチウム金属とならんで固体電解質が記載されている。

また BES プログラムの一環として 2021 年 7 月に公表された「NATIONAL BLUEPRINT FOR LITHIUM BATTERIES」では次世代電池の一つとして全固体電池が挙げられ、2030 年にコバルトとニッケルを使用せずに重量エネルギー密度として 500Wh/kg を目指すとしている。

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。

全固体電池を開発する米スタートアップ企業、Solid Power は Ford Motor (米)、BMW (独) 等から投資を受け硫化物系全固体電池の開発を進めているが、2024 年 1 月、SK On と技術移転契約を締結したと発表している。硫化物系固体電解質を供給し、全固体電池の開発を支援するとしている。

Volkswagen (独) から投資を受けている QuantumScape は、2024 年 1 月、VW 傘下の電池会社 PowerCo が QuantumScape の全固体電池セルの耐久テスト結果を発表し、1,000 回を超える充放電サイクルを完了し、サンプルテストの要件を大幅に上回ったとしている。また、PowerCo と全固体リチウム金属電池技術に関するライセンス契約を締結し、今後、QuantumScape が開発した全固体電池セルを PowerCo が量産するとしている。

マサチューセッツ州に拠点を置く Factorial Energy は、2024 年 12 月、乾式正極コーティングプロセスを採用した 40Ah 全固体電池セルを発表している。ライフサイクル試験の結果、小型のプ

ロタイプはすでに 2,000 サイクル以上を達成していることが実証されているとしている。Factorial Energy に関しては 2024 年 10 月、ステランティスが 2026 年までに Factorial Energy の全固体電池を搭載した新型フルサイズ EV セダンのダッジ「チャージャー デイトナ(Charger Daytona)」のデモフリート車両を展開するとしている。この車両は、Factorial Energy のバッテリー技術を検証し、実走行条件下での性能をテストするために使用されるとしている。

③ EU

EU では欧州研究開発フレームワークの下で広範な研究開発支援が実施されている。2014 年～2020 年に実施された Horizon 2020 は 2021 年～2027 年の予定の Horizon Europe に移行しており、蓄電池関連の多数のプロジェクトが含まれている。

2019 年には低炭素、気候変動対策の未来を構築するとして多分野のプログラムが企画され、蓄電分野においても複数のプログラムが設定された。全固体電池関連は LC-BAT-1-2019 として総額予算 2,500 万ユーロ、期間 4 年間で、電気自動車向け的大幅に改善された高性能、高安全の全固体電池を目的としたプログラムが設定され、SOLiDIFY、SAFELiMOVE、ASTRABAT、SUBLIME の 4 プロジェクトが採択された。いずれも予算は約 780 万ユーロで産学を含む 15 程度の機関が参画しており、SOLiDIFY はナノコンポジット電解質を用いた液相を経由するプロセス、SAFELiMOVE は Ni リッチ正極、Li 金属負極、ハイブリッドセラミックスを用いた固体電池開発、ASTRABAT は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だ。SUBLIME は、FEV EUROPE GMBH が代表機関となり SAFT 社やユミコア社など 19 機関が参画し Ni リッチ正極、Li 金属負極で硫化物系固体電解質を用いた全固体電池開発を実施した。

Horizon 2020 では他に 2021 年から予算 791 万ユーロ、3 年半で実施された「SIMBA」(Sodium-Ion and sodium Metal BAtteries for efficient and sustainable next-generation energy storage)プロジェクトが Na イオン全固体電池、Na 金属全固体電池開発に取り組んだ。また規模は小さいが 10 以上のテーマで高分子固体電解質などの材料開発や界面設計、反応解析などの要素技術開発が実施された。

Horizon Europe でも気候変動対策、エネルギー、移動体の分野で蓄電分野に大規模なプログラムが継続的に企画されており、2021 年には気候変動に対する分野横断的解決法として蓄電分野で 5 つのプログラムが総額 12,700 万ユーロで企画され、固体電池関連では電動車等向けの Li イオン固体電池開発のプログラムが総額 3,600 万ユーロ、期間約 4 年間、固体電池製造法開発のプログラムが総額 2,600 万ユーロ、期間約 4 年間で設定され、それぞれ 5 プロジェクト、3 プロジェクトが採択された。ADVAGERN のハイブリッド固体電解質は LLZO—LPS ベースであり TOYOTA MOTOR EUROPE が参画している。AM4BAT は Ni リッチ正極、LLZO 固体電解質、Li 金属負極の構成であり、SOLiD の固体電解質は高分子系となっている。HELENA プロジェクトは Ni-rich NMC 正極、ハライド固体電解質、Li 金属負極の構成であるが 2024 年 3 月にフルセルを試作したと報告している。PULSELiON は 15 機関が参加し Ni-rich NMC 正極、硫化物系固体電解質、Li 金属負極の構成で電解質層及び Li 金属は真空成膜手法を採用するプロセスの開発をおこない 10Ah のパウチセルを試作するとしている。

表 1.1-3-4 「Horizon Europe」の 2021 年採択プログラムの固体電池関連テーマ

プログラム	予算	参画機関数	検討内容
HELENA	€837 万	17	ハロゲン化物系固体電解質を用いた固体電池
SEATBELT	€825 万	22	資源リスクの低い低コストの固体電池
PSIONIC	€800 万	13	Li 金属負極、高分子固体電解質の固体電池
ADVAGEN	€818 万	14	ハイブリッド固体電解質による固体電池
AM4BAT	€485 万	8	3D プリンティングによる固体電池
PULSELiON	€700 万	15	Li 金属、硫化物系固体電解質。真空成膜
SOLiD	€703 万	13	Role to Role 製法、真空成膜 Li 金属負極
SPINMATE	€698 万	13	Ni リッチ正極、高分子固体電解質、Li 金属

また、2023 年には固体電池の大規模製造を可能とする材料、セル開発のプログラムが予算約 900 万ユーロ弱、期間は 3-4 年間で設定され 3 プログラムが採択された。「SOLVE」プログラムは 4V 級正極、高分子複合電解質、Li 金属負極を用いるもので 20Ah のセルを作製するとしている。「HyList」プログラムは LNMO 正極、複合固体電解質、真空成膜 Li 金属負極を使用する構成で 450Wh/kg が目標となっている。「SOLIDBAT」プログラムは Ni リッチ正極と Li 金属負極であるが電解質はハイブリッドゲル電解質である。

2024 年には解析やパックに関するプログラムが設定され、固体電池関連として先進電池システムと集積法、cell-to-chassis 技術を検討する「ARISE」プロジェクトが予算 536 万ユーロ、期間 3 年半、12 機関で、固体電池の BMS と module-to-chassis 技術を検討する「S4MILE」プロジェクトが予算 500 万ユーロ、期間 3 年半、10 機関でそれぞれ開始された。

他にも 10 以上の固体電池関連テーマが支援されており、全固体 Na 電池や、高分子固体電解質などの材料開発、界面など解析を実施している。比較的規模が大きいプロジェクトでは 2023 年開始の固体電池の高度解析(シンクロトロン)を実施する「OPERA」プロジェクトが予算 442 万ユーロ、期間 3 年間、11 機関。同一プログラムで採択された走行距離 500km、ライフタイム 30 万 km を目指すバッテリーパックを開発する「EXTENDED」プログラムが予算 499 万ユーロ、期間 3 年間、19 機関。水運用途に固体電池を含む蓄電系を開発する「AENEAS」プロジェクトが 2023 年から予算 499 万ユーロ、期間 3 年間、14 機関で実施されている。

「BATTERY 2030」プロジェクトは蓄電関連の先端科学技術の支援をおこなっているが、2019 年の開始から、「Battery 2030+」、「B2030 CSA3」と延長され固体電池の高度解析なども実施している。

Horizon Europe とは別に、民間のバッテリー企業団体 BEPA と欧州委員会の契約によって設立されたパートナーシップ協定である BATT4EU は、2021-2027 の期間で活動しており、Horizon Europe で採択されたプロジェクトなどに対して支援をおこなっている。

④ 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、Justus-Liebig 大学、Karlsruhe 工科大学、Jülich 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・研究機関が参画した。重点研究テーマは、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)で構成された。

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て 1Ah 級の積層セルを開発するとした。

さらに 2021 年、BMBF の「Battery 2020 Transfer」プロジェクトによる資金提供の下、ALANO (Alternative Anode Concepts for Safe Solid State Batteries) プロジェクトが開始された。本プロジェクトは、リチウム金属負極と固体電解質を使用し高安全と高エネルギー密度を指向するもので、BMW、DAIKIN Chemical Europe、VARTA Microbattery などの企業や Helmholtz Ulm 研究所、Fraunhofer 研究所、Münster 大学の MEET バッテリー研究センター等がメンバーとして参加している。

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ようなものがある。

Mercedes-Benz は 2024 年 9 月、Factrial と共同開発した全固体電池 Solstice を発表している。Solstice はより効率的で持続可能な生産を実現する新しい乾式カソード設計を採用しているとしており、硫化物ベースの全固体電解質システムを採用した難燃・低揮発設計となっており最大 450Wh/kg のエネルギー密度が期待されるとしている。

BMW は全固体電池を搭載した車両を 30 年までに発売する計画である。BMW は Solid Power に出資し提携を拡大しパルスドルフ拠点でセル生産プロセスを最適化していくとしている。

VW は 2024 年 7 月、VW 傘下の PowerCo と米国 QuantumScape は次世代固体リチウム金属電池技術を産業化するための契約を締結したと発表している。VW グループと QuantumScape とのバッテリーの共同生産に関する従来の合弁事業を置き換えるものとなり、両社は総力を挙げて QuantumScape の技術の産業化を加速させるとしている。

⑤ 英 国

バッテリー戦略を 2023 年 11 月に発表し設備投資や研究開発に 20 億ポンド以上を投資するとした。これ以前からビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)が 2017 年に開始した「Faraday Battery Challenge」イニシアティブにおいて、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おり、予算総額はその後追加も含めて 541 百万ポンド、当初の 2022 年までの予定が 2025 年まで延長されている。基礎研究には開始時点で 78 百万ポンドの予算が割り当てられており、多くの企業・大学等が参加している。この中には全固体電池を対象とする SOLBAT プロジェクトが含まれており、Oxford 大、Warwick 大学 WMG (Warwick Manufacturing Group)などが参画している。2023 年には研究イノベーション庁(UKRI)が「Faraday Battery Challenge」から支援を受ける 17 の電池プロジェクトを発表した。電池サプライチェーンの構築、電池性能向上、コスト削減、持続可能性強化、高性能電池などのプロジェクトの中には固体電池のシリコン負極を開

発する「HISTORY」プロジェクト、準固体リチウム硫黄電池を開発するプロジェクトなどが含まれている。

また、全固体電池の開発を手掛けるベンチャー企業 Ilika Technologies は、2018 年より「Faraday Battery Challenge」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。2023 年には英国バッテリー工業化センター (UK Battery Industrialization Centre: UKBIC) と提携して自動車変革基金 (Automotive Transformation Fund: ATF) の運営を主導すると発表し、SSB パウチセルの A サンプルを供給する 1.5MWh のラインを構築するとしている。またバッテリー材料メーカー Nexeon および BMW と提携し、「HISTORY」において電気自動車 (EV) 向けのシリコンベースの固体電池 (SSB) を開発すると発表している。ファラデー・バッテリー・チャレンジから 280 万ポンド (約 4 億 5 千万円) の助成金を受けセントアンドリュース大学、ロンドン大学、インペリアル・カレッジも参加している。

⑥ 中国

第 14 次 5 ヶ年計画 (2021 年～2025 年) の中の「新型エネルギー貯蔵発展の実施方案」では蓄電池もコア技術として位置づけられ、固体リチウムイオン電池等の次世代高エネルギー密度のエネルギー貯蔵技術の研究開発を行うとしている。車載向け蓄電池では 2020 年 10 月に中国自動車工学学会が発表した「省エネルギー・新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0」において新体系電池として全固体 LIB が挙げられている。

2023 年 2 月に国家自然科学基金委員会 (NSFC) が発表した「重大研究計画『従来の水準を超越した電池システム』2024 年度プロジェクトガイドラインの発表に関する通告」では中国における次世代電池の革新と発展を科学の面から支える旨が指摘され、高比エネルギー・長寿命・高安全性の全固体電池が対象に含まれている。

2024 年 1 月に設立された中国全固体電池産学研 (企業・大学・研究機関) 協働革新プラットフォーム (CASIP: China All-Solid-State Battery Collaborative Innovation Platform) では全固体電池の商業化、量産化の実現、サプライチェーンを構築目標に全固体電池の研究開発に対する強力な支援を表明している。2025 年 2 月の第 2 回中国全固体電池開発サミットフォーラムでは 2025 年～2027 年に高 Ni 正極+黒鉛/低容量 Si 負極の硫化物系全固体電池でエネルギー密度目標: 200～300Wh/kg、2027 年～2030 年に高 Ni 正極+高容量 Si 負極の硫化物系全固体電池でエネルギー密度目標: 400Wh/kg、800Wh/L、2030 年以降は高電圧・高容量正極 (高ニッケル、高リチウム、硫黄など) + 金属 Li 極+複合電解質 (硫化物系電解質+補助電解質) でエネルギー密度目標 500Wh/kg、1,000Wh/L などの開発方向性が提示された。

2024 年 5 月には政府が主導し CATL など主要 6 社 (CATL、BYD、第一汽車、上海汽車、吉利汽車、北京衛藍新能源科技) を対象とする総投資額 60 億元で複数の全固体電池開発プロジェクトが開始されると報道された。さらに中国工程院は 2023 年 9 月に常州市で硫化物系の全固体電解質生産拠点/量産プロジェクトを開始すると発表した。固体電解質材料の量産を実施し硫化物系固体電解質および全固体電池セルを上市して 2030 年までに全固体電池の生産工場を建設する予定としている。

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 は全固体電池については 2027 年頃に大規模な搭載車両の実証応用が開始され、本格的な大規模応用は 2030 年以降になると予測している。長期的視点でみると全固体電池と液体電

池の価格はほぼ同じ水準になり得るとしている。

CATL は独自の固体電池「凝縮電池」や硫化物系および高分子系全固体電池の開発に取り組んでいる。全固体電池について研究開発と大量生産に注力すると表明しており 2027 年に少量生産を実現する見込みとしている。

上海汽車は 2024 年 5 月に全固体電池の量産を 2026 年に始める計画を公表し 27 年に発売する車両に搭載するとしている。液体の含有率を段階的に引き下げ 2026 年では全固体となる計画である。エネルギー密度は 400Wh/kg を超える水準で従来型電池の倍としている。

広州汽車は全固体電池の量産を 2026 年から開始すると発表した。スポンジシリコン負極を使用して、エネルギー密度は約 400Wh/kg としている。

吉利汽車が自主開発した全固体電池セルは酸化物系固体電解質+ポリマー系でエネルギー密度は 400Wh/kg に達したとしている。また自動車の発売と量産を実現する最初のものになると報告されている。吉利汽車は、政府の基礎研究開発支援を受けた 6 社のうちの 1 社である。

⑦ 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。2021 年 7 月に発表された K-バッテリー発展戦略では、次世代二次電池の早期商用化に向けて高性能化、安全性の向上を目指すとしている。その中で全固体電池を 2027 年までに商用化し、電極素材、固体電解質など必要な要素技術の開発のため、次世代バッテリーパークを設置し、集中的に支援するとしている。2023 年 7 月には大手電池 3 社 (LGES、Samsung SDI、SK On) を中心とした「次世代電池官民協議会」が発足し全固体電池、Li 金属電池、Li-S 電池を主な支援対象に挙げている。2024 年 3 月には、全固体電池、Li 金属電池、Li-S 電池などの次世代電池の技術開発に対して、2028 年までの 5 年間で約 1,172 億 KRW を支援することを発表した。

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。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 0.6Ah 級セルで、体積エネルギー密度 900Wh/L を実証した。Samsung SDI は 2023 年には社内に全固体電池事業の研究開発チームを新設し、全固体電池事業の発展を積極的に推進するために「ASB (All Solid Battery) 事業化推進チーム」を新設したとしている。2024 年 8 月には EV 向けの新しい固体酸化物電池を発表した。エネルギー密度は 500kW/kg で自動車メーカーと連携し、2027 年から量産開始予定としている。

現代自動車は、2030 年から主要電気自動車モデルに全固体電池を適用する方針としている。同社は Solid Power 社や Ionic Material 社、に出資し Factorial Energy とは電気自動車 (EV) 向け全固体電池の共同開発契約を交わしている。

SK On は硫化物系、酸化物系－高分子複合系の検討を進めており、大田市にある同社の研究センターに建設中の固体電池パイロット施設は 2025 年下半期の完成予定としている。硫化物系ではソウル大学との共同研究による正極からの酸素の放出を抑制する特別なコーティング材料、酸化物系では韓国セラミック技術研究院のグループとの共同研究による無機・有機複合ハイブリッド固体電解質の製造における超高速光焼結技術などを発表している。

POSCO Holdings と固体電解質技術を保有する Jeong Kwan との合弁会社 POSCO JK Solid Solution は年産 24 トンの固体電解質工場を着工したと 2022 年 2 月に発表している。

Lotte Energy Materials は、硫化物系固体電解質製造の年間 70t の生産能力を持つパイロットプラントを完成させ、評価用サンプルを国内外の電池メーカーに提供する計画である。乾式・湿式合成法でコスト効率の高い大量生産プロセスを確立しており、2027 年までに年間 1,200t の量産を目指している。

Isu Chemical は、産業通商資源部が主管するプロジェクト「リチウムベース次世代二次電池の性能高度化および製造技術開発事業」に参画した。2021 年から 5 年間、300 億ウォンの予算でリチウム硫黄電池、全固体電池、リチウム金属電池などの商用化を目指すプロジェクトでは Isu Chemical は、硫化物系全固体電池の電解質の開発を行う計画になっている。

(4) 全固体電池の論文発表動向

特許庁が 2024 年 3 月に報告した「令和5年度 特許出願技術動向調査報告書 ―全固体電池― 報告書 I」から引用した 2013 年～2022 年の過去 10 年間における全固体電池の論文発表件数の推移を図 1.1-3-1 に、論文の著者所属機関国籍別の発表件数の割合を図 1.1.3-2 に示す。中国からの発表が 2017 年以降急激に伸びており増加傾向は続いている。日本、欧州、韓国も 2017 年以降増加傾向であるが微増であり、米国は同レベルに留まる。累積の論文発表件数比率で見ると、中国が最多で欧州、米国がこれに続き、日本は第 4 番手に位置している。

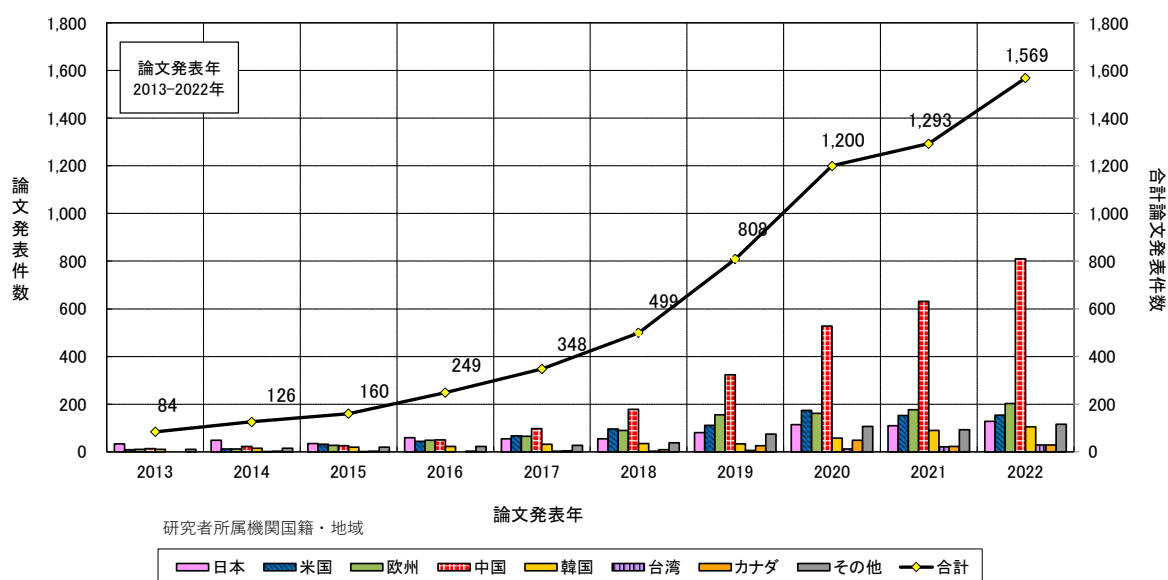


図 1.1-3-1 全固体電池の研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数推移
(論文発表年:2013～2022 年)

出典:特許庁「令和5年度 特許技術動向調査報告書 ―全固体電池―」より引用

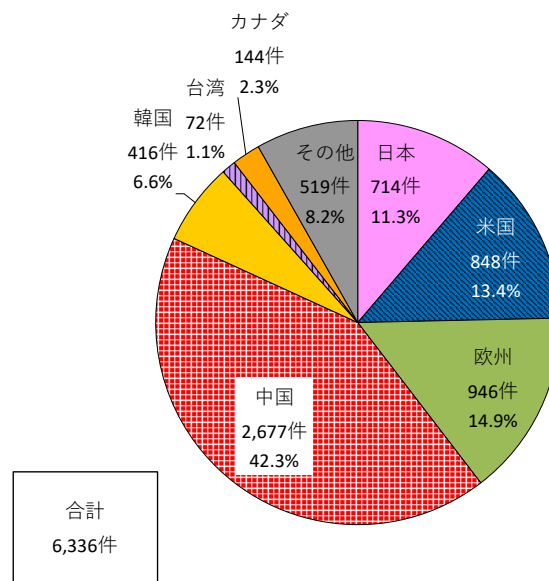


図 1.1-3-2 全固体電池の研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数比率
(論文発表年:2013～2022 年)

出典:特許庁「令和5年度 特許技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

特許庁が 2024 年 3 月に報告した「令和5年度 特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー 報告書 I」から引用した 2013 年～2022 年の過去 10 年間における技術区分「固体電解質材料の主な材料」について、技術区分「固体電解質材料の主な材料」別ー研究者所属機関国籍・地域別論文発表件数を図 1.1-3-3 に示す。

その他を除いて比較すると、日本籍は、「酸化物系」と「硫化物系」の件数が多い。中国籍は「高分子材料系」、「酸化物系」が多く「硫化物系」は日本と同程度である。米国籍・欧州籍は「酸化物系」の件数が最も多く、次に「高分子材料系」であり「硫化物系」は日本、中国の半分程度である。韓国籍は「硫化物系」、「酸化物系」、「高分子材料系」の件数が 80～90 件台で同程度となっている。全体の件数が多い中国はいずれの技術区分も活発に研究されていると言えるが、各国内での比率で見ると日本は「酸化物系」と「硫化物系」、中国は「高分子材料系」、「酸化物系」、欧州、米国は「酸化物系」、「高分子材料系」の研究が主流となっている。

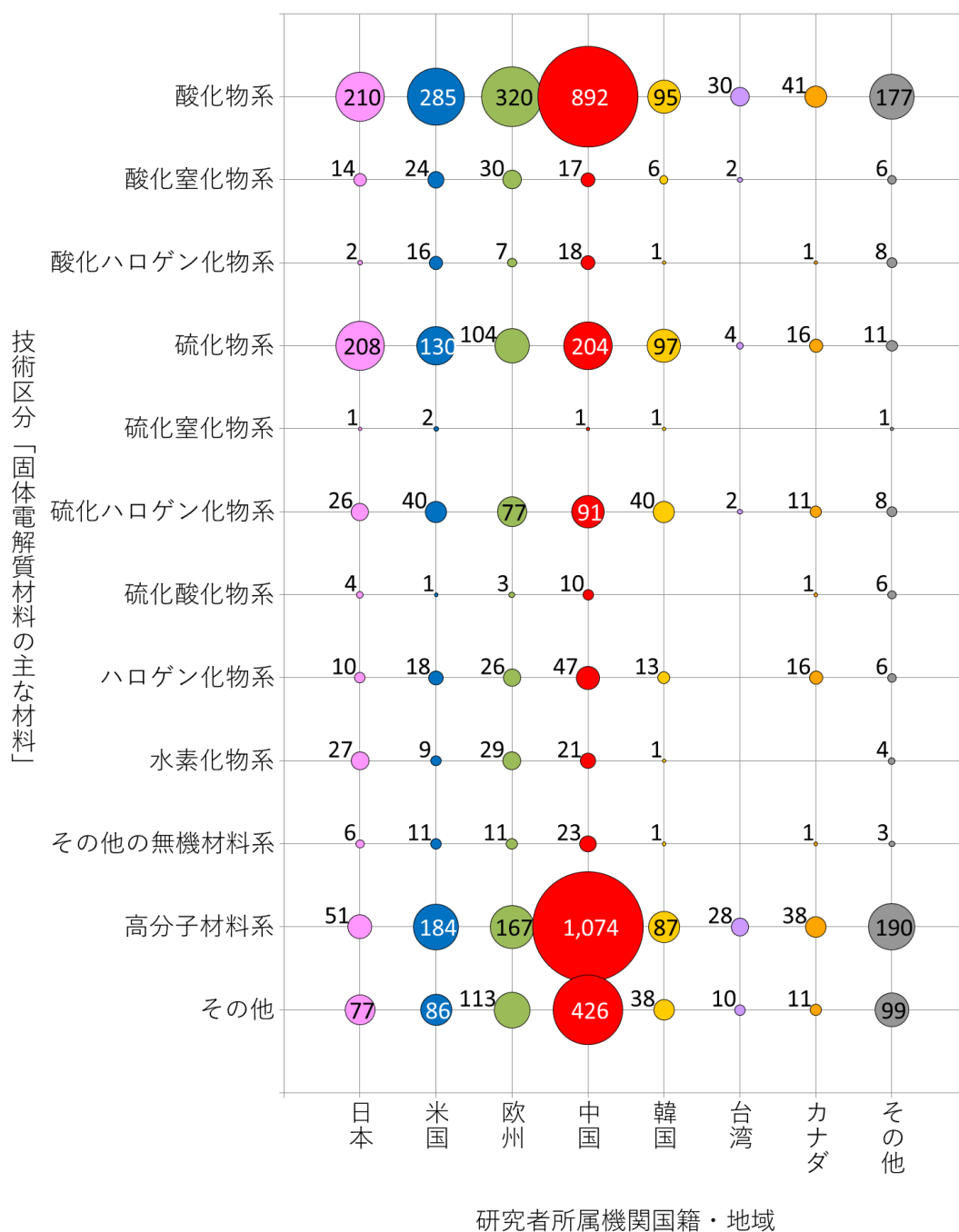


図 1.1-3-3 技術区分「固体電解質材料の主な材料」別—研究者所属機関国籍・地域別論文
発表件数

(論文発表年:2013～2022 年)

出典:特許庁「令和5年度 特許技術動向調査報告書 —全固体電池—」より引用

(5) 全固体電池の特許動向

特許庁が2024年3月に報告した、調査対象期間を出願年(優先権主張年)2013～2021年とした「令和5年度 特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー 報告書Ⅰ」に記載の図表より、全固体電池の特許動向は以下の通りである。

出願先国別、出願年別の件数推移を示す以下の図 1.1-3-4 を見ると、合計出願件数の推移は2015年以降増加傾向となっている。個別の出願先国・地域別の出願件数推移はすべて増加傾向であるが、中国への出願件数の増加量が最も大きい。2016年までは日本への出願が最も多かったが、2017年からは中国への出願が最も多くなったことが判る。

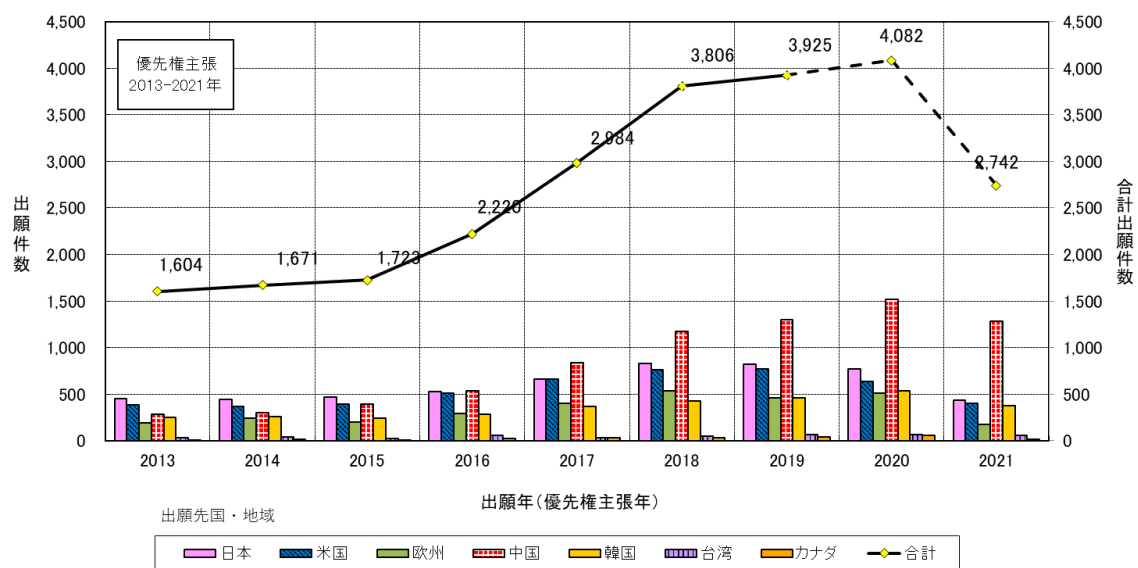


図 1.1-3-4 出願先国・地域別出願件数推移

(日米欧中韓台加への出願、出願年(優先権主張年):2013～2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

2013～2021 年の期間での日米欧中韓台加それぞれへの出願先国・地域別件数及び出願件数比率を示す以下の図 1.1-3-5 から、出願先国・地域別の件数比率では、中国への出願が30.8%、日本への出願が21.8%、米国への出願が19.7%、韓国への出願が12.9%、欧州への出願が12.2%、台湾への出願が1.7%、カナダへの出願が0.9%であった。

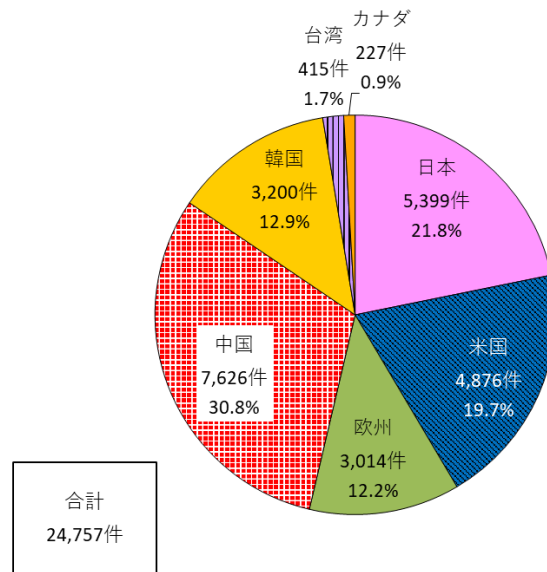


図 1.1-3-5 出願先国・地域別出願件数比率

(日米欧中韓台加への出願、出願年(優先権主張年):2013~2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

また出願人国別の件数推移を示す以下の図 1.1-3-6 では、2020 年まで日本からの出願が最も多かったが、2021 年に中国に逆転されてしまったことが判る。

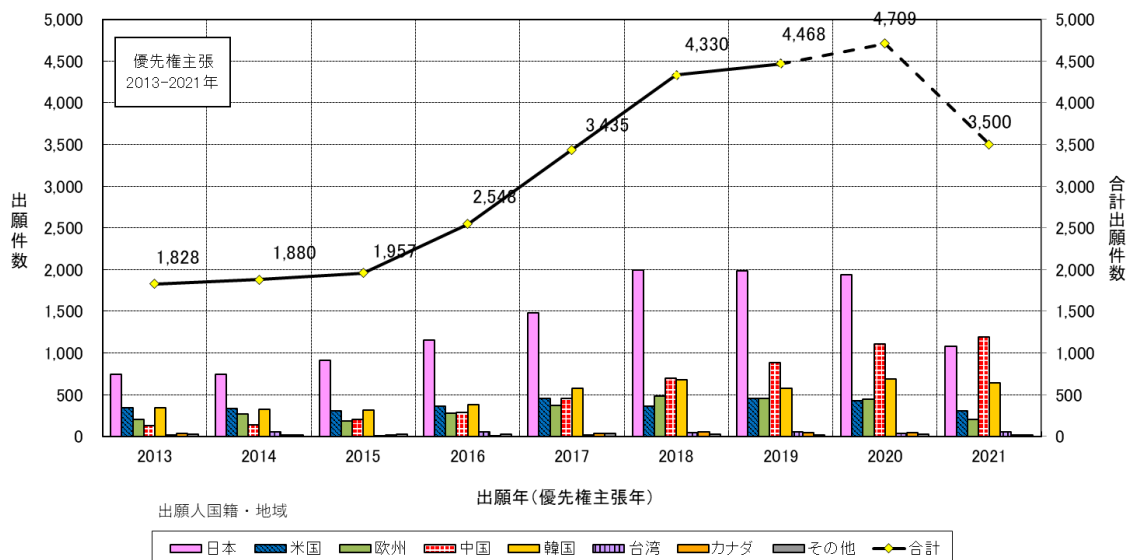


図 1.1-3-6 出願人国籍・地域別出願件数推移

(日米欧中韓台加への出願、出願年(優先権主張年):2013~2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

一方、2013～2021 年の期間での日米欧中韓台加それぞれからの出願人国籍・地域別件数及び出願件数比率を示す以下の図 1.1-3-7 から、いまだ累積出願件数では日本からの出願が最も多く、先行していることが判る。

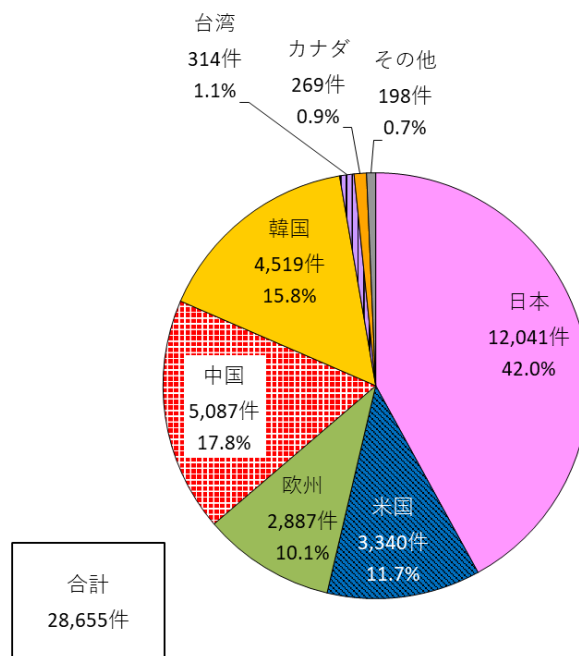


図 1.1-3-7 出願人国籍・地域別出願件数比率

(日米欧中韓台加への出願、出願年(優先権主張年):2013～2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ―全固体電池―」より引用

以下の出願国と出願人の国籍の対応をプロットした以下の図 1.1-3-8 では、中国からの出願は自国内に偏っており、日本からは各国へ広く出願されている点で大きく異なることが判る。

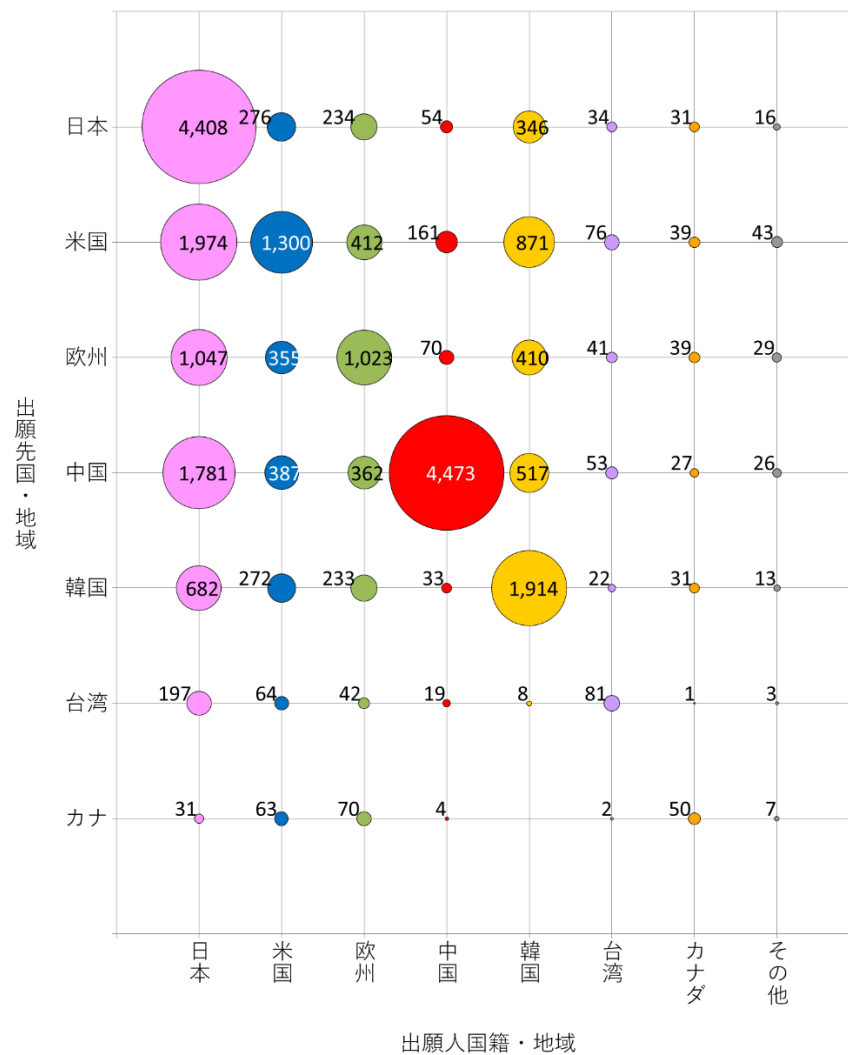


図 1.1-3-8 出願先国・地域別一出願人国籍・地域別出願件数
 (日米欧中韓台加への出願、出願年(優先権主張年):2013~2021 年)
 出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

以下の表 1.1-3-5 に示す出願件数上位出願人ランキングからは、上位 20 件中 13 が日本企業の出願人であり、我が国の優位性を維持していることが判る。

表 1.1-3-5 パテントファミリー件数上位出願人ランキング

(日米欧中韓台 WO への出願、出願年(優先権主張年):2013~2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

全体への出願				
順位	出願人	国籍・地域	属性	件数
1	トヨタ自動車	日本	企業	950
2	パナソニック	日本	企業	507
3	サムスングループ	韓国	企業	485
4	LGグループ	韓国	企業	430
5	中国科学院	中国	研究機関	370
6	現代自動車	韓国	企業	193
7	ボッシュ	欧州	企業	190
8	富士フイルム	日本	企業	189
9	村田製作所	日本	企業	177
10	本田技研工業	日本	企業	138
11	TDK	日本	企業	131
12	レゾナック	日本	企業	130
13	出光興産	日本	企業	127
14	セイコーエプソン	日本	企業	109
15	日産自動車	日本	企業	100
16	北京威蘭新能源科技	中国	企業	97
17	日本ガイシ	日本	企業	94
18	ポスコ	韓国	企業	91
19	古河機械金属	日本	企業	90
20	三井金属鉱業	日本	企業	88

固体電池におけるキーマテリアルである固体電解質について、材料の種類と出願人国籍・地域別にまとめた以下の図 1.1-3-9 から、中国の出願人は主に高分子固体電解質、次いで酸化物固体電解質の開発に注力しており、日本の出願人は硫化物系に注力している点で大きく異なることが判る。

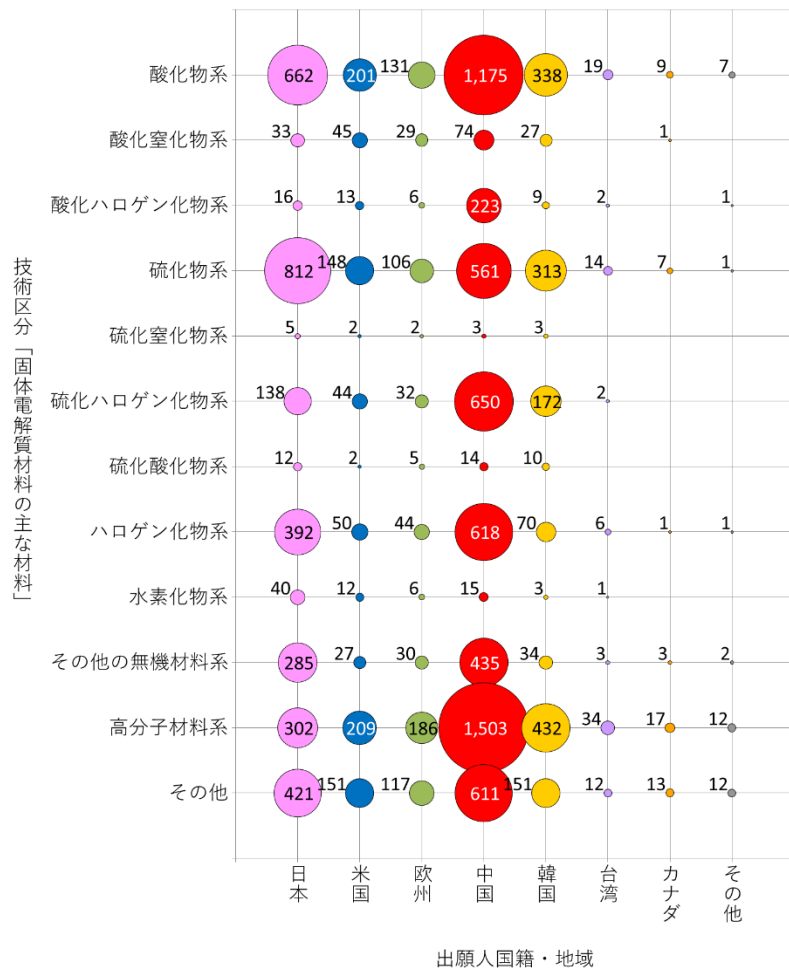


図 1.1-3-9 技術区分「固体電解質材料の主な材料」別

ー出願人国籍・地域別パテントファミリー件数

(日米欧中韓台加 WO への出願、出願年(優先権主張年):2013~2021 年)

出典:特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

改めて以下、表 1.1-3-6 に示す固体電解質材料に関する出願人別ランキングを見ると、中国の出願人はアカデミアが中心であり、産業としては日本の競争力に優位性があることが判る。

表 1.1-3-6 パテントファミリー件数上位出願人ランキング

(「固体電解質材料の主な材料」、日米欧中韓台加 WO への出願、出願年(優先権主張年): 2013～2021 年) 出典: 特許庁 令和5年度「特許出願技術動向調査報告書 ー全固体電池ー」より引用

固体電解質材料の主な材料への出願				
順位	出願人	国籍・地域	属性	件数
1	中国科学院	中国	研究機関	312
1	サムスングループ	韓国	企業	312
3	パナソニック	日本	企業	254
4	LGグループ	韓国	企業	239
5	トヨタ自動車	日本	企業	211
6	富士フイルム	日本	企業	158
7	出光興産	日本	企業	103
8	北京威蘭新能源科技	中国	企業	83
9	レゾナック	日本	企業	81
10	ボッシュ	欧州	企業	79
11	中南大学	中国	大学	65
12	村田製作所	日本	企業	63
12	古河機械金属	日本	企業	63
12	三井金属鉱業	日本	企業	63
15	珠海冠宇電池	中国	企業	61
15	韓国生産技術研究院	韓国	研究機関	61
17	日本ガイシ	日本	企業	52
18	TDK	日本	企業	51
19	AGC	日本	企業	49
20	セイコーエプソン	日本	企業	47
20	日立製作所	日本	企業	47

これら全固体電池に関する特許出願動向から読み取れることをまとめると、全固体電池の技術開発は近年、中国勢が活発に取り組んでおり出願数が急増しているものの、我が国における研究開発の歴史は古く、蓄積された知見、権利の数ではいまだ優位性を維持しており、一日の長があると俯瞰できる。

詳細を見ると、中国での研究開発の主体はアカデミアである傾向がみられ、注力している固体電解質が高分子材料系および酸化物系である点が特徴的であった。また出願先が中国国内に留まる傾向があり、中国における全固体電池の研究開発は、いまだ社会実装からは遠いステージにあると見ることができる。

一方、我が国での全固体電池の研究開発は電池メーカー、材料メーカーのみならず自動車メーカーからもまとまった数の出願があるなど産業側にも展開されていることに特徴がある。また国内出願に留まらず積極的に海外出願をしていることからグローバルな展開を意図していることが解り、より社会実装に近いステージにあり、国際的な産業競争力の観点で優位にあると考えられる。

特に硫化物系固体電解質を用いた全固体電池の開発において、いまだ優位性を維持していると言える。

1.1-4 政策的な重要性

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、自動車からの CO₂ 排出の大幅な削減が世界的に求められている中、電動車の普及拡大とそれによる蓄電池市場の急速な拡大が予想される。蓄電池産業ならびに蓄電池素材産業は、関連する技術分野が多岐にわたる我が国の基幹産業であり、競争力の強化と将来にわたる継続的研究開発の促進が必要である。以上を背景に、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・重要性が指摘されている。

(1) 関連する上位施策

① 「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)

電動車の普及拡大に向け、取り組むべきテーマの一つに、全固体 LIB を含む高性能蓄電池の技術開発が選定されている。また、この高性能蓄電池の技術開発に際しては、基礎基盤研究を進めつつ、大学・ベンチャー等の知識を取り込みながら、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、電池特性に係る基礎的課題の解明のための拠点を設置し、次世代モビリティ用途も含め、電池設計から電極や電解質等の材料開発、電池作製・評価解析までを一気通貫で行う体制を整備するとの方針も示されている。

② 2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(2021 年 6 月経済産業省改定)

2035 年までに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう、包括的な措置を講じるとしている。商用車については、8 トン以下の小型の車について、2030 年までに新車販売で電動車 20~30%、2040 年までに、新車販売で電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて 100%を目指し、車両の導入やインフラ整備の促進等の包括的な措置を講じるとしている。また、2030 年までのできるだけ早期に、電気自動車(Electric Vehicle、以下「EV」と記載する。)とガソリン車の経済性が同等となる車載用の電池パック価格 1 万円/kWh 以下を目指すとしている。技術開発で日本が世界をリードする全固体 LIB は、その安全性と高い性能から EV の普及実現には欠かせない蓄電デバイスとして位置付けられ、2030 年以降の本格実用化を目指すことが示されている。

③ 第7次エネルギー基本計画(2025 年 2 月閣議決定)

運輸部門の CO₂ 排出量の 86%(2022 年度時点)を占める自動車分野のカーボンニュートラル化に向け、多様な選択肢を追求し、2050 年に自動車のライフサイクルを通じた CO₂ ゼロを目指す。特に乗用車については、2035 年までに新車販売で電動車 100%の実現を目指す。このため電動車の導入促進や、2030 年に 30 万口を目標とする充電インフラ整備の促進等の包括的な措置を講じる。電動化に必要な蓄電池については、遅くとも 2030 年までに国内製造基盤 150GWh/年の確立を目指して、蓄電池・部素材・製造装置の製造基盤の国内立地・技術開発への支援等を進めていく。また、車載用蓄電池のリユースや車両からの給電設備の整備を促進し、再生可能エネルギーの有効利用に貢献するとしている。

また、蓄電池産業としては、蓄電池は、モビリティの電動化や再生可能エネルギーの導入拡大等、2050 年カーボンニュートラルを実現するために不可欠であり、我が国が世界の蓄電池のサプライチェーンにおける中核を占めるようになっていくことが重要である。経済安全保障の観点から求められる、国内における蓄電池・部素材・製造装置の製造基盤の確立・強化に加えて、グロー

バル市場において日本の蓄電池関連の生産及び技術がプレゼンスを発揮し、競争力を強化するための取組を進める。特定国への依存脱却を含めたグローバルのサプライチェーン強靱化、次世代電池の技術開発等の市場獲得、人材の育成・確保に向けた取組を推進する。また、蓄電池のリユース・リサイクルシステムの確立・本格運用も通して資源循環及びレアメタル等の資源確保を目指すとしている。

④ 蓄電池産業戦略(2022年8月蓄電池産業戦略検討官民協議会策定)

蓄電池に対する産業戦略として、上流資源の確保を含めた液系 LIB の国内製造基盤を確立(遅くとも2030年までに蓄電池・材料の国内製造基盤150GWh/年を確立)するとともに、国内で確立した技術をベースに国内企業が競争力を維持・強化できるよう、海外展開を戦略的に展開し、グローバルプレゼンスを確保(グローバル市場において、2030年に、我が国企業が製造能力600GWh/年を確保)していくこと、全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化するために技術開発を加速し次世代電池市場を着実に獲得することが今後の方向性として掲げられている。次世代電池については、研究開発能力目標として全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化し製造技術の優位性・不可欠性を確保するため、産学官の研究開発力を結集し、2030年頃に全固体電池の本格実用化、2030年以降も我が国が技術リーダーの地位を維持・確保することを目標とするとしている。この蓄電池産業戦略に基づき、具体的な施策や取組を進めるため、2023年9月に蓄電池産業戦略推進会議が設置されて議論が行われており、2025年1月開催の第3回では全固体電池開発への取組が主要な議題の一つとして取り上げられ議論された。

⑤ 産業構造審議会 経済産業政策新機軸部会(2024年6月第3次中間整理)

産業構造審議会では、「経済産業政策の新機軸」と称して、世界的潮流も踏まえた産業政策の強化策の検討を実施している。第3次中間整理においては、これまでと異なるアプローチが求められる世界的な構造変化があることを明らかにした上で、新機軸の政策の延長線上で、十分に実現可能な、一つの将来見通し(シナリオ)を策定することを目指しており、蓄電池に関しては個別産業として取り上げられている。その中で、全固体電池については、世界全体の供給構造の変化として、「研究開発により実用化され、供給が進む」とされ、日本の事業構造の変化として、「全固体電池は技術優位な製品であるため、経済安全保障の観点から、機微技術の流出を防ぎつつ、国際市場において高い付加価値を獲得する。」とされている。その上で、今後検討が必要となる施策として、蓄電池産業については、「次世代電池の継続的な技術開発、次世代電池市場の獲得に向けた取組の推進」が上げられている。

1.1-5 NEDO の全固体 LIB 開発

図 1.1-5-1 に、NEDO における本事業の全固体 LIB 開発上の位置づけを示す。全固体 LIB について、GI 基金事業では、電池・材料開発及び製造プロセス開発に取り組み、先行者利益を獲得すべく、2030 年までの早期実用化を目指している。一方、本事業は、2030 年以降の全固体 LIB 本格導入期に新材料を提供し、EV 市場で日本企業のプレゼンスの維持・向上に貢献を目指している。本事業を通じて、耐久性の課題を根本から解決するとともに、新材料を常に生み出し続けるエコシステムを創出する。

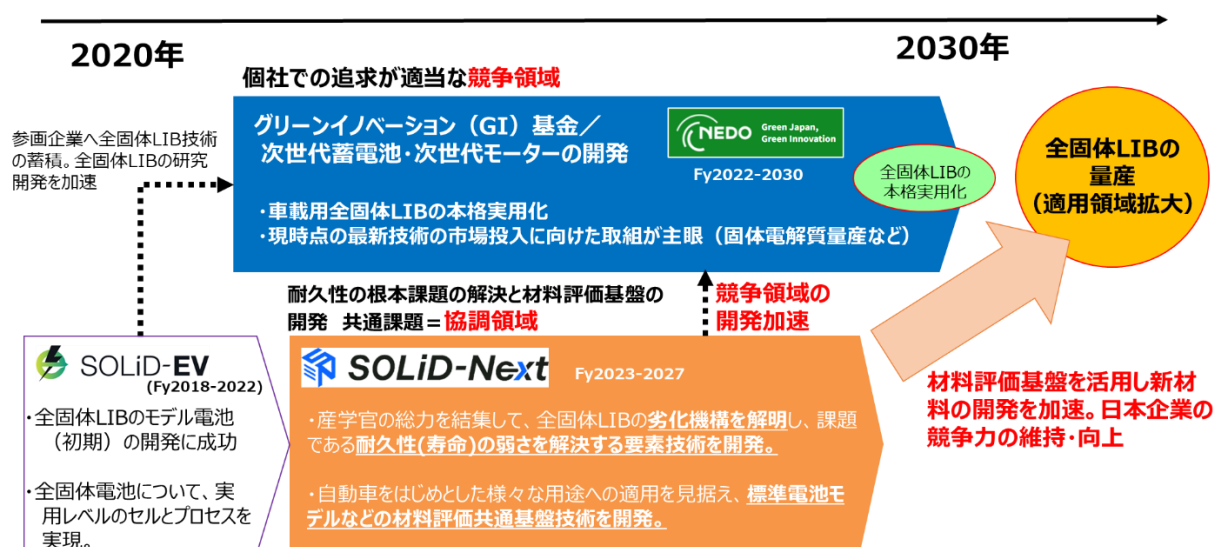
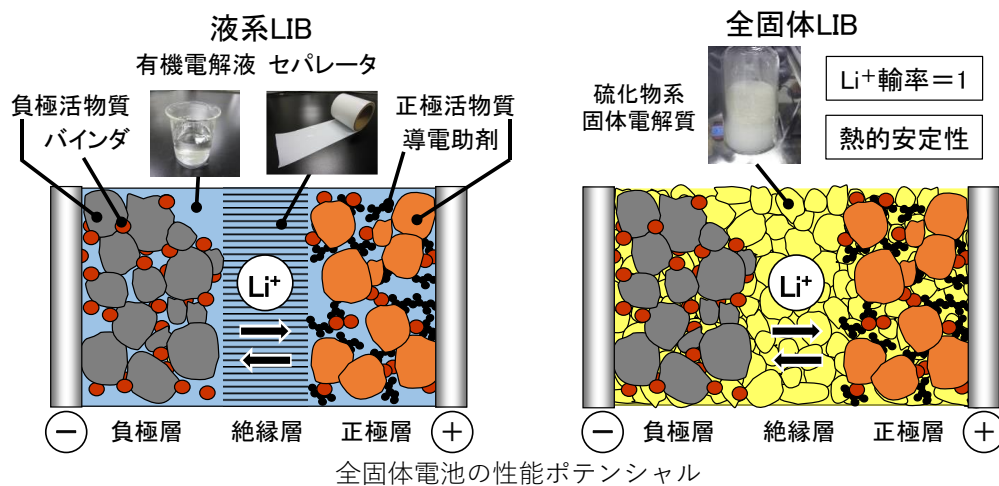


図 1.1-5-1 NEDO における本事業の全固体 LIB 開発上の位置づけ

1.1-6 本事業での開発対象

(1) 全固体 LIB の特徴

液系 LIB と全固体 LIB の構成の模式図を図 1.1-6-1 に示す。液系 LIB が電解質として液体の有機電解液を用いるのに対し全固体 LIB は固体電解質を使用する。熱的安定性、電気化学的安定性、不揮発性や Li イオン輸率等に特徴を有する固体電解質を用いた全固体 LIB は、電池パックの安全・冷却系の簡素化による体積エネルギー密度の向上、急速充電の実現などが見込める電池である。正極、負極に使用される活物質は同様のものが使用可能であるが、液中への溶出が無いことや電気化学的安定性が高いことから、液系 LIB では使用できなかった活物質や電位領域が利用できる可能性もある。一方で、構成成分がすべて固体であることから、製造方法は全く同じにはならない。有機電解液は流動性から予め形成された正極層、負極層や絶縁層多孔体への含浸により電解質形成が可能であるのに対し、固体電解質では製法、構成を工夫しないと空隙の無い層の形成ができない。また、有機電解液であれば均質性、形状可変性から液中のイオン移動、活物質表面への接触は確保されるが、固体電解質では、固体粒子間の接触をマイクロ、マクロレベルで十分に確保しないとイオンの移動が阻害される。



	液系LIB	全固体電池	メリット
イオン伝導度	$1.0 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$	$2.5 \times 10^{-2} \text{ S/cm}^{(1)}$	充電時間短縮
燃焼性	可燃性液体	難燃性固体	安全性向上
分解温度	80℃以上	200℃以上	冷却機構削減

(1) Y. Kato et al., *Nature Energy*, **1**, 16030(2016).

図 1.1-6-1 液系 LIB との比較による全固体 LIB の特徴

(2) 全固体 LIB の課題

全固体 LIB では固体電解質に由来する利点があるが、固体であるための課題も存在する。全固体 LIB の技術課題を図 1.1-6-2 に示す。本質的な技術課題として、固体電解質間や活物質との界面(固固界面)形成とその維持が挙げられる。マクロレベルでは固体電解質を空隙なく緻密に充填すること、ミクロレベルでは固体と固体の接触界面においてイオンが円滑に移動できる原子レベルの構造を形成すること、それに加えて活物質と電解質の界面では電気化学的な安定性を確保する必要がある。また液体と異なり、割れや剥離といった現象が生じうるため、それらの発生機構と対策も必要である。性能面の技術課題としては、LIB と共通するものであるが、容量向上、充放電速度向上、サイクル特性向上等が挙げられ、これらについて固体電解質を用いた構成で実現する必要がある。挙げられた課題解決に向けては、イオン伝導性などの性能が向上した固体電解質をはじめ、全固体 LIB 向けにカスタマイズされた正極・負極材料等、さらなる開発が不可欠である。

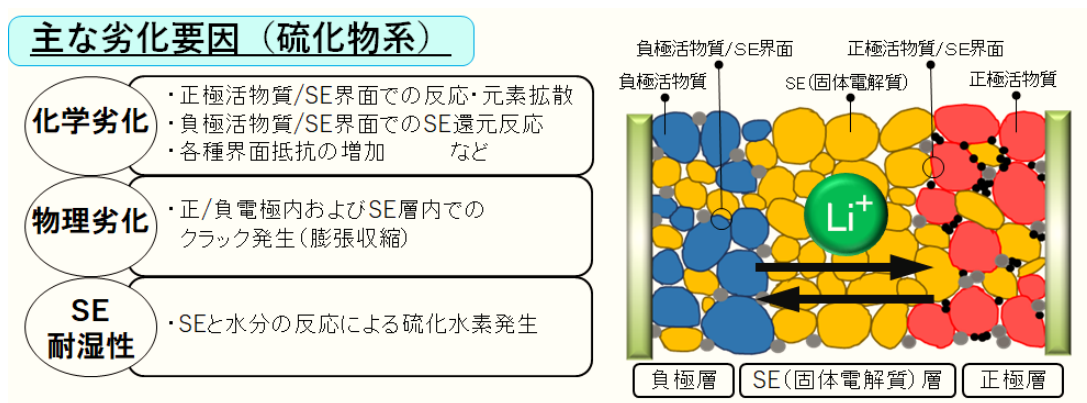


図 1.1-6-2 全固体 LIB が直面する技術課題

(3) 開発対象

2030 年以降の全固体 LIB 本格導入期に新材料を提供し、EV 市場において日本企業のプレゼンスの維持・向上に貢献するため、本事業では、下記の研究開発を実施する。

研究開発項目「次世代全固体 LIB 基盤技術開発」

① 材料評価基盤技術開発

標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。

② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明

サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。

③ 電極・セル要素技術開発

次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。

1.2 アウトカム達成までの道筋

1.2-1 社会実装に向けた道筋

本事業は、プロジェクト終了後 5 年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、実用化まで達することを目指す基礎的・基盤的研究開発である。図 1.2-1-1 に、2040 年アウトカム達成に向けた本事業の成果の社会実装への道筋を示す。

本事業成果の主体は、標準電池モデルを始めとする全固体蓄電池材料の材料評価技術である。開発された技術を活用して、材料開発が促進され、2030 年以降の全固体 LIB 本格導入期に材料メーカーが新材料を提供し、EV 市場で日本企業のプレゼンスの維持・向上に貢献する。

また、固固界面課題の解決につながる成果や、本事業で蓄積される材料・電池の試験・評価データについては、材料評価技術への活用以外にも、GI 基金事業をはじめとする個社の全固体 LIB の開発や全固体 LIB パックの商品設計等に活用される。さらに、本事業で得られる試験・評価データは、国内審議団体・業界団体に提供されることで、車載用蓄電池の規格・標準化活動の推進にも貢献する。

なお、2040 年のアウトカム達成までには、不確定要素が多数存在し、見通しが難しい。そのため第 2 章では、本事業終了後、産業界やアカデミアに対し、着実に成果を活用して貰うための取組や工夫等について記載した。

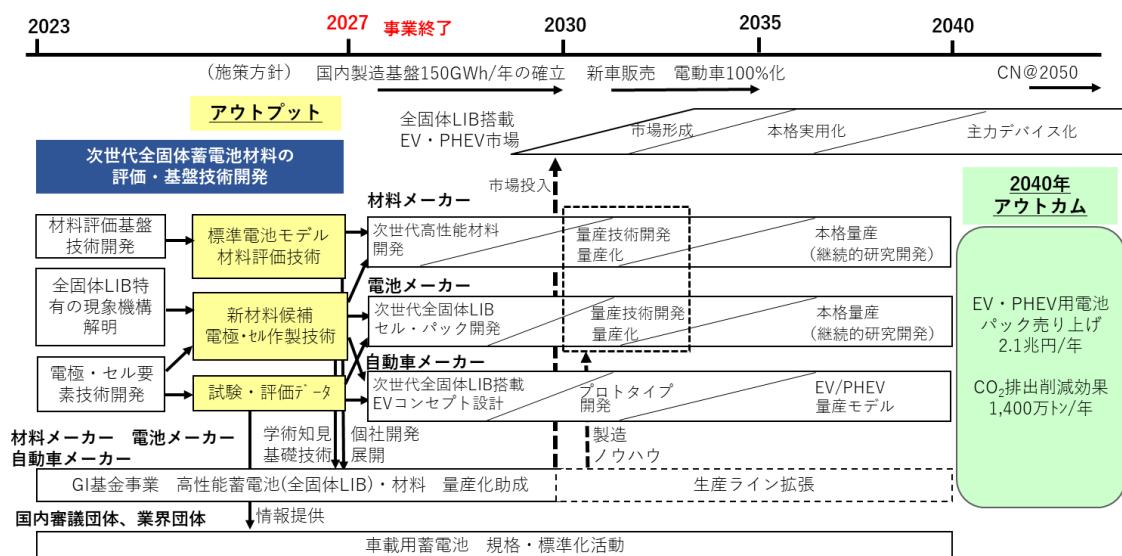


図 1.2-1-1 アウトカム達成までの道筋

1.3 知的財産・標準化戦略

1.3-1 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。現状、車載用の製品として事業化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。ただし、技術によっては、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・定着させるべきものが生じる可能性もある。この場合は、積極的に対外的に働きかけ、普及を試みる。

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。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权主張の準備も行う。

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。

1.3-2 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」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、データの取扱いを定めた合意書、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、秘密情報の区分を設けて、適切に管理している。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。

1.3-3 標準化戦略

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発揮しており、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、ユーザーに強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。

全固体 LIB の試験評価法に係る国際標準化の迅速・円滑な推進に向け、前身事業である SOLiD-EV から引き続き、本事業においても国内の標準化関係者と定期的に会合を実施している。ただし、当面求められる標準化に関連した研究開発については、SOLiD-EV にて既に実施しており、本事業では、標準化活動を進める中で必要なデータや試験用電池の提供等、業界に対して適切なサポートを行っている。

2 章 目標及び達成状況

2.1 アウトカム目標と達成見込み

2.1-1 アウトカム目標の設定及び根拠

本事業は、将来の全固体 LIB への適用につながる新規材料評価用の電池や材料評価の方法等、共通基盤技術の開発を実施している。本項では、事業開始時に設定したアウトカム目標の考え方について記載する。

(1) 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、本田技研工業の電動車の 2035 年までのセールスミックスにつき、民間の市場予測事例の一つを図 2.1-1-1 に示す。2035 年の EV・PHEV の世界生産台数(3 社合計)は、EV が約 560 万台、PHEV が約 190 万台と予測されている(注 1)。この EV・PHEV の世界生産台数が、上記予測による 2030～2035 年の年率と同じ年率で 2040 年まで増加すると仮定した場合、2040 年で EV が約 940 万台、PHEV が約 290 万台と試算される。

これら EV・PHEV への全固体 LIB の搭載が 2028 年に開始され、液系 LIB を含む総台数に対する割合を 2040 年に 35%(EV が約 330 万台、PHEV が約 102 万台)と仮定し(注 2)、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 2040 年で 2.1 兆円/年となる。なお、EV・PHEV の車両価格を 200 万円とした場合、その年間総売上としての経済効果は 2040 年で約 8.6 兆円/年となる。

(注 1)「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2021 -電動自動車・車載電池分野編-」(株式会社富士経済)の予測による。

(注 2)2030 年、2035 年の全固体 LIB 搭載割合を「2020 次世代電池関連技術・市場の全貌」及び「エネルギー・大型二次電池・材料の

将来展望 2020 - 電気自動車・車載電池分野編-」(いずれも株式会社富士経済)を参考に算出し NEDO が仮定した。

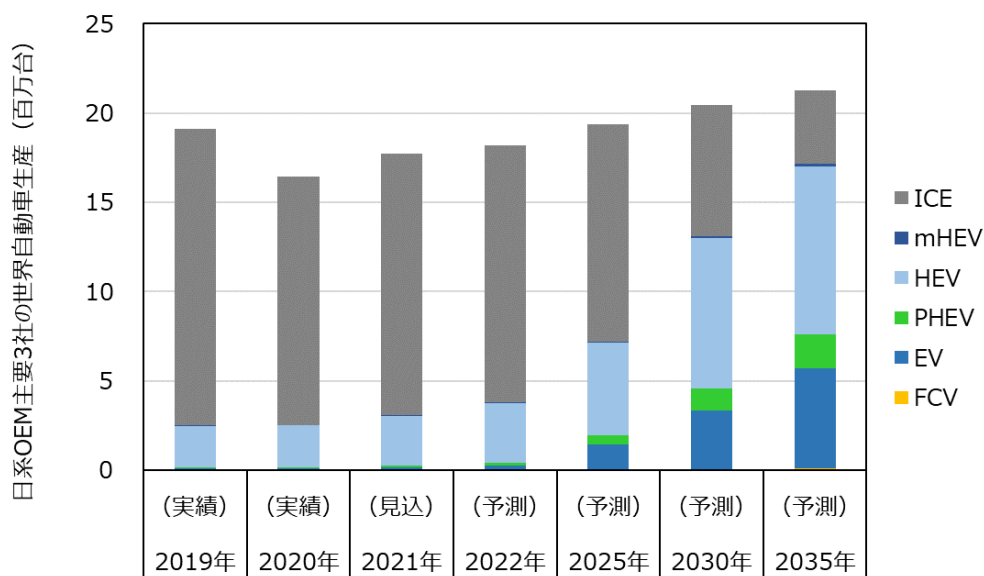


図 2.1-1-1 国内自動車メーカーの電動車生産台数の推移と将来予測

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2021」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(2) CO₂削減効果

耐久性に優れた全固体 LIB を搭載した EV・PHEV であれば、ガソリン車に対する、製造・使用・廃棄リサイクルに至るまでの CO₂ 削減効果を EV で 1.18 トン/台/年、PHEV で 1.0 トン/台/年と試算される。(注 3)

全固体 LIB 搭載の EV・PHEV の生産台数が(1)経済効果の試算条件と同じとし、車両が 10 年毎に更新され普及すると仮定すると、EV・PHEV の普及台数は 2040 年に EV が約 950 万台、PHEV が約 310 万台と推定される。これによる CO₂ 排出量の削減は 2040 年で約 1,400 万トンと見込まれる。

(注 3) IEA: Global EV Outlook 2020 を基に、開発した高性能蓄電池の搭載による電池パックの軽量化等の効果を考慮して推定

2.1-2 本事業における「実用化」の考え方

本事業では、2030 年以降に訪れる全固体 LIB の本格導入期に向けた新規材料開発を促進するため、材料評価を行うための電池開発や材料評価の方法等の開発を実施している。加えて、これらの取組を通じて、全固体 LIB の本質的な課題(耐久性や拘束圧等)について現象・機構解明と対応策の検討にもつなげている。これらの取組は業界全体に寄与するものであり、共通基盤技術開発として位置づけられることから、本事業における成果の実用化定義を以下のように定めた。

『本事業の成果が、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。』

2.1-3 成果の実用化に向けた取組

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

(1) 開発成果の参加企業での活用に向けた取組

本事業の集中研究拠点である LIBTEC 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・自動車メーカー等より、研究者・エンジニアを出向研究員として受け入れ(2025 年 3 月時点で 42 名在籍)、各社の技術シーズ・ニーズを循環させつつ、大学・研究機関の専門性を取り入れて研究開発を推進している。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や知識は、非常に有用である。事業実施中はもちろんのことながら、出向研究員が LIBTEC から出向元企業に復帰後も、LIBTEC で培った技術や知識を企業内で活用することで企業の研究開発を促進させる。各企業の技術力が高まることで、結果として産業界全体の技術力の向上につながる。

LIBTEC が出向元企業に対し、ヒアリングを実施した結果では、評価・解析手法を活用しているとの回答や、人材育成や会社間の技術交流が進んでいるとの回答が多数寄せられている。

参画企業にタイムリーに成果が活用されることを基本戦略とし、以下に示す取組を実施した。

a) 「LIBTEC 技術委員会」の開催

集中研究拠点に参加する組合員企業である材料・プロセスメーカー及び蓄電池・自動車メーカー等(33 社、1 研究機関)の開発責任者が出席する「LIBTEC 技術委員会」を合計 4 回定期開催し、研究開発の計画及び進捗状況を共有した。開催実績を表 2.1-3-1 に示す。

表 2.1-3-1 「LIBTEC 技術委員会」の開催実績

回 次	開催年月日	内 容
第 1 回	2023 年 9 月 20 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	2024 年 2 月 14 日	委員会の開催方法の協議。
第 3 回	2024 年 9 月 25 日	SOLiD-Next 成果の報告・情報共有。
第 4 回	2025 年 2 月 12 日	SOLiD-Next 成果の報告・情報共有。

本委員会では、成果の情報共有の他、知的財産の取扱いや情報管理といった成果活用に係る仕組みや運用方法についても、協議・調整している。

b) 「SOLiD-Next 技術シンポジウム」の開催

参加法人の開発責任者及び担当者に加え、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)及び、経済産業省が参加する「SOLiD-Next 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た。

開催実績を表 2.1-3-2 に示す。これまでに合計 3 回開催し、1 回あたり約 230～280 名が出席した。また、シンポジウムの会場風景を図 2.1-3-1 に示す。

表 2.1-3-2 「SOLiD-Next 技術シンポジウム」(LIBTEC 主催)の開催実績

回 次	開催年月日	開催形式	内 容	参加者数
第 1 回	2023 年 11 月 1 日、2 日	ハイブリッド開催 (会場/オンライン)	事業全体の研究開発方針・計画、個別研究テーマ(84 件)の研究内容。	240 名
第 2 回	2024 年 6 月 12 日	オンラインのみ	事業全体の進捗報告(5 件)および連携プロジェクト講演(2 件)	231 名
第 3 回	2024 年 10 月 21 日、22 日	ハイブリッド開催 (会場/オンライン)	事業全体の研究開発方針・計画、個別研究テーマ(97 件)の研究内容。	283 名



開発進捗報告の状況 (第 1 回)



ポスターセッションの状況(第 1 回)

図 2.1-3-1 「SOLiD-Next 技術シンポジウム」の会場風景

本シンポジウムでは、プレゼンテーションによる発表の他、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た。特にアカデミア技術に対して産業界からの視点でのフィードバックを直接伝達できる貴重な場として機能している。また、業種・競合等の垣根を越えた企業間の交流も促進されている。なお、各技術シンポジウムの発表資料は、当日だけでなく、一定期間閲覧できるようにする等、より活発な議論や研究開発への活用ができるような工夫も行っている。

c) 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「個別限定情報」として管理しつつ、報告することが出来るルールを設け、出向元企業内での全固体 LIB の研究開発を促進してきた。

これまでの実績は、表 2.1-3-3 に示すように、2023 年度、2024 年度の 2 年間で合計 259 件に至った。事業開始当初から 2 年間で、1 年あたり 100 件以上の件数となっており、今後研究が進むとともに情報が蓄積されることから件数が増加する傾向になると推測する。特に材料・プロセスメーカーで件数が多く、材料評価技術基盤として一定の役割を果たしている。

表 2.1-3-3 LIBTEC 組員企業への個別限定情報の開示実績

企業の業種	2023 年度	2024 年度* *2025 年 3 月末現在	合計
自動車・二輪メーカー	28 件	34 件	62 件
蓄電池メーカー	18 件	22 件	40 件
材料・プロセスメーカー	66 件	91 件	157 件
合 計	112 件	147 件	259 件

d) 研究設備の企業見学会の開催

LIBTEC は、組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「企業見学会」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 2.1-3-4 に示すように延べ 42 回であり、24 社、約 120 名が参加した。

表 2.1-3-4 LIBTEC による企業見学会の開催実績

期間	企業の業種	企業数	回数
2023 年 4 月 ～2025 年 3 月	自動車・二輪メーカー	6 社	18 回
	蓄電池メーカー	3 社	5 回
	材料・プロセスメーカー	15 社	19 回
	合 計	24 社	42 回

(2) 材料特性評価技術の産業界・学界の活用に向けた取組

全固体 LIB の材料特性評価技術を産業界・学界へ浸透に向け、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取組を実施している。具体的には、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、以下の取組を進めた。

a) 新材料の受入れと電池試作・評価

材料評価用モデル電池及び、評価技術の妥当性検証を行う取組として、組合員内外の企業やサテライトから提供された新材料サンプルを用いて、電池試作・評価を実施している。また、本取組は、提供された新材料の改良の方向性等のフィードバックも同時に実施しており、win-win の関係を築くとともに、結果として材料開発の推進にもつながっている。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といった現象・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、新材料を用いた電池試作・評価の実績は、表 2.1-3-5 に示すように合計 226 件である。評価結果のフィードバックを受けることで、サンプル提供者が材料の性能を向上することができた実績が複数ある。また、LIB 主要材以外のバインダーやその他材料の評価件数も多く、前身事業の SOLiD-EV から継続して開発材料の裾野が広がっている。

表 2.1-3-5 LIBTEC による新材料の電池試作・評価の実績種類数

評価材料種	評価種類数
正極活物質	18
正極被覆材	12
負極活物質	36
負極被覆材※表面改質含む	0
固体電解質	63
固体電解質複合材料	5
導電助剤	6
バインダー	48
その他	38
総 計	226

(2025 年 3 月末時点)

加えて、今後、JST 革新的 GX 技術創出事業 (GteX) など、省庁の枠を超えたプロジェクト間連携の中でも、連携先プロジェクトから新材料を受け入れ、全固体電池への適用に向けた検討を進めていく予定である。

b) 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

本事業では、本事業で開発する材料特性評価技術が広く活用されるよう、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・管理している。

これまでの文書発行の実績は、表 2.1-3-6 に示すように合計で 226 件である。

表 2.1-3-6 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	2023 年度	2024 年度	合計
材料技術関連	9	82	91
設計・プロセス技術関連	21	80	101
標準電池・評価技術関連	0	25	25
計算・解析技術関連	1	4	5
材料評価法妥当性検証関連	1	3	4
合 計	32	194	226

c) 産業界・学界に向けた情報発信

本事業の成果を、可能な限り広く情報発信し、広く関心を高め、裾野を広げることも重要である。本事業においては事業期間中から論文、学会発表等による成果の公開を行っている。2025 年 3 月までに論文発表 9 件、学会発表 113 件を実施した。

なお、2024 年には第 65 回電池討論会において「NEDO セッション」として電気自動車用革新型蓄電池開発 (RISING3) と合同で成果を発信した。個別の成果発表とは別に、成果の全体理解できる機会を創出し、多くの方が参加しやすいよう工夫した。

(3) 国内標準化関係者との研究開発情報の共有

第 1 章に記載の通り、本事業は、国内の標準化関係者に対し、定期的に情報共有を実施している。また、標準化活動を進めていく中で、必要なデータや試験用電池の提供等の適切なサポートを行っている。

2.1-4 アウトカム目標の達成見込み

2.1-1 で記載した 2040 年のアウトカム達成には、本事業の成果を材料メーカー、電池メーカー、自動車メーカー等へ展開し、事業化につなげていくことが求められる。2.1-3 で示した本事業の実施期間中の取組と併せて事業終了後も産業界で活用される取組を実施する。

本事業の実施主体である 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等の自主事業を展開しており、NEDO 事業成果の産業界への展開に係る大きな実績を有する。本事業においても、高耐久型や高入力型等の複数の用途別標準電池モデルに加え、単極評価技術、材料物性評価技術の開発も進めており、事業終了後も成果の自主事業化等を通じた、個社の材料開発への展開が大いに期待できる。

また、LIBTEC は国内の主要な蓄電池メーカーや蓄電池材料メーカー、EV/PHEV 開発を進めている自動車メーカーが組合員企業として参画する技術研究組合である。これらの企業は本事業の成果の受け取り手でもある。本事業ではこれらの企業からの出向研究者が研究開発推進の中核を担い、かつ数年単位で出向者が入れ替わる体制となっており、本事業終了時の成果のみならず、事業期間中に得られた中間成果や技術情報・知見についても、速やかに個社の研究開発に展開される体制が整っている。

なお、2030 年頃の社会実装を目指すグリーンイノベーション基金事業（GI 基金事業）の「次世代蓄電池・次世代モーターの開発」では、全固体 LIB と関連材料の研究開発テーマとして 7 件が採択されている。これらの企業の多くは、LIBTEC の組合員企業として、本プロジェクトにも参画していることから、本事業の成果の展開は大いに見込まれる。

2.1-5 波及効果

(1) 蓄電池基礎研究の活性化

本事業は、産業界と大学や国立研究機関等のアカデミアが参画し、産学連携によるコンソーシアム体制を構築するとともに、相互に利益がある関係を築いている。例えば、産業側に全固体 LIB に係る反応機構等の学術的知見や高度な材料解析技術等が提供され、もう一方のアカデミア側には、実用電池開発に基づく学術的要求課題、電池設計等の情報、開発材等の実電池に近い仕様での評価等、アカデミアにおける研究では得難い産業の視点に立脚した情報が提供される。本事業の連携体制は、アカデミア側からも高い評価を得ており、将来の蓄電池産業発展の礎となるアカデミアのすそ野を広げ、研究の活性化を図る波及効果がある。

(2) 人材育成

2.1-4 でも記載した通り、本事業は、事業実施主体である LIBTEC に主要な蓄電池メーカーや材料メーカー、EV/PHEV 開発を進めている自動車メーカー等から人材が集まり研究開発を担うとともに、数年単位で人材が入れ替わる体制となっている。

本事業に参画した企業からの人材は、蓄電池の研究者・技術者として幅広い経験を積み、企業に復帰後は第一人者として自社の蓄電池開発を牽引している。本事業は、研究成果の創出だけでなく、人材育成にも貢献している。

(3) 成果の他用途への展開

本事業は、全固体 LIB 用の新規材料を開発するための共通基盤技術を構築することである。したがって、本事業の成果は、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移動体機器、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へも波及が期待される。

2.1-6 費用対効果

本事業の費用は、事業期間(2023～2027 年度)の総額で約 100 億円を見込む。なお、2023 年度から 2025 年度までの 3 年間で約 54 億円の予算を予定している。全固体 LIB の材料評価に係る取組は、前身事業においても実施してきており、その事業総額は約 103 億円(5 年間)であった。これらの事業を併せると、総額として、約 200 億円の投資が見込まれる。

2.1-1 で記載したように、本事業成果が適用される車載用バッテリーの年間売上としての経済効果は 2040 年で 2.1 兆円／年と試算され、単年の市場規模に限っても約 50 倍の経済効果が見込まれる。なお、GI 基金事業では全固体 LIB と関連材料の研究開発テーマに数百億円規模の助成が計画されているため、これを含めると、やや費用対効果は小さくなるが、それでも数十倍の経済効果が想定される。

上記は自動車メーカー 3 社の生産台数予測より、経済効果を試算した内容であるが、材料メー

カーにおける新材料の市場投入や、蓄電池メーカーにおける車載用バッテリーの他の自動車メーカーへの展開など、サプライチェーン全体としての経済効果はさらに大きくなると考えられる。加えて、技術波及効果まで考慮すると国の投資による費用対効果は十分大きい。

2.2 アウトプット目標と達成状況

2.2-1 アウトプット目標の設定および根拠

2.1 で詳述したアウトカム目標と、第 1 章 1.2 に記載した 2040 年アウトカム達成に向けた道筋を見据え、本事業のアウトプット目標を以下のとおり設定し基本計画に記載した。なお、本事業のアウトプット目標を踏まえた、個々の研究開発テーマとその目標については、NEDO と実施者との協議の上、実施計画書において定めた。

【最終目標】(2027 年度)

- 1) 標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。
- 2) 固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。
なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。

【中間目標】(2025 年度)

- 1) 標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。
- 2) 固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。
なお前提として、エネルギー密度は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上を目安とする。

以下、本事業の開発戦略に基づく設定目標の考え方について記載する。

前身事業の SOLiD-EV においては、全固体 LIB の材料評価用の標準電池モデルの原型を開発した。具体的には、正極に三元系、負極に黒鉛系の材料を活用し、電解質に硫化物系固体電解質を用いた全固体 LIB において、材料評価用として安定的に製作可能な標準電池モデル (400Wh/L) を製作した。

なお、技術的には、液系 LIB 同様の電極設計や製法技術を駆使することで、一般的な液系 LIB に迫るエネルギー密度 (450Wh/L) を実証した。また、これらの開発を通じて、全固体 LIB のポテンシャルを引き出すためには、固体電解質間や活物質との良好な界面を形成し、その状態を維持することが重要であるとの結論に至った。

アウトプット目標の 1) は、耐久性や急速充電等、多様な目的に必要な新材料の開発を促進させるため、適切に評価可能な標準電池モデルや評価技術の開発を目指して設定した。SOLiD-EV の成果である材料評価用の標準電池モデルの原型を発展させ評価技術の深化・多様化を図る。

アウトプット目標の 2) は、固固界面課題を解決する個々の要素技術の達成度を測る指標として位置付け設定した。具体的な数値については、有識者との議論を踏まえ、車載現行 EV の保証値 16 万 km の約 2 倍である耐久性 30 万 km 走行とした。加えて、拘束圧についても安定な界面構築を測る技術指標と位置付けられるだけでなく、車載用としての適切な材料評価条件としても必要と考え、最終目標の前提とした。2.2-2 研究開発内容 2.2-1 で記載した目標達成に向け、本事業の具体的研究開発内容として、下記の研究開発区分①、②および③を設定した。図 2.2-2-1 に示す通り、これ

らの開発サイクルを迅速かつ、柔軟に回しながら、事業全体の開発を推進している。

① 材料評価基盤技術開発

標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。

② 全固体 LIB 特有の現象・機構解明

サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。

③ 電極・セル要素技術開発

次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。

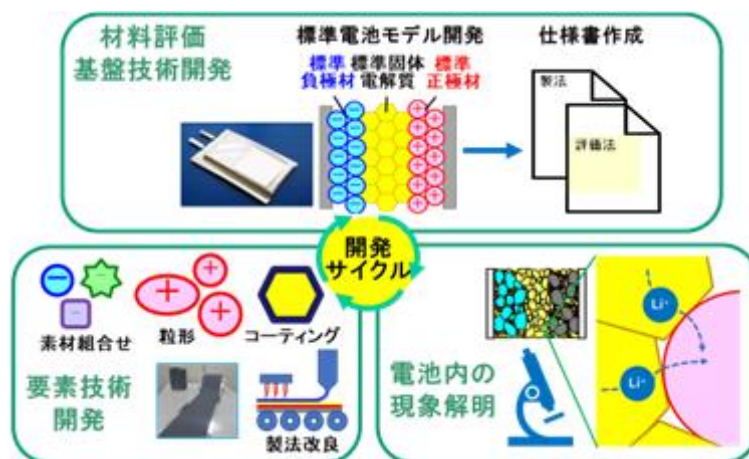


図 2.2-2-1 研究開発基盤構築を推進する開発サイクル

2.2-3 アウトプット目標の達成状況

中間目標に対する研究開発区分①、②、および③の達成状況を表 2.2-3-1 に示す。また、SOLiD-Next におけるこれまでの取組と成果について、研究開発区分①～③にて具体的に説明する。なお、中間目標については、すべて達成済みである。

表 2.2-3-1 研究開発区分①、②、および③の中間目標達成状況

研究開発区分	中間目標 (2025 年度末)	成果 (2025 年 3 月)	達成度 (見込み)
① 材料評価 基盤技術開発	標準電池モデルなどの 次世代全固体 LIB 材料評価技術の 一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。	4 件を提示 高耐久型 (2 種類) エネ密: 400Wh/L、出力: 5C 耐久: 10 万 km 相当以上 高入力型 エネ密: 250Wh/L、出力: 8C 単極評価モデル LTO 対極	○ 2025 年 3 月に 達成済み
② 全固体 LIB 特有の 現象・機構解明	固固界面課題を解決する ための個々の要素技術の 達成度を測る指標を 充放電サイクルによる 耐久性とし、 EV10 万 km 走行を 想定した充放電試験後の 容量維持率を 70%以上と 定める。 なお前提として、 エネルギー密度 450Wh/L 以上を 目安とする。	EV10 万 km 走行を想定した 充放電試験後の 容量維持率 93% (拘束圧 20MPa、25℃ 1C 充放電試験 300 サイクル後) ※エネルギー密度 450Wh/L	○ 2024 年 10 月に 達成済み
③ 電極・セル要素 技術開発			

2.2-4 研究成果

2.2-4-(1) 研究開発区分①:材料評価基盤技術開発

標準電池の開発

標準電池の開発は、主要材料として三元系正極活物質、天然黒鉛系負極活物質、アルジロナイト型硫化物系固体電解質を用い、2cm 角単層セルを作製した。次に、高耐久型標準電池と高入力型標準電池の開発状況を示す。

a) 高耐久型標準電池

前身事業(SOLiD-EV)で構築した標準電池の基盤技術をベースに(ア)セル設計、(イ)プロセス、(ウ)正極活物質のコート、(エ)負極活物質において改善をはかり、エネルギー密度 400Wh/L を低下させずに高入力・高耐久化をはかった。その結果、実施計画書に個別に定めた中間目標であるエネルギー密度:400Wh/L、25℃入力性能:5C、サイクル性能:5 万 km 走行相当(150cyc)容量 70%以上に対し、目標を達成した。

a)・(ア) 高耐久型標準電池ーセル設計

図 2.2-4-1 に示すように電極体として 13%薄膜化し、上限電圧を 4.2 → 4.35V にセル設計を変更した結果、図 2.2-4-2 に示すように容量 6.5mAh (エネルギー密度 401Wh/L) の電池を得た。

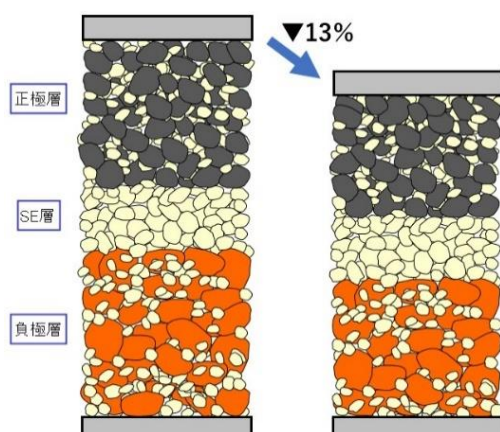


図 2.2-4-1 電極体の薄膜化
(左:SOLiD-EV 右:SOLiD-Next)

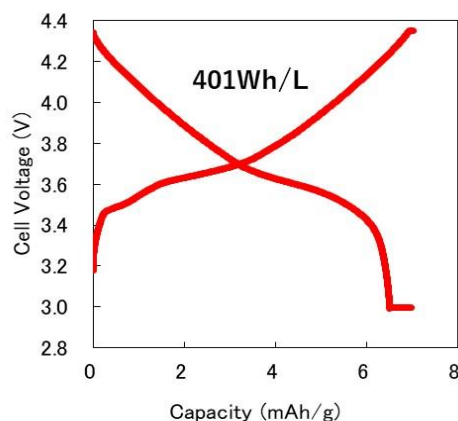


図 2.2-4-2 充放電特性

a)-(イ) 高耐久型標準電池－プロセス

正極作製時に導電材の分散性を高めるため、図 2.2-4-3 に示すように導電材(VGCF)とバインダー溶液のみを自公転ミキサーで混合し、導電材の分散性を高めてから正極活物質と粘度調整用の有機溶媒を追加し、自公転ミキサーで正極合材のスラリー化をはかった。

その結果、図 2.2-4-3 の SEM 写真に示すように VGCF の凝集が減少することを確認した。

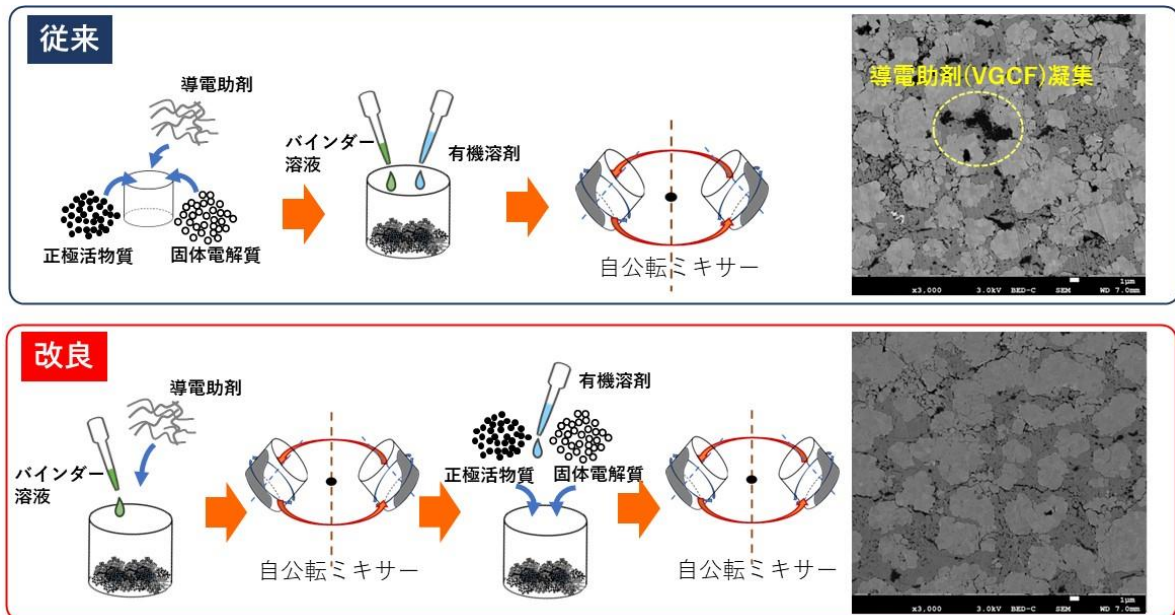


図 2.2-4-3 正極合材作製プロセス(左)と得られた正極合材の SEM 写真(右)

a)-(ウ) 高耐久型標準電池－正極活物質のコート

充電時に正極活物質と固体電解質の酸化反応を抑制するため正極活物質にニオブ酸リチウムをコートしている。SOLiD-EV では、入出力向上のためコート厚みを 3nm としていたが、コート被覆率をアップし耐久性を向上させるためコート厚みを 9nm に厚膜化した。

a)-(エ) 高耐久型標準電池－負極活物質

負極活物質を図 2.2-4-4 に示すように小粒径化(16→11 μ m)し比表面積増大による Li イオンの受け入れ性向上(入力特性向上)をはかった。

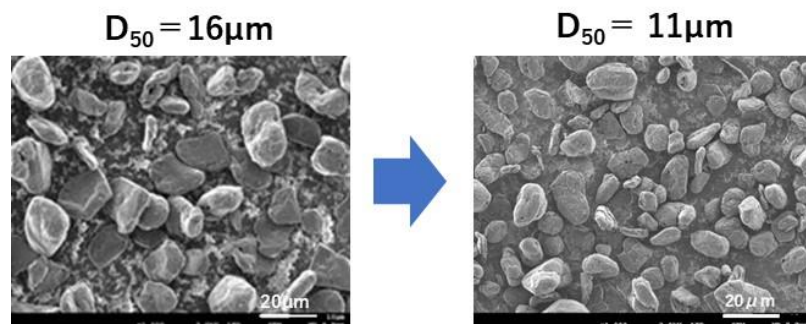


図 2.2-4-4 負極活物質の小粒径化

a)-(オ) 高耐久型標準電池－電池性能

①-a-(ア)～(エ)で開発した要素技術を適用した標準電池を作製し性能を評価した。入力特性は図 2.2-4-5 に示すように 0.1C の充電容量に対し 5C での充電容量は 81%となり、5C 入力可能であることを確認した。また、300 サイクル耐久後の容量維持率は図 2.2-4-6 に示すように上限電圧を 4.35V に上げても SOLiD-EV 標準電池(上限電圧 4.2V)よりも耐久性は向上し、容量維持率 84%であった。これより、サイクル性能も目標 300cyc 70%以上を達成した。

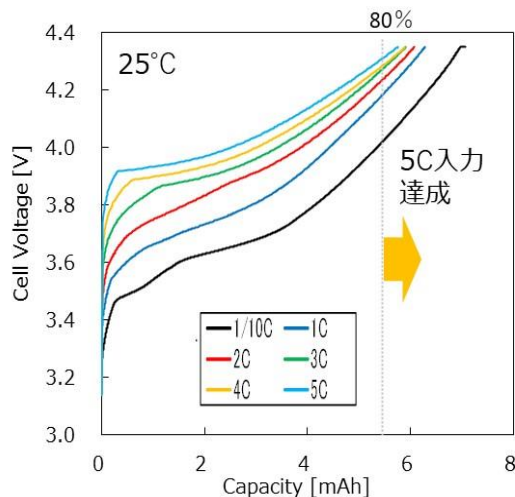


図 2.2-4-5 入力特性

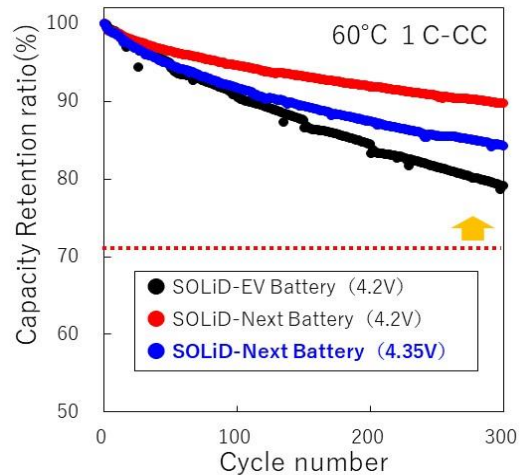


図 2.2-4-6 サイクル特性

b) 高入力型標準電池

上記で開発した高耐久型標準電池の技術をベースに主に①電極薄膜化(25%減) ②電極中の固体電解質割合アップ(約 1.5 倍)を行った結果、実施計画書に個別に定めた中間目標であるエネルギー密度:250Wh/L、25°C入力性能:8C に対し、エネルギー密度:278Wh/L、25°C入力性能:8C となり目標を達成した。図 2.2-4-7 に入力特性を示す。

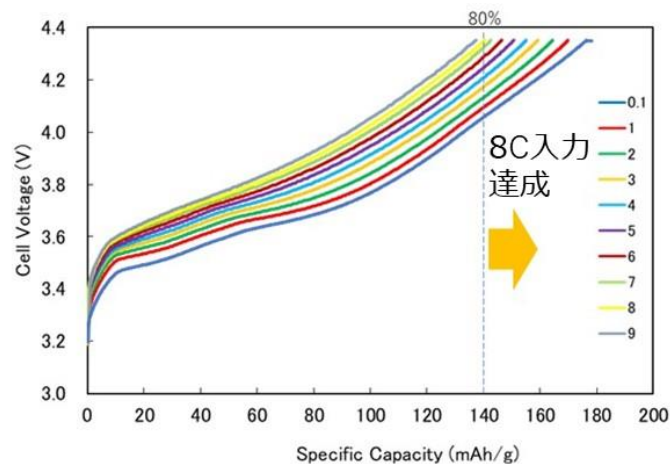


図 2.2-4-7 入力特性

c) 単極評価基盤技術開発

電池設計や劣化要因を特定するために、正極もしくは負極の単極特性を把握することは重要である。通常、全固体 LIB で単極評価を行う際には対極として In-Li 合金を用いているが、単極評価する作用極よりも Li を多く含むため、不可逆反応等により Li 量が減少しても In-Li から Li が補充されるため、正確な容量劣化が測定できないことや、In-Li の抵抗が大きいため、正確な作用極の抵抗を把握しにくいなど課題があった。

本研究では、アルジロダイト型硫化物系 SE の還元反応による劣化抑制のため図 2.2-4-8 に示すように In-Li よりも高い電位をもつ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) を対極候補材として検討した。

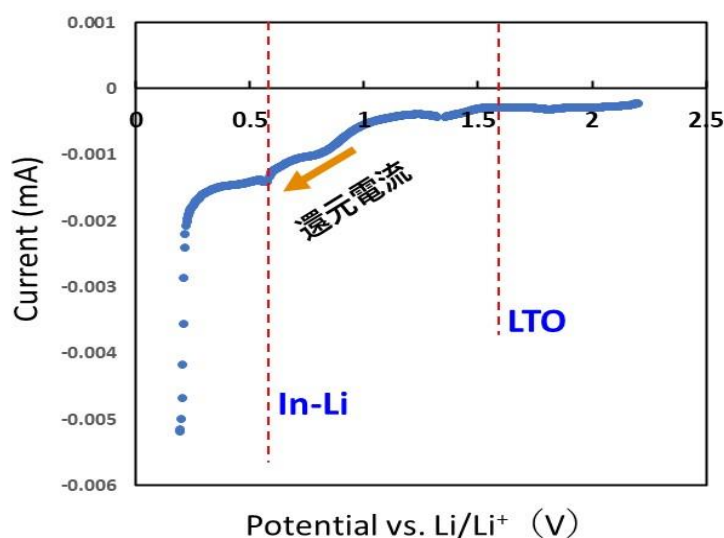


図 2.2-4-8 アルジロダイト型硫化物系 SE の CV 特性

LTO の安定性を確認するため、NCM523 を用いて充電により Li をドーピングした LTO (Li-LTO) と LTO の組み合わせでラミネート型対称セルを作製し、サイクル評価 0.1C-CC 充放電 (25°C) を実施した。また、正極評価用対極に Li を含有しない LTO 材料、負極評価用対極に Li をドーピングした LTO (Li-LTO) を用いて黒鉛負極 (Gr) の単極評価を実施した。その結果を図 2.2-4-9 に示す。

LTO 対称セルでは、ほとんど劣化は見られず LTO が安定であることを確認した。作用極を黒鉛負極として単極評価をおこなうと黒鉛負極起因の劣化が見られた。さらに、対極を In-Li にすると容量劣化は大きくなり、In-Li による容量劣化が大きいことを示唆していると考えられる。

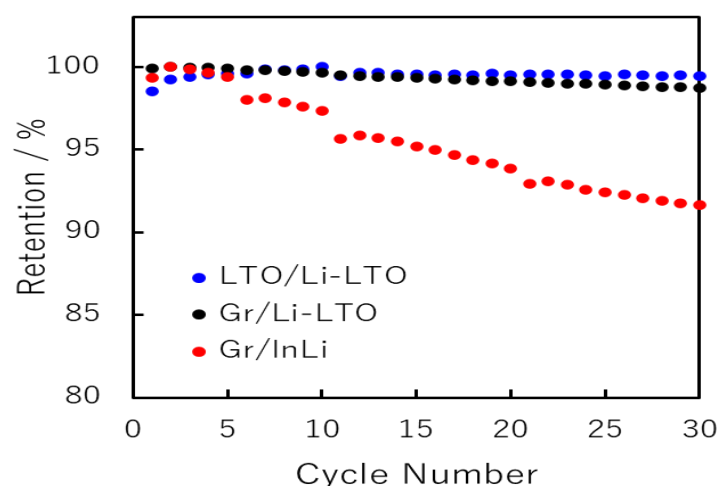


図 2.2-4-9 各種電極組み合わせによるサイクル特性

また、LTO が無歪材料である特徴を活用して、充電時の作用極の膜厚変化を調査した。その結果を図 2.2-4-10 に示す。NCM 正極との組み合わせでは、若干膜厚が減少し、活物質が収縮することを示している。一方、黒鉛負極との組み合わせでは、5%ほど膜厚が増大し黒鉛が大きく膨張することを確認した。オペランド SEM を用いて黒鉛負極の膜厚変化を調査した結果も同様に 5%膜厚増であったため、対極 LTO を用いたセルの膜厚変化は作用極の膜厚変化と一致することを確認した。

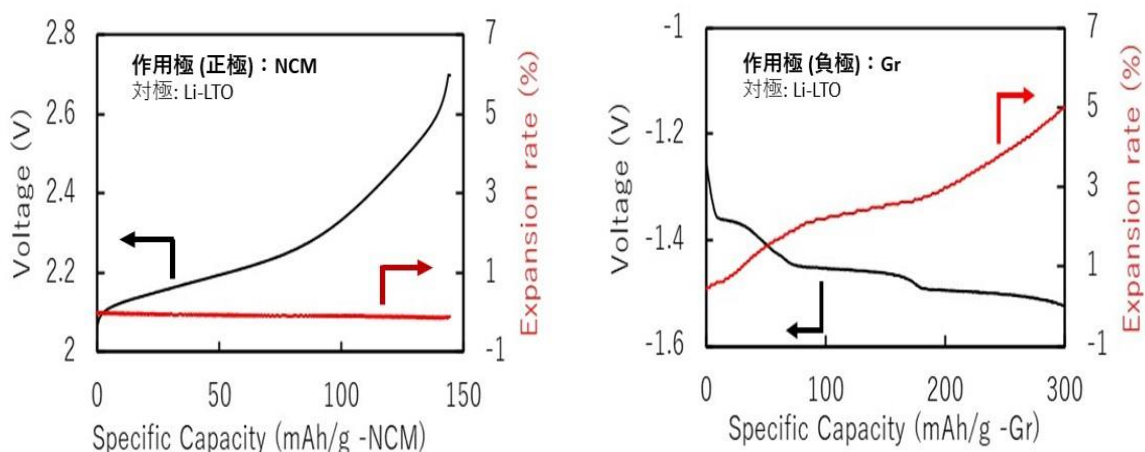


図 2.2-4-10 充電時の膜厚変化(左:NCM / LTO 右:黒鉛 / LTO)

2.2-4-(2) 研究開発区分②:全固体 LIB 特有の現象・機構解明

a) 開発技術検証

固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を図る指標として、実証電池の設計、作製、評価に取り組んだ。実証電池は以下のスペックを前提とした。

- ・電池サイズ: 4 cm x 12.5cm アルミラミネートセル(中型セル)
- ・電池容量: 200mAh 以上 @0.1C
- ・体積エネルギー密度: 450Wh/L 以上(車載相当のセルサイズ換算)

本事業では図 2.2-4-11 に示したスケジュールにて中型セルを作製し、要素技術を実証していく予定である。2025 年度に設定された中間目標に向けては、要素技術検証のための中型セル(Feasibility Study :以下 FS)を 3 回と、技術実証のための実証電池セル(Cell Confirmation: 以下 CC)を 1 回の計 4 回の作製評価を計画して実施してきている。最終目標へ向けは、得られた結果と新たな要素技術開発成果を取り込みながら、引き続き FS セルによる作製評価、実証セルでの実証のサイクルで開発を進める計画である。

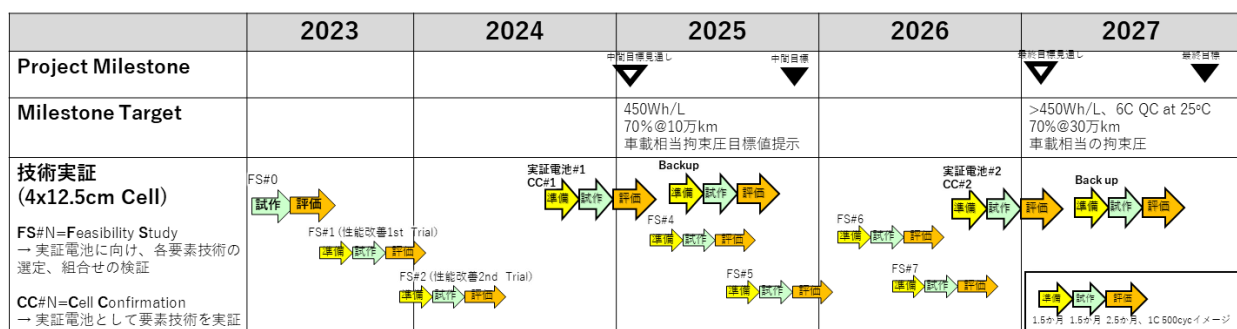


図 2.2-4-11 SOLiD-Next における技術検証用全固体 LIB 中型セルの作製計画

本報作製時点においては、実証電池#1 は性能評価が開始されていないため、FS#1 について設計および特性評価結果を述べる。FS#0 と比較し、FS#1 設計は正極活物質である NCM523 の粒子表面に施す LiNbO_3 コートを従来の 3 倍としたこと、負極活物質として用いる黒鉛の平均粒径をこれまでの半分としたこと、抵抗要因となりえる正極用増粘剤の不使用といった、高入力化や高耐久化の向上が期待できる要素技術を適用したことが特徴である。

図 2.2-4-12 には、SOC50%の中型セルを EIS 測定し得られたナイキストプロットを示した。拘束圧違いによらず、極めて低い反応抵抗と良好な充電特性が得られることが確認できた。25°Cでの充電レート特性試験の結果、6C 充電時の容量維持率は 5MPa 拘束において 78%、20MPa 拘束にて 80%超と良好な値を示した(図 2.2-4-13)。

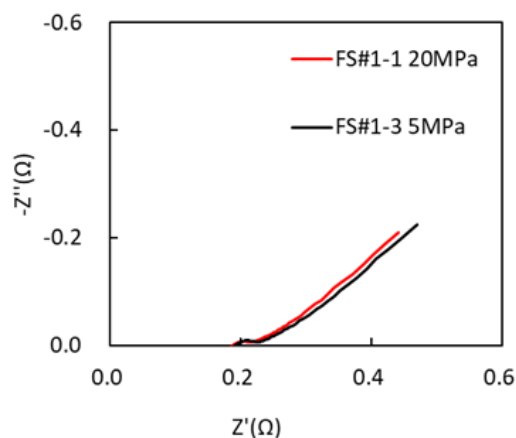


図 2.2-4-12 拘束圧が異なる FS#1 の
ナイキストプロット

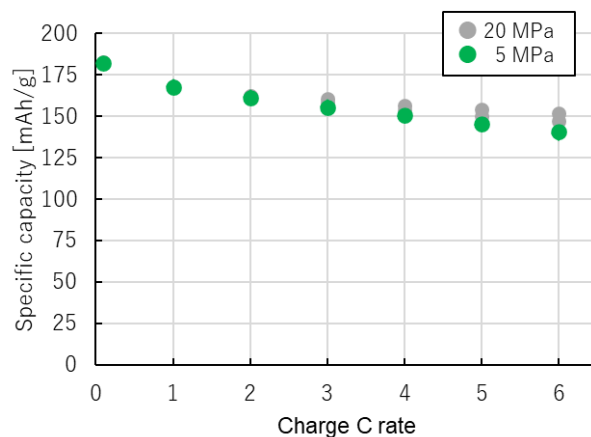


図 2.2-4-13 FS#1 の 25°Cにおける充電レート
特性および拘束圧の影響

1C 相当の電流密度で定電流充放電を繰り返すサイクル試験の実施にて、耐久性を確認した。本委託事業の中間目標では、EV10 万 km 走行時においては容量維持率 70%以上という全固体 LIB の耐久性が設定されている。EV10 万 km 走行に相当する充放電サイクル数を算出するため、電池容量を 2022 年における量販バッテリーEV の平均電池容量 72kWh とし、また走行に必要なエネルギーを 10km/kWh と仮定し、10 万 km 走行後に電池容量が 70%となった場合のサイクル数を算出した結果、約 300 サイクルであったため、300 サイクル時の容量維持率を目標指標とした。図 2.2-4-14 には、25°Cにおける 1C 充放電サイクル試験の結果を示した。拘束圧が 20MPa の場合、300 サイクル時で 93%、1000 サイクル後も維持率は 73%であり、中間目標で定められた耐久性目標を達成していることを確認できた。しかしながら 5MPa 拘束に関しては、20MPa 拘束と比較して充放電サイクルを経るごとに容量維持率が大きく低下していくことが確認でき、低拘束圧での全固体 LIB の充放電には課題が残っていることが確認できる。

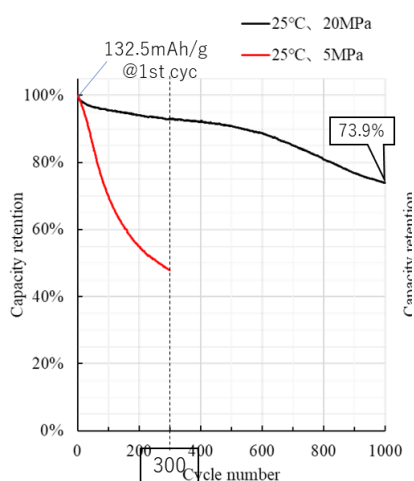


図 2.2-4-14 FS#1 の 1C 充
放電サイクルにおける容量維
持率の推移

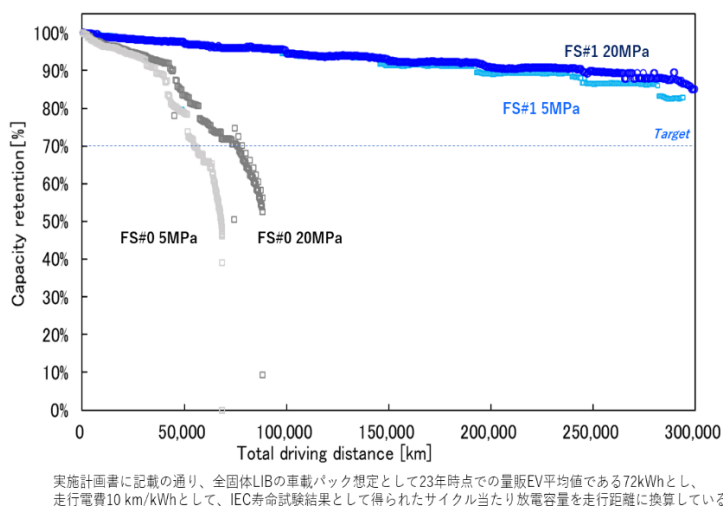


図 2.2-4-15 IEC62660-1 条件での FS#0 および FS#1
の耐久性評価

また、車載用電池の特性評価のための国際規格 IEC62660-1 に基づいた耐久性評価もあわせて実施した。拘束圧 5MPa、20MPa について、IEC 試験の結果を図 2.2-4-15 に示す。図中の X 軸は、2022 年における量販 BEV の平均電力容量 72kWh、走行電力消費量 10km/kWh と仮定し、IEC 試験中の放電サイクル結果を走行距離に換算した値とした。FS#1 に先立って作製評価した FS#0 と比較し、耐久試験中における容量維持率が大きく改善しており、30 万 km 走行相当時点において容量維持率 80%を達成した。また、容量維持率の航続距離(充放電サイクル)依存性は、5MPa と 20MPa でほとんど違いがないことも示された。FS#0 と比較して耐久性が大きく向上した要因として、正極活物質への LiNbO_3 コートを厚くした結果、化学劣化が抑制できたことが考えられる。また、拘束圧違いで耐久性に差異が出なかった理由としては、IEC62660-1 においては 45°C 、 0.33C で充電しているため、Li 析出しにくい条件であり、物理劣化の発生が抑制されたためと考えられる。

なお、こうした技術検証用中型セル FS シリーズの設計、試作、評価結果に対して、本事業を通じ、2024 年 10 月までに開発された要素技術を更に統合することで、実証電池#1 を設計した。今後、セル作製及び特性評価の実施により、電池特性に対する要素技術の達成度を確認する。

b) 電極の空隙定量化と反応分布解明

負極活物質に黒鉛を用いた全固体 LIB において耐久性向上と低拘束圧動作を実現する上で、従来、Li 析出及びそれに伴う劣化が示唆されていたが、Li の析出形態やセル物性に対する影響が明確でなかった。そこで全固体 LIB における Li 析出の形態と、それがセル物性に及ぼす影響を明らかとするため、放射光施設での X 線ナノ CT 測定にて全固体 LIB における充放電中の内部挙動を Operando で観察した。

正極として LiNbO_3 がコートされた NCM523、アルジロダイト型硫化物系 SE、導電助剤、バインダーを混合・塗布した電極(合材層厚さ約 $60\mu\text{m}$)を、負極として球形化天然黒鉛、SE、バインダーを混合・塗布した電極(合材層厚さ約 $85\mu\text{m}$)を用いた。同様に混合・塗布して得られた SE とバインダーからなる SE 層(厚さ約 $24\mu\text{m}$)を負極に転写後、正極と負極とを積層して加圧接合し、ラミネート包材に入れて封止することでセルとした。得られたセルを、5MPa と 20MPa の 2 種類の拘束圧に分けて拘束し、それぞれ $4.35\text{-}3.0\text{V}$ で充放電しながら、SPRING-8 の BL20XU ビームラインにて高分解能 CT 撮影し、充放電中における全固体 LIB 中での Li 析出挙動を観察した。

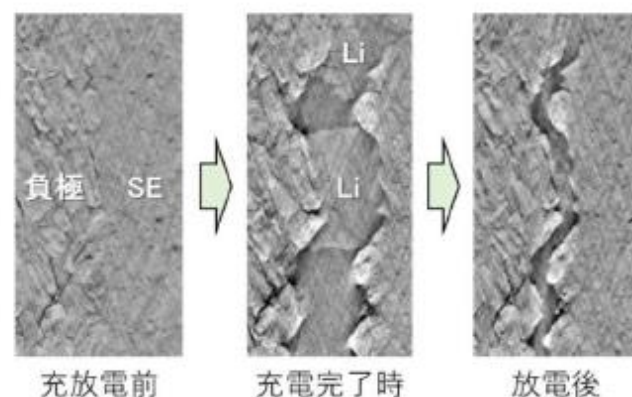


図 2.2-4-16 3C 充電での全固体 LIB 内での Li 析出およびそれに伴うクラック発生の様子

SPring-8 での CT 撮像にて得られた、拘束圧 10MPa における 25℃、3C 充電、1C 放電過程での全固体 LIB 内部の様子を図 2.2-4-16 に示した。最初は接合していた SE 層と負極との界面に、充電完了時には明瞭に析出 Li が層状に生成し、放電後、析出部は連続した亀裂として残存する様子が観察された。全固体 LIB における Li 析出は、SE の実効イオン伝導度が低い常温から低温において負極中の反応分布が大きくなり、電荷移動反応が SE 層側に集中することが主原因と考えており、その際、SE 層と負極層との界面にて該界面全体を破断する形で押し広げて生成することが示唆された。本結果は従来知見を強く支持するものである。従って、上記の抵抗上昇は該界面の不可逆的破断に伴うものと推測される。拘束圧が 20MPa と高い系では界面接合性が改善され、接触抵抗及び実効イオン伝導度が改善することにより、Li 析出に至るまでの充電容量が増大すると共に析出量も減少し、抵抗上昇も抑制されることが考えられる。

硫化物系固体電解質を用いた全固体 LIB では電極活物質と固体電解質の界面を強固に形成する上で電極充填プロセスが重要な工程である。一方で電極充填プロセスには種々の手法が存在し、手法によって電極の充填度合や界面形成状態が異なることが知られているため、電極充填プロセスと電池性能との関係を明らかにすべく、ホットロールプレス(RP)と温間等方圧処理(WIP)のそれぞれで電極充填を施したセルを作製し、電極状態観察を放射光施設での X 線ナノ CT で観察した。

正極活物質として NCM523、負極活物質として球形化天然黒鉛、固体電解質(SE)としてアルジロダイト型硫化物系 SE を用い、スラリー塗工によって形成した正極、負極を RP と WIP それぞれで充填処理し、セル化した。放射光 X 線 CT 測定画像から正負極合材の厚みを計測したところ、RP の場合、各層の厚みは、正極で 62 μm 、負極で 86 μm だったのに対して、WIP の場合には正極で 64 μm 、負極で 81 μm となった。各層の空隙率は、RP の場合には正極が 15%、負極が 13%、WIP の場合、正極が 16%、負極が 6%となり、正負極で充填しやすい手法が異なるという結果が得られた。これは正負極それぞれを構成する材料の強度の高低関係性に由来すると考えられる。また異なる手法で充填処理した正負極を組合せて作製された全固体 LIB は充電特性において、4C までは RP の方が高いレート特性であった一方で、5C 以上の高レートでは WIP の方が充電性能に優れるという結果が確認された。この結果は各セルのクーロン効率の違いに起因しており、WIP セルと比較して RP セルは、充電レートが高くなるに伴ってクーロン効率がより大きく低下しており、充電時に Li 析出等の副反応が生じやすいと考えられた。WIP よりも RP のほうが負極の空隙率が大きく、受け入れ性に劣ったためと推定された。

上記のように、放射光施設での X 線ナノ CT による全固体 LIB の非破壊分析その場観察によって、作製工法や拘束圧といった要件によって及ぼされる全固体 LIB 特性への影響を明らかにすることができた。こうした結果を全固体 LIB の要素技術開発に反映している。

c) 計算・解析による高度分析・解析技術の研究開発

計算・解析領域においては、イオン伝導機構を非平衡状態の Li イオン伝導挙動や電気化学反応をナノスケールでその場観察できるオペランド透過型電子顕微鏡解析技術の開発を連携サテライトとともに行った。また、NCM 正極活物質に LiNbO₃を被覆したサンプルを対象に、その結晶性と組成を STEM-EELS にて分析した。まず、ナノビーム電子回折によって、NCM 正極と LiNbO₃ コート層の結晶構造を解析した。その結果、NCM の電子回折図形はシャープなスポット

から成り、結晶性であることが判明した一方、 LiNbO_3 の電子回折図形はハローリングであり、非晶質であることがわかった。さらに、EELS による組成分析の結果、Li イオン濃度が想定よりも低い可能性が示唆された。アモルファス構造は結晶性材料と比較して異なる物性を示すことが知られており、Li が欠乏しているという情報とともにこの知見は LiNbO_3 コート層が電池性能に与える影響を理解する上で重要な知見が得られた。

Li 同位体を用いた二次イオン質量分析 (SIMS) を用いて、計算科学で明らかなボトルネックとなる固固界面での Li イオン伝導挙動を可視化する技術開発は、すでに酸化物固体電解質に対しては確立している。しかし、硫化物系固体電解質を用いた全固体 LIB への適用はこれまで実例がなく、連携サテライトにより新規に開発している。連携サテライトは、LIBTEC が湿度による SE の劣化を明らかにしたサンプルを用いて、NMR によるイオン伝導性の解析をおこない、界面におけるイオン移動抵抗の効果を明らかにした。現在 Li 同位体の導入手法の確立に取り組んでおり、今後は活物質・固体電解質界面を有するサンプルを供給し、その界面におけるイオン移動の実験的解析によりボトルネック課題解決のための対応手法の効果を検証していく。

本事業の大きな課題として全固体 LIB を車載相当の拘束圧で作動させるための技術開発が求められており、一般的に全固体 LIB の適切な作動には、相当量の拘束圧力が必要なことが知られている (F. Zhang et al., *A review of the effect of external pressure on all-solid-state batteries*, eTransportation 15 (2023) 100220)。前身事業である SOLiD-EV においては、拘束圧 20MPa が標準的に適用され性能、耐久性が評価されてきた。これに対し、現在市販されている液系 LIB を用いた EV のモジュールは、最大で数 MPa 以下の拘束圧で電池を保持するように設計されている。そのため、車載レベルの拘束圧まで低減させるためには、拘束圧に応じた全固体 LIB の充放電挙動の把握が必要となる。その目的を達成するため、LIBTEC において共焦点レーザー顕微鏡による全固体 LIB 断面の挙動観察システムを世界に先駆けて開発し、充放電による電池内部の構造変化を明らかにした。

以下に、全固体 LIB の充放電挙動について共焦点レーザー顕微鏡を用いたオペランドによる組成、構造の解析技術および成果について詳細を述べる。

共焦点レーザー顕微鏡による全固体 LIB のオペランド解析は、次の方法で実施した。まず、拘束圧力の変化により電極内で起こる変化を可視化するために、顕微鏡による電極断面のオペランド観察技術の検討を行った。全固体 LIB は充放電に伴い電極の膨張収縮、Li 析出、クラック発生などの電極内の物理的変化が起こることが知られており、これらは顕微鏡で観察可能と考えられる。また、負極にグラファイトを用いた場合、グラファイトへの Li の挿入量により黒→青→赤→金の色変化がみられることを利用し、これらを観察することで拘束圧を変えた時に性能が変化するメカニズム解明につながると考えた。次に、測定治具は、共焦点レーザー顕微鏡と自作の定圧拘束治具を組み合わせた装置構成とした (図 2.2-4-17)。拘束治具は拘束圧一定を実現するばねを備える構造とした。また、顕微鏡と拘束治具を Ar グローブボックス内に配置することで硫化物系全固体 LIB のオペランド観察が可能となった。

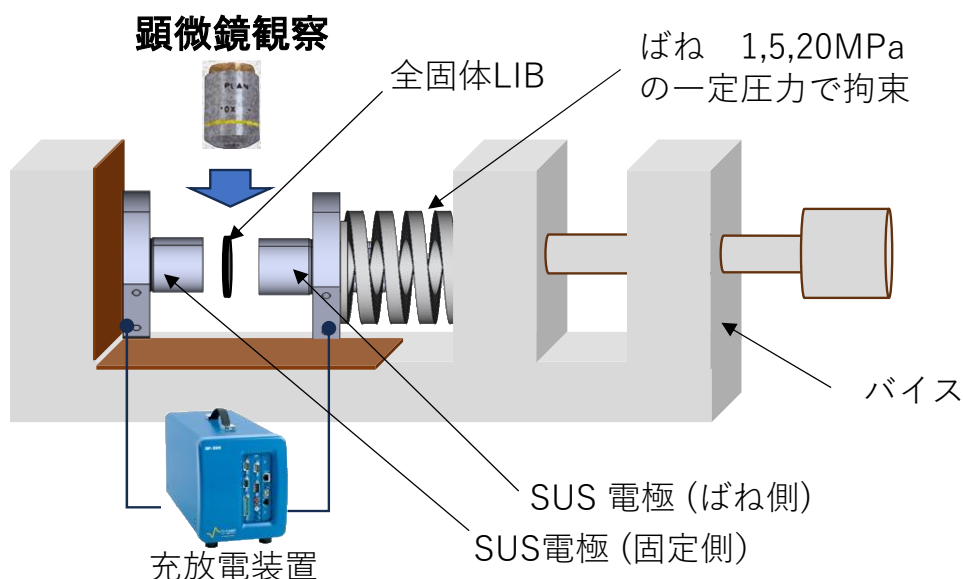


図 2.2-4-17 オペラント顕微鏡観察の定圧拘束治具構成

オペラント顕微鏡観察には実証電池 FS#0 仕様を用い、WIP 後の正極・SE 層・負極の 3 層電極を 1cm^2 の円形に打抜いて使用した。この電池の電池容量は 2.85mAh/cm^2 である。

オペラント顕微鏡観察は室温 (25°C) で行い、それぞれ拘束圧力を 1MPa、5MPa、20MPa と変化させて充放電サイクルを行った。オペラント観察時の充放電条件は図 2.2-4-18 に示す通り、電圧範囲を 3.0 V-4.2V、電流を 0.1C、0.5C、1.0C とした。各充電および放電後は 30min. のレストタイムを挿入した。

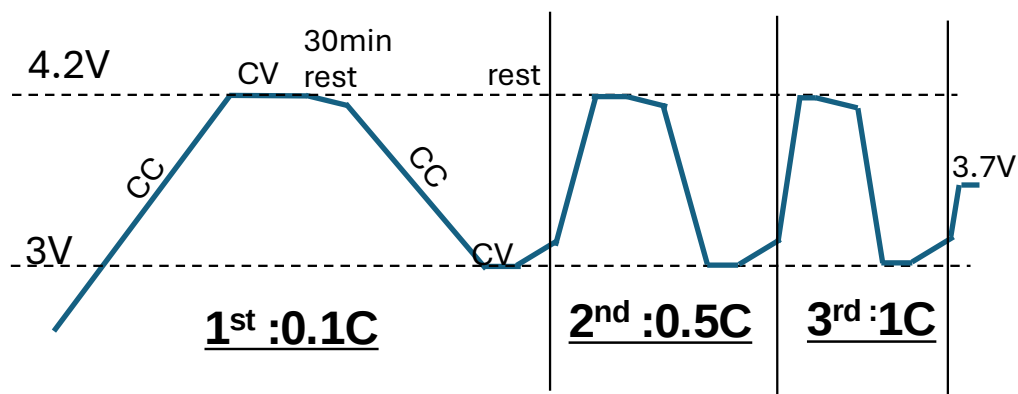


図 2.2-4-18 オペラント顕微鏡観察の条件

1MPa、5MPa、20MPa のいずれの拘束圧力においても電極の膨張収縮、グラファイト中の Li 濃度変化を反映した色変化 (T. Miyuki, et al., 第 57 回電池討論会 2016) が観察された。図 2.2-4-19 に拘束圧 1MPa、5MPa、20MPa における 1C 充電直後でのそれぞれの観察結果を示す。拘束圧 1MPa、5MPa の 1C 充電時には負極層/SE 界面に Li 金属の析出が観察された。Li 析出が確認された拘束圧 1MPa、5MPa の 1C 充電においては、Li 析出後 CV 充電過程で析出した Li が負極層へ吸収されることによる消失が観察された。Li 析出は大きな体積膨張をともなうため、それが消失した後にクラックが生じ、このクラックは 1MPa および 5MPa の拘束下においては放電後に修復されずに空隙として残存していることが分かった。拘束圧 20MPa においては明確な Li 析出は観察されずクラック発生も観察されなかった。

	20MPa拘束	5MPa拘束	1MPa拘束
観察結果 1C充電 直後			
Li析出	確認できず	有り	有り
クラック	確認できず	有り	有り(多い)

図 2.2-4-19 拘束圧 1MPa、5MPa、20MPa でのオペランド観察結果

図 2.2-4-20 にオペランド観察時の充放電カーブを示す。いずれの拘束圧力においても 1C 充電の 3.9V 付近から短絡挙動が見られる。短絡の原因は現在不明であるが打抜き時の影響が考えられるため、正極の配置や打抜き方法の見直しを実施中である。

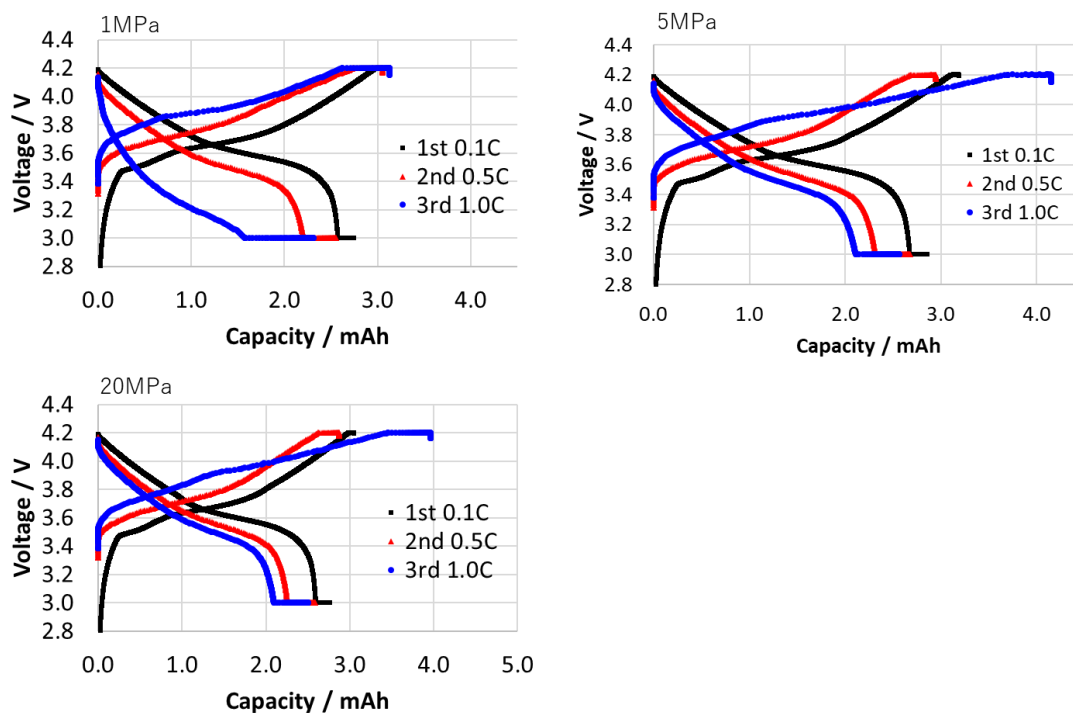


図 2.2-4-20 オペランド観察時の充放電カーブ

オペランド観察結果を劣化メカニズムと相関づけるため DIC (Digital Image Correlation: デジタル画像相関法) 解析によるひずみ解析を断面に対して行った。図 2.2-4-21 に 1MPa と

20MPa の拘束圧におけるひずみ解析の結果を示す。また、図 2.2-4-22 に拘束 1MPa における (Li 析出→消失の詳細)の結果を示す。

拘束圧 20MPa では充電時に負極の膨張が観察され、放電後には負極全体にわずかに膨張が残留しているのに対し、拘束圧 1MPa では Li 析出が発生した負極と SE 層の界面とその周りに局所的な大きなひずみが発生した。その後の放電で全体的なひずみは減少するが、充電時に発生した局所的なひずみは残存し後に元に戻らないことがわかった。Li 析出に起因する物理的变化が低拘束圧力時の性能低下の要因となっていると考察した。

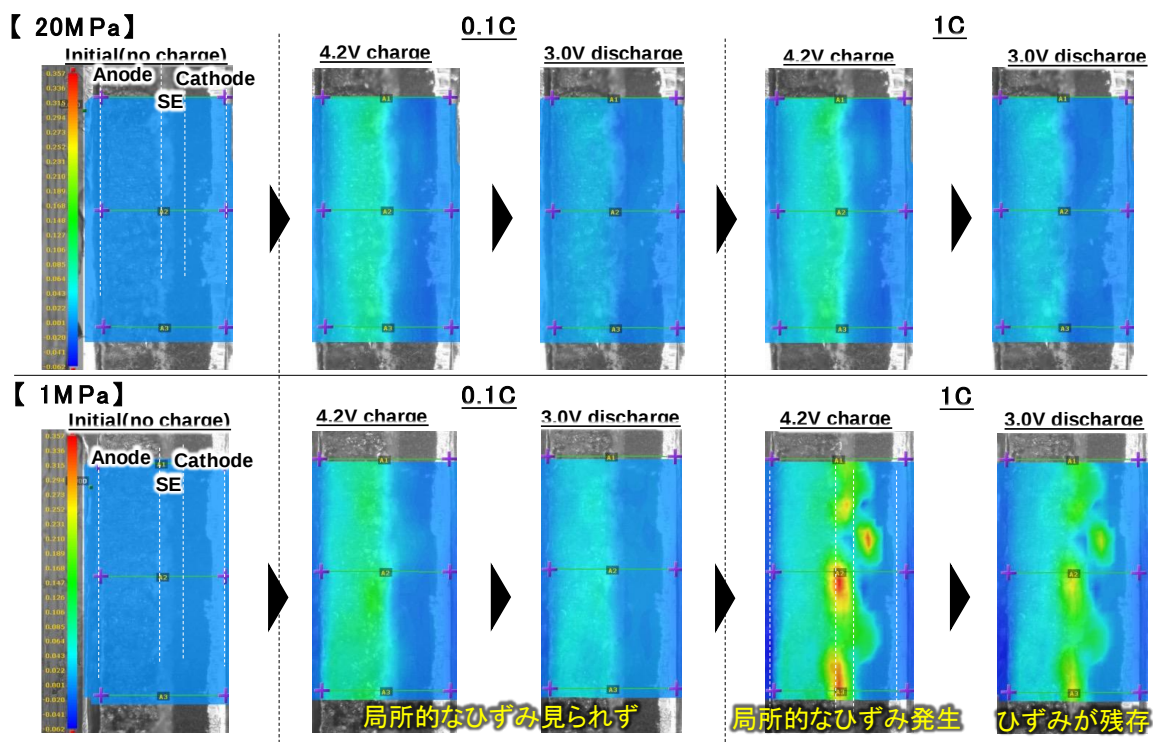


図 2.2-4-21 1MPa、20MPaのひずみ解析の結果

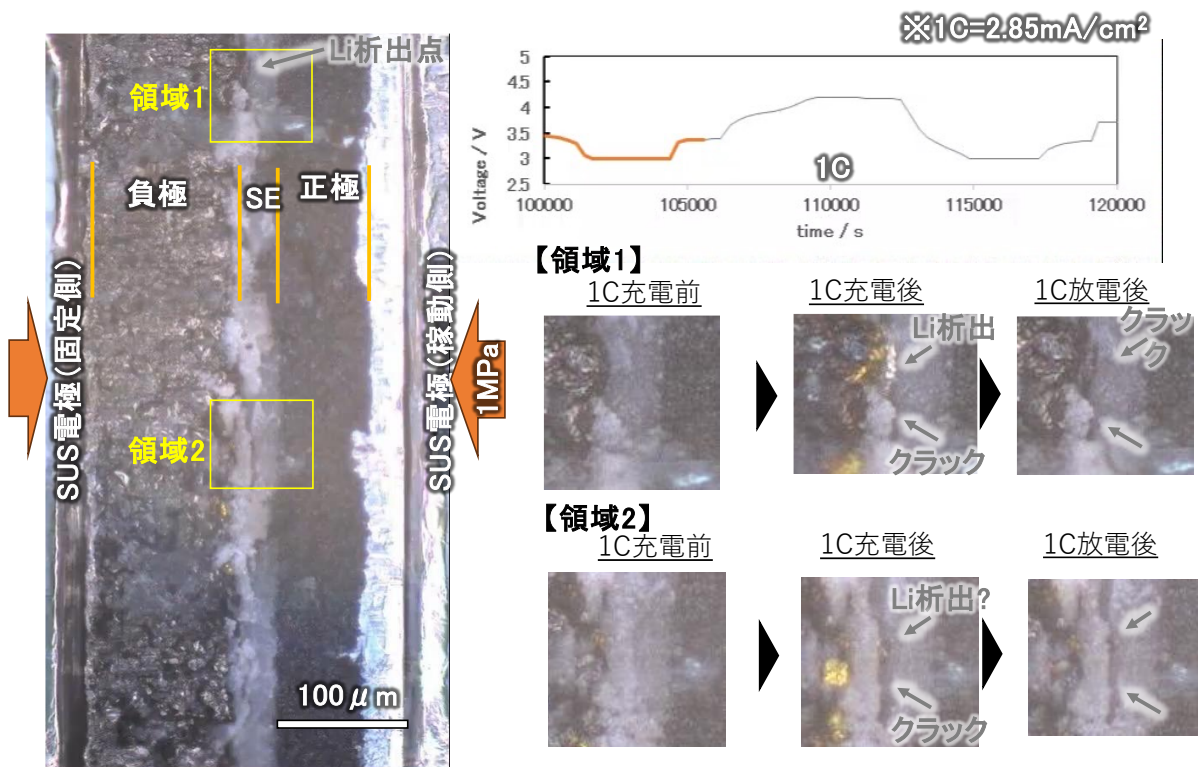


図 2.2-4-22 拘束 1MPa (Li 析出→消失の詳細)

以上、共焦点レーザー顕微鏡と DIC 解析を組み合わせた世界初の全固体 LIB オペランド断面充放電解析の結果、以下の成果を得た。

全固体 LIB を一定圧力で拘束し、顕微鏡を用いて電極断面をオペランドで観察できるシステムを構築し DIC 解析と組み合わせることで電極断面の組成や局所構造変化の解析に世界で初めて成功した。

本技術による全固体 LIB のオペランド解析により、1MPa および 5MPa の低拘束圧下では負極層と SE の界面の Li 析出に起因するクラックによる局所ひずみが発生していることを明らかにし、これら低拘束圧下ではクラックが塞がることができず、固固界面の接合不整合が性能低下の要因となっていると推定した。

1MPa および 5MPa の低拘束圧下においても充電レートを制限することで電極構造が維持され、局所ひずみが発生しないことを確認した。

今後の展開として、次の 3 項目を行う予定である。

- ・T1 がサテライトと開発中の無歪み (低体積変化) 材を使用した全固体 LIB での効果確認
- ・Li 金属負極全固体 LIB の拘束圧による Li 析出場所や析出形態、SE 層の構造変化解析
- ・標準電池 E タイプで検討中のグラファイト+Si 混合負極の全固体 LIB での局所ひずみ解析

2.2-4-(3) 研究開発区分③：電極・セル要素技術開発

a) 高エネルギー密度化要素技術

in-situ 加圧抵抗測定

材料やセル設計指標として活用できるかの知見獲得を目的とし、SE の機械的物性(充填率)と電気的特性(イオン伝導度)を同時に測定する、高精度 *in-situ* 加圧抵抗測定技術を開発した。「高精度」とあえて表記した理由は、高荷重をかけると材料以外の測定系(電極やプレス機など)の変形も拾ってしまい、検出したい数 μm ～数百 μm オーダーの厚み誤差が発生してしまうことや、SE のイオン伝導度測定に必要な数 MHz 帯域までの高周波測定におけるインピーダンス測定誤差をより低減させることを目指したためである。

本試験で使用した機器を図 2.2-4-23 に示す。グローブボックス(GB)内にて荷重・厚み・電気計測のできる、HIOKI製粉体インピーダンス測定システムを導入し立ち上げた。ロードセル、変位計、インピーダンスアナライザのそれぞれに対する補正機能が専用アプリ SA2653 に備わっている。測定は、SE 粉末を充填し、プレス機に測定用フィクスチャを取りつけ後、任意の圧力に変更しながら測定し、充填率とイオン伝導度の圧力依存性を得る。実験方法と測定サンプルを図 2.2-4-24 に示す。

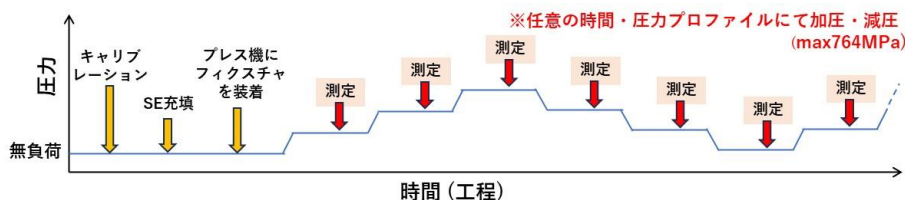


図 2.2-4-23 使用機器概要

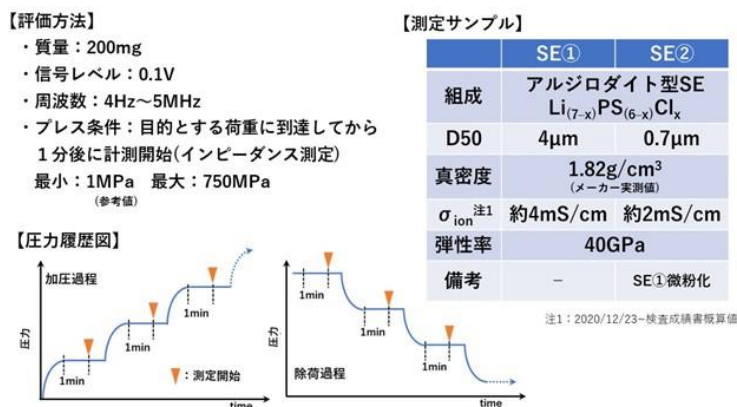


図 2.2-4-24 実験方法およびサンプル概要

図 2.2-4-25 に最大 750MPa までの加圧過程と減圧過程の厚み及び、充填率の圧力依存性を示す。図 2.2-4-25 の左に加圧・減圧した時の厚み変化を示す。図 2.2-4-25 の右に加圧・減圧した時のかさ密度を真密度で割り、充填率に換算した結果を示す。加圧するほど SE 粒子同士が塑性変形しながら緻密化し、SE①は最大 97.8%、SE②は 95.3%まで充填された。SE①よりも微粒化した SE②の方が充填率は低い結果となった。充填率は、粒度分布や弾性率、形状による影響もあると推測されることから、本結果を他の SE と比較する場合は、他のパラメータにも十分留意し比較する必要がある。

加圧時の圧粉過程により緻密化が進んだ SE ペレットは、減圧過程で厚みが増加、つまり充填率としては低下した。750MPa と 1MPa の充填率の差をスプリングバック量とすると、D50 によらずほぼ同程度の 4%となった。これは、同一組成であるため同程度となったと推測している。

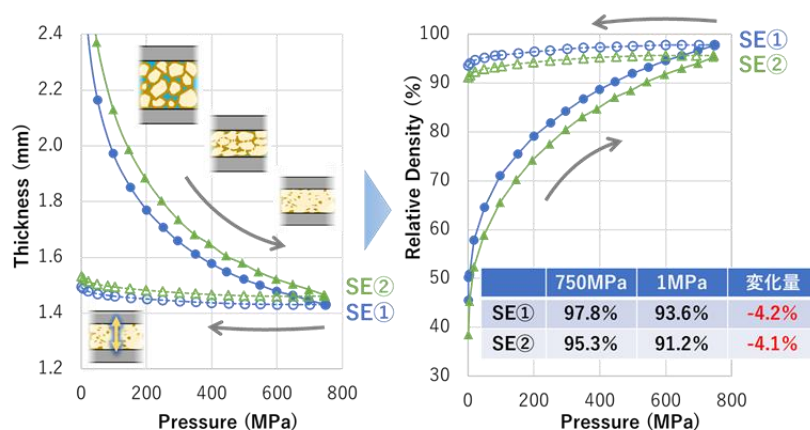


図 2.2-4-25 加圧・減圧過程における厚みおよび充填率の圧力依存性

図 2.2-4-26 にイオン伝導度の圧力依存性の結果を示す。図 2.2-4-26 の左上に SE①の加圧し塑性変形していく過程の EIS スペクトルを示す。加圧するほど低抵抗化することが確認できた。図 2.2-4-26 の左下に位相のボード線図を示す。粒界・粒内の時定数に近くなる数 MHz の高周波領域において、加圧するほど位相が小さくなった。これらの結果は、加圧により緻密になったことを示唆していると推測する。

図 2.2-4-26 の右にイオン伝導度に換算したグラフを示す。圧力をかけ緻密になるほどイオン伝導度は逐次的に向上せず、徐々に緩やかになった。SE①では 550MPa、SE②では 650MPa で極大となった。また、イオン伝導度は SE①の方が SE②よりも高くなった。これは、SE①は平均粒径が大きいと、体積当たりの粒界抵抗が小さく、その結果高いイオン伝導度を発現したと推測する。イオン伝導度最大となる圧力が SE①と SE②で異なるのは、SE②は上記粒界抵抗の割合が大きい事と充填性の違いによるものと推測する。

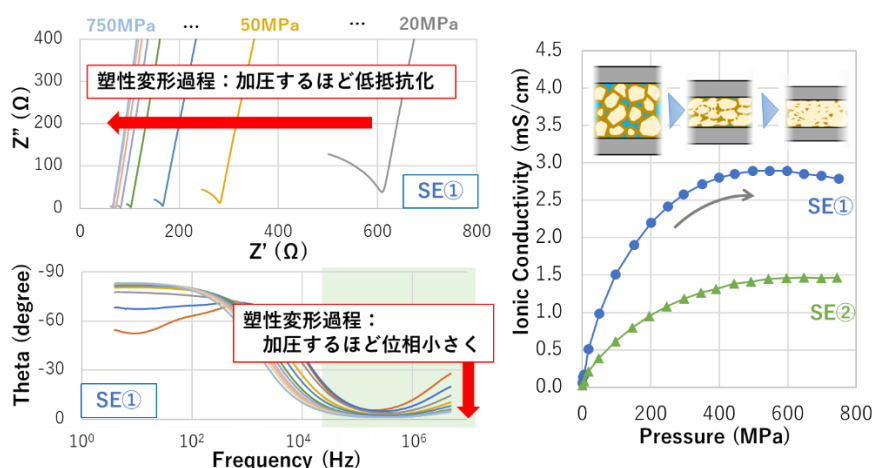


図 2.2-4-26 加圧過程における EIS スペクトルおよびイオン伝導度の圧力依存性

図 2.2-4-27 に減圧過程も追記した結果を示す。図 2.2-4-27 の左上は、減圧過程の EIS スペクトルを示している。加圧成形後の減圧過程では、更に抵抗が下がる挙動が観測され、抵抗の最小値は 100MPa となった。100MPa より更に低圧側では徐々に抵抗は増大した。図 2.2-4-27 の左下にボード線図を示す。加圧過程と比較して減圧過程では高周波領域の変化は小さく、数十～数 MPa という極低圧において大きくなった。図 2.2-4-27 の右にイオン伝導度の圧力依存性を示す。最大のイオン伝導度は圧力をかけた 750MPa の値から減圧過程において約 50%増加した。イオン伝導度の圧力依存性は、図 2.2-4-27 に示した充填率の圧力依存性とは異なり、極大値を持つことがわかった。

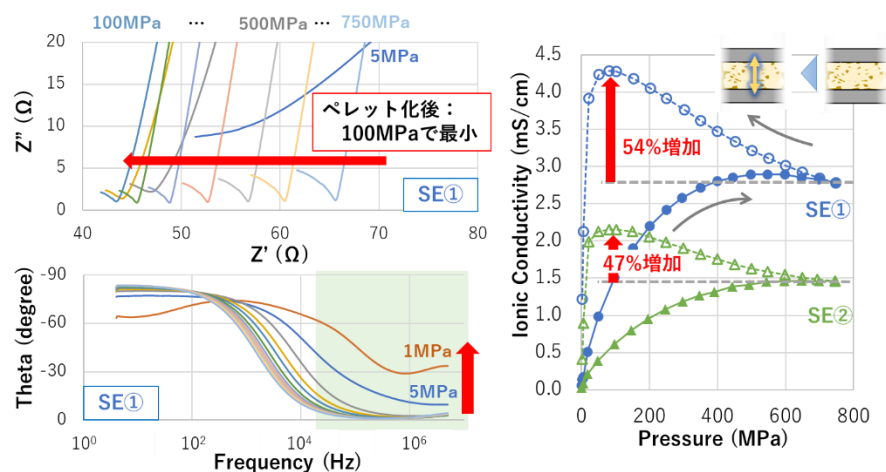


図 2.2-4-27 加圧・減圧過程における EIS スペクトルおよびイオン伝導度の圧力依存性

イオン伝導度の圧力依存性に関して、なぜ極大値を持つか考察を行った。考案したモデルを図 2.2-4-28 の右に示す。EIS スペクトルより読み取る SE のイオン伝導抵抗には 3 つの抵抗成分があると考えた。その抵抗成分とは、電極ピンと SE ペレット界面の抵抗 R_1 、SE と SE の粒界抵抗 R_2 、SE 内部の粒内抵抗 R_3 である。高压で抵抗が低くなる抵抗成分は機械的な接触によるものと想定し、 R_1 と R_2 、高压において抵抗が高くなる抵抗成分は SE の結晶内部の物性と考え R_3 とした。加圧成形過程においては SE 粒子同士がつぶれながらイオン伝導パスを形成していく過程であるため、 R_2 が支配的な圧力過程と考えた。高压側でイオン伝導度が高止まりしている結果

は、 R_2 は低下しつつも SE 粒子同士が機械的に強固に接合したことで SE 内部へもより圧力が加わるようになり、 R_3 の影響も発現してきていると考えている。ペレット化後の減圧・加圧過程においては、十分緻密化されたことで R_2 の変化よりも高压側では R_3 が、低压では R_1 が支配的であると考えた。

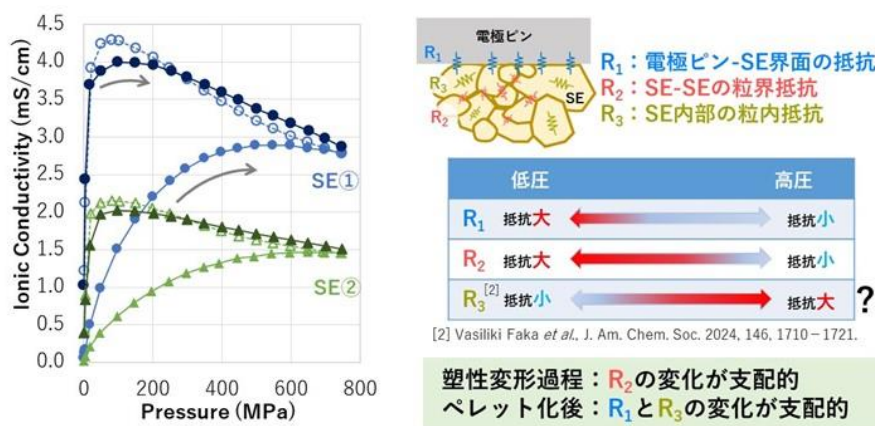


図 2.2-4-28 考案した抵抗成分モデル

粉体インピーダンス測定システムを用いて *in-situ* 加圧抵抗測定技術開発を行い、最大 750MPa までの SE の充填率(機械的特性)とイオン伝導度(電気的特性)の圧力特性を評価した。充填率は圧力が高いほど高くなることがわかった。また、イオン伝導度の圧力依存性を測定すると極大値を持つことがわかった。これは、SE の粒内・粒界抵抗の他に電極ピンと SE の界面抵抗があり、各抵抗成分の圧力依存性が異なっているためと考察した。

b) 高耐久化要素技術

正極活物質用の高耐久コート材の開発

硫化物系固体電解質(以下、硫化物系 SE)は、高いイオン伝導度を有する一方で、電位窓が狭く、酸分解しやすいことが課題とされる。特に、アルジロダイト型硫化物系 SE では、安定な電位窓が約 1.72~2.34 V と報告され、高電位での使用に制限がある。

導電助剤の添加と LiNbO_3 コート層の厚さが全固体 LIB の性能に与える影響に着目して、詳細な解析を実施した。その結果、 LiNbO_3 コート層を厚くすると、コート層由来の抵抗成分が増大するが、導電助剤添加によって、この抵抗が低減されることを確認した。一方で、既存の研究では、導電助剤の添加が硫化物系 SE の劣化を促進する可能性が指摘されている。このため、本報告では、導電助剤の添加が全固体 LIB の性能に及ぼす影響をより詳細に理解することを目的とし、最終的に LiNbO_3 の厚膜化と導電助剤(VGCF)添加の組み合わせが電池性能にどのような影響を与えるかどうかを検証した。

b)-(ア) LiNbO_3 コート層の厚膜化と導電助剤の組み合わせによる耐久性の評価

図 2.2-4-29 は、フロート充電試験前後の充放電曲線および試験後の CC 容量維持率を示す。表面処理が施されていない未コート NCM523 セルは、 LiNbO_3 コートを施したサンプルと比較し

て最も低い容量維持率を示し、試験後には充放電動作が完全に停止した。この結果から、未コート NCM523 では高電圧条件下での著しい副反応が発生し、全固体 LIB の充放電性能が低下することが明らかとなった。一方、 LiNbO_3 コートを施したサンプルでは、コート層の厚さに応じて容量維持率が向上した。これらの結果は、正極合材に 3 wt% の VGCF が含まれている場合でも、厚い LiNbO_3 コート層が界面での副反応を大幅に抑制し、全固体 LIB の耐久性向上に寄与することを示している。

図 2.2-4-30 には、フロート充電試験前後の全セルにおけるナイキストプロットを示す。フロート充電試験後のインピーダンススペクトルにおいて、未コートまたは、 LiNbO_3 コートの厚みが薄いほど、抵抗が大きく増加する傾向が確認された。この結果から、 LiNbO_3 コート層を厚くすることで、コート層が薄い場合と比較して、界面での副反応や分解生成物の生成を抑制し、安定した固/固界面を形成することが示唆された。

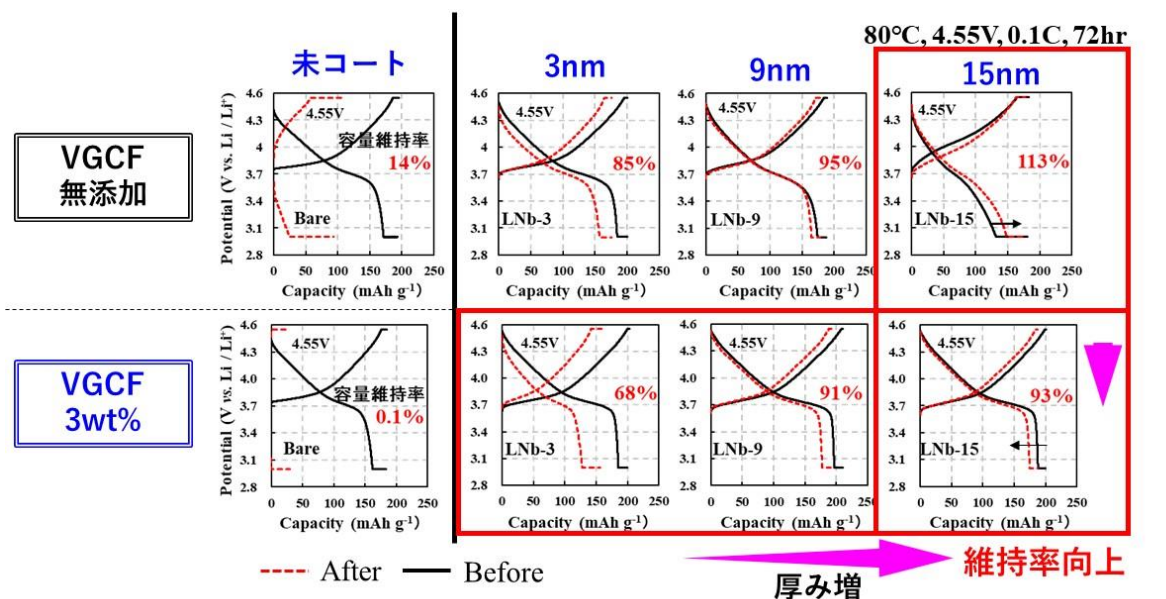


図 2.2-4-29 フロート試験前後の容量維持率

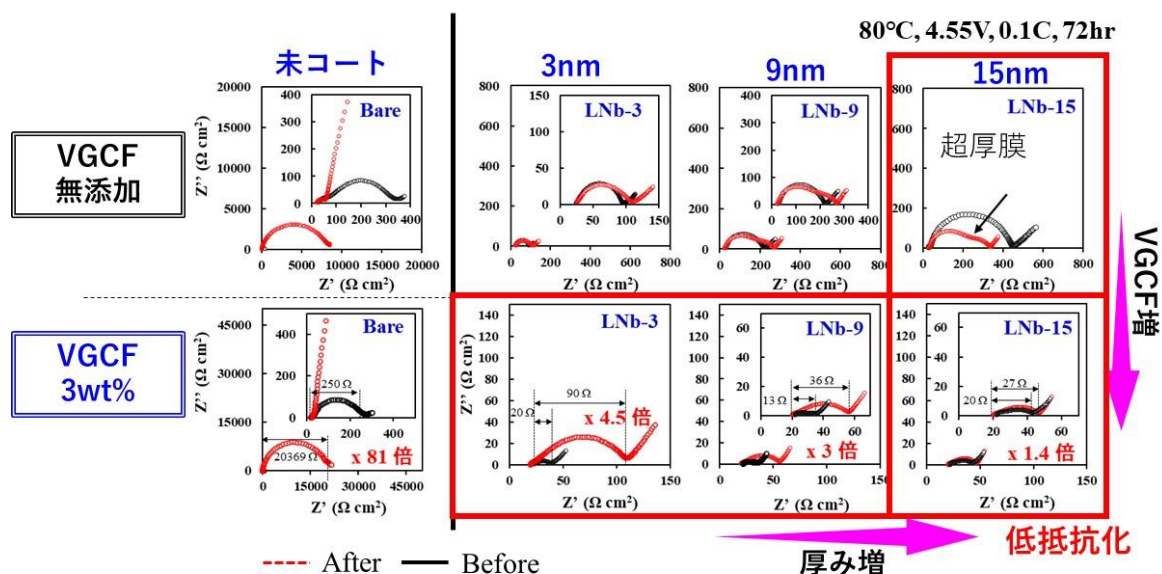


図 2.2-4-30 フロート試験前後の EIS 測定結果

b)-(イ) LiNbO₃ コート層の厚膜化と VGCF 添加の組み合わせによる劣化機構の解明

これまでに実施した充放電試験および EIS 測定の結果をもとに、コート層厚みが 15nm の試料(LNb-15)の劣化モデルを図 2.2-4-31 の左に示す。VGCF 無添加試料と 3 wt%添加試料を比較した結果、VGCF を添加することで電子パスが増加し、初期容量が大幅に向上した。一方で、フロート充電試験後の容量低下が顕著に見られ、セル劣化が進行する可能性が高いことが示唆された。VGCF 無添加試料では電子パスが不足しており、孤立した未充放電の活物質が多く存在するため、初期容量が低く抑えられた。しかし、フロート充電試験後には容量の劣化がほとんど見られず、硫化物系 SE の劣化が抑制される可能性があると考えられた。この仮説を検証するために、VGCF 無添加試料と 3 wt%添加試料の XPS 分析を実施した。その結果を図 2.2-4-31 の右に示す。分析の結果、推測した劣化モデルと一致するように、VGCF 3 wt%添加試料では劣化前の試料と比較して XPS スペクトルのピークが広がり、S、P₂S_x、PO_x などの劣化生成物が VGCF 無添加試料に比べて多く生成されていることが確認された。この結果から、VGCF を添加することで正極合材層内の電位分布が均一化し、局所的な劣化ではなく、全面的に劣化が進行することが示唆された。

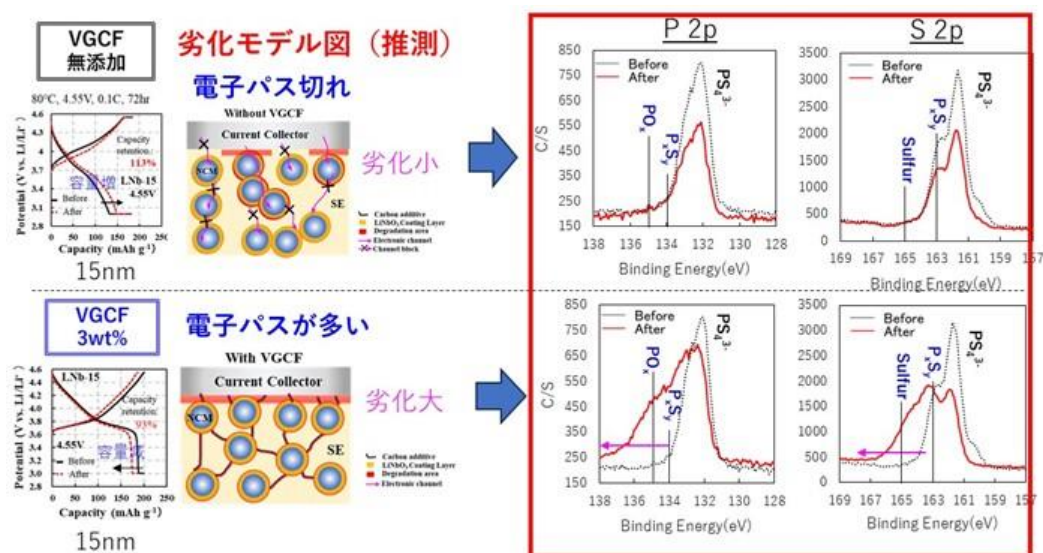


図 2.2-4-31 LNb-15 の劣化モデル(左)と XPS 分析結果(右)

VGCF 添加が硫化物系 SE の酸化劣化に及ぼす影響をより詳細に評価するため、未コート NCM523 および LiNbO₃ コート試料(LNb-3、LNb-9、LNb-15)のフロート試験後の XPS 分析を実施した。その結果を図 2.2-4-32 に示す。図 2.2-4-32(左)は、VGCF 添加の有無による PS₄³⁻ ユニットの残留量の変化を示している。VGCF を添加した試料では、添加前の試料と比較して PS₄³⁻ ユニットの残留量が全体的に低下しており、これにより合材層内での電位分布が均一化し、劣化が進行したことが示唆された。これは、VGCF 添加により局所的な導電性が改善される一方で、SE の酸化分解が促進される可能性を示している。

さらに、図 2.2-4-32(中)および(右)では、VGCF 添加の有無による S および P₂S_x の生成量と、SO_x および PO_x の生成量を比較している。VGCF を添加した試料では、S および P₂S_x の生成量が SO_x および PO_x の生成量を上回ることが確認され、硫化物系 SE 自体の酸化分解が劣化の主

要因であることを示唆している。この結果は、高電位領域において VGCF の添加により硫化物系 SE の酸化反応が加速し、S や P_2S_5 を含む劣化生成物が形成されることを示している。

これらの結果から、VGCF の添加は合材層内の電位均一化を促進する一方で、硫化物系 SE の酸化分解を進行させる要因となることが明らかになった。特に、VGCF が導電性を向上させることで、硫化物系 SE と正極活物質の界面での副反応が加速される可能性が示された。この知見は、VGCF の使用条件や界面設計の最適化が、硫化物系 SE の耐久性向上において重要であることを示唆している。

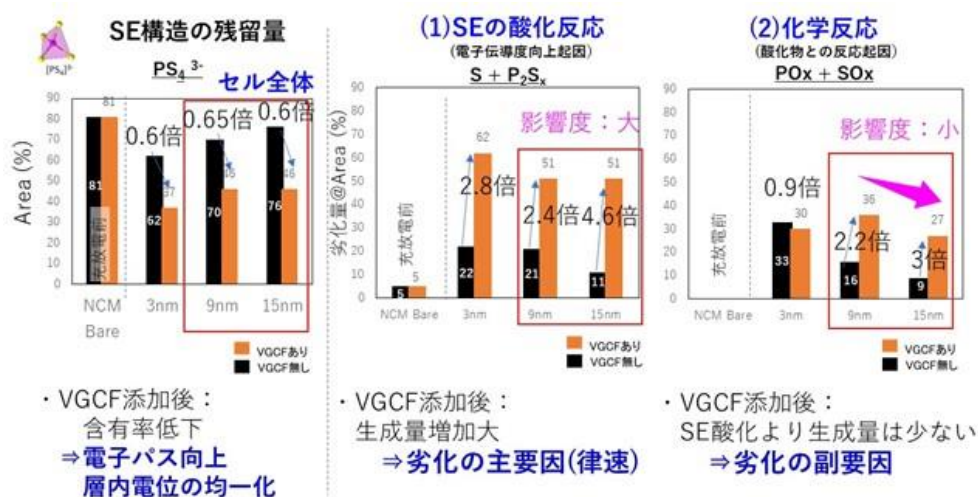


図 2.2-4-32 VGCF 添加の有無による PS_4^{3-} ユニットの残留量の変化

b)-(ウ) 劣化生成物と電池性能の関連に関する考察

本取り組みの全固体 LIB セルの劣化とその電池性能への影響について、耐久性試験前後の交流インピーダンス測定を基に考察した。図 2.2-4-30、図 2.2-4-33 に示すように、EIS の測定結果から算出した耐久試験前後の抵抗増大率を解析したところ、未コート品の抵抗増大率は最も大きく、約 81 倍に達した。このことから、硫化物系 SE の劣化に伴う元素の相互拡散が主要な劣化要因であることが示唆された。一方、LNb-3、LNb-9、および LNb-15 における抵抗増大率は、それぞれ 4.5 倍、3 倍、1.4 倍となった。これらの結果は、適切な保護コート層の形成により元素拡散が抑制され、電池の耐久性向上に寄与する可能性を示唆している。特に、LNb-15 では最も低い抵抗増大率が得られたことから、保護コート層の厚さが増加することで酸化反応や界面反応が抑制され、電池性能の安定化が期待できると考えられる。さらに、正極活物質表面に形成される保護コート層の膜厚と劣化の関係について詳細に検討した。その結果、膜厚 3nm の条件では未コート品と比較して元素拡散が低減し、抵抗増大倍率が抑制されたものの、一部未コート部が残存することで電子伝導度が依然として高い状態にあると考えられた。一方、膜厚 9nm においては未コート部が消失し、電子伝導度の低下に伴い硫化物系 SE の酸化分解(S、 P_2S_5 の生成)が抑制される傾向が確認された。さらに、膜厚 15nm では酸化物との反応が低減し、最も小さい抵抗増大率を示した。

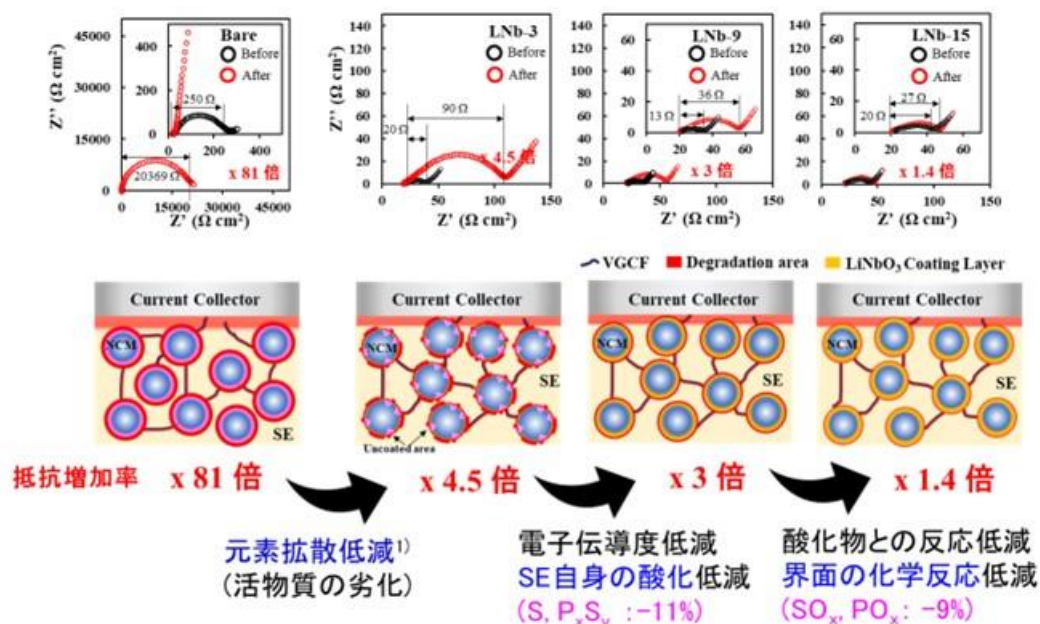


図 2.2-4-33 劣化生成物と電池性能の関連に関する考察

これらの結果を総合すると、劣化生成物と抵抗増大率の関係において、耐久性への影響度は (1) 元素拡散、(2) SE 自身の酸化、(3) 界面での化学反応 の順で大きいことが明らかとなった。したがって、コート層の適切な膜厚を設計することで、これらの劣化要因を効果的に抑制し、電池性能を向上させることが可能である。

b)-(エ) 全固体 LIB 用正極活物質への表面コーティング厚み効果検証

これまでの全固体 LIB の劣化に関する様々な検討の結果、充放電サイクル等により全固体 LIB の容量が不可逆的に低下する原因としては、正極においては SE の酸化や正極活物質の硫化などの副反応に由来する化学劣化、負極においては充放電に伴って黒鉛が膨張収縮することで負極内部に発生する粒子間の空隙やクラック、また負極と SE 層の間に金属リチウムが析出するのに伴う層間剥離などに由来する物理劣化に大別される。負極における物理劣化のメカニズムや方策要素技術開発については、低拘束圧化要素技術の項で述べることにし、本項では、正極における化学劣化に対する方策要素技術開発について説明する。

正極における化学劣化は、主として正極活物質や導電助剤が SE と接触している界面で発生している。材料レベルでは正極活物質への LiNbO₃ コーティングの厚みを増やすことが化学劣化抑制のために有効であると報告されてきた。そこで、小型ラミネートセルに LiNbO₃ コーティングを厚くした NCM523 を適用し、本委託事業における電池性能目標である室温での耐久性について評価検証した。図 2.2-4-34 に示したように NCM523 表面に施すコーティング厚みを厚くしたことで、全固体 LIB の耐久性はおよそ 10 ポイント改善し、化学劣化が正極活物質表面で発生しており、それを抑制することが耐久性向上に寄与すると確認できた。また、耐久性が改善できたのみならず、入力特性についてもコーティング厚みを増やすことで改善できており、図 2.2-4-35 に示したように 25℃、6C での充電容量維持率もおよそ 10 ポイント向上している。LiNbO₃ は電子伝導性を持たないため、正極内の電子伝導ネットワーク形成という観点では不利に働く要素であるが、化学劣化につながる界面での酸化分解および抵抗層形成を抑制できたことが抵抗増抑制につながり、

充電特性改善に寄与したと推定している。

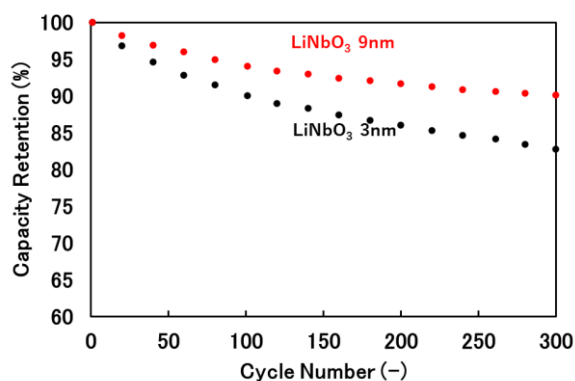


図 2.2-4-34 NCM523 への LiNbO_3 コーティング厚みが異なる全固体 LIB の 25°C、1C 充放電サイクル特性

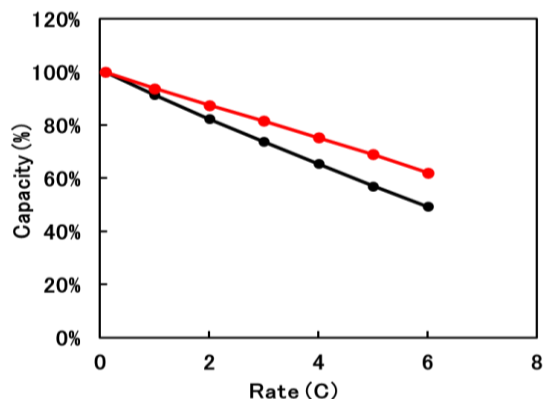


図 2.2-4-35 NCM523 への LiNbO_3 コーティング厚みが異なる全固体 LIB の充電レート特性
(黒: LiNbO_3 3nm 厚、赤: LiNbO_3 9nm 厚)

c) 加速耐久評価技術

30 万 km の耐久評価を行うには、1C サイクルでも 1000cyc 必要であり、3～4 か月程度の長期間の評価がかかるため、加速評価法の検討を実施した。SOLiD-EV プロジェクトで得られた成果として、正極では、活物質と固体電解質(SE)間で副反応による SE の酸化反応つまり化学的劣化が生じる。負極では、黒鉛の膨張収縮により SE 界面にクラックが発生しイオンや電子伝導パスが切れてしまう物理的劣化が生じることを確認している。そこで、温度と ΔSOC 範囲を区切った加速評価を行い、劣化挙動を確認することにより加速評価の妥当性を検討した。

c)-(ア) 温度加速評価

25°C～80°Cの範囲で1C 耐久評価を行った結果を図 2.2-4-36 に示す。温度上昇とともに、劣化は進行した。また、25～80°Cにおいて劣化量はアレニウスプロット上にあるため、同じ劣化機構であることがわかった。

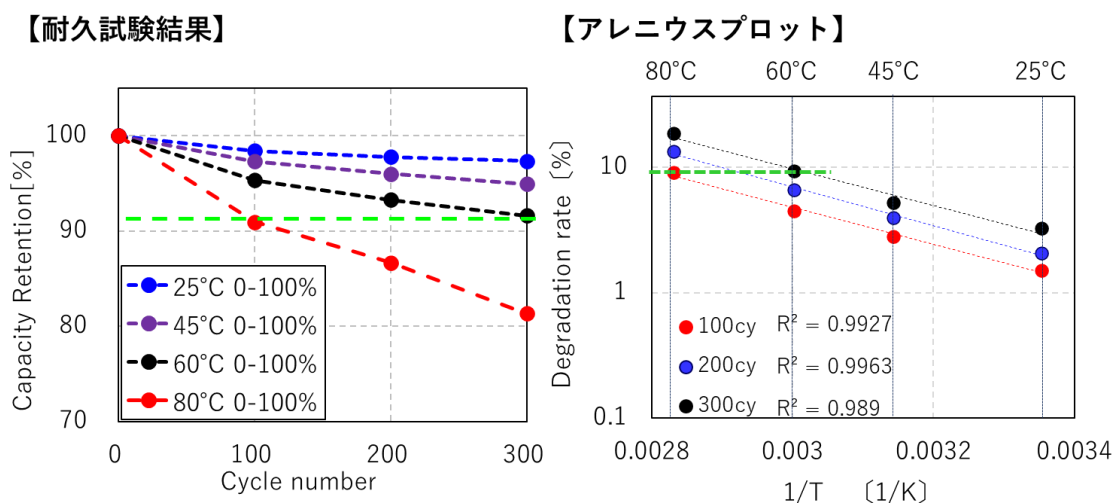


図 2.2-4-36 耐久試験の温度依存性

c)-(イ) 限定 SOC による加速評価

SOC と劣化との関係を把握するため、SOC 範囲を区切った充放電をおこない、SOC と固体電解質の基本骨格である PS₄-量との関係を XPS にて調査した。その結果、図 2.2-4-37 に示すように、SOC60%以上で正極中の固体電解質の PS₄-骨格が減少し化学劣化していることを明らかにした。

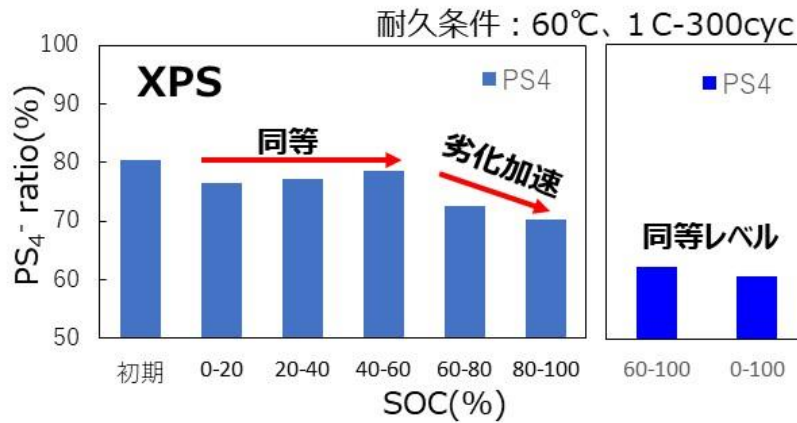


図 2.2-4-37 評価条件(SOC 範囲)と正極中の固体電解質の変化

次に負極黒鉛の膨張収縮による物理劣化の影響を把握するため充電時の負極の厚み変化を調査した。その結果、図 2.2-4-38 に示すように SOC60%以上で厚み変化が大きくなることが判明したため、SOC60-100%で劣化加速させることとした。

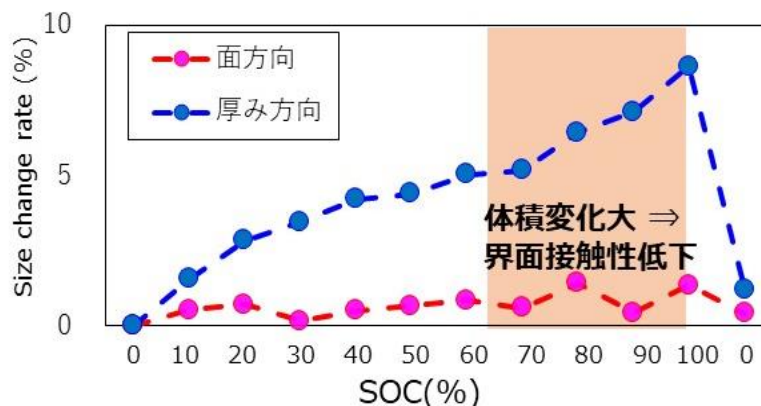


図 2.2-4-38 充電状態による負極の厚み変化

標準試験条件(60℃、SOC0-100%)と加速試験条件(80℃、SOC60-100%)で実施した耐久評価の結果を図 2.2-4-39 に示す。標準試験では容量維持率が 90%まで低下するのに 35 日程度日数がかかるところ、加速試験では 7 日程度と評価期間が 1/5 となり、5 倍の耐久評価試験加速効果があることがわかった。

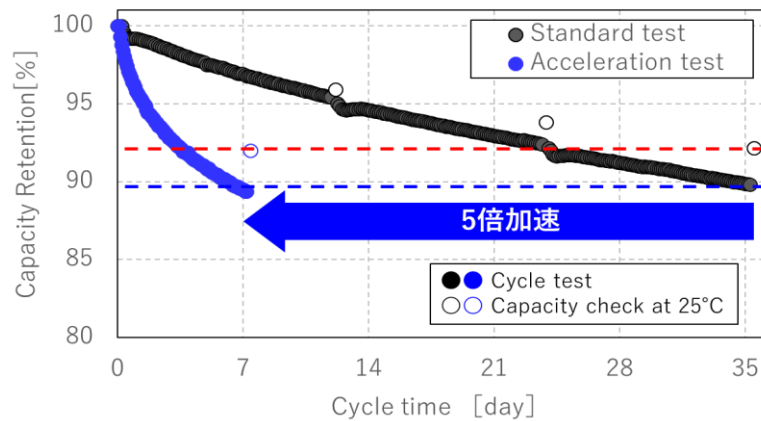


図 2.2-4-39 加速耐久評価の結果

d) 高入力化要素技術

d)-(ア) 全固体 LIB 用正極の設計およびプロセス適合

電池一般に通じることであるが、入出力特性を良好にするためには、電池抵抗の低減が重要である。全固体 LIB においては、液系 LIB と比較して界面での副反応がすくないと考えられているが、固体同士の接触に依存するイオン伝導形態であるため、活物質と SE の接触界面を出来るだけ増やすことや界面での酸化/還元分解を抑制すること、界面に電子やイオンを通さない絶縁体を出来るだけ配置しないことが重要である。それに加えて電極の構成成分を均一配置することも重要である。

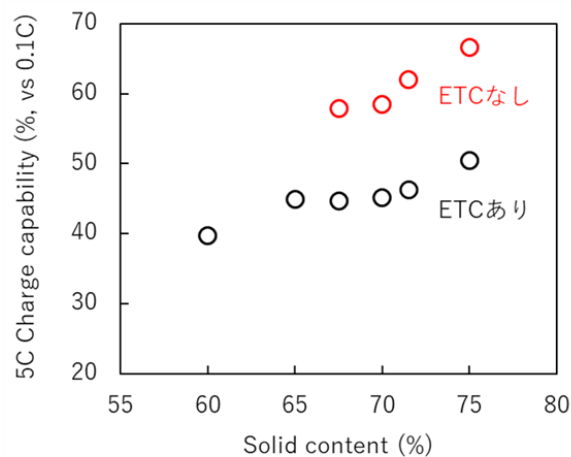


図 2.2-4-40 正極における ETC の有無や固形分濃度と 5C 充電レート特性の関係

これまでの研究の結果、電極構成成分を均一に配置するため、スラリー混練工程でスラリーを増粘させるために加えていた増粘剤であるエチルセルローズ(以下 ETC)が、全固体 LIB 用正極において抵抗成分となり入出力に悪影響することが示唆されていた。しかしながら、単純に不使用としてしまったのでは、スラリー混練、塗工にて得る正極の構造不均一性が助長されてしまう。そこで均一分散性を確認するためスラリーレオロジ特性のうち、低せん断ひずみにおける $\tan\delta$ が指標として有益であることに着目して検討をおこなった。ETC が無くても、 $\tan\delta$ が良好な値となる固形分濃度を探索するため、塗工正極の断面 SEM 観察を実施した結果、固形分に対する $\tan\delta$ の依

存性が小さい領域にすることで、塗工後も良好な分散性を保持した正極が得られることを確認できた。スラリーを塗工したのち、正極の乾燥が完了するまでに、構成成分粒子の流動を抑制して、正極構造の不均一化を抑制することが重要だと考えられる。

正極スラリーにおける ETC の有無や固形分濃度と充電レート特性の関係を図 2.2-4-40 に示した。適切な固形分濃度にすることで正極の均一性が良好になり、充電レート特性が向上することが確認できる。また、同等の固形分濃度において、ETC の有無により 5C 時の充電容量維持率が向上することもわかる。全固体 LIB 向け正極において ETC は作製上必要な材料であった一方で抵抗増加要因であったが、プロセス条件と併せて検証することで、電池特性とプロセス性の両者を満足する電極設計とすることができた。

e) 低拘束圧化要素技術

e)-(ア) 無体積変化正極材(LTVO)を用いた全固体 LIB の低拘束圧化検討

現行の全固体 LIB では正負極活物質が充放電中に体積変化するため固/固界面が剥離し性能劣化が生じる。そのため、界面接合を保つために外部治具を用いて高い拘束圧をかけ、その性能を維持している。しかし、車載用途等では、拘束具のスペース・重量増によるエネルギー密度減が想定され、拘束具を用いないことが望ましい。そこで、充放電過程で体積変化の無い正極活物質($\text{Li}_{8/7}\text{Ti}_{2/7}\text{V}_{4/7}\text{O}_2$; LTVO)を用いることによる全固体 LIB の拘束圧の低減を目指した。

2023 年に横浜国立大学 藪内らから報告された Disorder rocksalt structure の Li 過剰系 Ti・V 系材料($\text{Li}_{8/7}\text{Ti}_{2/7}\text{V}_{4/7}\text{O}_2$; 以下 LTVO)の XRD・SEM・充放電カーブを図 2.2-4-41 に示す。この正極活物質は、室温で 300 mAh/g 程度の可逆容量を示すことが報告されている(I, Konuma, and N, Yabuuchi, et al. A near dimensionally invariable high-capacity positive electrode material, Nature Materials 22, 225-234 (2023))。

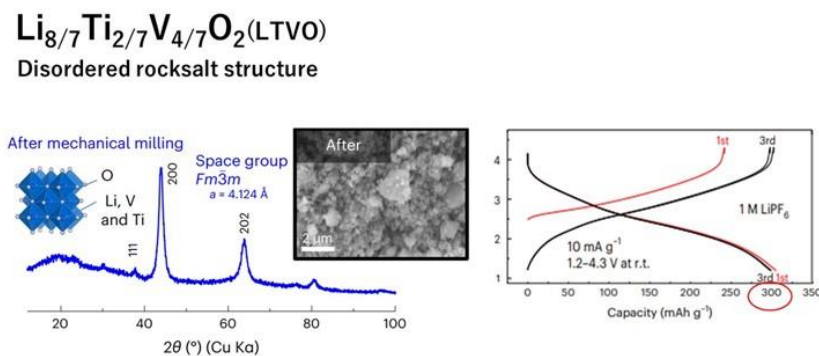


図 2.2-4-41 LTVO の XRD、SEM、充放電カーブ

図 2.2-4-42 に LTVO を用いた充放電中のオペランド XRD とそのハイライトを示す。充放電中の XRD パターンのピーク位置に変化がないことから、充放電過程での結晶構造変化および体積変化がないことが報告されている。本材料を全固体 LIB の正極材として用いることでセルの低拘束圧化を目的として検討を実施した。

充放電中のオペランドXRD

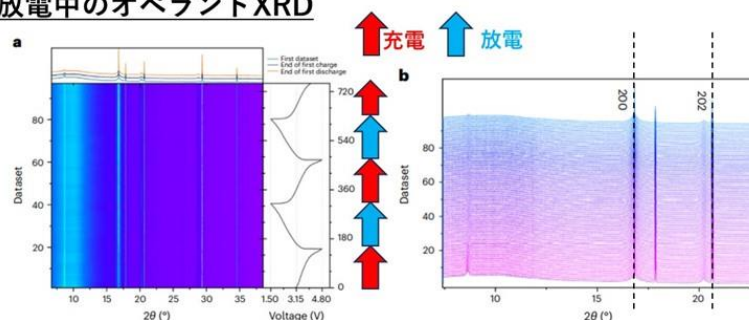


Fig. 3 | Structural characterization for nanosized $\text{Li}_{0.7}\text{Ti}_{2.7}\text{V}_{4.7}\text{O}_2$. a, An intensity contour map of operando XRD patterns on charge/discharge processes at a rate of 43 mA g^{-1} . b, The highlighted XRD patterns.

図 2.2-4-42 LTVO の Operando XRD (左) とピークハイライト (右)

まず、正極活物質に LTVO または NCM523 を用いた圧粉ハーフセルにて、拘束圧を変化させた時の充放電特性を評価した。図 2.2-4-43 に各拘束圧での 3 サイクル充放電容量を示す。LTVO を用いた場合、現行の圧粉セル拘束条件である 200MPa から 13MPa まで低下させても容量劣化が無いことを確認した。3MPa 条件では初期充電容量は得られたが、放電容量が得られない結果となった。これは In-Li 対極の影響が大きいと推定している。

NCM523 を用いた場合、200MPa から 20MPa および 20MPa から 13MPa と、低拘束圧化に伴い充放電容量が大幅に減少する結果となった。また NCM 系では、上述の LTVO 系とは逆に充電容量が先に減少する挙動がみられた。この結果より、LTVO の有用性を確認した。

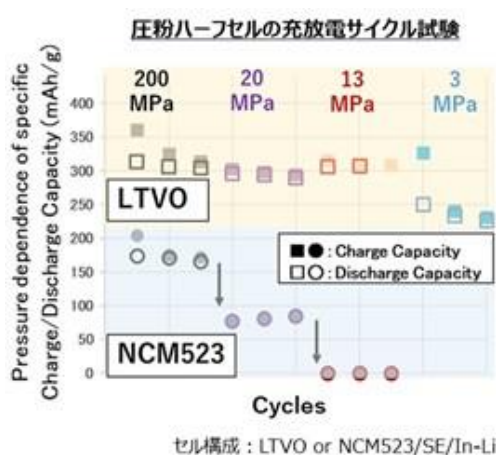


図 2.2-4-43 LTVO または NCM523 を用いた圧粉ハーフセルの拘束圧—充放電特性

次に LTVO を用いたさらなる低拘束圧検討を進めるべく、下記フローで圧粉体を用いたラミセルを作製した (図 2.2-4-44)。前項までの圧粉セルでの室温一軸プレスに加え、温間静水圧プレス (WIP) 処理を行った。作製したセルは右下完成図にあるように無拘束状態で電池評価を実施した。

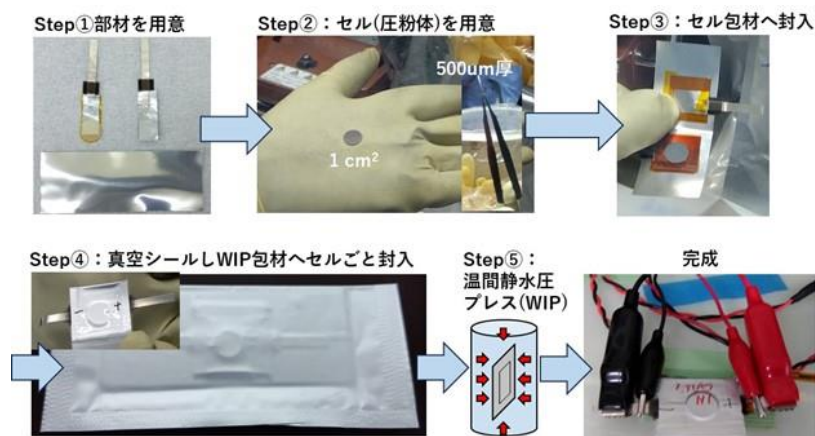


図 2.2-4-44 圧粉ラミセル作製フロー

作製した圧粉ラミセルの負極には黒鉛(グラファイト:Gr)を用い、充放電中の体積変化の小さい領域のみを使う設計とし負極の体積変化による影響が小さくなるように設計した。充放電サイクル試験の結果、100 サイクル後の容量維持率で 87%を示し、無拘束でも安定して充放電サイクルが可能であることを確認した(図 2.2-4-45)。

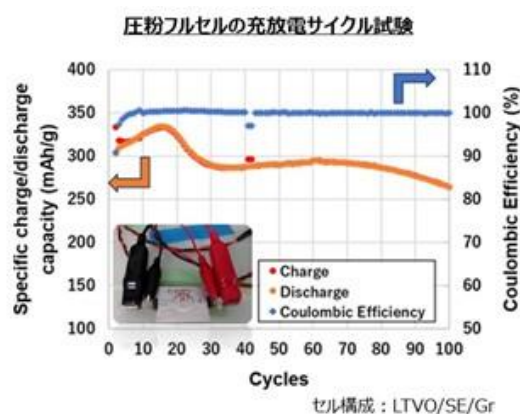


図 2.2-4-45 正極 LTVO・負極 Gr 圧粉ラミセルのサイクル試験結果

図 2.2-4-46 の左上の領域①～③の充放電容量の推移について考察を行った。①の充放電容量が増える領域については、LTVO 自体の電子伝導度が上がったことが一因と考えられる。横浜国立大学の報告では、遷移金属(ここではバナジウムイオン)の四面体サイトへのマイグレーションにより、静電相互作用が増加することが報告されている(Mizuki Nakajima, Naoaki Yabuuchi, Chem. Mater. 2017, 29, 6927–6935)。図 2.2-4-46 の下に同様のメカニズムを LTVO に当てはめたイメージ図を示す。まずサイクル初期段階では LTVO の活物質内部の電子伝導度が低く容量に寄与できていなかったものが、サイクル経過に伴い V イオンのサイト置換が起こり、より電子伝導効率が上がった結果、活物質内部まで容量に寄与できるようになり充放電容量が増加したと考えられる。領域②および③の充放電容量が減少する領域については、現在のところ負極 Gr の体積変化による抵抗増加の影響、LTVO や SE そのものの化学劣化や LTVO/SE 間の副反応による抵抗増加の影響を考えている。

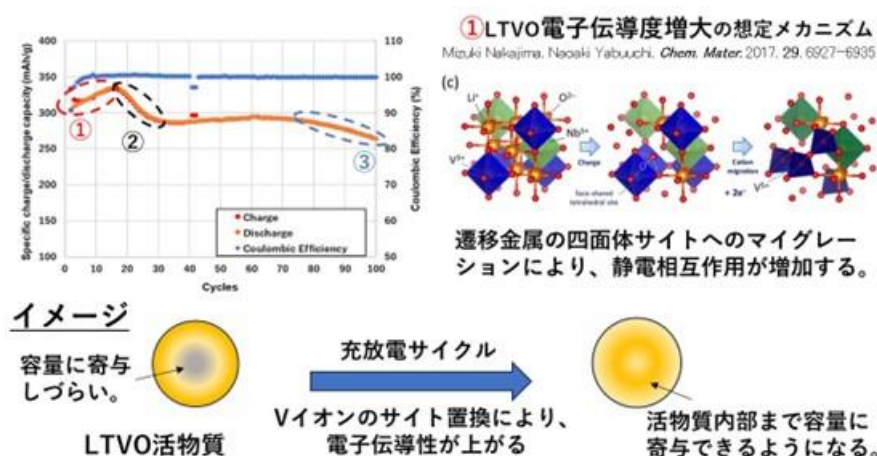


図 2.2-4-46 LTVO 充放電容量の推移要因考察

圧粉ハーフセルを用いて LTVO および NCM の低拘束圧化検討を行い、LTVO の有用性を確認した。また圧粉体を用いたラミセルを作製し、無拘束でサイクル試験を行ったところ、100 サイクル後の容量維持率が 87%を示し、LTVO などの体積変化の小さい電極材が全固体 LIB の低拘束圧化に有用であることが示唆された。

e)-(イ) 低拘束圧化と膨張収縮の検証

低拘束圧下での全固体 LIB の良好な特性発現に向け、低拘束圧における全固体 LIB 特性悪化の要因を明らかとするため、充放電中に拘束圧や充放電負荷によって全固体 LIB がどのように膨張収縮するかを解析し、これらの相関関係の解明を試みた。

図 2.2-4-47 には 10MPa で拘束した全固体 LIB について、0.1 から 2C の範囲で充放電負荷を変えた際の充放電サイクルにおけるセル厚み変化を示した。セル厚みが充電で増え放電で減った結果初期厚みに戻ること、高レートになるほど満充電時のセルが厚くなることが明らかとなった。セルの最大厚みと充電レートとの関係性を評価するため、満充電時の厚みから初期厚みを差し引いた値をセル厚み変化量とし、充電レートとの関係性について解析した。

図 2.2-4-48 より、0.1～0.4 C のセル厚み変化量は約 3.5 μ m と拘束圧に関わらずほぼ一定であったが、2MPa 拘束では 0.6 C、5MPa、10MPa 拘束では 0.8 C、20MPa 拘束では 1.4C から変化量が増大し始めることが明らかとなった。現象理解のため、0.1C 充電時のセルについて In-Situ-断面 SEM 観察した結果、5MPa と 20MPa でセル膨張量はほぼ同等であった。このことから、0.1～0.4C のセル厚み変化量は、黒鉛に均一に Li が挿入されたことによる膨張と示唆された。また、3 C 充電時のセルについて In-Situ-断面 SEM 観察の結果からは、黒鉛と SE 粒子の接触面で Li 析出する様子が確認できたことに加え、3C 充電時に Operando での X 線ナノ CT 観察から、満充電時に負極層と SE 層の界面に、幅 2.5 μ m のクラックが発生することを実際に確認した。これらの結果から、拘束圧が低くなったり、充電レートが高くなったりした際に、セル厚み変化量が急激に増大する要因としては、黒鉛に挿入されなかった析出 Li を起点とする負極層と SE 層間のクラックに由来することが明らかとなった。これらの結果は、低拘束圧下での全固体 LIB の特性悪化が、析出 Li を基点とする物理的な劣化に由来することを支持する。

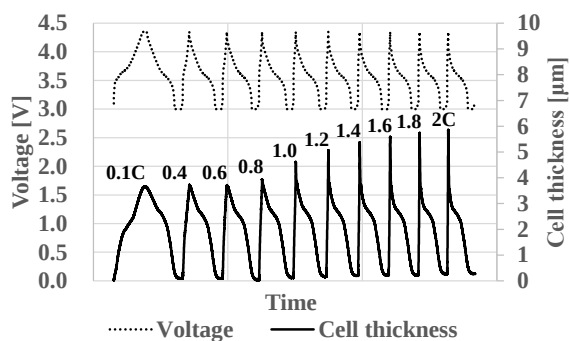


図 2.2-4-47 異なる充放電レートにおける全固体 LIB の厚みと電圧変化

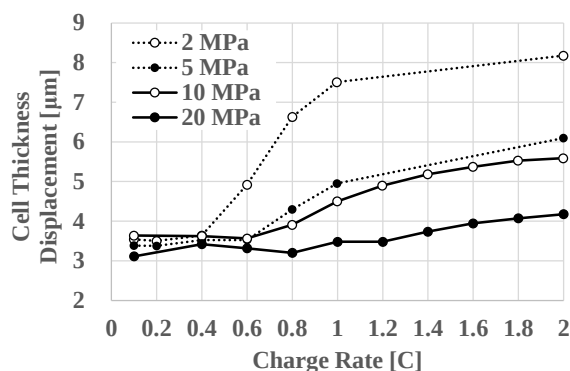


図 2.2-4-48 異なる拘束圧におけるセル厚み変位量の充電レート依存性

また低拘束圧化の障壁となる全固体 LIB の充放電中での挙動解析の他、低拘束圧下での全固体 LIB の良好な電池特性発現に向けて様々な要素技術を検討してきた。例えば、全固体 LIB の充放電性能が低拘束圧下で低下する要因として、充放電時に負極内で反応が不均一に進行し Li 析出やクラックが生じた結果、Li イオン伝導が阻害されることが挙げられる。負極活物質の一つであるハードカーボン(HC)はグラフェンがランダムに積層した非晶質材料であり、活物質内や SE との界面で円滑な Li イオン移動による反応均一化が黒鉛より期待できると考え、黒鉛と HC の混合負極を設計し、低拘束圧下での全固体 LIB 特性を評価した。

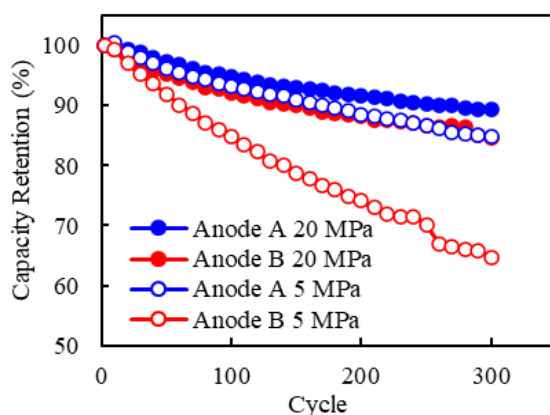


図 2.2-4-49 全固体 LIB の負極中の HC 有無による低拘束圧下での特性影響

全固体 LIB 用負極において、黒鉛と HC を混合した系を A、黒鉛のみを用いた系を B とし、拘束圧を 20MPa、5MPa と変えて 25℃ 1C 充放電サイクルにおける放電容量維持率の推移を図 2.2-4-49 に示した。HC を混合した負極 A セルは、拘束圧によらず良好な容量維持率を示した一方で、黒鉛のみの負極 B セルは低拘束圧下では容量維持率が低下した。また 5MPa 拘束したセルについて、サイクル試験前後の抵抗値を比較すると A で抵抗が 1.7 倍に増加したのに対し、B では抵抗増加は 2.1 倍だった。これらの結果から、黒鉛と HC の混合によって低拘束圧下においても充放電中の負極合材中の反応が均一状態に近づき、Li 析出やクラックによる抵抗増加が抑えられたため耐久性が向上したと考察した。

f) 高安全化要素技術

SOLiD-EV プロジェクトにおいて全固体 LIB は 230℃で発熱挙動を示すものの 270℃以上の温度でも熱連鎖反応が抑えられることを確認した。発熱挙動の詳細を確認するため充電状態 (SOC100) の正極活物質 (NCM) 単体と正極合材の発熱と発生ガスを TG-TOFMS にて調査したところ、NCM 単体では加熱に伴い酸素 (O₂) が発生するが、固体電解質の入った正極合材では、硫黄ガス (S₂) が発生することを確認した (図 2.2-4-50)。これは、正極合材では NCM から発生した酸素が固体電解質と反応し硫黄ガスが発生したためと考えられる。

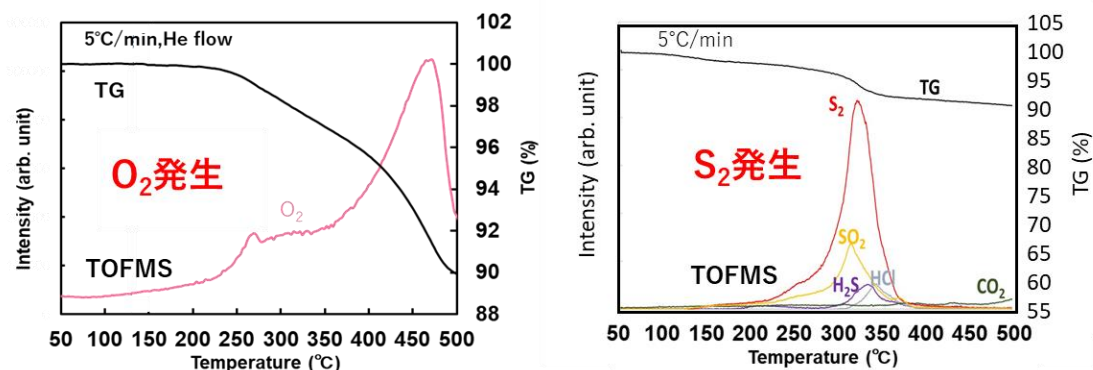


図 2.2-4-50 TG-TOFMS 測定結果
正極活物質 NCM のみ (左)、正極合材 (右)

2.2-5 成果の普及

(1) 特許出願・対外発表実績

本事業での特許及び論文、学会発表などの状況を表 2.2-5-1 に示す。特許は 2023 年度に 1 件、2 年目の 2024 年度には 7 件を出願し、出願予定の案件も控えている。いずれの特許もまだ公開前の段階である。今後の事業進展に伴い出願件数は増加が期待される。なお、特許については知財委員会における出願要否検討時に出願する案件については外国出願をすること前提として判断している。

研究開発成果の内、協調領域と判断されたものは積極的な論文投稿・学会発表を実施している。事業開始 2 年目ではあるが、電気化学会において賞を受賞するテーマもあり、対外的にも評価を受けている。

表 2.2-5-1 特許及び論文発表

種別	2023 年度	2024 年度	計
特許出願	1	7	8
論文(うち査読付)	1(1)	8(7)	9(8)
研究発表・講演	27	86	113
受賞実績	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	2	2
展示会への出展	0	0	0

(2) 情報発信

2.1-3 成果の実用化に向けた取組の項目にて記載の通り、事業期間中から論文、学会発表等による成果の公開を実施している。その他、電気化学会の電気化学セミナー等による講演の他、一般向けには図 2.2-5-1 のような形で NEDO の広報チャンネルを活用して、動画にて事業紹介を行っている。



図 2.2-5-1 NEDO の広報動画

第3章 マネジメント

3.1 実施体制

3.1-1 NEDO が実施する意義

本事業については、下記(1)～(5)に示す理由から、NEDO 事業として取り組む必要がある。

(1) 政策上の重要性

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、自動車からの CO₂ 排出の大幅な削減が世界的に求められている中、電動車の普及拡大とそれによる蓄電池市場の急速な拡大が予想される。蓄電池産業ならびに蓄電池素材産業は、関連する技術分野が多岐にわたる我が国の基幹産業であり、競争力の強化と将来にわたる継続的研究開発の促進が必要である。以上を背景に、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・重要性が指摘されている。例えば、蓄電池に係る国の主要な政策の1つである蓄電池産業戦略(2022 年 8 月に策定)では、産学官の研究開発力を結集し、2030 年頃に全固体電池の本格実用化、2030 年以降も我が国が技術リーダーの地位を維持・確保することが目標に掲げられている。

(2) 産業界全体の競争力維持・向上

次世代電池の1つとして期待される全固体 LIB において、日本は知的財産も含め、世界トップクラスの技術力を有している。また、車載用電池の 2030 年頃の社会実装に向け、NEDO はグリーンイノベーション基金事業にて支援を実施している。本事業は、2030 年以降に訪れると想定される全固体 LIB の本格導入に向け、新規材料の開発を促進させるための標準電池モデルや評価手法及び、全固体 LIB の共通課題である固固界面の現象解明と対策検討等の共通基盤技術開発を実施している。これらの研究開発は、自動車・蓄電池・材料・部材製造・測定機器メーカー等 35 法人及び大学・研究機関 16 法人の幅広い協調・連携体制により実施される。創出される成果は、産業界、学术界の発展に貢献するとともに、産業界の競争力維持・向上に大きく貢献する。

(3) 関係者間の利害調整

共通基盤技術の開発は、競合や売り手と買い手の関係を越えた連携・協調が必要となる。研究開発の進め方にあたっての情報の取扱いも含め、関係者の利害を調整し、関係者のメリットを最大化させる必要がある。この実現に向け、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。

(4) 過去の蓄電池材料評価基盤技術開発におけるマネジメント経験の活用

蓄電池材料評価基盤技術の開発については、NEDO は「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2010～2014 年度)による液系 LIB の取組から始まり 15 年以上取り組んできた。全固体 LIB については、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(2013～2017 年度)の中の一部で取り組み、本格的な活動は「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」第 2 期(2018～2022 年度)において産学連携による体制により行われた。自動車メーカー、蓄電池メーカー、材料メーカー等を組合員とする集中研に実用を想定した設備、評価体制を構築し、材料や解析等の高い専門性もつアカデ

ミアをサテライトして加える体制を構築して研究開発を推進した。三元系正極活物質、黒鉛系負極、硫化物系固体電解質を用いた系で、実用生産でも使用されるロール to ロールプロセスでシートタイプの、4×12.5cm 中型単層セルを作製し車載用蓄電池として適用可能なレベルの 450Wh/L のエネルギー密度を実証した。さらに、三元系正極活物質、シリコン系負極活物質を用いた 2cm 角単層の実証セルにおいて目標を上回る 860Wh/L の体積エネルギー密度を実証し高エネルギー密度化への可能性も示した。

これらの事業で蓄積された体制構築、開発技術の展開などのマネジメントの知見・ノウハウが本事業にも活用できる。

(5) 国内の蓄電池開発事業間の連携促進

文部科学省、科学技術振興機構(JST)及び経済産業省、NEDO と省庁の枠を越えた連携を効果的・効率的に行うため、各機関の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:JST 理事長 橋本和仁)が設置されている。

NEDO 自動車・蓄電池部車載蓄電池ユニット長(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として参画し、省庁間連携の在り方等についてマネジメントレベルでの協議を実施し、文部科学省や JST 事業との連携に積極的に関与している。

3.1-2 実施体制

本事業全体の実施体制を図 3.1-2-1 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、34 法人が研究者・エンジニアを派遣するなどして、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。日本は川上から川下まで電池産業の各分野で活躍する企業が存在し、本事業でも組合員企業として参画する。この事業推進体制は世界的にも貴重であり、容易に構築できるものではない。なお、本事業開始以降に組合員企業として新たに 11 法人((株)ENEOS マテリアル、東亜合成(株)、住友化学(株)、(株)小松製作所、マツダ(株)、日置電機(株)、(株)アイシン、(株)SUBARU、AGC(株)、(株)いすゞ中央研究所、ライオン・スペシャリティ・ケミカルズ(株))が参画した。

LIBTEC 内に「第 1 研究部 材料開発(T1)」、「第 2 研究部 設計・プロセス開発(T2)」、「第 3 研究部 標準電池・評価(T3)」、「第 4 研究部 計算・解析(T4)」の 4 つの研究部を設け、これらの研究部を中心に研究開発を実施している。また、本事業には、大学・研究機関 16 法人(20 研究室)が参画し、各自の専門性を持ち寄り、LIBTEC と連携しながら研究開発を進めている。

さらに本事業では、LIBTEC のプロパーのみで構成される「材料評価法妥当性検証チーム(妥当性検証 T)」を編成し、参画企業が秘密情報を含む先端材料を提供しやすい環境を構築することで、開発された標準電池モデルや評価法の検証を多数の材料にて実施可能としている。なお、外部連携部は、他の NEDO 事業や文部科学省・JST 事業等と 4 研究部をつなぐ連携窓口として機能している。

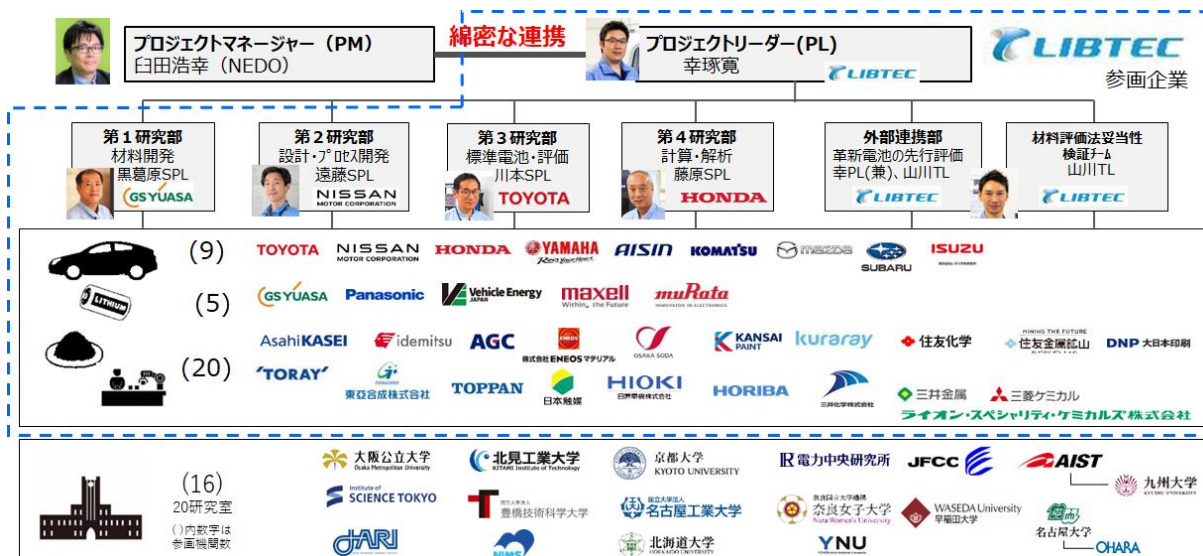


図 3.1-2-1 事業の実施体制

3.1-3 個別事業の採択プロセス

本事業では、公募予告を2022年12月26日から開始し、本公募を2023年1月24日から2月22日までの期間で実施した。採択審査は、1.基本計画の目的、目標との整合性、2.新規性・技術優位性、3.提案内容・研究計画の実現性、4.研究体制、5.研究遂行能力、6.実用化の見込み等の観点から実施された。結果、LIBTECを代表機関とする提案を採択し、2023年3月31日に本事業の実施体制を決定した。なお、採択審査の体制を表3.1-3-1に示す。採択審査は、技術や実用化の観点から十分審査が可能な体制により実施された。

表 3.1-3-1 採択審査委員会 委員一覧

	氏 名	所属、役職
委員長	稲葉 稔	同志社大学 理工学部 機能分子・生命化学科 教授
委 員	今西 誠之	三重大学 大学院 工学研究科 教授
	下田 景士	立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構 准教授
	林 克也	エクシオグループ株式会社 電気・環境・スマートエネルギー 事業本部 スマートエネルギー本部 担当部長
	松本 太	神奈川大学 工学部 物質生命化学科 教授

(所属、役職は採択審査委員会時点)

3.2 受益者負担の考え方及び研究開発予算

本事業は将来の全固体 LIB 材料開発を加速させるため、業界の協調領域として取り組むとともに、全固体 LIB の課題について現象解明等の基礎的研究を産学連携で実施する共通基盤研究開発であることから、委託事業としての実施が妥当である。

表 3.2-1 に 2023 年度から 2025 年度までの 3 年間の予算推移を示す。3 年間で約 54 億円の予算規模である。集中研究拠点の LIBTEC においては、要素技術開発と標準電池モデルの作製に必要な機器の購入や保守のための費用、研究員の人件費の他、電池試作関連の消耗品、材料の加工や分析を実施するための外注等に予算を活用した。また、サテライトにおいては、担当する基盤研究の遂行に必要な経費として予算を活用した。

表 3.2-1 研究開発予算 (単位:百万円)

	2023 年度	2024 年度	2025 年度	合 計
集中研究拠点 (LIBTEC) の予算	1,162	1,377	1,393	3,932
サテライト (大学・研究機関) の予算	544	500	487	1,531
合計 (NEDO 委託費)	1,706	1,877	1,880	5,463

3.3 研究開発計画

3.3-1 研究開発の内容とスケジュール

研究開発の内容を目標と合わせて表 3.3-1-1 に、研究開発スケジュールを表 3.3-1-2 に示す。

研究開発区分①～③は、LIBTEC 内に設ける 4 つの研究部およびサテライトが連携して行う。LIBTEC 内に設ける第 1～4 研究部(T1～T4)および材料評価法妥当性検証チーム(妥当性検証 T)の体制と主な役割については図 3.1.2-1 に示している。T1 は主に材料、T2 は主に電池の設計とプロセス、T3 は主に標準電池モデルの開発と評価、T4 は主に計算科学と解析をそれぞれ担当する。特に、固体電解質の開発においては、T1 が分散研究拠点(分室)の出光興産(株)・三井金属鉱業(株)とそれぞれ連携し、微粒化・粒度制御等による複合化に適した固体電解質の開発を実施する。

これらに加え、プロジェクト推進業務を担当する委託事業推進室と、外部の蓄電池プロジェクトとの連携および全固体 LIB との比較用としての液系 LIB の試作を担当する外部連携部を設置して、円滑なプロジェクト運営を図る。

表 3.3-1-1 研究開発区分とそれぞれの中間目標と最終目標

研究開発区分	研究開発内容	中間目標(2025年度末)	最終目標(2027年度末)
①材料評価基盤技術開発	標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。	標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。
②全固体LIB特有の現象・機構解明	サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10万km走行を想定した充放電試験後の容量維持率を70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は450Wh/L以上を目安とする。	固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30万km走行を想定した充放電試験後の容量維持率を70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は450Wh/L以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。
③電極・セル要素技術開発	次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。		

表 3.3-1-2 研究開発スケジュール

	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度
①材料評価基盤技術開発	標準電池モデル（一次仕様・コンセプト）		標準電池モデルの開発			
	材料物性等の標準的評価手法開発					
②全固体LIB特有の現象・機構解明	現象解明、指針方策策定					
	高度分析・解析技術、物理化学・電気化学計算・シミュレーション技術開発					
③電極・セル要素技術開発	次世代材料提案					
	電極・セル作製要素技術開発					
		検証			検証	
評価時期			中間評価			終了時評価

3.3-2 進捗管理

(1) NEDO による進捗管理

① NEDO 担当部による進捗管理

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事例としては次のとおりである。

- a) PM と PL とのホットラインを構築し、いつでも情報交換や意思決定が行えるネットワークを構築。
- b) 機会を設けて PM や 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。また必要に応じオンライン会議、電話により状況を確認。
- c) 定期的に行われる「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。
- d) 年に 1～2 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。
- e) 年に 1～2 回開催される「SOLiD-Next 技術シンポジウム」(LIBTEC 主催)に NEDO 担当者も出席し、事業全体の研究進捗を確認。
- f) 毎月、労務費が計上される登録研究員から提出される従事月報について内容を確認し、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。
- g) 年度途中において、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。

② 外部有識者による進捗点検(「NEDO 技術委員会」の開催)

NEDO は、外部有識者で構成される「NEDO 技術委員会」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。

これまでに、第 1 回(2023 年 11 月 2 日)、第 2 回(2024 年 2 月 2 日)、第 3 回(2024 年 10 月 22 日)、第 4 回(2025 年 2 月 7 日)、第 5 回(2025 年 4 月 11 日)の合計 5 会合を開催した。

第 1 回では取り組み方針について議論した。第 2 回では 2023 年度の成果と 2024 年度の取組及び予算について議論した。第 3 回では現状の技術課題と解決策、目標のあり方について詳細な状況報告と議論を実施した。第 4 回では中間目標に向けて事業の状況と目標達成状況、対応について議論した。第 5 回では 2 年間の成果の纏めを報告し課題や今後の取り組み方針について議論した。本事業の技術委員会では実施者側からの相談事項の議題も設置し、実施者がより直截的に技術委員からの助言を得られるよう配慮している。2023 年 10 月以降の NEDO 技術委員会のメンバー構成を表 3.3-2-1 に示す。

表 3.3-2-1 NEDO 技術委員会 委員一覧(2023 年 10 月～)

	氏 名	所属、役職
委員長	稲葉 稔	同志社大学 理工学部 機能分子・生命化学科 教授
委 員	射場 英紀	トヨタ自動車 先端材料技術部 チーフプロフェッショナルエンジニア
	桑畑 進	大阪大学 名誉教授
	白井 敦史	本田技術研究所 先進技術研究所 材料プロセス領域 チーフエンジニア
	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 技術参与
	船引 厚志	GSユアサ 研究開発センター 先進固体電池開発部 部長

(所属、役職は 2025 年 3 月末時点)

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

2025 年後半に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全研究開発テーマについて実施する予定である。

ステージゲート審査は、本事業を所管する NEDO 自動車・蓄電池部車載蓄電池ユニットが主体となり、前半 3 年間の目標達成度、これまでの研究開発成果、本事業への貢献(集中研究拠点との連携)、後半 2 年間の研究計画、研究成果の本事業及び産業界での活用見通し等を中心に審査を実施する予定である。この審査の結果に基づき、2026 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)等を判断する予定としている。

(4) 進捗管理:動向・情勢変化への対応

金属 Li 負極は、Si 負極と並び次世代負極として期待される材料である。事業開始以降、日本の自動車メーカーが金属 Li 負極を採用する動きが見られた。各国でも取組が活発化する中、速やかに対応が必要と考え、金属 Li を負極に活用した場合の新規材料評価基盤の検討に着手した。本事業では、本取組に技術委員会での議論も経て、2024 年度に 2,000 万円の予算を増額している。

なお、本取組を通じて、金属 Li 負極のあらゆる要素技術開発を実施することになる。結果、基盤的な知見を日本の全固体 LIB 開発メーカーに提供することにもなるため、各社の開発加速も期待される。

3.3-3 他事業との関係

蓄電池分野においては、効果的・効率的な連携・協力に向け、経済産業省、文部科学省、NEDO、JST 及び、これら蓄電池事業に関係している有識者から構成される「文部科学省・経済産業省ガバナリングボード(蓄電池)」(戦略コーディネーター:国立研究開発法人 科学技術振興機構 理事長 橋本和仁)が設置されている。NEDO 自動車・蓄電池部 車載蓄電池ユニット長(本事業のプロジェクトマネージャー)や本事業のプロジェクトリーダー(PL)は、このガバナリングボードの構成員であり、図 3.3-3-1 に示すように、NEDO の事業間だけでなく、JST、文科省事業といった省庁の枠

を越えた連携関係を構築し、シナジー効果の獲得に取り組んでいる。

NEDO は、PL と相談しつつ、プロジェクト開始以降、NEDO 事業「電気自動車用革新型蓄電池開発 (RISING3)」及び、科学技術振興機構 (JST) 事業「革新的 GX 技術創出事業蓄電池領域 (GteX)」との連携を進めてきた。RISING3 については、同プロジェクトが培ってきた高度解析技術の全固体 LIB への応用に関して事業間の連携を実施している。また、GteX との連携では、GteX 側から、次世代全固体 LIB 用材料として期待される新材料の提供や新技術に関する情報の共有を受け、LIBTEC にてセル試作、特性評価を実施し、評価結果を提供する等の活動を実施している。さらに、2022 年度からは新たに JST 事業「共創の場形成支援プログラム (COI-NEXT) 環境エネルギー分野／先進蓄電池研究開発拠点」との連携している。

グリーンイノベーション基金事業に対しては同事業が助成事業であることから、上記事業との連携とは多少異なるが、本事業の目的である「次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発」は現に研究開発、製品開発を推進している企業に対して材料、電池の水準の提示、共通課題に対する情報、解決法を提示するものであり情報公開や性能評価を通じて開発促進に寄与している。

なお、これらの連携は研究開発だけでなく、相互に研究情報の共有化を図っていることから、我が国の全固体電池研究開発の効率的・効果的な推進や技術の底上げにもつながっている。



図 3.3-3-1 他事業との連携

「次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術開発」 基本計画

自動車・蓄電池部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて、自動車からの CO₂ 排出の大幅な削減が世界的に求められている中、電動車の普及拡大とそれによる蓄電池市場の急速な拡大が予想される。蓄電池産業ならびに蓄電池素材産業は、関連する技術分野が多岐にわたる我が国の基幹産業であり、競争力の強化と将来にわたる継続的研究開発の促進が必要である。以上を背景に、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・重要性が指摘されている。

・「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)

電動車の普及拡大に向け、取り組むべきテーマの一つに、全固体リチウムイオン電池 (Lithium Ion Battery、以下「LIB」と記載する。)を含む高性能蓄電池の技術開発が選定されている。また、この高性能蓄電池の技術開発に際しては、基礎基盤研究を進めつつ、大学・ベンチャー等の知識を取り込みながら、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、電池特性に係る基礎的課題の解明のための拠点を設置し、次世代モビリティ用途も含め、電池設計から電極や電解質等の材料開発、電池作製・評価解析までを一気通貫で行う体制を整備するとの方針も示されている。

・2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略 (2021 年 6 月経済産業省改定)

2035 年までに、乗用車新車販売で電動車 100%を実現できるよう、包括的な措置を講じるとしている。商用車については、8 トン以下の小型の車について、2030 年までに新車販売で電動車 20~30%、2040 年までに、新車販売で電動車と合成燃料等の脱炭素燃料の利用に適した車両で合わせて 100%を目指し、車両の導入やインフラ整備の促進等の包括的な措置を講じるとしている。また、2030 年までのできるだけ早期に、電気自動車 (Electric Vehicle、以下「EV」と記載する。)とガソリン車の経済性が同等となる車載用の電池パック価格 1 万円/kWh 以下を目指すとしている。技術開発で日本が世界をリードする全固体 LIB は、その安全性と高い性能から EV の普及実現には欠かせない蓄電デバイスとして位置付けられ、2030 年以降の本格実用化を目指すことが示されている。

・第 6 次エネルギー基本計画 (2021 年 10 月閣議決定)

運輸部門の CO₂ 排出量の 86%を占める自動車のカーボンニュートラル化に向け、燃料・エネルギーのカーボンニュートラル化の取組を通じて多様な選択肢を追求し、2050 年に自動車の生産、利用、廃棄を通じた CO₂ ゼロを目指す。特に乗用車については、2035 年までに新車販売で電動車 100%を実現できるよう、電動車・インフラの導入拡大、電池等の電動車関連技術の強化等の包括的な措置を講じる。また、国内の自動車製造の安定的な基盤を確保するため、2030 年までのできるだけ早期に、国内の車載用蓄電池の製造能力を 100GWh まで高めるとともに、蓄電池サプライチェーンの強化に向け、蓄電池材料を含めた大規模投資を促すとしてい

る。

・蓄電池産業戦略（2022年8月蓄電池産業戦略検討官民協議会策定）

蓄電池に対する産業戦略として、上流資源の確保を含めた液系 LIB の国内製造基盤を確立（遅くとも 2030 年までに蓄電池・材料の国内製造基盤 150GWh/年を確立）するとともに、国内で確立した技術をベースに国内企業が競争力を維持・強化できるよう、海外展開を戦略的に展開し、グローバルプレゼンスを確保（グローバル市場において、2030 年に、我が国企業が製造能力 600GWh/年を確保）していくこと、全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化するために技術開発を加速し次世代電池市場を着実に獲得することが今後の方向性として掲げられている。次世代電池については、研究開発能力目標として全固体電池など次世代電池を世界に先駆けて実用化し製造技術の優位性・不可欠性を確保するため、産学官の研究開発力を結集し、2030 年頃に全固体電池の本格実用化、2030 年以降も我が国が技術リーダーの地位を維持・確保することを目標とするとしている。

②我が国の状況

液系 LIB の主力市場が民生用から EV・プラグインハイブリッド電気自動車(Plug-in Hybrid Electric Vehicle、以下「PHEV」と記載する。)等の電動車用に移った現在、需要の大幅な拡大に対し国内蓄電池メーカーも生産・販売量を増やし、2020 年において 20%前後のシェアを有しているものの、国外の蓄電池メーカーにシェアを奪われつつある。また、主要な LIB 材料である正極活物質、負極活物質、有機電解液においても、生産量は拡大しつつも 2020 年時点で 10%台のシェアに留まっている。

有機電解液を用いた液系 LIB に対し、熱的安定性や Li イオン輸率等の優位点を有する固体電解質を用いた全固体 LIB は、電池パックの安全・冷却系の簡素化による体積エネルギー密度の向上、急速充電の実現などが見込める次世代の高性能蓄電池である。全固体 LIB は、固体内及び固固界面の物質移動に基づくことから技術難易度が極めて高く、早期実用化に向け、基礎・学理的研究、実用化に向けた研究開発、さらに製品開発と量産技術開発に至るまで、産学官を挙げた研究開発に取り組んでいる。

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「次世代蓄電池研究開発プロジェクト（SPRING）」や、文部科学省科学研究費助成事業「新学術領域研究 蓄電固体界面科学（Interface IONICS）」においては、酸化物系や硫化物系の固体電解質を含めた広範な全固体電池及び材料系の基礎研究や、固体界面科学の学理構築に取り組んでいる。

NEDO では、全固体 LIB の実現と社会実装に向け、産業界の共通指標として機能する材料評価技術を中心とした研究開発基盤の構築を進めてきた。「先進・革新蓄電池材料評価技術開発（第 1 期）」（2013～2017 年度）においては、液系 LIB 用材料とともに、全固体 LIB の基軸材料となる硫化物系固体電解質等の特性評価に適用するラボレベルの標準電池モデルのプロトタイプを開発した。さらに同第 2 期（以下、「前身事業」と記載する。）（2018～2022 年度）において、液系 LIB と同様の製法技術を用いた硫化物系全固体 LIB の標準電池モデルを開発し材料評価の基礎的基盤を構築するとともに、一般的な液系 LIB に迫るエネルギー密度（450Wh/L）を中型セルサイズで実証した。

上記の成果を一因として、高性能蓄電池の早期社会実装を目指す「グリーンイノベーション基金事業／次世代蓄電池・次世代モーターの開発」（2022～2030 年度）（以下、「GI 基金事業」と記載する。）における量産と社会実装を指向した全固体 LIB とその関連材料の高性能化及び量産技術開発を始めとする、国内企業における本格量産に向けた開発の取組が活発化している。

③世界の取組状況

米国エネルギー省（DOE）は、2019 年開始の「Advanced Vehicle Technologies Research (AVTR)」において、予算総額（3 年間）1,500 万ドルで全固体電池関連 15 テーマ（酸化物、硫化物、及び高分子固体電解質、界面解析等）の研究開発を行った。2021 年 10 月には、アルゴンヌ国立研究所が中心となり国立研究所と産業界を橋渡しする新プロジェクト（Li-Bridge）が発表され、全固体電池関連で 17 件の開発テーマが行われている。また、2021 年 7 月に公表された「NATIONAL BLUEPRINT FOR LITHIUM BATTERIES」では次世代電池の一つとして全固体電池が位置付けられている。

EU では、欧州研究開発フレームワーク「Horizon 2020」において全固体電池の研究開発プロジェクトが推進されており、2020 年開始のプロジェクト「All Solid-State Reliable Battery for 2025 (ASTRABAT)」において酸化物・高分子複合電解質を用いた全固体電池開発に取り組んだほか、全固体 Li 負極電池等の全固体 LIB 関連プロジェクトを支援している。

ドイツ連邦教育研究省（BMBF）では、2018 年に全固体電池の基盤技術確立に向けた研究クラスター「FestBatt」を立ち上げた。2021 年からは、リチウム金属負極を中核とした研究開発「Alternative Anode Concepts for Safe Solid State Batteries (ALANO)」プロジェクトが開始された。

中国では、2020 年 10 月に中国自動車工学学会が発表した「省エネルギー・新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0」で新体系電池として全固体 LIB が挙げられており、第 14 次 5 ヶ年計画に反映されている。

韓国 K-バッテリー発展戦略では、全固体電池の 2027 年までの商用化に向け、電極材料、固体電解質など必要な要素技術の開発のため、次世代バッテリーパークを設置し、集中的に支援するとしている。

④本事業のねらい

2030 年以降の車載用蓄電池市場の急速な拡大に対し日本がイニシアティブをとるために、技術開発の観点からは、現行の液系 LIB の性能を超える次世代全固体 LIB の早期市場投入と、競争力の維持・拡大に向けた産業界共通の研究開発基盤の強化が重要である。全固体 LIB のポテンシャルを引き出した次世代全固体 LIB の実現には、全固体 LIB にカスタマイズされた蓄電池材料の開発と性能向上が必要であり、更なる材料評価技術の高度化や評価指標の拡大などの研究開発基盤の強化が必要である。本事業は、全固体 LIB にカスタマイズされた新材料の評価技術の開発を軸とする、硫化物系固体電解質を用いた次世代全固体 LIB の実現に資する産業界の協調領域としての研究開発基盤を構築する。本事業の成果の展開により、GI 基金事業をはじめとする個社における全固体 LIB 及び材料の開発促進とリスク低減を図る。

（２）研究開発の目標

①アウトプット目標

前身事業において、硫化物系固体電解質を用いた全固体 LIB の研究開発に取り組み、液系 LIB 同様の電極設計や製法技術を駆使することで、一般的な液系 LIB に迫るエネルギー密度（450Wh/L）を実証した。あわせて、本技術を展開した全固体 LIB 用材料の評価のための標準電池モデル（400Wh/L）を開発し材料評価の基礎的基盤を構築した。さらに、全固体 LIB の反応機構や劣化現象の解析により、実用化・競争力の向上に向けた開発課題も明らかにしてきた。特に、全固体 LIB のポテンシャルを引き出すための本質的な技術課題は、固体電解質間や活物質との良好な界面を形成しかつ使用によってもその状態が維持されることであるとの結論に至った。

2022 年に実施した前身事業の前倒し事後評価においても、「二次電池として必要不可欠な特性についての課題に対するブレークスルーに向けた継続した取組への期待」、また「世界をリードする全固体電池の実用化に向け、開発した基盤技術をさらに活用した継続的開発が望まれる」、との趣旨のコメントが付された。

固固界面の課題を解決し全固体 LIB のポテンシャルを引き出すためには、イオン伝導性等の性能を向上した固体電解質を始めとする、全固体 LIB 向けにカスタマイズされた正極・負極材料等の各種蓄電池材料の更なる性能向上が必要である。このためには、材料評価技術の一層の高度化や評価指標の拡大などの研究開発基盤の強化が必要である。あわせて、これらの新材料の適用を軸とした電極・セルの要素技術開発が必要である。加えて、これらの開発に対しブレークスルーを与える、サイエンスに基づいた全固体 LIB 特有の現象・機構解明とそれに基づく固固界面課題解決に向けた知見・指針提示が求められる。

以上を踏まえ、研究開発のアウトプット目標として、前身事業の標準電池モデルを始めとする材料評価技術を発展・深化させた、次世代全固体 LIB 材料の評価基盤技術を開発する。開発においては、全固体 LIB の用途展開を想定しそれに適合した評価技術とすることを目指す。さらに、固固界面課題の解決に向けた研究開発の達成度を測る技術指標として、充放電サイクルによる耐久性を定める。設定にあたり、電動車の普及拡大に向け車載用蓄電池に求められる耐久性を想定する。

【最終目標】（2027 年度）

- 1) 標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。
- 2) 固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。

上記の目標を基に、個々の要素技術の研究開発に対する指標・目標を、個別に実施計画書等において定めるものとする。

【中間目標】（2025 年度）

- 1) 標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以

上提示する。

2) 固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上を目安とする。

上記の目標を基に、個々の要素技術の研究開発に対する指標・目標を、個別に実施計画書等において定めるものとする。

②アウトカム目標

本プロジェクトの成果の活用により、以下の車載用全固体 LIB パックの売り上げとそれによる CO₂ 削減効果とに貢献する。

車載用全固体 LIB パック売り上げ（世界） 約 2.1 兆円 （2040 年）

CO₂ 削減効果 約 1,400 万トン/年 （2040 年）

※1 国内自動車メーカーの全固体 LIB パックを搭載した EV・PHEV の 2040 年における生産台数を各々330 万台、102 万台、同じく 2040 年における普及台数を各々950 万台、310 万台と試算（富士経済の市場予測を基に NEDO が推定）。

※2 EV・PHEV の電池パック搭載容量をそれぞれ 60kWh、15kWh と仮定し、容量当たりの単価を 1 万円/kWh として算出。

※3 ガソリン車に対する CO₂ 削減効果を EV で 1.18 トン/台/年、PHEV で 1.0 トン/台/年と試算。（IEA：Global EV Outlook 2020 を基に、製造・使用・廃棄リサイクルに至るまでの CO₂ 排出量を推定）。

③アウトカム目標達成に向けての取組

本プロジェクトの成果である新材料の評価技術並びに電極やセル作製の要素技術を、参画する蓄電池メーカーや材料メーカーへ展開を進め、個社の全固体 LIB の設計と開発、新材料開発の加速により、次世代全固体 LIB の本格実用化を図る。あわせて、開発技術の試験・評価データに基づく全固体 LIB の特徴やポテンシャルを示し、個社における全固体 LIB 及びパックの商品設計や EV・PHEV のコンセプト設計への活用を狙う。

また、関連する国際規格や標準化に関連する国内審議団体や企業関係者等との情報交換に取り組む。

（3）研究開発の内容

上記目標を達成するために、研究開発項目「次世代全固体 LIB 基盤技術開発」について、（別紙 1）の研究開発計画及び（別紙 2）の研究開発スケジュールに基づき、下記①から③の研究開発サイクルにより事業全体の開発を推進する。

本研究開発は、次世代全固体 LIB の研究開発基盤構築という業界の協調領域として取り組むものであり、また原理現象の解明のための基礎的研究が必要であることから、委託事業として実施する。

①材料評価基盤技術開発

②全固体 LIB 特有の現象・機構解明

③電極・セル要素技術開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下、「PMgr」と記載する。）に NEDO 自動車・蓄電池部 臼田 浩幸 車載蓄電池ユニット長を指名する。PMgr は、事業の成果・効果を最大化させるため、実務責任者として担当事業全体の進行を計画・管理し、事業遂行にかかる業務を統括する。

NEDO は研究開発実施者を公募する。研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（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ものとする。

なお、各実施者の研究開発資源を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は実施主体の中からプロジェクトリーダー（以下、「PL」と記載する。）及びサブプロジェクトリーダー（以下、「SPL」と記載する。）を選任する。PL は、PMgr の指示の下、プロジェクトに参画する実施者の研究開発を主導する。SPL は、専門的見地から PL を補佐する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

① 研究開発の進捗把握・管理

PMgr は、PL、SPL、研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成される技術委員会等を組織し、ユーザーニーズの把握に努めると共に、定期的に技術評価を受け、目標達成の見通しとこれに対する課題等を常に把握することに努める。

② 技術分野における動向の把握・分析

PMgr は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について必要に応じ調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から事業の中で委託することができることとする。

③ 個別の研究開発の評価と見直し

PMgr は、研究開発を効率的に推進するため、必要に応じ、個別の研究開発について外部有識者による審査を活用し、研究開発の継続の可否、研究開発内容や実施体制の変更等の見直しを行う。

3. 研究開発の実施期間

2023 年度から 2027 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は、技術評価実施規定に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、中間評価を 2025 年度、終了時評価を 2028 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発実施者は、研究開発成果を、プロジェクト内で速やかに共有した後、わが国の関連産業の競争力強化に資することを留意しつつ、広範に普及するよう努めるものとする。NEDO は、研究開発実施者による研究開発成果の広範な普及を促進する。

②標準化施策等との連携

NEDO は、標準化に関連する国内審議団体や企業関係者等との情報交換に取り組む。

③知的財産権の帰属、管理等取扱いについての方針

研究開発成果に係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、開発段階から、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

④知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「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データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、「NEDO プロジェクトにおけるデータマネジメント基本方針（委託者指定データを指定しない場合）」を適用する。

(2) 基本計画の変更について

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、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェ

クト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、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ニ及び九号に基づき実施する。

(4) その他

本事業は、交付金インセンティブ制度を活用することとする。当該事業における具体的運用等は、公募を経て採択された実施者に提示する。

6. 基本計画の改訂履歴

2023 年 1 月 制定

2024 年 8 月 組織改編による部署名変更にとまなう改訂

（別紙１）研究開発計画

研究開発項目「次世代全固体 LIB 基盤技術開発」

１．研究開発の必要性

全固体 LIB のポテンシャルを引き出すには、固体電解質間や活物質との界面形成とその維持が本質的な技術課題であり、その解決にはイオン伝導性等の性能を向上した固体電解質をはじめ、全固体 LIB 向けにカスタマイズされた正極・負極材料等の材料の更なる性能向上が必要である。したがって更なる材料評価技術の高度化や評価指標の拡大などの研究開発基盤の強化が必要である。あわせて、これらの新材料の適用を軸とした電極・セルの要素技術開発が必要である。加えて、これらの開発に対し、サイエンスに基づく全固体 LIB 特有の現象・機構解明とそれに基づく固固界面課題解決に向けた知見・指針提示が求められる。

２．具体的研究内容

（１）材料評価基盤技術開発

標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術を開発する。

（２）全固体 LIB 特有の現象・機構解明

サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構の解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、及びそのための高度分析・解析技術の構築に取り組む。

（３）電極・セル要素技術開発

次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル要素技術を開発し、開発技術の検証を行う。また、標準化も想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の検討に取り組む。

上記（１）から（３）の開発サイクルにより事業全体の開発を推進する。

３．達成目標

【中間目標】（2025 年度）

１）標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術の一次仕様・コンセプトを 2 件以上提示する。

２）固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定める。なお前提として、エネルギー密度は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上を目安とする。

上記の目標を基に、個々の要素技術の研究開発に対する指標・目標を、個別に実施計画書等において定めるものとする。

【最終目標】（2027 年度）

１）標準電池モデルなどの次世代全固体 LIB 材料評価技術を 2 件以上開発する。

２）固固界面課題を解決するための個々の要素技術の達成度を測る指標を充放電サイクルによる耐久性とし、EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率を 70%以上、と定め

る。なお前提として、エネルギー密度並びに急速充電性能は前身事業で性能を実証した 450Wh/L 以上並びに 6C 充電が可能であることを目安とし、拘束圧は車載用電池パックへの搭載を想定する。

上記の目標を基に、個々の要素技術の研究開発に対する指標・目標を、個別に実施計画書等において定めるものとする。

(別紙2) 研究開発スケジュール

研究開発項目「次世代全固体 LIB 基盤技術開発」

中間評価 ▼					事後評価 (2028fy)
	2023fy	2024fy	2025fy	2026fy	2027fy
(1) 材料評価 基盤技術開発	標準電池モデル（一次仕様・コンセプト）			標準電池モデル開発	
	材料物性等の標準的評価手法開発				
(2)全固体LIB 特有の現象・ 機構解明	現象解明、指針方策策定				
	高度分析・解析技術、物理化学・電気化学計算・シミュレーション技術開発				
(3)電極・セル 要素技術開発	次世代材料提案				
	電極・セル作製要素技術開発				
		開発技術検証			開発技術検証
	試作全固体LIB試験評価・データ蓄積				

研究開発事業に係る事前評価書

事業名	次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術の開発事業	
担当部署	経済産業省製造産業局 素材産業課 自動車課 商務情報政策局 情報産業課電池産業室 (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部	
事業期間	2023 年度～2027 年度 (5 年間)	
概算要求額	2023 年度 2,000 (百万円)	
会計区分	☐ 一般会計 / ☒ エネルギー対策特別会計	
実施形態	経産省 (交付金) → NEDO (委託) → 事業者	
類型	☐ 複数課題プログラム / ☒ 研究開発プロジェクト / ☐ 研究資金制度	
事業目的	現行の液系 LIB を越える性能を引き出した次世代全固体 LIB の早期社会実装と普及に向けた、次世代全固体 LIB 材料の共通開発基盤構築を目的に、新材料の評価技術・指標の確立、サイエンスによる原理現象解明とそれらに基づく電極・セル要素技術開発を推進する。 車載用蓄電池市場の急速な拡大に対応し、蓄電池産業及び素材産業の活性化と将来にわたる継続的な研究開発を促すことによる競争力の強化を図り、GI 基金事業をはじめとする全固体 LIB の開発の加速とリスク低減に貢献する。	
事業内容 (アクティビティ)	研究開発項目「次世代全固体 LIB 基盤技術開発」として、以下を実施する。 (1) 材料評価基盤技術開発 標準電池モデルを始めとする次世代材料の評価基盤技術の確立。(機構解明のための評価解析用電池モデルの提供) (2) 全固体 LIB 特有の現象・機構解明 サイエンスに基づく粒子接触・界面、劣化等、固固界面を始めとする全固体 LIB 特有の機構解明と、知見に基づく電極・セル要素技術開発への指針提示、およびそのための高度分析・解析技術の構築。 (3) 電極・セル要素技術開発 次世代材料提案、ならびに材料性能を引き出し固固界面課題の解決に向けた電極・セル化技術 (標準電池モデル作成技術)、および開発技術の検証。標準化を想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の策定。 上記(1)から(3)の開発サイクルにより事業全体の開発を推進する。	
研究開発目標 (アウトプット目標) の指標		研究開発目標 (アウトプット目標)
中間目標 (2025 年度)	次世代材料評価技術(標準電池モデルなど)の一次仕様 (コンセプト) の提示	2 件以上
	固固界面課題を解決する個々の要素技術の達成度を測る指標としての耐久性 (容量密度 450Wh/L を前提)	EV10 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率 70% 以上
最終目標	次世代材料評価技術(標準電池モデルなど)開発	2 件以上

(2027 年度)	件数	
	固固界面課題を解決する個々の要素技術の達成度を測る指標としての耐久性 (容量密度 450Wh/L を前提)	EV30 万 km 走行を想定した充放電試験後の容量維持率 70%以上
研究開発成果（アウトプット）の受け手		
蓄電池メーカー、蓄電池材料メーカー、自動車メーカー 大学・研究機関		
アウトカム指標		アウトカム目標
2040 年	EV・PHEV 用全固体 LIB パック売上げ	2.1 兆円/年
2040 年	上記全固体 LIB パックを搭載した EV・PHEV 普及による CO2 削減量（世界）	1400 万 t/年
外部専門家		
石原 達己 九州大学大学院工学研究院 教授 豊田 昌宏 大分大学理工学部 教授 林 克也 エクシオグループ株式会社 担当部長 (五十音順)		
総合評価コメント		
石原氏	【肯定的意見】 ・車両の EV 化において安全性が高く、高容量の固体電池の開発への要望が高く、社会的なニーズに合っている。 ・先行プロジェクトから、引き続き検討を行うことで、継続性と初期投資が省けるメリットがある。 ・社会的要望の高い全固体 LIB の基礎研究は、遅れている固体電池の開発課題の解決に資することが期待され、実用化の時期を早めることに有効である。 ・単独の企業や大学だけでは取り組みにくい基盤的な界面の課題に、総合的に取り組むことで、理想的な全固体電池の共通基盤の確立が期待できる。 ・個別の課題と共通の課題の線引きが行われており、オープンとクローズ戦略が明確で、チームとして取り組みやすい仕組みづくりが工夫されている。 【問題点・改善すべき点】 ・先行プロジェクトである程度の課題が明確になっているはずなので、後継プロジェクトとしてはその課題を改善する計画になっているべきだが、目標に先行プロジェクトでの課題がどう反映されているかが明確でない。 ・電池構造で、エネルギー密度などが変わるので、具体的な目標数値を挙げないということであるが、ある程度の数値目標が無いとプロジェクトとしての意義や成果の評価が明確にならない。とくに劣化率や寿命の見通し、製造の省エネ性など、全固体電池としての課題の解決指標を定量的に議論するべきである。 ・アカデミアとメーカーの役割分担が必ずしも明確になっていない。共通基盤の成果の分配を行う方法が明確とは言い難い。	

豊田氏	【肯定的意見】 ・グリーン成長戦略において、CO2 の大幅な削減が必須である。一方、全固体電池材料は、安全性と高い性能から、液 LIB に替わる蓄電デバイスであり、2030 年の実用化を目指すのであれば、企業単独での研究開発に頼るのではなく、総合的に国策として取組む必要のある事業である。 ・これまでに全固体電池の材料開発は、NEDO を主体に実施されている。その成果をより確実なものにするためには、継続して実施することが望ましい。 ・液 LIB ではコスト等の問題から、シェアを落としていった。同様のことが起こらないように NEDO として取り組んで戴きたい。 ・当該分野の技術の優位性を世界の中でも確立していく上で、推進すべきプロジェクトである。 【問題点・改善すべき点】 ・全固体電池材料の開発に関しては幾つかの事業が並行して進められている。企業としてそれら複数の事業に申請されることも十分に考えられる。事業間での企業の棲み分け、企業等の間での関係について、「課題提起」、「技術提供」等は進めていけると考えるが、複数事業案件でどの様にブラッシュアップしてゆくのか、その具体的な施策が見えにくい。 NEDO の舵取りは必須であると考ええる。
林 氏	【肯定的意見】 ・CO2 排出量の削減、そのための電動車への移行、そこでのより良い蓄電池を実現できる技術構築がこれからの世界で求められる。 ・我が国の素材から蓄電池、電動車に至る蓄電池産業が優位性を持ち、発展することが重要である。その点において、本事業を実施・推進する意義は極めて大きい。 ・前身事業を受け、産官学連携の強みを活用する体制、集中拠点での効率的な実施、他の事業とも相互補完し、基盤技術をもって蓄電池産業を主導することなどが明確化されており期待できる。 【問題点・改善すべき点】 ・基盤技術構築の対象となる全固体 LIB について、電池とした時に期待されることについて、それが真となるかの検証を行うこと、つまり、全固体電池の優位性を真に示すことを望みたい。 ・事業開始時の考え方・設定に問題はないと思われるが、状況の変化や課題・問題発生の場合は、躊躇なく、変更・改善できるよう取り組んでいただきたい。
問題点・改善すべき点に対する見解・対処方針	
先行事業で明らかとなる固固界面等の課題に対し、本事業の目標の位置づけを基本計画の中で分かりやすく記載する。 本事業で設定すべき技術指標について定量化を検討し、基本計画に記載する。 事業実施者の役割分担と成果の分配等のスキームについて、実効性の高いものとなるよう、先行事業での取組を踏まえて十分に検討を進め、事業運営へ反映する。 全固体電池関連の事業のミッション、技術範囲は、基礎研究から社会実装に至るまで個々に戦略的に位置	

付けられている。文部科学省経済産業省ガバナリングボード等の場を用いて、事業間の相互補完、課題・情報共有等を進める。

先行事業に引き続き、開発技術の検証を通じ、全固体電池の優位性を明らかにしていく。

開発状況、外部の技術動向・潮流等を踏まえ、技術委員会や中間評価等の機会を活用し積極的な変更・改善に取り組む。

次世代全固体蓄電池材料の評価・基盤技術の開発事業

製造産業局素材産業課
製造産業局自動車課
商務情報政策局電池産業室

令和5年度概算要求額 **20.0 億円**（ **新規** ）

事業の内容

事業目的

現行の液系LIB（リチウムイオン電池）を超える性能を引き出した次世代全固体LIBの早期社会実装と普及に向け、電池材料の製品化に必要なセル作成・評価を行うための標準電池モデルの開発など、材料評価共通基盤の構築を目指します。

本事業で構築する材料評価共通基盤により、将来にわたる継続的な研究開発を支援することで、全固体LIBの開発の加速とリスク低減、競争力の強化を図り、蓄電池産業および素材産業を活性化させることを目的とします。

事業概要

（1）材料評価基盤技術開発

次世代全固体LIB用材料の性能を評価するために、標準電池モデルを始めとする評価基盤技術を確立します。

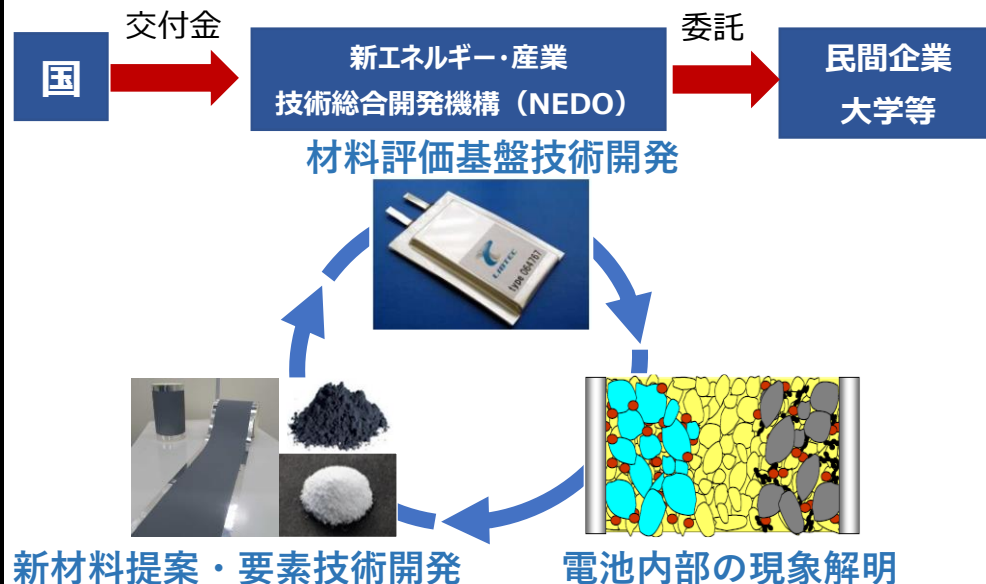
（2）全固体LIB特有の現象・機構解明

全固体LIBの中のミクロな現象・機構（固体粒子同士が接触する界面で起きている現象や劣化機構等）を解明します。また、そのための高度分析・解析技術の構築を行います。

（3）電極・セル要素技術開発

次世代全固体LIBの電極・セルのための新材料を提案するとともに、（2）で得られた知見に基づき、新材料のポテンシャルを十分に引き出す要素技術の開発および検証を行います。これにより新たな標準電池モデルの開発など材料評価基盤技術開発の改良に繋がります。さらに、標準化を想定した試験評価データの蓄積と試験条件案の策定を行います。

事業スキーム（対象者、対象行為、補助率等）



成果目標

令和5年から令和9年までの5年間の事業であり、本事業を通じて、高性能の全固体LIBの電動車両への早期社会実装を促すことにより、令和22年度において約1,400万トン/年のCO₂削減を目指します。

添付資料 3

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	森野 裕介 ¹⁾ 佐野 光 ¹⁾ 川口 俊介 ¹⁾ 堀 智 ²⁾ 菅野 了次 ²⁾ 作田 敦 ³⁾ 林 晃敏 ³⁾ 高橋 司 ⁴⁾ 宮下 徳彦 ⁴⁾	¹⁾ LIBTEC ²⁾ 東京工業大学 ³⁾ 大阪公立大学 ⁴⁾ 三井金属鉱業	High-Frequency Impedance Spectroscopic Analysis of Argyrodite-Type Sulfide-Based Solid Electrolyte on Air Exposure	The Journal of Physical Chemistry C, 2023, 127, 18678-18683	有	2023 年 9 月
2	黄 嵩凱 川本 浩二	LIBTEC	Revealing and Overcoming Unfavorable Electrochemical Behaviors of Thick LiNbO ₃ -Coated NCM523 for All-Solid-State Lithium Batteries	ECS Advances, 2024, 3, 20503	有	2024 年 5 月
3	蒲生 浩忠 前田 泰 清林 哲 城間 純 佐野 光	産業技術 総合研究所	Elucidating the mechanism of microscopic conduction in cathode composites for all-solid-state batteries through scanning spreading resistance microscopy	Journal of Materials Chemistry A 2024, 12, 14380-14388	有	2024 年 6 月
4	K. Yoshikawa ¹⁾ , T. Kato ¹⁾ , Y. Suzuki ¹⁾ , A. Shiota ²⁾ , T. Ohnishi ³⁾ , K. Amezawa ⁴⁾ , A. Nakao ¹⁾ , T. Yajima ¹⁾ , Y. Iriyama ¹⁾	¹⁾ 名古屋大学、 ²⁾ LIBTEC、 ³⁾ 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS)、 ⁴⁾ 東北大学	Origin of O ₂ Generation in Sulfide-Based All-Solid-State Batteries and its Impact on High Energy Density	ADVANCED SCIENCE 2024, 11, 2402528	有	2024 年 7 月
5	Zizhen Zhou* Huu Duc Luong Bo Gao Toshiyuki Momma Yoshitaka Tateyama*	国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS) 吉林大 早稲田大	LiNbO ₃ and LiTaO ₃ Coating Effects on the Interface of the LiCoO ₂ Cathode: A DFT Study of Li-Ion TransportClick to copy article link	ACS Applied Materials & Interfaces 2024, 16, 42093-42099	有	2024 年 8 月
6	Kazuhiro Hikima ¹⁾ Ryota Kishi ¹⁾ Hirofumi Tsukasaki ²⁾ Shigeo Mori ²⁾ Hiroyuki Muto ¹⁾ Atsunori Matsuda ¹⁾	¹⁾ 豊橋技術科学大学 ²⁾ 大阪公立大学	Electrochemical Properties of Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂ Solid Electrolytes Synthesized Using a Solution-Based Method	ACS Applied Energy Materials 2024, 7, 19, 8788-8796	有	2024 年 8 月
7	宮原 雄人 ¹⁾ 安部 武志 ¹⁾ 宮崎 晃平 ¹⁾ 近野 義人 ¹⁾ 石澤 喜代美 ¹⁾ 黒葛原 実 ²⁾	¹⁾ 京都大学 ²⁾ LIBTEC	全固体 LIB におけるカーボン負極の研究動向	セラミックス 第 59 巻 9 月号 (2024 年) 596-599	無	2024 年 9 月
8	Kanato Oka ¹⁾ Naoto Tanibata ¹⁾ Hayami Takeda ¹⁾ Masanobu Nakayama ¹⁾ Syuto Noguchi ²⁾ Masayuki Karasuyama ²⁾ Yoshiya Fujiwara ³⁾ Takuhiro Miyuki ³⁾	¹⁾ Department of Advanced Ceramics, Nagoya Institute of Technology ²⁾ Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology ³⁾ LIBTEC	Deep Learning based Emulator for Predicting Voltage Behaviour in Lithium Ion Batteries	Scientific Reports volume 14, Article number: 28905 (2024)	有	2024 年 11 月
9	Kazuhiro HIKIMA ¹⁾ Ikuyo KUSABA ¹⁾ Masaki SHIMADA ¹⁾ Yuhei HORISAWA ¹⁾ Shunsuke KAWAGUCHI ²⁾ Minoru KUZUHARA ²⁾ Hiroyuki MUTO ¹⁾ Atsunori MATSUDA ¹⁾	¹⁾ 豊橋技術科学大学 ²⁾ LIBTEC	Rapid Synthesis of Li ₁₀ GeP ₂ S ₁₂ -type Li-Si-P-S-Cl Solid Electrolytes via a Solution Method	Electrochemistry (日本電気化学会誌), Vol. 93, pp71029- (2025) *online publication	有	2025 年 3 月

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者 (○) / 連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	○蒲生 浩忠, 倉谷 健太郎, 佐野 光, 清林 哲, 前田 泰	産業技術 総合研究所	広がり抵抗顕微鏡による 全固体Li イオン電池用合材電極の電 子伝導解析	2023 年電気化学 秋季大会	2023 年 9 月
2	○幸 琢寛	LIBTEC	SOLiD-EV・SOLiD-Next における 硫化物系全固体電池の 共通基盤技術開発	2023 年度第 1 回 全固体電池実用化 研究会セミナー	2023 年 9 月
3	○安藤 慧佑、 松田 智行、今村 大地 三輪 託也、川合 光幹	一般財団法人 日本自動車研究所 LIBTEC	Degradation Mechanisms of All-Solid-State Lithium-Ion Batteries with Sulfide-Type Electrolytes Based on High-Temperature Studies	244th ECS meeting	2023 年 10 月
4	○入山 恭寿	名古屋大学	全固体電池の低抵抗・高安定界面 構築の基礎的課題について	一般社団法人 粉体工業技術協会 第 2 回電池製造 分科会	2023 年 11 月
5	○山本 健太郎 ^{1,2} , 邊見 光紀 ² , 佐野 光 ³ , 渡邊 稔樹 ² , 松永 利之 ² , 高見 剛 ² , 作田 敦 ⁴ , 林 晃敏 ⁴ , 辰巳砂 昌弘 ⁴ , 川本 浩二 ³ , 内本 喜晴 ²	¹ 奈良女子大学 ² 京都大学 ³ LIBTEC ⁴ 大阪公立大学	水蒸気雰囲気下軟 X 線吸収分光法を 用いた硫化物固体電解質の水蒸気 劣化機構の解明	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
6	○前田 泰, 蒲生 浩忠, 清林 哲, 城間 純, 佐野 光	産業技術 総合研究所	全固体電池用合材電極の電気伝導 機構解析のための走査型広がり抵抗 顕微鏡の画像シミュレーション技術 の開発	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
7	○蒲生 浩忠, 佐野 光, 清林 哲, 城間 純, 前田 泰	産業技術 総合研究所	機械学習および実測定による 全固体電池用合材電極の微視的 および巨視的な電気伝導機構の解析	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
8	○齋藤 喜康, 岡田 賢, 岡垣 淳, 佐野 光, 新谷 綾子, 杉浦 晃一, 石田 直哉, 川合 光幹, 川本 浩二	産業技術 総合研究所 LIBTEC	硫化物型全固体電池の 充放電時の発熱挙動評価	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
9	○渡邊 稔樹、 パク ヨンジュン、 山本 健太郎、 松永 利之、川本 浩二、 内本喜晴	京都大学 奈 良 女 子 大 学 LIBTEC	operando X 線 CT 法を用いた 全固体電池黒鉛負極の反応分布の 解明	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
1 0	○川口 俊介、 黒葛原 実、幸 琢寛、 安田 博文、佐野 光	LIBTEC	全固体 LIB における活物質/ 固体電解質の表面接触状態の 定量化に向けた取り組み	第 64 回 電池討論会	2023 年 11 月
1 1	○入山 恭寿	名古屋大学	全固体電池の低抵抗・高安定界面 構築に関する研究	第 419 回 電池技術委員会	2023 年 12 月
1 2	○前田 泰, 蒲生 浩忠	産業技術 総合研究所	Simulation of scanning spreading resistance microscopy on AI-generated 3D models for analysis of all-solid-state batteries	ICSPM31	2023 年 12 月
1 3	○幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池の 共通基盤技術開発 ～LIBTEC の取組～	令和 5 年度 富士市 第 3 回 新産業創出 研究セミナー	2024 年 2 月
1 4	○大野 哲平、小沼 樹、宇 賀田 洋介、戴内 直明	横浜国立大学	低体積変化 V 系高容量正極材料の合 成条件最適化と全固体電池応用	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
1 5	○前田 泰, 蒲生 浩忠	産業技術 総合研究所	全固体電池の走査型広がり抵抗 顕微鏡測定 of シミュレーション解析	2024 年第 71 回 応用物理学会 春季学術講演会	2024 年 3 月
1 6	○蒲生 浩忠, 佐野 光, 清林 哲, 城間 純, 前田 泰	産業技術 総合研究所	走査型広がり抵抗顕微鏡による 全固体Li イオン電池の劣化挙動解析	2024 年電気化学 春季大会	2024 年 3 月
1 7	○蒲生浩忠, 佐野光, 清林哲, 城間純, 前田泰	産業技術 総合研究所	走査型広がり抵抗顕微鏡による 全固体電池用合材電極の 電気伝導機構の解析	2024 年第 71 回応用 物理学会 春季学術 講演会	2024 年 3 月

番号	発表者 (○) /連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1 8	○田中 秀康、渡邊 稔樹	LIBTEC 京都大学	全固体電池における Li 析出	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
1 9	○花岡 輝彦、渡邊 稔樹、 西村 政輝、浅井 秀紀、 荻原 航	LIBTEC、 京都大学	全固体電池の電極充填プロセスと 電池性能との関係	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 0	○渡邊 稔樹、 パク ヨンジュン、 山本 健太郎、 Neha Thakur、 Mukesh Kumar、 松永 利之、川本 浩二、 内本 喜晴	京都大学 奈良女子大学 LIBTEC	高分解能コンピュータ断層撮影法と デジタル画像相関法を用いた全固体 電池負極の反応分布の定量解析	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 1	○田中 秀康、 仲村 博門、清水 良、 刀川 祐亮、 藤波 想、安部 武志	LIBTEC 京都大学	SPRING8 のオペランド XRD で見た 全固体電池の充放電挙動	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 2	○川口 俊介、 黒葛原 実、幸 琢寛	LIBTEC	全固体 LIB における正極合材の 設計指針	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 3	○塩田 彰宏、 小川 泰輝、黒葛原 実	LIBTEC	硫化物全固体電池における 導電助剤と固体電解質間の 副反応に関する調査	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 4	○黄 嵩凱、黒葛原 実、 石田 直哉、川本 浩二、 幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池における 固溶体系高容量正極材の検討-(1) 容量低下要因の解析	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 5	○黄 嵩凱、黒葛原 実、 石田 直哉、川本 浩二、 幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池における 固溶体系高容量正極材の検討-(2) 室温充放電特性の改善検討	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 6	○清水 良、田中 秀康、 刀川 祐亮、藤波 想、 安部 武志	LIBTEC 京都大学	負極構造が全固体電池の反応分布に 及ぼす影響	電気化学会 第 91 回大会	2024 年 3 月
2 7	○門田 紳司、浅井 秀紀、 荻原 航	LIBTEC	全固体電池用電極スラリーと 電池性能の関係	化学工学会 第 89 年会	2024 年 3 月
2 8	○桑田 直明	国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS)	PPG-NMR による ペロブスカイト型酸化物 固体電解質のリチウム拡散解析	第 121 回 新電池構想部会	2024 年 5 月
2 9	○大野 哲平、 藪内 直明、 宇賀田 洋介、小沼 樹	横浜国立大学	低体積変化 V 系高容量正極材料の 合成条件最適化と全固体電池応用	Asian Conference on Electrochemical Power Sources 12 (ACEPS12)	2024 年 5 月
3 0	○Takeshi Kobayashi, Kiyoshi Betsuyaku, Shunsuke Kawaguchi, Minoru Kuzuhara, Takuhiro Miyuki	Central Research Institute of Electric Power Industry Lithium Ion Battery Technology & Evaluation Center	Degradation studies of all-solid-state sulfide-based lithium-ion battery examined by voltage analysis	IMLB2024* *22st International Meeting on Lithium Batteries	2024 年 6 月
3 1	○Kiyoshi Betsuyaku, Takeshi Kobayashi, Shunsuke Kawaguchi, Minoru Kuzuhara, Takuhiro Miyuki	Central Research Institute of Electric Power Industry Lithium Ion Battery Technology & Evaluation Center	Improving Convergence of Voltage Analysis by Global Optimization	IMLB2024* *22st International Meeting on Lithium Batteries	2024 年 6 月
3 2	○渡邊 稔樹、朴 容俊、 松永 利之、内本 喜晴、 山本 健太郎、川本 浩二	京都大学 奈良女子大学 LIBTEC	Analysis of Reaction Distribution in Graphite Anode of All-Solid-State Batteries Using High-Resolution in situ X-ray CT Method	IMLB2024* *22st International Meeting on Lithium Batteries	2024 年 6 月
3 3	○大野 哲平、 藪内 直明、宇賀田 洋介	横浜国立大学	Sheet type all-solid-state Li-ion batteries with V-based near dimensionally invariable positive electrode	IMLB2024* *22st International Meeting on Lithium Batteries	2024 年 6 月

番号	発表者 (○) /連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
3 4	○ZIZHEN ZHOU、 館山 佳尚	東京工業大学	The Computational First-principles study on the interplay of strain and state-of-charge with Li-ion diffusion in LiCoO ₂	IMLB2024* *22st International Meeting on Lithium Batteries	2024 年 6 月
3 5	○岡 奏利、谷端 直人、 武田 はやみ、中山 将伸、 野口 柊都、鳥山 昌幸、 藤原 良也、幸 琢寛	名古屋工業大学 LIBTEC	LSTM 深層学習による バッテリーエミュレーターの作成	第 25 回化学電池材料研究会 ミーティング	2024 年 6 月
3 6	○大野 哲平、藪内 直明、 宇賀田 洋介	横浜国立大学	リチウム過剰バナジウム系酸化物の 合成条件最適化と電気化学特性評価	第 25 回化学電池材料研究会 ミーティング	2024 年 6 月
3 7	○宮原 雄人	京都大学	硫化物系全固体リチウムイオン電池 におけるカーボン負極の研究動向	炭素材料学会 先端科学 技術講習会 2024	2024 年 6 月
3 8	○蒲生 浩忠、佐野 光、 清林 哲、城間 純、 前田 泰	産業技術 総合研究所	Understanding Mechanism of Microscopic Conduction in Cathode Composites for All-Solid-State Batteries via Scanning Spreading Resistance Microscopy	24th International Conference on Solid State Ionics	2024 年 7 月
3 9	○Prince Sharma、 長谷川 源、桑田 直明	国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS)	Enhanced Lithium Exchange through Indium Layering: Progress in LLZO-Ta Solid Electrolyte Technology	24th International Conference on Solid State Ionics	2024 年 7 月
4 0	○長谷川 源、桑田 直明	国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS)	Grain boundary diffusion analysis in solid electrolytes by lithium isotope SIMS imaging	24th International Conference on Solid State Ionics	2024 年 7 月
4 1	○石田 直哉、新谷 彩子、 杉浦 晃一、川合 光幹、 川本 浩二、齋藤 喜康、 岡田 賢	LIBTEC 産業技術総合 研究所	硫化物系全固体電池の昇温過程に おける正極・負極・固体電解質の 結晶構造	日本セラミックス 協会 第 37 回 秋季シンポジウム	2024 年 9 月
4 2	○新谷 彩子、 石田 直哉、杉浦 晃一、 川合 光幹、川本 浩二、 齋藤 喜康	LIBTEC 産業技術総合 研究所	硫化物系全固体電池の充電状態に おけるガス発生起点の解明	日本セラミックス 協会 第 37 回 秋季シンポジウム	2024 年 9 月
4 3	○前田 泰、山岸 裕史、 蒲生 浩忠	産業技術 総合研究所	全固体電池における 活物質間接触と電池容量に関する 3 次元シミュレーション解析	第 85 回 応用物理学会 秋季学術講演会	2024 年 9 月
4 4	○蒲生 浩忠、佐野 光、 清林 哲、城間 純、 前田 泰	産業技術 総合研究所	走査型広がり抵抗顕微鏡による 全固体電池の劣化機構解析	第 85 回 応用物理学会 秋季学術講演会	2024 年 9 月
4 5	○藤原 良也、黒葛原 実、 荻原 航、川本 浩二、 幸 琢寛	LIBTEC	Overview of the project SOLiD-Next “Evaluation of All-Solid-State Battery Material and Foundational Technology Development for Next Generation”	PRiME2024	2024 年 10 月
4 6	○黄 嵩凱、川本 浩二、 黒葛原 実	LIBTEC	Detailed Investigation on LiNbO ₃ coated layer of different thicknesses on LiNi _{0.5} Co _{0.2} Mn _{0.3} O ₂ cathode material for all-solid-state lithium batteries	PRiME2024	2024 年 10 月
4 7	○川口 俊介、黒葛原 実、 幸 琢寛	LIBTEC	Correlation between Active Material/Solid Electrolyte Interface Formation and Cell Performance in All-Solid-State Battery	PRiME2024	2024 年 10 月
4 8	○吉川 航暉、 藤原 良也、藤崎 布美佳 館山 佳尚、 Luong Huu Duc、 ZHOU Zizhen	LIBTEC 東京科学大学	A Computational Study of Amorphous LiNbO ₃ P _{0.5} O ₃ Cathode Coating Material Utilizing Universal Machine Learning Potentials	PRiME2024	2024 年 10 月

番号	発表者(○)/連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
4 9	○大野 哲平、藪内 直明、 宇賀田 洋介、小沼 樹	横浜国立大学	Toward High Performance All-solid-state Lithium Batteries with Low Volume Change V-based High-Capacity Positive Electrode Materials	PRiME2024	2024 年 10 月
5 0	○蒲生 浩忠、前田 泰、 清林 哲、城間 純、 竹市 信彦、佐野 光	産業技術 総合研究所	Understanding Degradation Behavior in All-Solid-State Batteries through Scanning Spreading Resistance Microscopy	PRiME2024	2024 年 10 月
5 1	○幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池の 共通基盤技術開発 ～LIBTEC の取組～	電子情報技術 産業協会 (JEITA) 「全固体電池に 関する調査 TF」 (講演)	2024 年 10 月
5 2	○K. Oka, N. Tanibata, H. Takeda, M. Nakayama, S. Noguchi, M. Karasuyama, Y. Fujiwara, and T. Miyuki	名古屋工業大学 LIBTEC	LSTM Deep Learning Driven Battery Emulator	International Conference on Electronic Materials and Nanotechnology for Green Environment	2024 年 11 月
5 3	○黒葛原 実	LIBTEC	SOLiD-Next における材料技術開発	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 4	○荻原 航	LIBTEC	SOLiD-Next における 全固体 LIB 設計・プロセス技術開発	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 5	○川本 浩二	LIBTEC	SOLiD-Next における 標準電池モデルの開発と評価・解析	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 6	○藤原 良也	LIBTEC	SOLiD-Next における計算・解析技術	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 7	○村田 光司、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB における含有水分量と 電池性能の関係	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 8	○石本 有佳梨、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB における正極-集電体の 界面が電池特性に及ぼす影響	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
5 9	○伊藤 宏、宮下 哲、 石田 直哉、川本 浩二	LIBTEC	全固体 LIB における LTO 対極を 用いた単極評価(1)	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 0	○宮下 哲、伊藤 宏、 石田 直哉、川本 浩二	LIBTEC	全固体 LIB における LTO 対極 を用いた単極評価(2)	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 1	○川口 俊介、 吹谷 直美、荻原 航、 黒葛原 実、幸 琢寛	LIBTEC	活物質/固体電解質界面接触の 定量評価技術とそれを応用した 硫化物系全固体 LIB 開発	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 2	○川口 俊介、吹谷 直美、 佐々木 勇治、黒葛原 実、 幸 琢寛	LIBTEC	ガラス溶融型バインダーレス 固体電解質自立膜を用いた 硫化物系全固体 LIB 開発	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 3	○磯 瑛司、川口 俊介、 佐々木 勇治、松村 安行、 黒葛原 実	LIBTEC	SE 水分反応機構解析のための 手法開発とその適用	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 4	○吉村 まな美、 川口 俊介、黒葛原 実、 幸 琢寛	LIBTEC	In-situ 加圧抵抗測定による 硫化物系固体電解質の 機械的・電氣的特性評価	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 5	○塩田 彰宏、伊丹 雄也、 黄 嵩凱、川本 浩二、 黒葛原 実	LIBTEC	全固体圧粉ハーフセルでの 正極レート特性評価法の検討	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 6	○佐々木 大介、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB の初期充放電時の 拘束圧が電池性能に及ぼす影響	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 7	○杉浦 晃一、伊藤 有、 藤崎 布美佳、葛西 由香、 中村 亜希子、藤原 良也	LIBTEC	定圧治具における 硫化物全固体 LIB の耐久性能評価	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 8	○花岡 輝彦、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB の負極合材の粉体設計と 電池性能の関係	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
6 9	○伊藤 有、藤原 良也、 杉浦 晃一、藤崎 布美佳、 葛西 由香	LIBTEC	全固体 LIB におけるグラファイト負 極電極のオペランド顕微鏡観察	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 0	○黄 嵩凱、黒葛原 実、 川本 浩二	LIBTEC	硫化物全固体電池における LiNbO3 被覆層の厚膜化と 導電助剤添加による耐久性の調査	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月

番号	発表者 (○) /連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
7 1	○藤崎 布美佳、 吉川 航暉、藤原 良也	LIBTEC	アルジロダイト型固体電解質の 組成とイオン伝導特性についての 計算材料科学的検討	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 2	○福田 陽祐、 夏野 賢広、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB の作製プロセスが 硫化物系固体電解質層に及ぼす 影響について	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 3	○堀澤 侑平、川口 俊介、 磯 瑛司、佐々木 勇治、 黒葛原 実、幸 琢寛 野元 邦治、堀 智、 池松 正樹、菅野 了次	LIBTEC 東京科学大学	高エントロピーLGPS (Li-Si-Sn-P-S-Cl-Br) の 電池特性評価	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 4	○生駒 啓、石田 直哉、 川本 浩二、藤波 想、 安部 武志	LIBTEC 京都大学	全固体 LIB の加速試験法の 開発と検証	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 5	○吉川 航暉、 藤崎 布美佳、藤原 良也 Luong Huu Duc、 Zhou Zizhen、館山 佳尚	LIBTEC 東京科学大学 国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS)	機械学習ポテンシャルを用いた 非晶質 LiNb0.5P0.5O3 系 正極被覆層における 副反応抑制能のメカニズム検討	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 6	○野村 優貴、山本 和生、 伊藤 有	ファイン セラミックス センター(JFCC) LIBTEC	オペランド透過電子顕微鏡法を 用いた正極/硫化物固体電解質 界面の劣化機構の解析	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 7	○仲村 博門、荻原 航、 清水 良、田中 秀康、 渡邊 稔樹	LIBTEC 京都大学	全固体 LIB の充電時における C レートとセル厚み変化の関係	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 8	○作田 敦、本橋 宏大、 川口 俊介、黒葛原 実、 林 晃敏	大阪公立大学、 LIBTEC	LGPS 相を有する Li3PS4-Li4SnS4-LiI 擬 3 元系ガラスセラミックス 電解質の開発	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
7 9	○松本 卓人、野口 柊都、 中山 将伸、鳥山 昌幸 岡田 貴史、杉浦 晃一、 藤原 良也、幸 琢寛	名古屋工業大学 LIBTEC	機械学習による 全固体電池の寿命予測： 時系列と非時系列特徴量を融合する Transformer モデルに関する検討	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 0	○引間 和浩、 草場 育代、松田 厚範 島田 真樹、川口 俊介、黒 葛原 実	豊橋技術科学大学 LIBTEC	溶液法による Li-Si-P-S-Cl 系 Li10GeP2S12 型固体電解質の 高速合成と評価	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 1	○入山 恭寿、 吉川 慶祐、加藤 雄、 鈴木 康弘、中尾 愛子、 矢島 健、塩田 彰宏 大西 剛、雨澤 浩史	名古屋大学 LIBTEC 国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS) 東北大学	硫化物型全固体電池の 充電過程でおこる酸素放出と 高エネルギー密度化への対策	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 2	○山本 健太郎、 Nur Chamidah 川口 俊介、黒葛原 実	奈良女子大学 LIBTEC	全固体電池における LiNbO3 正極コート材料の 高電位劣化機構解明	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 3	○渡邊 稔樹、 パク ヨンジュン、 松永 利之、 Mukesh Kumar、 Neha Thakur、 内本 喜晴、山本 健太郎 石田 直哉、宮下 哲、 川本 浩二	京都大学 奈良女子大学 LIBTEC	operando CT 測定法を用いた 全固体電池の黒鉛負極の Li 析出機構の解明	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 4	○西村 笙、塩田 彰宏、 黒葛原 実、幸 琢寛 藪内 直明	LIBTEC 横浜国立大学	無体積変化正極材を用いた 全固体 LIB の低拘束圧化検討	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 5	○蒲生 浩忠、前田 泰、 山岸 裕史、清林 哲、 城間 純、竹市 信彦、 佐野 光	産業技術 総合研究所	in situ 走査型広がり抵抗顕微鏡 観察による全固体電池の 劣化挙動解析	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
8 6	○前田 泰、蒲生 浩忠、 山岸 裕史、清林 哲、 城間 純、竹市 信彦、 佐野 光	産業技術 総合研究所	走査型広がり抵抗顕微鏡像における 全固体電池内部の粒子間接触の 影響：三次元構造モデルによる シミュレーション	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月

番号	発表者(○)/連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
87	○藤田 真輝、川合 航右、 大久保 將史、野村 優貴	早稲田大学、 ファイン セラミックス センター(JFCC)	硫化物系固体電解質を用いた 全固体電池における MXene の充放電特性	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
88	○大野 哲平、 藪内 直明、宇賀田 洋介	横浜国立大学	リチウム過剰バナジウム系 高容量正極材料の合成条件最適化と 全固体電池への応用	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
89	○館山 佳尚、周 子臻、 LUONG Huu Duc 門間 聡之	東京科学大学 早稲田大学	正極/コート層界面の Li イオン輸送に関する 第一原理計算解析： LiCoO ₂ /LiNbO ₃ および LiTaO ₃ 界面系	第 65 回 電池討論会	2024 年 11 月
90	○ZIZHEN ZHOU、 館山 佳尚	東京科学大学	Explicit Interface Modeling of LiNb(Ta)O ₃ Coating on LiCoO ₂ Cathodes: A DFT Study on Li-Ion Transport.	MRS	2024 年 12 月
91	○大野 哲平、 藪内 直明、宇賀田 洋介	横浜国立大学	低体積変化 V 系高容量正極材料の 合成条件最適化と シート型全固体電池への応用	第 50 回 固体イオニクス 討論会	2024 年 12 月
92	○藤波 想、安部 武志、 清水 良、田中 秀康	京都大学 LIBTEC	ピンクビーム共焦点 X 線回折法によ る全固体電池電極の 厚さ方向反応 分布のオペランド測定 3	第 38 回 日本放射光学会 年会 放射光科学 合同シンポジウム	2025 年 1 月
93	○荻原 航	LIBTEC	SOLiD-Next での全固体電池研究に ついて	電気化学会 主催 最先端電池技術ー 2025	2025 年 1 月
94	○桑田 直明	国立研究開発法人 物質・材料研究 機構 (NIMS)	全固体電池のリチウムイオン拡散： NMR と SIMS でイオンの動きを 明らかにする	化学系学協会 北海道支部 2025 年冬季研究 発表会	2025 年 1 月
95	○幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池の 共通基盤技術開発 ～SOLiD-Next の取組～	早稲田大学 スマート社会技術 融合研究機構主催 カーボン ニュートラル社会 研究会	2025 年 2 月
96	○前田 泰、蒲生 浩忠、 山岸 裕史、清林 哲、 城間 純、竹市 信彦、 佐野 光	産業技術 総合研究所	全固体電池の電子伝導の 三次元シミュレーション解析	GeoDict ユーザー会 2024	2025 年 2 月
97	○松田 厚範	豊橋技術科学大学	液相からの硫化物系固体電解質の 創製と全固体電池の構築 (依頼講演)	一般社団法人 日本粉体工業 技術協会 2024 年度第 3 回 電池製造技術 分科会	2025 年 2 月
98	○蒲生 浩忠、前田 泰、 山岸 裕史、清林 哲、 城間 純、竹市 信彦、 佐野 光	産業技術 総合研究所	走査型広がり抵抗顕微鏡による 全固体電池の劣化解析	公益社団法人 セラミックス協会 2025 年年会	2025 年 3 月
99	○幸 琢寛	LIBTEC	硫化物系全固体電池の 共通基盤技術開発 ～SOLiD-Next の取組～	第 50 回ニュー セラミックス セミナー	2025 年 3 月
100	○松田 厚範	豊橋技術科学大学	硫化物固体電解質の液相合成と全固 体電池への応用 (依頼講演)	AndTech Live 配信 WEB セミナー	2025 年 3 月
101	○荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB 用負極における 固固界面接合促進に向けた複合化	電気化学会 第 92 回大会	2025 年 3 月
102	○浅井 秀紀、磯 瑛司、 荻原 航	LIBTEC	硫化物系固体電解質の表面処理が電 池特性に及ぼす影響	電気化学会 第 92 回大会	2025 年 3 月
103	○花岡 輝彦、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB の負極合材設計と 電池性能の関係	電気化学会 第 92 回大会	2025 年 3 月
104	○大北 一成、荻原 航	LIBTEC	全固体 LIB における ハイニッケル NCM 正極の結晶構造 変化が電池特性におよぼす影響	電気化学会 第 92 回大会	2025 年 3 月
105	○伊藤 有、藤原 良也、杉 浦 晃一、葛西 由香	LIBTEC	拘束圧力を変えた全固体 LIB の オペランド顕微鏡観察	電気化学会 第 92 回大会	2025 年 3 月

番号	発表者（○）/連名者	所属	タイトル	会議名	発表年月
106	○川口 俊介、吹谷 直美、 江原 慶、佐々木 勇治、 島田 真樹、黒葛原 実、 幸 琢寛	LIBTEC	高イオン伝導性と高成形性を有する 硫化物系固体電解質の開発	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
107	○佐々木 勇治、 吉村 まな美、 堀澤 侑平、川口 俊介、 黒葛原 実	LIBTEC	硫化物固体電解質を用いた 全固体電池の in-situ 加圧充放電特性	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
108	○島田 真樹、川口 俊介、 黒葛原 実	LIBTEC	液相合成アルジロダイト型 LPSX の合成およびハロゲン種による 電気化学特性への影響	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
109	○宮原 雄人、 近野 義人、石澤 喜代美、 宮崎 晃平、安部 武志、 境田 真志、黒葛原 実	京都大学 LIBTEC	硫化物系全固体電池における フェノール樹脂由来 ハードカーボンの充放電特性	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
110	○丁 婕琳、宮原 雄人、 Gao Xinli、近野 義人、 石澤 喜代美、宮崎 晃平、 安部 武志、境田 真志、 黒葛原 実	京都大学 LIBTEC	炭素系被覆を行ったハードカーボンの 硫化物系全固体電池負極特性	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
111	○松田 智行、 青柳 貴子、今村 大地 生駒 啓、石田 直哉、 川本 浩二	一般財団法人 日本自動車 研究所、 LIBTEC	硫化物系全固体電池の 自動車走行モードでの サイクル安定性	電気化学会 第92回大会	2025年 3月
112	○杉浦 晃一	LIBTEC	硫化物系全固体 LIB の耐久性能に 及ぼす拘束圧の影響	アドバンスト・ バッテリー 技術研究会 第212回 定例研究会	2025年 3月
113	○藤波 想	京都大学	共焦点 XRD による全固体蓄電池の 反応分布解析・ピンクビームによる 高時間分解能反応機構解析への展開	日本化学会 第105 回春年年会 (2025)	2025年 3月

【外部発表】

(b) その他：成果普及の努力（プレス発表、ニュースリリース等）など

番号	発表者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
1	引間和浩 ¹⁾ 岸遼太 ¹⁾ 塚崎裕文 ²⁾ 森茂生 ²⁾ 武藤浩行 ¹⁾ 松田厚範 ¹⁾	¹⁾ 豊橋技術科学大学 ²⁾ 大阪公立大学	実用化レベルの室温イオン伝導性を示す 硫化物系固体電解質を液相合成し、 電気化学特性を詳細に解析	豊橋技術科学大学 プレスリリース	2024 年 11 月
2	前田泰	産業技術総合研究所	電極内部の導電パスの評価	産業技術総合研究所 ウェブページ	2025 年 3 月

【受賞実績】

番号	発表者	所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	発表年月
1	引間和浩 ¹⁾	豊橋技術科学大学	リチウム貯蔵材料の界面反応解析と 全固体蓄電デバイスの高性能化	公益社団法人 電気化学会 固体化学の新しい 指針を探る研究会	2024 年 3 月