

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」
事後評価報告書

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」
事後評価報告書

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-18
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について（前倒し事後評価のみ）	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の事後評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第54回研究評価委員会（平成29年12月13日）に諮り、確定されたものである。

平成29年12月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（平成29年8月3日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 現地調査会（平成29年7月18日）

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）（大阪府池田市）

● 第54回研究評価委員会（平成29年12月13日）

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成29年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	かんの りょうじ 菅野 了次	東京工業大学 物質理工学院 教授
分科会長 代理	いでもと やすし 井手本 康	東京理科大学 教授 理工学部長
委員	いなば みのる 稲葉 稔	同志社大学 理工学部 機能分子・生命化学科 教授
	いまにし のぶゆき 今西 誠之	三重大学 工学部 分子素材工学科 教授
	うきょう よしお 右京 良雄	京都大学 産官学連携本部 特定教授
	みやしろ はじめ 宮代 一	一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所
	もんま としゆき 門間 聰之	早稲田大学 理工学術院 教授

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

総合的に見て優れた事業である。事業目的は的確に設定しており、材料メーカー及びユーザー企業に対するアクションも的確である。秘密保持などにより情報が必ずしも開示されない中で、評価技術の標準化を目指して成果をあげていることは高く評価できる。前プロジェクトの成果と合わせて「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) の評価であれば信頼できる」という認識を業界に広く浸透させたことは大きな成果である。また、本事業終了後も、自主事業として自立して運営できる体制ができており、開発した技術の継承や実用化という点で高く評価できる。

我が国として、次世代の技術開発課題（全固体電池開発）に注力することは、理にかなっており極めて重要である。今後、全固体電池の材料評価技術に軸を移すとしても、その中で先進リチウムイオン電池 (LIB) にも転用可能な技術開発課題を引き続き支援することも必要である。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

国際的に加速する電気自動車の開発に対し、先進・革新電池開発という観点で我が国が先導的な地位を維持するためには、新しい電池開発体制を生み出すことが必要である。また、LIB の材料市場において他国の追い上げは激しく、新しい電池市場の開拓が日本の産業界にとって急務である。本事業はこの両者を追及する新しい取組であり、事業の目的は妥当である。また、民間企業が独自技術を基にこの蓄電池技術開発分野に参入する際の最大の障壁となる評価技術を、本事業によってサポートすることが可能となり、NEDO の関与が最も期待される分野での事業と言える。さらに、本事業は複数の評価技術がうまくリンクされながら進められており、大多数の民間企業にとって有益なものであり公共性も高いと判断できる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、国内外の技術動向、市場動向を踏まえて設定されており妥当である。研究開発スケジュールは、要素技術の開発について問題点を克服する工夫がなされており、適切である。また、実施体制としてユーザーである自動車メーカー、蓄電池メーカーなど連携研究機関の参画もなされており評価できる。さらに、電池研究の専門家からなる各種委員会の助言や他の国家プロジェクトとの連携等、多くの工夫も図られており、きめ細やかにマネジメントがなされている。賛助会員の設定や革新電池に関する一定の情報開示など、知の共有に対する対応も評価できる。また、得られた成果を特許とするのではなくノウハウとして保持する基本方針は、有効な方針と考える。

一方、同じ NEDO 事業である RISING2 との連携は十分にアピールされていないように

感じる。同じ組織内の事業でもあり、実用化促進という観点から連携を強化することが望まれる。

次年度より始まる第二期の開発ではターゲットが全固体電池に絞られるようであるが、先進 LIB の各材料に関する開発途上であり、今後様々な課題が出てくる可能性がある。今後はそれらの課題に対応すべく、先進 LIB も適宜開発の対象として取り上げてほしい。

2. 3 研究開発成果について

本事業は、いまだ標準電池化の技術開発が確立されていない材料についてその評価技術を確立すべく、蓄電池作成のプロセス開発にも踏み込んだ技術開発を行ったものである。大変困難な開発課題に取り組んだが各テーマとも最終目標を達成しており、大幅に超過達成したのものもある。各テーマの目標達成のために開発・整備した分析技術や解析技術には、今後の電池材料評価にとって基盤となり得る成果が数多く見られ、各テーマを越えて電池材料評価のための汎用技術としても貴重な成果が得られたものとする。また、一般講演の機会や組合員企業による特許出願の数を鑑みて、成果普及にも真摯に取り組み、十分な実績を上げていると評価できる。

全固体電池についてはまだ材料選択やセル作成方法が十分に確立していないので、現在行われている材料評価法及びフルセルを用いた短絡防止の技術開発をこれからも進めていただきたい。

2. 4 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

実用化の戦略は明確かつ妥当である。LIBTEC に賛助会員制度を設定し、プロジェクトで得られた評価技術を一部ブラックボックス化した上で組合員以外にも提供可能な方策を導入したことは、成果の実用化に向けた取組として評価できる。また、材料メーカーからの評価依頼件数は当初予定を大きく上回っており、その結果が事業化判断やユーザーへの提案に利用されていることから、本事業がうまく活用されていることが認められる。

これまでに開発した評価技術は、それぞれの課題に対して一部の材料メーカーから提供された特定の材料に特化した、いわば特注による評価に相当するものも多い。今後これら技術を基盤として、多くの新規材料に汎用的な評価技術となるように、材料の進展に応じて継続的に評価技術を高度化することが重要である。

また、材料メーカーから材料を受け入れて評価を行う場合に、この事業に専属の技術者・研究者が必要となるため、このような人材を早く育成されることを期待する。

研究評価委員会委員名簿

(平成29年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長／教授 研究院／副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 兼 社会経済研究所 副研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (Hi-Mat) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ごないかわひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評価研究センター センター長／教授
	さとう りょうへい 佐藤 了平	大阪大学 産学連携本部 名誉教授／特任教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第54回研究評価委員会（平成29年12月13日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

総合的に見て優れた事業である。事業目的は的確に設定しており、材料メーカー及びユーザー企業に対するアクションも的確である。秘密保持などにより情報が必ずしも開示されない中で、評価技術の標準化を目指して成果をあげていることは高く評価できる。前プロジェクトの成果と合わせて「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）の評価であれば信頼できる」という認識を業界に広く浸透させたことは大きな成果である。また、本事業終了後も、自主事業として自立して運営できる体制ができており、開発した技術の継承や実用化という点で高く評価できる。

我が国として、次世代の技術開発課題（全固体電池開発）に注力することは、理にかなっており極めて重要である。今後、全固体電池の材料評価技術に軸を移すとしても、その中で先進リチウムイオン電池（LIB）にも転用可能な技術開発課題を引き続き支援することも必要である。

〈肯定的意見〉

- ・ 総合的に見て優れた事業である。川上と川下を接続する一つの新しいスタイルであり、実用化加速への試みと見ることができる。事業としての成否は顧客からの意見に求めることが何よりも正確であろうが、ほぼ 100%好意的な意見であることから目的は十分に達成されているといえる。共通のスタンダードを創るということは最近よく耳にする“オールジャパン”が体现されているといえ、国の事業としてふさわしい成果である。
- ・ 全般的に、非常にうまく事業が進んでいる。材料から材料生産、電池作成プロセス開発、製品開発へと進む流れの基で、電池という複雑なデバイスに寄与する個々の材料の評価技術の開発である。個々の材料評価を行いながら、電池特性を向上させる材料開発の道筋を明らかにして、材料開発企業にフィードバックする事業である。事業の目的の設定やマネジメントも妥当である。個々のプロジェクトに関して、優れた成果を上げているものもあり、おおむね妥当である。欲を言えば、正極、負極、電解質という電池の基幹材料において、材料開発と電池特性評価のキャッチボールがより一層緊密に進むことを期待する。
- ・ 事業の目的も的確に設定しており、先進 LIB は3年間、全固体電池は5年で評価技術を開発、およそ達成している。材料メーカーおよびユーザー企業に対するアクションも的確である。秘密保持など情報が必ずしも開示されない中で、評価技術の標準化を目指して成果をあげていることは高く評価できる。
- ・ 先進リチウムイオン電池や革新電池に関して、共通指標として機能する材料評価技術を確立し、さらにラボレベルでも利用可能な解析技術も多く開発しており、前プロジェクトの成果と合わせて「LIBTEC の評価であれば信頼できる」という認識を業界に広く浸透させたことは大きな成果である。委託事業終了後も、自主事業として今後も自立して運営できる体制ができており、開発した技術の継承や実用化という点で高く評価できる。
- ・ 少し異なる視点からの意見であるが、日本では他国と異なりベンチャー企業が育ちにくいといわれる。LIBTEC のような組織がどこにでもあるわけではないが、本事業のよう

な仲介組織の設定は電池開発体制としてその代替になりうるものと感じた。

- 本事業は、評価技術開発という目的に対して十分な成果を上げていると考える。特にラボレベルでの評価技術開発であり極めて汎用性が高く、実用性にも問題ない技術開発である。
- 実施体制、マネジメントもしっかりと機能している。
- 未だ実用段階にない先進蓄電池材料や革新蓄電池材料の評価では、汎用的な標準電池での評価には限界がある。このため、本事業の中で標準電池仕様の策定に留まらず、高度分析技術や高度解析技術を整備したことは、今後開発される未知の材料に対する評価も視野に入れたものとして高く評価できる。また、これら技術を各材料メーカー単独で整備することは困難であることに加え、国際市場における日本の産業として見た場合には重複投資にもつながるため、国のプロジェクトとして中立的な立場で日本の基盤技術として整備したことは妥当である。
- 明確な目的のもと、極めて良好に進行したプロジェクトであり、成果も十分に出ている。

〈改善すべき点〉

- LIB の技術開発課題は、引き続き重要であり、外国においても国からの支援を受けているところが多い。我が国として、次世代の技術開発課題（固体電池開発）に注力することは、理にかなっており極めて重要である。今後、固体電池の材料評価技術に軸を移すとしても、その中で LIB にも転用可能な技術開発課題を引き続き支援することも必要である。
- 研究開発中の試料があるときの評価の標準化などは、継続的に行うなども必要と考えられる。また、研究開発費と成果の関係を年度ごとにもう少し明確にすると良い。
- 先進 LIB では5年前の段階での材料がベースとなって取り扱う材料や、目標が設定されているが、この分野の進歩は著しく、材料の進歩に応じて新たな材料を取り入れていくなどの柔軟性もあったら良かったのではないかと感じた。
- 解析技術に関しては一部学界等で報告されているが、新たなユーザー獲得を目指して全体的な事業の対外的アピールをもっと行っても良かったのではないかと感じた。
- 既に各項目で記したことであるが、ユーザー側の意見をより積極的に取り入れることで、車載用電池としての事業の性格づけが明確になる。現成果はより適当な標準モデル電池、標準評価方法に進化するであろう。これは国内基準からグローバルスタンダードへと発展することにつながり、ひいては日本市場の拡大に役立つと思われる。
- やや、開発技術に対するベンチマークが弱かったように感じる。

〈今後に対する提言〉

- 先進蓄電池材料や革新蓄電池材料については、未だ開発段階であるがゆえに今後大きく変化してゆくことが考えられる。これらの新規材料に的確に対応して評価を行い、国際競争力を維持してゆくためには、より幅広い新規材料に対する評価をベースに、評価技術の蓄積を継続してゆく必要がある。このため、今後も評価技術の高度化を継続可能な

枠組みの明確化を期待したい。

- 固体電池開発においては、素晴らしい進捗状況にある。電池作成プロセス開発要素があって初めて材料評価が可能になる。材料のみの評価技術の開発にとどまらず、材料評価のためにはいかなるプロセス開発が重要であるかとの観点から、今後の評価技術の開発を進めて欲しい。材料開発と、材料生産技術開発、その後の電池開発、電池評価、製造技術開発の間のキャッチボールを密に行い、これらの間に存在する技術開発のギャップを埋める役割を果たしていただきたい。
- 先進 LIB に対するフォローはまだ必要であり自主事業の中でも開発するパートは一部必要と考えられる。また、全固体 LIB に重点化するだけでなく、次世代電池にも研究開発の進捗状況によって対応できるような柔軟性のある計画が必要である。さらに、先端的低炭素化技術開発－特別重点技術領域「次世代蓄電池」(ALCA-SPRING) や革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2) などとのより一層の連携を図りつつ、これらも含めた研究費などの効率的分配も必要である。また、アカデミアに対する仕組み作りもオールジャパンの蓄電池技術開発の強化には必要であろう。
- 解析技術に関しては一部学会等で公表されているが、産業界だけでなく学界の研究でも非常に役立つ技術が多いので、公表できる技術に関してはできるだけ論文等でも公表してほしい。
- 全固体電池に関しては、今期の目標は達成したと言えるが、今後の第二期に予定されている本格的開発に向けてのこのままの方向性だけで十分かに関しては多少の疑問が残る。今後の 5 年間で想定される様々な新材料や課題に対応できるように、開発要素を含めて柔軟な計画を立てて欲しい。
- 本事業はある程度材料が決まっており、そこから材料を少し横に振る場合に力を発揮するシステムである。従って、材料が決まっていない革新電池の開発にこのシステムを直接適用する場合には、方針や方法についてもう少し詰める必要があると思われる。また、対象とする革新電池の選択＝入口を間違えると軌道修正は大変なので、受け入れをある程度広げておくことがリスクを下げつつ新しい電池を生む土壌を育てることになると思う。
- 開発した評価技術の更なる高度化および汎用性を高めることを継続して頂きたい。
- 将来に備えて革新蓄電池材料に対する評価技術を今から整備してゆくことは重要であるが、現状では実用化時の真の姿を見通すことすら難しい。このため革新蓄電池材料については、当面は文部科学省/科学技術振興機構 (JST) 次世代蓄電池研究加速プロジェクト等で提案される新規材料について評価を行うことで、評価技術を高度化してゆくことが重要と考える。一方、当面の競争分野である先進蓄電池材料に対する評価技術についても、将来材料に対応可能な技術として継続的に発展させてゆくことが、日本の電池産業の国際競争力を維持する上で重要と考える。
- 自主事業として長く継続されたい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

国際的に加速する電気自動車の開発に対し、先進・革新電池開発という観点で我が国が先導的な地位を維持するためには、新しい電池開発体制を生み出すことが必要である。また、LIB の材料市場において他国の追い上げは激しく、新しい電池市場の開拓が日本の産業界にとって急務である。本事業はこの両者を追及する新しい取組であり、事業の目的は妥当である。また、民間企業が独自技術を基にこの蓄電池技術開発分野に参入する際の最大の障壁となる評価技術を、本事業によってサポートすることが可能となり、NEDO の関与が最も期待される分野での事業と言える。さらに、本事業は複数の評価技術がうまくリンクされながら進められており、大多数の民間企業にとって有益なものであり公共性も高いと判断できる。

〈肯定的意見〉

- ・ 国際的に加速する電気自動車の開発に対し、先進・革新電池開発という観点で我が国が先導的な地位を維持するためには、新しい電池開発体制を生み出すことが必要である。また、LIB の材料市場において他国の追い上げは激しく、新しい電池市場の開拓が日本の産業界にとって急務である。本事業はこの両者を追及する新しい取り組みであり、低炭素社会の実現、わが国の経済成長に寄与するものである。
- ・ 蓄電池の市場調査、国内及び海外の研究動向、技術開発動向などを詳細に調べた上で、我が国にとって必要な事業であるとの位置づけを行い、材料の評価技術の開発に的を絞った本事業を企画し、推進している。事業の目的は妥当である。民間企業が独自技術を基に、この蓄電池技術開発分野に参入する際の最大の障壁となる評価技術を、この事業によってサポートすることが可能になる。NEDO の関与が最も期待される分野での事業であり、目的は妥当である。
- ・ 事業の目的をきちんと整理してまとめてあり、海外での同様な取り組みも調査して検討し、目的設定は妥当であると考えられる。また、NEDO 事業としては、材料メーカーを中心にユーザー企業も意識して電池業界全体の競争力強化、関係者間の複雑な利害関係を調整しながら、材料評価技術の蓄積を設定していることは評価できる。
- ・ 先進リチウムイオン電池や革新電池に関して、共通指標として機能する材料評価技術を確立することは、米国、ヨーロッパ、中韓勢力に押され気味な我が国における先進リチウムイオン電池や革新電池開発に関して、その早期実用化に大いに寄与できることが期待される事業である。
- ・ 電池にかかわる技術はノウハウに属するものが多く、国家レベルでの技術向上には技術者間の交流や情報の共有が不可欠である。また、本事業の目的とする評価用電池の開発、評価技術の開発は公共性が高いものである。これらの目的を達成するためには、官主導のマネジメントが必要で、蓄電池に関する産学官プロジェクトを数多く実施した経験を有する NEDO が行うことは妥当である。

- ・蓄電技術が極めて重要になってきている現状において、本事業は安全性をも含む蓄電池性能を蓄電池として評価する技術開発を明確に目的としており極めて妥当なものと考えられる。
- ・複数の評価技術が旨くリンクされながら本事業は進められており、少数の民間企業を除く大多数の民間企業にとって有益なものであり公共性も高いと判断できる。また、投じた事業費に対しての成果も十分である。
- ・近年 EV 用や再生可能エネルギー用等の大型蓄電池へのニーズが急速な高まりを見せており、電池の安全性や性能に対する要求がこれまでに増して厳しくなりつつある。これに対して、電池材料メーカーは材料開発の段階で多くの周辺技術も蓄積しているため、電池メーカー等の現場のニーズを的確に把握できれば、さらに競争力のある材料を開発できる潜在的ポテンシャルを持っている。一方、材料開発とその電池化の技術は高度のノウハウを伴うため、競合するメーカー間で直接的に情報や設備を共有し、潜在的ポテンシャルを引き出すことは困難である。このため中立的な立場で材料メーカーの開発する新規材料に対して客観的な評価を正確かつ迅速に行い、材料メーカーにフィードバックする基盤の整備は、日本の電池技術を材料面から下支えし、国際競争力を維持・向上させるために重要である。
- ・日々進歩する電池材料を評価するためには、これら材料の特徴に対応した評価手法を開発してゆくことが不可欠である。中立的な立場を維持しつつ、日本全体としての重複投資を最小化するために、NEDO 事業としての実施は妥当であると同時に、投じた研究開発費は重複投資の削減と日本の電池産業の国際的な優位性の確保により十分に回収可能と考える。
- ・海外の技術的追い上げが激しい中、先駆的な材料をいかに早く実用化できるかどうかという点でこれまで我が国は、対応が遅かった。本事業はそのような新規材料の実用化試験前における電池企業への提案が効果的になされるようにするものであり、非常に有効である。

〈改善すべき点〉

- ・この事業を実施することによりもたらされた効果を、広く一般に理解される仕組みをうまく構築することが重要である。投じた研究開発費に比較において十分な効果を上げていると考えるが、事業の重要性をより一層、社会に理解してもらえそうな方策を期待する。
- ・実施している内容は評価できるが、研究開発費の必要性との関係がみえにくい。
- ・技術研究組合形式という組合企業の枠組みの比較的クローズドの環境で研究開発が進められたが、解析技術などに関しては大学等を含め、もう少しオープンな形で進めても良かったように思われる。
- ・他国における電池試作・評価に関する調査が行われているが、これらの国々の施策とどこが異なりどこを強化すべきか等、分析結果を戦略に反映する作業がなされた形跡が明らかでない。研究開発動向という点については研究論文の国別の数が調査されているが、

どのような材料が検討されているか、革新電池系ではどのようなシステムが検討されているか、詳細まで把握することが望まれる。

- 評価技術のベンチマークがもう少し表現されていれば良かったのではないかと思われる。
- 革新蓄電池の実用化が見通せる段階となった場合に備えて、これら電池材料の評価技術をあらかじめ準備することも重要であるが、電池メーカーも材料メーカーも当面は現在実用化している LIB のさらなる高性能化により国際競争力を向上して行かざるを得ない状況にある。本事業で得られた成果を有効に活用してゆくためには、革新蓄電池材料の評価に加えて、先進蓄電池材料に対応する評価技術のさらなる高度化についても、将来に向けて持続的に推進可能な枠組みの整備が必要と考える。
- 恒久的に新規材料を評価できるよう、大きな額ではなくともたとえば産業技術総合研究所などの機関で国家予算による継続的な活動をできるよう、年度を区切った予算ではない基礎的な予算化が必要と考える。

2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、国内外の技術動向、市場動向を踏まえて設定されており妥当である。研究開発スケジュールは、要素技術の開発について問題点を克服する工夫がなされており、適切である。また、実施体制としてユーザーである自動車メーカー、蓄電池メーカーなど連携研究機関の参画もなされており評価できる。さらに、電池研究の専門家からなる各種委員会の助言や他の国家プロジェクトとの連携等、多くの工夫も図られており、きめ細やかにマネジメントがなされている。賛助会員の設定や革新電池に関する一定の情報開示など、知の共有に対する対応も評価できる。また、得られた成果を特許とするのではなくノウハウとして保持する基本方針は、有効な方針と考える。

一方、同じ NEDO 事業である **RISING2** との連携は十分にアピールされていないように感じる。同じ組織内の事業でもあり、実用化促進という観点から連携を強化することが望まれる。

次年度より始まる第二期の開発ではターゲットが全固体電池に絞られるようであるが、先進 LIB の各材料に関しても開発途上であり、今後様々な課題が出てくる可能性がある。今後はそれらの課題に対応すべく、先進 LIB も適宜開発の対象として取り上げてほしい。

(1) 研究開発目標の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 内外の技術動向、市場動向を踏まえて目標設定は妥当である。
- ・ 先進 LIB、全固体電池ともにこれまでにベンチマークとなる評価法がないことが課題であり、目標は妥当である。
- ・ 車載用電池として 4 種類の先進電池と 1 種の革新電池が標準モデルとして設定されている。これらの電池の選定は我が国の電池開発動向を踏まえたもので当初目標として妥当である。評価技術の目標として共通指標の確立を目指す点は国内産業の技術力を向上させる効果があると認められる。
- ・ 報告された開発評価技術(要素技術を含む)は蓄電池性能を評価するのに十分なものと判断できる。また、開発実績及び研究開発費は成果に対しては十分である。
- ・ 高電位正極、高容量正極、高容量負極および難燃性電解液の技術は、いずれも LIB の性能向上や国際競争力の強化において非常に重要な技術であり、これらの評価技術を整備したことに加えて、将来の実用化が望まれている革新蓄電池材料の評価技術についても一定の成果を挙げていることは高く評価できる。
- ・ 開発目標、計画はきわめて適切である。

〈改善すべき点〉

- ・ 蓄電池の特性の鍵を握る材料系は多々存在するが、特に電極材料や電解質材料そのものの技術開発に深く関与したかどうか明らかでない。蓄電池の基幹材料の開発に、この事業が如何に関与する(した)か、もしくは関与できる(できた)かを、よりわかりやすくアピールすることが必要である。

- ・ 先進 LIB では 5 年前の段階での材料がベースとなって取り扱う材料や、目標が設定されているが、この分野の進歩は著しく、材料の進歩に応じて新たな材料を取り入れていくなどの柔軟性もあったら良かったのではないかと感じた。
- ・ 本事業の対象となる材料は、いずれも未だ確立したものではなく、本事業で整備した評価技術によるフィードバックを受けて、材料開発の方向性や開発材料の特性が大きく変化する可能性の高いものである。従って、本事業で整備した評価技術をベースとして本事業終了後も常に新規材料に対応して行く将来への枠組みと、より柔軟な研究開発計画を期待したい。

〈今後に対する提言〉

- ・ 次年度より始まる第二期の開発ではターゲットが全固体電池に絞られるようであるが、先進 LIB の各材料に関しても開発途上にあり、今後様々な課題が出てくる可能性がある。それらの課題に対応すべく、適宜開発の対象として取り上げてほしい。
- ・ 標準電池開発に関して現在は硫化物系全固体電池ただ一種が対象となっている。革新電池に関しては将来何が出てくるのか分からないので、もう少し間口を広げて、実用化から遠い電池系も受け入れる態勢にすれば、電池分野全体としてのアクティビティも向上すると期待される。
- ・ 本事業で得られた成果は日本の電池技術の発展にとって非常に貴重なものであり、NEDO の関与のもと革新蓄電池材料のみならず、現在の主戦場である液系 LIB における先進蓄電池材料に対する評価技術の維持ならびに発展にも注力すべきと考える。

(2) 研究開発計画の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 開発目標、計画はきわめて適切である。
- ・ 研究開発スケジュール。要素技術の開発も問題点を克服する工夫がされている。
- ・ スケジュールと予算は相関し効果的に策定されている。

〈改善すべき点〉

- ・ 研究開発費に対して、プロジェクトごと、年度ごとの必要性がわかりにくい。

〈今後に対する提言〉

- ・ プロジェクト、予算の年度計画に Plan-Do-Check-Act (PDCA) サイクルを導入し、柔軟に対応することが望ましい。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ ユーザーである自動車メーカー、蓄電池メーカーなど連携研究機関の参画もなされており評価できる。

- 実施体制、進捗管理も適切である。
- LIBTEC に国内の電池材料メーカーが集合し、最先端の技術を搭載した評価用電池が作成されている。その運営には電池研究の専門家からなる各種委員会の助言や他の国家プロジェクトとの連携等、実施内容の向上に多くの工夫が図られている。
- 研究開発の実施体制においても、成果報告されたマネージャークラスの方々の質疑応答もしっかりとしていると判断された。当然責任体制も有効に機能していたと考えられる。
- 実施体制は十分に成果を上げ、その進捗も良い。

〈改善すべき点〉

- 研究開発の実施体制として、ALCA-SPRING との連携は硫化物系全固体電池を通じて十分に行われていることが分かる。一方、同じ NEDO 事業である RISING2 との連携が表記されているが、その成果が十分にアピールされていないように感ずる。同じ組織内の事業でもあるから実用化促進という観点から連携を強化することが望まれる。
- 明示されていないが本事業は車載用途の電池開発に資することが目的である。材料メーカー側からは、材料評価の手段として”共通の物差し”を入手できる意味合いは大きく、研究開発の加速が達成されることに疑いはない。一方、本成果はユーザー側、特に自動車メーカーにとって材料の相対的評価の物差しであるのか、車載用電池としての絶対的な特性評価の物差しであるのか、定義づけが判然としない。メーカー側の意向をどのように反映しているか示すことが必要と思われる。

〈今後に対する提言〉

- 基幹材料の開発に関わる企業が、この事業にどれだけ関わることができるかが、今後の研究開発にとって重要である。このような材料開発の企業が参入しやすいような研究開発のマネジメントを期待する。
- 目標がしっかりしており、それを達成するという目標に向かっての体制(指揮命令系統及び責任体制を含む)が非常にうまく機能したように思う。次のプロジェクトでも是非この体制の仕組みを生かして頂きたい。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

〈肯定的意見〉

- 内外の技術動向を踏まえた研究開発マネジメントを行っている。リチウムイオン電池開発に関わる材料技術の評価技術の開発を初期の段階で進め、十分な成果を得たとの判断のもとで新たな蓄電池の評価技術の開発に展開している。蓄電池全体の技術開発動向と、市場の期待などを踏まえた研究開発を適切に対応している。
- 実施体制、進捗管理も適切である。
- 材料メーカーを中心とする技術研究組合で、プロジェクトリーダー (PL) の指揮のもとに組織だった運営がなされている。

- ・ 委員会との十分な件数の打ち合わせに加えてプロジェクトマネージャー（PM）と PL による定期的な管理が行われており、目標が達成されるようにきめ細やかにマネジメントがなされている。

（5）知的財産等に関する戦略の妥当性

〈肯定的意見〉

- ・ 知財管理に関しては基本的にはノウハウであるため、実施者間の情報管理になるが、適切に情報管理ができています。
- ・ 特許出願よりもノウハウとしての取り扱いに重点が置かれている点は本事業の性格から考えて妥当である。賛助会員の設定や革新電池に関する一定の情報開示など、知の共有に対する対応も評価できる。
- ・ 得られた成果を特許とするのではなくノウハウとして保持する基本方針は、開発技術の海外流出を防ぐ意味でも有効な方針と考える。

〈改善すべき点〉

- ・ 評価技術の開発であるためにかなり難しいとは思われるがもう少し知的財産に関することに配慮が必要だったかもしれないと思われた。

〈今後に対する提言〉

- ・ 技術情報の海外への漏洩のないよう、十分に今後注意する必要がある。

2. 3 研究開発成果について

本事業は、いまだ標準電池化の技術開発が確立されていない材料についてその評価技術を確認すべく、蓄電池作成のプロセス開発にも踏み込んだ技術開発を行ったものである。大変困難な開発課題に取り組んだが各テーマとも最終目標を達成しており、大幅に超過達成したものもある。各テーマの目標達成のために開発・整備した分析技術や解析技術には、今後の電池材料評価にとって基盤となり得る成果が数多く見られ、各テーマを越えて電池材料評価のための汎用技術としても貴重な成果が得られたものとする。また、一般講演の機会や組合員企業による特許出願の数を鑑みて、成果普及にも真摯に取り組み、十分な実績を上げていると評価できる。

全固体電池についてはまだ材料選択やセル作成方法が十分に確立していないので、現在行われている材料評価法及びフルセルを用いた短絡防止の技術開発をこれからも進めていきたい。

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

〈肯定的意見〉

- ・ 負極材料に関しては大きな成果を上げることができたと理解する。全固体電池の評価技術の開発に関して、未だこの蓄電池の評価技術はおろか、技術開発自体も確立されていない状況の下で、材料の評価技術を確認すべく蓄電池作成のプロセス開発にも踏み込んだ評価技術開発を行っている。大変困難な技術開発課題に取り組み、成果をこれまでに上げている。
- ・ 各プロジェクト共、最終目標を達成しており、各々大幅達成したものもある。成果の実用化に向けた戦略も的確に立てている。
- ・ 本事業の全てのテーマで取り扱う材料は未だ確立したものではなく、標準電池化の困難な対象であったと考えられるが、その制約の中でも全ての設定目標を達成しているといえる。加えて、それぞれのテーマの目標達成のために開発・整備した分析技術や解析技術には、今後の電池材料評価にとって基盤となり得る成果が数多く見られ、各テーマを越えて電池材料評価のための汎用技術としても貴重な成果が得られたものとする。また、革新蓄電池材料に関しては、実用化に不可欠な技術であるシート成形電池の評価に向けて大きな前進が見られたことに加え、一部で他の国プロとの連携も実現したことは高く評価できる。
- ・ 研究開発費は少ないとは言えないが、得られた成果と今後期待される効果は十分に大きいと思われる。
- ・ 評価技術の確立に関しては材料によって達成度に多少の差があるが、現在の材料の開発状況に応じて十分に目標を達成でき、前プロジェクトの成果と合わせて「LIBTEC の評価であれば信頼できる」という認識は業界に広く浸透したと思われる。
- ・ 研究開発の結果についてどのプロジェクトも個別の目標を達成しており、研究開発費に見合った優れた成果が得られている。大量の依頼評価件数と組合員内外からの高い肯定的評価が本事業の目標達成を客観的に証明している。新しい解析技術としてフルセルに

dV/dQ 解析を導入した点が高く評価される。フルセルとしての電池評価は大学研究ではあまり行われていないが、それはセル作成の難しさと系の複雑さに理由がある。本事業はこうした部分を補完するものであり、電池の基礎研究の在り方にも一石を投ずる。

- 研究開発目標はおおむね達成できていると判断できる。また、蓄電池評価技術としての研究開発成果は、いくつかの評価技術を平行して開発しており有益なものである。
- 開発された評価技術はラボレベルで実施可能な技術が中心であり汎用性も高いものである。
- 投入された研究開発費に対しては十分な成果である。
- 課題解決は十分になされている。研究開発費にみあった成果であると考えられる。特に固体電解質を用いる電池に対する技術解決は重要であるとともに成果が出ている。

〈改善すべき点〉

- 高電位正極、高容量正極に関しては、評価技術の開発に関しては十分な成果を上げているが、産業への貢献度としては、大きなアピールポイントがないように感じる。
- 先進 LIB で開発対象として取り上げられている 4 つの材料に関しては、概ね目標は達成されているが、その後の 5 年間の動向なども考慮して適宜軌道修正等も必要であったように思われる。たとえば高容量負極では SiO のみが対象として取り上げられているが、今後主流となるナノシリコンやシリコン含有炭素なども早期に取り入れて、開発した評価法を用いて早期に比較検討すべきであったように思われる。
- 高容量正極に関しては学界、産業界の材料開発や劣化メカニズムの理解が進んでいないこともあり、評価法、解析法としては他の 3 つに比べて少し完成度が低いように思われる。
- 全固体電池に関しては、今期の目標は達成したと言えるが、今後の第二期に予定されている本格的開発に向けてのこのままの方向性だけで十分かに関しては多少の疑問が残る。
- 単なる書き方の問題だが、PJ-5 の成果で Li デンドライトの直接観察という項目がある。ここでは黒鉛電極上での金属リチウムの析出が本質的問題であって、析出形態はその後に来る問題である。また、リチウムを見るためラマン分光法の適用が提案されている。リチウム金属の存在が検知できるとしても析出形態を見分ける空間解像度を有するのか。さらに、ガーネットで問題となるようなごく短時間での短絡については、顕微鏡で見えるようなサイズの金属リチウムの析出による短絡が原因か未だ不明である。金属リチウムに関する課題の整理が必要と感じた。
- 前述したが、評価技術のベンチマークがもう少し表現されていれば良かったのではないかと思われる。
- プロジェクト毎に参画するメーカーが異なるため、プロジェクト間での情報共有や材料共有が困難であることは理解できるが、たとえば PJ-3 の高容量負極の評価に PJ-1 で検討したフッ素系電解液を適用する等の検討を実施できれば、実用化時のコスト等の問題は別として、劣化メカニズムの解明をさらに進めることができたのではないか。その意味で、本来の目的である現実的な市販電池としての材料評価の視点に加えて、材料の持

つポテンシャルを評価する視点にももう少しリソースを配分しても良かったのではないかと考える。

〈今後に対する提言〉

- 全固体電池の技術開発および材料評価法の開発を、より一層強力に進めてもらいたい。
- 先進電池と革新電池に対するアプローチに本質的な違いは存在せず、作業内容としてはほぼ同じと思われる。しかし、後者は材料選択もセル作成方法も十分に確立していないので、先進電池とは異なる方法論が必要と思われる。
- また、全固体電池における短絡現象については不明な点が多く、現在行われているフルセルを用いた研究をこれからも進めていただきたい。
- プロジェクトによっては、標準の活物質自体が開発段階であるなど、今後の開発に応じてそれを継続して評価していく体制は必要である。
- 先進 LIB(液系 LIB)の評価技術および設備は多くの研究費を費やし整備し、成果をあげている。これらを生かす方策も必要と考えられる。
- 特に液系電池について、未だ次世代材料として開発段階の材料を LIBTEC の標準材料に加えることが困難であることは理解できるが、評価対象材料の劣化メカニズム等を的確に推定できれば、実用化に向けた評価材料の改良や周辺材料の選択にも指針が得られる。従って、安価に安定供給が期待できる材料を標準電池構成材料として採用することも重要であるが、これに加え供給面やコストに多少の問題があってもメカニズムの特定に有効な材料も劣化メカニズム評価用の標準材料として採用し、他では容易にまねのできない評価を行えるように基盤として整備してゆくことが重要である。このような評価技術の高度化を継続するためには、革新蓄電池材料のみならず次世代蓄電池材料についても国の継続的な関与が重要と考える。

(2) 成果の普及

〈肯定的意見〉

- ラボレベルでも利用可能な解析技術を多く開発しており、今後有用な解析技術として多くの研究者に利用されるようになると思われる。
- 成果の普及と知財確保を情報の制御を行いながら両立させるのは難しいが、一般講演の機会や組合員企業による特許出願の数を鑑みて、成果普及に真摯に取り組み十分な実績を上げていると評される。賛助会員制度は共通の評価技術の普及という点でよい取り組みである。
- 開発した評価技術を広めるためにも、技術の伝承(人材育成を含む)を是非実施して頂きたい。

〈改善すべき点〉

- 解析技術に関しては一部学界等で報告されているが、新たなユーザー獲得を目指して全体的な事業の対外的アピールをもっと行っても良かったのではないかと考える。

〈今後に対する提言〉

- 解析技術に関しては一部学会等で公表されているが、産業界だけでなく学界の研究でも非常に役立つ技術が多いので、公表できる技術に関してはできるだけ論文等でも公表してほしい。
- 成果の普及は、特に海外への技術流出を考えた場合に、積極的にするものではない。
- 宣伝を十分にすることによって、まだ利用していない材料メーカーが適切に本設備を利用し、自主事業として長期にわたって継続されることを期待する。
- 今後は、息の長い自主事業として継続されるよう、宣伝、および宣伝になるような記事の学会誌・情報誌への掲載などがあるとよい。

2. 4 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

実用化の戦略は明確かつ妥当である。LIBTEC に賛助会員制度を設定し、プロジェクトで得られた評価技術を一部ブラックボックス化した上で組合員以外にも提供可能な方策を導入したことは、成果の実用化に向けた取組として評価できる。また、材料メーカーからの評価依頼件数は当初予定を大きく上回っており、その結果が事業化判断やユーザーへの提案に利用されていることから、本事業がうまく活用されていることが認められる。

これまでに開発した評価技術は、それぞれの課題に対して一部の材料メーカーから提供された特定の材料に特化した、いわば特注による評価に相当するものも多い。今後これら技術を基盤として、多くの新規材料に汎用的な評価技術となるように、材料の進展に応じて継続的に評価技術を高度化することが重要である。

また、材料メーカーから材料を受け入れて評価を行う場合に、この事業に専属の技術者・研究者が必要となるため、このような人材を早く育成されることを期待する。

〈肯定的意見〉

- ・ 実用化の戦略は明確かつ妥当である。特に全固体電池の評価技術が、蓄電池・自動車メーカーに対して、今後は極めて重要な技術開発課題と評価技術の提案が可能になると考える。人材育成にも貢献している。
- ・ PJ-1 から PJ-4 の先進蓄電池材料については、現在多くの電池メーカーが次世代蓄電池として開発を競っており、この開発に成功すれば国際市場においても優位性を確保できる可能性の高いものであり、新規開発材料に対する評価が迅速にフィードバックされることには大きな波及効果が期待される。事実、これらのプロジェクトにはすでに多数の評価依頼があり、開発成果の実用化に向けた実績を挙げつつある。一方PJ-5は、現状では電池メーカーが最優先で事業化に取り組む状況ではないものの、革新電池が将来向かう方向としては妥当なものであり、その評価技術の開発をあらかじめ国のプロジェクトとして早期に整備し、ノウハウを蓄積することは重要である。これらを含めた事業全体として、成果の実用化に向けた戦略やその取り組みは妥当なものであると考える。また、LIBTEC に賛助会員制度を設定し、プロジェクトで得られた評価技術を一部ブラックボックス化した上で組合員以外にも提供可能な方策を導入したことは、成果の実用化に向けた取り組みとして大きな前進として評価できる。
- ・ 成果の実用化に向けた戦略をたてており、材料メーカー、ユーザー企業にアクションを行い、これを満たす成果をあげている。また、先進 LIB、全固体電池に分けて、各々の状況を鑑みて成果の実用化の見通しを立てている。
- ・ 本プロジェクトの実用化の定義に基づいて策定された実用化戦略は合理的であり、達成が十分に期待できるものである。事実、材料メーカーからの評価依頼件数は当初予定を大きく上回っており、その結果が事業化判断やユーザーへの提案に利用されている。本事業がうまく活用されていること、つまり実用化への取り組みが着実に実を結んでいることが認められる。

- 成果の実用化の見通しとして、先進電池は LIBTEC 自主事業とすることが予定されている。これは第一期の評価依頼件数を考えると十分に可能と考えられる。一方、革新電池は成果の公開によって技術の底上げを図ることが目論まれており、こちらも電池の開発ステージを考えると妥当な戦略と認められる。
- 本事業で開発した評価技術は特に材料メーカーにとっては、開発した材料を電池として評価できるために極めて有益なものになると考えられる。また、依頼評価も多く受けており信頼度も高い。
- 実用化に向けた戦略は良い。取り組みも良好と考える。
- 先進 LIB に関しては各材料に関して概ね評価技術は確立できており、既に蓄電池・自動車メーカーに対する提案活動に利用されている点は評価できる。
- 国家プロジェクトを受託する技術研究組合の多くがプロジェクト終了後自立できず、解散している例が多い中で、LIBTEC では自主事業として今後も自立して運営できる体制ができており、開発した技術の継承や実用化という点で好ましい。

〈改善すべき点〉

- 成果のアピールの仕方が不明確である。最大の成果のアピールは、開発した材料の市場規模の把握である。現時点での把握は困難であるのは理解できるが、アピールできるように何らかの方策を望む。
- 先進 LIB を LIBTEC の自主事業に転換するだけでなく、評価技術開発の継続性も一部で行う必要があると考えられる。
- 今期に評価依頼を受けた電池材料のうち、セパレータ、電解液、バインダといったものが圧倒的に多い。すなわち電池の主役である正極と負極の割合は非常に少ない。現状では波及効果は限定的でグローバルな電池の分野での主導権を握るという観点で、本事業の優れた意義を十分に生かすことができないのではないかと危惧される。この事業を通じて正負極材料を合成する企業のさらなる誘致や育成があってもよいと思う。
- 硫化物系全固体電池については LIB からの連続性が存在し評価技術もある程度共通しているが、その先にある酸化物全固体電池や革新蓄電池への見通しが具体的でない。
- 開発評価技術に対して常にベンチマークを実施しておく必要がある。
- 先進蓄電池材料、革新蓄電池材料ともに評価対象材料が未だ開発段階であり、現状で開発した標準電池仕様が今後開発される新規材料に対しても汎用的に適用可能なものかどうか明確でない部分も多い。今後新たに提案される新規材料を用いてその汎用性を確認しつつ、継続的に改良してゆくことが重要である。

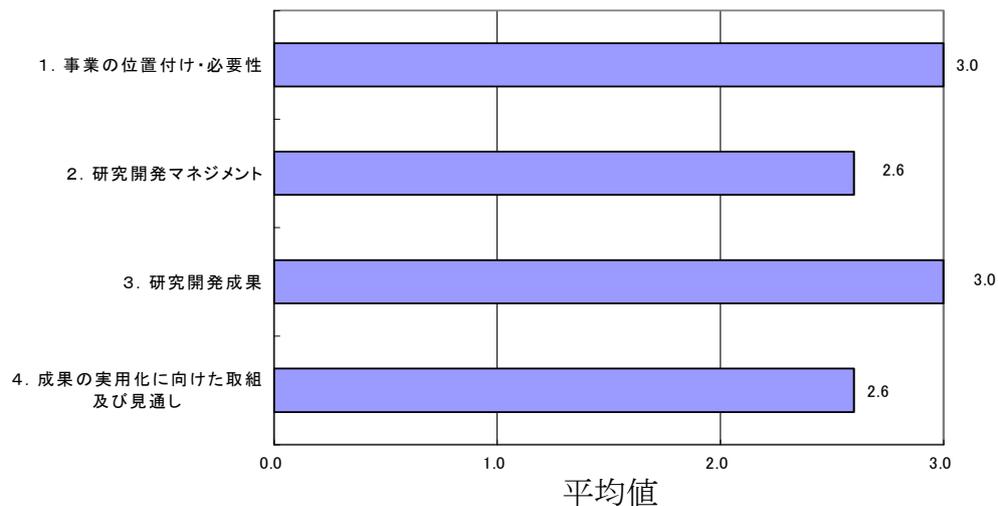
〈今後に対する提言〉

- これまでに開発した評価技術は、それぞれの課題に対して一部の材料メーカーから提供された特定の材料に特化した、いわば特注による評価に相当するものも多い。今後これら技術を基盤として、多くの新規材料に汎用的な評価技術となるように、材料の進展に応じて継続的に評価技術を高度化してゆくことが重要であり、それをサポートする枠組

みを整備することが必要と考える。

- 材料メーカーから材料を受け入れて、評価を行う場合に、この事業に専属の技術者・研究者が必要となる。このような人材を早く育成されることを期待する。
- 先進 LIB に対するフォローはまだ必要であり、全固体 LIB に重点化するだけでなく、次世代電池にも状況によって対応できるような柔軟性のある計画が必要である。また、ALCA-SPRING や RISING2 などとのより一層の連携を図りつつ、これらも含めた研究費などの効率的分配も必要である。
- 技術研究組合の成り立ちからして仕方ないとは言えるが、現在の組合員の多くが材料メーカーであり、今後の自主事業では先進 LIB、革新電池の実用化に向けてユーザーである蓄電池メーカー、自動車メーカーも組合員として取り込んで進めていく必要があると思われる。
- 先進蓄電池に関して”共通の物差し”を国外にまで拡大させることを考えるならば、今後ユーザー側の積極的な協力を求める必要があるだろう。
- 本事業は研究開発ではないものの、大学との連携も双方にとって有益と思われる。特に大学側から見た場合、所有するシーズをフルセルで評価できることはモチベーションの向上に大いに役立つ。産-学-評価機関の三者体制は新しいモデルとなりうる。これによる研究開発の加速は我が国の地位を高めることにつながると期待される。
- これまでに開発した評価技術以外にも、開発すべき技術をきちんと整理しておく必要があると思う。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.6	A	A	A	B	A	B	B	B
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.6	A	A	A	B	B	B	B	A

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・適切とはいえない →D | ・見通しが不明 →D |

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

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

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」

事業原簿【公開】

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

概要
プロジェクト用語集

第1章 事業の位置付け・必要性について

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

第2章 研究開発マネジメントについて

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

第3章 研究開発成果について

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

第4章 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

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

(添付資料)

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

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

関連産業界の共通指標として機能する材料評価技術を開発する必要がある。

1.1.3 関連する上位施策

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

1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて

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

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

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

1.1.5 市場動向

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

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

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

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

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

1.1.6 特許動向

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

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

1.1.7 研究開発動向

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

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

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

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

1.2 NEDOの事業としての妥当性

1.2.1 NEDOの関与の必要性

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

1.2.2 実施の効果

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

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

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

<p>知的財産等に関する戦略</p>	<p>国際市場で競争力を獲得するためには、知的財産と標準化を戦略的に組み合わせることでビジネス戦略に相乗効果をもたらす取組を進める必要がある。その一方、特許化やデジュール標準化（公的標準化）は実質的な技術の公開に繋がるという側面を持つため、オープン&クローズの戦略が必要である。</p> <p>本プロジェクトの成果となる材料評価技術は、国内蓄電池・材料メーカーが市場競争力を有した製品を創出するため研究開発段階で使用するツールであり、フォーラム標準に近い性質を持つ。そのため、この評価技術は基本的にはノウハウ（ブラックボックスのクローズ領域）として取り扱うものとし、特許出願やデジュール標準化は行わない方針としている。</p> <p>産業全体の競争力強化の観点においては、開発した評価技術を本プロジェクトに参加の国内関係者にも広く共有し、産業界の共通指標として普及・定着させる方針である。ただし、製品として上市されていない研究開発段階にある先進 LIB 及び全固体電池を対象としたものであり、技術情報の海外流出に対する防止対策が必要と認識している。</p>								
<p>NEDO プロジェクト間の連携</p>	<p>「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2)」（実施期間：2016 年～2020 年）とは、蓄電池の高エネルギー密度化の指針を得ることを目的とした連携を進めることで合意した。具体的に、本プロジェクトの PJ-3 で開発している厚膜正極の標準電池モデルを RISING2 に提供し、SPring-8 の放射光ビームラインを用いた高度解析技術の開発に使用することとし、2016 年 9 月より提供を開始した。また、2016 年 3 月より、「LIBTEC-RISING2 連携会議」を立ち上げ、LIBTEC が提供した標準電池モデルの作製プロセス条件及び材料物性データと RISING の解析結果を突き合わせながら議論し、厚膜正極の充放電メカニズムについて相互に理解を深めている。</p> <p>また、「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」（実施期間：2012 年～2016 年）の研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の実施者である国立研究開発法人産業総合技術研究所 (AIST) 及び一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) と LIBTEC との技術交流会をそれぞれ 2016 年 5 月、2016 年 6 月に開催した。AIST との技術交流会では、高容量負極材であるシリコン系負極材を適用した先進 LIB の劣化試験法や dV/dQ 解析手法の先進 LIB への適用性等について情報・意見交換を行った。また、JARI との技術交流会では、国際標準 IEC62660-3 (EV 用 LIB 単セルの安全要件) として発行されている異物混入を模擬した強制内部短絡試験法の代替試験法について情報・意見交換を行った。</p>								
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>・中間評価における主たる指摘事項とその対応を下表に示す。</p> <table border="1" data-bbox="448 1025 1498 2078"> <thead> <tr> <th data-bbox="448 1025 719 1059">指摘事項</th> <th data-bbox="719 1025 1498 1059">対応</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="448 1059 719 1368"> <p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p> </td> <td data-bbox="719 1059 1498 1368"> <p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1368 719 1680"> <p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p> </td> <td data-bbox="719 1368 1498 1680"> <p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="448 1680 719 2078"> <p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p> </td> <td data-bbox="719 1680 1498 2078"> <p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p> </td> </tr> </tbody> </table>	指摘事項	対応	<p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p>	<p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p>	<p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p>	<p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p>	<p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p>	<p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p>
指摘事項	対応								
<p>①一部で、成果の実用化に向け蓄電池・自動車に提案できる評価技術を確立できていない状況が見受けられる。早い段階で蓄電池・自動車メーカーの助言を受けられる方がよい。</p>	<p>「一部で」とは、具体的には PJ-1 (高電位正極) が該当と判断 (標準電池モデルにおいて電解液の分解による CO₂ 等のガス発生が起きていたため)。中間評価以降は、正極活物質の表面被覆、カーボネート系に替えてフッ素系電解液の適用、電解液添加剤の適用等により、ガス発生を抑制したモデルに改良した。</p> <p>蓄電池メーカー 8 社、自動車メーカー 6 社の専門家で構成されるアドバイザリー委員会を開催し、これまでの開発成果を説明し、意見・助言をすくい上げた。また、平成 28 年度から新規の連携研究機関として自動車メーカー 2 社が参画し、評価技術開発の体制を強化した。</p>								
<p>②PJ-5 (全固体電池) については、標準電池モデル作製レベルの向上をさらに図り、最終目標に向けての課題と解決の道筋をつけて頂きたい。</p>	<p>中間評価段階での標準電池モデルは電極・電解質等の粒子界面を加圧力のみで接合しているため、電池特性が加圧力の影響を受けており、材料自体の良・不良を判定し難いという課題があった。そのため、バインダーの添加も組み合わせ、より実用状態に近いシート成形電池モデルの開発に取り組んだ。</p> <p>また、組合員企業から全固体電池の開発経験者を出向研究員として受け入れて開発体制の強化を図った。</p> <p>さらに、全固体電池の研究実績を有する大阪府立大学、産業技術総合研究所等、JST の ALCA/SPRING プロジェクトの「全固体電池チーム」との連携を強化した。</p>								
<p>④知の共有と活用に対する検討が望まれる。国内の材料・蓄電池産業の双方がメリットを享受できる方向で、まずは当事業の参加者の中での検討推進が望まれる。</p>	<p>当初より、開発した評価技術は国内関係者に広く共有し、産業界の共通指標として定着させる方針である。</p> <p>成果の担い手となる材料メーカーとの知の共有・活用については、「LIBTEC 技術委員会」を開催し、これまでの開発成果を材料メーカー 16 社に周知するとともに、電池試作・評価活動におけるサンプル提供を呼び掛けた。</p> <p>国内材料・蓄電池産業の双方のメリット享受に関しては、本プロジェクトの開発技術は、原則として国内蓄電池メーカーでの新製品開発への活用を優先させることとして、プロジェクト参加者間で合意を形成している。</p> <p>全固体電池 (PJ-5) の評価技術については、今後、開発成果を国内産業界・学会に開示することにより、新規参入企業や異分野の研究者にも門戸を開き、産業・研究開発の底上げと裾野の拡大を図る</p>								

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

	<p>④ 平成 29 年 6 月までに合計目標件数を上回る 144 件の材料評価を実施した。電解液、セパレータや正極等の材料評価で、ARC 評価や C80 評価を標準電池の昇温試験と併せて行い、評価結果の相関性を確認した。また、ミツバチネイル短絡試験評価が、従前の強制内部短絡試験と同様に電極対 1 層短絡を実現でき、正極、電解液、セパレータ等の材料の短絡時の耐熱安全性評価として妥当なことを確認した。</p> <p>(5) 革新電池／全固体電池(PJ-5)</p> <p>① 全固体電池の構成材料の 1 次スクリーニング評価を目的とした圧粉体成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。プロセス要因を排除した材料自体のポテンシャルの評価が可能となった。</p> <p>② 材料の塗料化、塗工、シート化等のプロセス要因を考慮した材料評価を目的とした 8mAh 級のシート成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。100 サイクルレベルでも急激な容量低下は観測されず、シート成形した全固体電池の材料評価が可能となった。また、プロセス環境の影響の評価も可能なモデルとして完成させた。</p> <p>③ 車載用全固体電池の材料評価を見据え、セル大面積化に伴う影響を調査するため、大面積化した 50mAh 級のシート成形標準電池モデル、試作仕様書、性能評価手順書を策定した。大面積化に伴う Li デンドライト析出の要因を抽出し、その抑制に向けた技術開発の方向性を見出した。</p> <p>④ 負極側で発生する Li デンドライト析出の抑制に向けて、全固体電池の参照極を用いた Li 析出検出技術、Li 析出シミュレーション技術、負極内イオン伝導分離測定技術、シート成形電池の面内反応分布解析技術、Li デンドライトの直接観測技術を開発した。</p> <p>⑤ ALCA との連携として、ALCA 硫化物全固体チームの開発成果である液相法による電解質コート技術、電解質を充填した多孔質樹脂シート、熱分解性バインダーの 3 件の技術提供を受け、標準電池モデルを用いて評価を行い、その有用性を見出した。</p> <p>⑥ 開発した材料評価技術を用いて材料サンプルを評価した。平成 28 年度は、目標の 5 件を大幅に上回る計 15 件の材料サンプルで電池試作・評価を行った。特に、新電解質材料 4 件を評価、性能向上を確認し、高イオン電導度の固体電解質アルジロナイト結晶系材料を標準電池材料として採用した。さらに、11 件のバインダー材料の新サンプル評価も実施し、材料メーカーでの改良開発に活用している状況にある。</p> <table border="1" data-bbox="448 1120 678 1272"> <tr> <td>投稿論文</td> <td>0 件</td> </tr> <tr> <td>特 許</td> <td>「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)</td> </tr> <tr> <td>その他の外部発表 (プレス発表等)</td> <td>「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件</td> </tr> </table>	投稿論文	0 件	特 許	「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)	その他の外部発表 (プレス発表等)	「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件																		
投稿論文	0 件																								
特 許	「出願済」 3 件 (うち国際出願 0 件)																								
その他の外部発表 (プレス発表等)	「外部発表」 20 件 「展示会への出展」 4 件																								
<p>4. 実用化・事業化の見通し及び取組について</p>	<p>4.1 成果の実用化に向けた戦略と取組</p> <p>本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)は、「本プロジェクトで開発した評価技術が、材料メーカーにおける新材料の研究開発(ポテンシャル把握、実用化課題の抽出、改良の方向性の検討等)や蓄電池・自動車メーカーに対する提案活動等に活用されること。」と定めた。そのための取組は次のとおりである。</p> <p>① 材料メーカーに対するアクション</p> <p>「LIBTEC 技術委員会」において、これまでの成果を組合員企業に説明して情報共有に努めるとともに、新材料の評価活動を開始することをアナウンスし、先進 LIB 及び全固体電池の新材料サンプルの提供を呼び掛けた。また、H28 年度には組合員企業以外からも新材料サンプルの提供を受けるべく、「賛助会員制度」を設けた。なお、提供された新材料サンプルでの電池試作・評価を行う際には、事前にサンプル提供者と打合せを行い、当該材料の開発目的・適用用途に適った評価計画を提案するようにした。さらに、評価結果のフィードバックに際しては、標準電池モデルとの相対評価結果の提示だけでなく、何故、そのような結果が得られるのかの現象・メカニズムの裏付けデータも併せて提示した。</p> <p>これら国内材料メーカーから提供される新材料サンプルの評価を 29 年度末までの 2 年間継続する予定で、評価技術の妥当性検証を実施してきた。平成 29 年 6 月末現在の本プロジェクトにおける新材料サンプルの評価件数は以下の通りである。</p> <table border="1" data-bbox="526 1859 1420 2069"> <tr> <td>PJ-1 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 43 件</td> <td>H29 年度評価件数 6 件</td> <td>モデル合計 49 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-2 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 14 件</td> <td>H29 年度評価件数 4 件</td> <td>モデル合計 18 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-3 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 44 件</td> <td>H29 年度評価件数 23 件</td> <td>モデル合計 67 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-4 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 96 件</td> <td>H29 年度評価件数 48 件</td> <td>モデル合計 144 件</td> </tr> <tr> <td>PJ-5 モデル:</td> <td>H28 年度評価件数 15 件</td> <td>H29 年度評価件数 0 件</td> <td>モデル合計 15 件</td> </tr> <tr> <td>合計:</td> <td>H28 年度評価件数 212 件</td> <td>H29 年度評価件数 81 件</td> <td>合計 293 件</td> </tr> </table>	PJ-1 モデル:	H28 年度評価件数 43 件	H29 年度評価件数 6 件	モデル合計 49 件	PJ-2 モデル:	H28 年度評価件数 14 件	H29 年度評価件数 4 件	モデル合計 18 件	PJ-3 モデル:	H28 年度評価件数 44 件	H29 年度評価件数 23 件	モデル合計 67 件	PJ-4 モデル:	H28 年度評価件数 96 件	H29 年度評価件数 48 件	モデル合計 144 件	PJ-5 モデル:	H28 年度評価件数 15 件	H29 年度評価件数 0 件	モデル合計 15 件	合計:	H28 年度評価件数 212 件	H29 年度評価件数 81 件	合計 293 件
PJ-1 モデル:	H28 年度評価件数 43 件	H29 年度評価件数 6 件	モデル合計 49 件																						
PJ-2 モデル:	H28 年度評価件数 14 件	H29 年度評価件数 4 件	モデル合計 18 件																						
PJ-3 モデル:	H28 年度評価件数 44 件	H29 年度評価件数 23 件	モデル合計 67 件																						
PJ-4 モデル:	H28 年度評価件数 96 件	H29 年度評価件数 48 件	モデル合計 144 件																						
PJ-5 モデル:	H28 年度評価件数 15 件	H29 年度評価件数 0 件	モデル合計 15 件																						
合計:	H28 年度評価件数 212 件	H29 年度評価件数 81 件	合計 293 件																						

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

プロジェクト用語集

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

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

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

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

第1章 事業の位置付け・必要性について

1.1 事業目的の妥当性

1.1.1 事業の目的

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

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

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

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

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

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



図 1-1 本プロジェクトの成果イメージ

1.1.2 事業の背景

(1) 蓄電池の技術進化の方向性

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

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

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

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

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

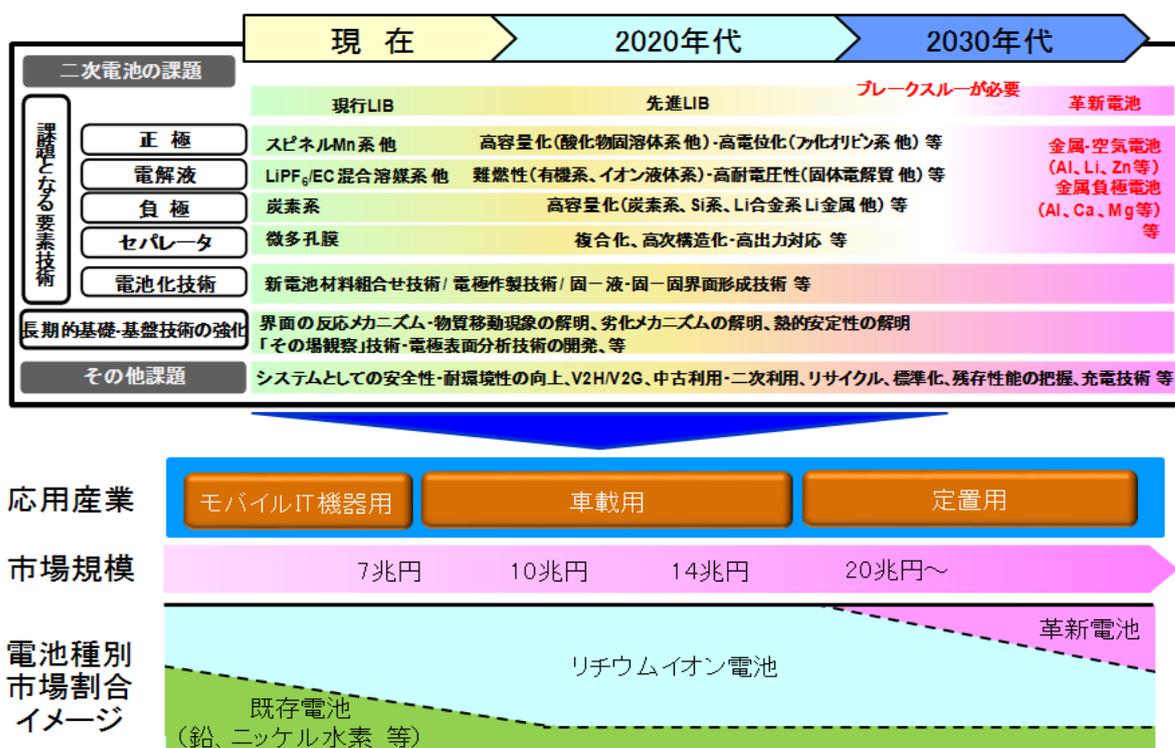


図 1-2 蓄電池の技術進化の方向性

(2) 蓄電池材料の実用化開発における課題

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

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

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

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

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

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

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

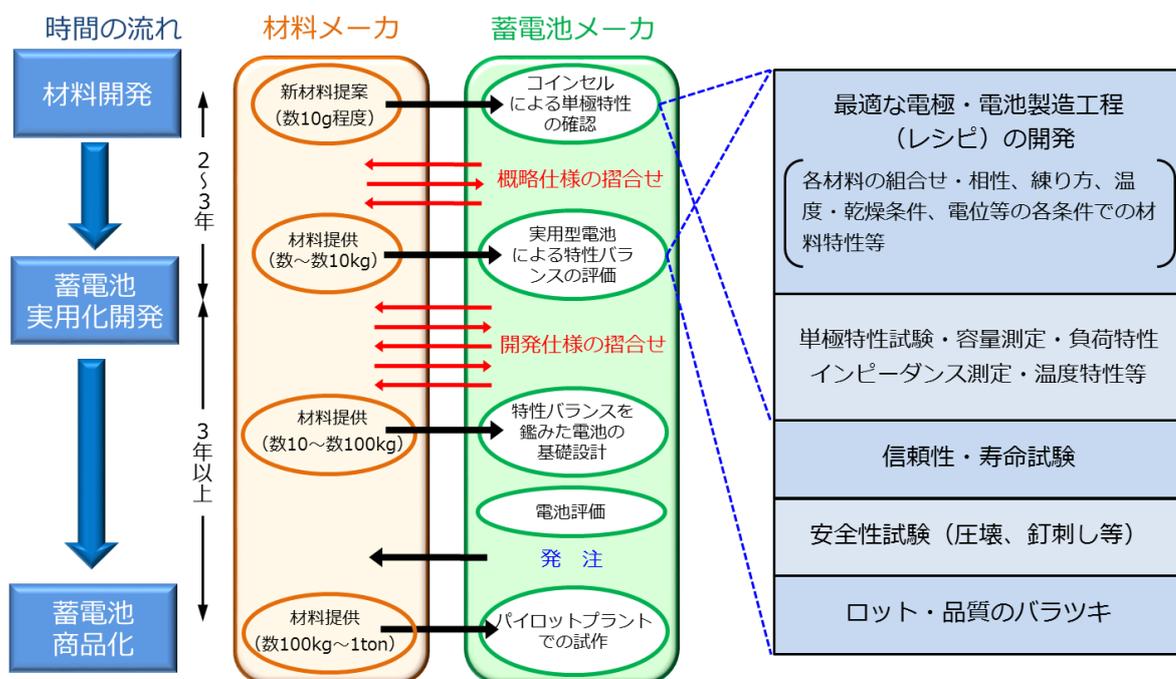


図 1-3 新材料の提案から実用化までの流れと開発内容

1.1.3 関連する上位政策・戦略

本プロジェクトが関連する下記(1)～(4)の上位政策・戦略について述べる。

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

(1) エネルギー基本計画(第四次計画:2014年4月、閣議決定)

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

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

(2) 科学技術イノベーション総合戦略 2014(2014年6月、閣議決定)

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

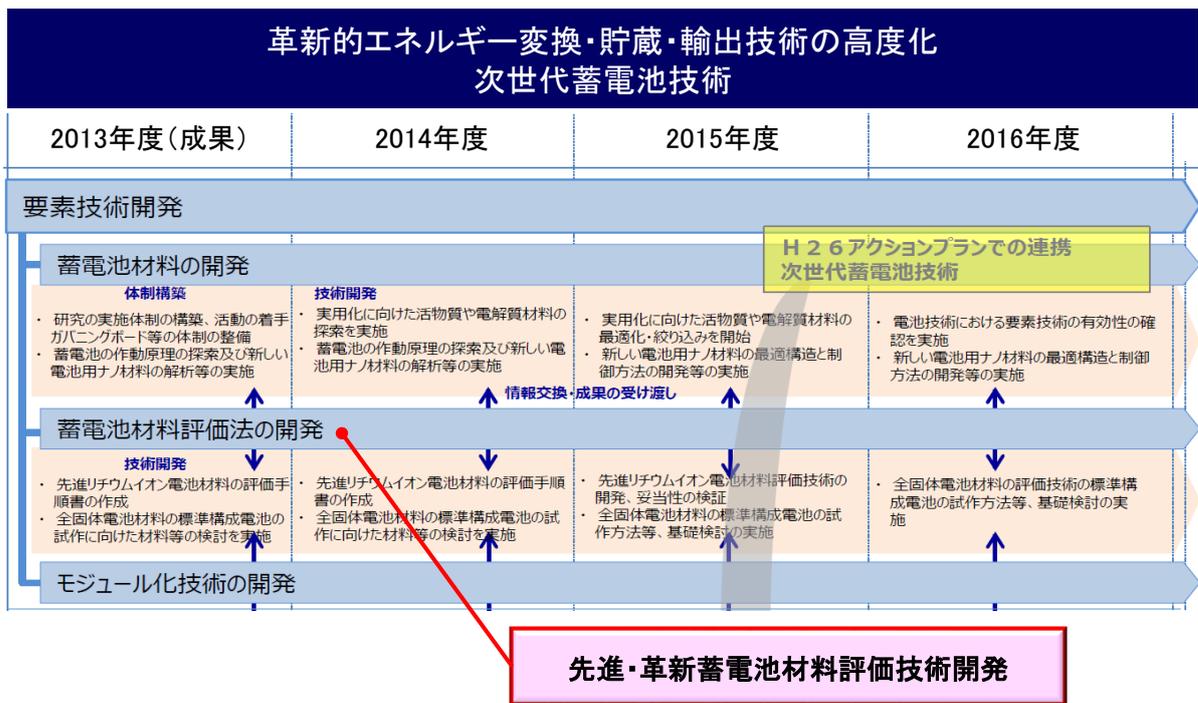


図 1-4 「科学技術イノベーション総合戦略」における本プロジェクトの位置付け

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

(3) 自動車産業戦略 2014(2014 年 11 月、経済産業省策定)

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

(4) 未来投資戦略 2017(2017 年 6 月、閣議決定)

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

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

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

1.1.4 未来開拓研究プロジェクトについて

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

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

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

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

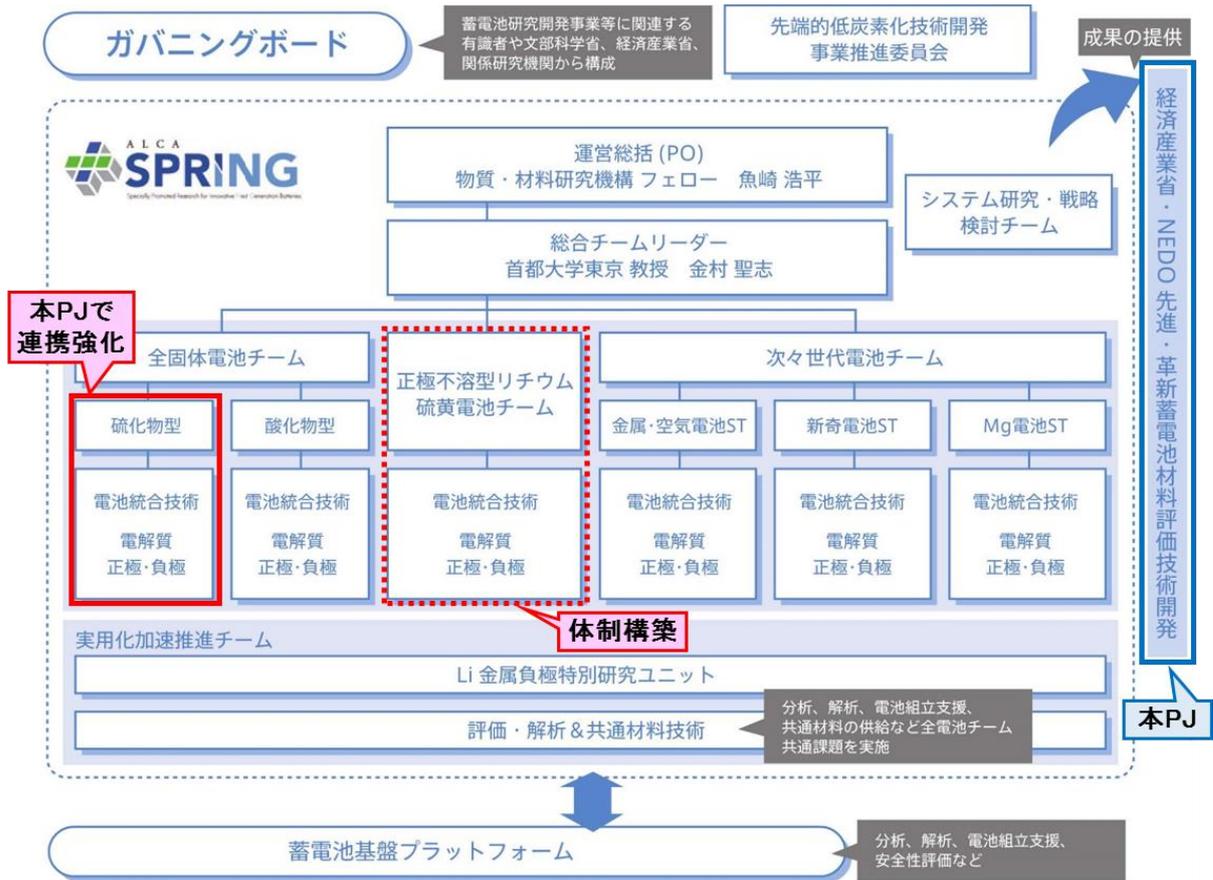


図 1-5 文部科学省「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」の運営体制

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

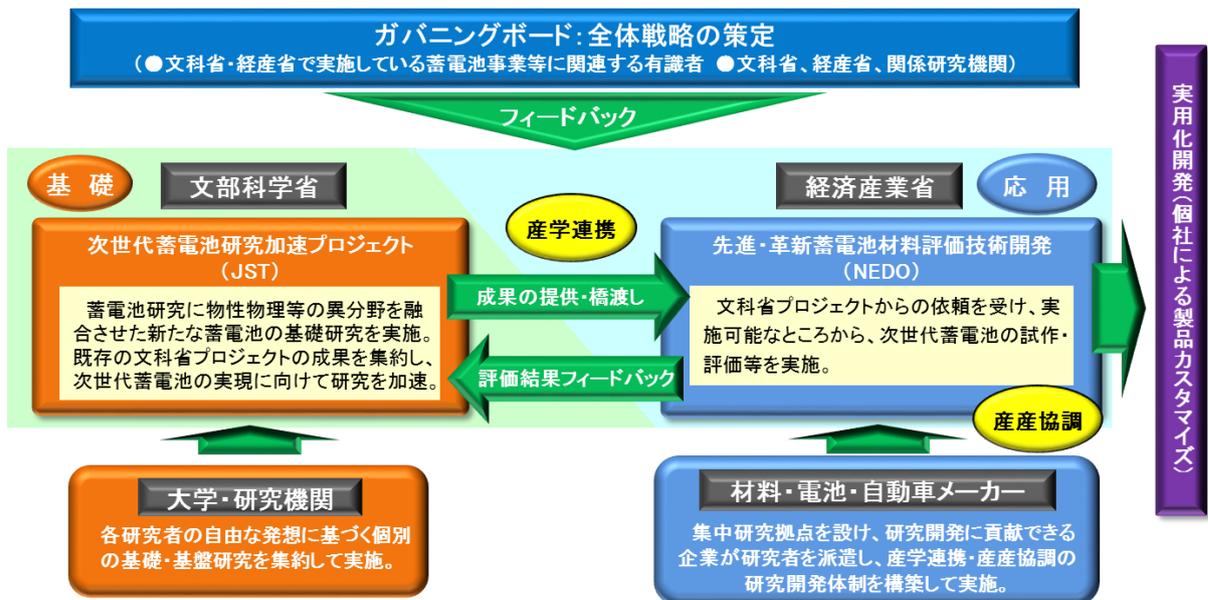


図 1-6 本プロジェクトと文部科学省プロジェクトとの連携

1.1.5 市場動向

(1) 蓄電池の市場動向

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

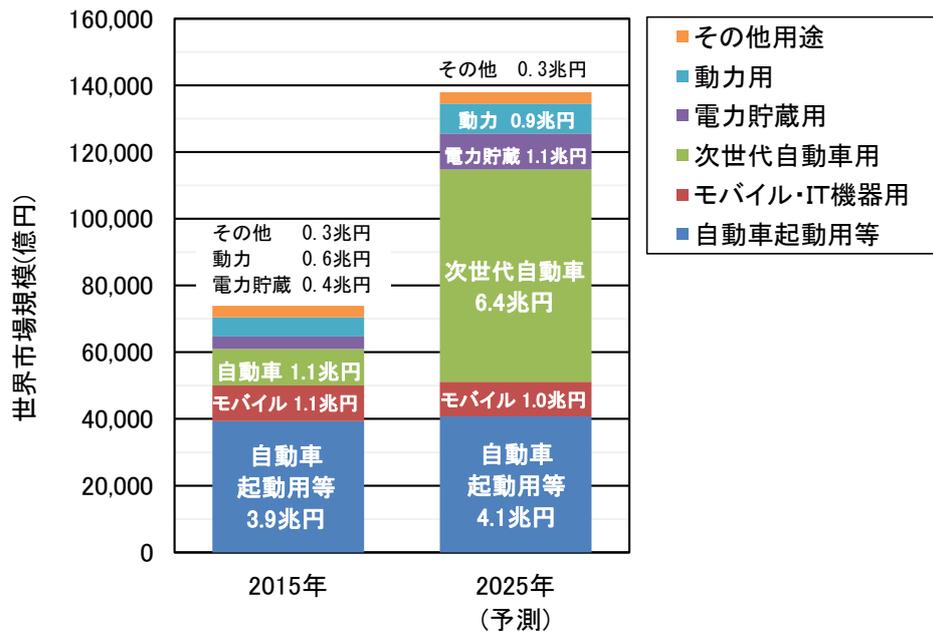


図 1-7 蓄電池市場の現況と将来予測(用途別)

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

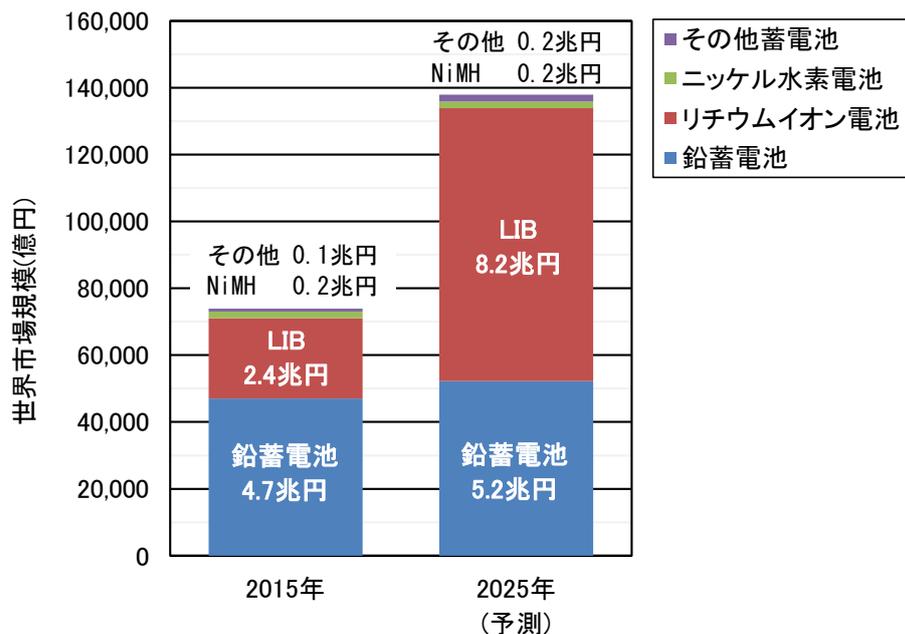


図 1-8 蓄電池市場の現況と将来予測(蓄電池種別)

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

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

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

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

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

(2) リチウムイオン電池材料の市場動向

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

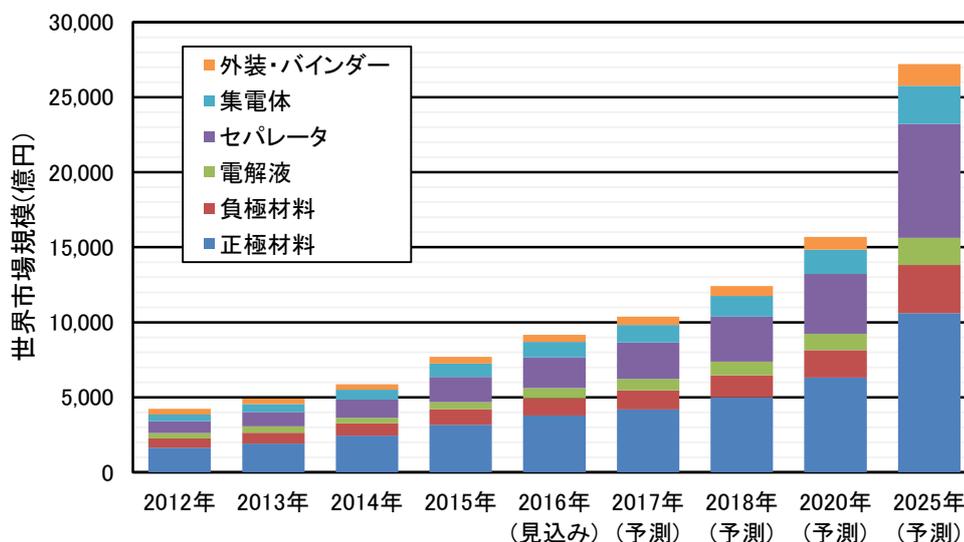


図 1-9 リチウムイオン電池材料の市場規模推移と将来予測

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

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

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

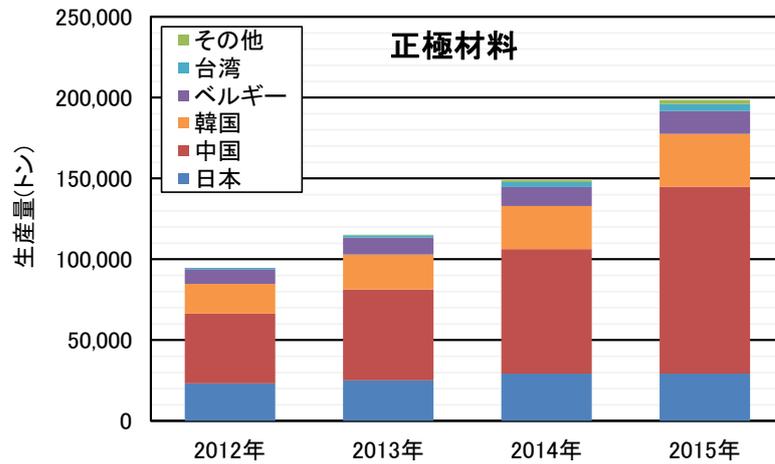


図 1-10 リチウムイオン電池・正極材料の市場規模推移

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

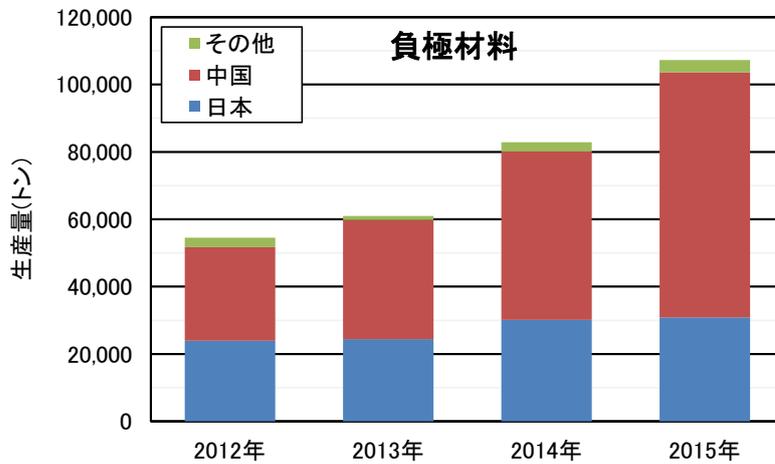


図 1-11 リチウムイオン電池・負極材料の市場規模推移

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

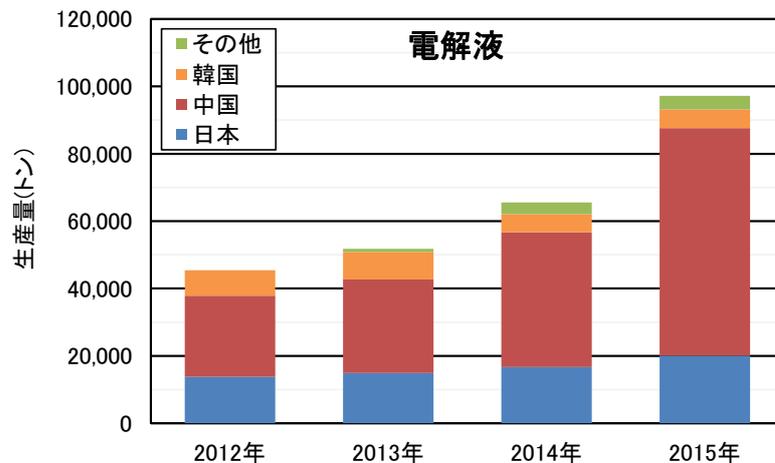


図 1-12 リチウムイオン電池・電解液の市場規模推移

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

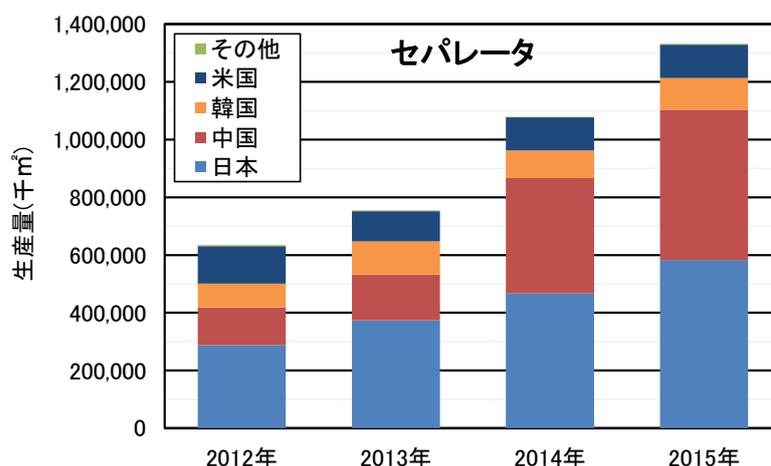


図 1-13 リチウムイオン電池・セパレータの市場規模推移

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

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

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

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

1.1.6 特許動向

(1) リチウムイオン電池の特許動向

(i) 出願人国籍別の特許出願件数

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

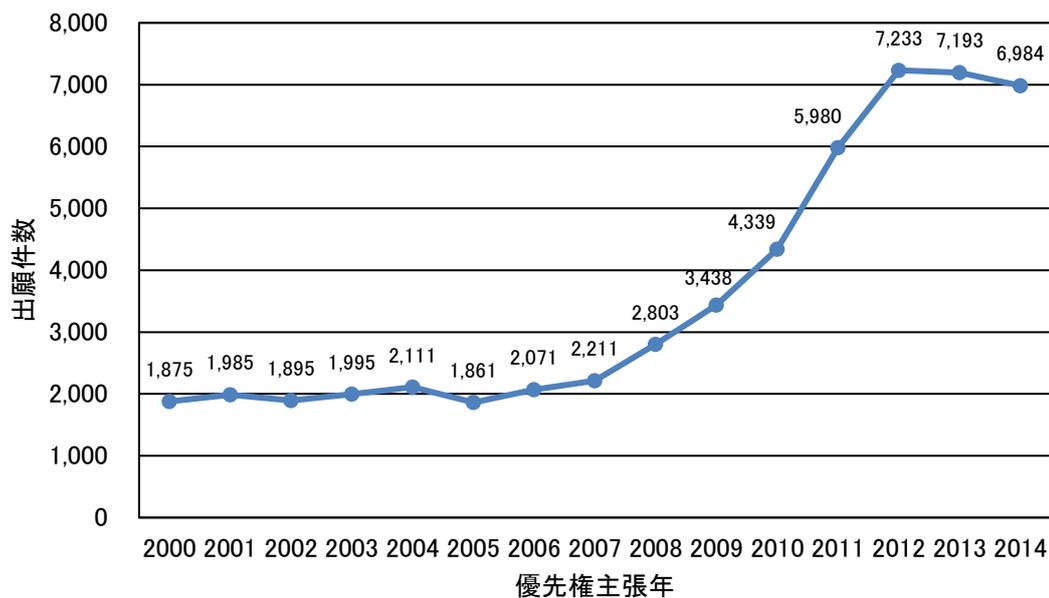


図1-14 リチウムイオン電池の特許出願件数推移

(Derwent World Patents Indexに基づきNEDO作成)

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

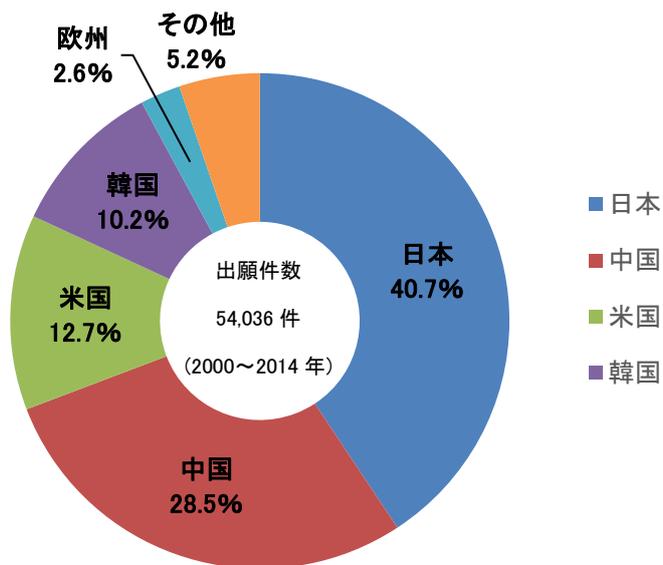


図 1-15 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

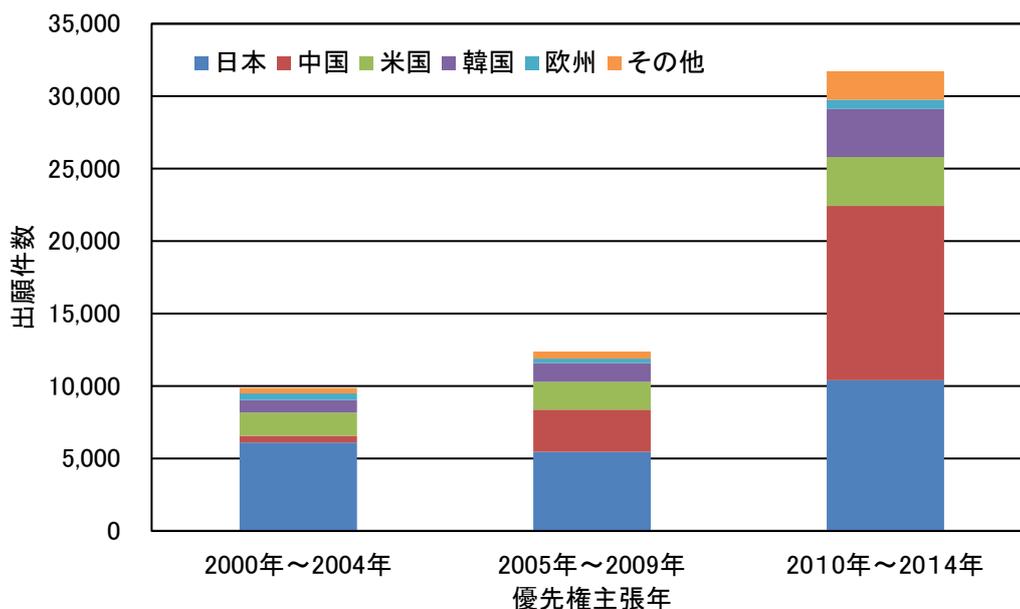


図 1-16 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数の推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(ii) 出願特許の内容

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

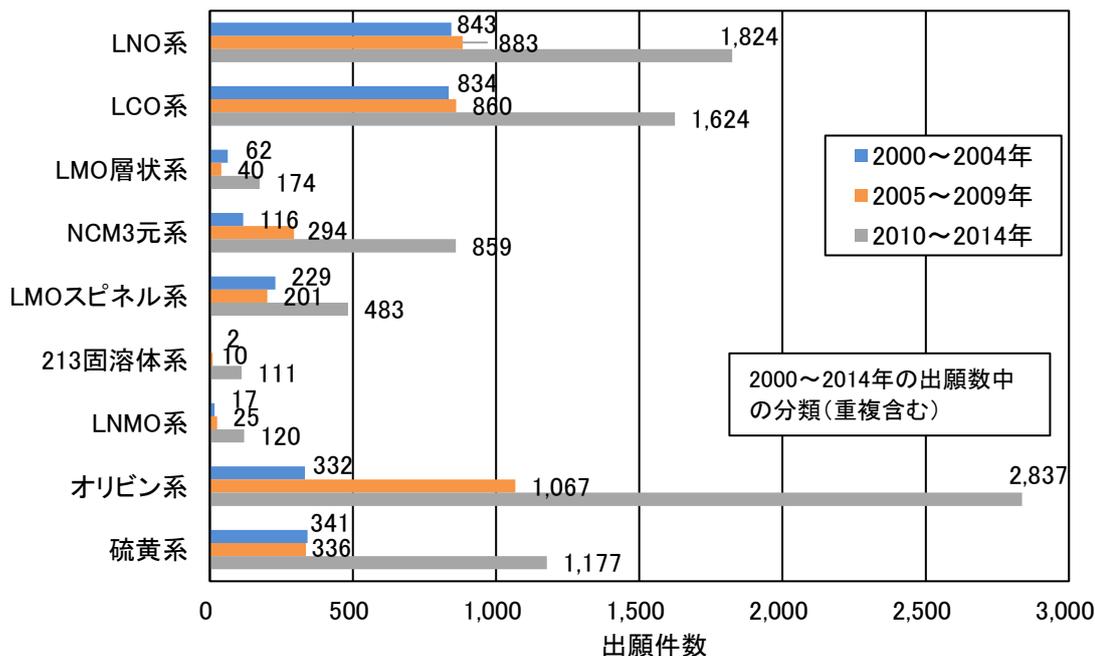


図 1-17 リチウムイオン電池・正極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

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

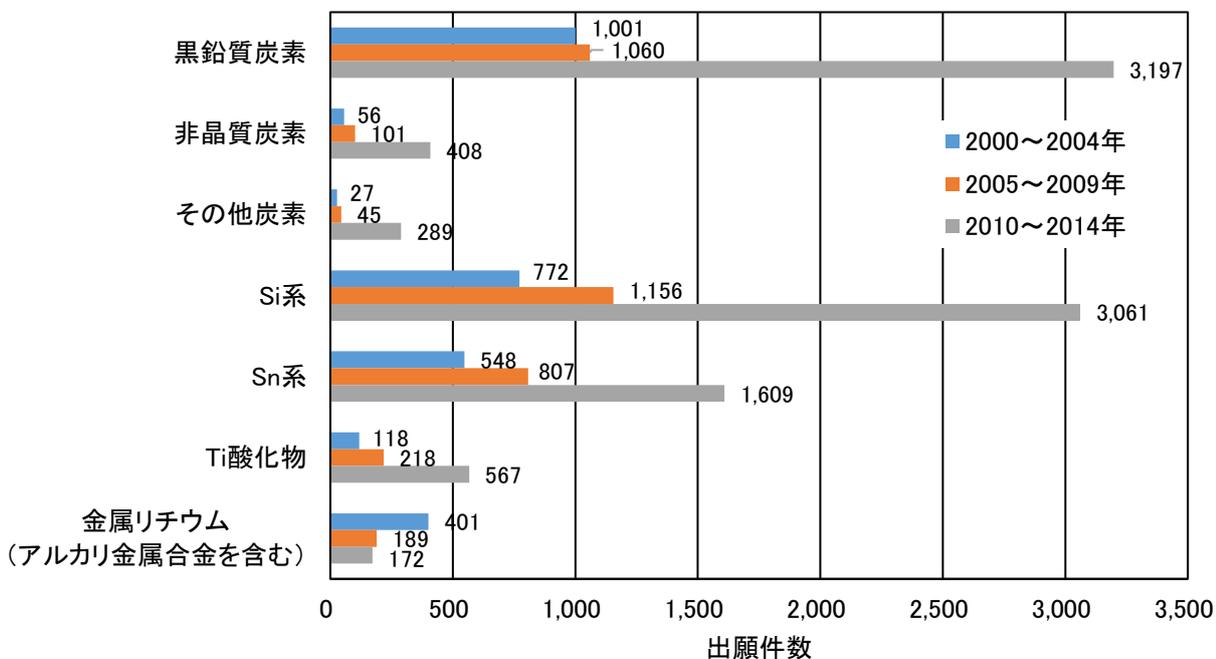


図 1-18 リチウムイオン電池・負極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

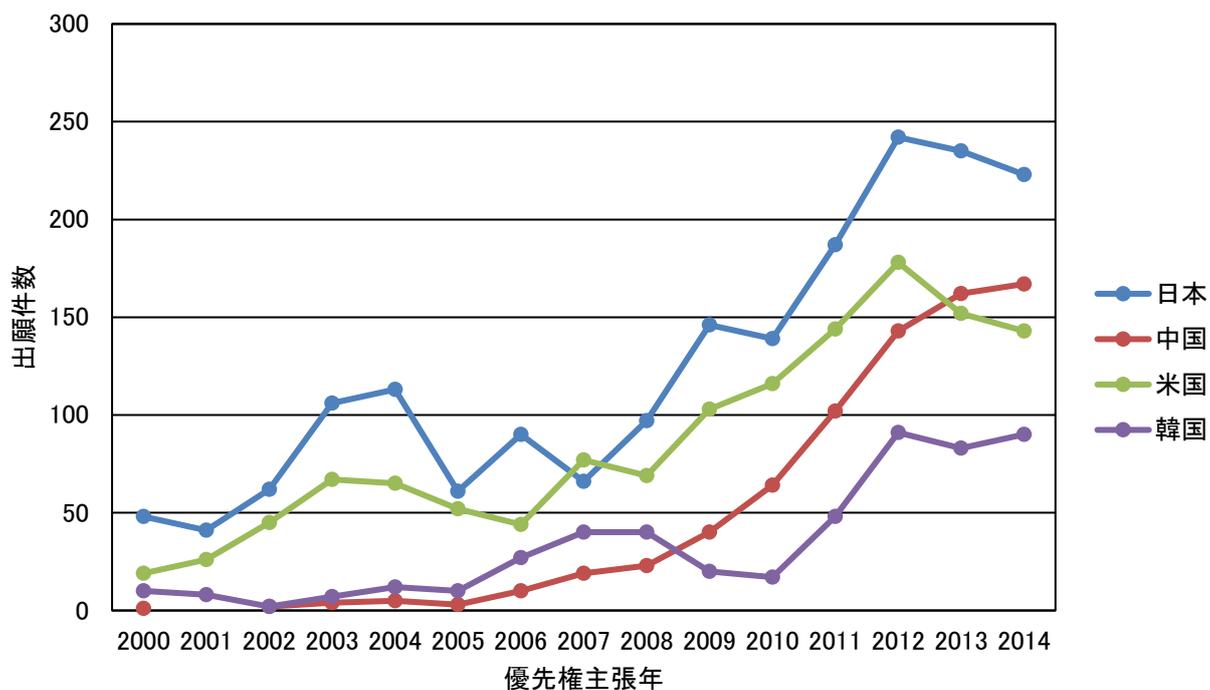


図 1-19 Si系負極材料の特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(2) 全固体電池の特許動向

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

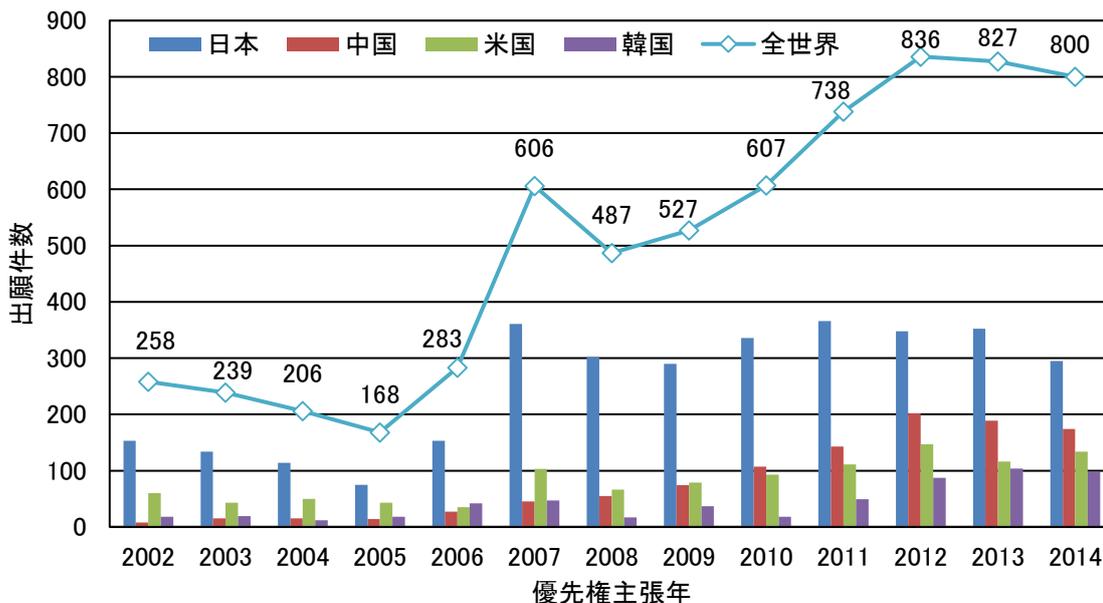


図 1-20 全固体電池・特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

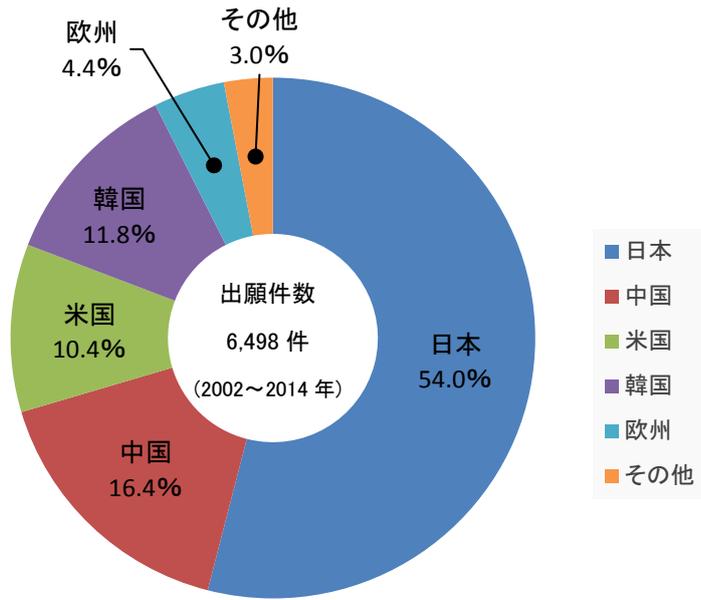


図 1-21 全固体電池・出願人国籍別出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

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

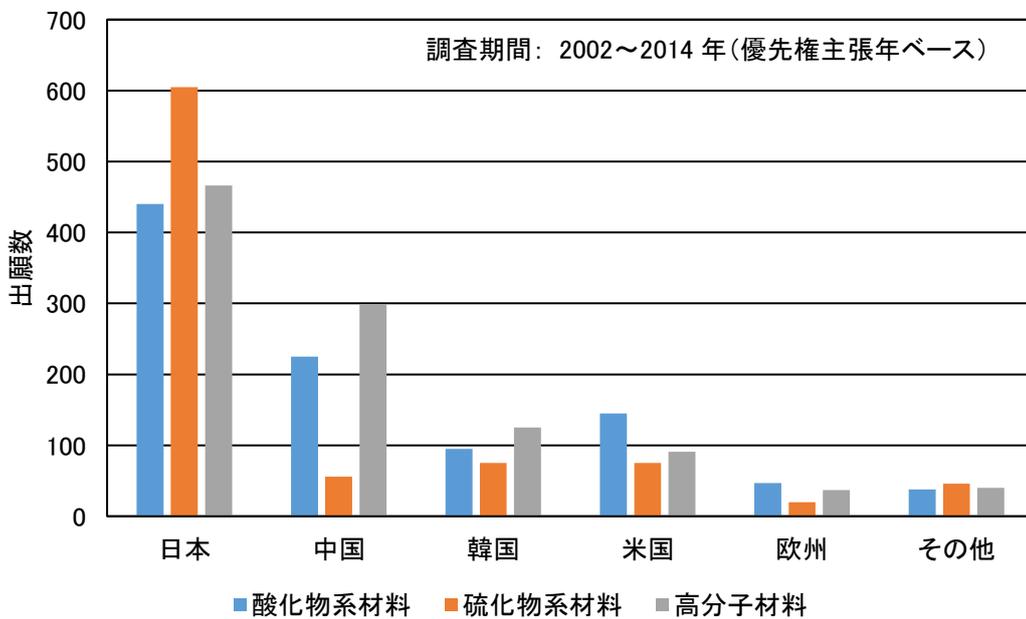


図 1-22 全固体電池・電解質の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

1.1.7 研究開発動向

(1) 学会・論文発表動向

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

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

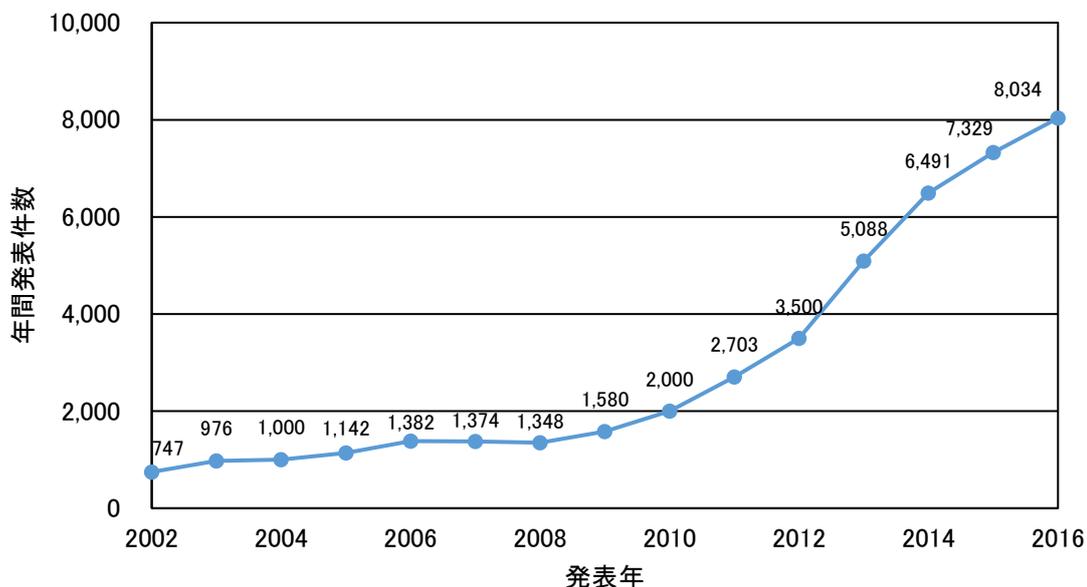


図 1-23 リチウムイオン電池の論文発表件数の推移

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

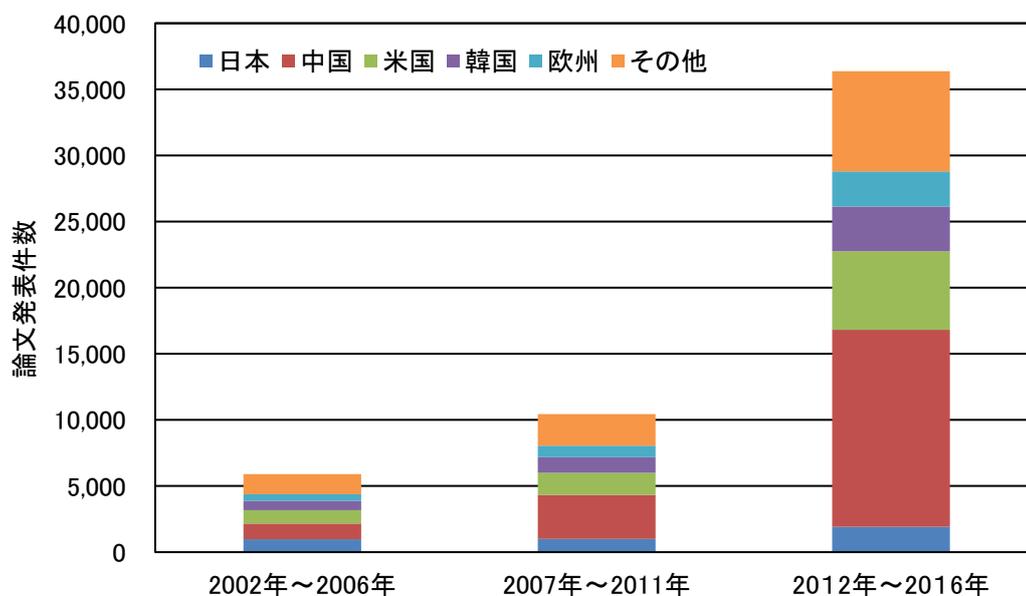


図 1-24 リチウムイオン電池・著者所属機関国籍別の論文発表件数

(Web of Science に基づき NEDO 作成)

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

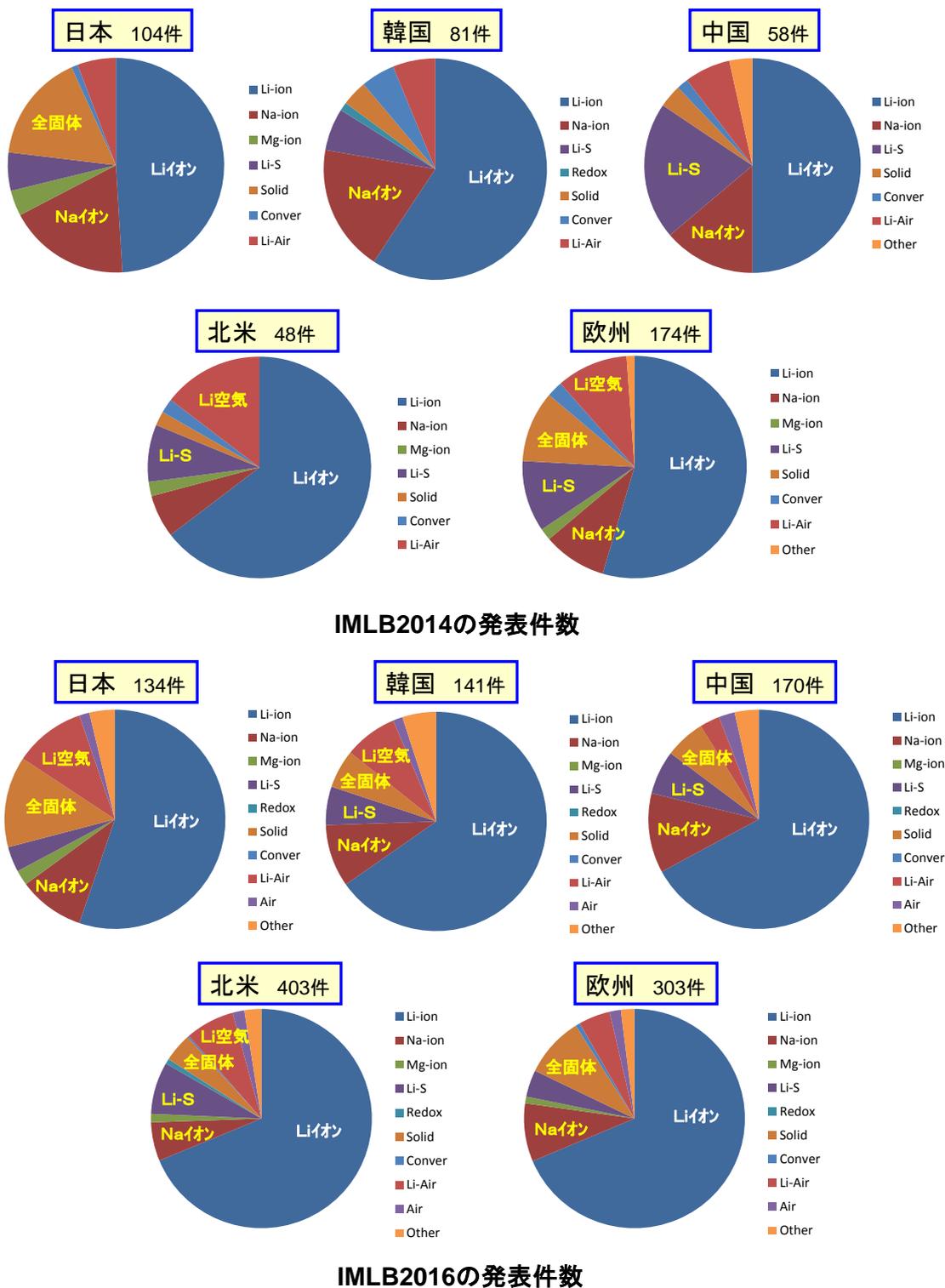


図 1-25 IMLB2014、IMLB2016 における電池タイプ別発表件数(国・地域別)

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

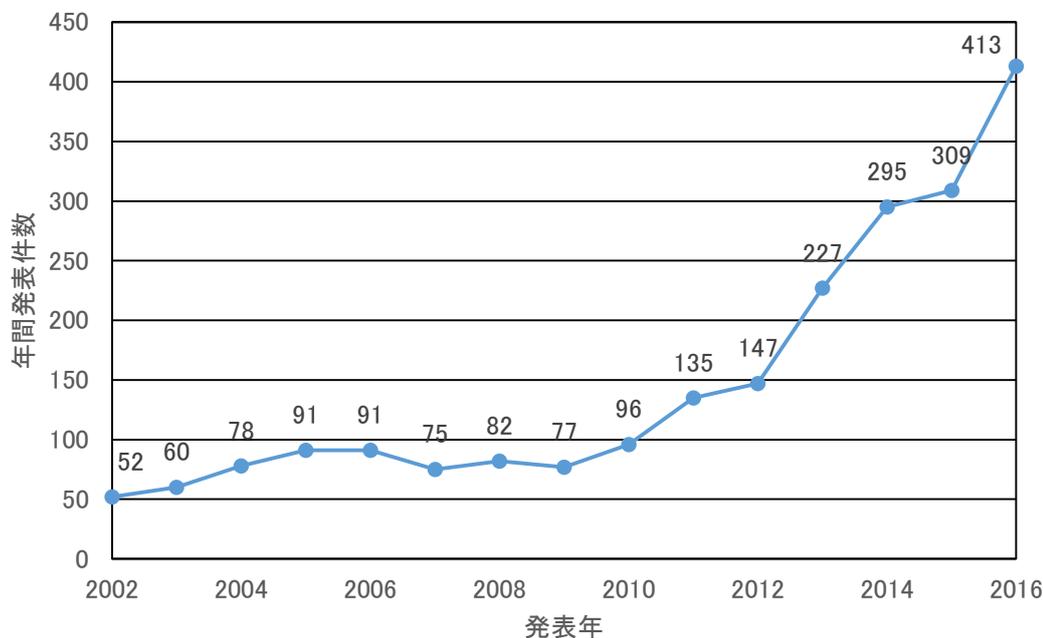


図1-26 全固体電池・論文発表件数の推移

使用データベース：Web of Science に基づき NEDO 作成

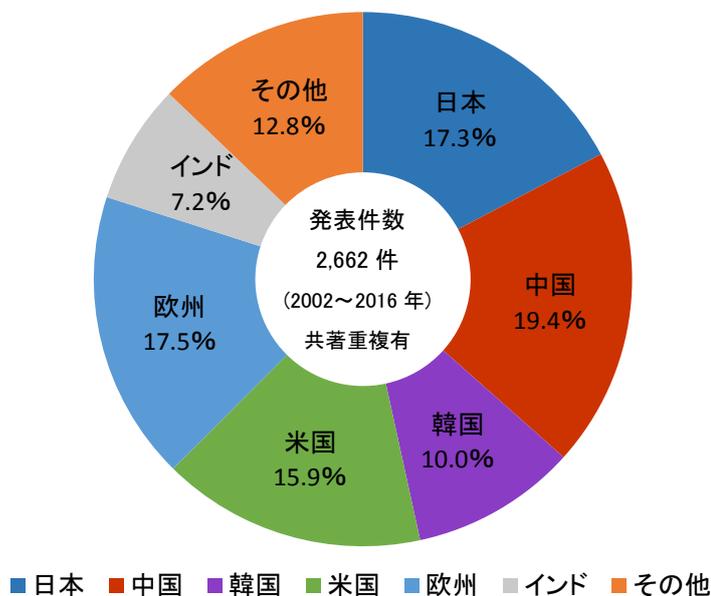


図1-27 全固体電池・論文著者国籍別発表件数の比率

使用データベース：Web of Science に基づき NEDO 作成

(2) 主要国における技術開発プロジェクト

(i) 米 国

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

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

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

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

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

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

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

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

表 1-1 IONICS プロジェクトの参画機関と開発テーマ

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

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

(ii) 欧州

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

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

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

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

(iii) ドイツ

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

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

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

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

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

(iv) 中国

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

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

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

表1-2 新エネ車試行特別プロジェクトの車載用蓄電池技術の重点テーマ

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

(v) 韓国

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

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

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

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

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

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

1.2 NEDO の事業としての妥当性

1.2.1 NEDO の関与の必要性

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

① 産業界全体の競争力強化(公共性・汎用性)

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

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

② 学術成果の産業技術への引き上げ

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

③ 開発リスク・ハードルの高さ

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

④ 関係者間の利害調整

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

⑤ 過去の材料評価技術開発プロジェクトの技術蓄積等の活用

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

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

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

⑥ 蓄電技術開発プロジェクトの一体的マネジメント

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

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

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

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

⑦ 省庁間連携

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



図 1-28 NEDO の蓄電技術開発プロジェクト

1.2.2 実施の効果

(1) 蓄電池産業の競争力強化

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

① 新材料の開発効率向上及び開発期間短縮

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

② 材料メーカーによる自社開発品の正確なポテンシャル把握

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

③ LIBTEC による材料評価のワンストップサービスの提供

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

④ 我が国蓄電池関連産業の技術力の底上げ

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

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

(2) 経済効果

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

である(NEDO 推計)。

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

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

第 2 章 研究開発マネジメントについて

2.1 研究開発目標の妥当性

本プロジェクトの基本計画における研究開発目標の記載は以下のとおりである。

【中間目標】(平成 27 年度末)

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

【最終目標】(平成 29 年度末)

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

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

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

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

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

2.2 研究開発計画の妥当性

2.2.1 研究開発内容

(1) 先進 LIB の新材料評価技術の開発

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

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

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

(2) 全固体電池の新材料評価技術の開発

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

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

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

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

その結果を性能評価手順書等に反映した。

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

2.2.2 研究開発スケジュール

本プロジェクトの全体スケジュールを図 2-1 に示す。

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

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

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

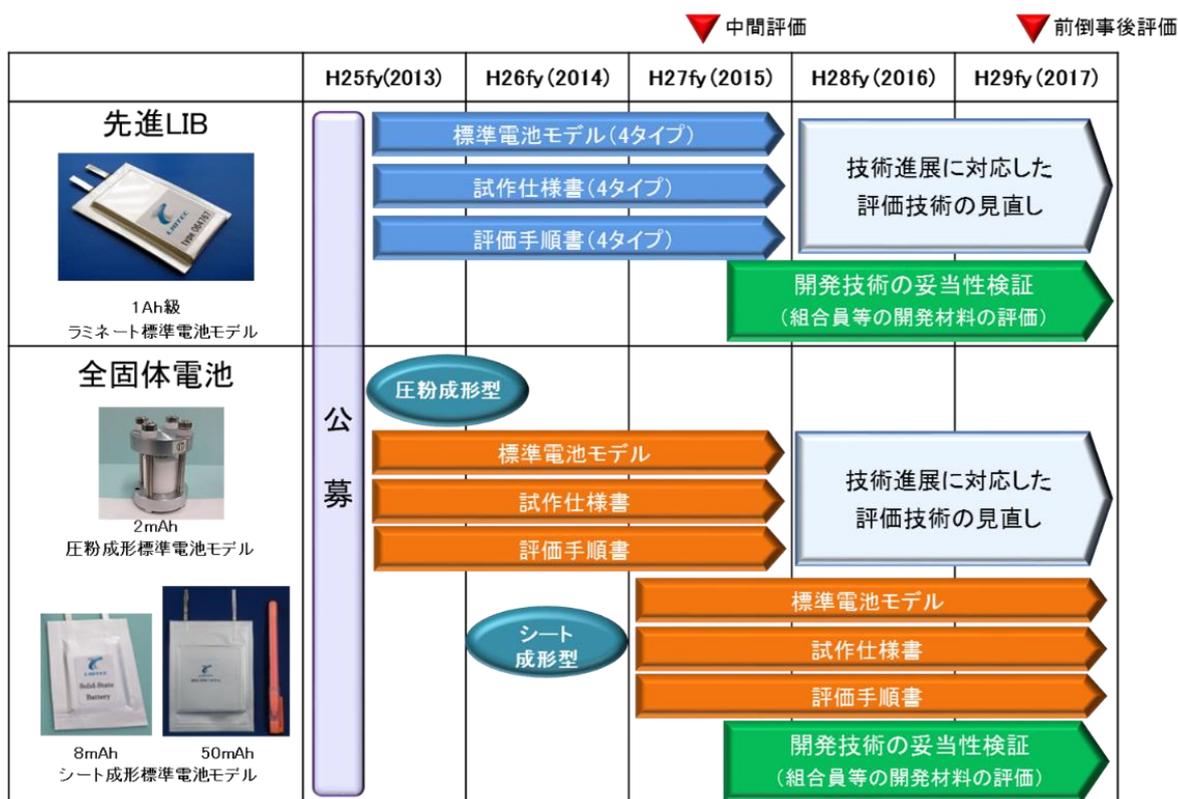


図 2-1 研究開発の全体スケジュール

2.2.3 研究開発費

本プロジェクトの研究開発予算を表 2-1 に示す。

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

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

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

表 2-1 研究開発予算

(単位:百万円)

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

2.3 研究開発の実施体制の妥当性

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

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

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

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

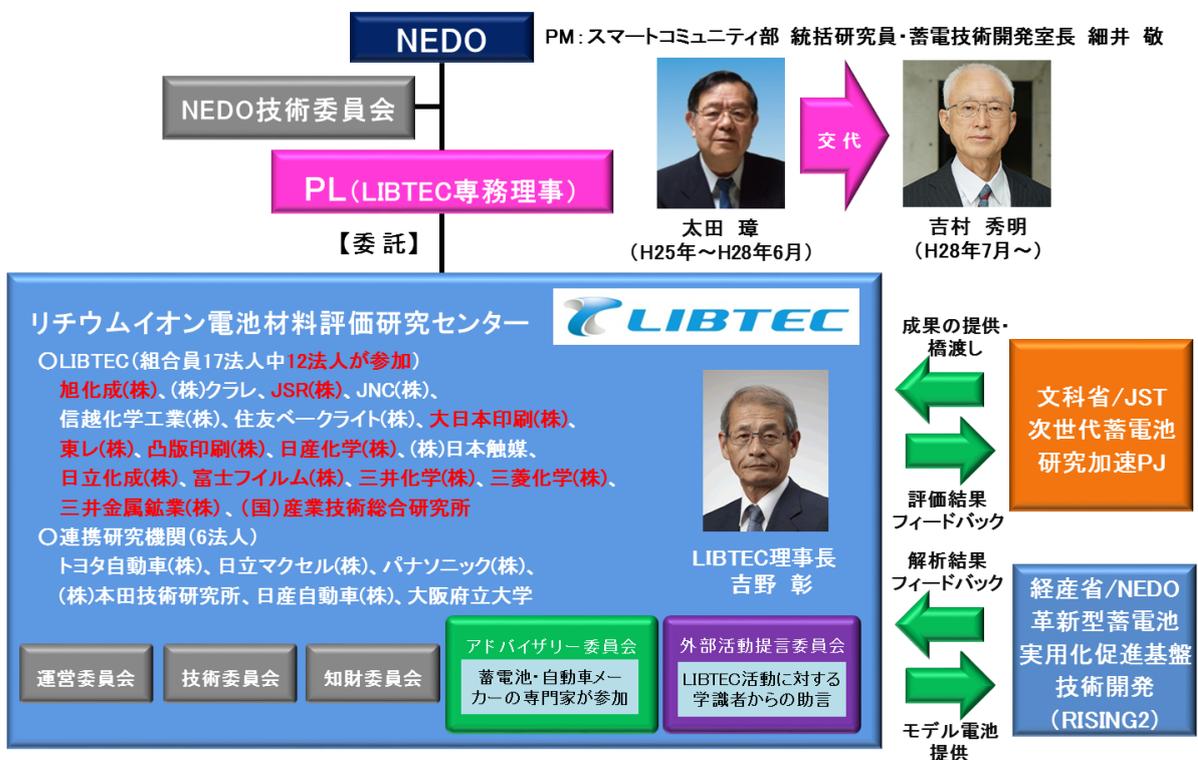


図 2-2 実施体制



図 2-3 個別プロジェクトの実施体制

2.3.1 実施者の技術力・事業化能力

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

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

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

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

2.3.2 指揮命令系統・責任体制

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

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

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

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

2.4 研究開発の進捗管理の妥当性

2.4.1 NEDO・実施者による進捗管理

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

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

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

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

2.4.2 外部有識者による進捗点検(「NEDO 技術委員会」の開催)

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

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

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

表 2-2 「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」委員一覧

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

表 2-3 「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」の開催実績

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

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

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

○第 1 アドバイザー委員会(8 社参加)

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

○第 2 アドバイザー委員会(6 社参加)

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

表2-4 「LIBTECアドバイザー委員会」の開催実績

●第1アドバイザー委員会

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

●第2アドバイザー委員会

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

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

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

表 2-5 「LIBTEC講演会」の開催実績

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

2.5 知的財産等に関する戦略の妥当性

2.5.1 基本的な考え方

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

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

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

2.5.2 本プロジェクトにおける知財取扱いの合意内容

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

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

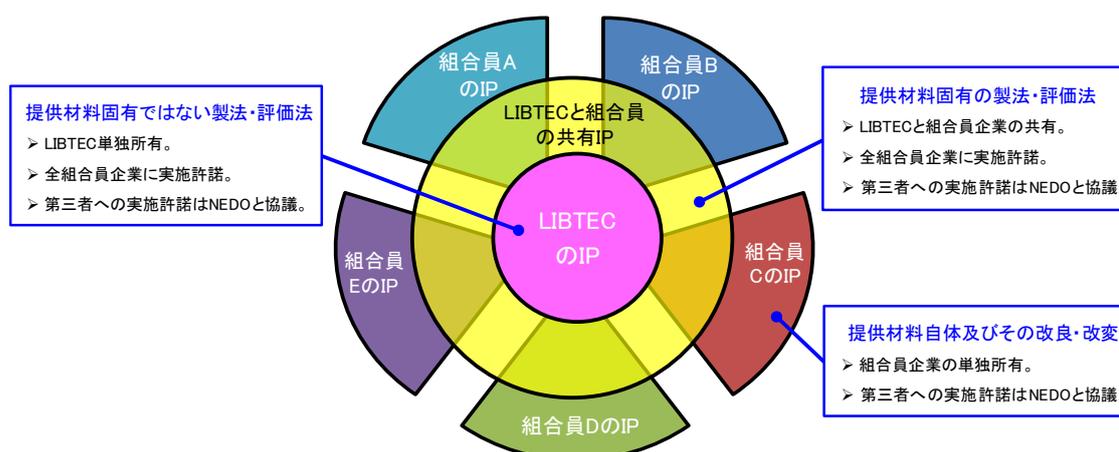


図 2-4 知的財産の帰属と実施権

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

(i) 秘密漏洩防止、技術情報流出防止

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

- ・社用 PC の監視
- ・社外電子メールの監視等

(ii) 秘密保持の取扱い

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

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

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

2.6 NEDO プロジェクト間の連携マネジメント

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

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

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

2.7 中間評価への対応

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

表 2-6 研究評価分科会委員(平成 27 年度中間評価)

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

表 2-7 中間評価に対する指摘事項と対応(1)

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

表 2-8 中間評価に対する指摘事項と対応(2)

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

2.8 評価に関する事項

本プロジェクトに対して実施された評価を表 2-9 に示す。

表 2-9 「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」に対する評価

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

第3章 研究開発成果について

3.1 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

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

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

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

表3-1 標準電池モデルの構成

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

表 3-2 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-1)

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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-3 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-2)

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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-4 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-3)

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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-5 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-4)

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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-6 各研究テーマの開発成果と達成度(PJ-5)

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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表 3-7 最終目標の達成に向けた今後の取組

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

3.1.1 高電位正極(PJ-1)の成果の一例

(1) 標準電池モデルの策定

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

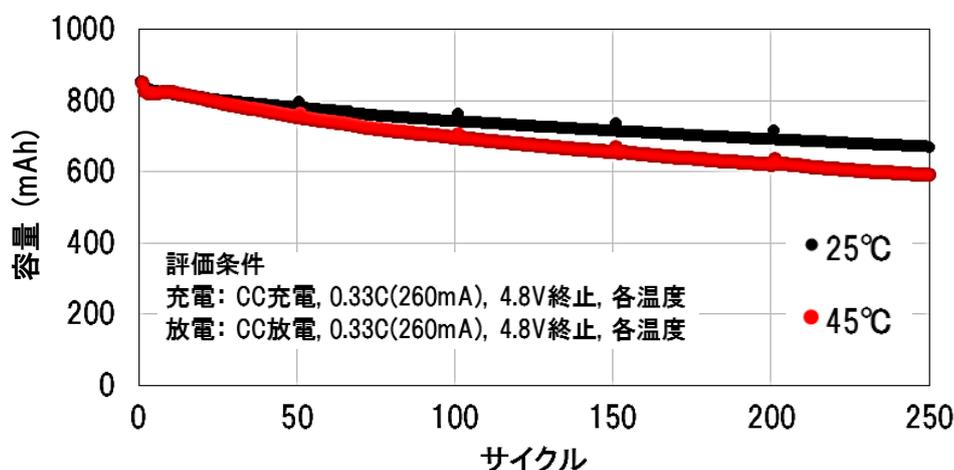


図 3-1 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの充放電サイクル寿命特性

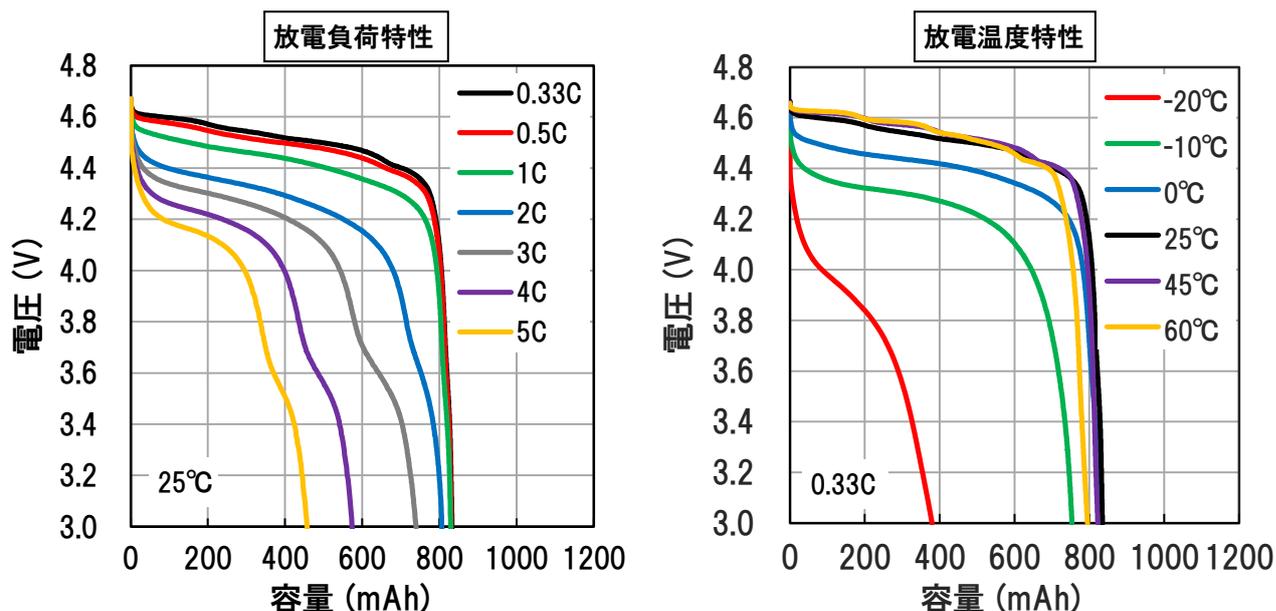


図 3-2 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの放電負荷特性及び放電温度特性

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

表 3-8 LNMO 正極を用いた標準電池モデルの材料構成

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

(2) ガス発生メカニズムの解明

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

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

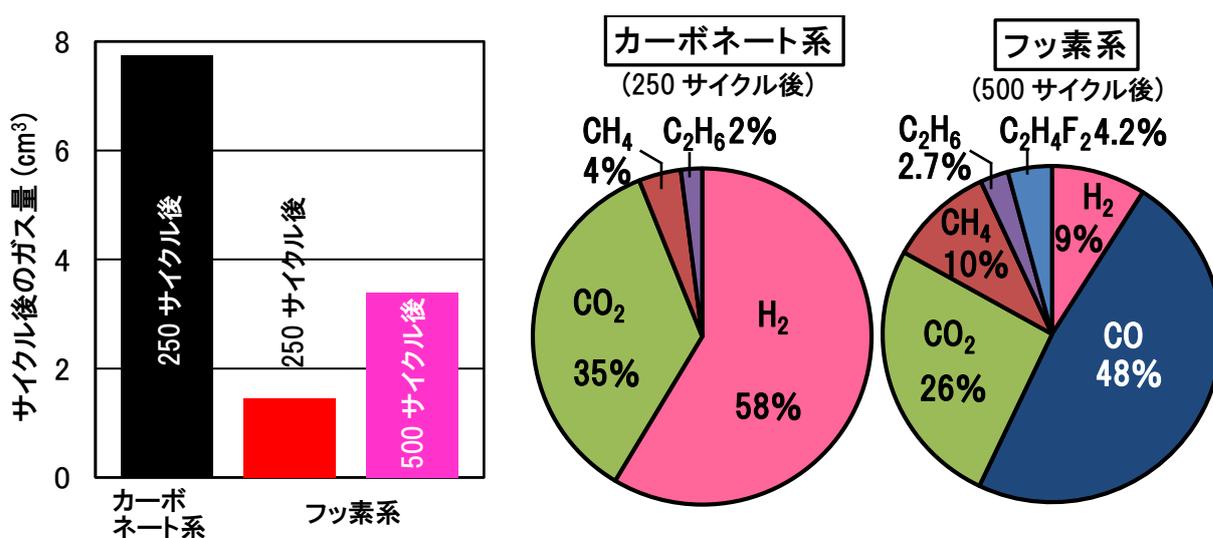


図 3-3 LNMO 正極を用いた標準電池の充放電サイクル後のガス発生量及びガスの組成分析結果

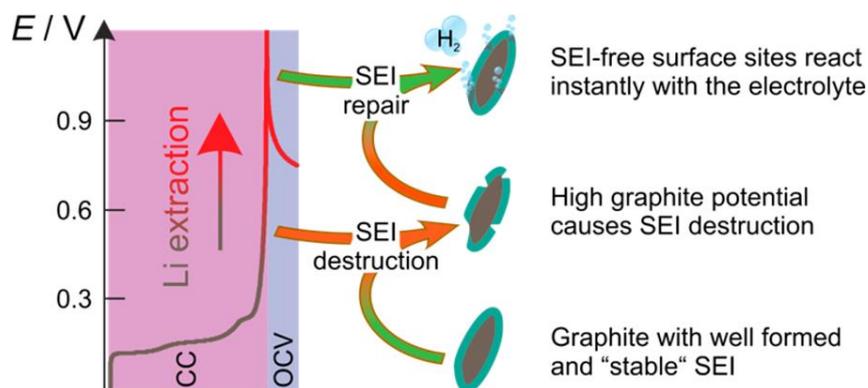


図 3-4 H₂ 発生メカニズムの概略図

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

(3) dV/dQ 解析法の開発

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

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

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

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

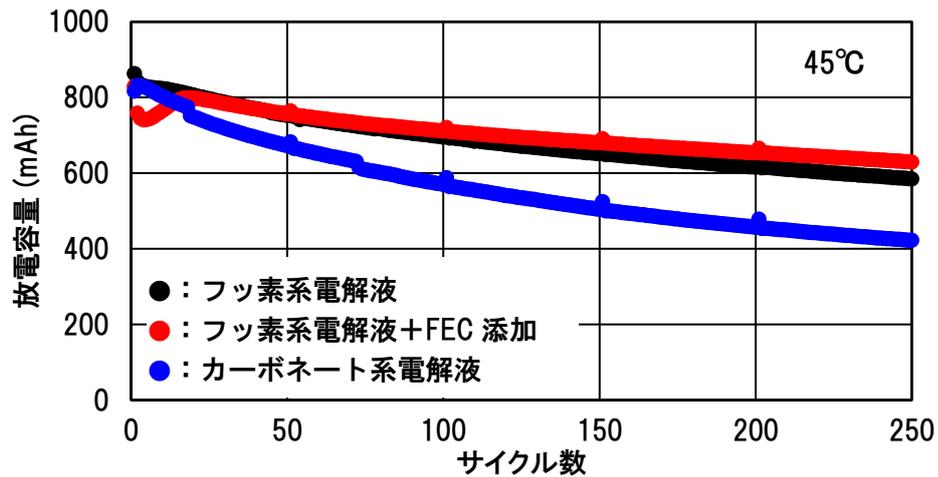


図 3-5 3種類の電解液を適用した LNMO 正極標準電池の充放電サイクル寿命特性

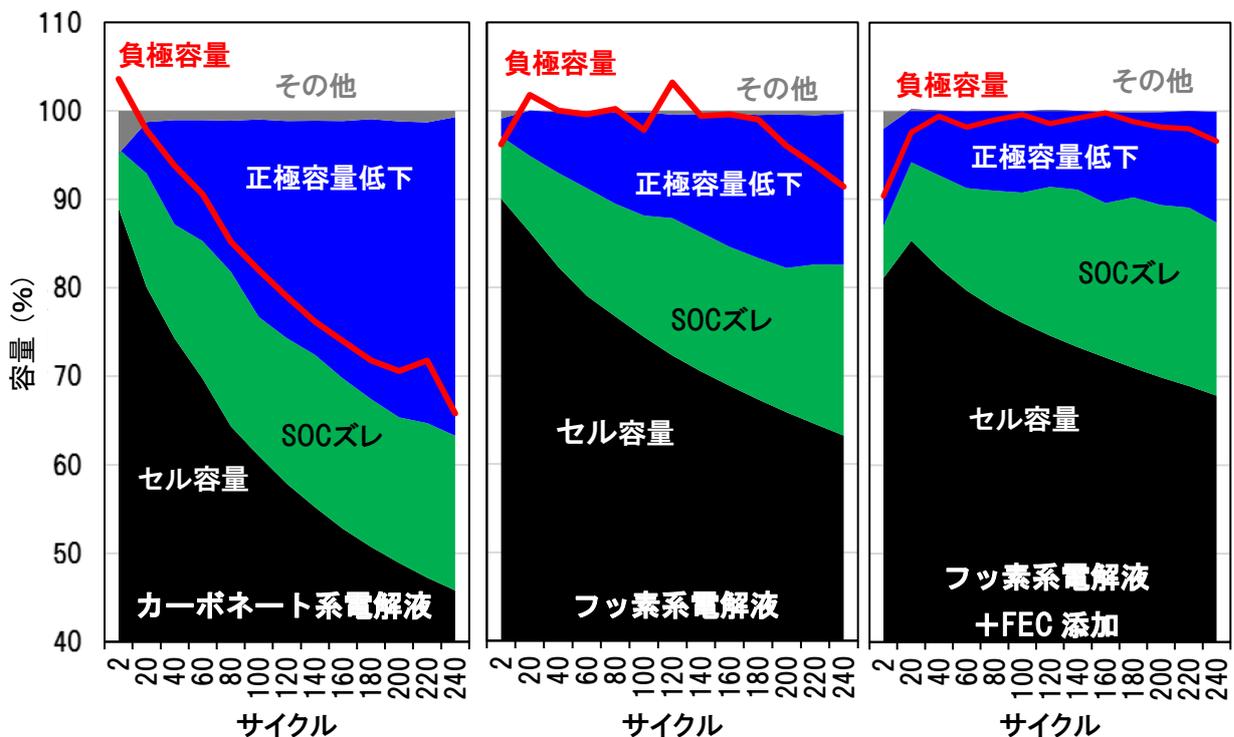


図 3-6 3種類の電解液を適用した LNMO 正極標準電池の dV/dQ 劣化解析結果

(4) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

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

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

表 3-9 評価技術を用いた電池試作・評価の実績

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

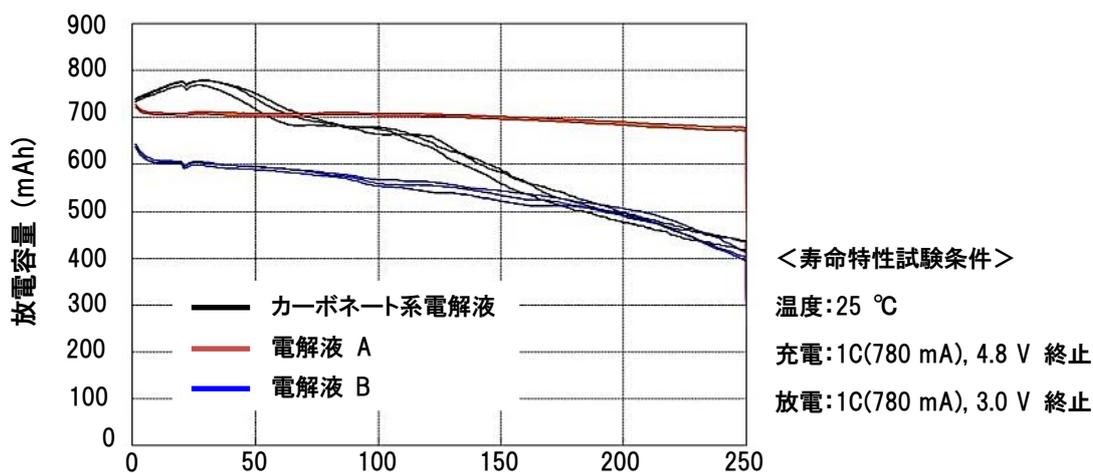


図 3-7 各種電解液を用いた LNMO 正極標準電池のサイクル寿命特性 (n=3)

表 3-10 各メーカーからの電池試作の評価結果

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

3.1.2 高容量正極(PJ-2)の成果の一例

(1) 標準電池モデルの策定

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

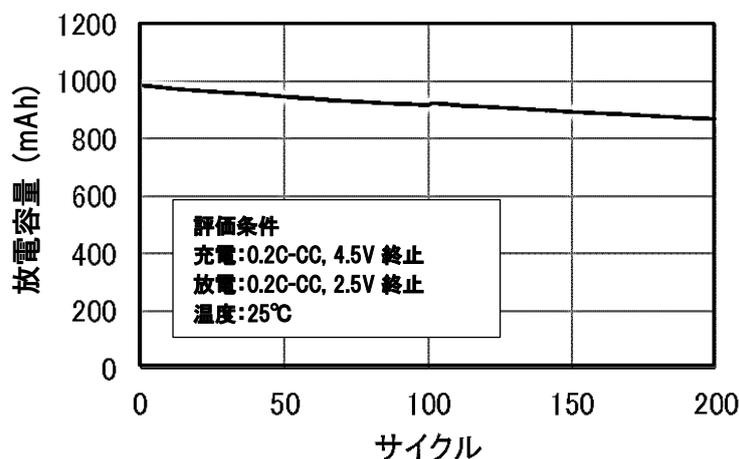


図 3-8 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの充放電サイクル寿命特性

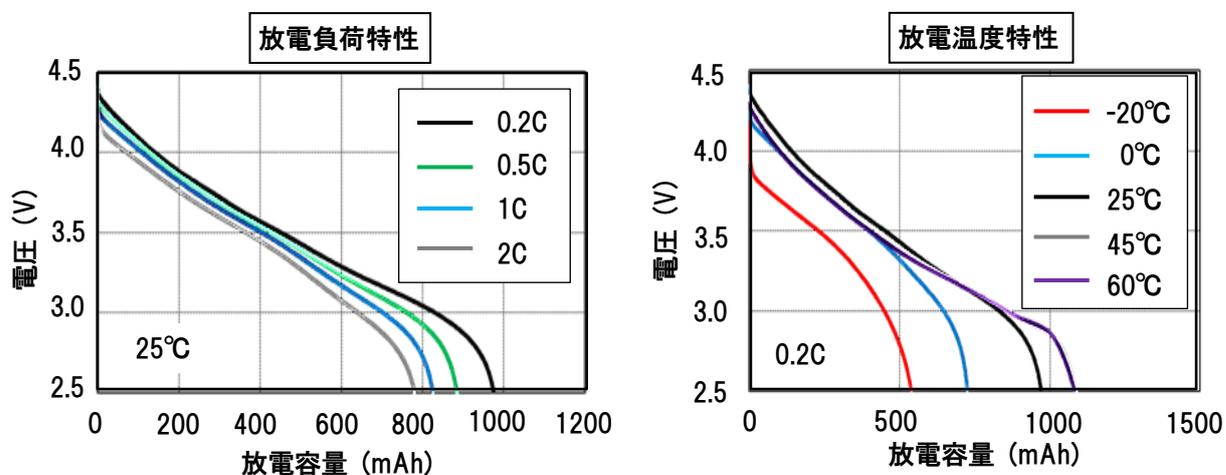


図 3-9 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの放電負荷特性及び放電温度特性

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

表 3-11 213 固溶体正極を用いた標準電池モデルの材料構成

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

(2) 高容量発現メカニズムの解明

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

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

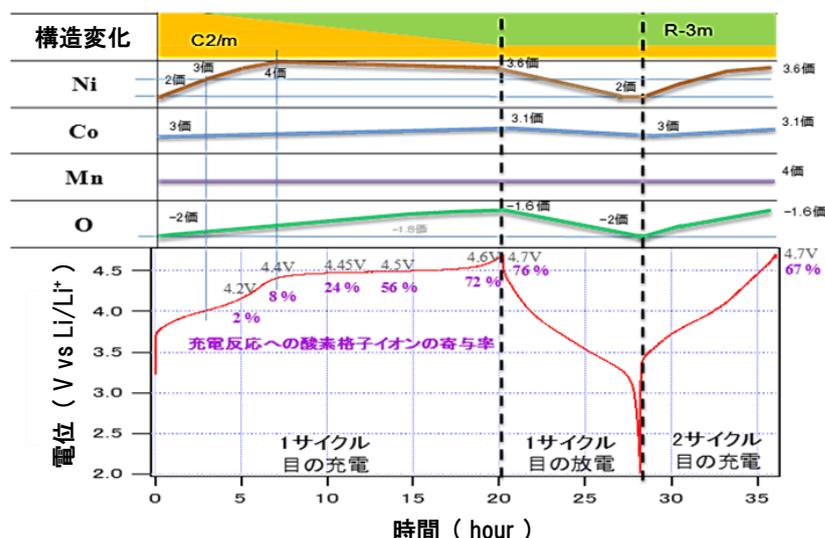


図 3-10 充放電に伴う高容量正極の構成元素の価数変化

(3) 三極式小型ラミネート電池を用いた劣化解析法の開発

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

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

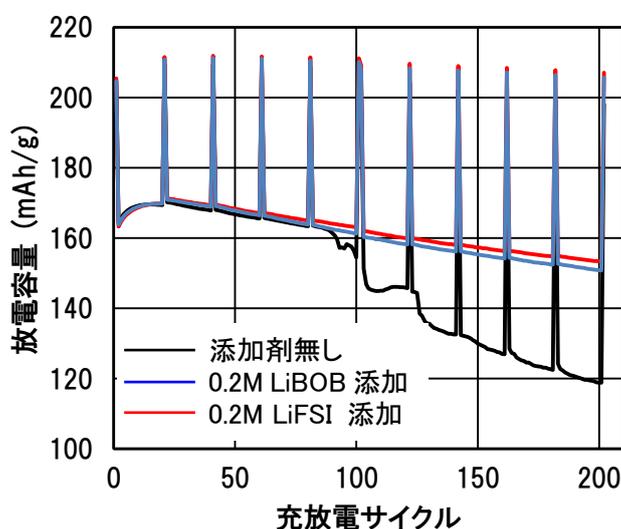


図 3-11 添加剤有無の電解液を用いた三極式小型ラミネート電池の充放電サイクル特性

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

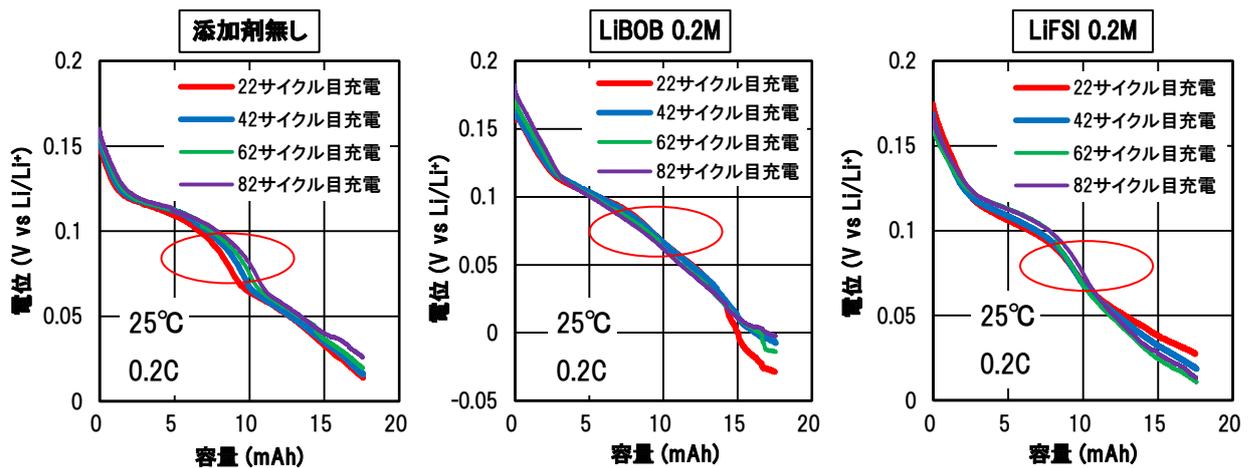


図 3-12 添加剤有無の各電解液を用いた三極式小型ラミネート電池の負極充電曲線

(4) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

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

表 3-12 評価技術を用いた電池試作・評価の実績

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

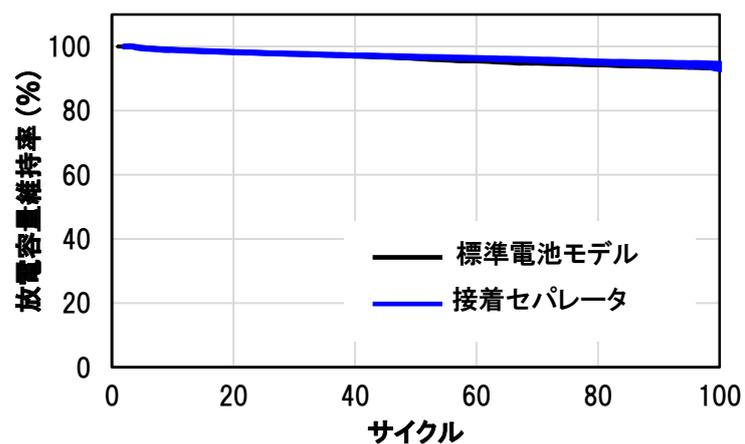


図 3-13 各種セパレータを用いた標準電池のサイクル寿命特性 (n=2)

表 3-13 各メーカーからの電池試作の評価結果

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

3.1.3 高容量負極(PJ-3)の成果の一例

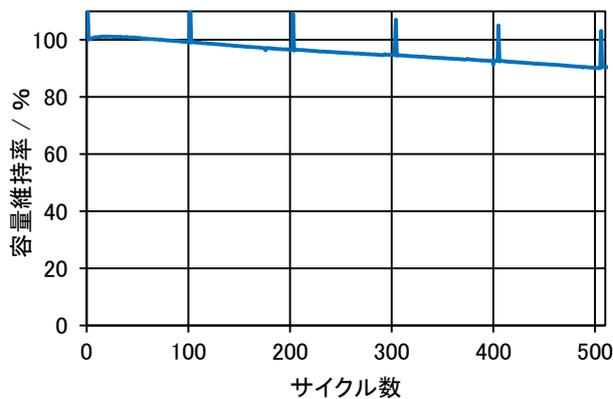
(1) 高容量負極(SiO 系)を用いた標準電池モデルの策定

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

表 3-14 SiO 負極を用いた標準電池モデルの材料構成

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

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

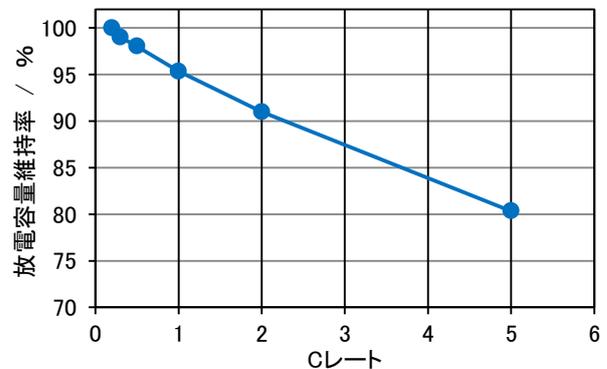


<評価条件>

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

放電 : CC 放電, 1C(680mA), 2.7V 終止, 45°C

100 サイクル毎:0.05C で 1 サイクル

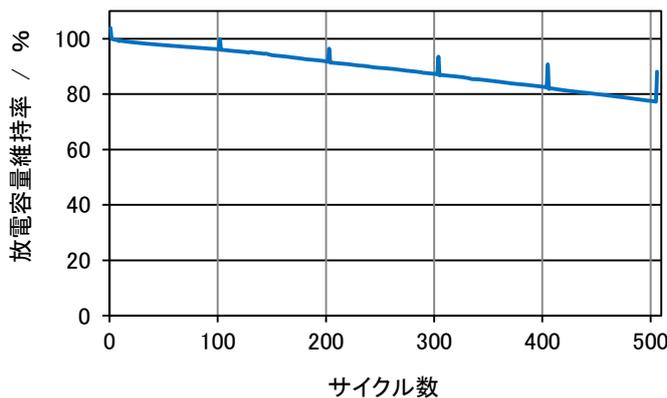


<評価条件>

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

放電 : CC 放電, 各電流値, 2.7V 終止, 25°C

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

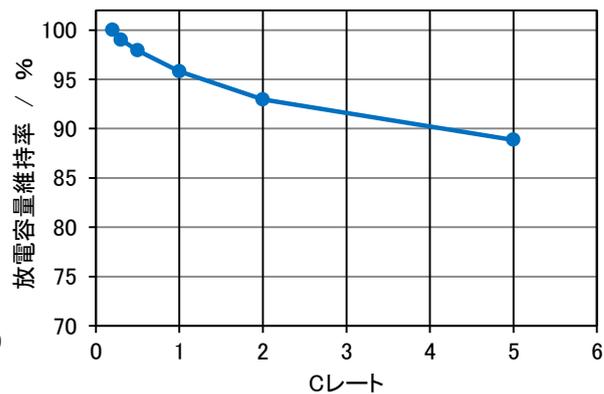


<評価条件>

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

放電 : CC 放電, 1C(940mA), 2.85V 終止, 45°C

100 サイクル毎:0.05C で1 サイクル



<評価条件>

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

放電 : CC 放電, 各電流値, 2.85V 終止, 25°C

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

(2) dV/dQ 解析による SiO-黒鉛混合負極中の劣化分離手法の開発

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

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

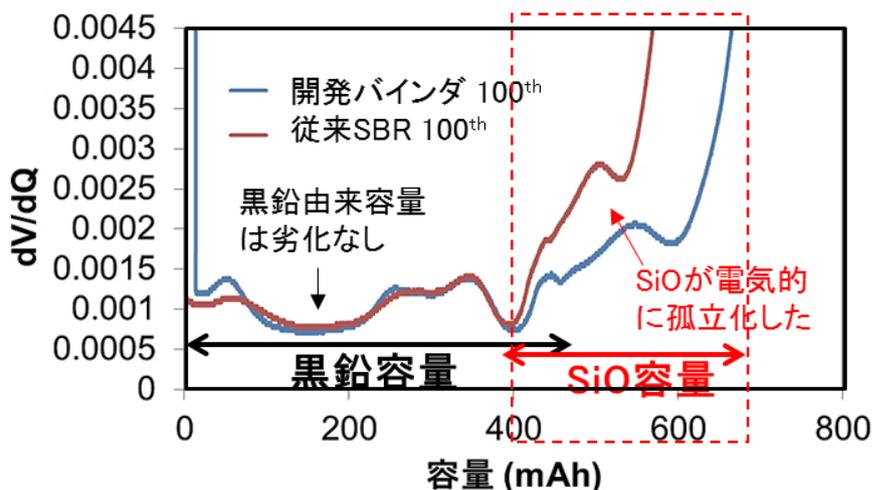


図 3-16 標準 SBR と改良バインダーの dV/dQ 比較

(3) 高精度電極膨張収縮変化測定法の開発

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

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

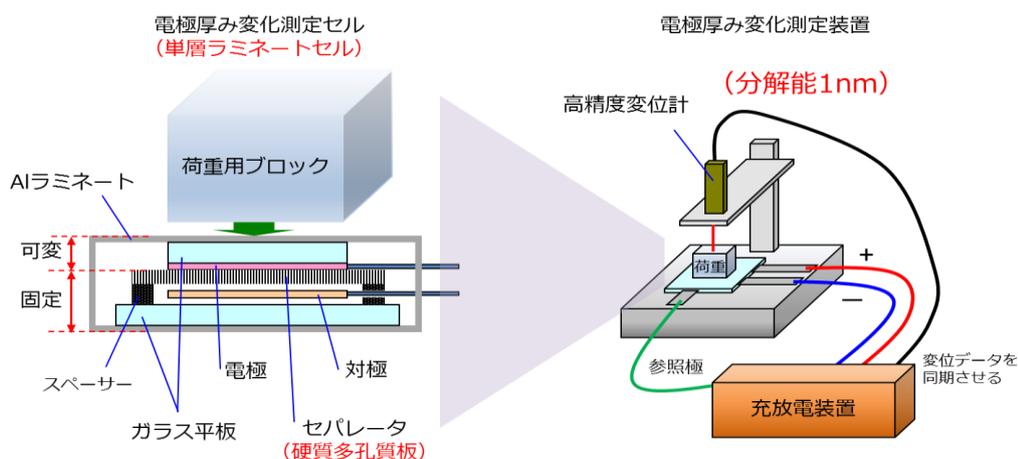


図 3-17 単極電極厚み変化測定セルと装置

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

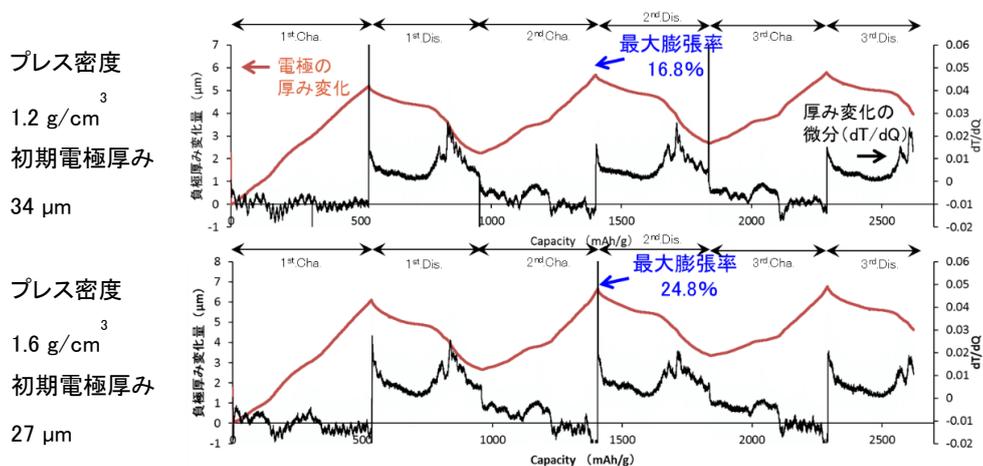


図 3-18 SiO-黒鉛混合負極の充放電曲線と厚み変化(dT/dQ)

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

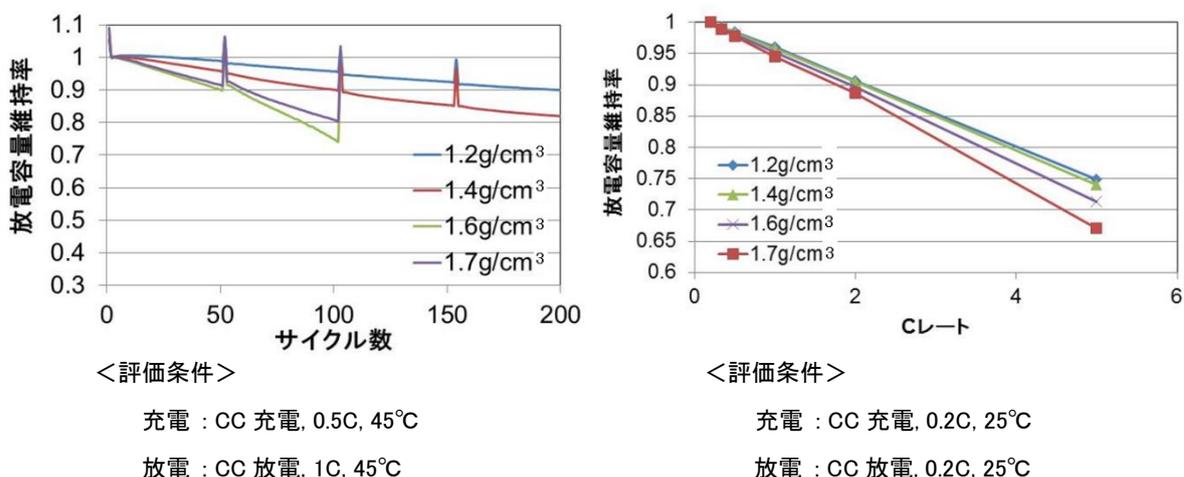


図 3-19 SiO(10%)負極のプレス密度によるサイクル特性及び負荷特性

(4) 厚膜電極標準電池モデルの開発

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

表 3-15 厚膜電極標準電池モデルの構成

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

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

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

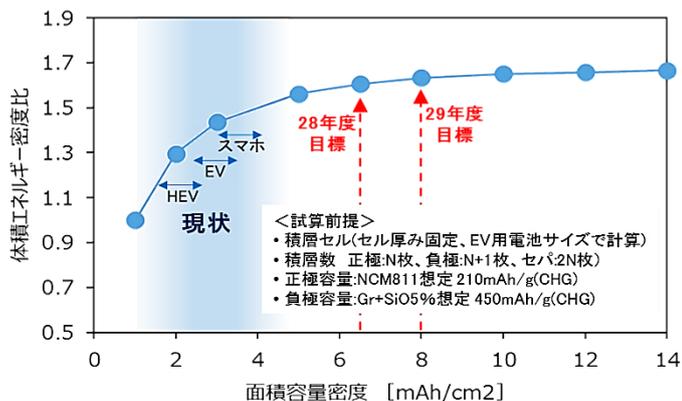


図 3-20 電極の面積容量密度と電池のエネルギー密度の関係

(5) 電気化学的手法による厚膜電極内の曲路率評価法の開発

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

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

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

τ : 曲路率

L : 経路長, 構造体内部の空隙を通り表面から裏面に到達する距離

ℓ : 表面から裏面までの最短距離, 電極では膜厚に相当

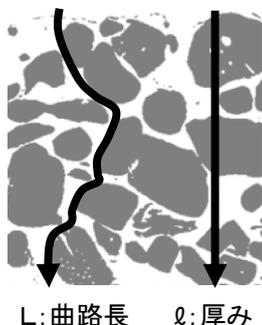


図 3-21 曲路率の定義

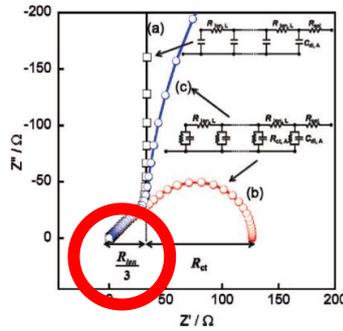
曲路率 τ は、図 3-22 に示すように、対象セルの交流インピーダンス測定で得られた多孔体電極中のイオン抵抗の $1/3(R_{ion}/3)$ を 3 倍して逆数としたイオン伝導度 σ_{ion} を式 2 の σ_{eff} に代入して求めた。

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

σ_{eff} : 有効イオン伝導率

σ_{bulk} : バルクの電解液のイオン伝導率

ε : 空隙率



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

図 3-22 イオン伝導率の算出法

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

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

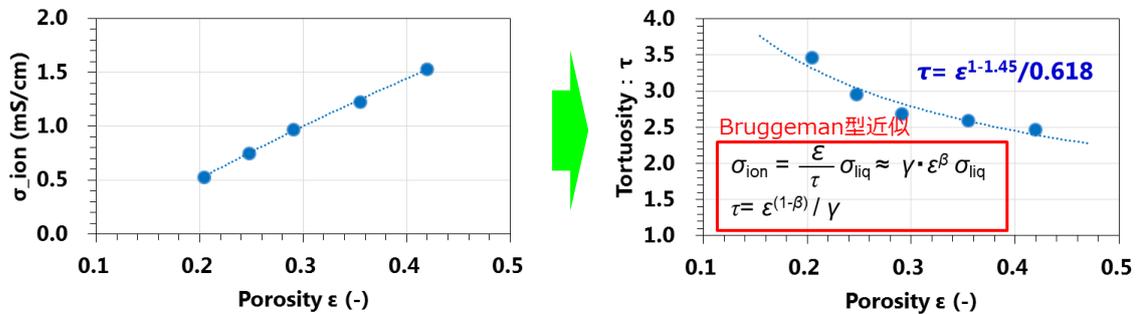


図 3-23 電極空隙内のイオン伝導率と曲路率の関係

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

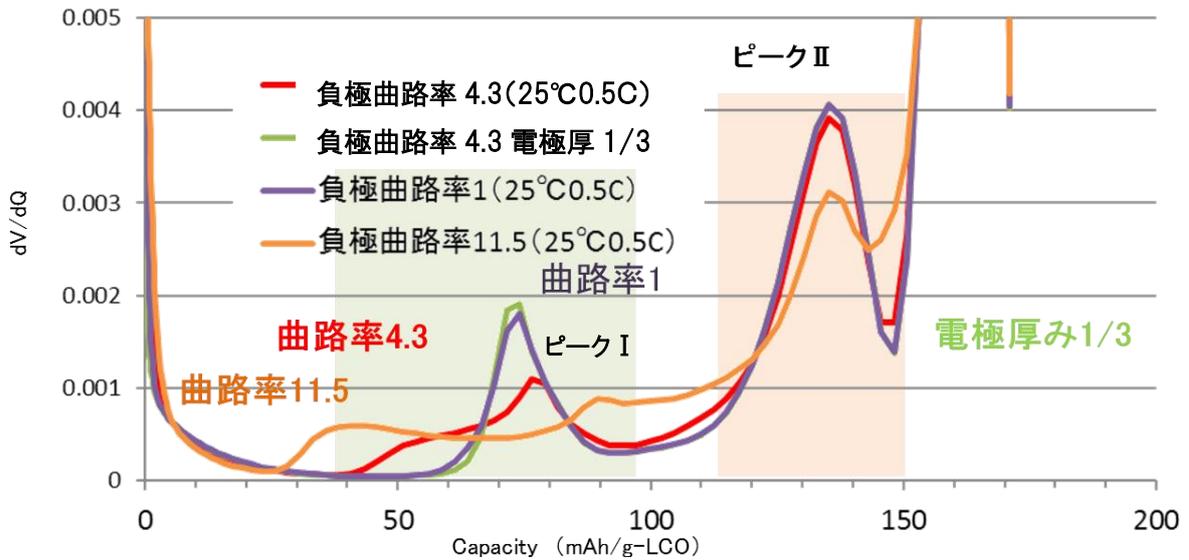


図 3-24 電極厚み・曲路率を変化させた場合の dV/dQ シミュレーション

(6) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

表 3-16 PJ-3 で開発した評価法でのサンプル評価の実績

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

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

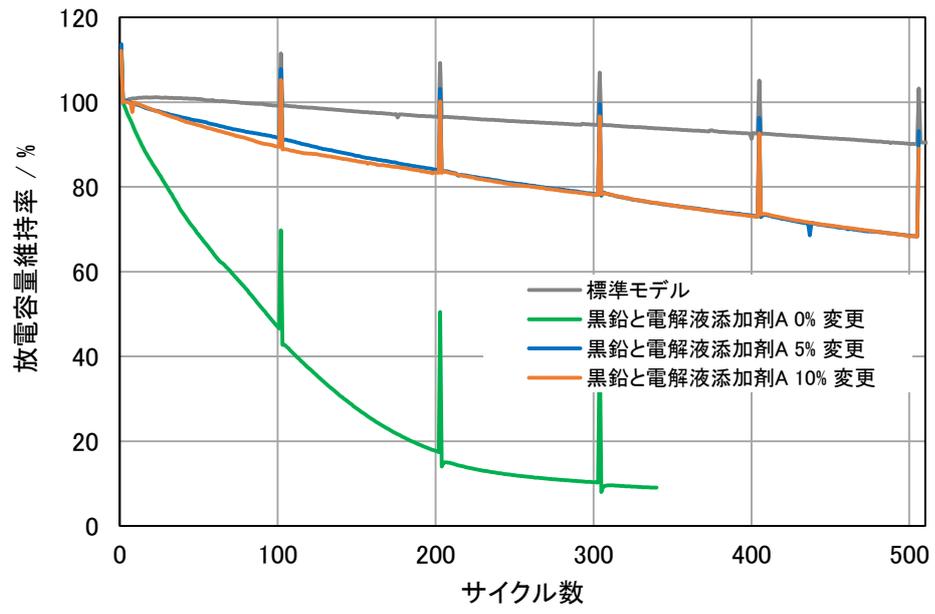


図 3-25 PJ-3 モデルを用いた黒鉛と電解液添加剤の評価の例

3.1.4 難燃性電解液(PJ-4)の成果の一例

(1) 難燃性電解液を用いた標準電池モデルの検討

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

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

表 3-17 難燃性電解液を用いた標準電池モデルの材料構成

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

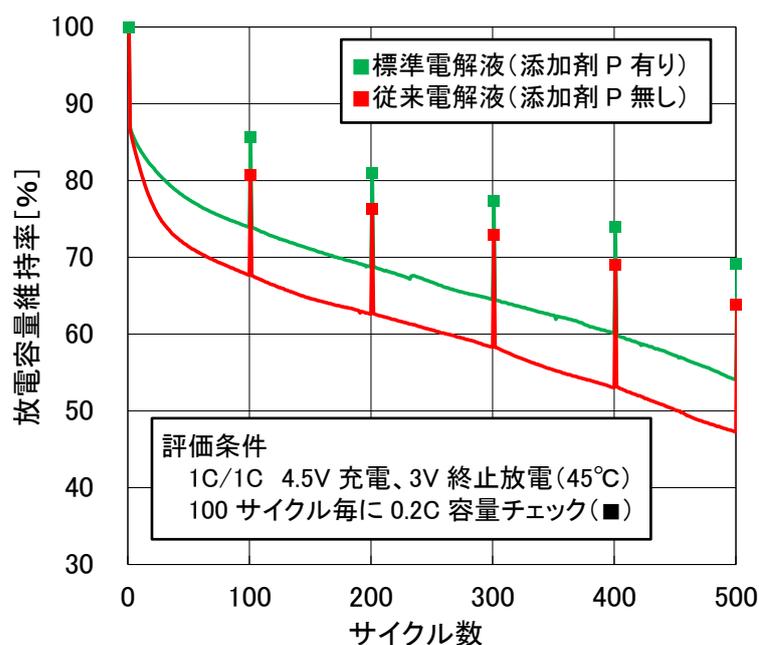


図 3-26 標準電池モデルのサイクル特性

(2) 安全性評価技術の開発

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

(i) 標準電池モデルを用いた ARC 評価

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

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

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

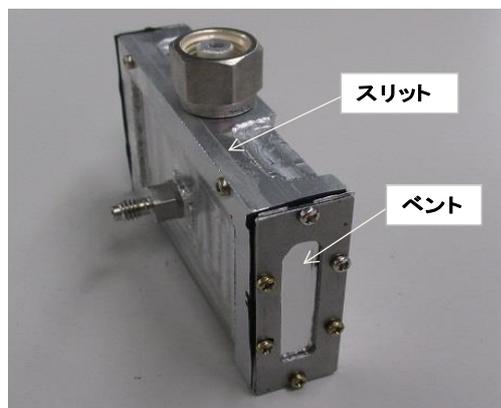


図 3-27 ARC 評価容器

(ii) C80 小形ラミネート電池評価

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

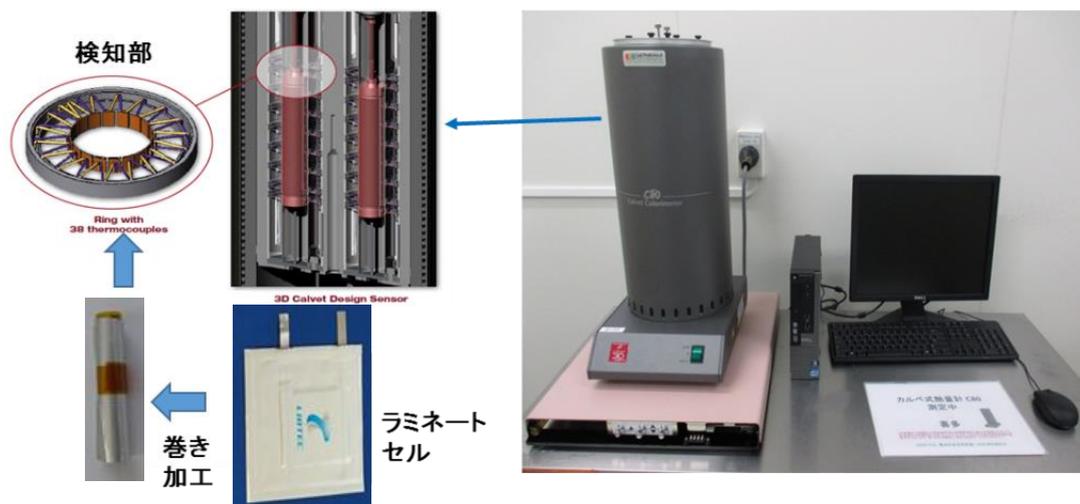


図 3-28 カルベ型熱量計 C80 による小形ラミネート電池評価

(iii) ミツバチネイル短絡試験評価

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

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

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

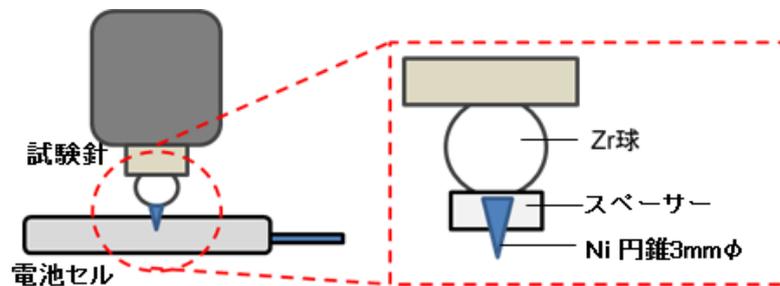


図 3-29 ミツバチネイル評価治具の模式図

表 3-18 ミツバチネイル短絡試験と他の短絡試験法との比較

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

(3) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

表 3-19 PJ-4 で開発した評価法でのサンプル評価の実績

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

(i) 標準ラミネート電池 ARC 評価

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

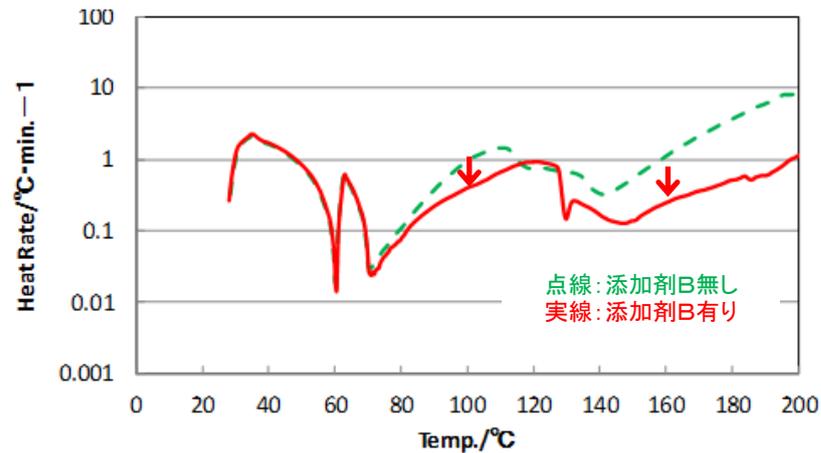


図 3-30 1Ah 級標準電池の ARC 評価結果

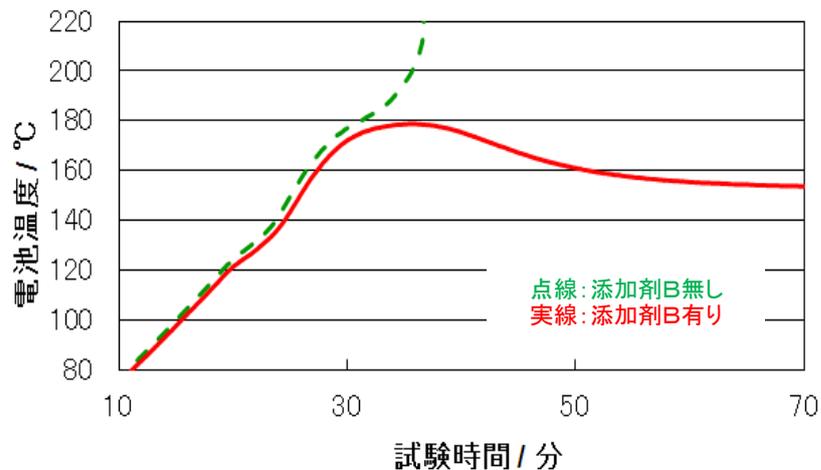


図 3-31 1Ah 級標準電池の 150°C 昇温試験結果

(ii) C80 小形ラミネート電池評価

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

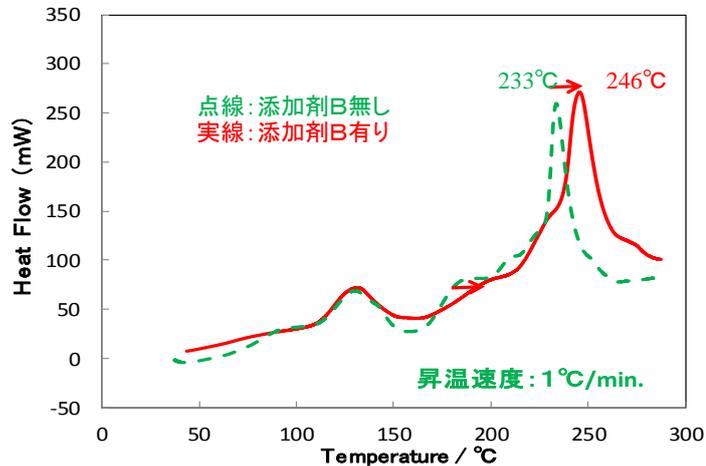
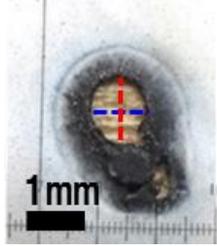


図 3-32 C80 小形ラミネート電池評価結果

(iii) ミツバチネイル短絡試験評価

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

表 3-20 ミツバチネイル短絡試験によるセパレータ評価結果

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

3.1.5 全固体電池(PJ-5)の成果の一例

(1) 圧粉体成形標準電池モデルの開発

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

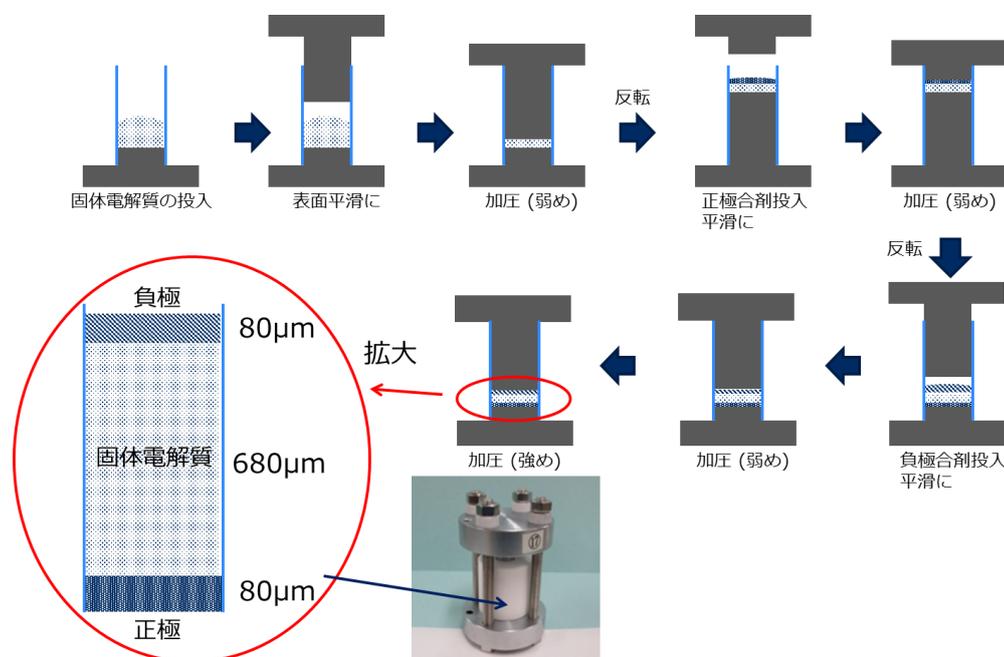


図 3-33 圧粉体成形電池の試作工程

表 3-21 圧粉体成形標準電池モデルの仕様

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

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

材料として圧粉体成形標準電池モデルへ適用することで、固体電解質層の厚みが大きい圧粉体成形標準電池モデルにおいても、固体電解質層の抵抗に律速されずに、合剤電極部分の構成材料・構造の差異に起因する特性差を精度よく見積もることが可能となった。

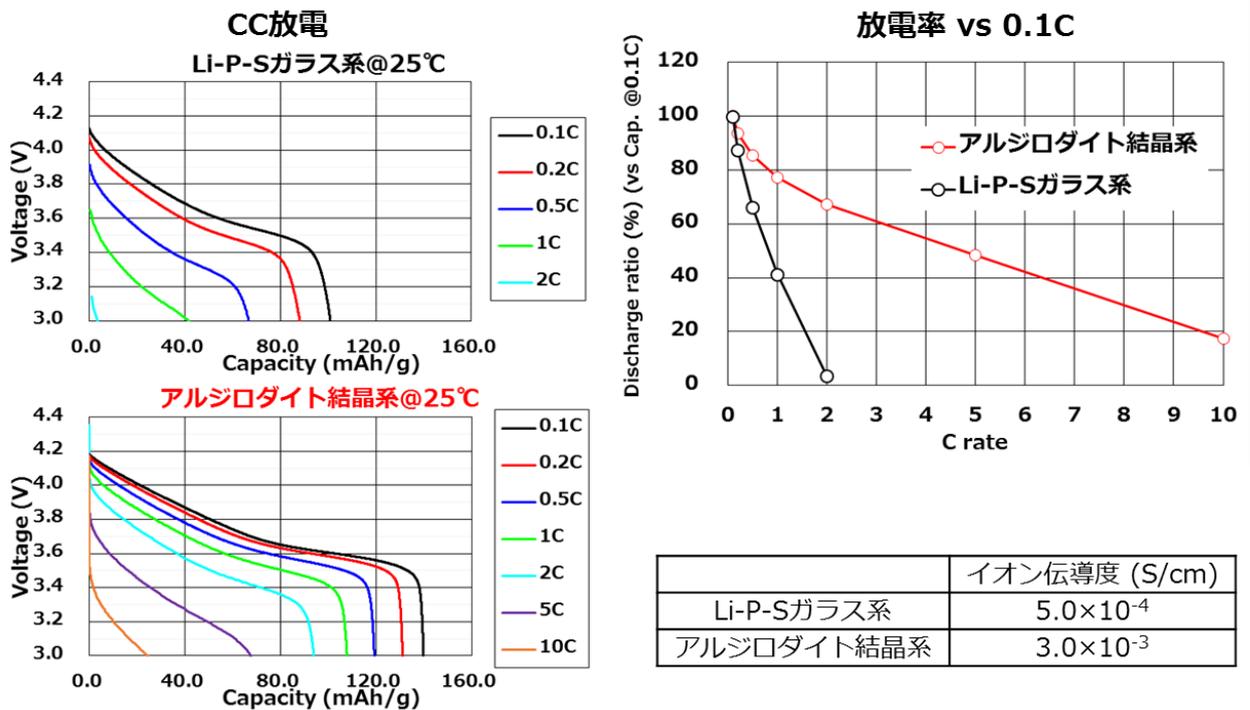


図 3-34 圧粉体成形標準電池モデル(2 種)の特性比較

(2) シート成形標準電池モデルの開発

材料の塗料化、塗工、シート化等のプロセス要因を考慮した材料評価も可能となるようにシート成形標準電池モデルを開発をした。図 3-35 にシート成形電池の標準電池モデルの試作工程、表 3-22 にその仕様を示す。

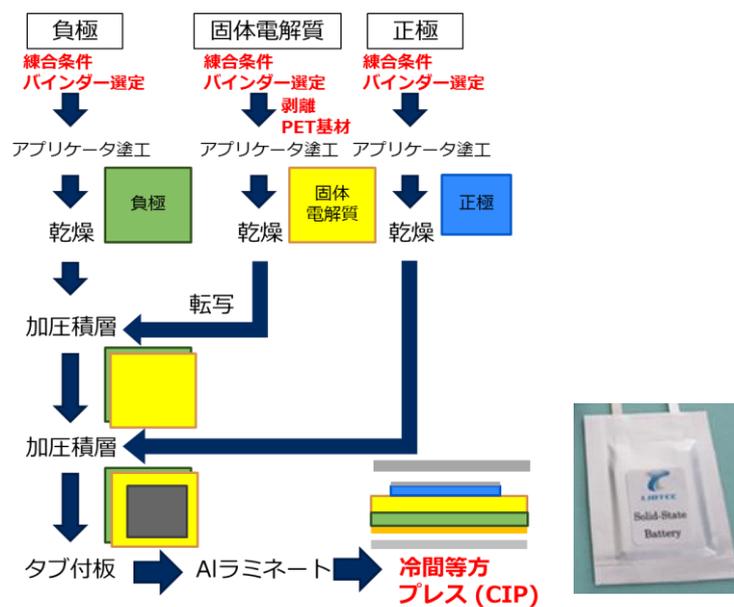


図 3-35 シート成形電池の試作工程

表 3-22 シート成形標準電池モデルの仕様

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

(i) 8mAh シート成形標準電池モデル

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

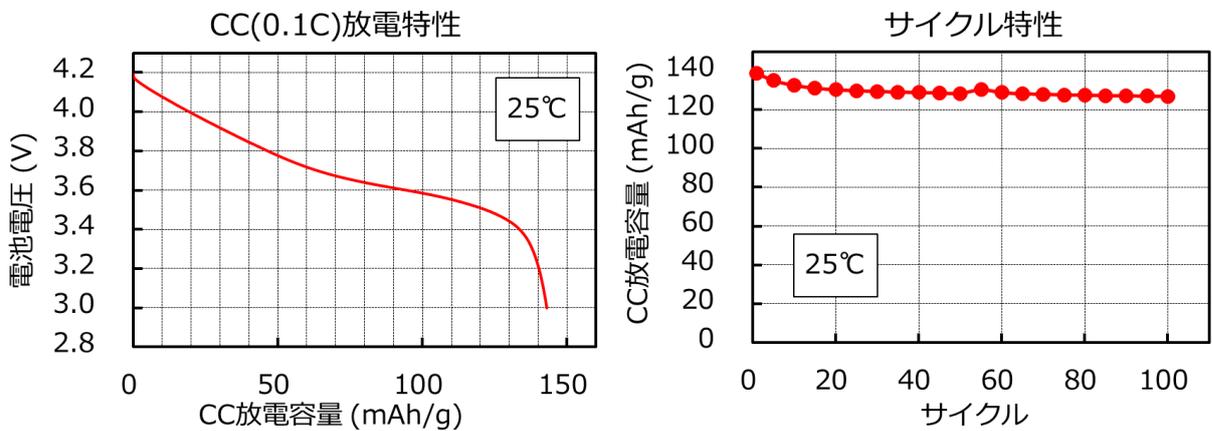


図 3-36 シート成形標準電池モデルの放電曲線とサイクル特性

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

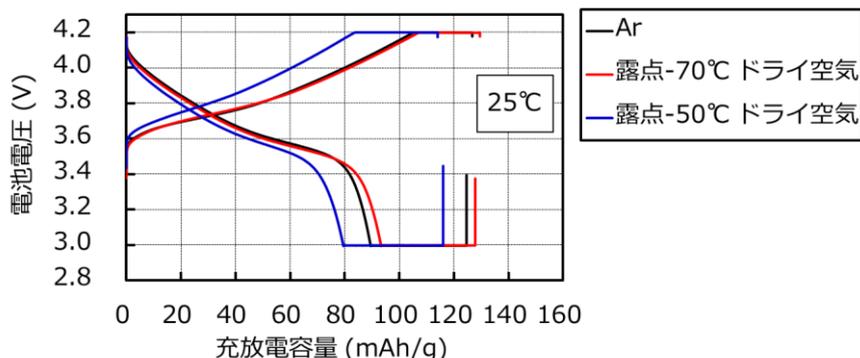


図 3-37 電池試作環境の充放電特性への影響

(ii) 50mAh シート成形標準電池モデル

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

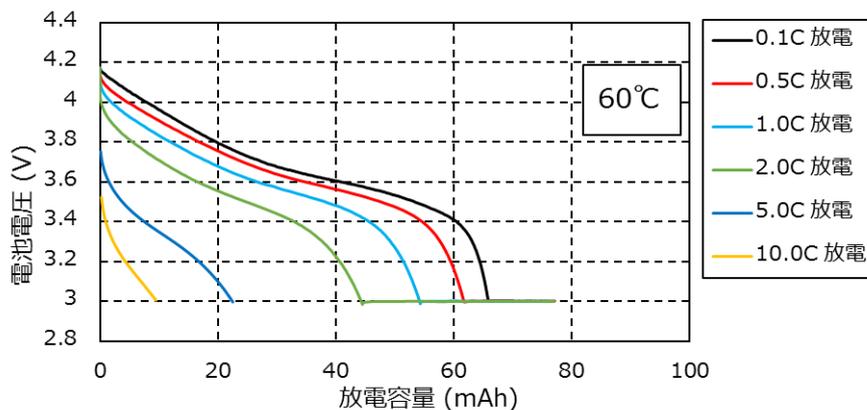


図 3-38 60°C での標準電池モデルの放電特性

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

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

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

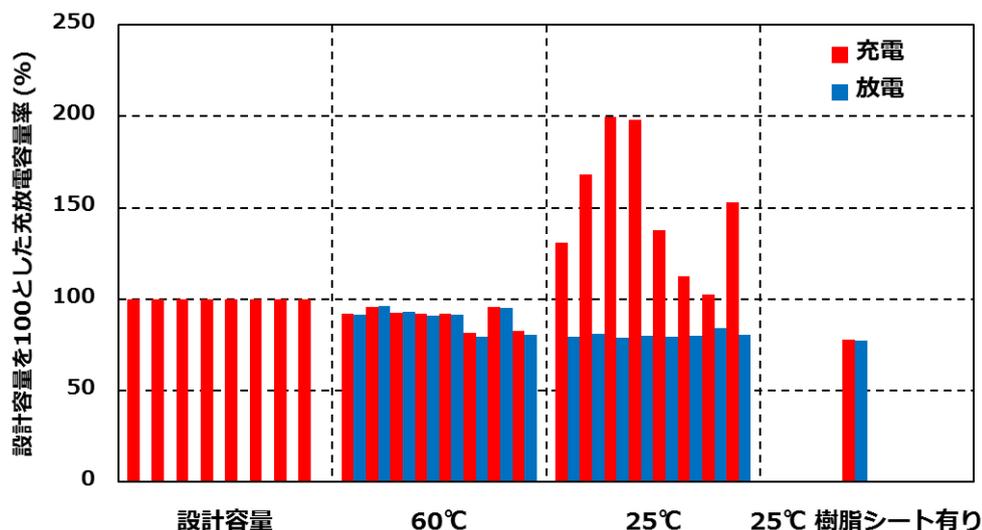


図 3-39 温度による充放電容量率

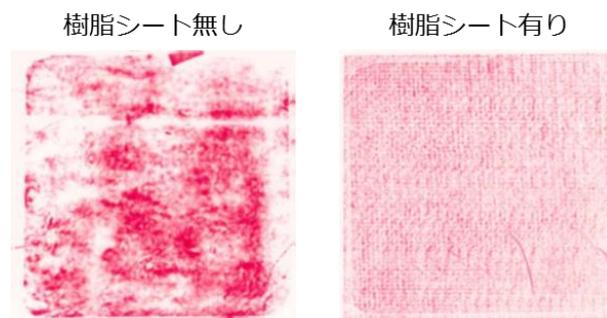


図 3-40 加圧面の圧力分布

(3) 解析評価技術の開発

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

(i) 全固体電池の参照極を用いた Li 析出検出技術

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

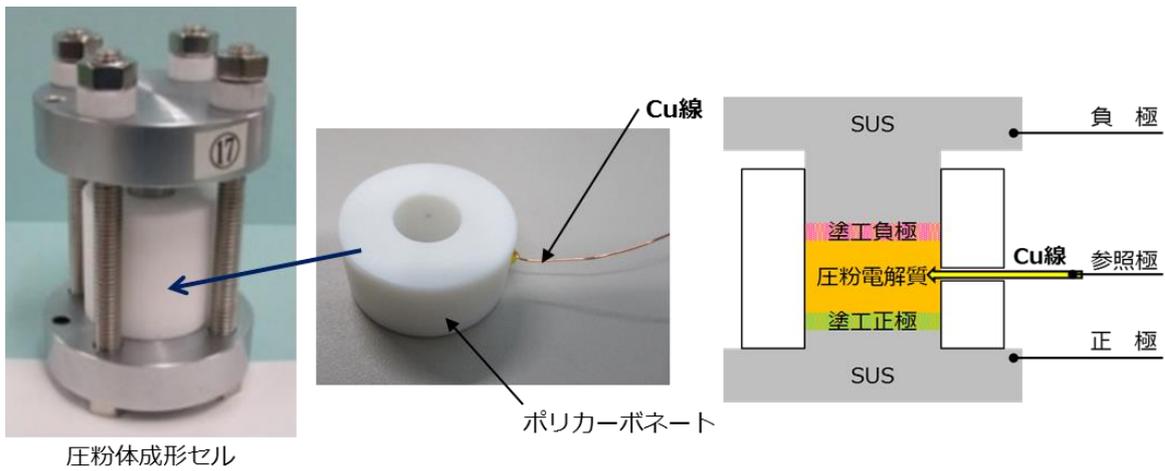


図 3-41 参照極を用いた正極・負極分離測定

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

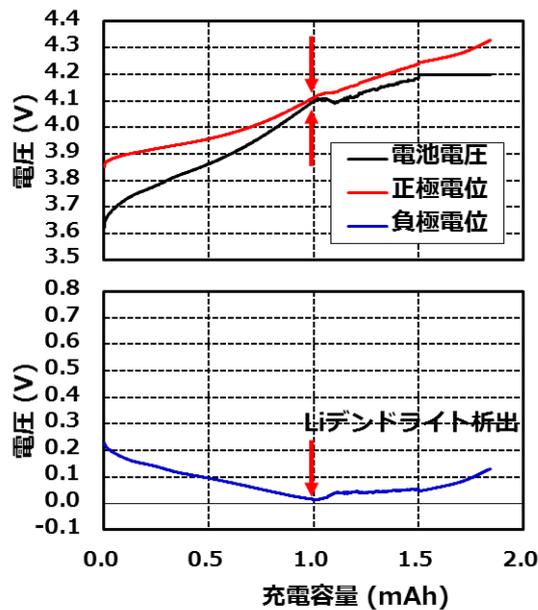


図 3-42 分離測定のための充電曲線

(ii) Li 析出シミュレーション技術

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

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

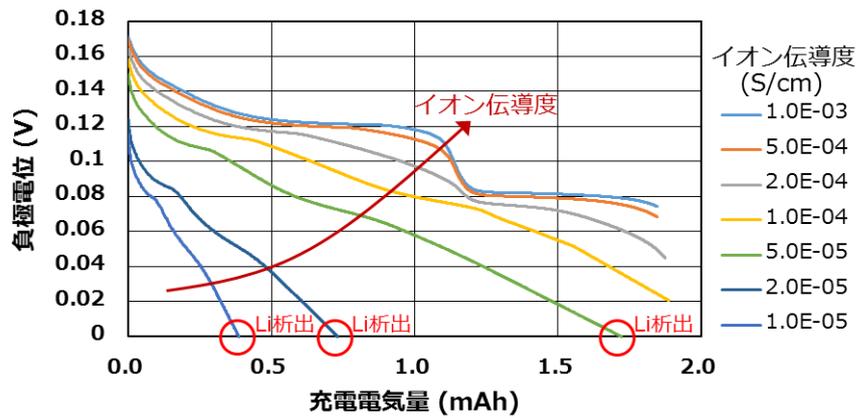


図 3-43 Li 析出シミュレーション結果

(iii) 負極内イオン伝導分離測定技術

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

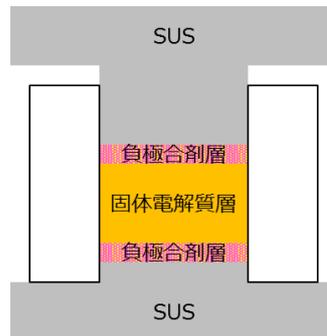


図 3-44 負極内イオン伝導分離測定

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

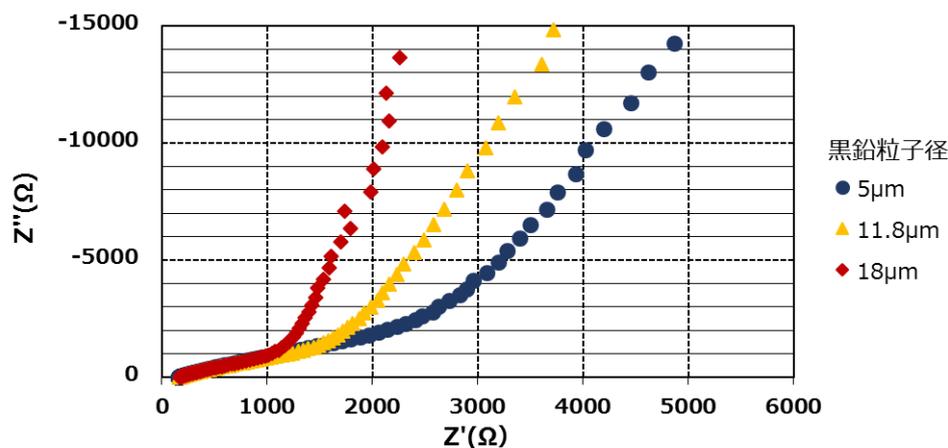


図 3-45 黒鉛粒子径を変えた場合の負極イオン伝導抵抗

(iv) シート成形電池の面内反応分布解析技術

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

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

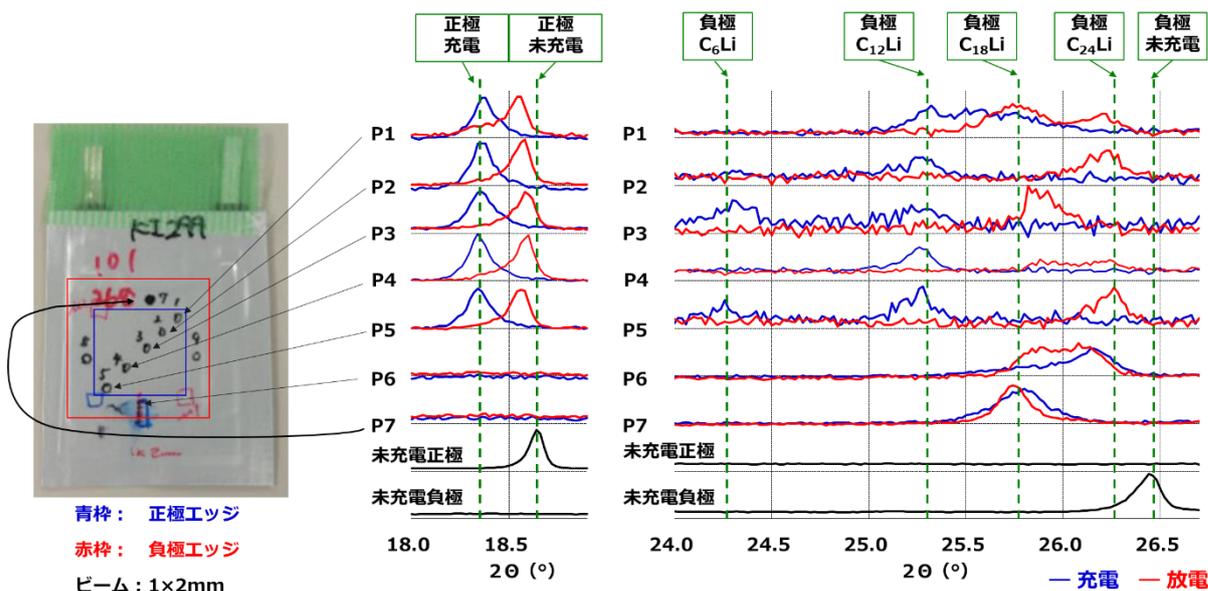


図 3-46 シート成型電池の面内反応分布解析

(v) Li デンドライトの直接観測技術

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

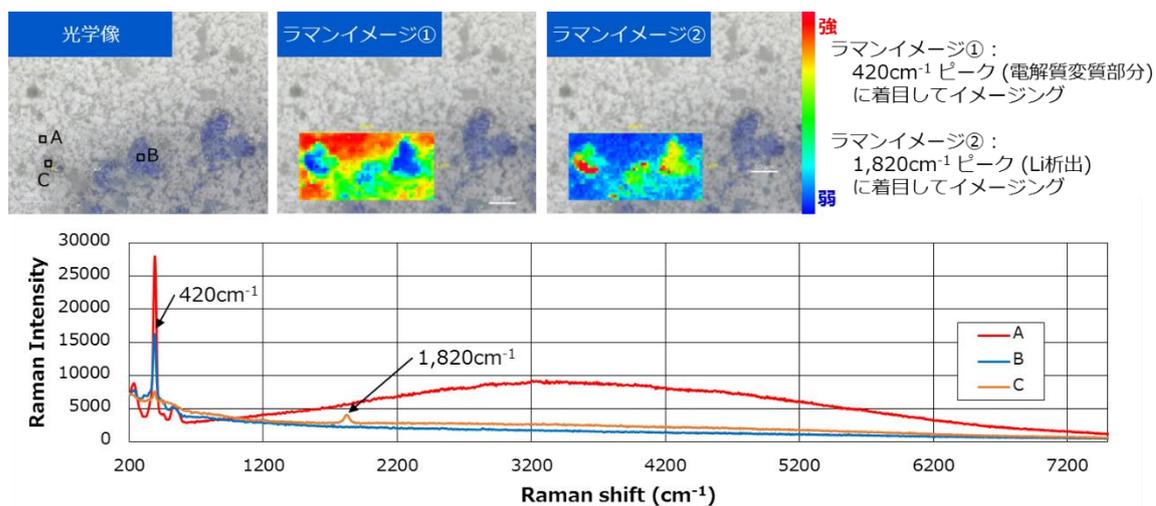


図 3-47 ラマン顕微鏡を用いたデンドライト析出の直接観察

(4) ALCA との連携

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

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

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

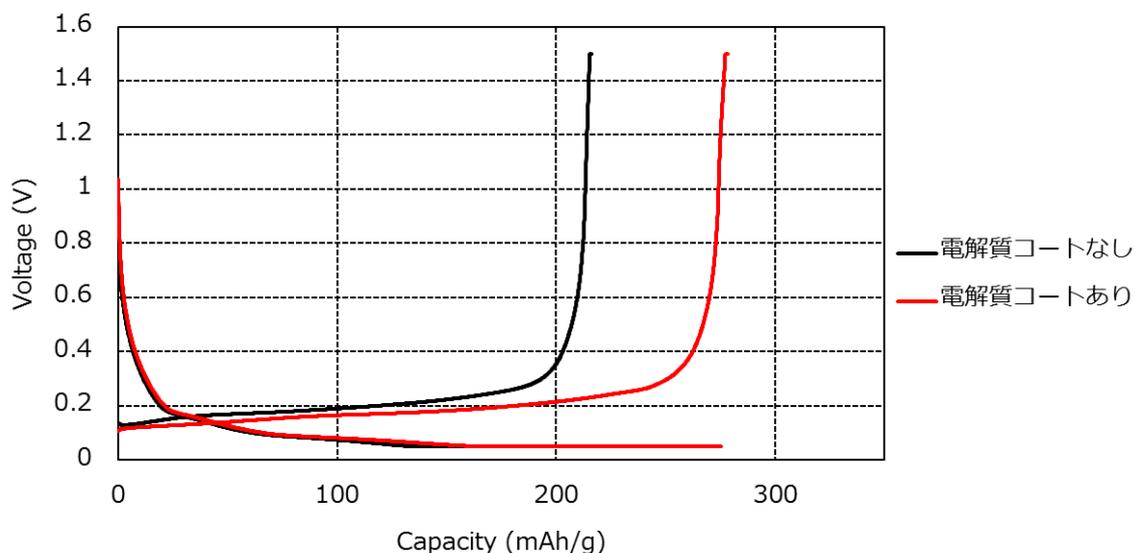


図 3-48 負極に液相法電解質を用いた結果

(5) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

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

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

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

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

3.2 成果の普及及び知的財産権等の確保に向けた取組

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

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

表 3-23 LIBTEC の研究発表・講演リスト(1)

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

表 3-24 LIBTEC の研究発表・講演リスト(2)

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

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

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

表 3-25 NEDO の情報発信実績

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

第4章 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)は以下のように定めた。

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)

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

4.1 成果の実用化に向けた取組

4.1.1 材料メーカーに対するアクション

(1) 研究開発状況の情報共有

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

表4-1 「LIBTEC技術委員会」の開催実績

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

(2) 新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

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

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

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

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

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

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

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

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

表 4-2 新材料サンプルの評価件数

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

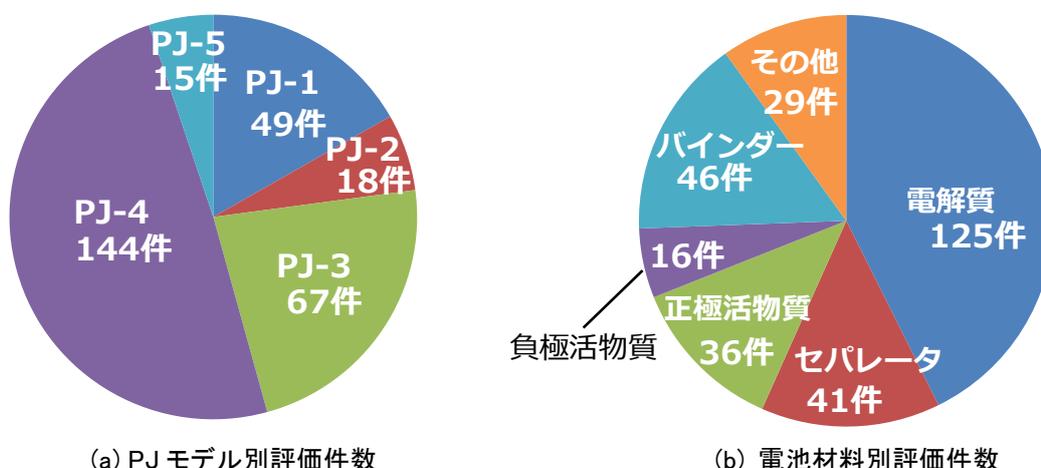


図 4-1 新材料サンプルの評価件数内訳

(3) 材料メーカーに対するアンケート調査

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

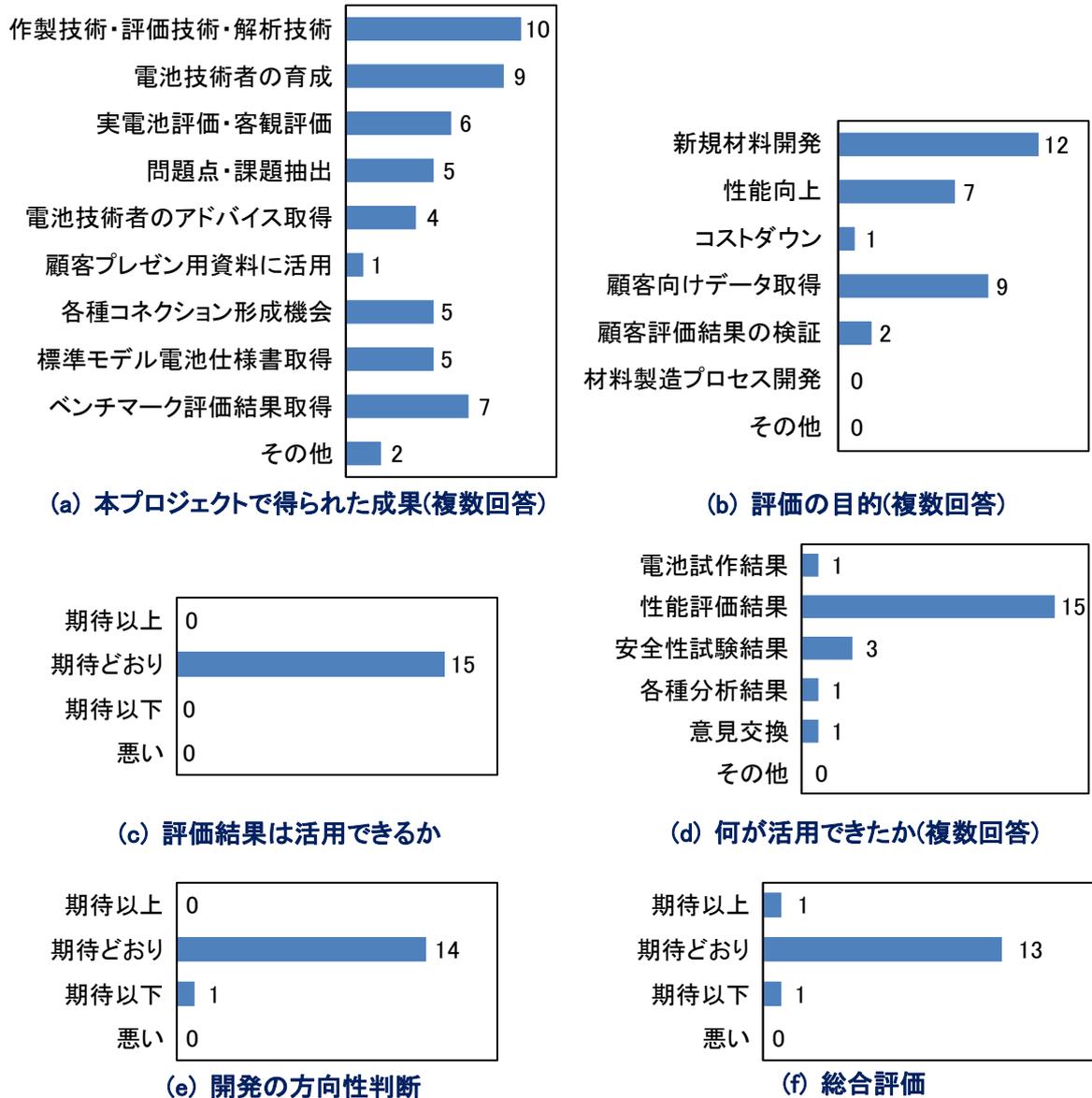


図 4-2 材料メーカーのアンケート結果

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

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

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

4.1.2 蓄電池・自動車メーカーに対するアクション

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

表 4-3 にアドバイザリー委員会での主な指摘事項とその対応内容を示す。

表 4-3 アドバイザリー委員会の主な指摘事項と対応

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

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

蓄電池・自動車メーカーの専門家のコメントを以下に示す。

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

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

4.2 成果の実用化の見通し

4.2.1 先進 LIB の評価技術の今後の展開

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

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

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

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

4.2.2 全固体電池の評価技術の今後の展開

(1) プロジェクト第 1 期成果の公開

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

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

(2) プロジェクト第 2 期の取組

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

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

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

(i) 第1世代全固体電池に係る研究開発

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

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

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

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

(ii) 次世代全固体電池に係る研究開発

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

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

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

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

(iii) 共通基盤技術の研究開発

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

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

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

(iv) 政策・市場・研究開発動向に係る調査研究

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

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

4.3 波及効果

(1) オープンイノベーションの加速

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

(2) 学術成果の産業技術としての引き上げ

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

(3) 人材育成を通じた技術レベルの向上

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

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」

前倒し事後評価（2013年度～2017年度 5年間）

プロジェクトの概要（公開）

2017年8月3日

NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室

1/53

公開

発表内容

評価軸の中項目

ポイント、内容

1. 事業の位置づけ・必要性

- (1) 事業目的の妥当性
- (2) NEDOの事業としての妥当性

- ・事業の目的
- ・事業の社会的背景
- ・関連する上位施策・戦略
- ・市場動向、特許動向、技術動向
- ・内外の研究開発動向
- ・NEDOの関与の必要性
- ・実施の効果

2. 研究開発マネジメント

- (1) 研究開発目標の妥当性
- (2) 研究開発計画の妥当性
- (3) 研究開発の実施体制の妥当性
- (4) 研究開発の進捗管理の妥当性
- (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性
- (6) 中間評価への対応

- ・各種動向を反映した目標設定
- ・スケジュール、研究開発費用
- ・実施体制、実施者の技術的遂行力
- ・進捗管理・マネジメント
- ・他のNEDOプロジェクトとの連携
- ・知的財産戦略
- ・中間評価への対応

3. 研究開発成果

- (1) 目標の達成度と成果の意義
- (2) 成果の普及と知的財産権確保の取組

- ・開発目標と達成度
- ・研究開発成果
- ・成果の普及

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

- (1) 成果の実用化に向けた取組
- (2) 成果の実用化の見通し

- ・実用化に向けた具体的取組
- ・成果の実用化の見通し
- ・波及効果

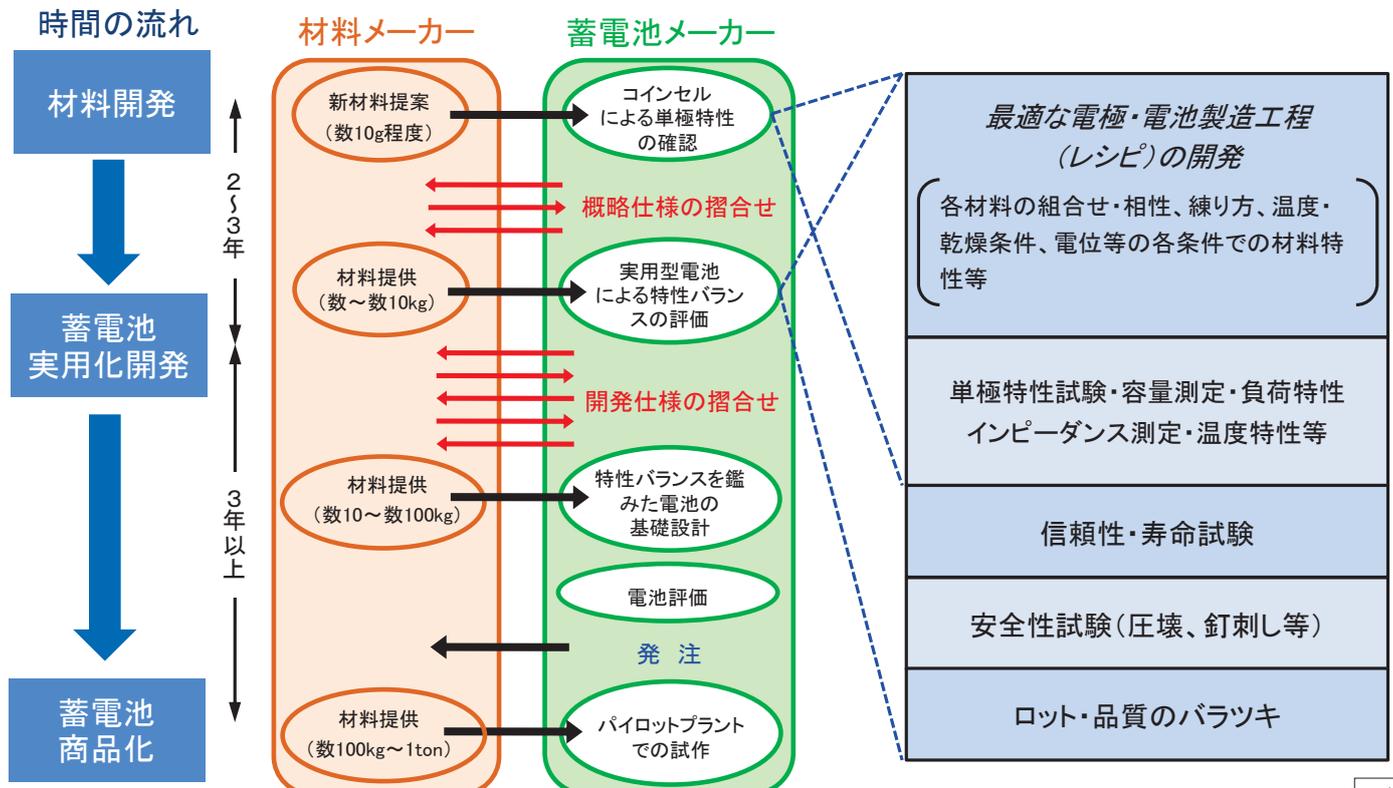
2/53

事業の背景



事業の背景

蓄電池材料の構造・組合せ、作製プロセス、評価条件・方法等のノウハウの蓄積は、蓄電池メーカーが他社製品との差別化を図るための生命線。評価方法・基準は蓄電池メーカーが個別に保有。蓄電池メーカー間、蓄電池-材料メーカー間で共通化されていない。そのため、新材料の実用化までに長期間を要している。



政策上の位置づけ

■関連する上位政策・戦略

エネルギー基本計画・第四次計画 (2014年4月、閣議決定)

⇒ 蓄電池はエネルギーの需給構造の安定性強化に貢献する大きな可能性を持った技術であり、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていくとしている。

科学技術イノベーション総合戦略2014 (2014年6月、閣議決定)

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

自動車産業戦略2014 (2014年11月、経済産業省策定)

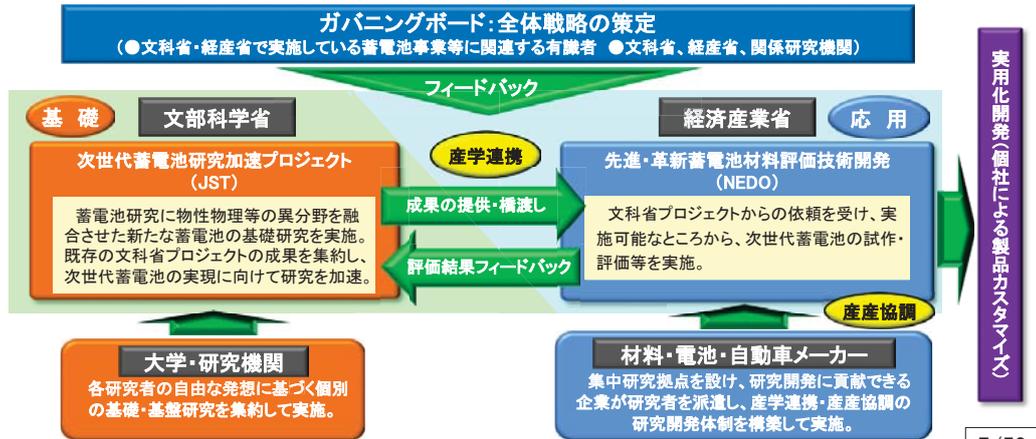
⇒ 技術開発の効率化とより高度な摺り合わせを実現するために産産・産学で協調して研究開発を進める重点分野の一つとして蓄電池が選定されている。

未来投資戦略2017 (2017年6月、閣議決定)

⇒ 車載用蓄電池について、現在の液系リチウムイオン電池よりも安全面等で性能が高い全固体リチウムイオン電池等の開発・実用化を加速するとしており、2020年に国内企業が車載用・電力貯蔵用の先端蓄電池の市場で年間5,000億円を獲得することを目指すとしている。

■未来開拓プロジェクト(2012年8月、経済産業省)

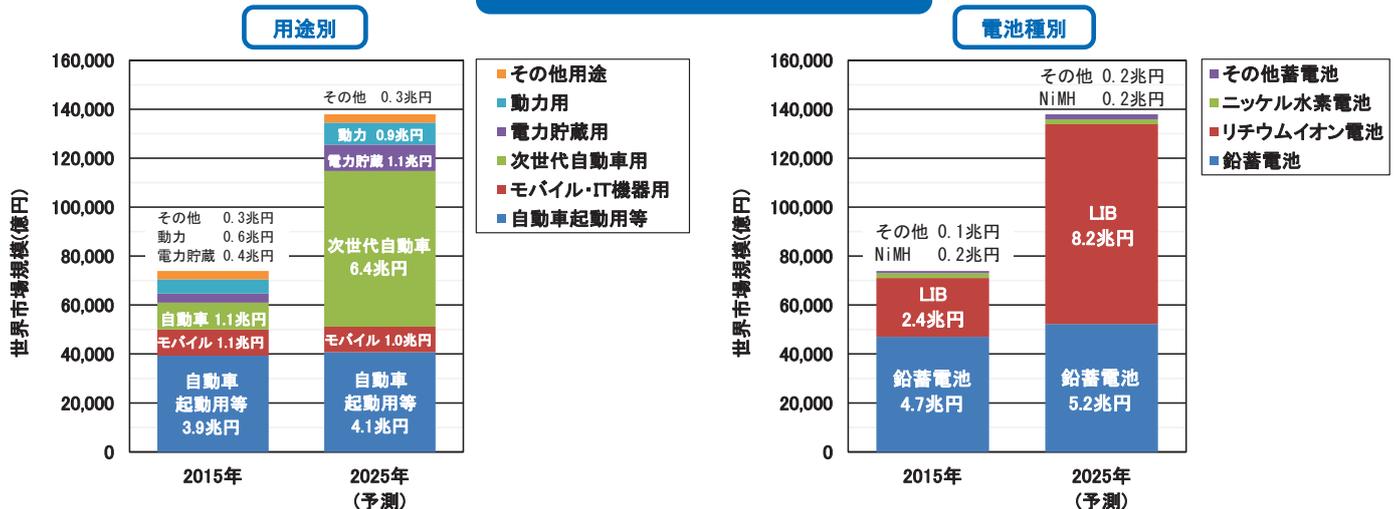
- 「未来開拓研究プロジェクト」とは、我が国の成長の糧となるイノベーションを創出する、開発リスクの高い革新的技術に関する中長期的な研究開発プロジェクトを国が主導するもの。
- 経済産業省、文部科学省による合同検討会で連携テーマを設定し、両省のプロジェクトを一体的に運営するガバナリングボードを設置し、基礎から事業化までの一気通貫を目指す。
- 本プロジェクトは、平成25年8月に改正された「未来開拓研究プロジェクトの実施に関する基本方針」に基づき、同プロジェクトの一つとして実施している。



市場動向 ～蓄電池～

- 2015年における蓄電池の世界市場規模は約7兆円。今後、各用途でプラス成長が予想され、2025年には約14兆円に成長すると予測されている。車載用蓄電池の市場規模は現在、約1.1兆円であるが、今後、飛躍的に成長し、2025年には6倍の6.4兆円になると予測されている。
- 民生用の小型LIBは、国内蓄電池メーカーの世界シェアが低下し、2015年には20%程度まで落ち込み、中韓蓄電池メーカーの後塵を拝している。
- 一方、車載用蓄電池は高い技術水準が求められることに加え、車両設計との摺合せにも高い技術水準が求められることから、日本企業の技術力がビジネスの競争力に結び付く領域となっており、国内メーカーの世界シェアは約60%を確保している。ただし、今後は、民生用と同様に韓国・中国勢とのシェア獲得競争が激化することが予想される。

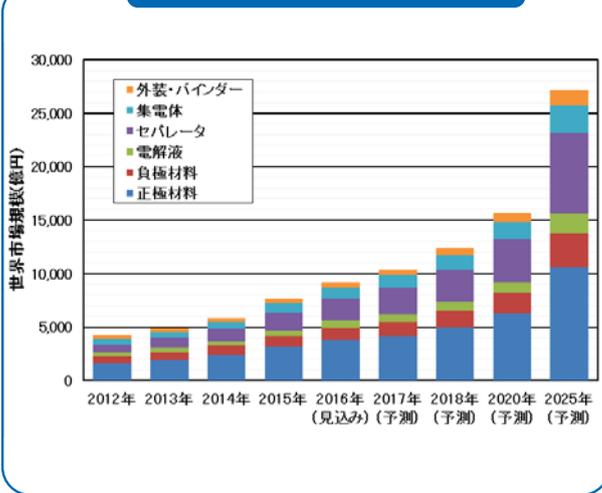
蓄電池市場の現況と将来予測



市場動向 ～リチウムイオン電池材料～

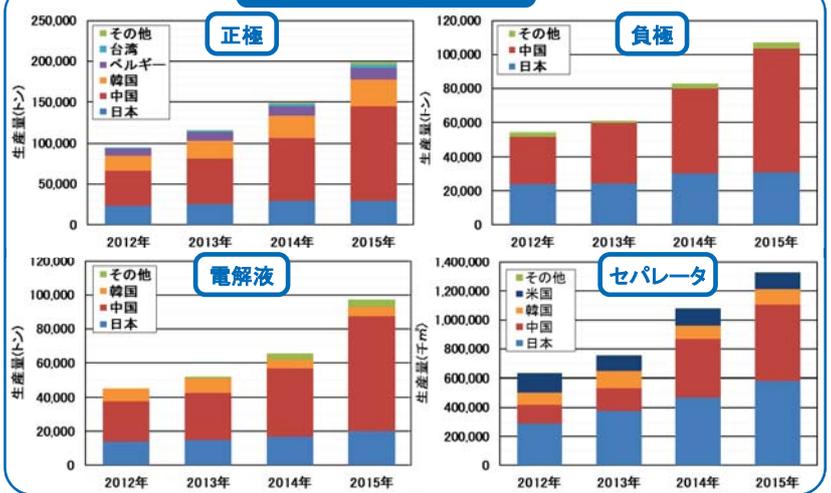
- 2015年におけるLIB材料の世界市場規模は約7,700億円。2025年には3.5倍の約2.7兆円になると予測されている。
- モバイル機器用セルの大型化・高容量化やEV・PHEV新モデルの市場投入等を受け、国内材料メーカーは生産量を堅調に増加させているものの、それ以上に価格競争力に優る中国材料メーカーの生産量が増加する傾向。
- 高品質品をリーズナブルな価格で提供する国内材料メーカーは高い市場シェアを獲得しており、車載用LIBに限定すると、2015年のシェアは正極材料が約65%、負極材料が約80%、電解液が約65%、セパレータが約60%といずれも世界トップである。
- 中国材料メーカーも、内需によってさらに技術力を高めた状態で海外展開を強力に推進してくることが予想される。そのため、日本材料メーカーは、ハイスペック化と低価格化を両立させた新材料をユーザーが望むタイミング・スピードで供給していく必要がある。

LIB材料の市場規模推移と将来予測



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

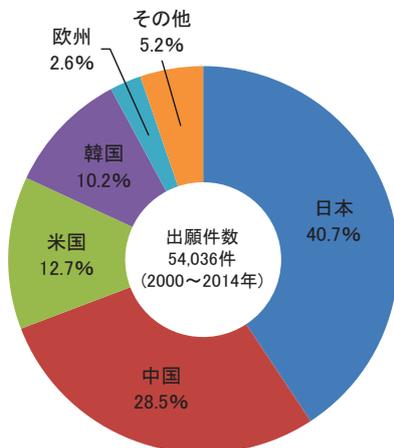
LIB材料の国別シェア推移



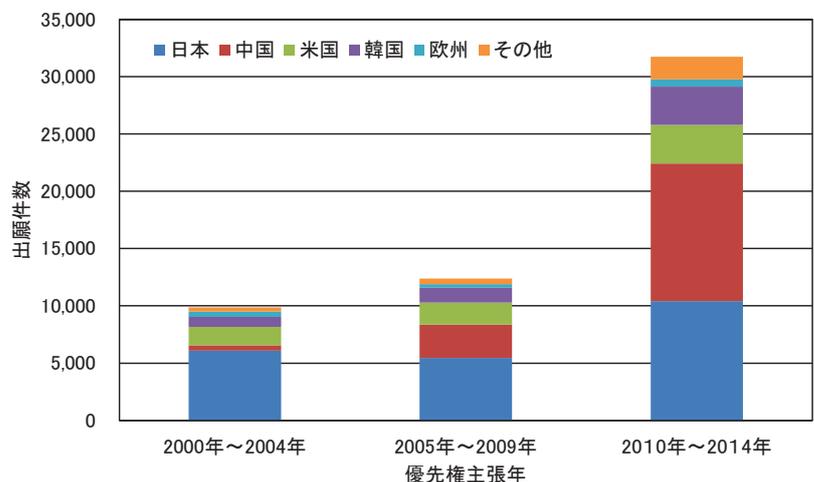
出典:「2014, 2015, 2016 電池関連市場実態総調査」(株式会社富士経済)等に基づきNEDO作成

特許動向 ～リチウムイオン電池～

- リチウムイオン電池の特許出願件数は、2000年代前半は約2,000件/年であったが、2010年以降、急増しており、3倍の約7,000件/年となっている。
- 過去15年間の累積の特許出願件数では、日本が4割を占め最多であるが、2010年以降は中国の出願件数が急増。
- 特許は実質的に技術を公開することに繋がり、実際、民生用LIBの市場で苦境に立たされていることから、特許出願・登録の件数が必ずしもグローバル市場の競争力に直結しないケースもあることに留意する必要がある。



リチウムイオン電池の優先権主張国別出願件数

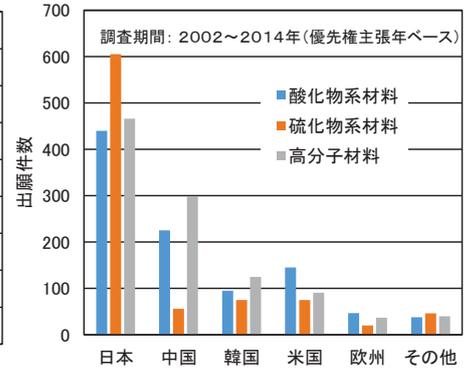
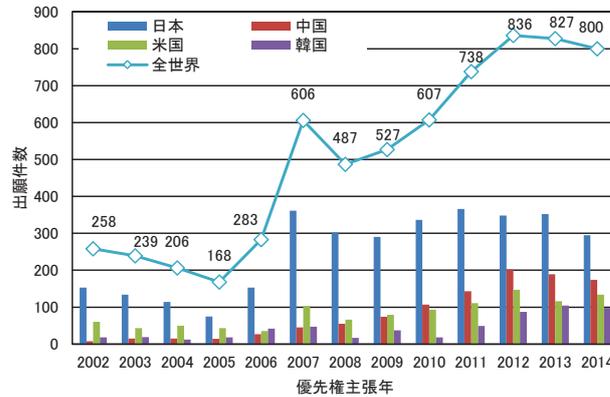
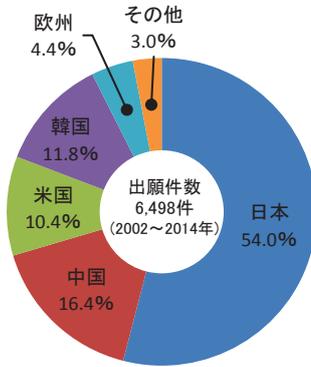


リチウムイオン電池の主要4か国の特許出願推移(5年区切り)

使用データベース: Derwent World Patents Indexに基づきNEDO作成

特許動向 ～全固体電池～

- 全固体電池の特許出願は、2006年以降、増加。出願人国籍別で見ると、総出願件数6,498件のうち、日本は3,509件で54%を占めており、他国に比べて圧倒的に多い。ただし、出願件数の推移で見ると、近年、日本は横這い傾向であるのに対して、中国、米国、韓国は増加の傾向にある。
- 硫化物固体電解質の特許出願は、他国と比べて、日本が圧倒的に多い。



全固体電池・出願国別出願件数の比率

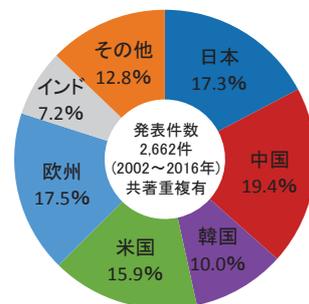
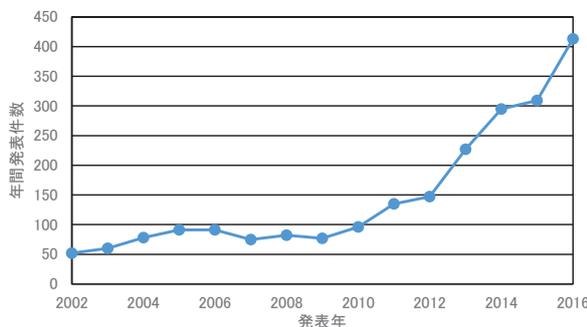
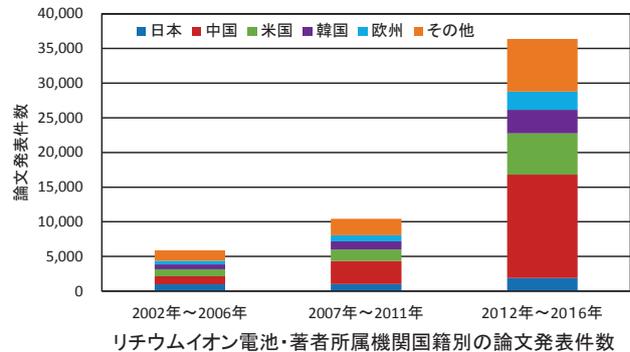
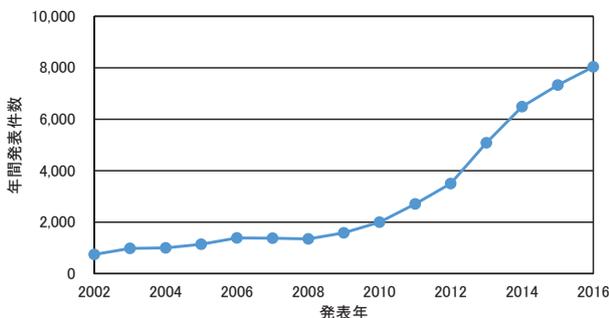
全固体電池・主要4か国の特許出願推移

全固体電池・電解質材料別出願件数

使用データベース：Derwent World Patents Indexに基づきNEDO作成

研究開発動向 ～論文～

- リチウムイオン電池の論文発表件数は2010年以降、急増。論文の著者所属機関国籍別の発表件数で見ると、2007年以降、中国が大きく伸びており、直近5年間(2012年～2016年)でほぼ半数(45%)を占めている。
- 全固体電池の論文発表件数は2012年以降、急増。論文の著者所属機関国籍別の発表件数で見ると、日本は全体の約17%であり、特許出願件数の54%に比べると占有比率は小さい。



全固体電池・論文著者国籍別発表件数の比率 (共著重複カウントあり)

使用データベース：Web of Scienceに基づきNEDO作成

海外における電池試作・評価の取組み ～米国～

DOEの資金サポートにより、Argonne国立研究所に新材料の量産プロセスの検討設備(MERF)、0.4~2Ah級のラミネートセルや18650セルの試作設備(CAMP)、性能・寿命試験評価設備(EADL)、劣化解析設備等が整備されており、企業・大学等で開発された新規の蓄電池材料を第三者的な立場でベンチマークしている。

Materials Engineering Research Facility (MERF)



Cell Analysis, Modeling, and Prototyping (CAMP) Facility



Electrochemical Analysis and Diagnostics Laboratory (EADL)



Post-Test Diagnostic Facility



出典: Argonne National Laboratory HP 他

13/53

海外における電池試作・評価の取組み ～ドイツ～

Münster Electrochemical Energy Technology (MEET)

Münster大の蓄電技術研究センター。Nordrhein-Westfalen州、連邦教育研究省(BMBF)、連邦経済エネルギー省(BMWi)等が資金サポートを行っている。ラミネートセルの試作ラインを保有。また、20Ah級セルの特性評価が可能。BMW、BOSCH等、30社以上の企業と連携した実績がある。



出典: MEET Batterietag NRW 2016 他

ZSW Laboratory for Battery Technology (eLaB)

Baden-Württemberg州の資金サポートでZSWに設立されたプラットフォーム型の研究センター。18650型、ラミネート形、角形セル(20Ah級)の試作・評価設備を保有。BASF、BMW、Daimler、BOSCH等の80社以上の企業と連携した実績がある。



出典: ZSW HP 他

14/53

全固体電池の研究開発動向

主要国の技術開発プロジェクトにおいて全固体電池のテーマが増えつつある。また、グローバルな自動車・自動車部品・蓄電池メーカーも全固体電池のベンチャーを買収・傘下に収めることで実用化の動きを見せている。

主要国の技術開発プロジェクトにおける取組

米 国	DOE/ARPA-Eが全固体LIBを対象とした研究開発プロジェクト「IONICS」で、2016年に下記開発が開始されている。予算総額は3,700万ドル。	
	主な参画機関	開発テーマ
	Pennsylvania州立大学	独自の低温焼結技術を用いた複合構造の酸化物系固体電解質
	Colorado大Boulder校	全固体LIBのセル製造時間を短縮する瞬間焼結法
	Iowa州立大	ガラス系電解質の低コスト製造プロセス
	Oak Ridge国立研究所	ガラス系電解質及び低コストセル化技術
	24M	Roll-to-Roll法で製造可能な有機・無機固体電解質の保護層を設置したLi-metal負極電池
	Sila Nanotechnologies	固体電解質を軟化させて正極とセパレーターに接合する製造プロセス
	Ionic Materials	Li-metal負極電池用のポリマー電解質及びポリマー複合体正極
PolyPlus Battery	Li-metal薄膜とガラス系電解質薄膜で構成される電極・セパレータ複合体	
韓 国	韓国エネルギー技術評価院が2012年に策定した「EV用エネルギー貯蔵システムロードマップ」において、全固体LIBをコア技術として掲げ、リチウムイオン伝導固体電解質材料技術や固体電解質/電極界面性能向上技術、全固体LIBの製造技術の研究開発を実施している。	
EU	Horizon 2020のプロジェクト「HS-GLASSion」で、2015年から無機ガラス系固体電解質を用いた薄膜LIBを開発している。	
ドイツ	2016年開始の連邦教育研究省の車載用及び定置用蓄電池向けの電池材料の研究開発プログラム「Batterie 2020」の中で、全固体LIBを開発している。	
中 国	第13次5カ年計画の指針に基づいた国家重点研究開発計画の「新エネ車試行特別プロジェクト」で全固体LIBが重点プログラムの1つに選定、今後研究開発を開始するとしている。	

海外企業における取組

Volkswagen (ドイツ)	硫化物固体電解質の特許を出願している米国Stanford大発のベンチャーQuantamScopeの株式を2015年に取得。
Bosch (ドイツ)	ドライポリマーLi-metal電池を開発している米国シリコンバレーのベンチャーSeeoを2015年に買収。  Seeoのドライポリマー全固体LIB 容量11Ah エネ密度220Wh/kg
Dyson (英国)	米国Michigan大発のベンチャーSakti3を2015年に9,000万ドルで買収。  Sakti3の酸化物系薄膜全固体LIB
Ilika (英国)	半導体プロセスを適用し、6インチウエハー上に全固体LIBを形成する装置を開発したとの報道有り。  Ilikaの酸化物系薄膜全固体LIB サイズ0.1cm 容量250 μAh
Samsung SDI (韓国)	2015年時点で硫化物系全固体LIBのエネルギー密度が300Wh/kgに到達済みで、2025年に商品化する計画を持っているとの報道有り。  Samsung-Japanの硫化物系全固体LIB 容量2Ah エネ密度175Wh/kg

15/53

NEDOの関与の必要性

- ① 業界全体の競争力強化(公共性・汎用性)
- ② 学術成果の産業技術への引き上げ
- ③ 開発リスク・ハードルの高さ
- ④ 関係者間の利害調整
- ⑤ 材料評価技術開発の技術蓄積、マネジメント経験
- ⑥ 蓄電技術開発プロジェクトの一体的マネジメント
- ⑦ 省庁間連携

本プロジェクトはNEDOが関与すべきもの。

16/53

実施の効果

成果(材料評価技術)の産業界への普及・定着

- ①新材料の開発効率向上及び開発期間短縮
- ②材料メーカーの自社開発品の正確なポテンシャル把握
- ③LIBTECによる材料評価のワンストップサービスの提供
- ④我が国蓄電池関連産業の技術力の底上げ



17/53

研究開発目標

プロジェクトのねらい

- ソフトインフラの開発であるため、「何時までに何をするのか」の観点で、「先進LIBは3年間、全固体電池は5年で評価技術を開発する」ことを目標として設定。また、成果(評価技術)に有用性を持たせるため、性能向上効果だけでなく、寿命、安全性・信頼性まで評価可能なものを開発することを目標に掲げた。
- 先進LIB及び全固体電池は現時点で研究開発段階。ベンチマークとなる製品は存在しない。標準材料の選定・調達に始まり、電池構造及び作製プロセスの検討等を経て、寿命、安全性・信頼性まで評価可能な技術を取組み開発し、産業界の共通指標(ものさし)とすることにより、国内の材料・蓄電池メーカーによる市場差別化された製品の実用化を促進させる。

中間目標(H27年度末)

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

最終目標(H29年度末)

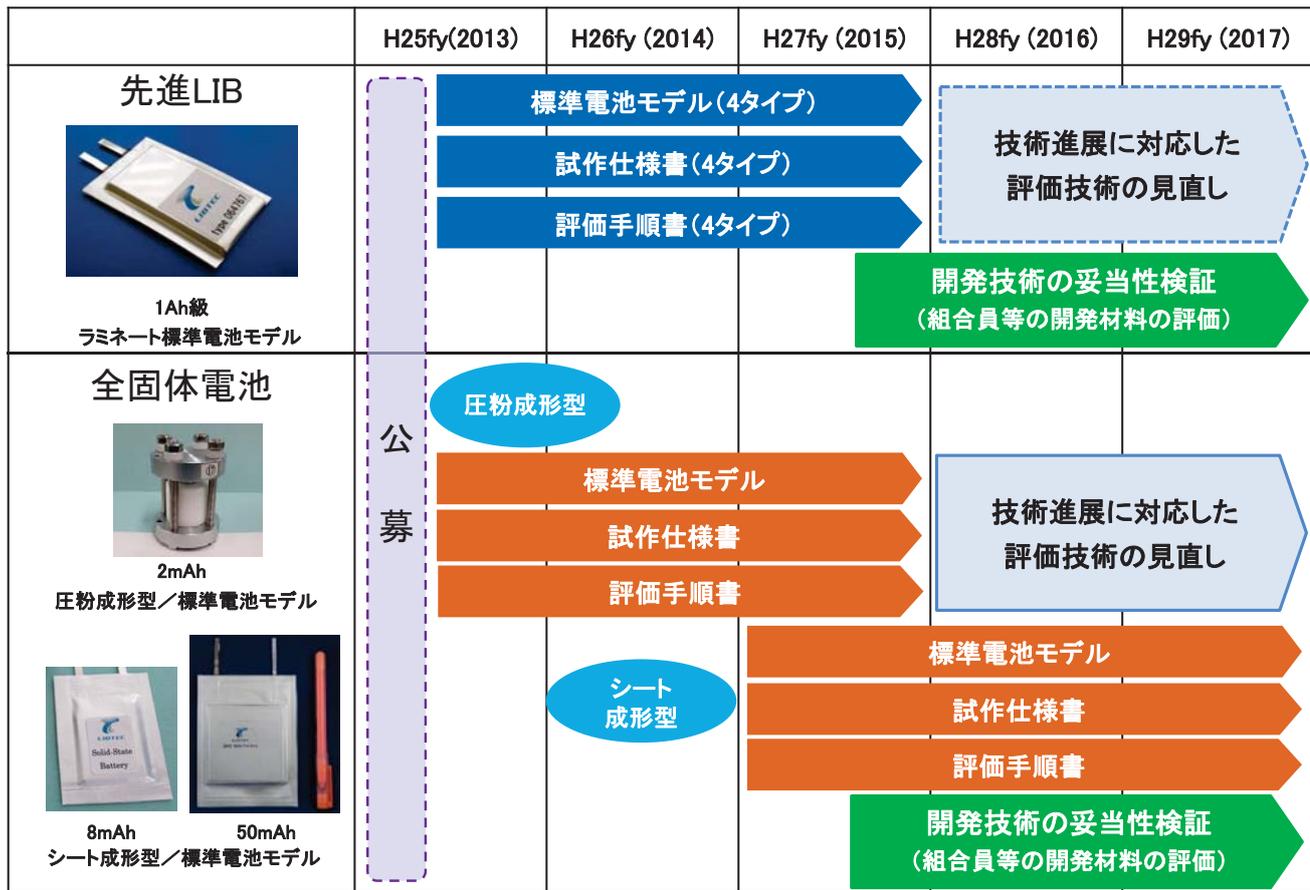
革新電池のうち全固体電池に用いられる新規材料について、初期特性、保存・サイクル劣化等の寿命特性、安全性・信頼性を評価する技術を開発する。また、必要に応じ、先進リチウムイオン電池の材料評価技術について、蓄電池及び電池材料の開発の進展に対応した見直し・追加を行う。

18/53

研究開発スケジュール

▼ 中間評価

▼ 前倒事後評価



19/53

研究開発費

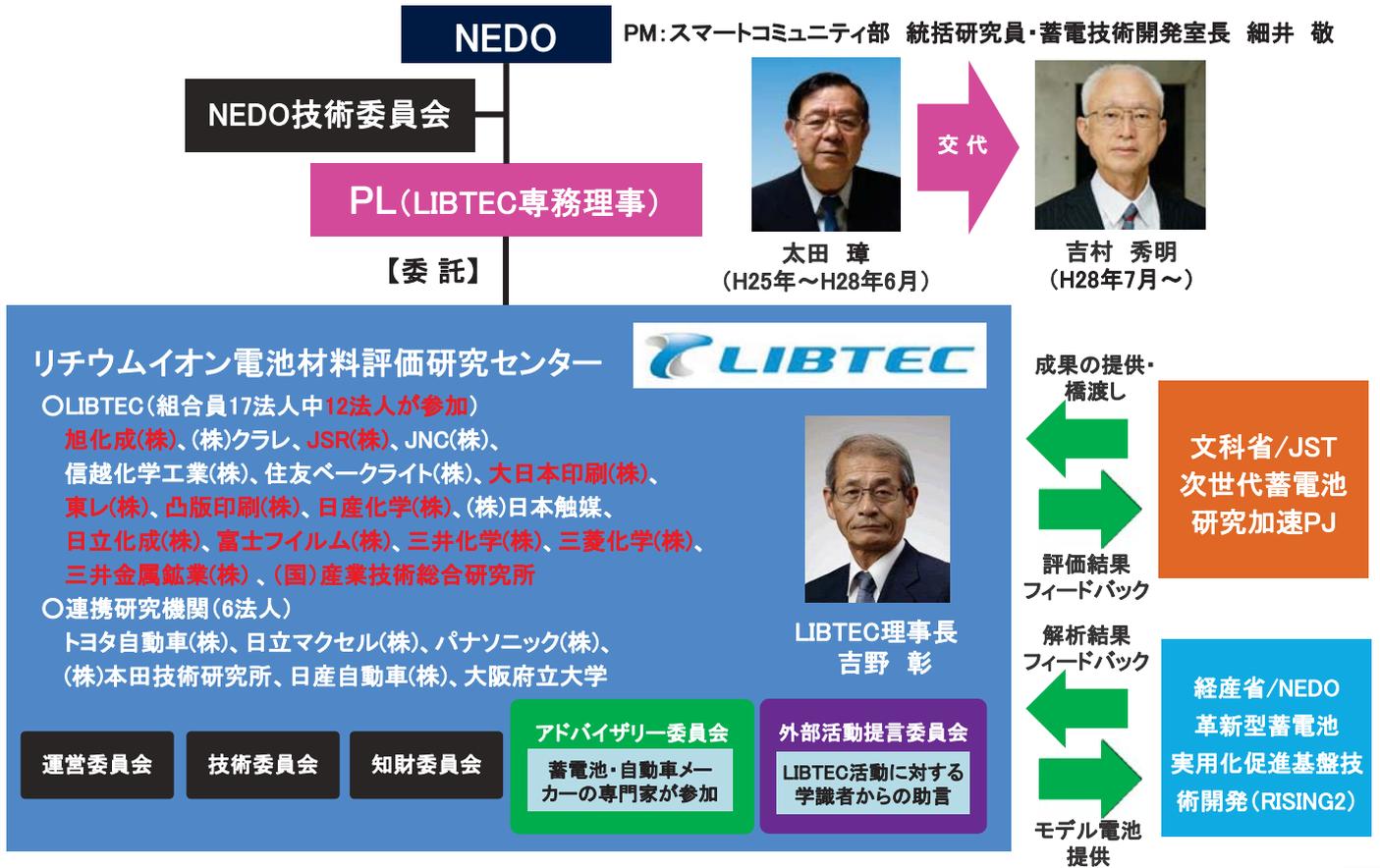
- ▶ 先進LIBの評価技術開発では、「次世代蓄電池材料評価技術開発」(H22～H26年度)で導入した取得した研究開発資産を利活用することを原則として、現象・メカニズム等の理論的裏付けデータを取得するため分析・測定装置を導入。
- ▶ 全固体電池の評価技術開発は新規での実施のため、グローブボックス、圧粉体成形用プレス、正極活物質への電解質コーティング装置、電極・電解質シート塗工装置、塗工装置製造装置等を導入。

(単位:百万円)

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

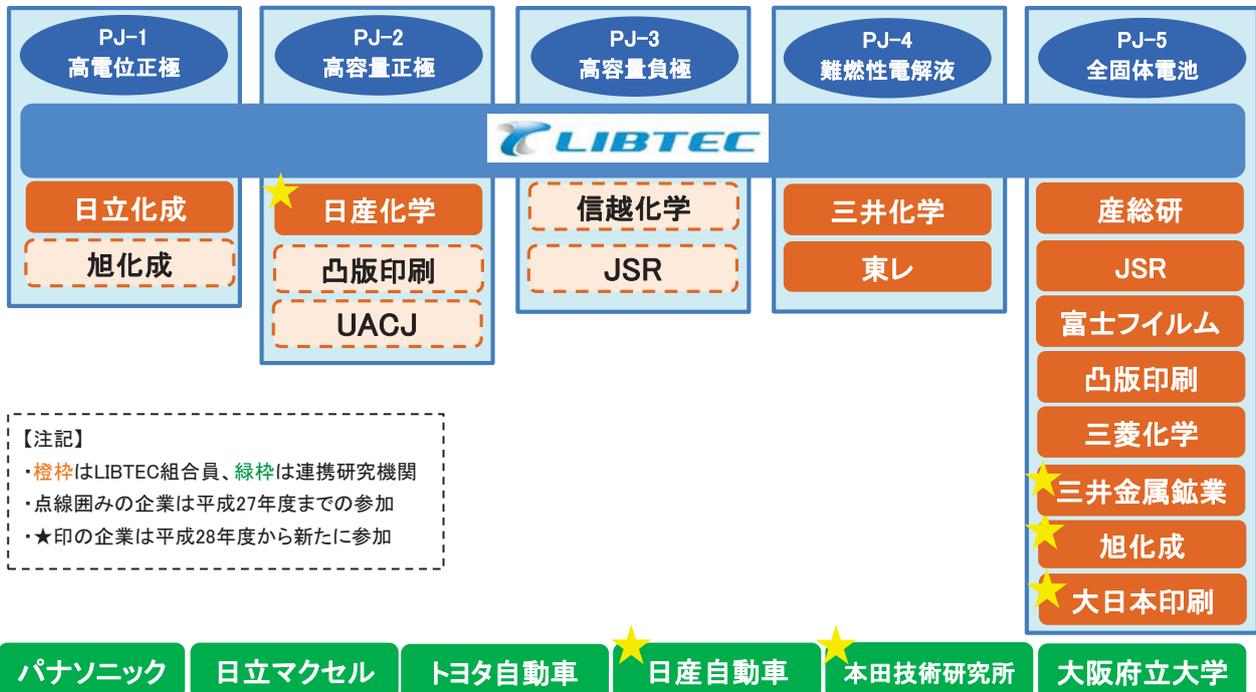
20/53

研究開発の実施体制



個別プロジェクト毎の実施体制

- ▶ 連携研究機関として参画するユーザー企業を増やすことで直接的な関与を拡大し、ユーザー側にとっても有用性ある技術に仕上げる。
- ▶ 全固体電池に関しては、JST・次世代蓄電池研究加速プロジェクト(ALCA-SPRING)に参画する大学・研究機関との連携関係を構築し、同プロジェクトで開発された新材料・技術进行评估。
- ▶ LIBTECに賛助会員制度を新設し、材料メーカーからの新材料サンプルの提供を活性化させ、試作・評価の実績を蓄積し、開発技術の有用性を業界に認知させる。(現時点で、賛助会員9社が新材料サンプルを提供)



進捗管理

NEDO (PM)による進捗管理

- 個別プロジェクト毎に過去の業務経歴も見据えた上で担当者を配置。LIBTEC側の担当者と密に情報・意見交換しながら、助言を行う等のきめ細かいマネジメントを行い、成果の最大化を図った。
 - ① 2～3ヶ月に1回、NEDO担当者がLIBTECを訪問し、研究開発状況や導入設備を確認。
 - ② 1回／半年を目途にLIBTECより研究進捗報告を受けている。
 - ③ LIBTECより、毎月の予算執行状況の報告を受け、研究設備の導入や消耗品の購入状況から研究に遅延が発生していないことを把握。
- 本プロジェクトを対象として、外部有識者で構成される「NEDO技術委員会(蓄電技術開発)」を過去4回、開催。技術的な助言やプロジェクト全体の運営管理に関する助言をもらい、プロジェクト推進部として留意すべきことや追加的に対応すべきこと等の有無を点検した。

LIBTEC(PL)による進捗管理

- LIBTEC内に先進LIBと全固体電池のテーマでPLを補佐する者をそれぞれ置き、さらに5つの個別プロジェクトのリーダーを置く形で、研究開発進捗を管理。
- 毎週のLIBTEC幹部会議で個別プロジェクトの各リーダーが進捗状況をPLに報告。
- 毎月、個別プロジェクト毎にPLに対する報告会を開催。
- 2～3ヶ月に1回、組合員企業も含めた進捗報告会を開催。提供を受けた材料サンプルの特性評価結果の報告、課題の確認、材料サンプル等の提供依頼等を実施。

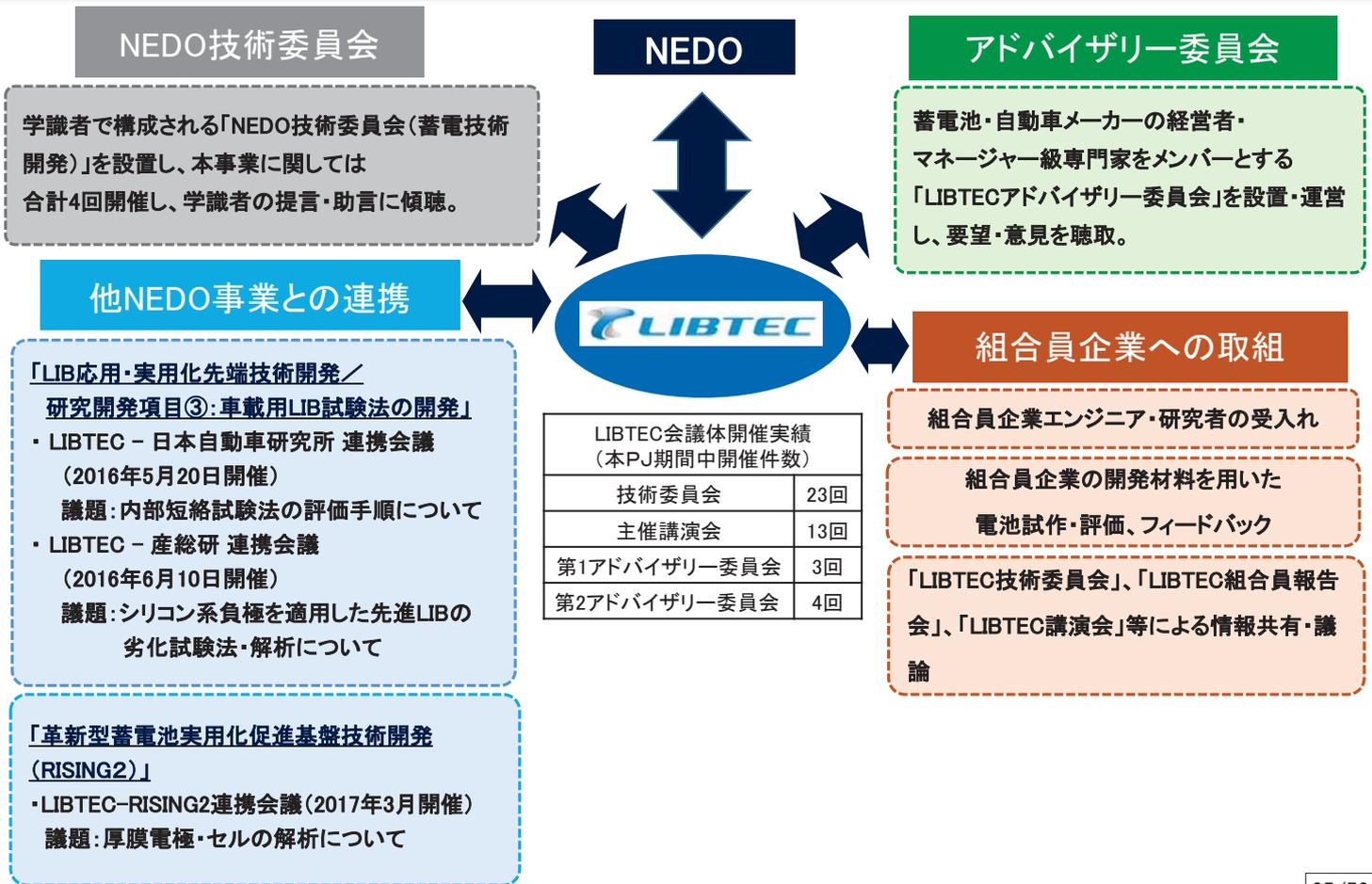
NEDO技術委員会(蓄電技術開発)の開催実績

	開催日	議題	進め方
第3回	2014年3月5日	開発進捗状況	・主に安全性評価試験法の開発について、議論し助言をもらった。
第6回	2015年4月10日	開発進捗状況	・中間目標達成に向けた助言をもらうとともに、プロジェクトの成果を分かり易く整理することが必要であるとの指摘を受けた。
第9回	2016年5月13日	進捗及び今後の進め方	・6人の常任委員に加えて、蓄電池材料や電池解析技術に見識のある有識者4名を非常任委員として招き、開発した評価法の妥当性検証の進め方も含め幅広く助言・意見をもらった。
第13回	2017年4月5日	達成状況	・前倒し事後評価、及び最終目標達成に向けて、開発した評価法の実用化も含めて幅広く助言・意見をもらった。

技術委員会 メンバー構成

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

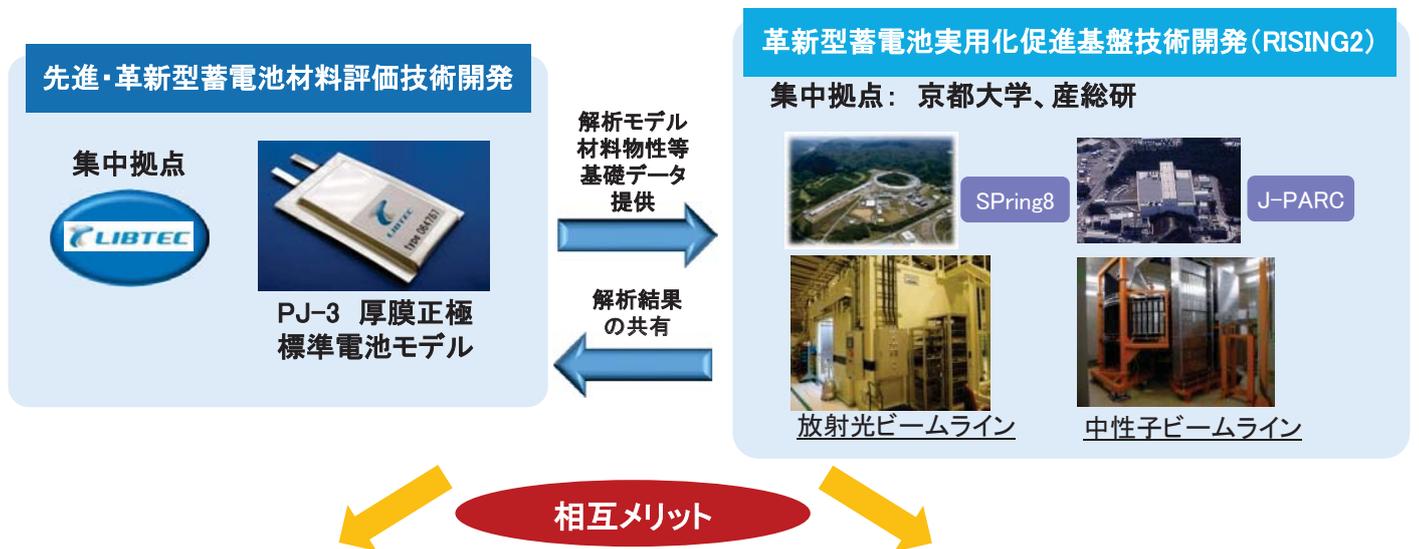
成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対する運営管理



「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2)」との連携

RISING2のスタート当初より連携関係を構築。RISING2の高度解析技術の開発(技術検証)に使用するため、標準電池モデルを2016年9月より提供している。また、「LIBTEC-RISING連携会議」を設置して、提供した標準電池モデルの解析結果の情報共有と意見交換を行っている。

LIBTEC-RISING2連携会議

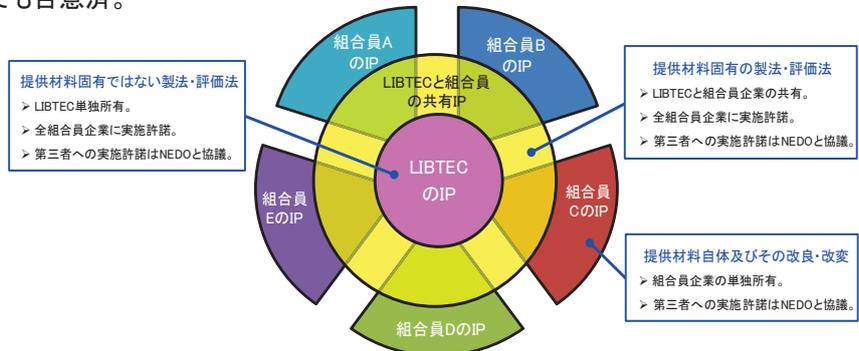


高度解析結果を反映することでメカニズム面に裏打ちされた評価技術となる。

材料・構造・作製プロセス等が明確で品質の安定した標準電池モデルの提供を受けることで、解析技術自体の課題把握及びブラッシュアップが効率的に実施できる。

知財戦略・取扱い合意内容

- 開発成果(材料評価技術)は、国内蓄電池・材料メーカーが市場競争力を有した製品を創出するため研究開発段階で使用するツールであり、フォーラム標準に近い性質を持つ。そのため、ノウハウ(ブラックボックスのクローズ領域)として取り扱い、特許出願やデジュール標準化は行わない方針。
- 「NEDOプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針／運用ガイドライン」に基づき、当該プロジェクトの「知的財産権取扱規定」を策定し、LIBTECの知財委員会で承認済み。
- 知的財産の帰属と実施権は、発明の主題が①組合員の提供した材料サンプル自体(改良・改変も含む)、②材料サンプルに固有の製法・評価法、③材料サンプルに固有ではない製法・評価法の3種類のカテゴリーに分類して設定。
- 秘密漏洩防止、技術情報流出防止に対する対応は以下の通り。
 - ①認証IDによる個別プロジェクト専用居室への入退室許可制
 - ②サンプル・図面、試作仕様書、評価基準書等(電子媒体を含む)の外部持ち出し不可
 - ③社用PC、社外電子メールの監視等
- 秘密保持の取扱いに対しての対応は以下のとおり。
 - ①「情報管理規程」の下での保護(賠償請求有)を基本に研究者個人と守秘契約締結。
 - ②組合員の脱会時の対応についても合意済。



中間評価への対応(1)

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

中間評価への対応(2)

指摘事項	対応
④成果を広く国内の材料産業に普及・活用するためには、LIBTECのノウハウ部分をブラックボックス化して保護すること等により、プロジェクト成果としての材料評価技術を組合員以外のメーカーも活用できる枠組みを検討することが重要と考える。	平成28年度よりLIBTECに「賛助会員制度」を新設した。これにより、組合員以外の材料メーカーからも新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価と評価結果のフィードバックが可能となった。平成28年度に6社、平成29年度(5月末時点)に3社が賛助会員登録を行い、本プロジェクトで開発した材料評価技術を活用している。 なお、守秘義務のある組合員企業と区別する形で、賛助会員に対しては、評価する電池系の簡単な構成の開示と評価結果のみのフィードバックとし、ノウハウが含まれる試作仕様書や性能評価手順書は非開示としている。また、試作したセル・電極等は提供しないこととしている。
⑤作製・プロセスを支配する原理の解明に関しては、スラリーのシミュレーションなど一部に留まっており、より広い展開が望まれる。	プロセス因子に大きく支配される電極内空隙構造のマイクロX線CT観察技術の開発を行った。また、全固体電池に関して、作製プロセスに依存する合剤負極のイオン伝導率の分離解析やシミュレーション技術等の開発を行い、リチウムデンドライト短絡の抑制に繋げている。
⑥海外での企業・国を越えた連携に係る情報を収集し、日本の高い蓄電池技術の維持・発展に貢献するように進めて欲しい。	海外における蓄電池研究開発の動向調査を平成28年度に実施し、本分科会資料の第1章にその内容を反映した。
⑦標準電池製作の仕様書作成が主な目的であると見えるため、材料メーカーへのフィードバックなど、その後の過程が分かり難い。	材料メーカーへのフィードバックは、標準電池モデルでの性能評価結果だけではなく、材料の問題点や改良の方向性を示唆する解析・評価データも提示するようにした。例えば、PJ-5でメーカーから提供を受けたバインダー材料を例に述べると、塗工用スラリーにした際の経時安定性等プロセス要因も含めた評価結果を材料メーカーに提示している。
⑧何をもって「評価手法が妥当である」と言えるのか、そのロジックを明確にして頂きたい。	技術面での妥当性のロジックとしては、相対評価の優劣判定となることから、基準となる標準電池モデルの性能バラツキが小さいことが重要であると考えている。また、材料メーカーの開発への貢献という観点から、上記⑦と同様、材料の問題点や改良の方向性を示唆するデータを得るための個別解析手法もセットで開発した。例えば、Si系負極であれば、dV/dQ電位解析やdT/dQ厚み解析で電極の膨張収縮や充放電モードの差異に着目する等、メカニズム面での解析・解釈にまで踏み込んだ評価技術を開発することとした。

29/53

標準電池モデルの構成

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

30/53

高電位正極(PJ-1)の開発成果と達成度

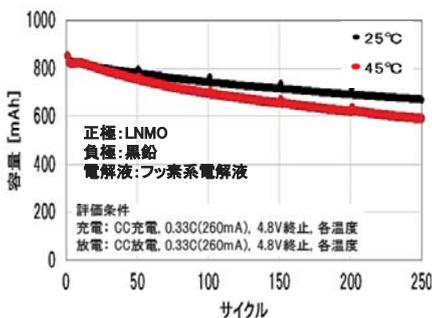
研究開発項目	最終目標 (H29年度末)	成果	達成度
標準電池モデルの策定	・標準電池モデルの策定 ・ガス発生メカニズムの解明	・正極LNMO、天然黒鉛負極、フッ素系溶媒を用いた電解液、PPセパレータの組合せて1Ah級の標準電池モデルを策定。この標準電池モデルは、ガス溜まり及び電池加圧構造によりガス発生の影響を低減。 ・ガス発生について、カーボネート系電解液では、溶媒が正極で酸化分解されてCO/CO ₂ が発生することを確認。大量のH ₂ の発生は放電末期に貴に分極した負極での溶媒の還元分解に起因するとの示唆を得た。フッ素系電解液は正極での反応抑制でガス発生量が大幅に低下することを確認。 ・フッ素系電解液を用いた標準電池モデルの充放電サイクルにおける容量低下の主要因は、正極の容量低下と正負極間のSOCズレであることを明らかにし、電池極板の歪みについては、捲回構造電池の変形前後や積層構造電池において電池特性の差異がないことにより、容量劣化に影響しないことを確認。	◎
標準電池モデルの試作仕様書の策定	電池モデルの試作仕様書の策定	・策定した標準電池モデルについて、量産を想定した試作製仕様書を策定。	○
性能評価手順書の策定	性能評価手順書の策定	・高電位正極電池用性能評価手順書として、民生用途だけでなく、BEV、HEV用途等も策定。 ・非破壊劣化解析法としてdV/dQ解析による電池容量の分解手法の手順書を策定。	◎
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	組合員提供材料による電池試作・評価の目標件数 H28年度: 15件 H29年度: 20件	・開発した評価法を用いた電池試作・評価について、H28年度は目標の15件を大幅に上回る43件のサンプルの評価を実施し、H29年度は6月の時点で6件のサンプルの評価を実施。電解液や正極材等の各種サンプルの評価解析を実施することにより、材料の相対評価が可能なレベルの評価技術であることを確認。	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

高電位正極(PJ-1)の成果の一例

開発内容・成果

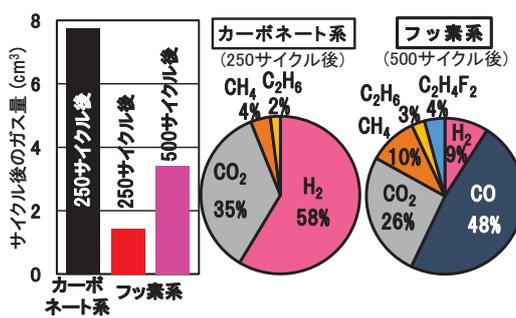
標準電池モデルの策定



■LNMO正極の寿命特性

- 高電圧充電における電解液分解を抑制するため、フッ素系電解液を採用することにより、ガス発生を低減できる標準電池モデルを策定。
- 25℃及び45℃でのサイクル特性では容量の急激な低下のない良好な性能を確認。

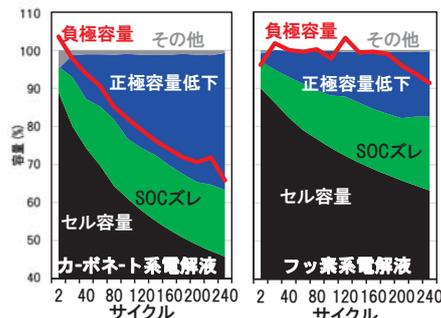
ガス発生メカニズムの解明



■サイクル試験後のガス発生量とガス分析結果

- ガス発生について、カーボネート系電解液では、溶媒が正極で酸化分解されてCO/CO₂が発生することを確認。大量のH₂の発生は放電末期に貴に分極した負極での溶媒の還元分解に起因するとの示唆を得た。フッ素系電解液は正極での反応抑制でガス発生量が大幅に低下することを確認。

dV/dQ劣化解析法の開発



■dV/dQ解析による劣化評価結果

- 非破壊で容量低下の分析が可能なdV/dQ解析を適用し、正極及び負極の容量低下、及び正負極間のSOCズレに分解できる手法を見出した。カーボネート系電解液では発生ガスの滞留に起因すると推定される正負極で同調した容量低下が顕著であり、フッ素系電解液ではこれが大幅に改善されることが判明。

今後の課題と取り組み

- 電池試作・評価として平成29年度は20件のサンプル評価を予定(6月の時点で6件の評価を実施)。
- 高電圧電池に向けた電解液関係の材料評価依頼が多く、その寿命性能低下要因分析に適するdV/dQ解析技術について、その検証過程で得られる知見を活用して、劣化解析法のブラッシュアップに取り組み、評価手順書の更新を実施する。

高電圧正極(PJ-2)の開発成果と達成度

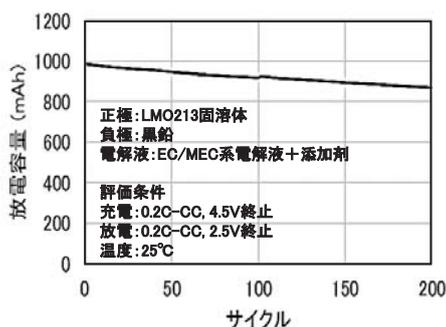
研究開発項目	最終目標 (H29年度末)	成果	達成度
標準電池モデルの策定	<ul style="list-style-type: none"> 標準電池モデルの策定 放電後半の電圧低下のメカニズムを解明 サイクル劣化抑制技術の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 213固溶体正極と、天然黒鉛負極、添加剤含有電解液、PPセパレータの組合せで1Ah級の標準電池モデルを策定。 初回充電における高容量発現機構について、格子酸素(O²⁻)が高容量に大きく寄与することを明らかにした。この知見に基づき、初回充電電圧4.5V、電流値0.05 Cで容量規制充電を行うこ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

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

高容量正極(PJ-2)の成果の一例

開発内容・成果

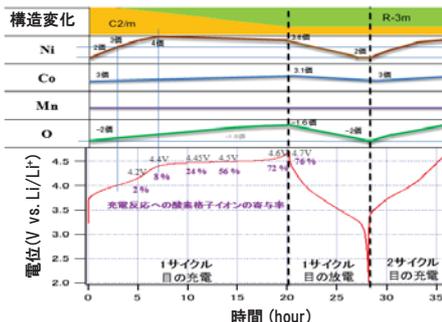
標準電池モデルの策定



■213固溶体正極の寿命特性

- 高容量を発現させるため、4.5V及び0.05C低レート・容量規制充電による充放電を繰り返す前処理条件を見出し、電解液への金属溶出を抑制するため、電解液に添加剤を用いた標準電池モデルを策定した。
- 25°Cにおけるサイクル特性の評価の結果、良好な寿命特性を確認した。

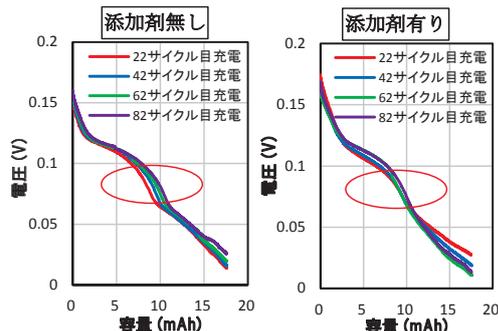
高容量発現メカニズムの解明



■初回充電における正極構成元素の価数変化

- 高容量を発現するためには高電圧・低レート充電条件で前処理を行う必要があるが、その要因を解明するため、正極の構成元素の価数変化をX線吸光分析法で解析した。その結果、格子酸素(O²⁻)の価数の変化が観測され、格子酸素が高容量化に大きく寄与していることが判明した。

三極式電池での劣化解析法の開発



■三極式電池による負極充電曲線

- 電解液への添加剤の有無によるサイクル特性の差異を検討するため、三極式小型電池による負極の充電曲線を測定した。添加剤無しではサイクル毎に充電曲線が充電側にシフトし、電池の放電末期のSOCが徐々に低下する正負極間のSOCズレの進行が観測されたが、添加剤有りでは、この現象が抑制されることを確認した。

今後の課題と取り組み

- 電池試作・評価として平成29年度は10件サンプル評価を予定(6月の時点で4件の評価を実施)。
- 高容量正極電池に向けた電解液関係の材料評価において、寿命劣化の早期診断が可能な三極式小型ラミネート電池を用いる評価技術が有効であり、その検証の過程で得られる知見を活用して、劣化解析法のブラッシュアップに取り組み、評価手順書の更新を実施する。

高容量負極(PJ-3)の開発成果と達成度

研究開発項目	最終目標 (H29年度末)	成果	達成度
標準電池モデルの策定	SiO系負極モデルと厚膜電極モデルを策定。厚膜電極は下記の仕様を策定。 H28年度: 6.5mAh/cm ² H29年度: 8.0mAh/cm ²	・サイクル評価まで可能なLFP/SiO-黒鉛混合、NCA/SiO-黒鉛混合の各モデルと、6.5mAh/cm ² と8.0mAh/cm ² の厚膜電極モデルを策定した。 ・SiO比率を30%に高めて、高容量負極用に開発された新材料を耐久性まで含めて評価可能となった。	◎
標準電池モデルの試作仕様書の策定	SiO系負極電池モデルと厚膜電極電池モデルの仕様書を策定。	・SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル(6.5mAh/cm ² と8.0mAh/cm ²)の仕様書を策定し、試作評価が可能となった。 ・負極の精密評価用擬似ハーフセルや、SiO含有率負極での加速評価用モデル、フルセル評価モデル(高出力型、高容量型)の試作仕様書を策定した。	○
性能評価手順書の策定	SiO系負極電池モデルと厚膜電極電池モデルの評価手順書を策定。	・SiO-黒鉛混合負極モデルと厚膜電極モデル用の評価手順書を策定し、電池性能評価が可能となった。 ・ダイコーターを使用した厚膜電極塗工や電極のイオン伝導率・曲路率の測定、共焦点顕微鏡を用いた電極断面のオペランド観察、電極の膨張収縮変化の超精密測定などの評価法についても策定した。	○
新材料サンプルの受入れと電池試作・評価	組合員内外の材料を評価し妥当性を検証する。 H28年度: 15件 H29年度: 15件	・H29年6月までに合計目標件数を上回る67件の材料評価を実施し、高容量負極用の材料評価法の妥当性を検証した。 ・電位平坦性の高いLFP正極を使った擬似ハーフセルモデルは、SiO負極の挙動を精密評価できる長所により、全評価の8割を超える利用があり、有効な評価法であることを確認できた。 ・厚膜電極モデルはH28年度末の策定後、電解液評価を中心に評価件数が増加している。	○

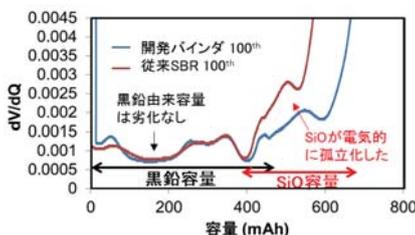
◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

高容量負極(PJ-3)の成果の一例

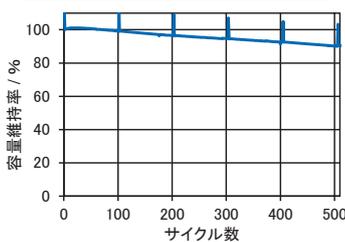
開発内容・成果

標準モデルの策定

- ・SiOと黒鉛の反応電位の違いを利用したdV/dQ解析により、黒鉛とSiOの劣化を分離する手法を開発。
- ・開発バインダの効果確認等にもdV/dQ解析を活用し、標準電池モデルの負極の最適化を図った。



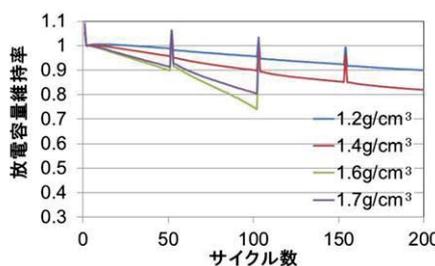
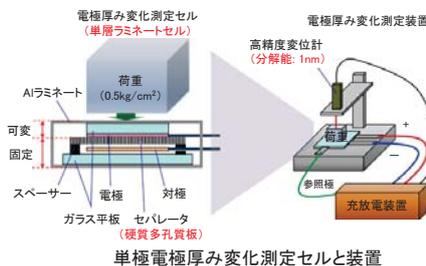
従来SBRと開発バインダーのdV/dQ比較



LFP/SiO(30%)系標準電池モデルのサイクル特性

評価法の策定

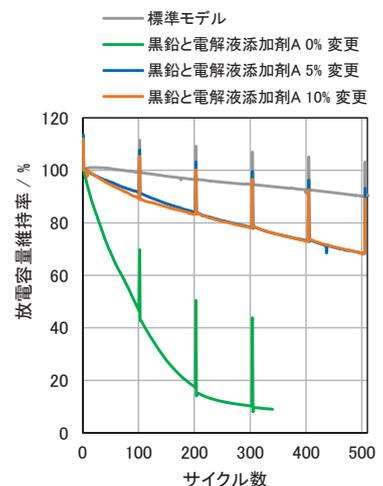
- ・ラミセル内のSiO-黒鉛混合負極単極の膨張収縮挙動を1nmの高分解能でオペランドで評価できる新規の測定法を開発。
- ・電極密度が小さい方ほど充電後の膨張率が小さく抑えられる傾向を把握し、サイクル特性良好なプレス条件を設定。



SiO(10%)負極のプレス密度によるサイクル特性

新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

- ・LFP/SiO(30%)系標準モデルを用いて、添加黒鉛と電解液添加剤を開発材料に置き換えて相対評価を行った。
- ・評価結果を材料メーカーへフィードバックした。劣化メカニズムについても議論。



標準モデルを用いた黒鉛と電解液添加剤の検証例

今後の課題と取り組み

- 平成29年度に策定したSiO-黒鉛混合負極と厚膜正極とを組み合わせた標準電池モデルに関連する評価法の仕上げや精度向上を図る。
- 共焦点顕微鏡を用いた厚膜電極内反応分布のオペランド観察手法や厚み変化測定法をSiO-黒鉛混合負極に適用した検討を行い、8.0mAh/cm²モデルの完成度を高める。また、厚膜負極中のSiO含有率を30%に高めた標準モデルの完成度を高める。

難燃性電解液(PJ-4)の開発成果と達成度

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

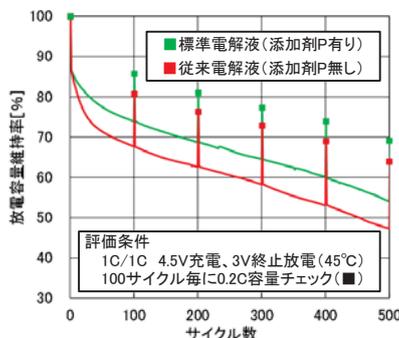
◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

難燃性電解液 (PJ-4)の成果の一例

開発内容・成果

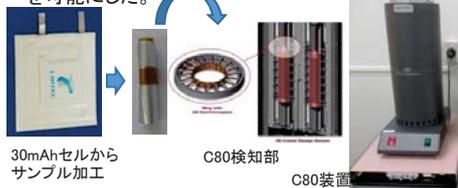
標準モデルの策定

- 高電圧・高容量材料を用いた電池評価のため、4.5V級LCO正極、人造黒鉛MAG負極を用いた標準電池モデルを策定した。
- 電解液には、良好なサイクル特性が得られた添加剤P入り電解液を採用した。



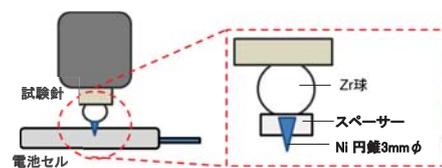
評価法の策定

- 電池材料及び電池の熱特性評価のため、ARC(暴走反応熱量計)、C80(カルベ型熱量計)などの評価技術を確立した。
- C80では30mAh級の小形ラミネート電池から取り出した電池構成部分を筒状に巻き加工したものを評価サンプルとする工夫により、発熱挙動の評価を可能にした。



カルベ型熱量計C80による小形ラミネート電池評価

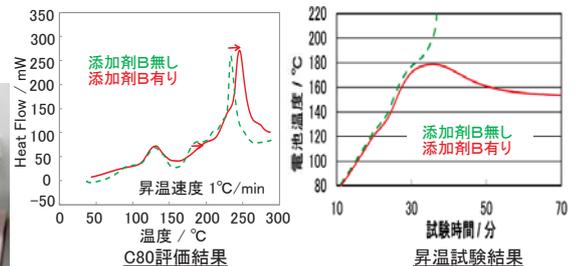
- ミツパチネイル短絡試験評価は、Ni円錐とスペーサをZr球に取付けた評価治具を開発し、電極対1層短絡を再現よく実現できる評価を可能にした。



ミツパチネイル評価治具の模式図

新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

- 添加剤B有りの電解液では、C80を用いた評価で発熱ピークが13°C高温側にシフトした。150°C昇温試験の結果と対応しており、評価法として妥当なことが確認できた。



- ミツパチネイル短絡試験法は、1層短絡を実現出来る短絡時の耐熱安全性評価法として妥当なことが確認できた。

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

今後の課題と取り組み

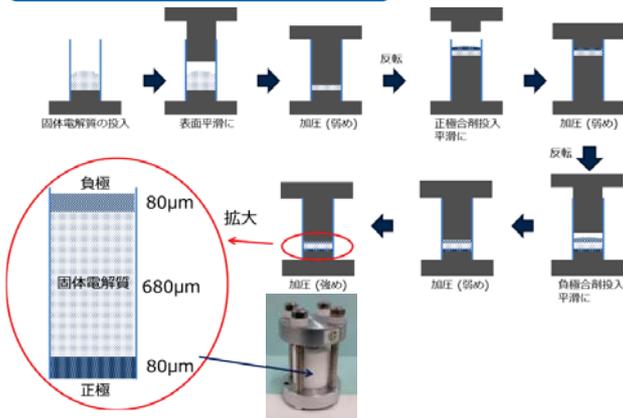
- 安全性の基礎となる昇温系の材料評価において、標準ラミネート電池ARC評価、C80小形ラミネート電池評価を中心に多数の材料サンプル評価を実施し、評価法に改善が必要であれば反映させて完成度を高める。
- 強制内部短絡試験を代替可能なミツパチネイル短絡試験評価についても、評価実施の中で課題を抽出し、必要があれば改良を進める。

全固体電池(PJ-5)の開発目標の達成度

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

全固体電池(PJ-5)の成果の一例 (1)

圧粉体成形電池の作製プロセス

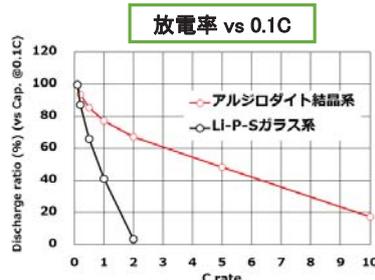
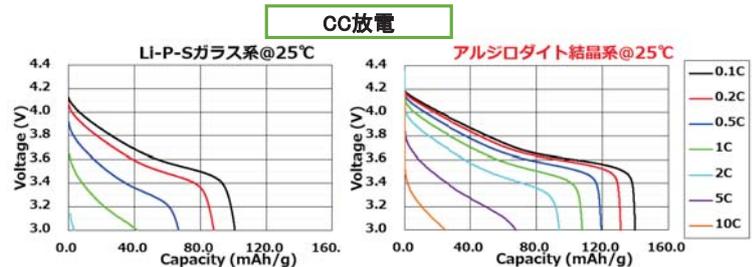


圧粉体成形標準電池モデルの仕様

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

圧粉体成形標準電池モデルによる材料評価

- 圧粉体標準電池モデルを用いた材料評価として、イオン伝導度の高い固体電解質の新規材料(アルジロナイト結晶系)を標準電池モデルに組み入れ、性能評価を行い、性能向上を確認。
- 新規材料を新たに標準電池モデルへ適用。

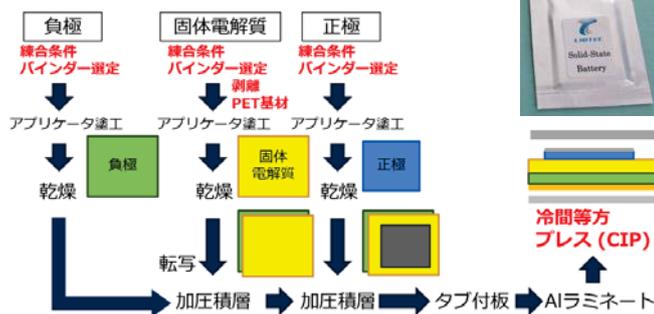


	イオン伝導度 (S/cm)
Li-P-Sガラス系	5.0 × 10 ⁻⁴
アルジロナイト結晶系	3.0 × 10 ⁻³

圧粉体成形標準電池モデルは、全固体電池に用いる材料自体のポテンシャルを直接評価することが可能で、新規材料の1次スクリーニングに活用できるモデルとなっている。

全固体電池(PJ-5)の成果の一例 (2)

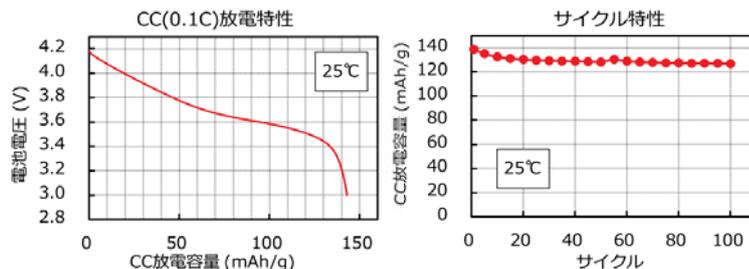
シート成形電池の作製プロセス



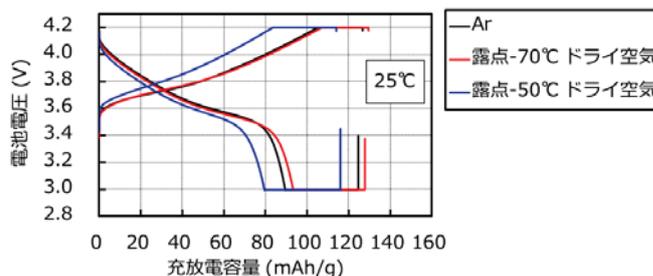
8mAhシート成形標準電池モデルの仕様

容量	8mAh	
形状	正方形	
寸法	ラミネート包材: 40×40mm 正極: 20×20mm(電極面積 4cm ²) 負極、電解質: 30×30mm	
特性評価時の拘束圧力	2,000kg/cm ²	
材料	正極	活物質: NCM523 (LiNbO ₃ 被覆品) 電解質: アルジロダイト結晶系 平均粒径2 μm バインダー: ゴム系
	負極	活物質: 人造黒鉛 電解質: アルジロダイト結晶系 平均粒径2 μm バインダー: ゴム系
	電解質	アルジロダイト結晶系 平均粒径2 μm バインダー: ゴム系
	集電体	正極: SUS箔、負極: Al箔

8mAhシート成形標準電池モデルの性能評価



8mAhシート成形標準電池モデルは、100サイクルレベルでも急激な容量低下は見られず、全固体電池の材料評価が可能なモデル。25°CでもLiデンドライト析出による短絡も認められないモデルとなっている。



露点-70°Cドライ空気環境で試作しても、Arガス環境で試作した場合と同等性能であることを確認。策定した標準電池モデルはプロセス環境の影響評価も可能なモデルである。

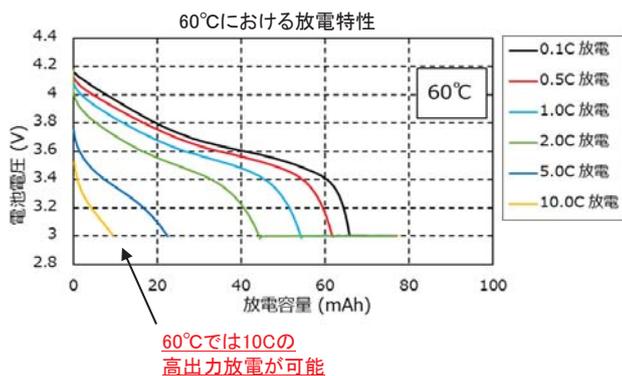
全固体電池(PJ-5)の成果の一例 (3)

50mAhシート成形標準電池モデルの仕様

容量	50mAh
形状	正方形
寸法	ラミネート包材: 100×106mm 正極: 66×66mm(電極面積 43.56cm ²) 負極、電解質: 70×70mm
特性評価時の拘束圧力	207kg/cm ²
材料	8mAhシート成形標準電池モデルと同じ



50mAhシート成形標準電池モデルの性能

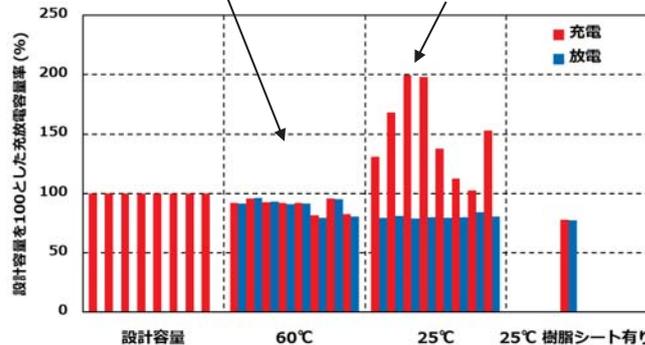


60°Cでは10Cの高出力放電が可能

大面積化した50mAhシート成形標準電池モデルは、60°Cでは充放電可能で、材料やプロセスの評価が可能。

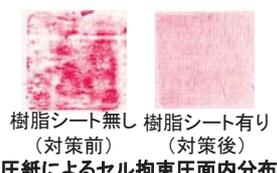
50mAhシート成形標準電池モデルの改良

60°Cでは、Liデンドライトショートは発生せず、高い充放電効率を維持
25°Cでは、Liデンドライトショートが発生し、充放電効率が低下
⇒大面積化に伴い、合剤電極内部構造(空隙・厚み)の面内不均一性が增大し、負極イオン伝導度に面内分布が生じることで充電電流が集中したためと推定



対策内容

セル充放電時の拘束加圧面に緩衝層として弾性のある樹脂シートを挿入、拘束圧力の面内分散による均一化を図つた。
感圧紙によるセル拘束圧面内分布



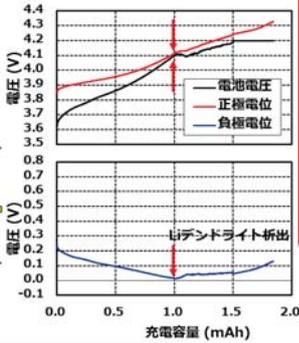
25°Cでも、充放電効率の低下は見られず、Liデンドライト短絡が25°Cでも抑制

面内不均一性低減のため、セル拘束圧力の面内均一化の効果を検証。拘束圧力の面内均一性の向上に伴い、25°Cにおいても、Liデンドライト析出による短絡が抑制されたと考えられる。N増し検証を継続する。

全固体電池(PJ-5)の成果の一例 (4)

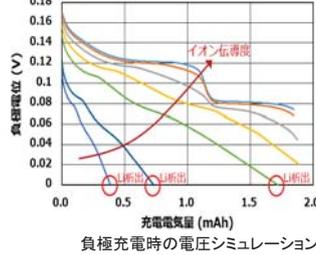
全固体電池の参照極を用いたLi析出検出

電池にCuの細線を参照極として組み合わせて、正極/負極の充電曲線を分離し負極電位ゼロ(=Li析出)を検知することで、Li析出がどの段階で発生するかを把握することが可能



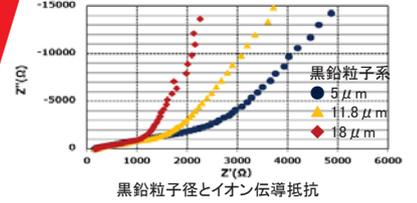
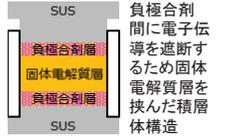
Li析出シミュレーション

Li析出を検出可能な負極電位を分離計測する技術に加え、シミュレーション計算する技術を開発。
下図は塗工負極内のイオン伝導度が基準値以下になるとLi析出することを示す。



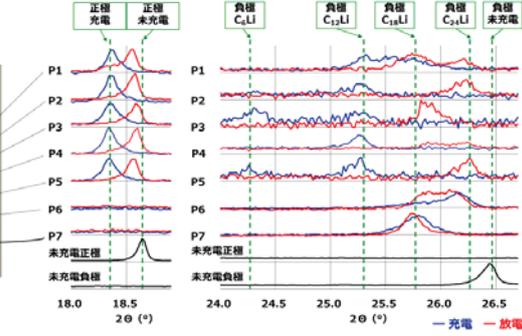
負極内イオン伝導分離測定

塗工負極内のイオン伝導を電子伝導と分離測定する技術を開発。
下図は黒鉛粒径増加に伴い、負極内部のイオン伝導抵抗が低減している結果で、Li析出が抑制する方向と考えている。



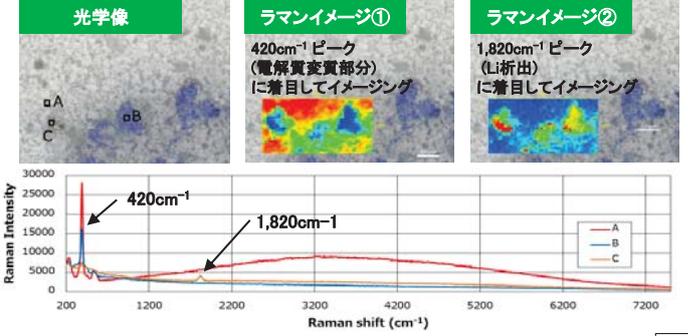
シート成形電池の面内反応分布解析技術

高出力X線回折装置を用いたフルセルの充放電反応の面内分布をオペランドで評価可能な技術を開発。



Liデンドライトの直接観察技術

セルを解体して、ラマン面内イメージングにより、Liデンドライトの直接観測を可能化。



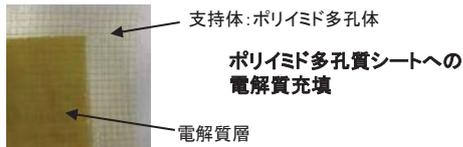
全固体電池(PJ-5)の成果の一例 (5)

ALCA-SPRINGプロジェクトの全固体電池チームの成果(サンプル)を受け入れて、電池試作・評価を行って、有望材料・技術3件を見出した。

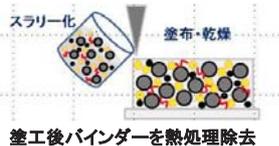
① 液相法による電解質コート技術



② 電解質を充填した多孔質樹脂シート

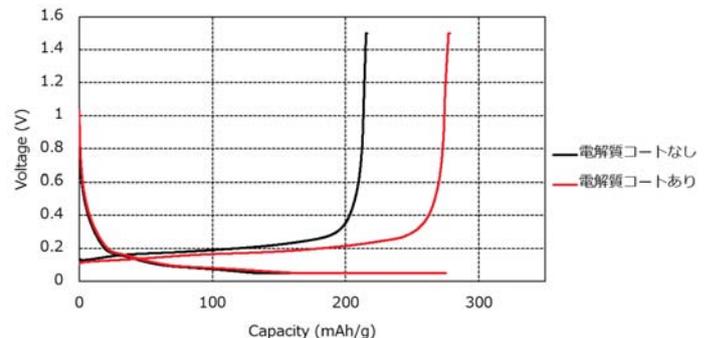


③ 熱分解性バインダー



液相法による電解質コート技術の成果例

硫化物固体電解質の液相合成技術の提供を受け、その工程で得られる固体電解質溶液に活物質粒子を浸漬・加熱して、液相法で硫化物電解質コートした活物質材料の評価を進めた。
下図に、負極活物質である人造黒鉛に電解質をコーティングすることで、コーティングしない場合よりもハーフセル試験で高容量が得られる結果を示した。合剤負極内において人造黒鉛と電解質との均一界面が形成されたためと考えられる。
負極活物質と電解質との均一な界面形成は合剤負極内部でのイオン伝導の面内均一化にも有効で、Liデンドライト析出短絡の抑制が期待できる。



人造黒鉛負極のハーフセルにおける充放電カーブ (液相法電解質コート有無の比較)

成果の普及と知的財産確保に向けた取組

NEDOによる情報発信実績

No.	発表年月日	発表媒体	発表形態	発表タイトル
1	2014年10月3日	CEATEC JAPAN2013/第10回JEITA電子材料セミナー	講演	NEDOにおける蓄電技術開発
2	2014年10月3日	近化電池セミナー	講演	次世代蓄電技術開発の現状、課題とその先へ
3	2014年11月29日	「おかやま電池関連技術研究会」第3回技術セミナー	講演	NEDOにおける次世代蓄電技術開発
4	2014年1月24日	日本電気化学会/電気化学セミナー	講演	NEDOにおける蓄電技術開発
5	2014年11月19日	第55回電池討論会	講演	NEDOにおける次世代蓄電技術開発
6	2014年12月11日	豊橋技術科学大学・未来ビークルシティリサーチセンターシンポジウム	講演	NEDOにおける次世代蓄電技術開発
7	2014年12月	シーエムシー出版/「蓄電デバイスの今後の展開と電解液の研究開発」	寄稿	NEDOにおける次世代蓄電池の研究開発計画
8	2015年1月21日	日本電気化学会/電気化学セミナー	講演	NEDOにおけるスマートコミュニティ海外実証と次世代蓄電技術開発
9	2015年11月	シーエムシー出版/ナトリウムイオン二次電池の開発と二次電池の市場展望	寄稿	NEDOにおける次世代蓄電技術開発の状況
10	2016年6月21日	日本電気化学会/電気化学セミナー・最先端電池技術2016	講演	NEDOにおける次世代蓄電技術開発とスマートコミュニティ海外実証
11	2016年9月32日	EVEX(EV・PHV普及活用技術展)セミナー	講演	NEDOにおける蓄電技術開発
12	2016年11月17日	近畿化学協会/近化電池セミナー	講演	NEDOにおける蓄電技術開発
13	2017年1月19日	日本電気化学会/電気化学セミナー・最先端電池技術2017	講演	NEDOにおける次世代蓄電技術開発

知的財産確保に向けた取り組み

LIBTECは、NEDO助成事業「次世代蓄電池材料評価技術開発」(2010-2014年度)の成果を活用し、現行LIBの材料評価を自主事業化しており、その中でLIBTECの評価結果を用いて組合員企業が出願した材料の特許は約90件。今後は、本事業の成果も自主事業化を図ることで、本事業で開発した評価法を活用した先進LIB・全固体電池材料の特許出願が期待できる。

評価技術に関する知財は、戦略に沿ったノウハウ化(ドキュメント化)を進めた。

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	合計
特許出願			2	1		3
研究発表講演		3	12	5		20
受賞実績				1		1
新聞・雑誌掲載				2		2
展示会出展			3	1		4

45/53

成果の実用化の考え方(定義)と戦略

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)

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

成果の実用化に向けた戦略

- 開発した評価技術の有用性を、材料メーカーとユーザー企業(蓄電池・自動車メーカー)の双方に認知させる。そのため、プロジェクト期間中より、双方と開発内容・状況等の情報をタイムリーに共有する。また、評価技術の開発にユーザー企業が直接的に関与する。
- 材料メーカーの新材料サンプルを数多く入手し、電池試作・評価の実績を蓄積する。また、評価結果のフィードバックに際しては、標準電池モデルとの相対評価結果の提示だけでなく、何故、そのような結果が得られるのかの現象・メカニズムの裏付けデータも併せて提示。
- 技術面以外にも、ドキュメント類の分かり易さ、秘密漏洩・技術流出防止に対する配慮等も含めて、「LIBTECの評価に基づくデータであれば信頼して使用できる。」という認識をプロジェクト期間中より業界全体に浸透させる。

46/53

実用化に向けた取組 ～材料メーカーに対するアクション①～

研究開発状況の情報共有

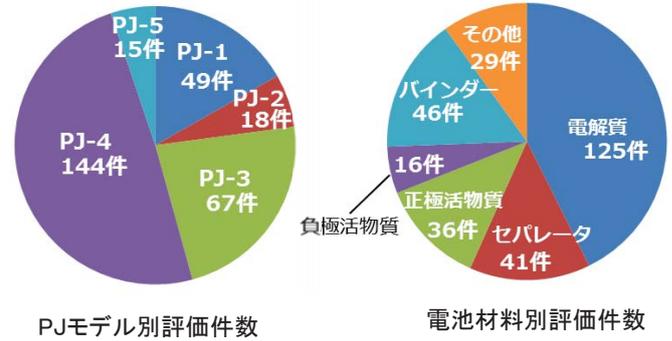
「LIBTEC技術委員会」をタイムリーに開催し、組合員企業に対して評価技術の開発進捗、提供サンプル材料を用いた電池試作・評価の状況を報告。

新材料サンプルの受入れと電池試作・評価

- 「LIBTEC技術委員会」において、材料メーカー16社に新材料サンプルの積極的な提供を呼び掛け。
- LIBTEC組合員以外の材料メーカーからも新材料サンプルを受け入れるため、H28年度より「賛助会員制度」を新設して9社が加入。
- H29年6月時点での電池試作・評価の実績は293件。目標として設定した3倍以上の評価依頼を受けており、開発した評価技術の有用性が材料メーカーに認知されている。

開発技術を適用した電池試作・評価件数

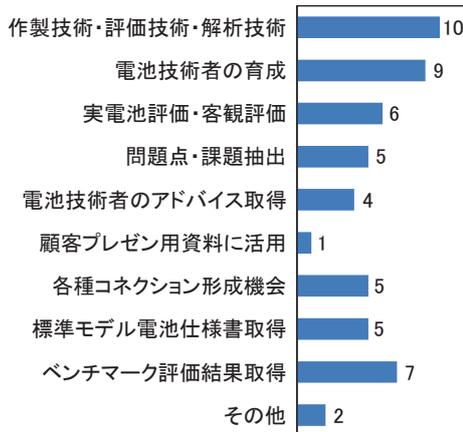
	H28年度	H29年度 (6月末時点)	合計 (モデル別)
PJ-1 モデル	43件	6件	49件
PJ-2 モデル	14件	4件	18件
PJ-3 モデル	44件	23件	67件
PJ-4 モデル	96件	48件	144件
PJ-5 モデル	15件	0件	15件
合計	212件	81件	293件



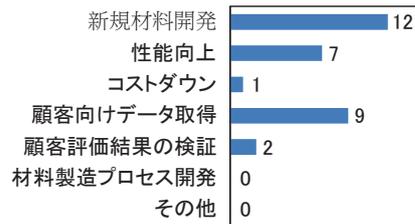
実用化に向けた取組 ～材料メーカーに対するアクション②～

材料サンプル提供者(16社)に対するアンケート調査

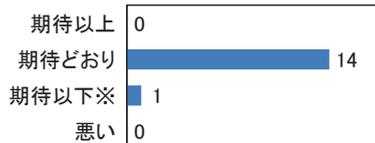
①プロジェクトに参加し得られた成果



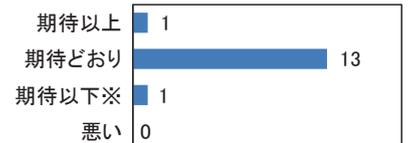
②評価の目的



③開発の方向性判断



④総合評価



※ 思わしい評価結果が得られなかったサンプル提供者からの回答。ただし、非常に役に立っているとのコメントあり。

材料サンプル提供者に対するヒアリング

- ① 評価手順書等は、自社の研究開発を進める上で大変参考になっている。
- ② 自社の評価では入社が困難な標準材料との組合せで特性評価ができ、参考となる。
- ③ 標準電池モデルによる評価で、ガス発生の問題点・影響を明確にすることができた。
- ④ 各種評価や解析技術について、今後の材料開発を進める上で有効な知見が得られる。
- ⑤ サンプル提供した材料の技術確立と事業化について社内で承認された。特許出願で社内表彰。
- ⑥ 評価結果は客観的データとして、自動車・蓄電池メーカーへの提案用として活用している。
- ⑦ LIBTECの対応が良く、滞りなく物事を進めることができた。(複数社からの回答)
- ⑧ 賛助会員制度を有効活用している。

事業化判断・開発方針策定に活用
..... 12社
顧客への提案に活用..... 9社

実用化に向けた取組 ～ユーザー企業に対するアクション①～

- ▶ 蓄電池・自動車メーカー14社の専門家で構成される「LIBTECアドバイザリー委員会」を定期的で開催し、開発進捗・成果に対する指摘・助言をすくい上げながら研究開発を進めた。
- ▶ 連携研究機関として蓄電池・自動車メーカー5社が参加し、研究開発に直接関与。ユーザー企業の知見・ニーズを取り入れた評価法を開発。

アドバイザリー委員会の主な指摘事項と対応

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

49/53

実用化に向けた取組 ～ユーザー企業に対するアクション②～

H29年5月及び6月に「LIBTECアドバイザリー委員会」を開催し、過去4年間の成果を一括とりまとめて報告し、開発した評価技術に対する率直な評価や今後の展開について意見を聴取した。その結果を以下に示す。

- ① 液系LIBの標準電池モデルは蓄電池メーカーの実用化開発に近いレベル。また、Si系負極厚み計測手法は優れている。【蓄電池メーカー】
- ② dV/dQ解析は自社でもやっているが、十分に活用されており、感心した。【車載用蓄電池メーカー】
- ③ 開発したdV/dQ解析法から得られるデータには様々な情報が含まれ、蓄電池メーカーが行っている種々の材料評価法の代替となる可能性がある。【蓄電池メーカー】
- ④ 液系LIB、全固体電池ともにバックグラウンドで学際的に綿密な検討をされており、データの信頼性は高い。【自動車メーカー】
- ⑤ 全固体電池の性能向上について良く考えて取り組んでおり、今後の発展が期待できる。全固体電池では界面の評価が特に重要であるが、この部分でも良く検討し、きっちり評価している。【蓄電池メーカー2社】
- ⑥ 個別評価法には高度のノウハウが含まれる一方で、難易度が高く習熟に時間が掛かるものもある。材料メーカーは時間軸が大切なので、難易度を克服するアドバイスを行って欲しい。さらに、簡略化された評価法の提案に期待。【蓄電池メーカー2社】
- ⑦ 研究設備が研究開発の目的に沿ってタイムリーに導入され、また非常に良く整備。【蓄電池メーカー2社、車載蓄電池メーカー】
- ⑧ 蓄電池メーカーでも電池の試作・評価は重要なテーマであり、電池特性を精度良く評価するサポート部署が大切。そういう意味でLIBTECは良く活動している。【蓄電池メーカー】
- ⑨ LIBTECは蓄電池メーカーと協力して信頼性のあるデータを出しており、安心できる。また、運営も順調。【車載用蓄電池メーカー】
- ⑩ 材料メーカーよりLIBTECで評価した材料の提案を受ける機会が増加。社内でも事前評価無しで材料サンプルが持ち込まれることがあるが、LIBTECで事前評価が受けられると有り難い。そういう意味で賛助会員制度をスタートしたのは良い。LIBTECのアドバイスを受けた材料メーカーの材料であれば、蓄電池メーカーも安心した評価が可能。【蓄電池メーカー】
- ⑪ 材料評価の内容はアプリケーションに対応させる必要があり、蓄電池・自動車メーカー等が評価条件を開示しないとできない面もあるので、今後はユーザー企業と更に連携を深めていくことが望ましい。【蓄電池メーカー】
- ⑫ LIBTECはきちんと電池を作り、妥当な評価法で解析・分析しながら評価していくところまで成長し、完成形に近づいた印象。一部の評価技術に関しては負けているものもある。蓄電池メーカーでの研究開発との境界線の線引きが難しいが、ここまで来たので、次のことを一緒に考えていきたい。【車載用蓄電池メーカー】
- ⑬ デバイスとしての使われ方アプリケーション側の要求を意識して材料の評価技術に落とし込み、確立した者がリーダーシップを取り、グローバル標準を獲得することになる。それが今後のLIBTECの取組の看板になるのではないかと。【自動車メーカー】

50/53

成果の実用化の見通し

先進LIBの評価技術

LIBTEC自主事業へのシフト

- **先進LIB(液系LIB)の評価技術の開発はプロジェクト第1期で完了させ、H30年度よりLIBTECの自主事業(組合員・賛助会員の賦課金で運営される材料評価・コンサルタント事業)のメニューに追加。**なお、LIBTECは過去のNEDO事業で開発した現世代LIB材料の評価技術を活用した自主事業を行っており、H27年度より毎年10社以上の材料メーカーが参加。LIBTECは100件/年以上の評価依頼を受けている。
- LIBの高容量化・高安全化の要求は高まっており、**高容量電極・難燃性電解液の評価技術を活用して、材料メーカー各社が事業展開を狙うアプリケーションに密着した木目細かい評価を行うことで、自主事業の発展が期待**できる。さらに、**組織運営体系も見直してユーザー企業とのパートナーシップを拡大し、産業界全体の開発効率の向上**に貢献していくようにする。
- **安全性評価技術は、IEC・ISO規格の審議団体である電池工業会・日本自動車研究所と情報交換を行いながら、本プロジェクトで取得されたデータ等を提供し、国際標準化の議論にも有効活用**する。

全固体電池の評価技術

成果の公開、大型化・量産化と用途を意識した開発へのステップアップ

- **プロジェクト第1期終了後、全固体電池の評価技術を国内産業界・アカデミアに対して広く共有(公開)し、材料のポテンシャル把握、セル構成材料の組合せの検討、セルの基本的充放電特性の実証等への活用を図る。**この公開により、新規参入や異分野の研究者にも門戸が開かれ、全固体電池の研究開発の底上げと裾野の拡大が期待される。
- 現時点において、全固体電池には、高イオン伝導性電解質とその大量合成技術、電極-電解質界面の抵抗低減技術等、技術難易度の高い実用化障壁が数多く存在。また、セルの大型化・量産プロセス等も方向性は定まっていない。そこで、**プロジェクト第2期では、オールジャパンの技術力を結集(材料・蓄電池・自動車メーカーが幅広く協調・連携、アカデミアのシーズや科学的知見も活用)した体制を再構築し、EV・PHEV用全固体電池の実用化・量産で国内産業界が有利なビジネス環境を創造するための研究開発に取り組む。**

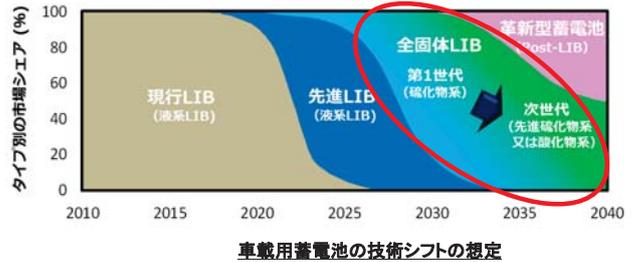
プロジェクト第2期の構想・取組(案)

プロジェクトの概要

- 今後、環境・エネルギー制約が強まり、世界全体でEV・PHEVの市場拡大が想定される。そこで、市場競争力を有した全固体LIBとそれを搭載したEV・PHEVの実用化・量産で海外に対し先手を取り、日本に有利なビジネス環境を創造することを狙い、産学官のオールジャパンの技術力を結集し、産業界の共通指標(ものさし)として機能する全固体LIBの材料評価技術を中心とする共通基盤技術を開発する。

- [1] 第1世代全固体LIB(2025年量産想定)の研究開発
- [2] 次世代全固体LIB(2030年量産想定)の研究開発
- [3] 共通基盤技術の研究開発
- [4] 動向調査研究

- 国内の自動車・蓄電池・材料メーカーが対等な立場で相互にシーズ・ニーズを用いる協調体制を構築。また、先端的な科学的知見を有する大学・研究機関をサテライト(分散研)として研究ネットワークに取り込み。



車載用蓄電池の技術シフトの想定

アウトプット目標

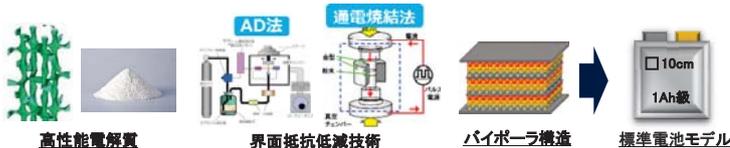
[1] 第1世代全固体LIB(硫化物系電解質)

- セル大型化・量産のボトルネック課題をブレークする要素技術を開発。また、20Ah級セル(量産プロトタイプ)による新材料の評価技術を開発。



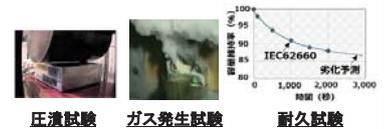
[2] 次世代全固体LIB(高性能硫化物系又は酸化物系電解質)

- 全固体LIBの特長をフルに発揮する電解質・電極の適用技術やセル構造を開発。また、1Ah級セル(概念実証モデル)による新材料の評価技術を開発。

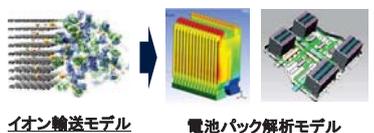


[3] 共通基盤技術

- ビジネスと一体化した国際規格化を想定した全固体LIBの試験評価法を開発。



- 理論モデルに基づき、セル・電池パックの特性、EV走行時の充放電・熱挙動を予測するシミュレーション技術を開発。



[4] 動向調査研究

- 国内外の政策・市場・研究動向を調査しつつ、に基づき、資源、リユース・リサイクル産業、充電インフラ等も視野に入れた社会システムデザインを検討。

波及効果

オープンイノベーションの加速

本プロジェクトでは、集中研究拠点のLIBTECにおいて、材料・蓄電池・自動車メーカーの出向研究員が協働で研究開発に取り組んでいる。同業-異業種、川上企業-川下企業の研究者が協働し、ニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られており、これまで垂直連携を基本として展開されてきた我が国の蓄電池の研究開発において、オープンイノベーションが加速される。

学術成果の産業技術としての引き上げ

本プロジェクトでは、H27年度より「ALCA-LIBTEC連携会議」を設置し、ALCA-SPRINGプロジェクトの硫化物全固体電池チームで開発された新材料のサンプルを受け入れ、電池試作・評価を行い、工業的視点から見た技術改良の指針をフィードバックしている。その結果、これまで3件の有望材料・技術（液相法による電解質コート技術、電解質充填の多孔樹脂シート、熱分解性バインダー）を見出している。

人材育成

材料メーカーの出向研究員（延べ48名）が、蓄電池メーカー出身のマネージャーの指導を受けて、蓄電池の設計～作製～評価に関する技術を習得している。これら出向研究員が蓄電池評価の知見が少ない材料メーカーに戻り、蓄電池材料開発のキーパーソンとして習得した技術を社内に広めており、国内材料メーカーの技術レベル向上に寄与している。

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会
「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(事後評価) 分科会
議事録

日 時：平成29年8月3日(木) 10:30～17:10

場 所：WTC コンファレンスセンター Room B

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	菅野 了次	東京工業大学 物質理工学院 教授
分科会長代理	井手本 康	東京理科大学 教授、理工学部長
委員	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 工学部 分子素材工学科 教授
委員	右京 良雄	京都大学 産官学連携本部 特定教授
委員	宮代 一	一般財団法人電力中央研究所 材料科学研究所
委員	門間 聰之	早稲田大学 理工学術院 教授

<推進部署>

細井 敬	NEDO スマートコミュニティ部 統括研究員 蓄電技術開発室長
上村 卓	NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室 主査
古田土 克倫	NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室 主査
下山田 倫子	NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室 主査
安井 あい	NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室 主査

<実施者>

吉野 彰	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 理事長
吉村 秀明	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 専務理事
高村 正一	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 理事 総務部長
田中 俊	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 第1研究部長
小山 章	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 第1研究部 副部長
村田 利雄	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 第2・第3研究部長
長井 龍	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 第3研究部副部長
幸 琢寛	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 第2研究部 主幹研究員

<評価事務局等>

川上 博司	NEDO 技術戦略研究センター 研究員
山下 尚人	NEDO 技術戦略研究センター 研究員
保坂 尚子	NEDO 評価部 部長
宮嶋 俊平	NEDO 評価部 主査
中井 岳	NEDO 評価部 主任

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - (1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - (2) 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - (3) 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 評価技術の開発方針
 - 6.2 高電位正極 (LNMO)
 - 6.3 高容量正極 (213 固溶体)
 - 6.4 高容量負極 (SiO 系)
 - 6.5 難燃性電解液
 - 6.6 硫化物全固体電池
 - 6.7 実用化に向けた取組及び見通し
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
 - ・開会宣言 (事務局)
 - ・配布資料確認 (事務局)
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
 - ・出席者の紹介 (事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について
 - 事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6「プロジェクトの詳細説明」、および、議題7「全体を通しての質疑」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について

評価の手順を事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

(1) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

(2) 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

(3) 質疑応答

上記の内容に対し質疑応答が行われた。

【菅野分科会長】 どうもありがとうございました。技術の詳細につきましてはこの後の議題6で取り扱いますので、ここは主に事業の位置づけ・必要性、マネジメントについて議論をいただきたいと思えます。何かご意見、コメントはありますでしょうか。

【井手本分科会長代理】 今後も含めての考え方についてです。先進LIBの評価技術については、材料メーカーなども含めてほぼ完成したという認識であり、一方の固体電池はまだいろいろやらなくてはいけないことがたくさんあるので、その辺りに重点をシフトしているという考え方なのでしょうか。そういった辺りの2つの電池系の切り分け方は、今のところどういう認識をされているのですか。

【細井PM】 ありがとうございます。先ほど申し上げましたように、液系LIBの評価技術についてはある程度のレベルまで到達したと思っています。完成したわけではありませんが、液系LIBはグローバルなビジネスが動いており、これからは国プロでやるよりも、むしろ自動車メーカーとか、電池メーカーとか、材料メーカーのビジネスとしての開発を、この評価技術をうまく活用して進めてもらった方がよいのではないかというのがNEDOの考えです。アメリカのArgonne国立研究所でやっているような液系LIBを掘り下げる研究もできると思いますが、最終的にどういうアプリケーションでそれを製品化していくという、個社のビジネス戦略に合わせて発展させる取組みは、LIBTECの自主事業という形でやっていった方がよいと考えています。

一方、全固体電池につきましては、今、日本、そして世界も、バラバラで研究開発がすすめられています。どれも1を2にするような研究をやっていて、方向性が定まっていません。NEDOのプロジェクトは、1を2にするのではなくて、1を100あるいは1000にする研究を行うべきではないかと思えます。今は材料メーカー中心でやっていますが、第2期では最終ユーザーである自動車メーカーなども体制に取り込んで、生産プロセスの方向性も整理しながら、技術的なボトルネック課題の解決に取り組みたいと考えています。

【井手本分科会長代理】 ありがとうございます。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。では、門間委員お願いします。

【門間委員】 今のお答えで、ちょっとまたわからなくなったのですが。スライドの52番、上のほうに1、2、3、4とあります。1と2は固体と書いてあるのですが、3番は固体という言葉は入っていないですね。共通基盤技術の研究開発と。

【細井PM】 基本的に、これも全固体LIBの試験評価法の研究開発です。例えば、液系LIBであれば振動でも別に問題ないのですが、全固体LIBではクラック発生等の問題が出るというように、全固体LIB特有の問題にフォーカスして、国際標準化を想定した試験評価法ということです。また、シミュレーションについても、全固体LIBへの適用を想定したのですが、イオン輸送モデル自体は基本的に液系LIBにも適用できるものと思っています。

【門間委員】 わかりました。

【菅野分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。

【右京委員】 同じような質問になるかもしれませんが。全体の流れとして、液から固体へ行くというのは、何をベースにして液から固体へ行こうとされているかというのを確認させて下さい。安全と、エネルギー密度が電池でいろいろあると思うのですが。

【細井PM】 ありがとうございます。現在、様々な方々と議論しており、今、右京先生がおっしゃったように、1つは、世の中の流れとして、やはり電気自動車の航続距離は伸ばさなければいけないだろうという意味で、高エネルギー密度化があります。もう一つは、安全性になると思います。全固体LIBの場合、そもそも電解液の漏れがないですし、不燃性、化学的安定性があるということで、高電圧作動の電極活物質も使えるかもしれません。さらに、急速充電も重要なのではないかという話をよく聞きます。菅野先生はじめ、皆様もご承知のように、シングルイオン伝導となる全固体LIBは、急速充電にも向いていると言われています。なお、これら3つの要素をどういうバランスで、どこに重点を置くのかについては、現在、関係者で議論中とご理解ください。

【右京委員】 わかりました。

【菅野分科会長】 今西先生、どうぞ。

【今西委員】 少し大ざっぱな質問になるのですが、プロジェクトの目標の1つが、共通の物差しをつくとおっしゃっておられました。例えば、全固体電池の試験などは、セルの作り方そのものが非常に重要な情報の塊であると。そうすると、そういう相反する2つの行動の線引きをどのようにマネジメントされるのか。その辺について、お考えをお聞かせいただきたいと思います。

【細井PM】 まず、これはよくLIBTECの中にも企業に参加いただいて、多くの技術を出していただいたものでございますので、どこまでオープンにするのかの境界は、これからの議論です。ただし、ものづくりの詳細な条件はオープンにしなくても、圧粉成形の電池モデルであれば、こういうセルのホルダーを使ってこの程度の電圧をかけて特性評価を行うというようなことは、公開した方が良いと考えています。アカデミアも含めて、全固体電池はまだまだ裾野を広げたり、新規参入をどんどん促していくべきと考えています。もう一方のシート成形タイプの電池モデルについては、全部公開することは考えておりません。今西先生がご懸念されているように様々な工夫があり、25°Cで良好な特性データが取れているのは企業の知財に絡むところです。ただし、特性試験の方法・条件などはなるべく公開した方が良いと考えています。燃料電池の分野でも燃料電池推進協議会（FCCJ）では、電極触媒の評価法や、単セルの試験評価法を公開しており、全固体電池についても技術情報の流出よりも裾野を広げることが今は重要ではないかと考えています。

【菅野分科会長】 よろしいでしょうか。では、宮代委員。

【宮代委員】 また最初のほうの議論に戻ってしまうのですが。固体の電池の開発は国が関与して進めていくことが非常に重要ということは理解できるのですが、当面、例えばこの先5年、10年というところでは、液系の電池がベースとしてメインにならざるを得ないと思います。そういう中で、これまでに開発された評価技術が次々と事業化されてLIBTECの事業として展開されるのは良いことだと思いますが、日々新たな材料が開発されていく中で、それに対応する部分を国のレベルで維持していかないと、将来困ることにならないのかと、ちょっと疑問に思うところです。

【細井PM】 液系LIBはしばらく市場の主流であると思いますが、韓国メーカーも開発していますし、アメリカもヨーロッパもみな開発しています。その中で、日本の材料メーカーも、別な国の企業に材料を売りたいと考えているかもしれません。そういうビジネスベースでの開発、カスタマイズが展開されているわけで、そこに国費を入れてどれだけ成果を最大化させられるのかという議論があります。ある意味、液系LIBは、品質は別としてどこの国でもつくれる技術と考えています。そして、将来を考えたとき、今、国としてやるべき研究課題は、やはり全固体電池や、その先のポストリチウムイオン電池ではないかと思います。うまく日本の技術力を結集して、新技術を早くものにするという取組に軸

足を置くべきなのではないのかというような考え方で、第2期の取組を構想しています。もちろん、液系LIBについて国内アメリカの電池メーカーが国際的なビジネスを展開していることも重要であると認識していますが、では液系LIBで何をやるのかとなった場合、結局、個社のビジネスモデルや製品開発につながってしまうのではないかとNEDOは考えております。

【菅野分科会長】 よろしいでしょうか。それでは、稲葉委員。

【稲葉委員】 今回の宮代委員のご質問と少し関係があるのですが、最初のほうで、このプロジェクトは、JSTのALCAの研究プロジェクトと協力して進めるというお話がありました。とりあえずは全固体電池が第一弾として出てきましたが、ALCAではそれ以外の電池というのをいろいろ研究していきまして、例えば、ALCA側で非常にいいものが出てきたときには、さらにこの第2期に付け加えていくということは可能な計画なのではないでしょうか。

【細井PM】 ALCAの全固体電池のプロジェクトには硫化物チームと酸化物チームというのがあります。これから、特に次世代の全固体電池用として、酸化物系で良い材料がでてくればと思っています。それ以外にも、不溶解型のリチウムイ硫黄電池についても、何らかの形で試作・評価みたいなものはやっていきたいと考えています。現に今も横浜国大渡邊先生のチームとは情報交換やサンプルの受け入れをやっていきますので、今後は、ALCAの他のチームとも連携を行って、こちらのプロジェクトで活用できるものであれば、取り込んでいきたいと思えます。

【稲葉委員】 ありがとうございます。こういう大きいプロジェクトで、しかも5年間という長期ですと、当初計画のまま進めないといけないというような感覚になりがちですが、5年の間にいろいろと情勢が変わっていきますので、ぜひとも柔軟に対応できるようなプロジェクトにしていきたいと思えます。

【細井PM】 ありがとうございます。そのように考えたいと思えます。

【菅野分科会長】 ほかに、いかがでしょうか。それでは私から何点かお尋ねします。先ほどの宮代委員の質問とも関係するかもしれませんが、PJ1からPJ4の、これからは自主的に進めるというテーマに関しては、少しもったいないという感じがします。次がもし全固体電池中心のプロジェクトになるとしても、それらのテーマは取り込める部分がある可能性が非常に高いものだと思います。これまではPJ1、2、3、4についてきちんと枠をはめて行っていただいたので、なかなか融通が効きにくいかもしれませんが、何か活用できる可能性があるでしょうか、というのがまず1点です。

【細井PM】 ありがとうございます。全固体LIBでも、正極・負極材料は液系LIBと材料そのものが大きく変わるところはありません。例えば、先ほど出てきたニッケルマンガンスピネル正極やシリコン負極についても、当然、次世代型の全固体LIBの容量を上げていく必要があるわけですから、これらの電極材料の適用を検討することになると思います。そういう意味では、現在の液系LIBのプレーヤーを、全固体電池のビジネスでうまく発展させるということが、このプロジェクトのミッションであると思っています。ひび割れ対策でポリマーに電解質を充填するというようなプレーヤーの知見とか、このプロジェクト第1期で形成された人材ネットワークをどんどん使っていきたいと思っています。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。もう一つは、参画者からの評価についてです。参画した材料メーカーへのアンケートやヒアリングで、このプロジェクトに対する評価を集めていただいているのですが、材料メーカーでも大成功したところ、まあまあ成功したところ、あるいはそうではなかったところとで、かなり温度差があると思えます。平均してしまうと、結果が薄まってしまうこともあります。例えば、大成功したところは、あまりアピールをしたくないというようになるかもしれません。その観点で、プロジェクトの出口として本当に良かったところをピックアップするような、何か知恵といえますか、そういうものは考えていらっしゃいますでしょうか。

【細井PM】 非公開セッションの方で、LIBTECから、具体的な説明があると思えます。

【菅野分科会長】 わかりました。ありがとうございます。ほかには、いかがですか。よろしいですか。それでは、どうもありがとうございました。予定の時間が参りましたので、ここで終了します。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【菅野分科会長】 それでは、議題8「まとめ・講評」を始めさせていただきます。順番に、門間委員から始めて、最後に私という順にしたいと思います。では、門間先生、よろしくお願いします。

【門間委員】 今日は丁寧に説明をありがとうございます。全体を聞かせていただいて、やはり全世界的に研究開発が盛んになっている部分でやられている研究、これをいかに勝ち残れるかというところに対する技術、これは大事だと思っております。個々の開発プロジェクトについては、概ね良く進んでいると思えました。企業向けの技術の提供も、一部では非常に良く進んでいると思えます。一方、評価法を開発する、評価技術をつくるというところからまだ抜け切れていないところも一部あったかと思えます。ただ、そういうところでも、今後、いろいろな企業の方々に技術提供ができるようになるものと期待しております。

【菅野分科会長】 それでは、宮代委員、お願いいたします。

【宮代委員】 今日は長い時間にわたって丁寧な説明をありがとうございました。この事業は、複雑な競合関係にあるメーカーの最新技術、あるいは最新材料を使って共通基盤の技術を作っていくという事業で、非常にご苦労されたことと思えます。その中で、液も含めて、まだまだ開発途上で変化をしていく領域で、非常によくまとめられたと感じております。ただ、LIBTECは、電池の評価をするための技術と先端の設備を持っているということで、自主事業ではこの技術と設備を常に最先端の状態を維持することが困難になってしまうと、非常にもったいないという気がしております。最先端を維持し続けるというような意味で言うと、次のプロジェクトにも、高度な分析技術を維持するだけではなく、発展させるような位置づけが含まれているといいのかなというのが、私の個人的な感想でございます。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。次は、右京委員、お願いします。

【右京委員】 今日は長い時間ありがとうございました。よくご説明いただいて、非常に大きないろいろな制約を受ける中で、ここまでまとめてこられたことに少し驚いております。やはり電池・電極としての挙動をきちんと理解した上で、その中で個々のバインダーや活物質がどういう役割を果たすのか、あるいは、どうなっているのかという解析に持ってくるための、非常にいい流れができてきているのではないかと思います。いずれにしても、よくまとまっているプロジェクトだと思ひまして、感心させていただきました。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。では、今西委員、お願いします。

【今西委員】 本日はどうもありがとうございました。プロジェクトの1から4に関しては、材料メーカーとユーザーとの間をうまくつなぐ役割を果たされているなという感触を持ちました。その中で、新しい技術を開発するという点もきちんと達成されていますし、成果の実用化に関しましては、LIBTEC

の評価に基づくデータであれば信頼して使用できるという点につきましても、アンケートの結果を拝見すると十分達成しているということで、大変良いお仕事をされたと考えております。標準化という言葉の定義につきましても、時々刻々、この電池の業界というのも変わっていくと思いますし、車載用の電池の開発というものが今後ますます重要になっていく点では、適宜アップデートをしつつ、今後仕事をしていくことが求められるのかなと感じております。

開発した評価技術をアカデミアに対しても共有するとおっしゃっていただきました。新型の電池を研究しているときに、フルセルを組んでそのパフォーマンスが見られますと、研究している側も大変モチベーションが上がります。そういったところで少し大学側にも門戸を開いていただくというところを今後考えていただけると大変ありがたいなと思いました。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。では、稲葉委員、お願いします。

【稲葉委員】 本日は、一日どうもありがとうございました。今回、特に先端・革新蓄電池材料ですので、まだ世の中に出ていない材料を使った電池の標準評価法の開発というのは多分非常に難しいだろう、と思ったのですが、その課題をきちっと見据えられていまして、非常に良い成果が得られたと思いました。

もう一つ、これは直接NEDOプロジェクトの成果とは言えないかもしれませんが、大方の技術研究組合が、プロジェクトが終わると自立できなくて解散してしまうのに対して、LIBTECはNEDOプロジェクトで開発した技術をベースに、自立した自主活動として進めておられるというのも、本当の成果だと思っています。

1つ要望ですが、開発した技術や評価法で公開できるものはできるだけ広く公開していただき、電池技術の発展にさらに貢献していただければと思っています。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。それでは、井手本分科会長代理、お願いします。

【井手本分科会長代理】 今回、もの自体があまり定まっていないところで標準化をしていくということで、非常にご苦労されましたが、きちり成果は上げられてきた、と思います。その中でも特に、評価をするときには安定した性能を出さなくてはいけないという観点で、いろいろ工夫されてチョイスされてきたということは今日もお話を聞いてひしひしと感じました。一方で、新しい、例えばPJ-2のように正極材料自体が定まっていないところで、どういうふうにそれを評価していくかというところは、逆に言うと、要求としては、正極材料の種類を変えたときに何か当てはめるものがきちんとあれば良いのですが、正極材料の評価としては、自分のつくったものはきちんと評価ができて大丈夫なのかなという懸念が見られるということもあるということもあります。今後、次のステージにつなげるときに、先陣LIBもまだまだそういう要素としての要求はあるのかなかと思えます。ですから、全部自主のほうに持っていくのではなくて、そういう何か新しい材料が出てきたときに、適用して評価していただけるというようなことも並行して残すという道はぜひ考えていただきたいと思えます。

固体のほうは、もともとのLIBをやる以上に、定まっていないところもあるので、今後、例えばALCAとか他のプロジェクトとオールジャパンで乗り切っていくような、そういう連携をより強固にやっていただければと思います。 今日一日ありがとうございました。

【菅野分科会長】 ありがとうございます。それでは、私から少しコメントを述べさせていただきます。全般的な印象では、大変うまくいっているように感じます。ご努力に敬意を表したいと思います。電池というものは基本的には材料がその特性を決めているのですが、1つの材料だけではうまくいかず、材料の組合せでデバイスの特性が決まる、材料サイドにとっては非常に難しいデバイスです。本プロジェクトは、うまくデバイス側の特性を確かめ、材料にフィードバックして材料メーカーの開発に寄与するという、プロジェクト自体として大変ユニークなもので、またそれが大変うまく回っていると思います。ただ、正極材料、負極材料、電解質材料などの基幹材料に対してのフィードバックがどれ

だけ行われているかということ、やはり大変難しい問題ではありますが、課題として今後も努力するべきところと感じています。

個々の課題についてですが、プロジェクト1から4のLIBに関しては、引き続き重要な課題であることは間違いないので、ここで終わりというのではなく、これまでの成果をどのように生かすかを真剣に考える必要があると感じます。国外では、LIBに関しても国の支援はまだ続いていますから、そういう状況の下で今後どうするかは、大きな課題であろうと思います。次期プロジェクトでも、材料に関しては共通するところがありますので、そのあたりをきっかけに、何かうまく回る方策がないのかなと少し感じました。

プロジェクト5も、数年間で大変な進歩があり素晴らしいと思います。特に、技術開発というところまで踏み込んで、標準の試料を作る、材料評価をする、プロセスを開発するなど、まだまだある技術開発の課題に踏み込んで進めていることに関して、大いに敬意を表したいと思います。

ただ、材料から小さなセル、それから電池、それから製品と生産と進む一連の流れの中で、セルから後の段階は、この技術開発によって道筋がついています。けれども、その前の、材料からセルに進むところは、やはり材料をどうするかは課題が現在もまだ解決できていません。ここをどうするかというのが、基幹材料を含めて、今後の課題かと思っています。これは、新しい技術を実現する場合には、どの分野でも大きな課題になることだと思いますので、ぜひ今後うまく、大学も含めて、進めていくような枠組みがあればいいと感じました。

私からは以上です。今日は、本当にいろいろ大変わかりやすい説明をいただきまして、ありがとうございました。

では、推進部署から、議題8を終了する前に、もし一言ございましたら、お願いしたいと思います。

【細井PM】 まず初めに、今日は長時間、ありがとうございました。

この事後評価に臨むにあたって、我々が意図していることをうまく伝えることができるだろうかという不安が少しあったのですが、皆様、電池分野で第一線の研究開発をされていることから、ご理解して頂けたように思っています。

プロジェクトを成功させるには、やっぱりプロジェクト関係者のモチベーションを上げるというのが重要と思っています。LIBTECのモチベーションも上がらなくてはいけないですし、その下で入っている材料メーカー、その周りにいるユーザー企業等、様々な立場の関係者のモチベーションが最も上がるマネジメントをやらないとプロジェクトは成功しないと思っています。そういう意味で、ある程度譲るところは譲りつつ、関係者のベクトルを何とか揃えて進めてまいりました。

第2期のプロジェクトでは、液系LIBで材料メーカーがビジネス展開してきた材料を、全固体電池にうまく使っていくような道筋を目指すべきではないかと思っています。本日、いろいろ頂戴いたしましたご指摘、ご意見等につきましては、ぜひ第2期のプロジェクトマネジメントや企画・戦略検討の参考にさせていただきたいと思います。本日はどうもありがとうございました。

【菅野分科会長】 どうもありがとうございました。それでは、ここで議題8は終了とさせていただきます。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

- 資料1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料2 研究評価委員会分科会の公開について
- 資料3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
- 資料4-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料4-2 評価項目・評価基準
- 資料4-3 評点法の実施について
- 資料4-4 評価コメント及び評点票
- 資料4-5 評価報告書の構成について
- 資料5 プロジェクト概要説明資料（公開）
- 資料6 プロジェクト詳細説明資料（非公開）
- 資料7-1 事業原簿（公開）
- 資料7-2 事業原簿（非公開）
- 資料8 今後の予定

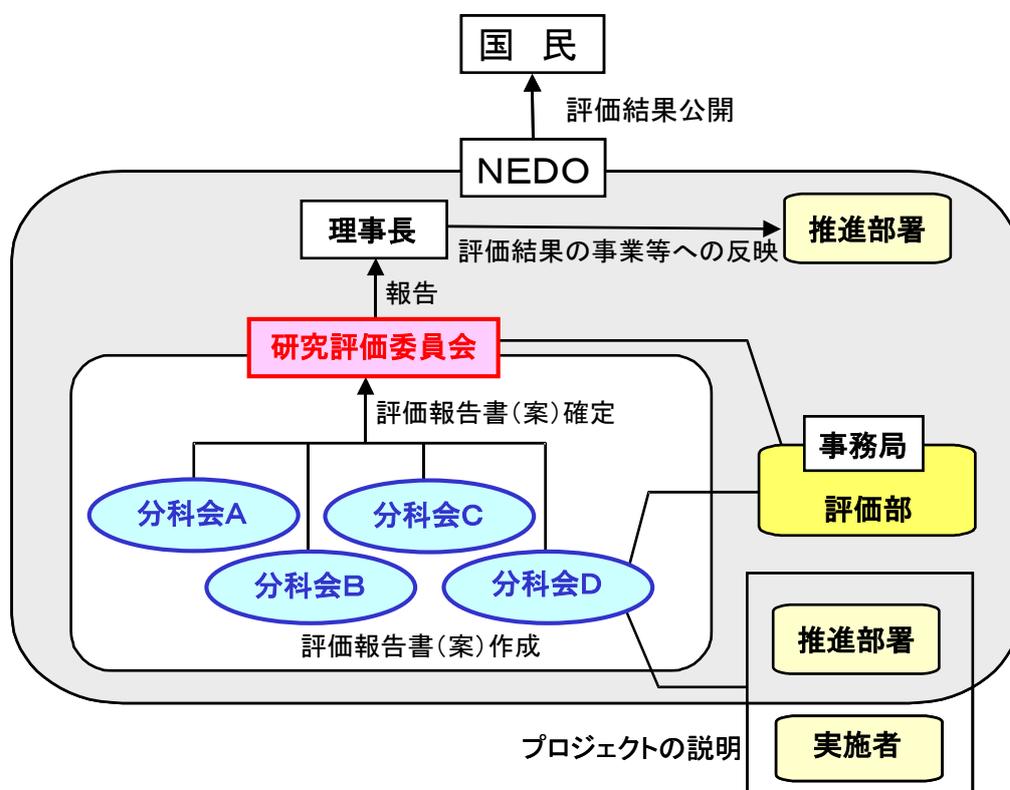
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」に係る
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用したか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。

- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

「実用化」の考え方

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

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。

- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、最終目標を達成したか。
- ・最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。【該当しない場合、

この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・産業技術として適用可能性は明確か。
- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料3 評価結果の反映について

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」（前倒し事後評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>・同じNEDO事業であるRISING2との連携は十分にアピールされていないように感じる。同じ組織内の事業でもあり、実用化促進という観点から連携を強化することが望まれる。</p>	<p>・本プロジェクトの第1期においては、開発した液系リチウムイオン電池の標準電池モデルをRISING2に提供し、RISING2で開発した高度解析技術の検証を共同で進めた。第2期においては、RISING2の高度解析技術を更に積極的に活用して全固体電池の反応機構や劣化現象の解明等を行い、得られた科学的な知見を使って、高性能化・高耐久化の課題解決や国際規格化を想定した試験評価法の開発に繋げていく方針である。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 保坂 尚子
担当 宮嶋 俊平

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミューザ川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162