

# 「次世代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

I. 事業の位置付け・必要性について	
1. 事業の概要	1
2. NEDO 事業としての妥当性	4
2.1 関連する上位施策への寄与	4
2.2 NEDO の関与の必要性	5
2.3 実施の効果	7
2.4 まとめ	8
3. 事業目的の妥当性	9
3.1 本プロジェクトの目的	9
3.2 蓄電池の技術進化の方向性	11
3.3 市場動向	13
3.4 特許動向	17
3.5 論文・学会発表	20
3.6 主要国における技術開発プロジェクト	22
3.7 まとめ	24
II. 研究開発のマネジメントについて	
1. 研究開発目標の妥当性	25
2. 研究開発計画の妥当性	27
3. 研究開発実施の事業体制の妥当性	29
3.1 研究開発実施者	29
3.2 プロジェクトの指揮命令系統・責任体制	30
3.3 知財取扱いルール of 管理・運用	30
4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	31
4.1 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等の関与	31
4.2 知的財産等に関する戦略の妥当性	34
5. 情勢変化への対応等	36
6. 中間評価結果への対応	38
7. 評価に関する事項	40
III. 研究開発成果について	
1. LIBTEC の目標達成度と成果の意義	41
1.1 LIBTEC の研究開発成果のまとめ	41
1.2 LIBTEC の研究開発成果の具体例	43
2. 住化分析センターの研究開発成果	57
2.1 住化分析センターの研究開発成果のまとめ	57
2.2 住化分析センターの研究開発成果の具体例	59
3. 知的財産等の取得、成果の普及	63
IV. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	
1. LIBTEC の開発成果の実用化について	65
1.1 実用化の見通し	65
1.2 実用化に向けての取り組み	68
2. 住化分析センターの開発成果の実用化について	69
1.1 実用化の見通し	69
1.2 実用化に向けた取り組み	69

# 概要

最終更新日 2015年11月18日

プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	次世代蓄電池材料評価技術開発	プロジェクト番号	P10009
担当推進部/担当者	<p>スマートコミュニティ部            桜井 孝史(2014年4月～現在)、細井 敬(2013年7月～現在)            安井 あい(2014年5月～現在)、大島 直人(2014年6月～現在)            森山 英樹(2014年3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)            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 丈(2013年7月～2014年4月)、長瀬 博之(2012年7月～2014年5月)            丸山 陽一(2010年7月～2012年6月)、松村 光家(2011年4月～2013年3月)            白神 昭(2010年7月～2011年2月)</p>		
0. 事業の概要	<p>蓄電池は、モバイル・IT 機器用に加えて、今後電気自動車(EV)・プラグインハイブリッド車(PHEV)等の車載用や住宅・ビル・事業用等の定置用としても市場拡大が想定される成長産業である。これら用途に適用が想定される蓄電池は、リチウムイオン電池(LIB)であり、世界全体で研究開発が活発化している。</p> <p>LIB の高性能化を実現する上で材料開発の占める比重は極めて大きい。特に正・負極活物質、電解液及びセパレータは、LIB の性能に決定的な影響を及ぼす。それら材料の性能を引き出すためには、電極や電池の構造、他の電池材料との組合せ(相互影響)や LIB 製造プロセスへの適合性を見極める必要がある。そのため、材料メーカーが新材料を蓄電池メーカー、自動車メーカー等のユーザーに提案し、それが LIB として実用化されるまでには5～6年の長期間が必要と言われている。今後、我が国の蓄電池関連産業が競争力を維持・向上していくには、新材料単体の開発・改良と実セルを用いた蓄電池としての実用性評価のキャッチボールを効率的かつ迅速に行い、新材料の実用化・製品化までの期間を短縮していく必要がある。</p> <p>そこで、「次世代蓄電池材料評価技術開発」(本プロジェクト)において、我が国蓄電池産業界の共通指標として機能する LIB 新材料の実用性評価技術の開発を実施した。具体的には、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試作する「標準電池モデル」(10タイプ)とその「試作仕様書」、想定される主要な用途(汎用、HEV 用、EV 用、定置用)をカバーした「性能評価手順書」を策定した。</p> <p>これらの成果を適用して、本プロジェクトの助成先である「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」(略称「LIBTEC」)の組合員企業である材料メーカーから提供された新材料サンプル(405件)について電池試作・評価を行い、開発技術の妥当性を検証するとともに、サンプル提供者に対するフィードバックを行った。</p> <p>さらに、LIBTEC ともう一つの助成先である「株式会社住化分析センター」の協働によって、LIB の高性能化でポイントとなる電極活物質と電極構造、電極構造と電池特性の相関を把握する解析評価技術を開発した。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>(1) 政策上の位置付け</p> <p>本プロジェクトは、経済産業省の「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」(経済産業省、2008年4月)及び「ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画」(経済産業省、2008年4月)の一環として、2010年度から2014年度の5年間にわたり実施したものである。</p> <p>本プロジェクトは、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」において目標に掲げられた民生・運輸部門の省エネルギー化(総合効率の向上)、運輸部門の燃料多様化、再生可能エネルギーの導入促進に寄与し、「ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画」において目標に掲げられた我が国部材産業の競争優位の確保、部材産業の付加価値の増大、高機能部材の革新の先導による幅広い産業の付加価値増大に寄与するものである。</p> <p>(2) NEDO の関与の必要性</p> <p>本プロジェクトは、下記の理由から NEDO の取り組みあるいは関与が必要である。</p>		

	<p>① 産業界全体の競争力強化(公共性・汎用性)          材料自体の開発は個別の事業者が負担すべきであるが、材料評価技術は国内の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。</p> <p>② 学術成果の産業技術への引き上げ          世界トップレベルにある国内の大学・公的研究機関の基礎研究を、産業技術として仕上げていく観点から、材料評価技術の整備が必要である。</p> <p>③ 開発リスク・ハードルの高さ          国内の企業や大学等が独自に材料の研究開発を進める中、適切かつ公平な評価を可能とする材料評価技術を同時に開発することは、開発リスクとハードルが極めて高い。</p> <p>④ 関係者間の利害調整          競合関係あるいは売り手と買い手の関係にある複数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ためには、中立的な立場でマネジメントを行う必要がある。</p> <p>⑤ 蓄電技術開発プロジェクトの一体的マネジメント          NEDO は第一線級の企業、大学、公的研究機関等の能力を最適に組み合わせ、蓄電池の共通基盤技術開発から応用・実用化開発まで戦略的かつ包括的にマネジメントしている。</p> <p>(3)実施の効果          本プロジェクトの実施によって、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自社開発品の正確なポテンシャル把握、LIBTEC による材料評価のワンストップサービスの提供、我が国蓄電池関連産業の技術力の底上げ、が期待できる。          LIB の世界市場規模は 2014 年が約 3 兆円であり、2020 年には 2 倍以上の 6 兆円規模に、LIB 材料の世界市場規模は 2014 年が約 7,000 億円であり、2020 年には 2 倍以上の 1.5 兆円規模に、それぞれ成長すると予想されている。仮に、本プロジェクトの成果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 6,000 億円規模、LIB 材料については 1,500 億円規模の経済効果となる。これに対して、本プロジェクトにおいて NEDO が投じた予算総額(注)は約 11 億 4,000 万円であり、十分な費用対効果があると言える。</p>
--	---

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>本プロジェクトでは、次世代蓄電池に用いる新規材料の性能や特性について、的確かつ迅速に評価できる技術を確立することを目標とする。</p> <p>○最終目標(平成 26 年度末)          高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する技術を確立し、標準的手法として産業界、学術関係者等からプロジェクト目的に資するものであることの評価を得る。</p> <p>○中間目標(平成 24 年度末)          高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する課題とアプローチ手法を明確化するとともに評価手法案を作成する。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	
	(1)評価基準書一次版作成	←————→					
	(2)評価基準書二次版作成				←————→		
	(3)評価シミュレーション技術			←————→			
	(4)部材提案・実用化				←————→		
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額
	一般会計						
	特別会計(需給)	123	212	317	320	171	1,143
	総予算額						
契約種類 ○をつける (委託( )、助成(○) 共同研究( ))							

	(委託)						
	(助成) :助成率 2/3	123	212	317	320	171	1,143
	(共同研究) :負担率△/□						
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 化学課					
	プロジェクトリーダー	-					
	助成先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載)	○技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター 【組合員(2014年度末時点):旭化成(株)、(株)カネカ、(株)クラレ、(独)産業技術総合研究所、JSR(株)、JNC(株)、信越化学工業(株)、住友ベークライト(株)、ダイキン工業(株)、大日本印刷(株)、東レ(株)、凸版印刷(株)、(株)日東電工、(株)日本触媒、日本ゼオン(株)、日立化成(株)、富士フイルム(株)、三井化学(株)、三菱化学(株)、UACJ(株)】 ○(株)住化分析センター					
情勢変化への対応	NEDO は情勢変化に対して機敏に対応するため、市場動向、特許動向、論文・学会発表動向、主要国の技術開発プロジェクトの状況の把握に努めた。 また、LIBTEC においても、国内の有識者・専門家等を講師として招いた講演会を開催し、社会情勢や研究開発動向等の把握に努めた。						
中間評価結果への対応	中間評価の指摘事項を、下記 10 項目に集約した。指摘事項と対応を下表に示す。						
		指摘事項	対応				
		材料の性能を引き出す評価	事前打ち合わせで、依頼元の狙いに合致した評価になっているか確認している。				
		コンサルティング的アドバイスの強化	結果報告の際、評価結果の解釈や今後の進め方について、依頼元とすり合わせている。				
		材料キャラクターゼーションを行った上での評価	LIBTEC 内に分析装置を導入し、依頼元の意向で、外部依頼分析または LIBTEC 内での分析を併せて行った。				
		次世代開発に役立つシミュレーション技術開発	電極の構造と充放電特性の相関性及び各種劣化モードがサイクル特性に及ぼす影響の予測技術を開発した。				
		材料・電池関連メーカーに役立つ組織として継続	自主事業として継続している。				
		定量的な研究開発目標の設定	定量的な指標を実施計画に記載した。				
		同様設備がなくとも行える簡易評価法の開発	小型ラミネート電池を用いた簡易評価法を開発した。大型ラミネート電池との特性の相関性も明らかにした。				
		自動車メーカーも含めた評価項目の設定・共有化	自動車用電池メーカー6社の委員からなる第2アドバイザー委員会を設置し、評価方法・項目などについて意見を求めた。				
		革新電池に対応できる共通的评价法開発	分析技術の強化を進め、基礎的データの取得をしながら、特性の理解に努め、革新電池の評価法開発に生かしている。				
	知的財産権等の取扱法の明確化	知財の維持形態について、LIBTEC では整備済。					
評価に関する事項	中間評価	24年度 中間評価実施					
	事後評価	27年度 事後評価実施					

Ⅲ. 研究開発成果について

(1) LIBTEC の研究開発成果

①材料、電極構造、製造プロセスと電池特性の相関性把握

電極の空隙構造、バインダー・導電助剤の分布状態、電極密度・電極厚みなど各種電極構造パラメータと電池特性との関連を解析する手法等を開発し、新材料を用いた試作電池の特性を解析した。この手法を用いて下記の標準構成電池モデルの設計妥当性の検証や新材料の機能の理解や改良の方向付けに活かした。

②実セルを用いた共通的評価方法の開発

- (i) 民生用、EV 用、定置用の用途ごとに電池メーカーの設計思想を反映させた標準構成電池モデル 7 種(派生モデル 2 種を含む)を策定した。
- (ii) 上記 7 モデルに対して容量型と出力型の各 2 タイプの計 14 モデルについての、電池メーカーに極めて近い製法からなる試作仕様書を策定した。
- (iii) 民生用、EV 用、定置用の用途別に適性を判定できるよう、それぞれに合った評価項目・評価条件などを記載した評価手順書。安全性評価法を策定した。
- (iv) 蓄電池の材料段階での熱安定性評価、釘刺し、昇温、過充電等からなる安全性試験の設備と体制を整え、評価項目・評価条件などを記載した安全性評価手順書を策定した。
- (v) 上記の手法に基づき、本事業の 5 年間で 20 組合員から提出された 405 件の新材料評価を行った。

③評価シミュレーションシステム技術の開発

電極の 3 次元構造を反映した充放電シミュレータ、塗布乾燥プロセスで形成される電極の構造を予測可能な乾燥シミュレータ、サイクル特性を再現可能な寿命シミュレータを開発して、新材料開発に役立てるよう組合員に配布した。

④次世代蓄電池の部材提案と実用化検討

上記②-(iv)に記した 405 件の評価実績のうち、59 件が電池メーカーへの新材料の性能紹介等外部で利用された。また、114 件の評価結果を活用して、6 社が実用化ステージに進んだ。これらから、LIBTEC の評価が新材料の実用化に結びついていると考えられる。また、アドバイザー委員会において組合員の新材料 2 件をユーザー企業に紹介した。

(2) 住化分析センターの研究開発成果

①活物質特性に及ぼす電極構造の影響の解明

- (i) LM/SPM 複合装置に SEM や EPMA 等を組み合わせ、局所分析と広範囲分析のシームレス化分析を可能とした。これを用いて LIBTEC の標準電極の構造的相違を見出した。
- (ii) Li イオン伝導性、電子伝導性の構造因子として、電極内の空隙、導電助剤及びバインダーの分散度を抽出。画像解析からそれらの電極状態の数値化手法を確立し、電池特性との相関性を見出した。
- (iii) 電極作製条件と電池特性との相関解析を行った結果、乾燥条件によってバインダー偏在が発生し、電子伝導性や寿命に影響することを見出した。

②電池形成後の電極構造変化が信頼性・安全性に及ぼす影響の解明

ラマン分光法によるマクロ構造変化を大気非暴露で捉える手法を開発し、SPring-8 を用いた in situ XRD 分析、TEM 分析と組み合わせ、サイクル劣化の主因が正極活物質の表面岩塩構造化及び内部欠陥形成であることを解明した。

投稿論文	住化分析センター: 4 件
特許	「出願済特許」LIBTEC: 1 件、住化分析センター: 6 件
その他外部発表	「研究発表・講演」NEDO: 16 件、LIBTEC: 30 件、住化分析センター: 7 件 「展示会への出展」LIBTEC: 3 件、住化分析センター: 1 件

<p>IV. 実用化の見通しについて</p>	<p>(1) LIBTEC の開発成果の実用化</p> <p>① 実用化の見通し          組員へのヒアリング及びアンケートから、本事業の成果として、標準的な評価手法の開発・提供に留まらず、組員から受入れた出向研究員の教育、各種ドキュメントや議論による知見・ノウハウの伝授等を通じて、材料メーカーの蓄電池としての評価力が大幅に底上げされたことが挙げられた。またヒアリングから、本事業の目的に挙げた材料開発期間は凡そ50%に短縮できたと推定した。さらに、産業界、学術関係の有識者からなる外部委員会において、LIBTEC の評価力(評価体制、評価法)が認められ、材料開発の効率化が期待される。</p> <p>② 実用化の取り組み          LIBTEC は既設の電池試作評価設備及び策定した評価法を適用した新規材料評価を、平成 27 年度より自主事業として開始している。参画組員は 14 組員*である。自主事業では、組員から要望の多かった電池の持ち帰り及び組員による電池試作設備・評価装置の利用を可能とした。期首に組員から合計 71 件相当の評価賦課金支払い(評価権の確保)があり、10 月末までに約 25 件相当の評価を実施している。          *旭化成、クラレ、JSR、JNC、住友ベークライト、ダイキン工業、大日本印刷、凸版印刷、日本触媒、富士フイルム、三井化学、UACJ、三菱化学、産業技術総合研究所</p> <p>(2) 住化分析センターの開発成果の実用化</p> <p>① 実用化の見通し          ユーザーの分析ニーズ調査を行い、高出力・高容量化のための製造工程改良や劣化抑制のための材料開発に、本プロジェクトの成果である電極構造と電池特性の関係を明らかにする分析技術等が有効であることが分かった。</p> <p>② 実用化の取り組み          本事業の検討から約 9 種類の新たな評価項目の事業化を進め、次世代蓄電池材料に関する新規簡易構造解析法を用いた分析サービスとして平成 27 年に商品化した。その特徴は、電極材料、電極構造及び電池性能の関係を明示し、電極材料開発から電池製造プロセスに至るまでの総合解析サービスを提供する点にある。2015 年 2 月に開催された国際二次電池展で概要を公開し、電池・原材料メーカー等の関係者から多数の問い合わせを得ている。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 22 年 3 月制定</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 22 年 3 月、推進部の変更及び「ナノテク・部材イノベーションプログラム」を追加</p>

## プロジェクト用語集

用語	説明
AB	→アセチレンブラック
Al	→アルミニウム
BEV	Battery Electric Vehicle の頭字語。Pure EV と呼ばれ、完全電池駆動の電気自動車
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。Ex) 1 C…1 時間、0.2 C…5 時間で放電終了となる電流値。
CMC	→カルボキシメチルセルローズ
CP	→クロスセクションポリッシャ
Cu	→銅
DEC	→ジエチルカーボネート
DMC	→ジメチルカーボネート
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%。
EC	→エチレンカーボネート
EDX	→エネルギー分散型 X 線分析
EELS	→電子エネルギー損失分光法
EMC	→エチルメチルカーボネート
EPMA	→電子線マイクロアナライザ
ESR	→電子スピン共鳴法
EV	(Electric Vehicle) 電気輸送機器。狭義では、電気自動車を指す。
FIB	→収束イオンビーム
FIB-SEM	FIB と SEM を 1 つにした装置。断続的に加工と観察を繰り返し、得られた SEM 画像をソフトウェアで再構築することで、三次元的な構造解析を行うことができる。
Ga	→ガリウム
GC-BID	→ガスクロマトグラフ/バリア放電イオン化検出器
GC-MS	→ガスクロマトグラフ-質量分析法
HC	→ハードカーボン(難黒鉛性炭素)
HEV	Hybrid EV の頭字語。ハイブリッド型電気自動車と訳される。市街地など環境への配慮が特に重要な地域では、電池を大電流にてパルス的に充放電しながら、電池駆動で走行し、郊外などでは搭載しているエンジン駆動で走行するので、ハイブリッド(混合型)EV と呼ばれる。
KMFC	(Kawasaki mesophase fine carbon) (1) Li イオンの吸蔵能力が高い、(2) 充放電効率が良い、(3) 充放電レート特性が良い、(4) サイクル特性が良い、などの要求に応える高性能負極材として開発された球状黒鉛。JFE スチールグループ。
LCO	→コバルト酸リチウム LiCoO <sub>2</sub>
LC-TOFMS	→液体クロマトグラフ-飛行時間型質量分析法
LFP	リン酸鉄リチウム LiFePO <sub>4</sub> 原料が安価で、放電電圧が約 3.4V でやや低い平坦で、かつ 400°C 超まで熱安定性に優れるので、ナノレベルの粒径にすることで、電動工具、電気自動車や定置用の電池に用途が広がっている。



LFP	→リン酸鉄リチウム $\text{LiFePO}_4$
Li	→リチウム
LIB	→リチウムイオン電池
$\text{LiBF}_4$	→四フッ化ホウ酸リチウム
$\text{LiClO}_4$	→過塩素酸リチウム
$\text{LiPF}_6$	→六フッ化リン酸リチウム
LM	→レーザー顕微鏡
LMO	→マンガン酸リチウム、スピネルマンガン酸化物 $\text{LiMo}_2\text{O}_4$
LNO	→ニッケル酸リチウム $\text{LiNiO}_2$
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 $400^\circ\text{C}$ 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	$\text{LiNi}_a\text{Co}_b\text{Al}_c\text{O}_2$ $a=0.8, b=0.15, c=0.05$ 比容量は大きい、合成が難しいニッケル酸リチウムの Ni 元素をコバルト (Co) とアルミニウム (Al) 元素で置換することで、高容量を実現し、熱安定性を高めた材料。構成金属元素の頭文字を取って NCA と通称される。
NCM	$\text{LiNi}_a\text{Co}_b\text{Mn}_c\text{O}_2$ $a=b=c=1/3$ 同じく比容量は大きい、合成が難しいニッケル酸リチウムの Ni 元素をコバルト (Co) とマンガン (Mn) 元素で置換することで、高容量と構造安定性を高めた正極材料。 $300^\circ\text{C}$ 超までの熱安定性を有し、電池は低温での大電流特性に優れる。構成金属元素の頭文字を取って NCM あるいは NMC と通称される。
NIMS	独立行政法人物質・材料研究機構。物質・材料科学技術に関する基礎研究および基盤的研究開発等の業務を総合的に行うことにより、物質・材料科学技術の水準の向上を図ることを目的とする研究機関。
NMR	→核磁気共鳴
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。
$\text{OsO}_4$	酸化オスミウム、または四酸化オスミウム。電子顕微鏡を用いた試料の観察の際に、コントラストを増強するために使用される。酸化オスミウムは炭素-炭素二重結合に付加する性質がある。
PC	→プロピレンカーボネート
PHEV	(Plug-in Hybrid Electric Vehicle) 電気プラグを直接自動車に差し込んで充電することが可能なハイブリッドカー。
PVdF	→ポリフッ化ビニリデン
Py-GC/MS	→熱分解-ガスクロマトグラフ-質量分析法
QMS	→四重極質量分析法
$\text{RuO}_4$	酸化ルテニウム、または四酸化ルテニウム。電子顕微鏡における試料観察の際、特定部位に沈着させてコントラストを増強させるために利用される。
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	→ステレンブタジエンコポリマー
SEI	(Solid Electrolyte Interface) 溶媒と Li が黒鉛結晶端に挿入される際、溶媒分子が分解されたり、支持塩などと反応したりして、黒鉛表面に形成される被膜。Li イオン導電性を示す固体電解質で、充放電反応を進行させる。また、電解液や黒鉛結晶の継続的な分解を防止する効果もあ

	るため、サイクル特性を向上させる目的で、電解液中に添加剤を加え、意図的に SEI を形成させることが一般的に行われている。組成は、電解液の種類によって異なっており、主に、溶媒、添加剤の分解物の重合体や Li 塩、エステル系 Li 塩、炭酸 Li などその成分と考えられている。サイクル特性に寄与するとされているが、数 nm と非常に薄い、不活性雰囲気での取り扱いが必要、熱・電子線に弱いなどの特徴から、詳細な解析が進んでいない。
SEM	→走査型電子顕微鏡
SMG	Surface Modified Graphite の頭字語。高充填性を実現すべく、天然黒鉛を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。
SOC	State of Charge の頭字語。充電状態と訳され、電池の容量が残っている程度を示す指標。完全充電(満充電)状態は SOC=100%である。
SPM	→走査プローブ顕微鏡
SPring-8	兵庫県の播磨科学公園都市にある世界最高性能の放射光を生み出せる大型放射光施設。国内外の産学官の研究者などに開かれた共同利用施設であり、幅広い研究が行われている。施設者は独立行政法人理化学研究所(理研)であり、運転・維持管理、並びに利用促進業務を公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)が行っている。
TEM	→透過型電子顕微鏡
VC	→ビニレンカーボネート
VGCF	Vapor Grown Carbon Fiber の頭字語。和訳は気相成長炭素繊維。グラフェン層が同心円状になっており、アスペクト比(直径:0.2 μm 長さ:6-8 μm)の高い炭素繊維。通常は熱処理により黒鉛化して、導電助材として用いる。
VGCF	→気相成長炭素繊維
XAS	→X 線吸収分光
XPS	→X 線光電子分光法
XRD	→X 線回折
アセチレンブラック	カーボンブラックの一種。アセチレンを熱分解して得る。導電性が高く、電極導電助剤として使用されている。
Ar イオンビーム加工法	→CP
アルミニウム	代表的な正極の集電体として利用されている。
イオン伝導	電場下でイオンをキャリアとして電流が流れる現象。
一次電池	電池反応が完全には可逆的ではないため、充電して反復使用することができない電池。マンガン電池、アルカリマンガン電池、銀-亜鉛電池、ニッケル電池など。
液体クロマトグラフ-飛行時間型質量分析法	液体クロマトグラフィー(LC)の検出器として、また、分離成分の同定手段として質量分析計(MS)を使用する方法で、GC/MS と原理的に類似の方法である。LC は、移動相として液体を用いるクロマトグラフィーの総称で、ここでは高速液体クロマトグラフィー(HPLC)を指す。GC と比較して適用試料範囲が広く、熱安定性や揮発性はほとんど問題とならない。LC で分離した成分は、移動相を除去し連続的に MS に導入する方法、溶出液を気化させて直接 MS に導入する方法などで、質量分析に供される。時間飛行型質量分析法は、イオンが一定長さの真空分析管中を通過するのに要する時間が、イオン種によって異なることを利用した質量分析方法である。本事業で導入した MS は、真空分析管に導入する前に、四重極で分離することで、さらに分解能を向上させている。
エチルメチルカーボネート	電解液の成分。鎖上エステル。誘電率は低いが、粘性は低い。
エチレンカーボネート	電解液の成分。環状エステル。高誘電率溶媒であるが、粘性が高い。電気化学的に安定であり、

	Li 塩を高濃度で溶解するが、融点が高いため、単独で用いることはできない。Li 脱挿入を円滑に進めるとされるが、詳細なメカニズムはまだ分かっていない。DEC や DMC などの鎖状エステルとの混合溶媒として使用されている。
エチレンサルファイト	添加剤の一種。電解液溶媒より正電位で還元され、黒鉛負極表面に安定な被膜 (SEI) を形成する。
X 線回折	X 線が物質によって散乱されるとき、散乱波の強度が干渉のため方向によって変化する現象を X 線の回折という。この現象を利用して、結晶構造解析を行う装置を X 線回折計といい、回折 X 線の方向から、結晶の単位胞の形と大きさを求め、強度分布の対称から結晶系を決定する。X 線回折は、Bragg の法則を満足する方向にのみ起こり、回折図形は不連続な鋭い斑点の集合となる。
X 線吸収分光	X 線と物質の相互作用による吸収を利用する分析法の総称。(1) 物質中を通過する X 線の強度の減少を利用する方法と、(2) 吸収端法: 核外電子を追い出すのに必要な入射 X 線エネルギーに対応する波長から分析を行う方法がある。
X 線コンピュータ断層法	X 線管から放射された細いビームは物質を透過して対向に配置した X 線検出器に検出される。X 線管と検出器は対になって横断面を横切るように走査し、その走査を回転しながら繰り返す。得られた透過 X 線の強度分布をコンピュータ処理することによって、物質断面の X 線画像を得る。また、それらの画像を再構築し、三次元画像を取得することもできる。
X 線 CT	→X 線コンピュータ断層法
X 線光電子分光法	ESCA。励起光として単色 X 線を用いた光電子分光法。X 線を照射すると、内殻電子準位からの光電子放出が起こる。その光電子が存在していた軌道の結合エネルギーを求め、Li から U までの全元素の同定、化学結合状態の判定が可能である。最表面～数 nm の情報を得ることができ、有用な表面分析の手法である。
エネルギー分散型 X 線分析	電子線や X 線などを試料に照射した際に発生する、特性 X 線、蛍光 X 線を半導体検出器のようなエネルギー分散型検出器にて検出し、そのエネルギーと強度から、元素と濃度を調べる元素分析手法。
エネルギー密度	電池から取り出せるエネルギー量の単位体積または単位質量当りの値。前者は (Wh/L)、後者は (Wh/kg) で表す。
エネルギー容量	電池から取り出せるエネルギー量。電圧と電気容量の積であり、(Wh) で表す。
遠赤外線	波長 0.76～1000 mm の赤外線のうち、25 mm 以上の長波長のもの。
過塩素酸リチウム	LIB の電解質の一種。溶媒への溶解度が高く、イオン電導度にも優れている。しかし、高温安定性に乏しいこと、また、比較的酸化されやすいことから、安全性に考慮し、研究用途以外では使用されていない。
拡散	異種の粒子の混合系において、温度が均一に保たれていても濃度分布が存在すると、粒子が移動して濃度分布が均一になるような変化が起こる。この現象を拡散という。
拡散係数	単位の濃度勾配があるとき、単位時間あたりに単位断面積を通過して拡散していく物質の量。拡散の速さを規定する。拡散係数は、温度、圧力など、多くの要因で変動する。パルス磁場勾配 NMR (PGSE-NMR) により、Li イオンの拡散係数を求めることができる。
核磁気共鳴	核磁気モーメントに外部磁場がはたらくと、ゼーマン準位に分裂する。外部から電磁波によりこの準位間に共鳴遷移を起こすことを核磁気共鳴といい、これを利用した分光法を核磁気共鳴分光法という。NMR は、有機化合物の構造解析、同定の強力な手段である。核種としては、 <sup>1</sup> H や <sup>13</sup> C の他、 <sup>15</sup> N、 <sup>19</sup> F、 <sup>29</sup> Si、 <sup>31</sup> P などが主な測定対象となっている。
ガス吸着法	試料表面に吸着占有面積が分かっている気体分子を吸着させ、比表面積や細孔分布を評価する方法。試料と気体分子は、主として Van der Waals 力によって物理吸着している。比表面積は、BET 理論を適用し、吸着等温線を解析することで求めることができる。細孔分布は、吸着質の量が多くなったときに吸着質が凝集して液体となる現象を利用することで求めることができる。凝縮が起こるときの相対圧や吸着量の上昇は、細孔容積・細孔径と相関があることから、細孔分布を

	求めることができる。
ガスクロマトグラフ/バリア放電イオン化検出器	検出器として、バリア放電イオン化検出器(BID)を用いたガスクロマトグラフィー。石英ガラスに高電圧を与えることで He プラズマが発生、カラムから溶出した化合物が He プラズマからの光エネルギーを受けてイオン化する。これらが収集電極により捕集されピークとして出力される。He, Ne 以外の全ての化合物を検出でき、また、従来の検出器と比較して高感度の分析が可能である。
ガスクロマトグラフ-質量分析法	ガスクロマトグラフィー(GC)で分離された成分の検出や同定に、質量分析計(MS)を使用する分析法。GC の分離能力と MS の同定能力を生かした分析手法であり、1 回の分離で得られる情報は膨大なものとなる。分子量が比較的小さい揮発性の成分や、微量有機物の同定・定量が可能である。
画像解析	画像データをコンピュータによって処理し、特徴の抽出・計測・分類などを行うこと。
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。リチウムイオン電池では、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、リン酸鉄リチウムなどが、負極活物質として、黒鉛などが使用されている。
ガリウム	元素記号 Ga。原子量 69.723。青みを帯びた白色金属結晶で、融点が 29.78°C と異常に低いことが特筆される。
カルボキシメチルセルロース	セルロース誘導体で、増粘剤として利用されている。負極バインダである SBR と併用される。
乾燥温度	スラリーを集電体に塗布した後に乾燥させるときの温度。
気相成長炭素繊維	気相法により合成された微細炭素繊維。導電性に優れ、電極添加剤などに利用されている。VGCF の添加により、電子伝導性やサイクル特性の向上が期待される。
吸収係数	電磁波が物質中を進行するとき、吸収により強度が減少する。このときの係数。
吸収端エネルギー	励起に必要とされる最小限のエネルギー。
吸着等温線	吸着平衡にある表面と気体分子の間において、吸着量は温度および気相の圧力によって決まる。温度一定のとき、吸着量は気相の圧力によって表され、両者の関係式を吸着等温式という。吸着等温式には、ヘンリーの式、ラングミュアの式、BET の式などがある。
極板特性	電極極板に関する特性。電子伝導率、イオン伝導率などの電気化学的特性、および、剥離強度、せん断強度などの機械的特性。
曲路率	膜厚を S、細孔長を F としたとき、曲路率 T は、 $T=F/S$ と定義される。曲路率が大きいほど、膜内の細孔構造が複雑であり、膜内の物質輸送が行われにくいと予想される。
空間分解能	空間または物体内で識別可能な 2 点間の距離。
空隙	粒子間の隙間。電極空隙構造が Li イオンの拡散に影響を与えられとされる。
グラファイト	→黒鉛
グローブボックス	外気と遮断された状況下で作業が可能となるよう、内部に手だけが入れられるよう設計された密閉容器。ボックスの横にゴム手袋(グローブ)が直結してあるため、外気を遮断した作業が可能。
クロスセクションポリッシャ	Ar イオンビームで試料表面の原子を弾き飛ばすことによって、試料を切削し断面作製を行う装置。ブロードなイオンビームを用いているため、広い領域(500 μm 以上)で凹凸の少ない加工面が作製できる。また、硬さの異なる材料が含まれる試料や脆く崩れやすい試料でも断面作製が可能。
結着材	→バインダ
検量線	物質質量、濃度もしくは活性などを求める定量的実験で用いる、予め量・活性などのわかっている標準物質と、それに対する測定データとの間の関係を示したグラフ。
合金系負極材料	Si 合金系、Sn 合金系などがあり、黒鉛と比較して理論容量が大きく、環境負荷も小さいことから、重要な負極材料候補である。合金系材料は、Li イオンと反応したときの体積変化がかなり大きく、サイクル劣化が激しい。このため、実際の電池の負極として利用する場合には、形状、構造

	などの工夫が必要である。
合剤	→スラリー
黒鉛	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。商品化されているリチウムイオン電池の負極材料として使用されている。
五酸化バナジウム	リチウムイオン電池の正極活物質の一種。四角錐の VO <sub>5</sub> 多面体を基本構造として持つ。
コバルト酸リチウム	コバルト酸リチウム LiCoO <sub>2</sub> リチウムイオン電池が創出された際の正極材で放電カーブは比較的平坦で、約 3.9V。層状岩塩型構造で、[Co <sup>III</sup> O <sub>2</sub> ]-層と[Li] <sup>+</sup> 層が主として静電引力で積層しているものと考えられる。合成が容易であり、種々の電池特性のバランスがよいことから、広く民生用に使用されている。コスト、埋蔵量、環境規制などの問題から、コバルトを使用しない正極材料の開発が求められている。
コントラスト	ある物体とそれ以外の背景とが区別できるような視覚的な特徴の差。特に画像においては最も暗い部分と、最も明るい部分の輝度の差のことをいう。
混練	複数の粉体や粒子径が異なる粉体を乾燥状態、あるいはごく少量の液体を加えてかき混ぜて均質化する際、液体やペースト等を添加し、練りながら粉体の周りに添加物をコーティングして粉体に凝集力や可塑性を付与する操作。
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。
細孔	多孔性物質が持つ微細な孔。孔の大きさによってマイクロポア、メソポア、マクロポア等に区別される。
ジエチルカーボネート	電解液の成分。鎖上エステル。誘電率は低いが、粘性は低い。PC や EC などの環状エステルと混合して使用されている。
試作仕様書	標準構成電池モデルを試作(作製)する際の、材料の選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。
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。
支持電解質	電気二重層を形成することを目的に、電解液に添加する物質。通常、塩が使用されるため、支持塩ともいう。支持電解質は、系内の化合物と相互作用しないこと、電極表面で副反応を起こさないこと、溶媒への十分な溶解度と解離度を持つことが必要とされる。リチウムイオン電池においては、有機溶媒中で容易にイオン解離し、高いイオン移動度をもつ、一価のアニオンからなる塩が好ましい。
四重極質量分析法	イオンの分離に四重極を用いる質量分析法。構造が単純で、真空度がやや低くてもスペクトルが測定できるので、ガス分析や大気圧における実験装置などに適している。ある電圧を 4 本の電極に加えると、特定の m/z を持つイオンだけが安定した振動をして電極間を通り抜け、検出器に入ることができる。
ジメチルカーボネート	LIB 電解液の溶媒として用いられる物質。鎖上エステル。誘電率は低いが、粘性は低い。DEC 同様、高誘電率溶媒である環状エステルとの混合溶媒として使用されている。
収束イオンビーム	イオンビームを細く絞ったもの。微細加工、蒸着、観察などに用いられる。微細加工用の FIB 装置では Ga イオンビームが用いられている。
充電	蓄電池などの両極に外部電源をつなぎ、放電時よりもやや高めの電圧を印加して電流を通じ、電池に電気エネルギーを蓄えていくこと。
集電体	電流を取り出す端子。活物質の保持する役割も果たしている。電子伝導性に優れること、電池内部で安定に存在すること、薄膜化できることなどの特性が要求される。

寿命特性	電池の寿命に関する特性。以下の2つの劣化モードに大別される。(1)サイクル寿命:充放電時の電気化学的、物理的変化に起因する劣化モード。サイクル特性により評価される。(2)トリクル寿命:電池が継続的に一定の充電状態にさらされていることによる電気化学的変化に起因する劣化モード。温度に大きく影響される。電池容量の経時特性により評価される。
初期容量	電池が最初に持っている放電容量。
人造黒鉛	無定形炭素を3000°C前後で熱処理し、不規則な配列の微小黒鉛結晶の成長と配向を人工的に行わせたもの。予め成型しておけば、適当な形の黒鉛化材料を得ることができる。
浸透	膜や粉体層、多孔性物体を通しての気体分子や溶媒の流れ。
水銀圧入法	水銀の表面張力が大きいことを利用して、多孔性固体の細孔分布を評価する方法。真空状態にした試料を水銀に浸し、徐々に圧力をかけて細孔に水銀を侵入させる。このときの圧力と圧入された水銀量から細孔分布を求める。
スチレンブタジエンコポリマー	スチレンと1,3-ブタジエンの共重合体で、一般ゴムとして多量に生産、消費されている合成ゴム。水系バインダの一種で、増粘剤であるCMCと併用して負極に利用されている。使用量によって電池特性が大きく変化する。
スラリー	液体に粒子が混ざり込んだ懸濁体。
正極	電池で、両極を導線で連結した場合、導線に電流が流れ出す極。
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。
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。
赤外分光	赤外線を物質に照射すると、特定の波長で吸収が起こる。これを赤外吸収といい、赤外吸収に基づいて分子構造の解析や定性・定量を行うことを赤外分光法という。
絶縁体	電気を伝えない物質。自由電子や自由に動けるイオンを持たない物質。
セパレータ	正負極電極間の電子的接触を防止しつつイオンを通過させるスペーサー。電池反応を効率よく進めるためには、セパレータの孔径の均一性、空孔率、ガス透過率、電解液との濡れ性などの因子が重要となる。ポリエチレン、ポリプロピレン、あるいはそれらの組み合わせなど、ポリオレフィン系の材料が多く使用されている。
走査型電子顕微鏡	二次元的に走査する加速電子線プローブで固体表面を照射し、各点からの反射電子、二次電子などの種々の信号を情報として検出して試料表面の像を得る顕微鏡。伝導性の低い試料の場合は、電子放出のため試料面が帯電し顕微鏡像を観察できなくなるため、金属などを表面に蒸着して観察する。焦点深度が深く、凹凸の多い表面構造の観察に優れた効果がある。特性X線を利用した元素分析も可能。
走査型プローブ顕微鏡	先端を尖らせた探針(プローブ)と試料間に作用する物理量を検出し、微小領域の表面形状や物性を測定する顕微鏡。磁気特性や電気特性を観測することができるものも開発されている。高い分解能を持ち、高真空中のみならず大気中や溶液中でも観察が可能。
多変量解析	多数の統計的変量の相互依存関係や従属的關係の解析を目的とする統計的手法、および、その理論の総称。主成分分析、因子分析、クラスター分析などがある。主成分分析は、多くの変数により記述された量的データの変数間の相関を排除し、できるだけ少ない情報の損失で、少数個の無相関な合成変数に縮約して、分析を行う手法である。
定置用(蓄電池)	電力の安定供給を目的とした電力供給用の蓄電システム。交流系統の安定化や負荷電力のピークシフト、停電時の電力供給用、家庭用PVシステムの余剰電力の吸収や負荷電力のピークシフト用などが主な目的。
電解液	有機溶媒に溶質としてLi塩を溶解したイオン伝導体。現在利用されているリチウムイオン電池では、溶媒として、極性が大きく溶解力の高いカーボネート系有機溶媒が使用されており、PCやECなどの高誘電率溶媒と、DMCやDECなどの低粘度溶媒との混合溶媒が汎用的である。リチウム塩としては、LiPF <sub>6</sub> 、LiBF <sub>4</sub> などが使用されている。

電解質	リチウム系の電池では、作動電圧が高く、水溶液電解質が使用できないため、非水電解質が用いられる。リチウムイオン電池の電解質は、(1)イオン伝導率が高い、(2)化学的、電気化学的安定性に優れている、(3)使用可能温度領域が広い、(4)安全性が高い、(5)価格が安い、などの性質を満足する必要がある。現在市販されているリチウムイオン電池のほとんどは、非プロトン性有機溶媒にリチウム塩を溶解させた溶液が用いられている。その他に、ポリマー電解質、固体電解質、ゲル電解質など、安全性に優れた電解質の研究が進められており、実用化が期待されている。
添加剤	優れた特性を確保するため、溶媒と電解質塩以外に添加する電解質、または溶液。電導度の改善、電極反応の促進、過充電の回避、電解液の化学的・熱化学的安定性向上などの目的で添加される。
電気二重層	2つの異なる物質が接する界面において、電荷の分離を生じ、異符号の電荷が向き合って界面に配列した層。二重層の電位差は、電極近傍でのイオンの挙動に大きな影響を与えるため、電極反応の進行を支配する要因として重要である。電気二重層のモデルとして、ヘルムホルツモデル、シュテルンの二重層モデルなどが提唱されている。
電極	電解質溶液などの系に外部から電流を通すために、あるいはこれらの系から電流を外部に取り出すための導体。
電子エネルギー損失分光法	電子が TEM 観察時の薄片試料を透過する際に原子との相互作用により失うエネルギーを測定することによって、物質の構成元素や電子構造を分析する手法。EDX に比べてエネルギー分解能が高く、軽元素の感度が良い。化学状態分析も可能。
電子スピン共鳴法	不対電子を検出する分光法の一つ。遷移金属イオンや有機化合物中のフリーラジカルを検出するのに用いられる。静磁場中ではスピン状態に応じてエネルギー準位が2つにゼーマン分裂する。このエネルギー差に等しいエネルギーを持つ電磁波(通常マイクロ波)を共鳴吸収して、2つの電子スピン準位間に磁気双極子遷移が起こることを電子スピン共鳴といい、共鳴条件を満足するマイクロ波の吸収を検出する分光法を電子スピン共鳴法という。
電子線染色	電子顕微鏡観察においてコントラストの低い試料に、重金属を含んだ染色液で化学的、あるいは物理的に重金属を付着させてコントラストを増強させる方法。
電子伝導	電場下で電子をキャリアとして電流が流れる現象。
電子線マイクロアナライザ	電子ビームを試料表面に照射し、各種信号を観測することで、表面の微小部の元素分析を行う分析法。特性X線を測定することにより、B から U まで元素を分析することができる。また、二次電子、反射電子等の利用により、表面の形態観察も可能。1~200 nm の微小領域の分析を行うことができる。
電池特性	電池性能に関する特性。レート特性、温度特性、寿命特性などが挙げられる。
dendrait	枝分かれした樹枝状の結晶。金属 Li やグラファイトを負極とした場合、放電過程で Li デンドライトが析出し、セパレータを突き破り短絡する。このため金属 Li 負極が実用化されていない。また、グラファイト負極の低温での dendrait 析出が電気自動車用バッテリー開発の安全性に関する課題となっている。
天然黒鉛	容量が理論容量に近く、低価格で高伝導性を有するなどの特徴から、負極活物質として実用化されている。ハイレートでの充放電が困難であったり、ハイレートでのサイクル特性が不十分であったりすることから、EV などの用途には適さない。
銅	代表的な負極の集電体として利用されている。
透過型電子顕微鏡	薄片または微小な分散体試料にコンデンサーレンズで集光した電子線を照射し、試料からの散乱波および透過波を対物レンズに導いて像を形成させる。これを後続のレンズ系で拡大し、終段の投影レンズにより像を可視化、撮影する。
導電助剤	電子伝導性の確保と反応の均一性のために、電極合剤に添加される。サイクル特性の向上に寄与するとともに、電極中で電解液を保持する役割も果たしている。多くの場合、炭素系材料がよく使用される。

導電ネットワーク	活物質、または活物質・導電助剤と集電体によって形成される電子のパス。
内部ガス	充放電に伴い、電解液が分解して発生するガス。成分として、水素、二酸化炭素、一酸化炭素の他、エチレン、プロピレンなど電解液由来の低分子炭化水素が挙げられる。
内部抵抗	電池を放電させるとき、放電反応の進行を妨げる抵抗。
ナノテクプラットフォーム	文部科学省において、2012年度から開始された事業。大学などの研究機関が所有しており、他の機関では整備が困難な最先端のナノテクノロジー研究設備を、全国的に共同利用する体制を構築するもの。日本の研究基盤の強化を目的とし、組織や分野を超えた連携の促進、企業や研究現場の技術的課題に対する総合的な解決法の提供を行う。
二次電池	充電することにより何度も繰り返して使用できる化学電池。蓄電池ともいう。
二値化	画像の各画素の輝度に対して閾値を設け、閾値以下を0、閾値より大きいものを1とする方法。
ニッケル酸リチウム	リチウムイオン電池の正極活物質の一種。コバルト酸リチウムと同じ層状岩塩型の結晶構造を持つ。コバルトと比較して2価に還元されやすいことから放電容量が不十分であったが、合成法の検討により改良がなされている。
熱分解-ガスクロマトグラフ-質量分析法	蒸気圧の低い高分子化合物を揮発性低分子量化合物に熱分解し、それらの分離・同定を行うことで、もとの物質の同定や分子構造の決定などを行う方法を熱分解ガスクロマトグラフィーという。この装置に質量分析計を接続し、得られた質量スペクトルから定性を、イオン量から定量を行うことができる。
粘度	粘性率。運動している流体の内部で、隣り合った部分が異なる速度で流れているとき、その速度を一定にする向きにずれ応力が働く。この性質を流体の粘性といい、粘性率によって定量的に表される。液体では、温度が高いほど、粘性率は小さくなる。
パーコレーション	ランダム系における電気伝導や拡散などについて、対象とする物質の系内での繋がりが、その繋がりが系の性質にどう反映しているかを考察する理論をパーコレーション理論という。
ハードカーボン	リチウムイオン電池の負極活物質の一種。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でき、HEV向きとも言われる。
バインダ	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など様々な性能が要求される。
ハレーション	強度の大きい光が当たった部分の周囲がぼやける現象。
反射電子	入射電子が試料中において散乱する過程で、試料表面から再放出されたもの。入射電子エネルギーを最高値として幅広いエネルギー範囲を有する。反射電子の放出は、試料の構成元素に依存する。また、二次電子像では得られないわずかな凹凸を観察することができる。
ビニレンカーボネート	添加剤の一種。分子内に不飽和結合を有しており、カソード分極化で還元重合し、安定な被膜を形成すると考えられている。
評価基準書	標準構成電池モデルごとに、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、など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」に関する項目を追加した。
評価基準書	標準構成電池モデルごとに、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、など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。これにはしたがって上記の「性能評価手順書」、「試作仕様書」は含まれる。評価基準書は他の標準構成電池モデルとの比較や、新規な材料などを検討する上で参考とすることが可能となる。
不可逆容量	初期サイクルの充電時に現れる、その後の放電時には現れない不可逆な容量。不可逆容量の大きさは、負極材料の種類やセル組み工程、電解液の種類による。炭素材料においては、表面



	の反応と内部の反応に大別されており、表面反応は SEI 形成として知られている。内部反応としては、Li イオンが材料内部に残存する含酸素官能基などと反応して化合物を生成したり、結晶欠陥や粒界にとどまったりすることが考えられている。
負極	電池で、両極を導線で連結した場合、導線に電流が流れ込む極。
副資材	電極合剤に添加される活物質以外の材料。
プロピレンカーボネート	電解液の成分。環状エステル。高い誘電率を持つ溶媒であり、リチウム一次電池の電解液として利用されてきた。粘性が高く、黒鉛材負極とは互換性が低いが、沸点が低いため電池に使用すると低温特性が良化する。EC 同様、低粘度溶媒である鎖状エステルと混合して使用されている。
雰囲気	特定の気体やそれを主とした混合気体の状態、またはその気体の条件下にある状態。
放射光	電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波。高い指向性を有し、光源からフォトン以外を放出しないという特徴を持つ。
放電	蓄積された電荷を失う現象。
放電容量	→容量
包埋	試料空孔部を樹脂などで埋めること。薄切化する際に変形しない強度を持たせ、取り扱いを容易にするために行われる。
ボトルネック	瓶の首の細くなったところ。流れが滞るところ。空隙中のボトルネックが、Li イオンの拡散を妨げる要因となる可能性が考えられる。
ポリフッ化ビニリデン	高耐性、高純度な熱可塑性フッ素重合体の一つ。有機溶剤系バインダ樹脂。正極、負極ともに利用される。
マンガン酸リチウム	リチウムイオン電池の正極活物質の一種。スピネル型の結晶構造を有する。MnO <sub>6</sub> 八面体が連結した比較的強固な三次元的骨格中に、Li イオンのサイトが存在する。マンガン酸リチウムの実用容量はコバルト酸リチウムのそれにやや劣るが、資源的に豊富であることに加え、安全性にも優れている。LCO に比して比容量(mAh/g: 1g当たりの放電容量)が 70%程度と小さいので、比容量が大きく、かつ高温保存性を改良できるニッケル酸リチウム(LiNiO <sub>2</sub> )の類縁体を混合して用いることが多い。
マイクローム	顕微鏡での観察に用いる試料を薄片にするために用いられる器具。
水系バインダ	ポリマーを水中に粒子状に分散させたバインダ。主に負極バインダとして使用される。代表的な水系バインダに、SBR やポリアクリレートがある。充電極板の加熱分解発熱量が低い、高容量が得やすい、サイクル特性が良好などの特徴がある。
メモリ効果	容量が十分残っている状態から充電するという操作を繰り返すと、見掛け上、容量が減少したように見える現象。
誘電率	媒質の誘電分極のしやすさの指標。物質内部の電界 E を与えたとき、電束密度(電気変位)D が定まるならば、 $D = \epsilon E$ によって与えられる量 $\epsilon$ をこの物質の誘電率という。通常、誘電率は物質に固有の値であり、誘電分極しやすい物質ほど、誘電率の値は大きくなる。
容量	使用開始から終了までに電池から取り出すことのできる電気量。(Wh)または(Ah)で表される。
容量維持率	標準容量を 100 とし、一定期間電池を保存後、規定した条件で最初に放電した容量比。
容量密度	電池から取り出せる容量の単位体積または単位質量当りの値。前者は(Ah/L)、後者は(Ah/kg)で表す。
四フッ化ホウ酸リチウム	有機溶媒中での解離度が低く、電解液の導電度が他の Li 塩を使用した場合と比較して著しく低い。また、充電時に負極で還元分解され LiF の厚い被膜を形成することが知られている。これはレート特性に大きな影響を与えるため、電極材料や電池構造に制約を与えることとなる。
ラマン分光	物質に一定振動数の単色光を照射し、散乱光を観測すると入射光とは異なる振動数をもつ光が観測される。これをラマン散乱といい、分子の定性や結晶性の評価に用いられる。

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)など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。小形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。リチウムイオン電池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、通信機などの幅広い分野で応用されている。今後は、自動車など輸送機器用の電源としての用途が期待されている。
リン酸鉄リチウム	リン酸鉄リチウム $\text{LiFePO}_4$ リチウムイオン電池の正極活物質の一種。オリビンと同じ結晶構造を酸素酸塩のひとつ。リチウムを引き抜いても、四面体と八面体の骨格を残したまま Li が抜けた構造である $\text{FePO}_4$ が生成するので、両者の対象性が変わらず充放電サイクルによる劣化が少ない。また、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。
レーザー顕微鏡	対物レンズの焦点位置と共役な位置ピンホールを置き、焦点のあった位置のみの光を検出する顕微鏡。点光源から出射した光は、対物レンズによりサンプルの 1 点に集光するように照射する。光源として特定波長を有し直進性に優れているレーザー光を使用することで、強い光を 1 点に集光させるので、コントラストが向上する。
レート特性	負荷特性、出力特性ともいう。放電容量と動的容量の関係。電池の作動電圧は放電電流の増加とともに低下する。EV 用の電池では、EV の加速性能や登坂性能を左右するので、特に重視される。
レオロジー特性	物質または物体の変形と流動に関する特性。レオロジーとは、変形と力と時間の関係を明確に記述したり、変形を構造論的に解釈したりする科学の一分野である。
六フッ化リン酸リチウム	LIB 用として最も普及している電解質。電解液中で、解離してイオン伝導により電気を運ぶ機能を持たせるために添加するものである。同類の塩の中でも、電気伝導度が比較的高い上、特に充電耐圧が高いため、リチウムイオン電池では常用されている。

# 第 I 章 事業の位置づけ・必要性について

## 1. 事業の概要

電気は様々なエネルギー源から転換することが可能であり、且つ最終需要家にとっても利便性が高く、我が国の二次エネルギー構造において中心的な役割を担っている。この電気を貯蔵することで、いつでもどこでも利用可能とする蓄電池は、電力需給構造の安定性強化、再生可能エネルギーの導入円滑化、スマートコミュニティ・次世代自動車の普及にとって核となるキーテクノロジーである。そのため、2014年4月に策定された「エネルギー基本計画」(第4次計画)では技術開発、国際標準化等によって低コスト化・高性能化を図り、蓄電池の導入を促進していくことが謳われている。

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、国内企業が付加価値の高い製品・サービスを開発し、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。蓄電池の技術領域は広く、電池メーカーと材料メーカーを中心に、先端研究サイドでは大学・研究機関、製品・サービスサイドでは自動車メーカー、住宅メーカー、電力会社等、多くの関係者が存在する。売り手側に属する企業、買い手側に属する企業もあり、これら関係者の技術開発のベクトルとスピード感を合わせることで、効率的な企業間競争を促進し、国内企業が世界市場で主導権を握ることに繋がる。

こうした中、モバイル・IT 機器用に加えて、今後、電気自動車(EV)・プラグインハイブリッド車(PHEV)等の車載用や住宅・ビル・事業用等の定置用としても今後、市場拡大が想定される蓄電池がリチウムイオン電池(LIB)であり、世界全体で研究開発が活発化している。

LIB の高性能化を実現する上で材料開発の占める比重は極めて大きい。特に、「主要四素材」と呼ばれる正・負極活物質、電解液及びセパレータの開発は、LIB の性能に決定的な影響を及ぼす。また、「主要四素材」に組み合わせる電極結着剤(バインダー)、電極導電助剤、電解液添加剤、セパレータ被覆材、集電体等についても LIB の性能に密接に関係する。LIB はこれら部材・素材の選択に自由度があることが特長であり、部材・素材で世界トップの技術力を有する我が国企業によって今後、多様な新規材料を実用化・製品化していくことが期待される。

しかし、新規の LIB 材料の実用化する場合、図 I-1に示すように、様々な因子をバランスさせる必要があり、材料主体で対応するものと、電池設計主体で対応するものがある。また、材料単体の性能を向上させても、その材料の性能を引き出すための電極や電池の構造、他の電池材料との組合せ(相互影響)や LIB 製造プロセスへの適合性を見極める必要がある。そのため、材料メーカーが新材料を蓄電池メーカー、自動車メーカー等のユーザーに提案し、それが LIB として実用化されるまでには 5~6 年の長期間が必要と言われている。今後、我が国の蓄電池関連産業が競争力を維持・向上していくには、新材料単体の開発・改良と実セルを用いた蓄電池としての実用性評価のキャッチボールを効率的かつ迅速に行い、新材料の実用化・製品化までの期間を短縮していく必要がある。

そこで、「次世代蓄電池材料評価技術開発」(以下、「本プロジェクト」という。)において、我が国蓄電池産業界の共通指標(ものさし)として機能する LIB 新材料の実用性評価技術の開発を実施した。具体的には、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試作する「標準電池モデル」(10 タイプ)とその「試作仕様書」、想定される主要な用途(汎用、HEV 用、EV 用、定置用)をカバーした「性能評価手順書」を策定した。また、これらの成果を適用して、本プロジェクトの助成先である「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」(略称「LIBTEC」)の組合員企業である

材料メーカーから提供された新材料サンプル(約 400 件)について電池試作・評価を行い、開発技術の妥当性を検証するとともに、サンプル提供者に対するフィードバックを行った。さらに、LIBTEC ともう一つの助成先である「株式会社住化分析センター」の協働によって、LIB の高性能化でポイントとなる電極活物質と電極構造、電極構造と電池特性の相関を把握する解析評価技術を開発した。

なお、本プロジェクトは NEDO の「課題設定型産業技術開発費助成事業」として実施した。ここで、「助成事業」とは、助成先が主体的に取り組む研究開発に対して、NEDO がその事業費の一部を助成金として負担(交付)する事業である。本プロジェクトの場合、NEDO が助成する経費の負担割合(助成率)は 2/3 であり、残りの 1/3 は助成先である LIBTEC 及び住化分析センターが自己負担した。

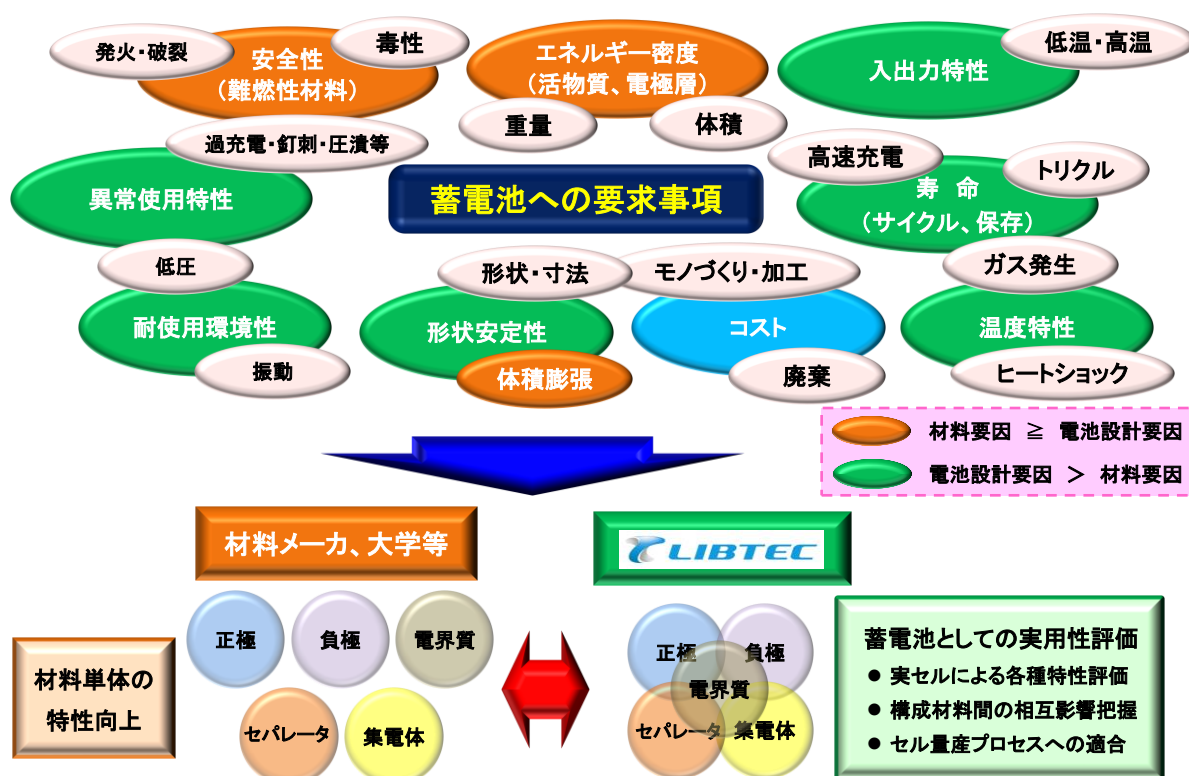
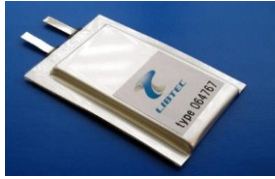


図 I-1 リチウムイオン電池の実用化・最適化の主要因子



1Ah 級標準ラミネートセル



5Ah 級ラミネートセル



コイン形セル

(a) 標準電池モデル

LIBTEC				No. L003	
ラミネ電池試作仕様書				作成日	2011.12.22
				承認	検印
NO.	年・月・日	訂正	機印	訂正内容	
1. 全体工程図					
<p>NMP 秤量            LiCoO<sub>2</sub> 秤量            AB 秤量            PVDF 溶液            SBR 秤量            ラテックス 秤量            純水 秤量            CMC 秤量            MAG 秤量</p> <p>一次練合            二次練合            三次練合            脱泡            粘度検査            貯蔵            Al箔 貼付            Al箔 セット            裏塗工・乾燥            貯蔵            塗工済極板セット            プレス            圧み検査</p> <p>純水 秤量            一次練合            二次練合            三次練合            四次練合            脱泡            粘度検査            貯蔵            Cu箔 貼付            Cu箔 セット            裏塗工・乾燥</p> <p>重量測定            含湿            二次シール            短絡検査            貯蔵            部分充電            交流抵抗            OCV検査            エージング            (部分充電後)            開封            再封止            重量測定            電解液量</p>					

(b) 試作仕様書

LIBTEC				No. STD-001	
汎用ラミネ電池 性能評価手順書				作成日	2012年4月11日
				承認	検印
NO.	年・月・日	訂正	機印	訂正内容	
2. 1 評価項目一覧表					
表 2-1 評価項目一覧					
評価項目	No.	名称	セル数		
放電温度特性	1	-20℃ 1/3C 放電	3		
	2	0℃ 1/3C 放電			
	3	25℃ 1/3C 放電			
	4	45℃ 1/3C 放電			
	5	60℃ 1/3C 放電			
放電負荷特性	6	1/3C 放電	3		
	7	0.5C 放電			
	8	1C 放電			
	9	2C 放電			

(c) 性能評価手順書

図 I-2 本プロジェクトの成果イメージ

## 2. NEDOの事業としての妥当性

### 2.1 関連する上位施策への寄与

本プロジェクトは、経済産業省の「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」(経済産業省、2008年4月)及び「ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画」(経済産業省、2008年4月)の一環として、2010年度から2014年度の5年間にわたり実施したものである。

「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」は、資源に乏しい我が国が将来にわたり持続的発展を達成するため、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築を推進することを目的として制定された。本事業の成果となる材料評価技術を適用して LIB の新材料が開発・実用化されることにより、それを採用しての LIB の高性能化、安全性向上、低コスト化等が進展すれば、従来のモバイル・IT 機器用に加え、車載用や定置用等にも普及が拡大していく。

そのため、本事業は、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」において目標に掲げられた民生・運輸部門の省エネルギー化(総合効率の向上)、運輸部門の燃料多様化、再生可能エネルギーの導入促進に寄与すると言える。

一方、「ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画」は、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギー等の様々な分野に対して高度化あるいは不連続な革新的進歩をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能にすることを目的として制定された。我が国のリチウムイオン電池材料技術は、基礎研究から応用研究、素材・部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界トップレベルを堅持しているが、ビジネス面では価格競争力に優る中国材料メーカー等との競争が激化している。本事業の成果となる材料評価技術は、蓄電池メーカー等のユーザーも含めた国内蓄電池関連産業界の共通指標(ものさし)として機能し、国内材料メーカーとユーザーとの迅速かつ高度な摺合せを実現する。

そのため、本事業は、「ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画」において目標に掲げられた我が国部材産業の競争優位の確保、部材産業の付加価値の増大、高機能部材の革新の先導による幅広い産業の付加価値増大に寄与すると言える。

## 2. 2 NEDOの関与の必要性

本プロジェクトで実施する LIB 材料の評価技術の開発については、下記①～⑤に示す理由から、NEDO 事業として取り組むこと、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。

### ③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。

### ④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。

### ⑤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、化学課、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 I-3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。

「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」では、EV・PHEV 用の先進的な LIB の技術開発を推進しており、「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」では、電力系統用の大型 LIB 蓄電システムの開発とその実証試験を行っている。また、「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」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型蓄電池の基礎研究を推進している。

さらに、2013 年度には「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(委託事業)を立上げ、本プ

プロジェクトと並行する形で、高容量・高電圧の電極材料(固溶体正極、シリコン系負極等)や難燃性電解液を用いた先進的な LIB や全固体電池を対象とした材料評価技術の開発を推進している。なお、委託先は、本プロジェクトの助成先でもある LIBTEC であり、本プロジェクトで蓄積された技術及びマネジメント経験・ノウハウを有効に利活用している。

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。

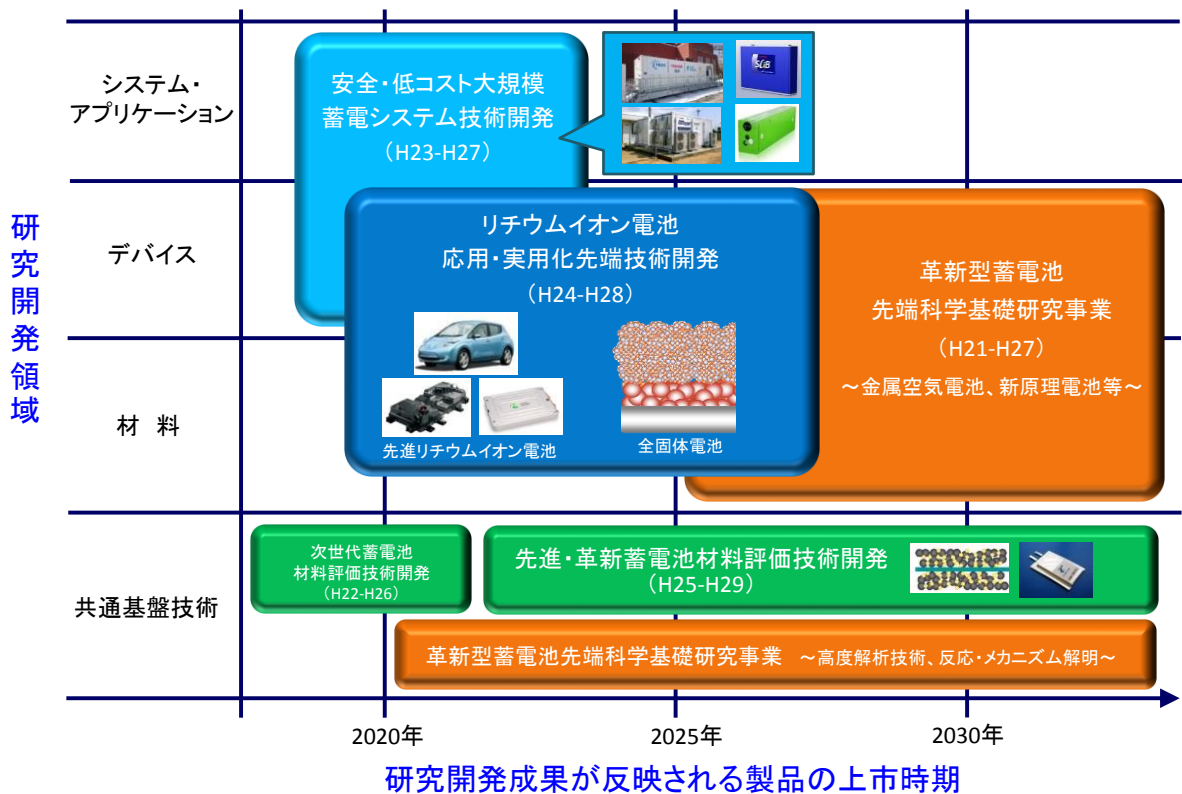


図 I-3 NEDO の蓄電技術開発プロジェクト



## 2.3 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がハイレベルな議論が行うことが可能となる。引き続いて、フィージビリティスタディや共同開発のフェーズに移行した場合も、技術の摺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もできる。

#### ③LIBTEC 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が協働で取り組む。また、蓄電池メーカー及び自動車メーカーの専門家で構成されるアドバイザリー委員会の開催を通じて、ユーザーの意見・助言等をすくい上げながら開発を進めている。そのため、本プロジェクトにおいては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なり、我が国蓄電池関連産業全体の技術力の向上が図られる。

### (2) 経済効果

詳細は「3.3 市場動向」で述べるが、LIB の世界市場規模は 2014 年が約 3 兆円であり、2020 年には 2 倍以上の 6 兆円規模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 2014 年が約 7,000 億円であり、2020 年には 2 倍以上の 1.5 兆円規模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 6,000 億円規模、LIB 材料については 1,500 億円規模の経済効果となる。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 2014 年売上げの合計は 800～900 億円規模である(NEDO 推計)。

さらに、アプリケーションである EV・PHEV、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、我が国の経済活性化に貢献することが期待される。

これに対して、本プロジェクトにおいて NEDO が投じた予算総額は約 11 億 4,000 万円であり、十分な費用対効果があると言える。

なお、この予算総額のうち、電極構造の解析・評価技術の開発に LIBTEC と協働で取り組んだ住化分析センターに対して、NEDO が交付した助成金の総額は約 2 億 6,000 万円である。住化分析センターについては、本プロジェクトの成果を自社の分析サービス事業に取り込み、プロジェクト終了後 5 年程度で年間数億円規模のビジネス展開を見込んでおり、この点においても十分な費用対効果があると言える。

## 2.4 まとめ

前記2.1～2.3で述べた関連する上位施策の目標達成への寄与、NEDO の関与の必要性、実施の効果に照らし見て、本プロジェクトは NEDO 事業としての実施が妥当であると言える。

### 3. 事業目的の妥当性

#### 3.1 本プロジェクトの目的

詳細は「3.3 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り、韓国の蓄電池メーカーも内製化を進めている。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(i)～(iv)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。

- (i) 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。
- (ii) ユーザー評価の結果が出るまでの期間が長いこと。
- (iii) 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・方法等の詳細情報がユーザーより開示されないこと。
- (iv) 上記(iii)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特性データであるため、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、ユーザー自らが材料データの取得を改めて行う場合もある。

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する。そのため、図 I-4 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 5～6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、図 I-5 に示すように、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。

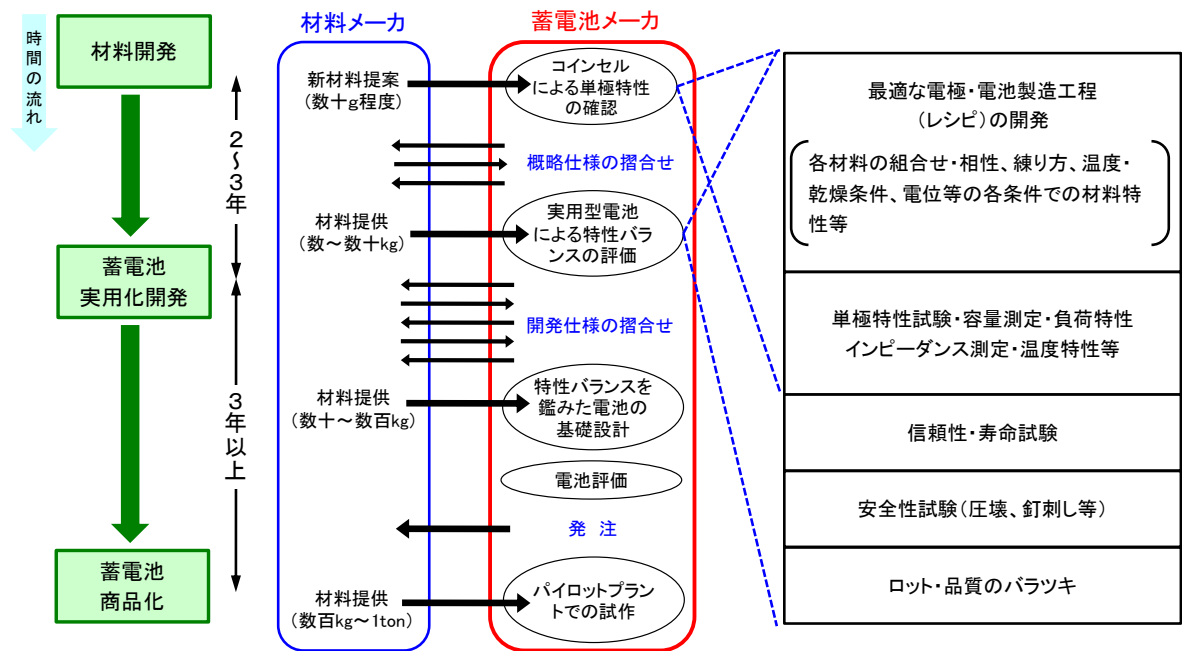


図 I -4 新材料の提案から実用化までの流れと開発内容

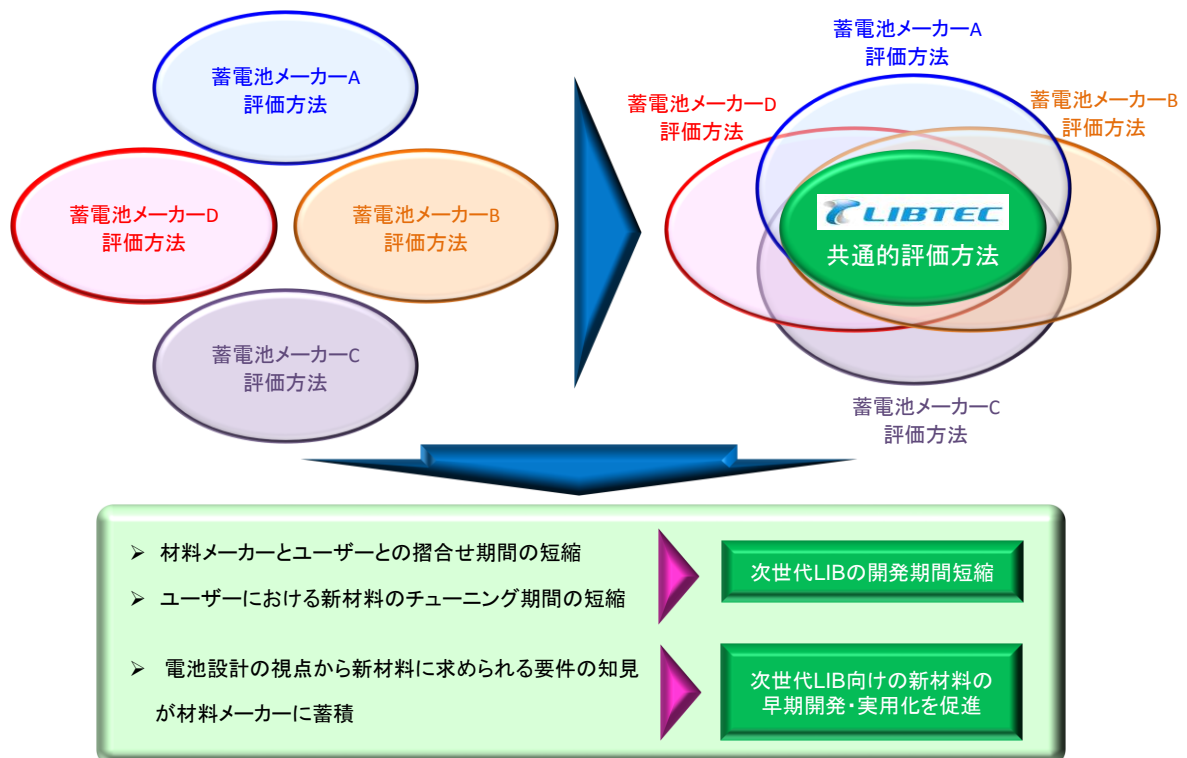


図 I -5 本プロジェクトの取組みと狙い

### 3. 2 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)、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る。現在市販されている小型蓄電池の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 倍となっているが、これら蓄電池の高性能化において我が国の電池産業界は絶えず世界をリードしてきており、その功績は計り知れない。

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、Ni-MH 電池を超えるエネルギー密度を有する蓄電池として、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、民生用では 2010 年の約 21GWh から 2014 年には約 43GWh と 5 年間で約 2 倍、車載用も 2010 年の約 100MWh から 2014 年には約 5GWh と 5 年間で約 50 倍と急増している。また、発売当初の 18650 型 LIB の重量エネルギー密度と体積エネルギー密度は 80Wh/kg、200Wh/L 程度であったが、250Wh/kg、700Wh/L 程度と 3 倍以上になった現在も更なる高エネルギー密度化を図るための技術開発が蓄電池メーカー、自動車メーカー等を中心に進められている。

蓄電池の技術進化の方向性を整理したものを図 I-6 に示す。



図 I-6 蓄電池の技術進化の方向性

近年、LIB とは電荷キャリア、材料、構造等が異なる革新型蓄電池の研究開発が世界全体で活発化しているが、実用化に向けて解決すべき課題は多く、その実用化は 2030 年代以降になると予想され、LIB が今後、しばらくの間、蓄電池市場の中心に位置すると見られる。

LIB の高性能化の方向性としては、高電位・高容量電極材料(酸化物固溶体正極、シリコン系負極等)、高電圧耐性を有する電解質(イオン液体、無機固体電解質等)、複合化・高次構造化したセパレータを組み合わせたの高エネルギー密度化・高出力化であるが、このような先進的 LIB については、蓄電池メーカーや自動車メーカー等が中心となって国家プロジェクトや自社開発で技術開発を進めているものの、現在はプロトタイプの検証段階であり、アプリケーションが実用化・製品化されるのは早くても 2020 年代初頭になるものと予想される。

そのため、現在から 2020 年までの LIB 材料の主流は、正極が層状酸化物(Co 酸化物系、Ni 酸化物、三元系)、スピネル系 Mn 酸化物系、ポリアニオン系リン酸塩系、負極が黒鉛系(天然黒鉛、人造黒鉛等)、非晶質炭素、電解質が有機溶媒(EC、PC、DMC、EMC 等)とリチウム塩の組合せであると予想される。従って、本プロジェクトにおいては当面の LIB 材料ビジネスの主戦場となる上記の材料系で構成される LIB を対象として材料評価技術を開発している。

### 3.3 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 I-7に示す。2014 年における蓄電池の世界市場規模は約 8 兆円である。今後、各用途でプラス成長の見込みであり、2020 年には 12 兆円兆、2025 年には 16 兆円超に成長と予測されている。また、市場全体の成長分の大半が LIB で占められると予測されている。

モバイル機器用 LIB については、市場規模がまだ数千億円であった 2000 年台初頭は 90%以上のシェアを日本メーカーが占めた。しかし、市場規模が生産(容量)ベースで 40GWh 超、売上ベースで約 2 兆円となった現在、①スマートフォン、ノート PC 等の市場での日本メーカーの競争力低下、②産業政策支援、大胆な生産設備投資等によるコスト競争力、③日本メーカーの人材獲得による品質向上、④為替相場での円高・ウォン安等を背景に、韓国勢が首位に立っている。2014 年のシェア(生産ベース)は、韓国メーカーの約 50%に対し、日本メーカーは約 20%と報告されている<sup>※1</sup>。

一方、2014 年における次世代自動車用(HEV、PHEV、EV、アイドリングストップ車)の市場規模は約 8,400 億円であり、その内訳は LIB が約 6,500 億円、Ni-MH 電池が約 1,300 億円、鉛蓄電池とキャパシターで約 600 億円である。これらは蓄電池自体に高い技術水準が求められることに加え、車両システム技術との摺り合わせにも高い技術水準が求められるため、日本メーカーが競争力を保持している。LIB の生産ベースのシェアは日本メーカーの約 70%に対し、韓国メーカーは約 20%であり、Ni-MH 電池は日本メーカーがほぼ 100%と報告されている<sup>※2</sup>。しかし、欧米自動車メーカーも近年、積極的に EV・PHEV の開発及び市場投入を進めており、今後、競争激化が予想される。

出典 ※1:「電気化学セミナー2015 最先端電池技術」(株式会社 B3 発表資料)

※2:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2015」(株式会社富士経済)

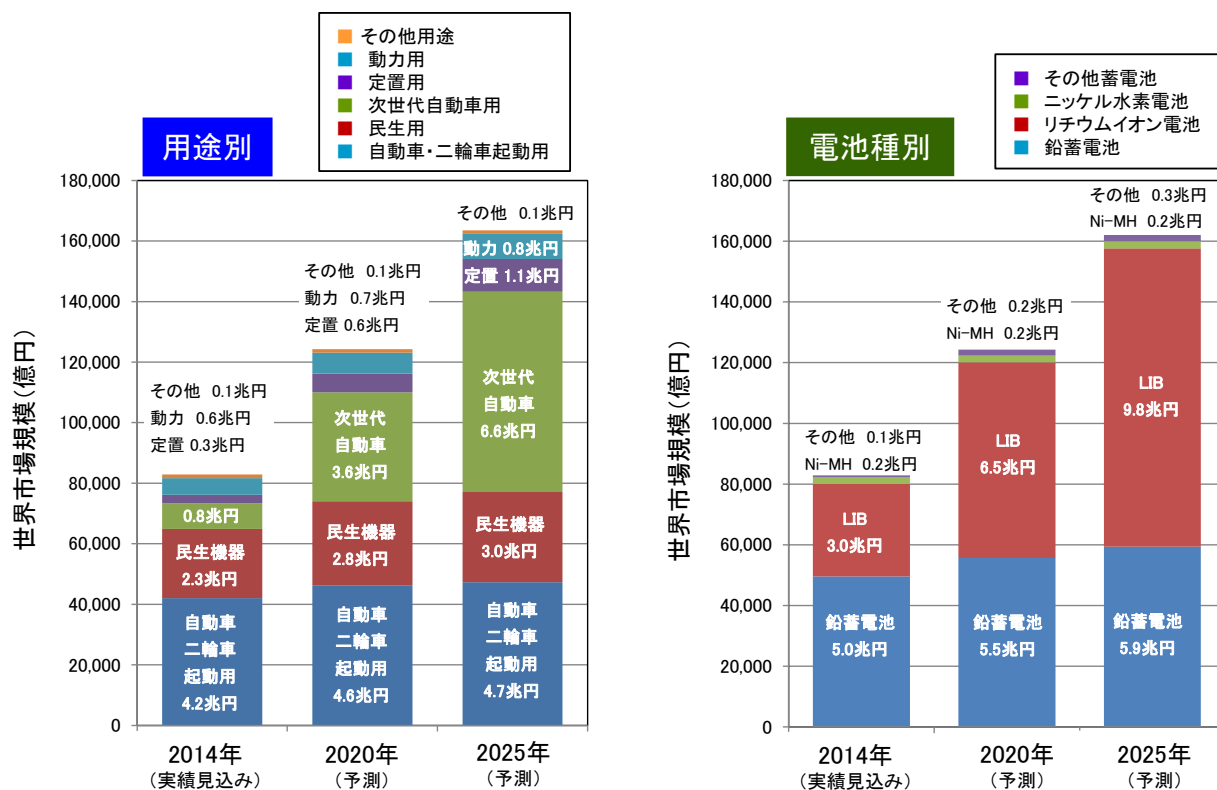


図 I-7 蓄電池市場の現況と将来予測(用途別)

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

## (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 I-8に示す。LIB 材料の市場は堅調に成長しており、2014 年における世界市場規模(実績見込み)は約 7,000 億円である。今後、次世代自動車やモバイル機器の需要増に牽引され、世界市場規模は 2018 年には 1 兆円を突破し、2020 年には 1.5 兆円規模、2025 年には 2.5 兆円規模に成長すると予測されている。

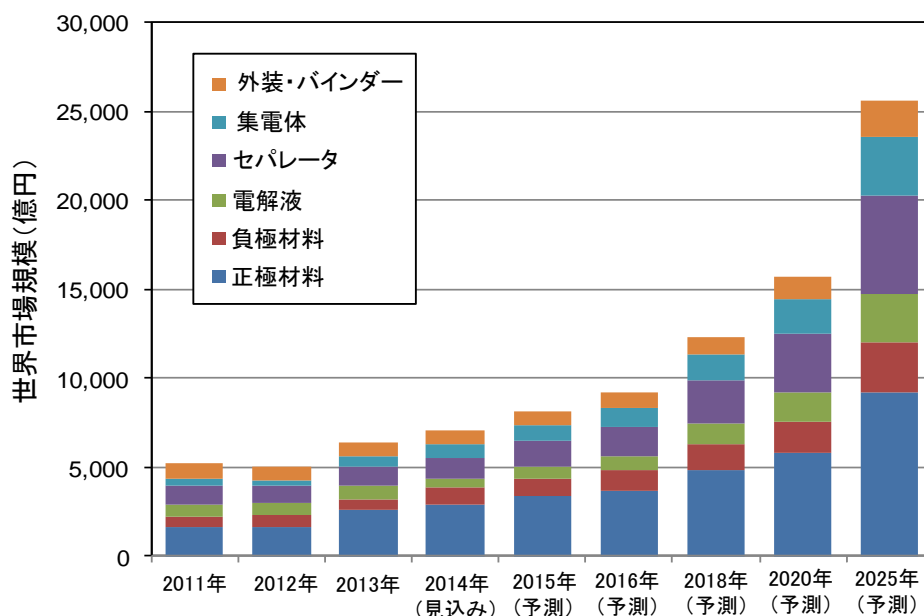


図 I-8 リチウムイオン電池材料の世界市場規模推移と将来予測

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

次に、2012 年～2014 年の 3 年間に於ける正極、負極、電解液及びセパレータの世界市場規模推移を図 I-9～図 I-12 に示す。

スマートフォンの大型化に伴うセルの大型化・高容量化や EV・PHEV 新モデルの市場投入を受け、各材料の生産量は堅調に増加する中、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。また、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、日本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 普及策及び蓄電池への助成措置に期待し、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が低いため、材料メーカーの設備投資に拍車を掛け、セルの実需を大きく上回る量の材料が出荷されている可能性があると言われている。

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、為替相場が円安基調であることも相俟って、高品質品をリーズナブルな価格で提供する日本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材料メーカーも存在する。

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。

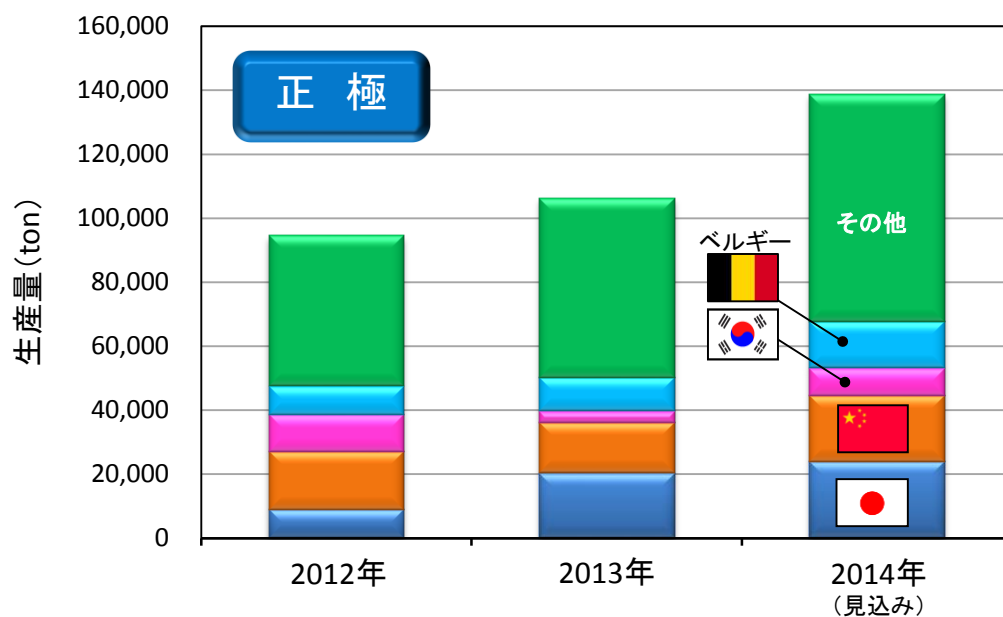


図 I-9 リチウムイオン電池・正極の市場規模推移

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2013~2015」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(注記) その他には、一部日本や中国の零細が含まれる。

正極について、ほぼ生産量で 2014 年の中国材料メーカーのシェアが 50%超との報告もある。

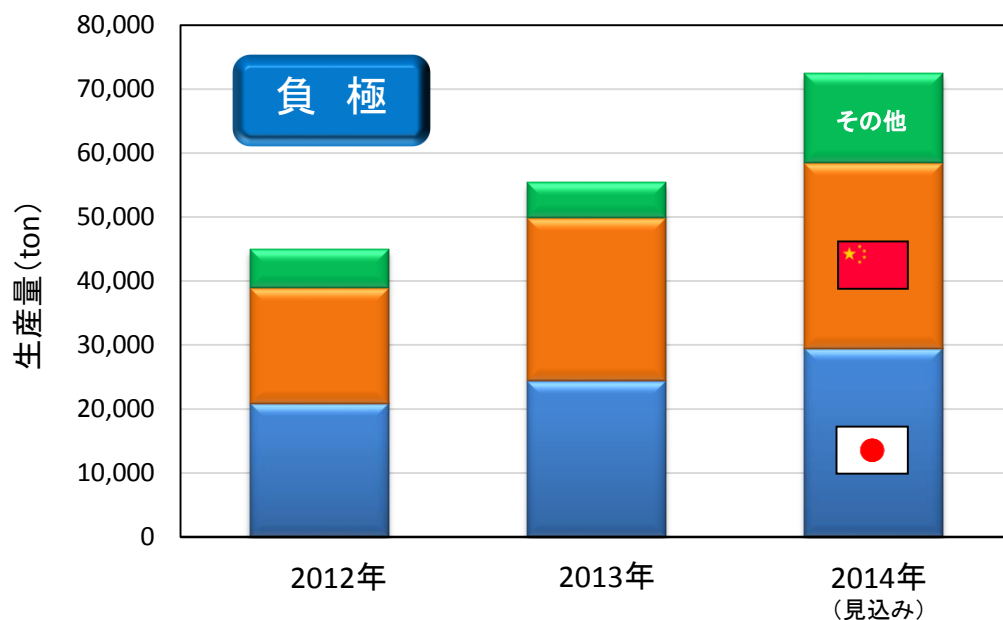


図 I-10 リチウムイオン電池・負極の市場規模推移

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2013~2015」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(注記) その他には、一部日本や中国の零細が含まれる。

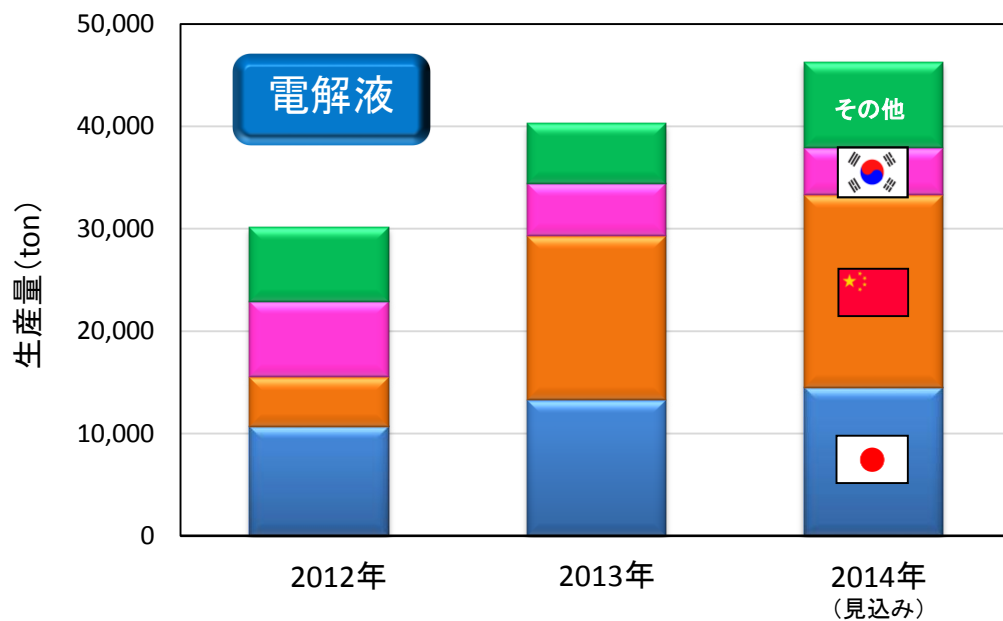


図 I-11 リチウムイオン電池・電解液の市場規模推移

出典：「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2013～2015」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(注記) その他には、一部日本や中国の零細が含まれる。

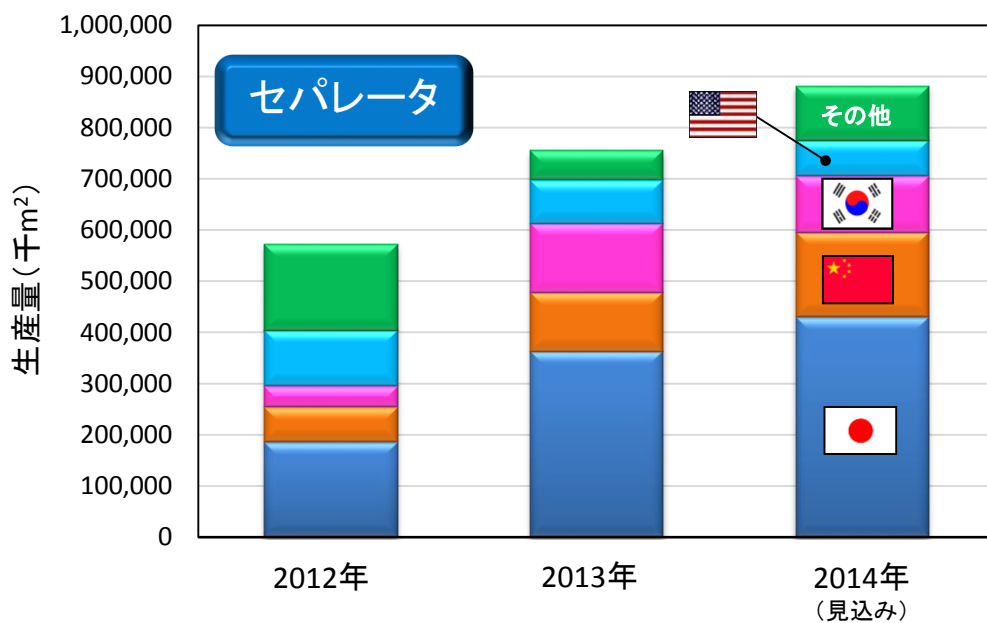


図 I-12 リチウムイオン電池・セパレータの市場規模推移

出典：「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2013～2015」(株式会社富士経済)に基づき NEDO 作成

(注記) その他には、一部日本や中国の零細が含まれる。

### 3.4 特許動向

#### (1) 出願人国籍別の特許出願件数

1998年～2007年(10年間)、2006年～2010年(5年間)におけるLIBの出願人国籍別の特許出願件数を図I-13に示す。調査期間に重複があるが、世界全体の年間特許出願件数は1998年～2007年で約2,700件/年に対し、2006～2010年では4,400件/年と1.5倍以上に増えている。

特許出願件数は日本が圧倒的に多い。日本の蓄電池メーカーがLIBの技術開発で世界に先行し、長年、市場を占有してきたこともあり、特許件数が多い。しかしながら、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。

	1998年～2007年		2006年～2010年	
	件数	割合	件数	割合
日本	17,781	66.1%	11,625	52.7%
米国	2,149	8.0%	1,585	7.2%
欧州	1,587	5.9%	1,668	7.6%
中国	1,289	4.8%	2,921	13.2%
韓国	3,704	13.8%	3,906	17.7%
その他	378	1.4%	362	1.6%
合計	26,888	100%	22,068	100%

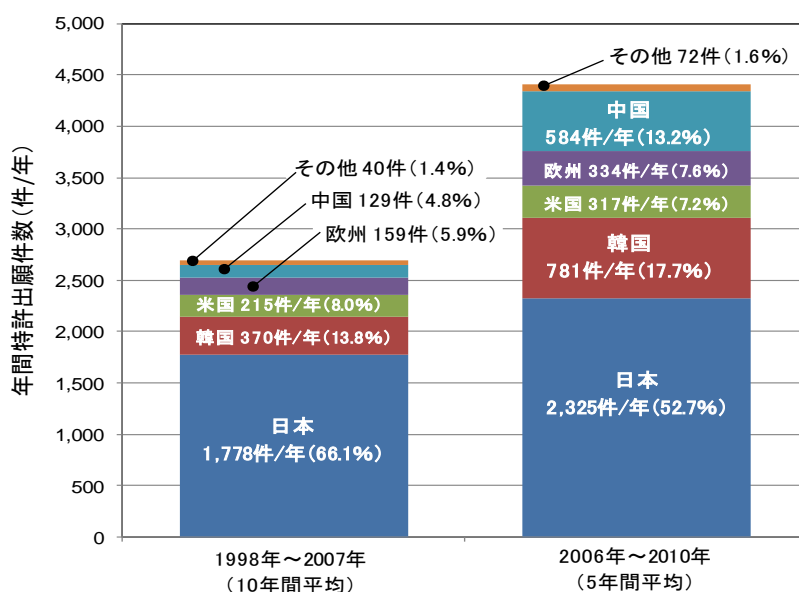


図 I-13 リチウムイオン電池の出願人国籍別特許出願件数

出典:「平成21年度特許出願技術動向調査ーリチウムイオン電池ー」(2010年4月、特許庁)及び

「平成24年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013年4月、特許庁)に基づきNEDO作成

#### (2) 出願特許の内容

2006～2010年の全出願件数22,068件のうち、用途が明記された出願が11,533件ある。その内訳は携帯電子機器が5,360件(46.5%)、電動自動車が2,743件(23.8%)、複数用途が3,104件(26.9%)、電動機器・定置用その他が326件(2.8%)である。また、課題については、耐久性・保存性が10,000件のオーダーで最多であり、エネルギー密度、入出力特性及び安全性が5,000件のオー

ダーで同程度である。

各材料の出願件数と全出願件数に占める割合を図 I-14 に示す。正極が最多の 8,143 件で最多(約 37%)、これに負極が 6,406 件(約 29%)で続く。電解質、セパレータ、集電体、外装・モジュール構造等は 1,000~2,000 件のオーダーである。

次に、正極、負極、電解液、セパレータ及び集電体の材料別の出願件数を図 I-15~図 I-19 に示す。正極の特許は Ni 系、Co 系、リン酸塩(オリビン)に関する材料が他より多く出願されている。負極の特許は黒鉛質炭素、Si 系の出願が突出し、Ti 酸化物が続いている。また、電解液は低分子有機溶媒、セパレータはポリオレフィン系が突出して多い。

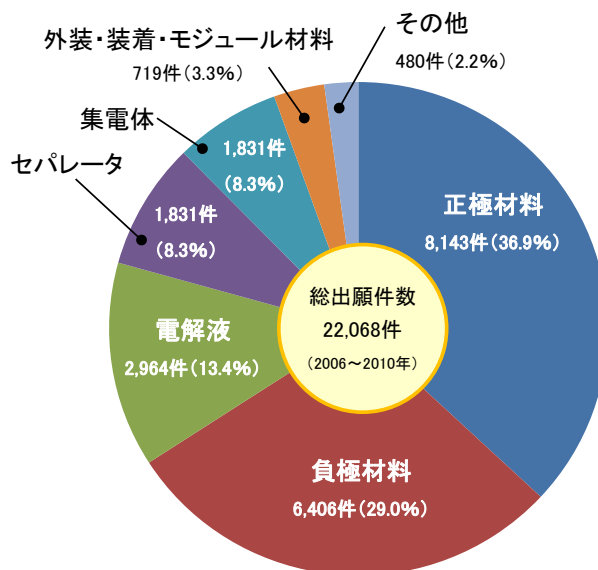


図 I-14 リチウムイオン電池の材料別出願件数の比率 (2006~2010 年の出願)

出典:「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)

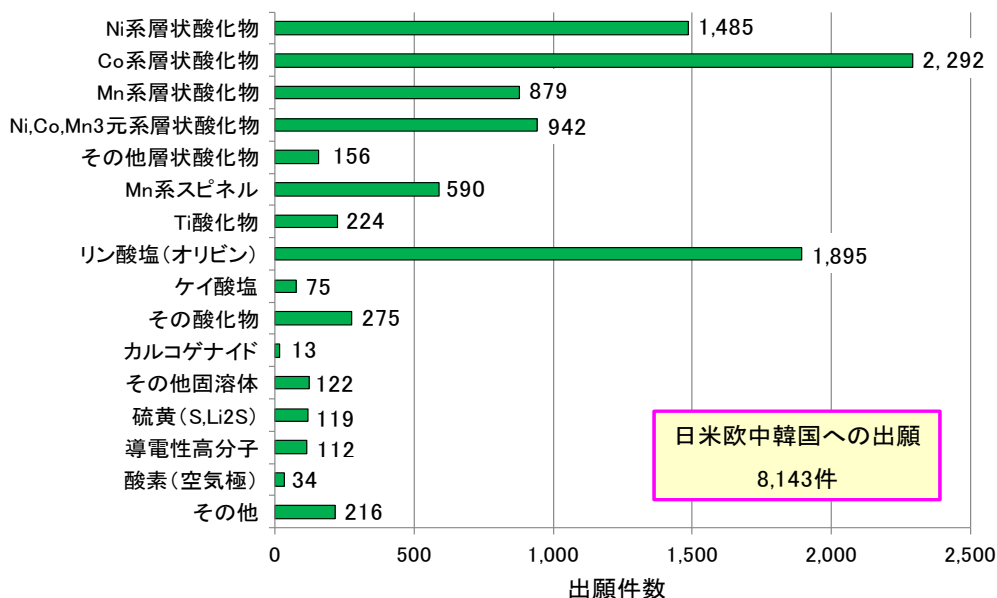


図 I-15 リチウムイオン電池・正極の特許出願 (2006~2010 年の出願)

出典:「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)

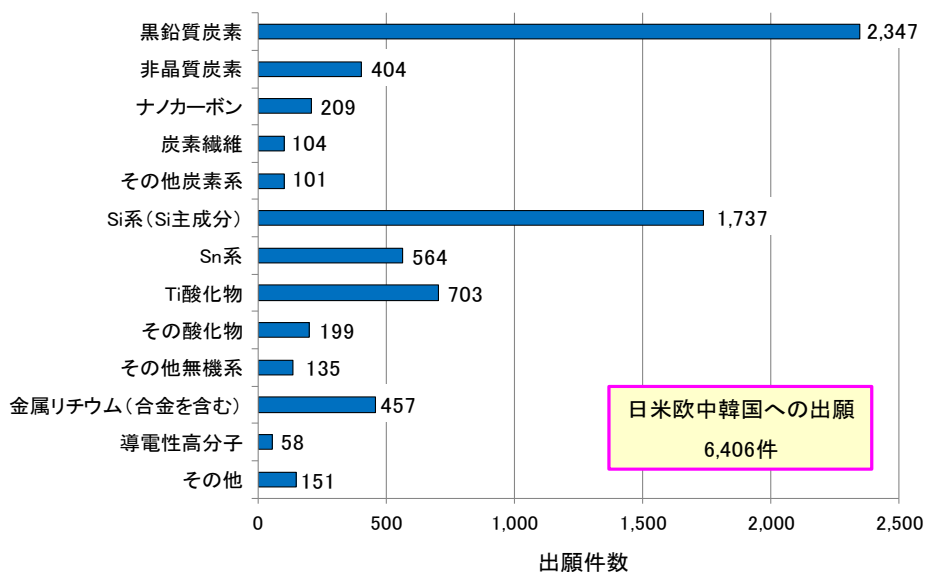


図 I -16 リチウムイオン電池・負極の特許出願(2006～2010 年の出願)

出典:「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)

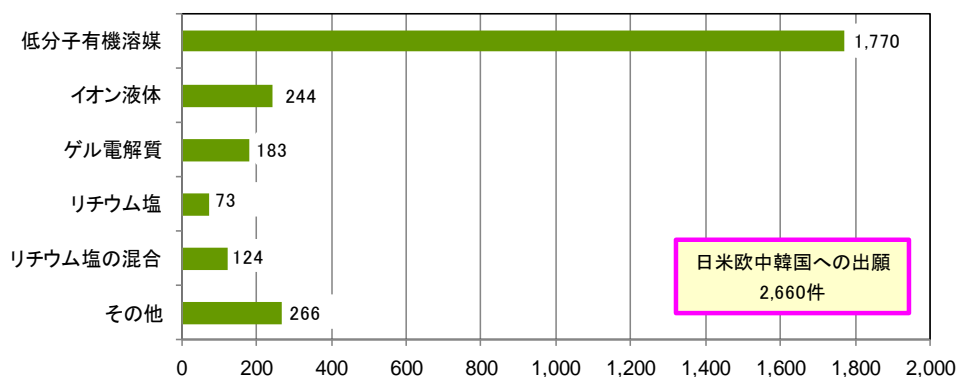


図 I -17 リチウムイオン電池・電解液の特許出願(2006～2010 年の出願)

出典:「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)

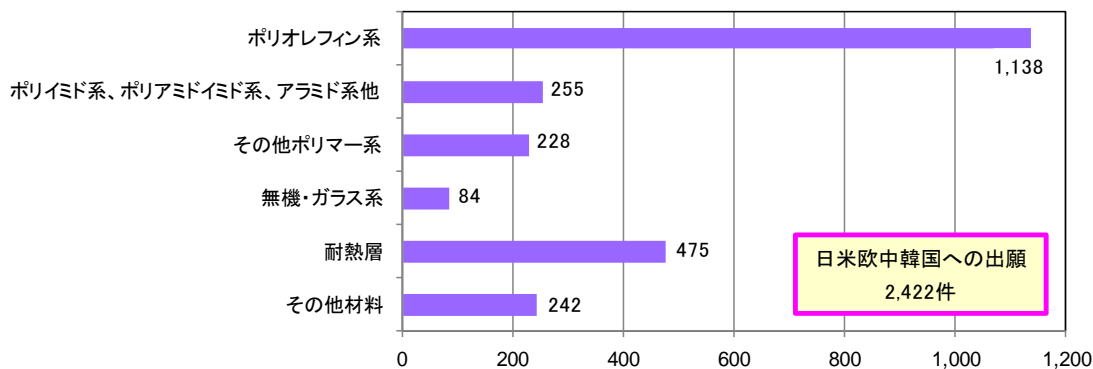


図 I -18 リチウムイオン電池材料・セパレータの特許出願(2006～2010 年の出願)

出典:「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)

### 3. 5 論文・学会発表

#### (1) 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 I-19 に示す。論文発表件数は 1998 年の 409 件から 2011 年の 1,762 件と約 4 倍に増加している。

また、論文の著者所属機関国籍別の発表件数比率を図 I-20 に示す。1998 年～2008 年の 11 年間では日本国籍が約 22%で最多であったが、直近の 2009 年～2011 年の 3 年間では中国籍が約 30%で最多となっている。米国籍、韓国籍の比率に変化は無いものの、日本国籍は約 13%と大きく減少している。

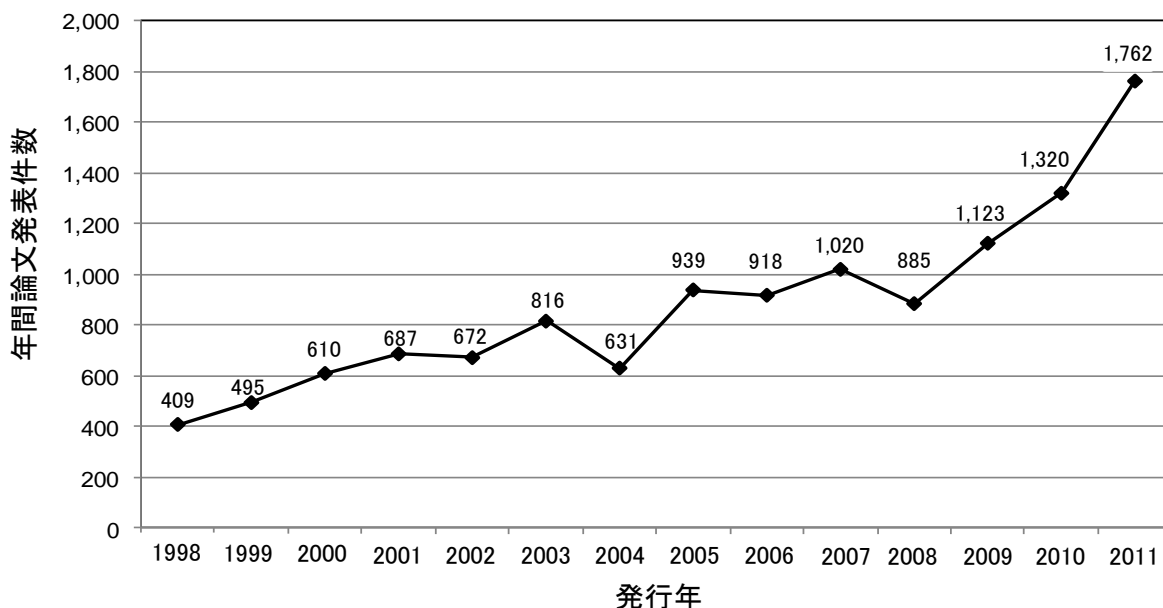


図 I-19 リチウムイオン電池の論文発表件数の推移

出典:「平成 21 年度特許出願技術動向調査ーリチウムイオン電池ー」(2010 年 4 月、特許庁)及び「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)に基づきNEDO作成

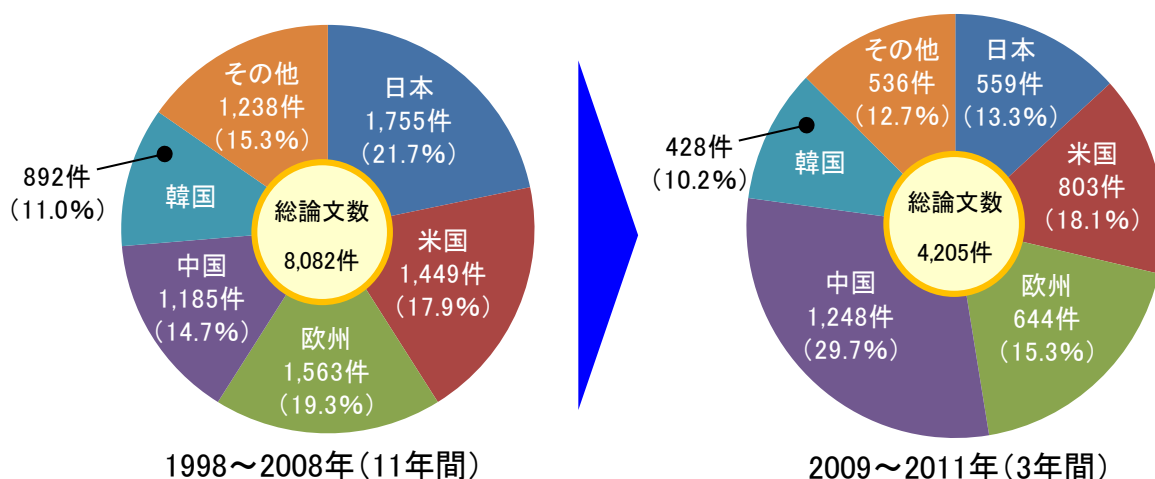


図 I-20 リチウムイオン電池・著者所属機関国籍別の論文発表件数

出典:「平成 21 年度特許出願技術動向調査ーリチウムイオン電池ー」(2010 年 4 月、特許庁)及び「平成 24 年度特許出願技術動向調査ーリチウム二次電池ー」(2013 年 4 月、特許庁)に基づきNEDO作成

## (2) 学会発表動向

図 I -21 に、2010 年と 2014 年のリチウム電池国際会議 (International Meeting on Lithium Batteries: IMLB) における電池タイプ別の発表件数を比較して示す。また、図 I -22 に 2009 年と 2014 年の米国電気化学会 (The Electrochemical Society) における電池タイプ別の発表件数を比較して示す。これらの図からも明らかなように、革新型蓄電池の研究発表が増加する傾向にあるが、現在も LIB の研究が中心である。

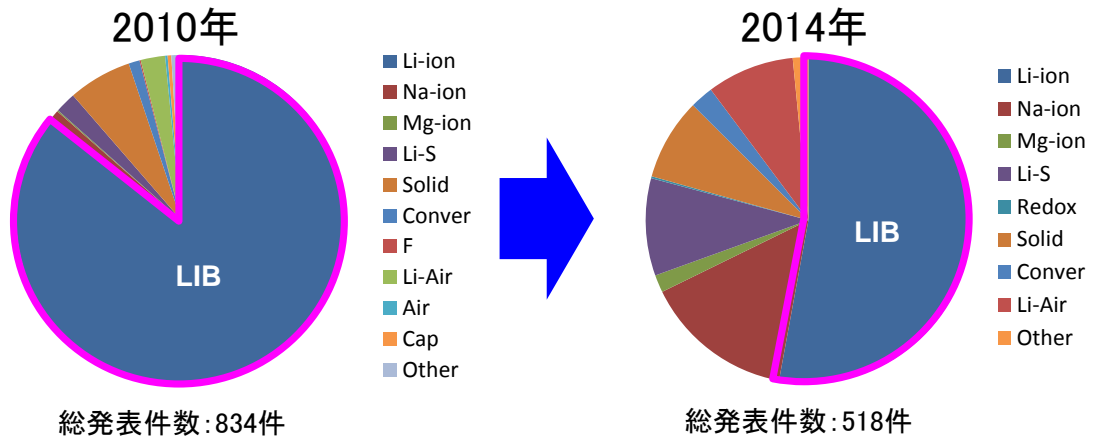


図 I -21 IMLB における電池タイプ別発表件数

出典:「TSC Foresight Vol.5 -車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて」(2015 年 10 月、NEDO)

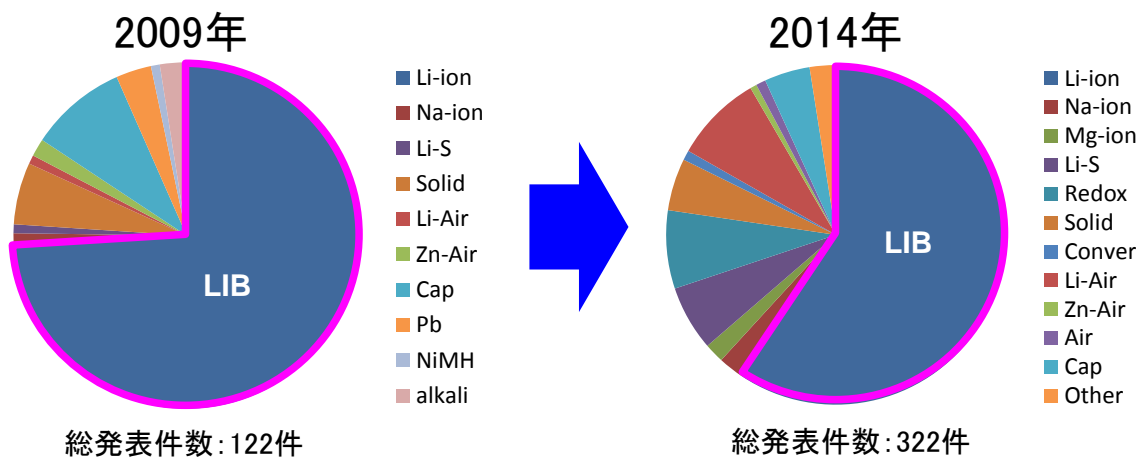


図 I -22 ECS における電池タイプ別発表件数

出典:「TSC Foresight Vol.5 -車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて」(2015 年 10 月、NEDO)

### 3. 6 主要国における技術開発プロジェクト

LIB に関する主要国の技術開発プロジェクトの大半は車載用を対象としている。系統用の大型蓄電システムを対象としたプロジェクトも存在するが、実証試験に重点を置いている。民生用 LIB を対象としたプロジェクトは見当たらない。

#### (1) 米 国

エネルギー省 (DOE) の自動車技術局 (VTO) は、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」を推進している。このプロジェクトは、下記の①～⑤のテーマで構成されており、①及び②が民間企業主体、③～⑤が国立研究所・大学主体で取り組まれている。

- ① The EV Everywhere Challenge
- ② Advanced Battery Development
- ③ Battery Testing, Analysis, and Design
- ④ Applied Battery Research for Transportation (ABR)
- ⑤ Focused Fundamental Materials Research, or Batteries for Advanced Transportation Technologies (BATT)

①のテーマは、2012 年のオバマ大統領の声明「The EV Everywhere Grand Challenge」(2022 年までに EV をガソリン車並みに手頃なものにする。)に基づき実施されている。本テーマにおける開発目標はコストが 125 ドル/kWh、重量エネルギー密度が 250Wh/kg、体積エネルギー密度が 400Wh/L、重量出力密度が 2,000W/kg であり、Johnson Controls、3M、BASF、TIAX、Leyden Energy、Argonne 国立研究所等が LIB 及び LIB 構成材料の高性能化、低コスト化、量産化の技術開発に取り組んでいる。

2014 年 2 月に開催された DOE 年次成果報告会において、2013 年の成果に基づいて電池パックコスト(年間 10 万パック生産時)と体積エネルギー密度を試算すると、それぞれ 325 ドル/kWh、150Wh/L になると発表されている。また、正極材料-負極材料の組合せ毎のコスト試算も行われており、NMC 正極-黒鉛負極で 150～200 ドル/kWh、Mn リッチの NMC 正極-シリコン合金負極で 125 ドル/kWh、Mn リッチの NMC 正極-金属リチウム負極で 100 ドル/kWh となっている。

②のテーマでは、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がフルスケールサイズで開発されている。Johnson Controls、3M、Maxwell 等の米国電池・化学メーカーに加え、LG Chemical、SK Innovation、Dow Kokam、Saft 等の海外電池メーカーも参加している。また、このテーマでは、国立エネルギー技術研究所 (NETL) のマネジメントの下、様々な先進的な電池セル、材料、部品等の開発や、中小企業技術革新研究プログラム (Small Business Innovation Research: SBIR) の資金提供を受けた中小企業・ベンチャーによる初期的な R&D が行われている。

③のテーマでは、前記の国立研究所によって EV・PHEV、車載用 LIB、充電インフラ等の経済性・ライフサイクル評価や電池の二次利用・リサイクルに関する検討が行われている。また、Argonne 国立研究所、Idaho 国立研究所及び Sandia 国立研究所によって車載用リチウムイオン電池の性能・耐久性試験法の開発、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 の計算機シミュレーション技術の開発等が行われている。

④及び⑤のテーマでは上記の国立研究所、California 大、Texas 大等が先進的 LIB の電極・電解質材料の開発、LIB の特性解析・モデリング、革新型蓄電池の基礎的研究等に取り組んでいる。



また、DOE のエネルギー先端研究計画局(ARPA-E)が 2010 年～2013 年(3 年間)に実施した「BEEST」プロジェクトでは、重量エネルギー密度 200Wh/kg、体積エネルギー密度 300Wh/L、コスト 250 ドル/kWh を開発目標として設定した高エネルギー密度電池の研究開発が行われた。リチウム空気電池、リチウム硫黄電池、マグネシウムイオン電池、亜鉛空気電池等の革新型蓄電池の研究開発テーマが大半を占めたが、Planar Energy が全固体 LIB、Envia Systems が表面修飾した Mn 系固溶体正極と耐高電圧電解液を組み合わせた LIB の研究開発に取り組んだ。

## (2) 欧州

欧州では、欧州連合(EU)の科学技術研究開発の支援制度である「第 7 次 Framework Program」(FP7)及び「Horizon2020」において EU 加盟国の企業、大学・研究機関が多数参加するコンソーシアム型プロジェクトで車載用蓄電池の技術開発が行われている。

LIB に関するプロジェクトを表 1-1 に示す。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、NMC)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、複数の高電圧正極とシリコン合金負極の組合せで構成される高エネルギー密度の LIB の開発を行っている。

表 I-1 EU における車載用 LIB の技術開発プロジェクト

プロジェクト(期間)	内容	目標	参加機関
AMEILEO (2011～2013)	フッ素系の電解質、セパレーター、バインダーを適用したLIBの開発。6Ah級セルで性能・耐久性を検証。	エネルギー密度 200Wh/kg、サイクル寿命 1,000回、カレンダー寿命 10年	Solvay(伊)、Recupyl(仏)、Temic Automotive Electric Motors(独)、CAE(仏)、Prayon(仏)、Volvo(Sweden)、Renault(仏)、Institut Polytechnique de Grenoble(仏)、Universität Münster(独)、Università di Bologna(伊)
APPLES (2011～2014)	ニッケル-マンガン系正極(LiNi0.5Mn1.5O4)とリチウム金属(スズ)-カーボン、Sn-C、合金負極、ゲル電解質で構成されるLIBの開発	エネルギー密度 300Wh/kg	Consorzio Sapienza Innovazione(伊)、Chalmers Tekniska Högskola(Sweden)、Chemetall(独)、ENI(伊)、ETC Battery and Fuel Cells(Sweden)、Università di Roma(伊)、SAES Getters(伊)、Stena Metall(Sweden)、ZSW(独)等
BATTERIES2020 (2013～2016)	ニッケル-マンガン・コバルト系正極を用いたLIBの研究開発	エネルギー密度 250Wh/kg、サイクル寿命 4,000回(80%DOD)	IKERLAN (Spain)、Fiat(伊)、Aalborg Universitet (Denmark)、Vrije Universiteit Brussel (Belgium)、Umicore(Belgium)、LeClanche(Switzerland)、Abengoa Research (Spain)、Kellen Europe (Belgium)等
EUROLIION (2011～2015)	鉄又はマンガン・ニッケル系正極とシリコン系負極で構成されるLIBの研究開発	エネルギー密度 200Wh/kg、コスト150Wh/ ユーロ	Technische Universiteit Delft (Netherlands)、Uppsala Universitet (Sweden)、Kemijski Institut (Slovenia)、University of Cambridge (英)、Volvo(Sweden)、Renault(仏)、Spijkstaal Elektro B.V. (Netherlands)、GAIA (独)、ZSW(独)等
MARS-EV (2013～2017)	複数の高電圧正極とシリコン合金負極の組合せで高エネルギー密度のLIBを開発。電極・電解液を最適化し、B5サイズのラミネートセルで性能検証。	エネルギー密度 250Wh/kg、サイクル寿命 3,000回(100%DOD)	Fundacion Cidtec(Spain)、Oxford Brookes University(英)、Imperial College(英)、Politecnico di Torino(伊)、SGL Carbon(独)、Solvionic(仏)、Rockwood Italia(伊)、Recupyl(仏)、Johnson Matthey (英)等
MAT4BAT (2013～2017)	現行セル(NMC正極/液体電解質/黒鉛負極)からさらに特性を向上させる液体電解質、ゲル電解質、固体電解質を抽出。10～40Ah級セルで検証。	エネルギー密度 250Wh/kg、サイクル寿命 3,000回	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives(仏)、Directa Plus SPA(伊)、KIT(独)、Renault(仏)、ZSW(独)、Timcal SA (Switzerland)、Solvionic(仏)、Fundacion Cidtec(Spain)、Solvay (伊)等
ELIBAMA (2011～2014)	EV用LIBの低コスト量産プロセス(電極・電解質製造、セル組立、品質管理等)の開発。また、使用済LIBのリサイクル技術の検討も実施。	(定量目標無し)	Renault(仏)、CEA-LITEN(仏)、Daimler(独)、Entegris(仏)、EDI-VEOLIA(仏)、Fraunhofer(独)、IN-CORE(仏)、Ingecal(仏)、Prayon(Belgium)、Rhodia(仏)、Saft(仏)、Snam(仏)、Solvay(伊)、Umicore(Belgium)等
HELIOS (2010～2013)	4種類の正極(NCA、LMO、LFP、NMC)と黒鉛の組合せで40Ah級セルの評価を実施し、優れた特性のLIBを見出す評価試験法を開発。また、セルの解体分析を実施し、劣化機構を解明。	(定量目標無し)	Renault(仏)、OPEL(独)、Peugeot(独)、Volvo(Sweden)、Ford(独)、Fiat(伊)、CNRS(仏)、RWTH Aachen(独)、Umicore(Belgium)、INERIS(仏)、ZSW(独)、edf(仏)、JCHAR(独)、CEA(仏)、ENEA(伊)、Saft(仏)等

出典:「Project Portfolio European Green Cars Initiative PPP Calls 2010-2013」を基に NEDO 作成

### (3) 中国

中国においては、「国家ハイテク研究発展計画」(863 計画)の第 12 次 5 ヶ年計画(2011 年～2015 年)の枠組みで車載用 LIB の技術開発が実施されている。2012 年には、次世代自動車に特化した新プログラム「Industrialization Technology Innovation Project of New Energy Vehicles」が立上げられ、開発予算総額約 3 億元のうち 60%が割り当てられて、正極ではリン酸金属塩リチウム、三元系、リチウム過剰マンガン系固溶体、負極では黒鉛、シリコン系、チタン酸リチウム(LTO)等を用いたリチウムイオン電池の開発が行われている。

2015 年 9 月に開催された国際会議「8th International Conference on Advanced Lithium Batteries for Automobile Application」(ABAA8)において、中国科学技術省よる 863 計画の LIB 開発状況は、エネルギー密度が LFP 正極で 137Wh/kg@50Ah セル、三元系正極で 156Wh/kg@40Ah セル、複合正極で 162Wh/kg@25Ah セル(負極は何れもカーボン系)と報告されている。また、コストは 3RMB/Wh、性能保証は 10 万 km 走行で 5 年間と報告されている。別途、先進的な LIB の開発も行っており、40Ah 級のポリマーLIB で 200Wh/kg、LMNC 正極と Si-C 負極の組合せ(プロトタイプ)で 286Wh/kg が得られていると報告されている。

### (4) 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(グリーン産業)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目指した「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旨とした 2020 年までの長期計画である「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 年までには EV 用や大規模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、韓国は小型民生用の競争力では日本と同等であるものの、中大型の技術力は日本に相当に劣るとし、中大型市場を狙った研究開発に 4～5 兆ウォンを投資するとしている。

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。

- (i) 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。
- (ii) 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。
- (iii) 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。

## 3.7 まとめ

前記3.2～3.6で述べた蓄電池の技術進化の方向性、市場動向、特許動向、論文・学会発表動向、主要国における技術開発プロジェクトの動向等に照らし見て、前記3.2で述べた本プロジェクトの目的は妥当であると言える。

## 第Ⅱ章 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

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。

**【最終目標】(平成 26 年度末)**

高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する技術を確立し、標準的手法として産業界、学術関係者等からプロジェクト目的に資するものであることの評価を得る。

**【中間目標】(平成 24 年度末)**

高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する課題とアプローチ手法を明確化するとともに評価手法案を作成する。

第Ⅰ章で述べたように、本プロジェクトは、蓄電池関連産業界の共通指標(ものさし)として機能する材料評価技術を確立することにより、国内材料メーカーが蓄電池メーカー等のユーザーとの迅速かつ高度な摺合せを実現し、市場競争力を有した蓄電池材料の実用化に資す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。本プロジェクトで開発される評価技術の価値は「産業界の共通指標(ものさし)として機能するか否か」で決まるものと考えており、この考え方に基づいた最終目標の記載となっている。

そのため、目標達成度は次の(i)～(v)に示すような視点で判定するべきと考え、これらの判断材料をプロジェクトの進行過程で収集・蓄積していくこととした。

- (i) 電池モデル試作時に新材料の製造プロセス上の得失・課題が把握できるか否か。
- (ii) 電池モデル性能評価において新材料の得失・課題を把握できるか否か。
- (iii) 汎用性、技術進展への対応、経済性(電池モデル、試作設備、性能評価の方法・設備等)。
- (iv) 各種ドキュメントの分かり易さ(試作仕様書、性能評価手順書、評価結果報告書等)。
- (v) 秘密漏洩防止、技術流出防止に対する対応。

上記の判断材料を収集・蓄積するには、新材料のサンプルを数多く入手して評価実績を蓄積しつつ、材料メーカー及びユーザー企業の双方からの要望・意見をプロジェクトの研究開発に取り込むとともに、学識者の提言・助言に傾聴していくことが重要であると考えた。詳細は「4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性」及び「第Ⅲ章 研究開発成果」で述べるが、下記①～⑤に示すマネジメント面での対応を行った。

#### ①標準電池モデル策定件数の目標設定

新材料に適した電池系や用途を見極めることができるように、1Ah 級ラミネート型セルの「標準電池モデル」は5種類を策定するとの目標を掲げた。また、少量のサンプルしか提供できない材料の評価にも対応できることが望ましいため、コイン形セルの「標準電池モデル」も策定するとの目標を掲げた。なお、最終的には、1Ah 級ラミネート型セルは 7 種類の「標準電池モデル」を策定するとともに、5Ah 級及び 30mAh級のラミネート型セルでの評価もできるようにした。

## ②電池試作・評価件数の目標管理

年度毎に NEDO が制定するプロジェクトの実施方針において電池試作・評価の年間目標件数(50 件以上)を明記する等して、評価実績の蓄積に努めた。なお、本プロジェクト実施期間中の電池試作・評価の総件数は 405 件である。

## ③電池試作・評価結果の利用実績のモニタリング

本プロジェクト実施期間中、LIBTEC 組合員企業が、本プロジェクトにおける電池試作・評価の結果をユーザーに対する新材料の提案活動に利用した実績件数をモニタリングした。なお、この電池試作・評価結果のユーザー提案への総利用件数としては 59 件である。

また、LIBTEC 組合員企業が自社における新材料の実用化・製品化(量産設備の導入)に利用した実績件数をモニタリングした。なお、この電池・試作評価結果の実用化・製品化への総利用件数は 114 件である。

## ④材料メーカーの要望・意見等の確認

LIBTEC 組合員企業(20 社)の技術開発責任者をメンバーとする「LIBTEC 技術委員会」を LIBTEC 内に設置し、本プロジェクトの研究進捗状況をタイムリーに報告し、電池モデルや性能評価手順、評価結果報告書等に関する材料メーカーサイドの要望・意見等をすくい上げながら研究開発を進めた(37 回開催)。

## ⑤ユーザー企業の要望・意見等の確認

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「LIBTEC アドバイザリー委員会」を LIBTEC 内に設置し、本プロジェクトで開発している評価技術を紹介し、ユーザーサイドの要望・意見等をすくい上げながら研究開発を進めた(7 回開催)。例えば、自動車メーカーより車載用 LIB の新材料提案を受ける際には、大型セルの評価結果があった方が望ましいとの要望を受け、5Ah 級ラミネートセルも電池モデルに追加した。

## ⑥学識者からの提言・助言への傾聴

学識者・専門家で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を開催し、本プロジェクトの研究開発内容について技術的な提言・助言をもらうとともに、学識者サイドから見ての最終目標への到達度に関する評価を確認しながら研究開発を進めた。また、LIBTEC 内にも学識者・専門家で構成される「外部活動提言委員会」を設置し、LIBTEC の活動に関する提言・助言をもらいながら、研究開発を進めた。

## 2. 研究開発計画の妥当性

本プロジェクトの研究開発スケジュールを表Ⅱ-1に、研究開発予算を表Ⅱ-2に示す。

各研究開発テーマの内容・進め方、テーマ間(要素技術間)の関係・順序等は下記①～⑤に示すとおりであり、研究開発計画は妥当であると言える。

### ① 材料、電極構造、製造プロセスと電池特性との相関把握

まず、電極構成材料の電子伝導度・イオン伝導度、電極乾燥速度、表面・界面切削装置(SAICAS)を用いた電極深さ方向のせん断降伏応力、電極の定常状態分極係数等の測定技術の開発を行った。並行して、電極活物質、導電助剤、バインダー及び空隙が電極構造中にどのような状態で存在・分布しているのかについて適量的な把握(数値化)を可能とする電極の収束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)画像の計算機処理技術の開発を進めた。

これらの技術のブラッシュアップを進めつつ、製造方法の電極構造に及ぼす影響把握、電極構造変化の電池特性に及ぼす影響把握を可能とする透過型電子顕微鏡(TEM)や *in situ* ラマン分析等を用いた解析技術の開発を進めた。

### ② 実セルを用いた共通的評価方法の開発

上記①の研究開発で得られる知見を活用しつつ、「標準電池モデル」及び「試作仕様書」について、前半3年間でコイン形セル1種類と1Ah級ラミネート形セル5種類を策定した。後半2年間においては、高電圧 LCO 正極と高 Ni 三元系正極を標準材料として追加することとし、これらを適用した1Ah級ラミネート形セル2種類を策定した。さらに、EV用途への適用性評価の確実性を高めるための大型ラミネートセル(5Ah級)、材料メーカー単独でも簡易評価を可能とするための小形ラミネートセル(30mAh級)を追加で策定した。

また、「性能評価手順書」については、前半3年間で LIB セルの基本特性(容量、入出力、温度、保存、サイクル寿命等)の評価方法を策定した。後半2年間においては、安全性・信頼性(過充電、加熱、内部短絡、圧潰)の評価方法を策定した。並行して、示差走査熱量計(DSC)、カルベ熱量計及び断熱熱量計(ARC)を用いた材料単体での安全性の評価方法を開発した。

### ③ 評価技術の妥当性検証

上記①及び②の開発と並行して、LIBTEC 組合員企業から新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価を行い、サンプル提供者に対するフィードバックを行いながら、開発技術の妥当性検証とブラッシュアップを進めた。

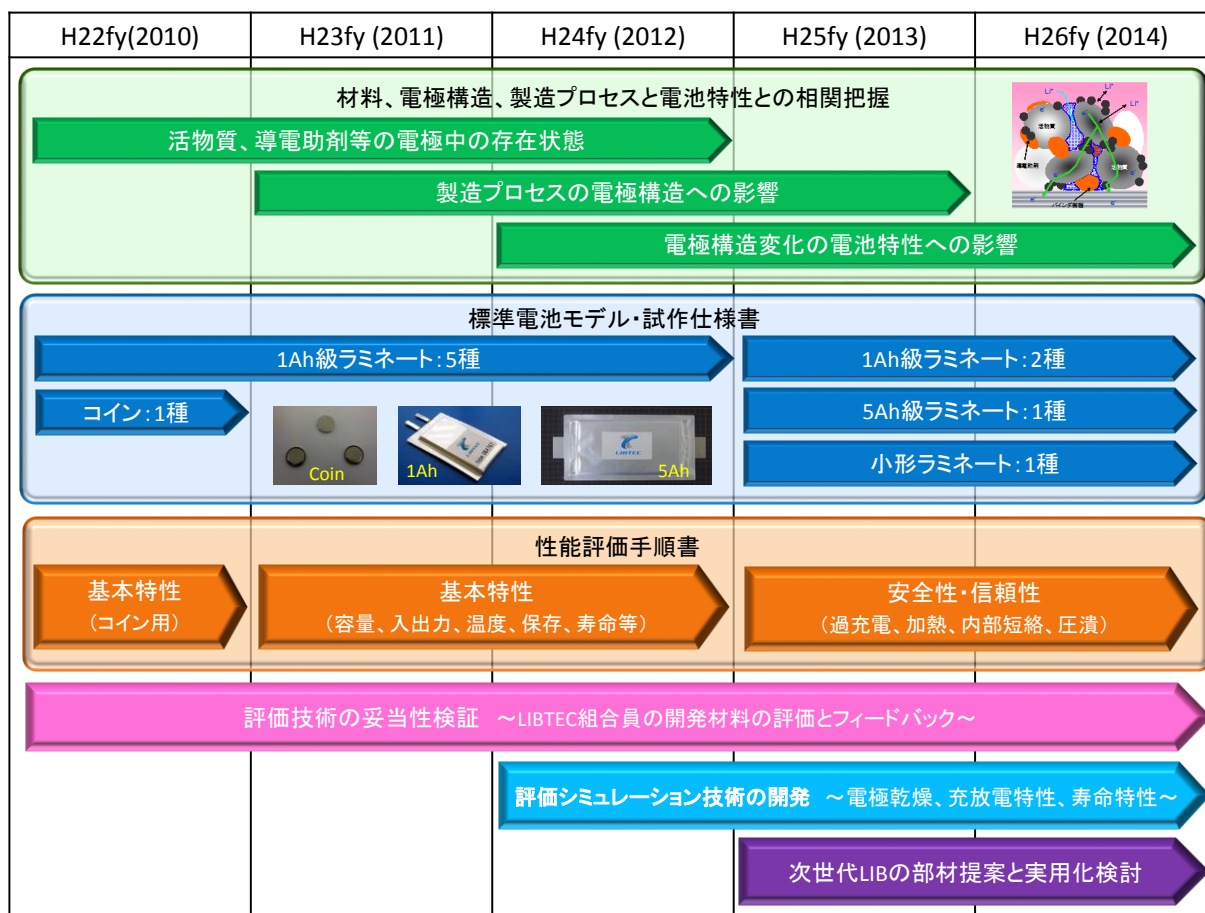
### ④ 評価シミュレーション技術の開発

プロジェクト3年目より、上記①及び②の開発過程で収集した充放電・寿命試験データ、電極構造の分析・測定データを活用して、材料物性及び電極作製のプロセス条件を入力データとして乾燥後の電極構造を予測する「乾燥シミュレータ」、材料物性と電極構造(数値化データ)を入力データとして充放電特性を予測する「充放電シミュレータ」及び保存劣化・サイクル劣化の特性を予測する「寿命シミュレータ」を開発した。

### ⑤ 次世代 LIB の部材提案と実用化検討

上記④の電池試作・評価の結果、次世代 LIB 材料として有望なものが確認された場合には、そのサンプル提供者の意向を確認した上で、前記の「LIBTEC アドバイザリー委員会」を活用する等してユーザー企業に紹介することとした。

表Ⅱ-1 研究開発の全体スケジュール



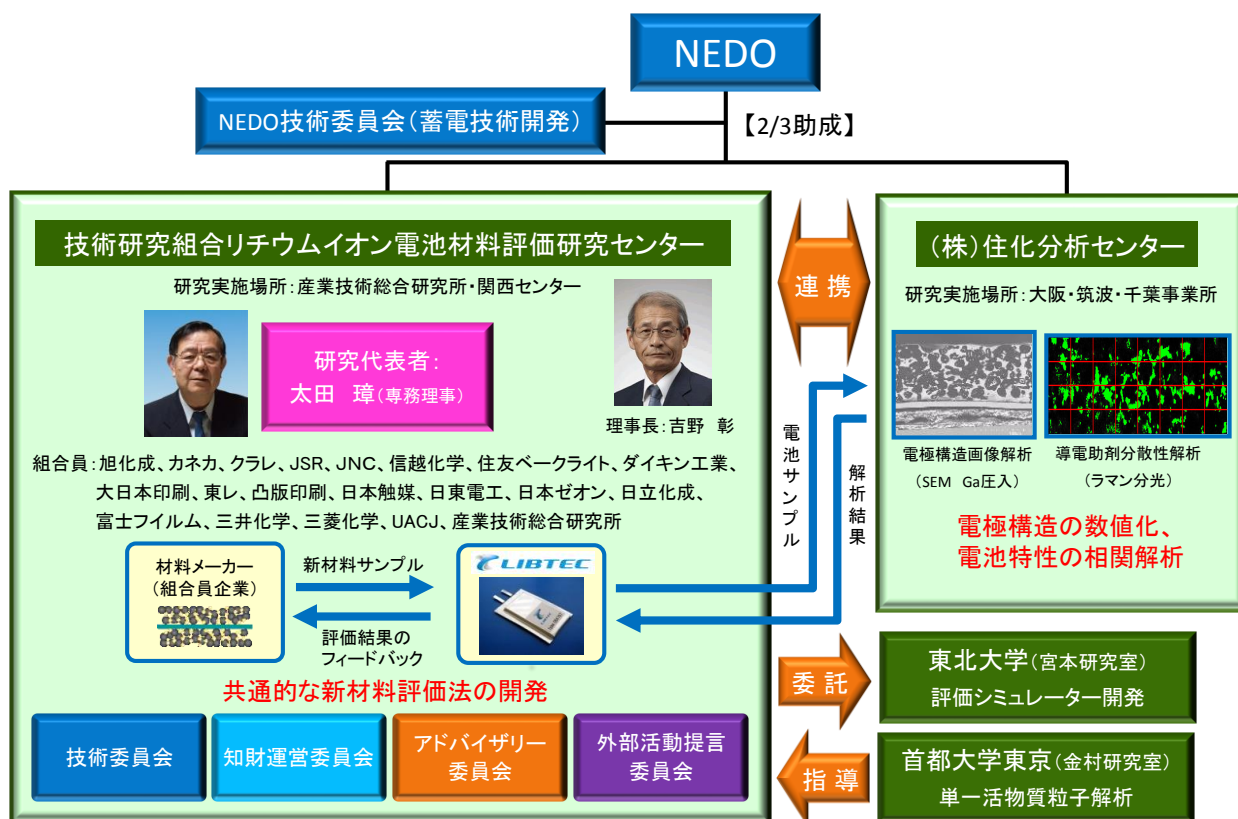
表Ⅱ-2 研究開発予算

(単位: 百万円)

助成先	費目	H22FY	H23FY	H24FY	H25FY	H26FY	合計
①LIBTEC	機械装置費	61	92	181	159	3	496
	労務費	31	105	118	106	87	447
	消耗品費等	23	77	101	91	46	338
	委託費	0	0	0	19	14	33
	合計	115	274	400	375	150	1,314
	NEDO負担分	77	183	267	250	100	877
②住化分析センター	機械装置費	57	20	55	78	80	290
	労務費	4	13	14	20	19	70
	消耗品費等	8	10	6	7	7	38
	委託費	0	0	0	0	0	0
	合計	69	43	75	105	106	398
	NED負担分	46	29	50	70	71	266
総事業費(①+②)		184	317	475	480	256	1,712
NEDO負担分(①+②)		123	212	317	320	171	1,143

### 3. 研究開発実施の事業体制の妥当性

本プロジェクトの実施体制を図Ⅱ-1に示す。



図Ⅱ-1 「次世代蓄電池材料評価技術開発」実施体制

#### 3.1 研究開発実施者

平成 22 年度に NEDO が公募を行って、研究開発の実施者(助成先)として LIBTEC 及び住化分析センターを選定した。

LIBTEC は、LIB の開発に豊富な経験と知見を有した蓄電池メーカー出身の専門家で構成される技術者集団である。また、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ができる。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。加えて、「第 I 章 1.2 NEDO の関与の必要性」で述べたように、LIBTEC は 2013 年度開始の NEDO 事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」の委託先として、先進的な LIB を対象とした新材料の評価技術の開発にも取り組んでおり、LIB 材料の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。

一方、住化分析センターは、長年に亘って各種電池・電池材料の形態観察や化学構造解析の受託サービスを行っており、LIB 材料の分析に関して豊富な経験と知見を有する。また、LIB の劣化機構解析や安全性評価等のサービスも行っているため、LIB の製造・組立から充放電試験

の知見も有し、同業の分析サービス会社より対応できる技術領域が広い。そのため、本プロジェクトにおいて LIBTEC と連携・協働することにより、より付加価値の高いサービスを創出し、ビジネス展開することが期待できる。

なお、LIBTEC と住化分析センターは、図Ⅱ-1 に示す連携関係にあり、解析評価技術の開発方針の協議、解析サンプルとその解析結果の授受等を目的として、月1回以上の頻度で打合せを実施した。

### 3.2 プロジェクトの指揮命令系統・責任体制

本プロジェクトは助成事業として実施しているため、NEDO が委嘱するプロジェクトリーダー(PL)は設置していないが、図Ⅱ-1に示すように LIBTEC の太田璋専務理事を頂点とする指揮命令系統下で推進した。

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、NEDO 事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」においては PL として高い知見と指導力を発揮し、優れた成果を挙げつつある。そのため、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おり、また、技術的な指導のみならず、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。

プロジェクトの研究代表者である太田氏は LIBTEC の研究部長を兼務しており、LIBTEC 内に太田氏を頂点とする明確な指令命令系統及び責任体制を構築した。具体的には、LIBTEC 内に「2. 研究開発計画の妥当性」で述べた各研究開発テーマのリーダーを置き、プロジェクトの研究開発進捗を管理した。

- (i) 毎週の LIBTEC 幹部会議で個別テーマの各リーダーが進捗状況を太田氏に報告。
- (ii) 毎月、個別テーマ毎に太田氏に対する報告会を開催。
- (iii) 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。

次に、NEDO による進捗管理の状況は次のとおりである。

- (i) 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。
- (ii) 半年に 1 回、LIBTEC より研究進捗の報告を受ける会議を開催。
- (iii) 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。

### 3.3 知財取扱いルール of 管理・運用

本プロジェクトの実施に当たり、LIBTEC は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」を整備した。図Ⅱ-1に示すように、これらルールについて LIBTEC 組合員間の合意形成を行う「知財委員会」を設置し、適切に運用した。



## 4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

### 4.1 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等の関与

本プロジェクトで開発した材料評価技術を我が国の蓄電池関連産業界における共通指標として機能(実用化)させるためには、材料メーカーとユーザーの双方に、開発技術の有用性を認知させる必要があると考えた。この場合、技術面だけでなく、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。」という認識が業界全体に浸透する所まで持っていく必要があると考えた。また、学識者・専門家の提言・助言を受け入れた高いレベルの評価技術として完成させる必要があると考えた。

そのための戦略・取り組みは次のとおりとした。

#### ①材料メーカーに対するアクション

プロジェクト実施期間中において LIBTEC 組合員企業である材料メーカーとの情報共有に努めることとした。

そのため、LIBTEC 内に情報共有の場として「LIBTEC 技術委員会」を設置し、組合員企業に対して評価技術の開発進捗、組合員のサンプル材料を用いた電池試作・評価の状況等を報告した。「LIBTEC 技術委員会」の開催実績は、表Ⅱ-3に示すように合計で 37 回に及んだ。

また、「LIBTEC 組合員報告会」を開催し、LIBTEC が策定した標準電池モデルの「試作仕様書」の内容や市販材料のベンチマーク結果等を報告した。「LIBTEC 組合員報告会」の開催実績は、表Ⅱ-4に示すように合計で 12 回に及んだ。

#### ②ユーザーに対するアクション

LIBTEC 内に蓄電池メーカー及び自動車メーカーの専門家で構成される「アドバイザー委員会」を設置し、本プロジェクトの開発内容に対する意見・助言を求め、それを技術のブラッシュアップに反映していくこととした。「アドバイザー委員会」の開催実績は、表Ⅱ-5に示すように合計で7回に及んだ。なお、「アドバイザー委員会」の参加メンバーは次のとおりである。

##### ○第1アドバイザー委員会(8社参加)

NEC エナジーデバイス、新神戸電機、GS ユアサ、ソニーエナジーデバイス、東芝研究開発センター、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、日立ビークルエナジー、プライムアースEVエナジー

#### ③学識者に対するアクション

NEDO は、2013 年度より、表Ⅱ-6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。

表Ⅱ-7に示すように、技術委員会はこれまで 8 回開催しているが、第3回及び第 5 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について助言をもらった。本プロジェクトの成果の実用化の可能性について評価してもらった。主なものとして、材料メーカーが電池開発の基礎技術、知識、現場における実際の作業、必要な実験装置のノウハウを得たことは意義があるとの評価コメントであった。

表Ⅱ-3 「LIBTEC技術委員会」の開催実績

	開催日	主要議題
第1回	2010年6月3日	平成22年度業務計画他
第2回	2010年7月6日	対外機関との連携・共同開発、組合内部の共同開発他
第3回	2010年8月3日	組合員からの依頼材料評価状況他
第4回	2010年9月7日	平成22年度下期業務計画他
第5回	2010年12月2日	電池評価に際する課題他
第6回	2010年12月7日	組合員材料評価の現状他
第7回	2011年1月20日	研究部報告と検討事項他
第8回	2011年2月15日	平成23年度事業計画案他
第9回	2011年3月22日	平成22年度NEDO報告案の審議と承認他
第10回	2011年5月13日	研究部報告他
第11回	2011年6月21日	標準モデル4種+αの審議他
第12回	2011年8月1日	評価用ラミネートセルの進捗状況他
第13回	2011年9月22日	組合諸規定の改定他
第14回	2011年10月25日	ラミネート電池の進捗状況他
第15回	2011年12月14日	新標準モデル策定の進捗報告他
第16回	2012年1月10日	平成24年度主要技術テーマの討議と承認他
第17回	2012年2月14日	平成24年度事業計画案の討議と承認他
第18回	2012年5月8日	NEDO中間評価分科会使用資料の確認と承認他
第19回	2012年7月19日	平成25年度新規テーマ他
第20回	2012年11月20日	平成24年度業務進捗報告他
第21回	2012年11月27日	LIBTECの拡充について他
第22回	2012年12月7日	研究部報告他
第23回	2013年1月29日	平成25年度事業計画案他
第24回	2013年2月14日	第11回理事会議案他
第25回	2013年4月11日	第12回理事会議案他
第26回	2013年5月27日	積層型大型ラミ電池試験報告他
第27回	2013年7月9日	LCO系4.35V高電圧電池試作・評価報告他
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回理事会および第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

表Ⅱ-4 「LIBTEC組合員報告会」の開催実績

	開催日	内容
第1回	2010年9月7日	コイン型電池暫定試作仕様書、電池特性基準、電気特性報告
第2回	2010年12月7日	先進リチウムイオン電池ベンチマーク評価結果報告
第3回	2012年1月20日	ラミ形電池試作仕様書(仮)
第4回	2012年4月12日	ラミ形電池試作仕様書(暫定)NCM/MAG系 ラミ形電池試作仕様書(暫定)(LMO+NCA)/SMG系 性能評価手順書
第5回	2012年5月8日	ラミネート形電池試作仕様書(暫定) NCM/HC系
第6回	2012年7月19日	ラミネート形電池試作仕様書(仮) LFP/SMG系
第7回	2012年9月11日	ラミネート形電池試作仕様書(仮) NCM/MAG系 ラミネート形電池試作仕様書(仮) NCM/HC系
第8回	2012年11月27日	Ms系電池仮仕様書及び日産リーフ電池ベンチマーク報告書
第9回	2012年12月7日	Fs系電池仮仕様書及び4種リチウムイオン電池ベンチマーク報告書
第10回	2013年5月27日	NCM/MAG系大型ラミネート電池試作仕様書(暫定版)
第11回	2013年7月9日	ラミネート形電池試作仕様書(暫定)(4.35V) LCO/MAG系
第12回	2014年4月16日	ラミネート形電池試作仕様書(暫定)(4.2V) NCM/MAG系 ラミネート形電池試作仕様書(暫定)(4.35V) LCO/MAG系

表Ⅱ-5 「LIBTECアドバイザリー委員会」の開催実績

## ●第1アドバイザリー委員会

	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年度主要業務紹介および平成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)および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2アドバイザリー委員会

	開催日	内容
第1回	2014年3月20日	LIBTECの紹介、アドバイザリー委員会への期待、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

表Ⅱ-6 「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 工学研究所 名誉教授
委員	山木 準一	京都大学 産官学連携本部 特任教授
	鷺島 真一	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

表Ⅱ-7 「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」の開発進捗状況
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」の開発進捗状況

## 4.2 知的財産等に関する戦略の妥当性

### (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み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、この評価技術はノウハウ(ブラックボックスのクローズ領域)として取り扱うものとし、特許出願やデジュール標準化は行わない方針である。

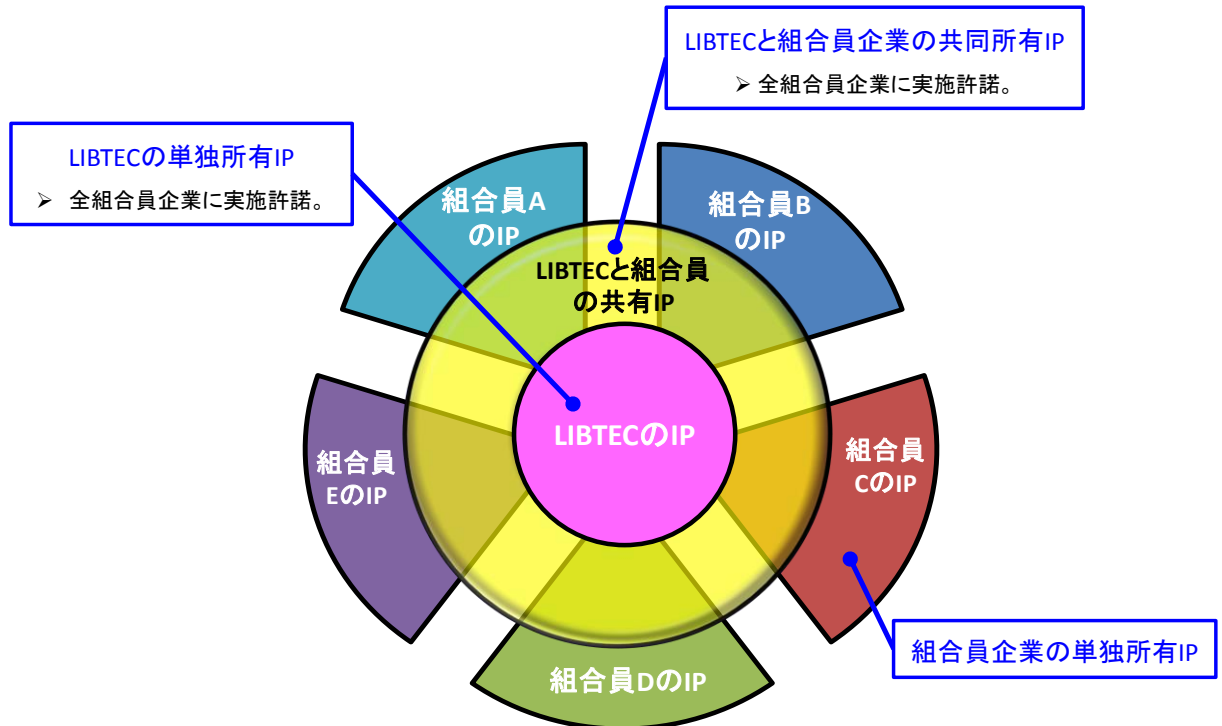
その一方、産業全体の競争力強化の観点においては、この評価技術は本プロジェクトに参加していない国内関係者にも広く共有し、産業界の共通指標として普及・定着させる方針である。ただし、技術情報の流出は競争力の低下を招くおそれがあることから、その防止対策が必要と認識している。

この国内関係者(特にユーザー企業)への広い共有と技術情報流出防止を両立させるルールについては、様々な関係者の意見を聴きながら、現在、とりまとめ中である。

## (2) 本プロジェクトにおける知財取扱いの合意内容

前記したように、本プロジェクトでは「知的財産権取扱規程」及び「情報管理規程」を整備するとともに、これらルールについて参加者間の合意を形成する「知財委員会」を設置した。

本プロジェクトにおける知的財産の帰属と実施権は、図Ⅱ-2に示すように、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・評価法に分類して設定した。



図Ⅱ-2 知的財産の帰属と実施権

また、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。

### ① 秘密漏洩防止、技術情報流出防止

- ・社用 PC の持ち出し許可性
- ・社外電子メールの監視等

### ② 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。

## 5. 情勢変化への対応等

NEDO は情勢変化に対して機敏に対応するため、第 I 章に示したように、市場動向、特許動向、論文・学会発表動向、主要国の技術開発プロジェクトの状況の把握に努めた。

また、LIBTEC においても、表 II-8 及び表 II-9 に開催実績を示すように、国内の有識者・専門家等を講師として招いた講演会を開催し、社会情勢や研究開発動向等の把握に努めた。

表 II-8 LIBTEC主催講演会の開催実績(1)

	開催日	講師(敬称略)	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(株) 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(株) 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(株) 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	(独)産総研ユビキタス研究部門 GL 辰巳 国昭	易黒鉛化性炭素のSEI及び難黒鉛化性炭素内の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(中国の最近訪問時の印象)
第 7 回	2010年12月14日	(財)電中研 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	東京大学新領域創成科学研究科 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	京大大学院工学研究科 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	大阪市立大大学院工学研究科 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	山形大学理工学研究科 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(株)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および今後の電池に対する期待

表Ⅱ-9 LIBTEC主催講演会の開催実績(2)

	開催日	講師(敬称略)	演題
第16回	2013年5月27日	日経BP社日経エレクトロニクス編集 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	神奈川大学工学研究所 教授 佐藤 祐一	213系固溶体正極の特徴と電池化への課題
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	(株)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(正極材、負極材、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プロジェクト 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

## 6. 中間評価結果への対応

本プロジェクトの中間評価を平成 24 年 6 月 14 日に実施した。

表Ⅱ-10 に研究評価分科会委員を示す。

各委員より、表Ⅱ-11～表Ⅱ-13 に示した評価コメントが得られ、各コメントに沿って対処方針の検討及び計画等への反映を実施した。

表Ⅱ-10 研究評価分科会委員(平成 24 年度中間評価)

	氏名	所属	役職
分科会長	美浦 隆	慶應義塾大学 理工学部 応用化学科	教授
分科会長代理	渡邊 正義	横浜国立大学 大学院 工学研究院	教授
委員	井手本 康	東京理科大学 理工学部 工業化学科	教授
委員	菅野 了次	東京工業大学 大学院 総合理工学研究科 物質電子化学専攻	教授
委員	直井 勝彦	東京農工大学 大学院 工学研究院 応用化学部門	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 エネルギー変換・貯蔵材料領域	上席研究員
委員	山田 真治	株式会社 日立製作所 日立研究所 材料研究センタ	センタ長

表Ⅱ-11 指摘事項と対応(1)

指摘事項	対応
<p>① 材料の性能を引き出す評価</p> <p>企業間の利害もからむ難しい問題であるが、材料そのものの詳細情報がない状態で評価を行うことは、材料に合った性能を引き出すような評価ができない可能性もある。特に新規な材料にはその傾向が出る可能性が高い。守秘義務の整備と共にこの課題を解決する仕組みを整えていただければ、なお良いものとなるであろう。</p>	<p>・材料評価に当たって事前打ち合わせを十分にいき、依頼元の狙いに合致した評価になっているかの確認を行った。</p> <p>・自主事業の評価においても、上記と同様の対応を取っている。</p>
<p>② コンサルティング的アドバイスの強化</p> <p>材料開発側が単純な試行錯誤に陥ることがないよう、コンサルティング的アドバイスを残りの期間でより強化することが望ましい。</p>	<p>・上記①の事前打ち合わせに加えて結果報告の際にも、依頼元の意向に合わせて、依頼元と LIBTEC 評価者との間で評価結果の解釈や今後の進め方などに関してすり合わせを行った。</p>



表Ⅱ-12 指摘事項と対応(2)

指摘事項	対応
<p>③ 材料キャラクタリゼーション行った上での評価 次世代蓄電池用部材に対する提案をしていくには、今後より幅広い材料の評価を早急に行なっていくべきであり、そのためには材料のキャラクタリゼーションをしっかりと行った上で、進めていく必要がある。材料メーカーOB もスタッフに加えて意見を取り入れていくのも一つの案である。</p>	<p>・依頼元の意向で材料キャラクタリゼーションを望む場合に対応するため、<u>外部依頼および LIBTEC 内に分析装置の導入を進めた。</u> ・材料メーカーの OB の採用に関して検討したが、ノウハウを含む機密保持の観点から材料メーカー側で難色があり、見合わせた。</p>
<p>④ 次世代開発に役立つシミュレーション技術開発 シミュレーション技術は、材料、セル、条件含めて対象範囲を広くし、次世代の開発に役立つような技術開発を望む。</p>	<p>・材料表面、電極構造、サイクル劣化の観点で技術開発に取り組み、<u>電極の構造と充放電特性の相関性および各種劣化モードがサイクル特性に及ぼす影響の予測技術を開発した。</u> ・基礎的側面として実験結果(dV/dQ 測定)と予測結果の対応を詳細に行える手法を確立した。</p>
<p>⑤ 材料・電池関連メーカーに役立つ組織として継続 本事業での取組みをサステナブルなものとするために、LIBTEC の今後について、何らかの形で材料メーカーと電池メーカー、もしくは自動車メーカーに役立つ組織として運営できるような方策の検討を願う。</p>	<p>・組合員の意向も反映して評価事業を<u>自主事業として継続している。</u>別途委託事業である先進・革新蓄電池事業で JST の ALCA-SPRING と連携。電池メーカー、自動車メーカーとはアドバイザー委員会を通じて情報提供を行う。</p>
<p>⑥ 定量的な研究開発目標の設定 本プロジェクトは研究開発目標を可能な限り定量的に設定する努力がなされていないように見受けられる。定量化が難しくとも、できるだけ具体的に適切な指標をつくるのが今後の課題である。</p>	<p>・<u>定量的な指標を実施方針に記載した。</u>記載項目としては、①対象とする電池の種類、②電池モデル製造方法のケース数、③性能評価方法のケース数、④シミュレーションモデルの作成数等とした。</p>
<p>⑦ 同様設備がなくとも行える簡易評価法の開発 この事業が終わったあと、すべての化学メーカーが同様な設備を導入して評価を続けられるかには疑問も残る。電池材料の基礎科学に基づく、簡易評価法なども並行して考えて行く必要があると考える。</p>	<p>・より簡易な評価のため30mAh 小型ラミネート電池を開発し、<u>電池の大きさと特性の相関性を明らかにした。</u>また、材料の安全性評価のため DSC、ARC、カルベ熱量計などの評価法も策定した。</p>

表Ⅱ-13 指摘事項と対応(3)

指摘事項	対応
⑧ 自動車メーカーも含めた評価項目の設定・共通化 今後、電池のユーザーである自動車メーカーも含めて、すり合わせの短縮になるような評価項目の設定、共通化が展開できるかが課題であり、実現できればメリットは大きい。	・ <u>自動車用電池メーカーからなる第2アドバイザリー委員会を設置し、策定した評価法に意見を求め、新材料の紹介を行った。</u> 参加社は6社。
⑨ 革新電池に対応できる共通的评价法開発 次世代材料を含む多様な材料にいかに対応していけるかもキーとなり、共通的评价法に革新的次世代電池にも対応できるような基礎的側面を導入したら良いのではないかと。	・ <u>後継事業の自主事業及び委託事業では分析技術の強化を進め、基礎的データの取得をしながら、特性の理解に努める方針で進めている。</u>
⑩ 知的財産権等の取扱法の明確化 知的財産権等の取扱に関し、事業戦略と併せて明確にする必要がある。また、プロジェクト終了後の知財の維持形態(拒絶対応の責任者、維持費の負担者、権利の保有者等)も明確にしておく必要がある。	・ <u>LIBTEC において知財の維持形態について、規定を整備済み。</u> 知財の利用にはNEDO への相談が必要であることを追加した。組合解散時の知財の扱いについては今後検討する。

## 7. 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Ⅱ-14 に示す。

表Ⅱ-14 「次世代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 22 年	事前評価書	燃料電池・水素技術開発部
中間評価	平成 24 年 6 月	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部
事後評価	平成 27 年 11 月(予定)	現地調査会 分科会 研究評価委員会	評価部

### 第Ⅲ章 研究開発成果について

#### 1. LIBTEC の目標達成度と成果の意義

##### 1. 1 LIBTEC の研究開発成果まとめ

本プロジェクトにおける LIBTEC の研究開発成果と達成度を表Ⅲ-1～表Ⅲ-3に示す。

表Ⅲ-1 研究成果一覧(1)

大項目	実施項目	最終目標	成果	達成度
①材料、電極構造、製造プロセスと電池特性の相関性把握	①-1 電極構造の解析及び電池特性との関連性把握	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析による電極構造の数値化</li> <li>・電池特性との関連性把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電極構造に関し、空隙構造、バインダ・導電助剤の分布状態の可視化技術を開発。電極作成時の乾燥条件と電極構造の相関性を明確化。</li> <li>・電極密度、電極厚み等、各種電極構造パラメータを曲路長として数値化することを可能にした。</li> <li>・数値化した各種電極構造パラメータと電池特性との関連把握を可能にした。</li> </ul>	◎
	①-2 活物質の電気化学特性解明	<ul style="list-style-type: none"> <li>・単一粒子活物質の電気化学特性把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・活物質粒子構造から電気化学特性に影響を及ぼす製造条件、粒子特性の因子を探索できる評価法を開発。</li> </ul>	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表Ⅲ-2 研究成果一覧(2)

大項目	実施項目	最終目標	成果	達成度
②実セルを用いた共通的評価方法の開発	②-1 標準の材料・電池構成の設定	・想定用途別に材料を選定した標準電池モデルの策定	・標準電池モデルの策定にあたり、各種 LIB の調査結果を参考に、標準電池モデルを選定。	○
	②-2 標準電池モデルの策定	・標準電池モデルのラミネート電池について評価基準書一次版を策定	・標準電池モデル 7 種(派生モデル 2 種を含む)の評価基準書一次版(基本特性の評価用)を策定。	◎
	②-3 電池信頼性の検討	・電池信頼性評価法の策定	・7 種の標準構成電池モデルについて容量型と出力型の各2タイプ計 14 モデルの試作仕様書を策定。また、用途別に民生用、EV 用、定置用への適合性を判定するための性能評価基準書を策定。 ・dV/dQ 法等による劣化要因解析を通じ信頼性評価法を検討。	◎
	②-4 電池安全性の検討	・電池安全性評価法の策定	・電池の材料段階での安全性評価法として DSC、カルベ熱量計、ARC 熱量計用いた評価法を策定。	○
	②-5 信頼性・安全性の知見を加えた評価基準書二次版の策定	・信頼性・安全性の知見を加えた評価基準書二次版を策定	・標準電池モデルの安全性評価として、釘刺し(圧壊)、昇温、過充電の各試験の実施を可能にし、現象をデータベース化して新材料の相対評価を行える体制を整えた。 ・信頼性・安全性の知見を反映した評価基準書二次版を策定。評価基準書に基づき、組合員提供材料 405 件の評価を行い、評価サイクルを確立。	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表Ⅲ-3 研究成果一覧(3)

大項目	実施項目	最終目標	成果	達成度
③評価シミュレーションシステム技術の開発		<ul style="list-style-type: none"> <li>・電極作製工程、電極構造、充放電特性の相関把握が可能なシミュレーションシステムの開発</li> <li>・寿命シミュレーションシステムの開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・塗布乾燥プロセスでできる電極の構造を予測できる乾燥シミュレータを開発。</li> <li>・電極の3次元構造を反映した充放電シミュレータを開発。</li> <li>・サイクル特性を再現可能な寿命シミュレータを開発。</li> </ul> (3種類のシミュレータを組合員に配布)	○
④次世代蓄電池の部材提案と実用化検討	④-1 アドバイザリー委員会の活用 ④-2 組合員依頼の電池試作・評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・部材提案促進に向けた提案方法検討</li> <li>・依頼評価を通じた実用化の促進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本事業で設置したアドバイザリー委員会において組合員の新材料2件を紹介。</li> <li>・59件の電池試作・評価結果が組合員のユーザー提案活動に活用。</li> <li>・本プロジェクトにおける電池・試作評価結果(114件)を活用して、6社が実用化のステージに進展。</li> </ul>	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

## 1.2 LIBTECの研究開発成果の具体例

### (1)材料、電極構造、製造プロセスと電池特性の相関性把握

#### ①電極構造の解析及び電池特性との関連性把握

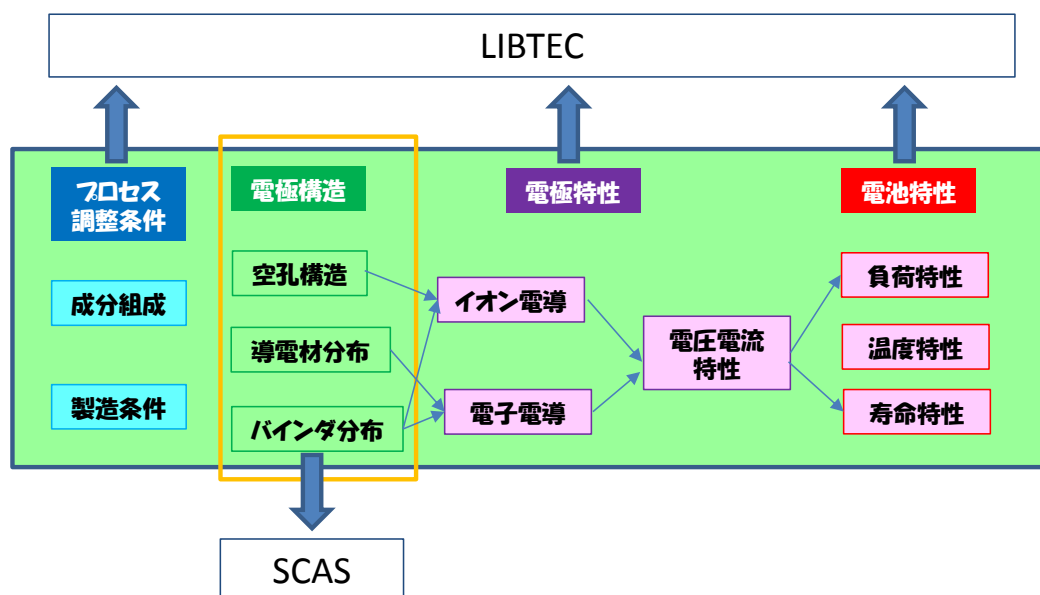
高性能LIBを実現する上で重要なポイントは、材料、特に活物質であり、その物理特性は、製造工程やLIBの電気化学特性及び信頼性に大きな影響を及ぼす。しかし、電極やセルを製造する場合には、活物質以外に多くの材料が必要であり、特に電極体として形状を維持するためには結着材のように、活物質が電気化学的特性を発揮する上では本来、存在しない方が望ましい材料も必要となる。一方、分散した活物質を機能させるためには導電助剤を添加する必要があるが、このこと自体は電極中の活物質充填量を少なくする方向に作用する。また、電極中に電解液が浸透するには空隙が必要であり、このことも活物質の充填量を減らすことに繋がる。このような観点において、電極を構成した際には活物質以外の物質が周囲に種々の形態で存在し、また多様な構造を形成し、活物質の電気化学特性発揮に影響を与えている。

電極構造と電極・電池特性とは密接に関連しているため、新規なLIB材料を実セルとして組み込み、電池特性評価をするに当たっては、電極特性を決める電極構造を正確に把握することが重要で

あり、材料と各種製造プロセス条件で作製された電極の構造を調べることが材料—電池製造工程間の相互影響の解析の基本となる。

そのため、住化分析センターとの協働で分析試料の作製・分析を行い、その結果を LIBTEC が測定した電極特性などのデータと比較して相関関係の解明に取り組んだ。この場合、電極構造としては主として「空隙構造」、「導電材分布」及び「バインダ分布」に着目した。

各検討項目の相互関係と役割分担を図Ⅲ-1 に示す。



図Ⅲ-1 電極構造と電池特性の相関性解明に向けた助成先の役割分担

### ①-1 電極構造(バインダ、導電助剤、空隙)の解析

電極中活物質の分布状態の評価・解析は、例えば SEM を用いた断面観察で一般的に行われているが、バインダ、導電助剤及び空隙はサイズ自体が微細であることに加え、金属元素を含まないことから分布解析の難易度が高く、高精度の分析事例は少ない。以下に、本プロジェクトにおいて実施したバインダ、導電助剤、空隙構造の解析事例の概要について述べる。

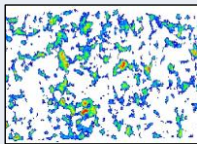
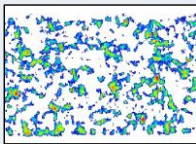
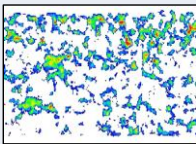
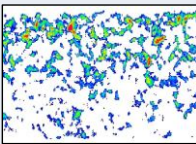
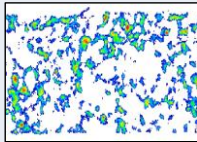
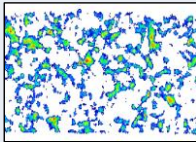
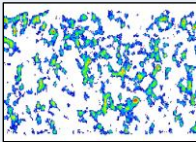
LCO 正極の乾燥方法がバインダ(PVDF)、導電助剤(AB)分布に及ぼす影響を調べた。

図Ⅲ-2 は LCO 電極の乾燥方法として熱風及び遠赤外線を用い、乾燥温度を変えた場合の乾燥電極断面のフッ素分布(バインダ PVDF 中のフッ素)を EPMA で観察したものである。乾燥速度が速くなると、電極表面近傍にバインダが多く偏在していることが分かった。これは、電極を電極深さ方向に 3 分割したものを熱分解 GCMS 法で分析し、それぞれの位置におけるフッ素濃度を求めた結果と対応していること、更に、図Ⅲ-3 に示すように、このフッ素濃度は、SAICAS 法で求めた電極深さごとの剪断降伏応力の値に良い相関性があることが分かった。この結果より SAICAS 法による剪断降伏応力の値はバインダ存在量と密接に関係付けられると言える。

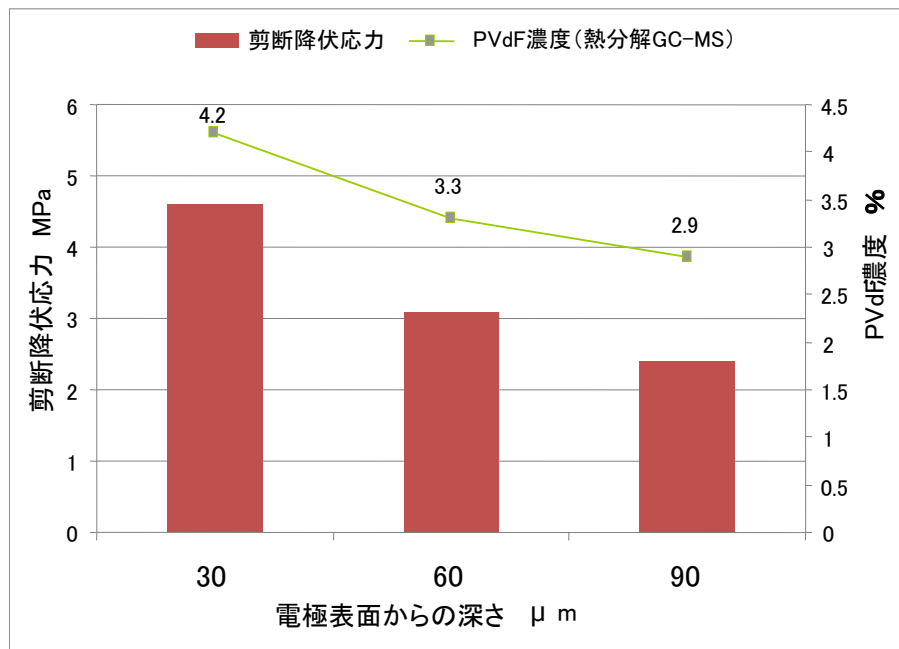
図Ⅲ-4 に、電極を厚さ方向に 3 分割してそれぞれの部分の導電材のアセチレンブラック(AB)とバインダ量を定量した結果を示す。導電材 AB の量は、顕微 Raman 画像内で観察される AB が占める面積率(均一ならどの視野でも概ね一定値を示すことを想定)で示した。先に厚み方向でのバインダの偏在が生じることを示したが、これに加えて導電材の偏在も生じていることが認め

られた。特に、遠赤外線 300℃という急速な乾燥を行うとバインダと AB が表面部に偏在することが分かった。一方、乾燥速度が遅い場合でもバインダ量と AB 面積率はよく相関しており、これから AB は PVdF とともに移動し、偏析している可能性が示唆された。

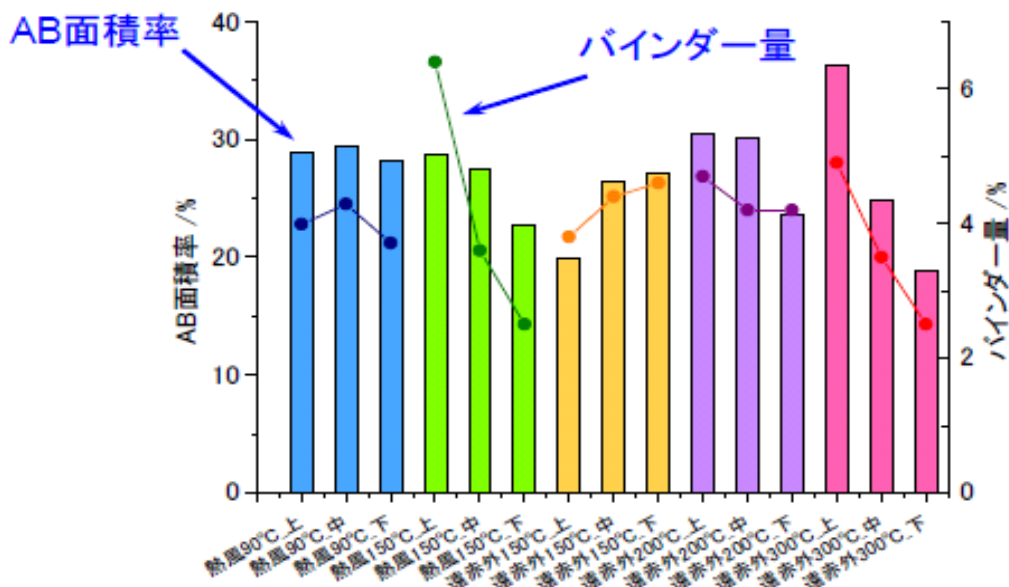
また、正極、負極それぞれに対し、水銀圧入法で空隙構造の分布評価を実施し、サブミクロンのオーダーまで空隙分布・割合の評価が可能である結果を得た。

乾燥速度k (sec <sup>-1</sup> )	$1 \times 10^{-3}$	$4.1 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-2}$	$2.8 \times 10^{-2}$
乾燥条件	遠赤外150℃	遠赤外200℃	遠赤外300℃	遠赤外350℃
バインダ分布				
乾燥速度k (sec <sup>-1</sup> )	$2.3 \times 10^{-3}$	$4.7 \times 10^{-3}$	$9.1 \times 10^{-3}$	
乾燥条件	熱風90℃	熱風120℃	熱風150℃	
バインダ分布				

図Ⅲ-2 乾燥条件が異なる正極の厚さ方向のバインダ分布 (EPMA 像)



図Ⅲ-3 正極の厚さ方向の剪断降伏応力とバインダ量比較 (SAICAS 法)



図Ⅲ-4 正極厚さ方向のバインダー濃度とAB面積率の変化

### ①-2 電極構造と電極特性の関連性検討

電極構造を正確に把握することは、電池作製工程における材料の相互影響及びその対策を考える上で基礎データとして重要である。多孔体電極は空孔に充填された電解液の中をイオンが移動する。この際、空孔の量や形状による繋がり方及び電解液のイオン伝導度等に依存して反応のし易さが変化する。この現象を定量的に理解するために、電極構造、特に空隙率と電極特性の総合的な解明に取り組んだ。

NCM正極と球形化人造黒鉛負極について、それぞれ合剤量一定で密度が異なる正極4種類、負極5種類を組み合わせでできる20種類の電池特性を評価した。本評価では、電極・電池の作製、充放電試験の実施、電池特性の評価をLIBTECが行い、電極構造の分析は住化分析センターが行った。

これら20種類の電池の評価結果の中から、放電特性差が顕著に現れてくる高率放電(3C)の場合の、空隙率 $\epsilon$ に対する正、負極の放電比容量(mAh/g)の変化及び電極構造パラメータを図Ⅲ-5及び図Ⅲ-6に示す。

図Ⅲ-5(a)に示すように、NCM正極は概して空隙率 $\epsilon$ が増加すると放電比容量も増加する一般的な傾向を示し、27%以上では飽和した。空隙率14%の負極と組み合わせたセルでは、正極の空隙率によらず、非常に悪い特性となった。図Ⅲ-5(b)、図Ⅲ-6(b)の水銀圧入法による電極の空隙構造の分析結果より、負極と比較して空隙量の少ない正極では、空隙量が約0.1ml/g以下である空隙率27%以下の領域では、空隙が増え、電極中の電解液量が多くなることに伴い、放電特性が向上したが、空隙率32%では電解液量が十分量となり、特性が横ばいになったと考えられる。

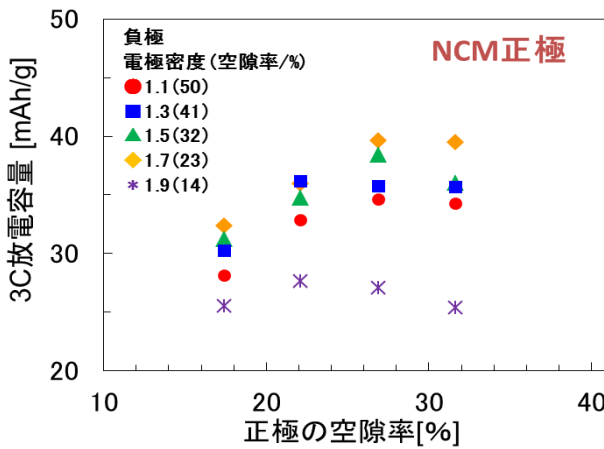
一方、図Ⅲ-6(a)に示すように、球形化人造黒鉛負極は空隙率が23~50%の範囲で空隙率とともに放電比容量が低下する傾向を示し、正極とは逆の挙動となった。空隙率14%の負極を使用したセルで特性が悪いのは、図Ⅲ-6(b)から、活物質間の空隙がほとんど存在しておらず、電極中の電解液量が不足している状態であることと対応している。負極の空隙率が増加するにつれ、



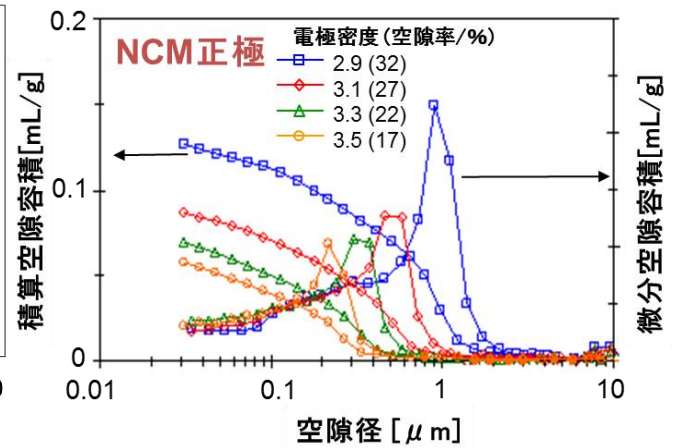
3Cでの放電比容量が低下傾向にある原因は、空隙率23%以上の負極では、電極中の電解液量は十分な状態であるが、空隙率増加に伴う負極の厚さの増加率が大きく、Liイオンが溶液バルクから反応場へ移動してくる距離が長くなることに対応して、高率放電に対応できなくなった(拡散支配)と考えられる。

以上の検討から、電極特性を把握するための電極構造の解析技術、製造プロセスでの条件特に乾燥条件でのバインダと導電助剤の分布の傾向とその観察手法が確立できた。

また、試作した電極の特性を評価するうえで、空隙構造と厚みを総合的に考慮した概念を用いて、適正な電極となっているかどうかの考察をしながら電極試作条件の設定を進めた。更に、量産性も考慮して実用電池の試作条件の中で適正な仕様策定を進めることの基盤とした。

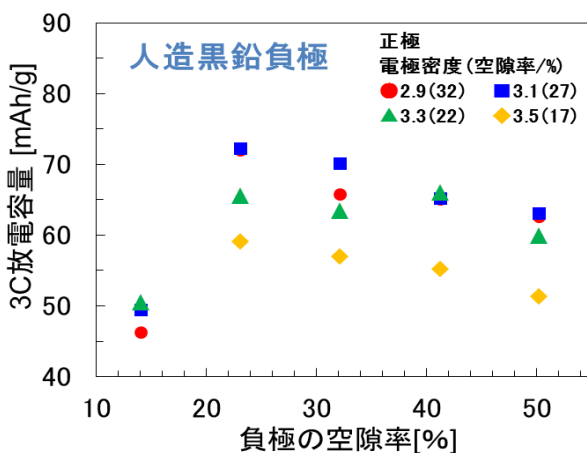


(a) 空隙率違い正極の3C放電比容量

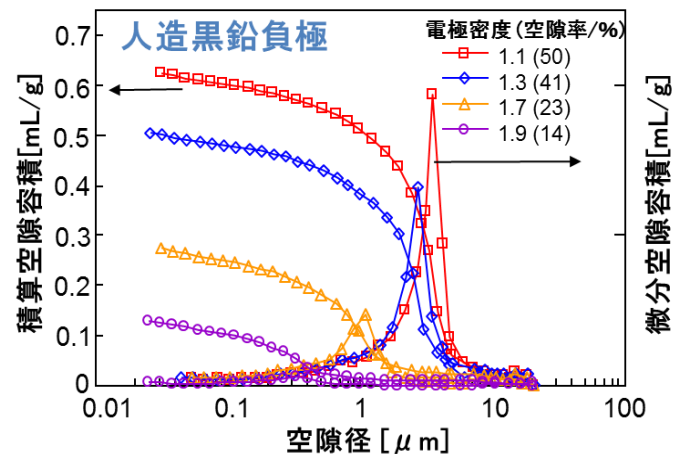


(b) 空隙率違い正極の空隙構造

図III-5 NCM正極での空隙率と3C放電比容量、空隙構造の関係



(a) 空隙率違い負極の3C放電比容量



(b) 空隙率違い負極の空隙構造

図III-6 人造黒鉛負極での空隙率と3C放電比容量、空隙構造の関係

## ②活物質の電気化学特性説明

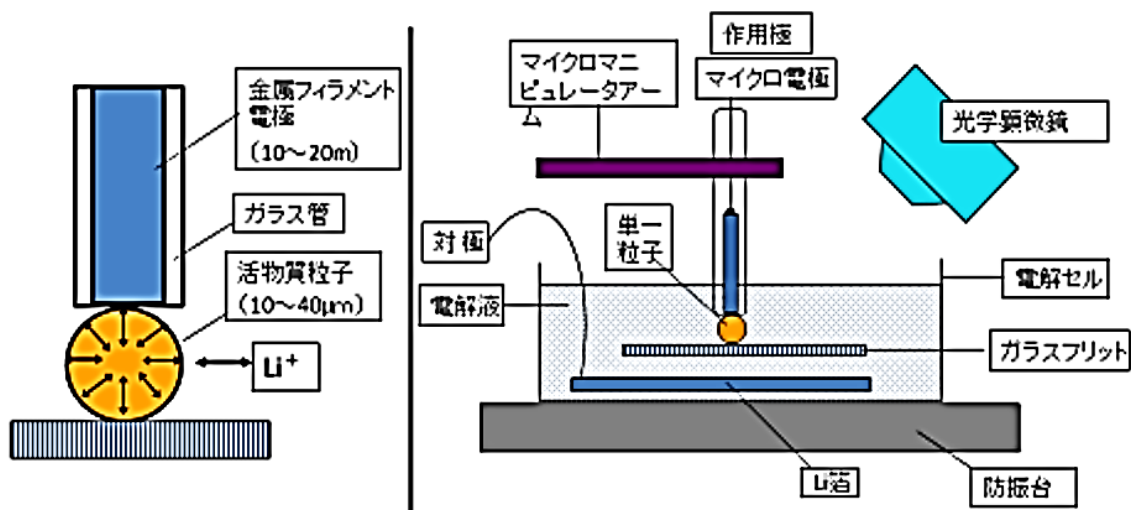
電解液が十分に供給される条件下での活物質が持つ本来の電極挙動を明らかにし、多孔体電極（実用電極）の特性との差異を明らかにし、これにより多孔体電極における材料相互の影響を明らかにすることを目的とし、図Ⅲ-7に示す単一粒子実験装置を試作した。

この装置を用いた実験によって、人造黒鉛 MCMB 負極活物質が 1000C 以上、LCO 正極活物質が 300C 以上のハイレート放電が可能であることが分かった。また、人造黒鉛粒子と天然黒鉛粒子の放電レート特性を比較したところ、これら 2 種類の活物質粒子のレート特性では、ハイレート時の分極の様子が大きく異なっていた。各活物質粒子の SEM 像より、人造黒鉛は微結晶の集合体で結晶粒界面が多数存在し曲路率の高い空孔を持った構造であるが、一方、天然黒鉛は鱗片状の黒鉛が積層され、結晶界面が少なく空孔の曲路率も低い異なる粒子構造であると考えられた。

これらの特徴について Newman らが開発した Dualfoil を用いて再現するため、それぞれの活物質について図Ⅲ-8に示す電池モデルを作成し、このモデルを使用して放電レート特性をシミュレーションした。シミュレーション結果と実測データの比較を図Ⅲ-9に示す。シミュレーションの結果は 2 種類の活物質の特性を定性的によく再現した。更に、負極活物質の単一粒子特性について Dualfoil 構造を用いてシミュレーションが可能であることを確認し、シミュレーションにより活物質間の特性差に影響を与えている因子を見出すことができた。この結果、結晶粒界の被膜抵抗による分極と活物質内空孔の曲路率の違いによる Li イオンの濃度分極の差が両者の特性に大きく影響を与えていることが確認された。

加えて、多粒子が存在するクラスター電極（コンポジット電極）の評価も行えるように装置の改良も実施し、活物質粒子本来の限界特性評価、更には電極のマイクロ部位ごとの特性評価も可能となる成果を得た（図Ⅲ-10）。

なお、本検討は、この分野で我国の第一人者である首都大学東京・大学院教授の金村聖志氏の指導を仰ぎながら進めた。

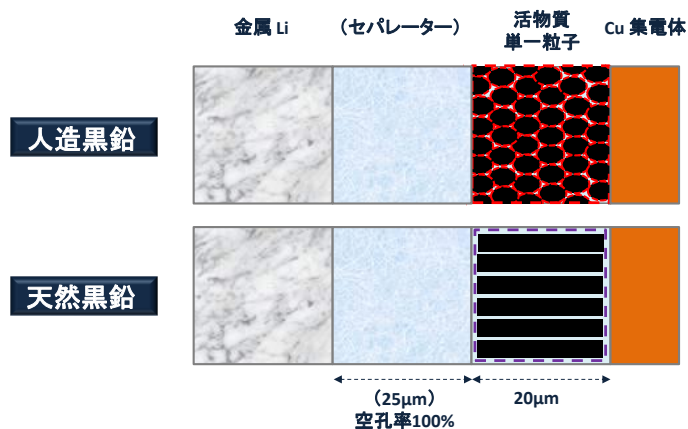


図Ⅲ-7 単一粒子活物質の電気化学的挙動の測定装置

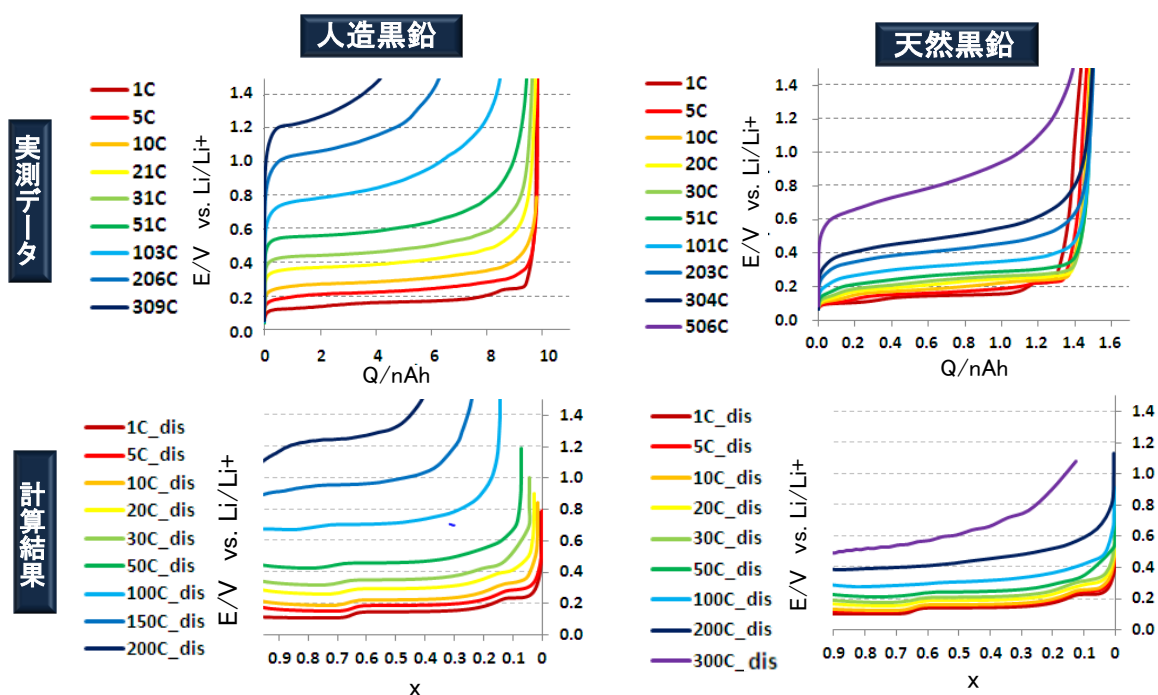
## Dualfoilの適用 ～電池モデル～

### モデル

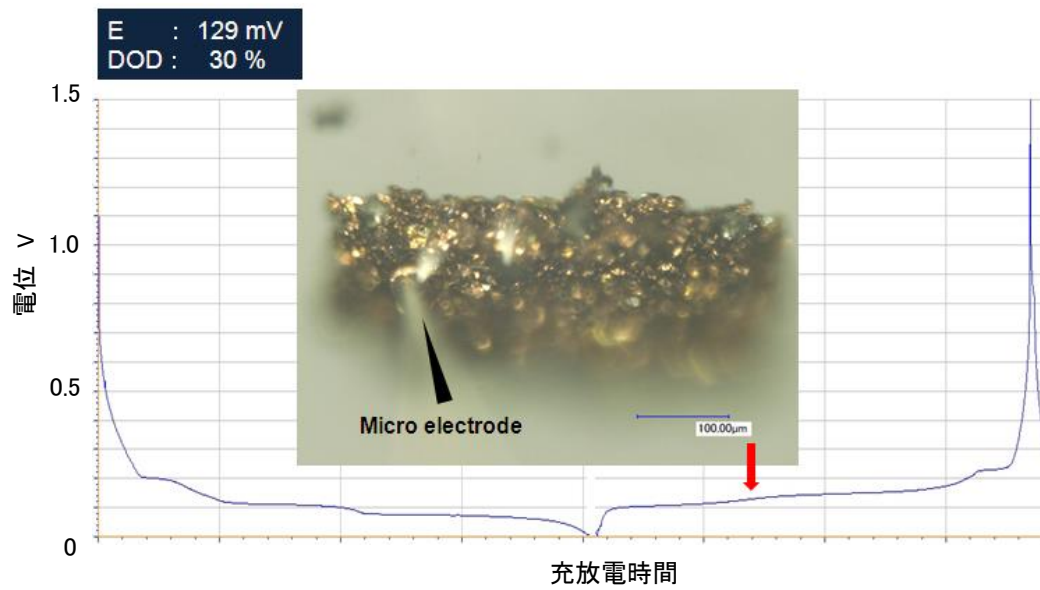
通常の電極構成(ハーフセル)において、活物質層を単一粒子(粒径 $20\mu\text{m}$ )に置き換えシミュレーションを実施した。



図Ⅲ-8 単一粒子測定のための電池モデル



図Ⅲ-9 人造黒鉛・天然黒鉛の放電レート特性の実測データ及びシミュレーション結果



図Ⅲ-10 マイクロ電極を用いてクラスター電極を充放電させた様子

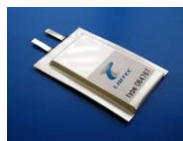
## (2)実セルを用いた共通的評価方法の開発

本プロジェクトでは共通的な評価技術の確立を目的としていることから、標準電池モデルの策定にあたり、まずは、組合員企業の要望も考慮し、EV、電動バイク、スマートフォン等、最新の電池系を調査した。

その結果、高容量化、安全性が特に重視される車載用途に関しては、正極活物質として3元系正極あるいはNCA正極とMnスピネル正極とのハイブリッド正極が重要と考えられ、また、民生用としてはLiCoO<sub>2</sub>正極が主流であり、高容量化のための高電圧駆動化が重要技術と考えられた。

この調査結果と市場の動向を踏まえ、表Ⅲ-4に示す標準電池モデル(1Ah級ラミネート形セル)の構成を決定した。なお、各電池モデルに採用した電極材料は、LIBTEC組合員で市場実績のある材料を極力、採用し、その他の材料は上市されている材料を購入して用いることとした。

表Ⅲ-4 標準構成電池モデル



### ラミネート形電池(ラミ形電池)

- ・外形サイズ:厚 6mm×幅47mm×縦67.5mm
- ・極板群構成:捲回方式

	モデル-1 (標準タイプ)	モデル-1 (高電圧タイプ)	モデル-2	モデル-3	モデル-4	モデル-5 (標準タイプ)	モデル-5 (高Niタイプ)
正極	LiCoO <sub>2</sub> (LCO)	LiCoO <sub>2</sub> (LCO)	LiFePO <sub>4</sub> (LFP)	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (LMO) + LiNi <sub>a</sub> Co <sub>b</sub> Al <sub>c</sub> O <sub>2</sub> (NCA) a=0.8, b=0.15, c=0.05	LiNi <sub>a</sub> Co <sub>b</sub> Mn <sub>c</sub> O <sub>2</sub> (NCM) a=b=c=1/3		LiNi <sub>a</sub> Co <sub>b</sub> Mn <sub>c</sub> O <sub>2</sub> (NCM) a=0.5 b=0.2 c=0.3
負極	人造球状 黒鉛	人造球状 黒鉛	天然球状 黒鉛	天然状黒鉛	ハード カーボン	人造球状黒鉛	人造球状 黒鉛
想定 主用途	小型 民生用	小型 民生用	BEV用 HEV用 定置用	小型民生用 BEV用 定置用	HEV用	BEV用 定置用	BEV用 定置用
電圧 特徴	3.7V 高容量、高価 PC・Mobile 電源の主流	4.35V モデル1の高 電圧型 容量約15% 向上。	3.2V 安価、安全 米国と中国で 主流	3.8V 安価、安全 三元系追加で容 量向上を企図	3.8~3.2V 電圧から充電 量が分かる、 HEV向き、低 温・大電流放 電に強い	3.6V 低温・大電流放 電に強い	3.6V モデル5のニッ ケル高含有型 容量約7~8% 向上。
タイプ	容量型	容量型	容量型 出力型	容量型 出力型	容量型 出力型	容量型 出力型	容量型 出力型

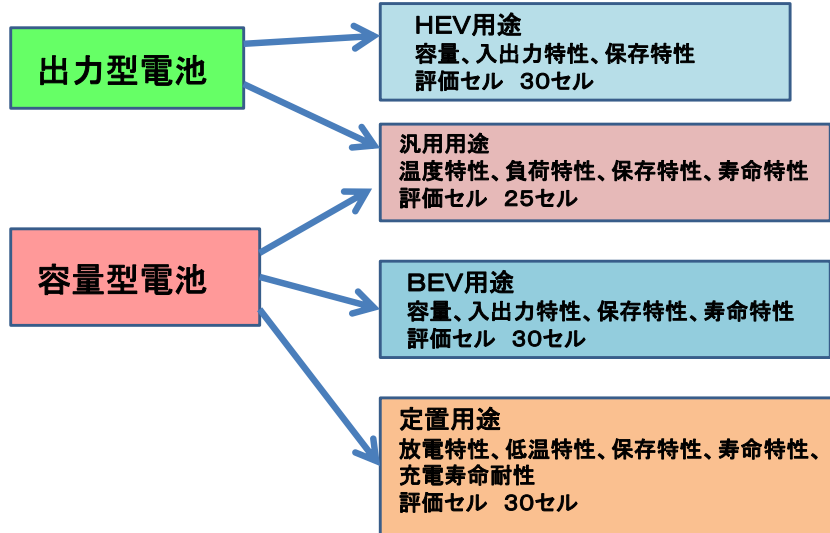
上記した材料構成に基づく1Ah級ラミネート形セル5種類の「標準電池モデル」及び「試作仕様書」を策定した。また、少量サンプルでの評価も可能とするコイン形セル1種類の「標準電池モデル」及び「試作仕様書」も策定した。

また、後半2年間においては、高電圧LCO正極と高Ni三元系正極を標準材料として追加することとし、これらを適用した1Ah級ラミネート形セル2種類の「標準電池モデル」及び「試作仕様書」を策定した。さらに、EV用途への適用性評価の確実性を高めるための大型ラミネートセル(5Ah級)、材料メーカー単独でも簡易評価を可能とするための小形ラミネートセル(30mAh級)を追加で策定した。

なお、表Ⅲ-4中の「タイプ」に関する容量型、出力型の表記は、材料は同じでも電極設計で用途向

け電池が可能となるため、同じ電池系で2種の「試作仕様書」を策定したことを示している。

「性能評価手順書」については、前半3年間で図Ⅲ-11に示すLIBセルの基本特性(容量、入出力、温度、保存、サイクル寿命等)の評価方法を策定した。後半2年間においては、表Ⅲ-5に示す安全性・信頼性(過充電、加熱、内部短絡、圧潰)の評価方法を策定した。並行して、示差走査熱量計(DSC)、カルベ熱量計及び断熱熱量計(ARC)を用いた材料単体での安全性の評価方法を開発した。



図Ⅲ-11 基本特性の評価項目

表Ⅲ-5 安全性の評価項目

分類	条件	備考	評価セル数	測定項目
過充電	電池;SOC 0% 電流;1~3C (大型電池は最大2C) (電圧;最大 50V) 充電量; 300% 雰囲気温度;常温	JIS C8712 参考 治具で挟んだ状態で試験 間隔 標準 7mm、大型 6mm	3	温度 電流 電圧
加熱	電池;SOC 100% 雰囲気温度;常温から開始 昇温速度; 5 ± 3 °C/分 最大温度; 150°C 保持時間; 15分	UL 1642 参考 ブロックヒーター使用 ヒーターで挟んだ状態で試験 間隔 標準 7mm、大型 4mm	3	温度 電圧
釘刺し	電池; SOC 100% 釘(市販品); 3.05mmφ、SUS製、先端四角錐 降下速度; 80mm/秒 貫通後15分間静置 雰囲気温度;常温	SAE J2464 参考	3	温度 電圧
丸棒圧壊	電池; SOC 100% 丸棒; 10mmφ、SUS製 加圧力; 標準 9kN、大型 20kN 下降速度; 1 mm/秒 加圧保持時間; 180秒	IEC 62660-2 参考	3	温度 電圧

前記した「標準電池モデル」、「試作仕様書」及び「性能評価手順書」の策定と並行して、LIBTEC 組

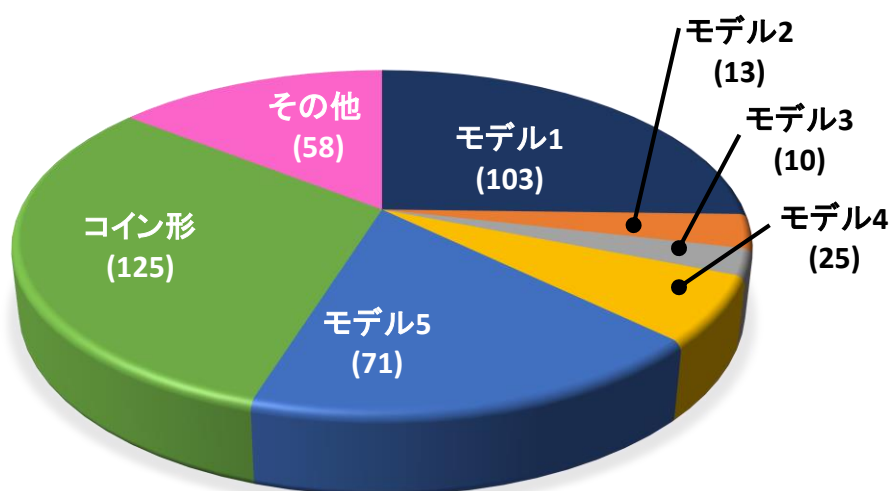


合員企業から新材料サンプルを受け入れ、電池試作・評価を行い、サンプル提供者に対するフィードバックを行いながら、開発技術の妥当性検証とブラッシュアップを進めた。

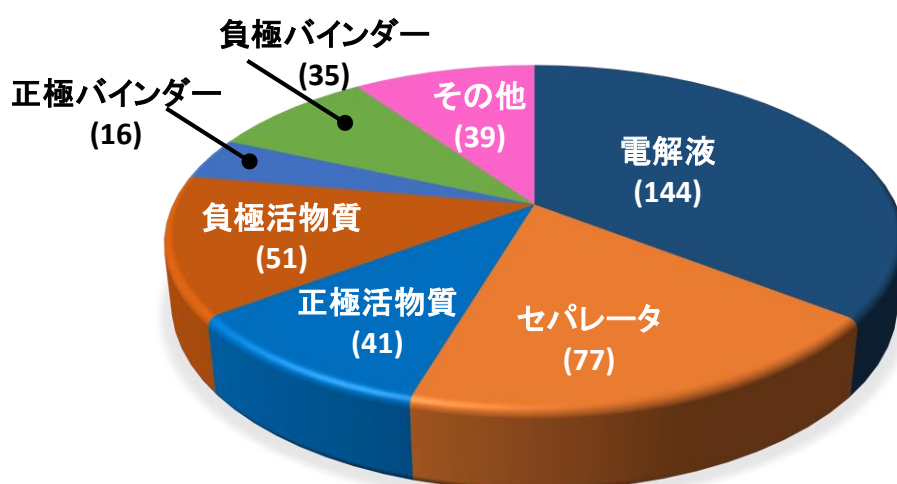
プロジェクト実施期間中における電池試作・評価の実績を図Ⅲ-12(モデル別)及び図Ⅲ-13(評価材料別)に示す。

5年間で、20の組合員企業から提出された新材料について405件の評価を行った。評価したモデルは小型民生用を想定した電池モデル1とEV用・定置用を想定したモデル5が多かった。なお、図Ⅲ-12中の「その他」の58件は、サンプル提供者からの要望に応じて材料の組合せや評価項目を変えて対応したものである。

また、本プロジェクトの期間中、業界では電池の安全性や寿命の改良に電解液(含む添加剤)やセパレータが注目されてきたが、本プロジェクトにおける評価対象として活物質材料が少なく、電解液やセパレータの依頼件数が多いことと一致している。



図Ⅲ-12 標準電池モデル別の電池試作・評価実績



図Ⅲ-13 評価材料種類別の電池試作・評価実績

### (3) 評価シミュレーションシステムの開発

材料開発において実際に電池に組むことなしに電池特性を推定可能なシミュレーションシステム技術は、開発の効率化及び早期実用化の促進にとって極めて有効な手段となる。「評価シミュレーションシステム技術開発」として、東北大学宮本研究室との共同研究で、ソフト開発を東北大学、電池の試作評価を LIBTEC が行い、実験結果の再現を試みた。成果として開発したソフトは、①充放電シミュレータ(Li ion Macro 2.0x4)、②電極乾燥シミュレータ(CONCE\_V6)、③寿命(サイクル)シミュレータ(Li ion Macro 2.0x5)の3件であり、LIBTEC で活用するとともに、組合員企業に配布して、電池材料開発の促進に活用されている。

#### ① 充放電シミュレータ(Li ion Macro 2.0x4)

実際の電極は材料、プロセスが相互に影響して複雑な三次元構造を形成している。3D-SEM (FIB-SEM) で観察した電極の三次元構造を基に、実際の電極の三次元構造を考慮した計算モデルを作成した。各種電池構成材料の入力物性値測定や電極の構造を表現するパラメータの導入などを行って、電池構成材料の物性値から電池の充放電特性を計算することができるプログラム「充放電シミュレータ」を完成させた。

モデル 5(NCM/人造黒鉛)について、FIB-SEM で実測した電極構造の厚み方向分布を基に計算した放電特性の結果を図 III-12 に示す。実測値との対比も合わせて図中に示すが、放電特性(電圧、容量)はよく一致していることがわかる。

#### ② 電極乾燥シミュレータ(CONCE\_V6)

先述したように、電極作製時の乾燥速度が速くなると、導電助剤とバインダが表面層に集まり電極内部の空孔構造や電気伝導性が不均一になる。電池材料の粒子径や比重などの物性値と塗布乾燥プロセスのパラメータを入力することで電極構造を計算することができるプログラム「電極乾燥シミュレータ」を完成させた。得られた電極構造の厚み方向分布を充放電シミュレータに適用することで、充放電特性を計算することが可能となった。

上層、中層、下層の3分割での AB の厚み方向分布を実測値と計算値で比較した結果を、図 III-13 に示す。実測値で得られた乾燥温度(速度)による不均一分布が計算で良く再現できていることがわかる。

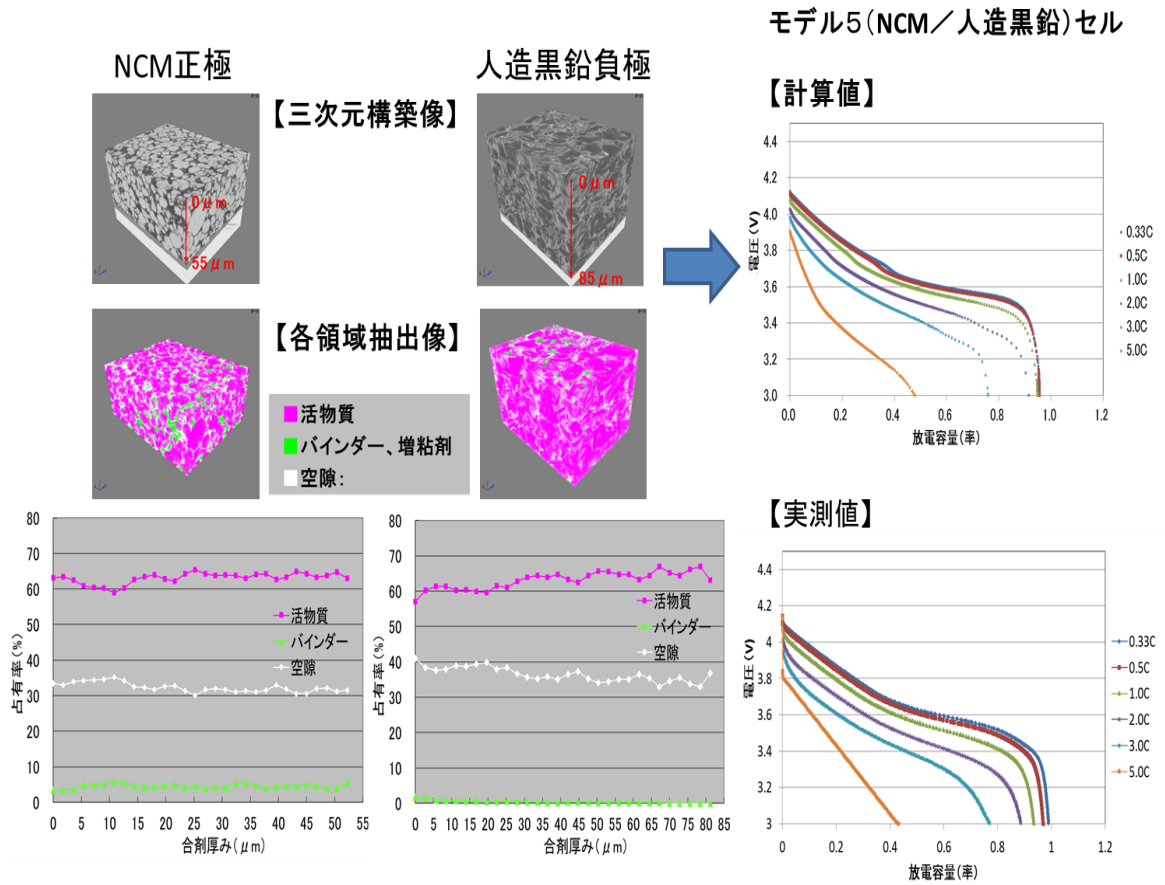
#### ③ 寿命シミュレータ(Li ion Macro 2.0x5)

モデル 5(NCM/人造黒鉛)について、サイクル特性評価の途中で正極・負極の劣化挙動を把握する目的で  $dV/dQ$  測定を実施し、 $dV/dQ$  測定結果を反映しサイクル特性を計算できる「寿命(サイクル)シミュレータ」を完成させた。この寿命シミュレータでは、定電流充放電サイクル時の多種の劣化因子を入力パラメータとして入力することが可能であり、劣化因子のサイクルごとの変化を線形性のみでなく非線形性(ルート則、二乗則等)として扱うことができる特長を有している。

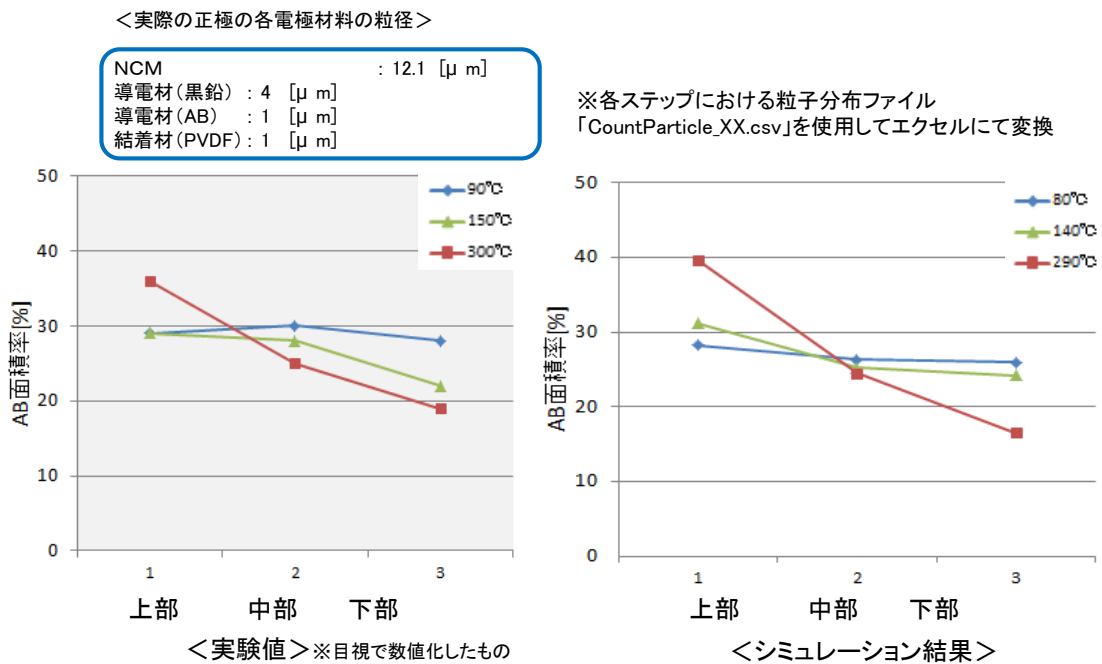
モデル 5(NCM/人造黒鉛)の寿命シミュレータの計算値と実測値との比較を図 III-14 に示す。主な劣化モードとしてリチウムの不活性化と負極活物質の表面抵抗増加を想定し計算したサイクル特性と、実際の評価セルでの実測値がほぼ合致することを確認できた。

確立した手法を他モデルにも適用して電極構成材料、構造因子の影響度を定量的に判断することで、新材料に適した電極構造等の予測が可能となり、電池試作による材料評価の効率向上が期待できる。



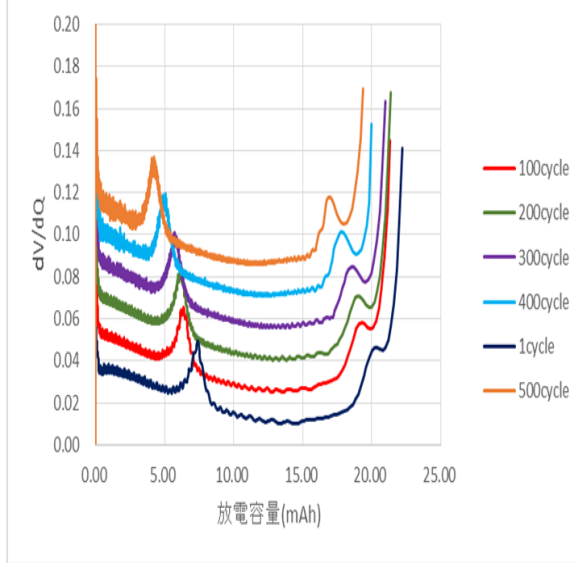


図Ⅲ-14 電極構造を考慮した放電特性の計算値と実験値との比較

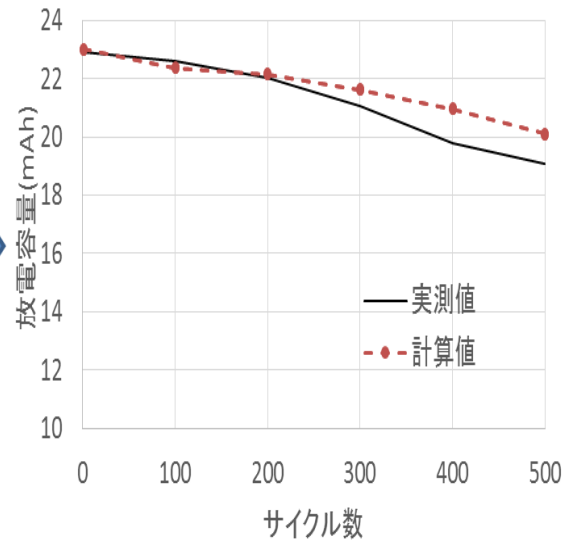


図Ⅲ-15 NCM 正極の AB 分布の計算値と実験値との比較

想定劣化モード: Liの不活性化 0.015%/サイクル  
 負極活物質の表面抵抗増加 1.2%/サイクル



モデル5(NCM/人造黒鉛)セルのサイクル特性



図Ⅲ-16 充放電サイクル特性の計算値と実験値との比較

## 2. 住化分析センターの研究開発成果

### 2.1 住化分析センターの研究開発成果まとめ

本プロジェクトにおける研究開発成果と達成度を表Ⅲ-6及び表Ⅲ-7に示す。

表Ⅲ-6 研究成果一覧(1)

大項目	実施項目	最終目標	成果	達成度
① 活物質特性に及ぼす電極構造の影響の解明	①-1 広領域測定が可能な観察技術の検討	・広い観察領域(0.1 nm～数 cm)での観察画像取得	・LM/SPM 複合装置と既存観察手法(TEM、FE-SEM、EPMA、Raman)とを組み合わせることで広い観察領域(0.1nm～数 cm)での観察画像を取得した。 ・上記技術を利用することで、LIBTEC 標準電極の構造的相違を見出した。	○
	①-2 電極構造と電池性能に影響を与える構造因子の抽出と数値化検討	・電池性能に影響を与える特性の抽出及び数値化	・LIBTEC との協議で Li イオン伝導性、電子伝導性に着目して、電極内の空隙、導電助剤及びバインダの分散度を構造因子として抽出。これらを、SEM、EPMA や LM/SPM 複合装置での測定結果を基にした画像解析条件を確立し、数値化を可能とした。	◎
	①-3 各分析手法を統合させる時の基準位置設定検討	・基準位置の設定	・LM/SPM 複合装置の基準点を固定しながらシームレスで測定できるという特徴を利用し、他の測定画像の基準点からのズレを補正することで、活性な活物質割合の算出を可能とした。	◎
	①-4 電極作製条件が構造因子に与える影響と電池特性との相関解析検討	・電池特性との相関解析	・副資材の影響、乾燥条件、スラリー分散条件の違いによる電池特性との相関解析を行った結果、乾燥条件によってバインダ偏在が発生し、電子伝導性や寿命に影響すること確認。	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

表Ⅲ-7 研究成果一覧(2)

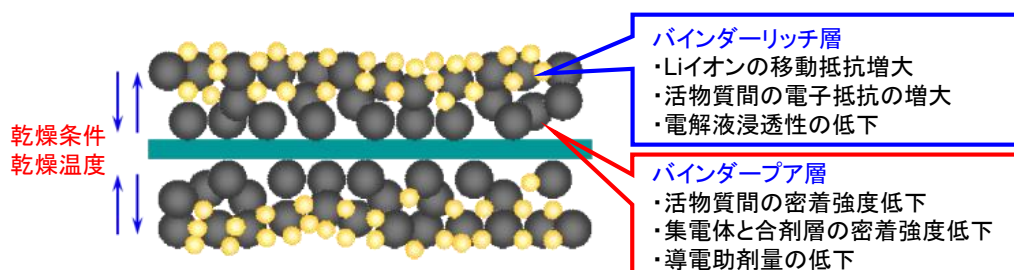
大項目	実施項目	最終目標	成果	達成度
② 電池形成後の電極構造変化が信頼性・安全性に及ぼす影響の解明	②-1 充放電条件の違いに起因する電解液組成変化の解析	・電解液の組成変化を解明	・LC-TOF/MS 法による高感度測定と多変量解析技術で、充放電条件によって発生する組成変化の違いを系統的に確認できるようになった。	○
	②-2 充放電時発生ガスのリアルタイム分析検討	・充放電時に発生した内部ガスの組成解明	・GC-PDHID と充放電装置を連結させ、充放電時の発生ガス成分のリアルタイム解析を可能とし、例として、初回充電で CO、H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> が発生し 2 サイクル目以降は発生量が減少することが分かった。	○
	②-3 マクロ領域におけるサイクルが電極構造に及ぼす影響解析	・マクロ領域での充放電前後の構造変化を解析	・ラマン分光法によるマクロ領域の構造変化を大気非暴露で捉える手法を開発し、SPring-8 BL08B2 での <i>in situ</i> XRD 分析及びミクロ領域の分析(TEM 分析)との組み合わせにより、充放電サイクルの容量低下の主たる原因を探った。正極活物質の構造変化が顕著で、表面の岩塩構造化及び内部結晶構造の欠陥が生じていることを解明。	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

## 2. 2 住化分析センターの研究開発成果の具体例

### (1) 活物質特性に及ぼす電極構造の影響の解明

電極の製造効率を上げるために、合剤塗布後の乾燥時間を短縮することは重要であるが、乾燥条件が適切でないと、図Ⅲ-17 に示すようにバインダ樹脂が合剤内に偏析(マイグレーション)し、電池特性の低下を引き起こす可能性がある。



図Ⅲ-17 バインダマイグレーションのイメージ

そのため、電極内でのバインダ分布状態を評価する事はきわめて重要である。しかしながら、電極内でのバインダ分布状態の分析として、これまで EPMA 元素カラーマッピング法が提案されているが、本手法では、切り出した電極断面に大きく左右されるため、感度や定量性に課題があった。そこで、精度の高い分析を行うため、高感度かつ定量性に優れた熱分解 GC-MS 法を開発した。

本手法は、合剤内部でのバインダ量の差異を分析するため、電極の合剤を上層・中層・下層と選択的に掻き取り、各層を熱分解 GC-MS を用いることで定量を行うというものである。また、この掻き取り層の高さの精度と試料作製は、本来、切削しながらその応力を測定する装置である SAICAS (Surface And Interfacial Cutting Analysis System) を利用することで可能とした。測定結果から層中のバインダ(正極;PVdF、負極;SBR)量は以下の式で求めた。また、マイグレーションの度合いを数値化では、バインダ濃度(x)を上層から下層へと順番にプロットすることで得られた、1次関数の近似式の傾き(濃度勾配)を「バインダ偏在率」と定義した。

$$x(\%) = (y - b) / a$$

x(%): バインダ濃度

a: バインダ標準品の検量線の傾き

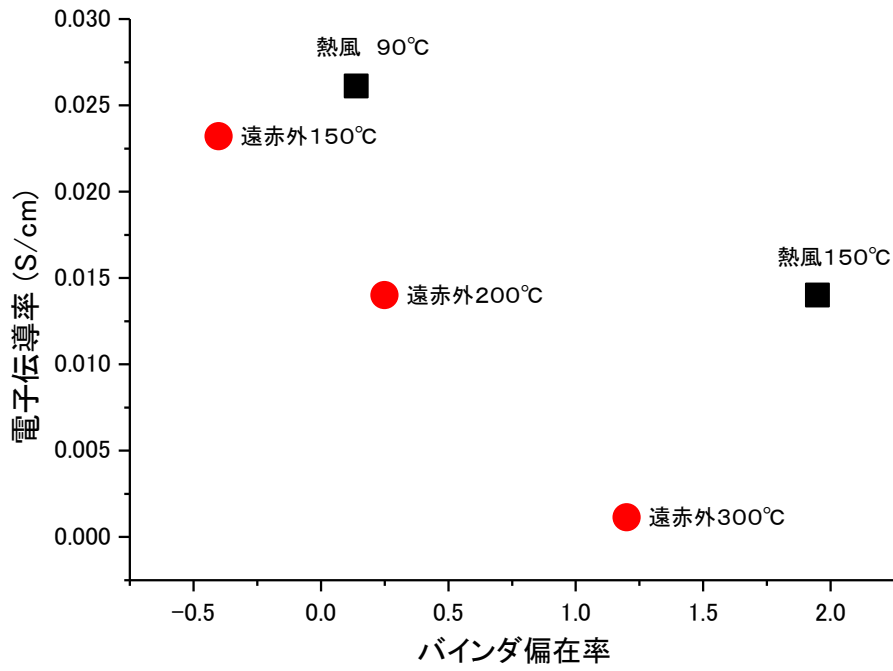
y: 単位重量あたりの GC-MS ピーク面積

b: バインダ標準品の検量線の切片

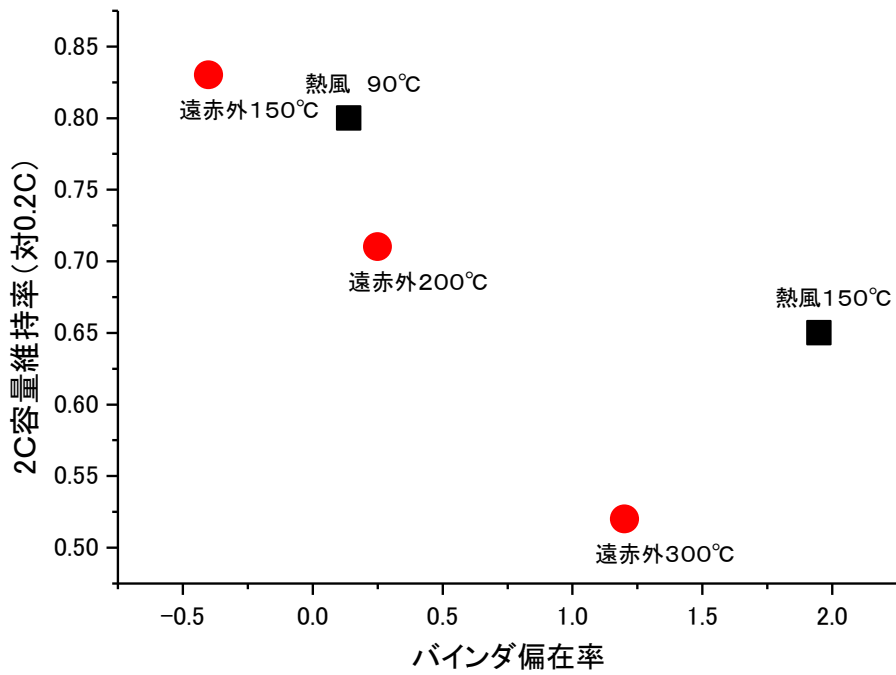
正極の各乾燥温度でのバインダ偏在に対する電子伝導率との相関を解析した結果を図Ⅲ-18 に示す。バインダの偏在度合いと電子伝導率に相関性を確認でき、偏在度が高いほど、電子伝導率が低下することが分かった。これは、バインダが絶縁体であることを考慮すると妥当な結果と考えられる。また、乾燥温度が高いほどバインダの偏在が起りやすく、熱風乾燥が遠赤外乾燥よりバインダが偏在しやすいことが示唆された。

次に、このバインダの偏在度合いと電池特性のとの相関を解析した結果を図Ⅲ-19 に示す。バインダの偏在度合いと電池特性に相関性を確認した。また、電子伝導率の結果と同様にバインダの偏在度が高いほど、容量維持率が低下することが分かった。

以上の結果より、乾燥温度はバインダ偏在化に影響し、導電ネットワーク、延いては電池特性の良否に影響する事を熱分解 GC-MS 法を用いて実証し、高性能な電池を効率よく製造するためにはバインダ分布の評価を行い、乾燥条件の最適化を行うことが有効であることが分かった。



図Ⅲ-18 バインダ偏在と電子伝導率との相関



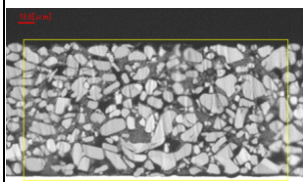
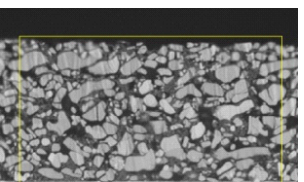
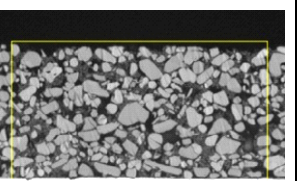
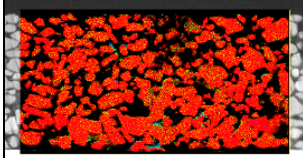
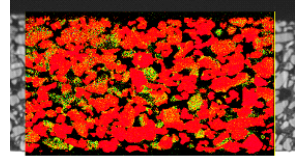
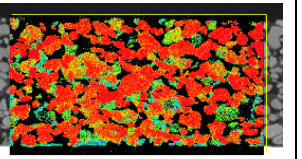
図Ⅲ-19 バインダ偏在と電池特性の相関


## (2) 電池形成後の電極構造変化が信頼性・安全性に及ぼす影響の解明

LIBTEC での電池特性解析結果から、本研究で使用したテスト電池においては、全体容量低下は正極劣化の影響が大きいことが示唆されている。この要因を解明するためには、マイクロ～マクロ領域で電極や活物質に起こっている変化を大気非暴露で捉える必要がある。そこで、雰囲気制御断面作製装置を導入し、マイクロ～マクロ領域での充放電前後の構造変化を前処理・観察工程において一度も試料を大気暴露させることなく観察できる治具を開発した。マクロ領域の変化として、作製した電極の断面を大気非暴露のまま、開発した専用のセルに封入し、イメージング機能を有するラマン分光装置を用いることで、電極断面全体における結晶構造変化の測定を行った。

表Ⅲ-8にラマンイメージングの測定結果を示す。サイクル後ではスペクトルの変化が一部確認された。A<sub>g</sub>モードに由来する 596 cm<sup>-1</sup> 付近のピーク位置に着目して解析を行ったところ、25°C 400 サイクル後では、特にピークが低波数側にシフトしていることが分かった。この結果は、SPring-8 BL08B2 での *in situ* XRD の結果とも良い整合性を示していた。

表Ⅲ-8 活物質の変化

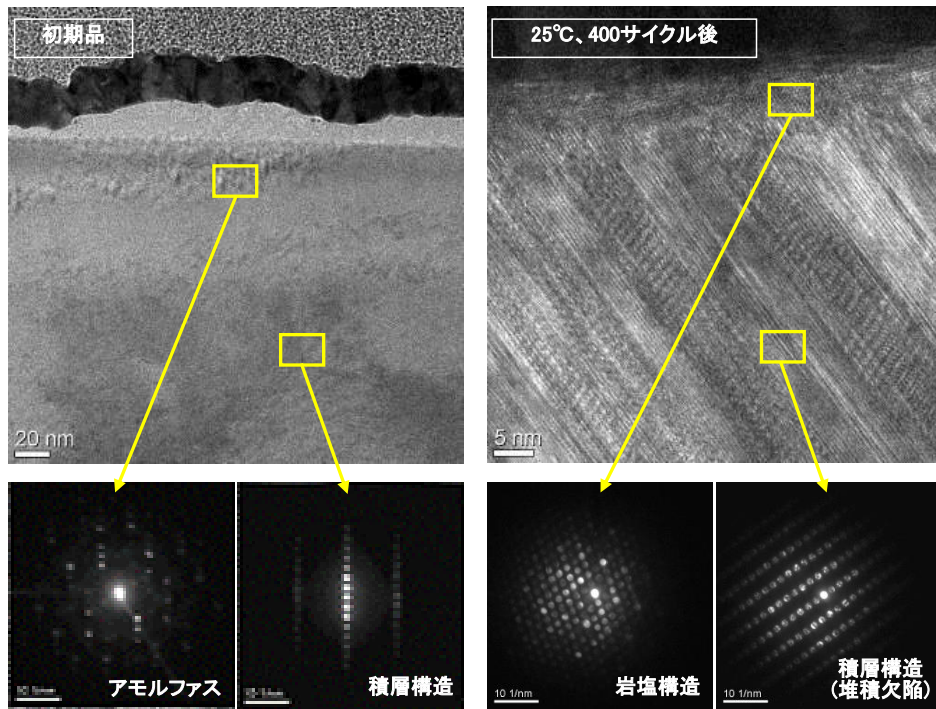
	初期品 (エージング後)	25°C、170 サイクル後	25°C、170 サイクル後
光学顕微鏡像			
活物質の変化 (ラマンイメージング)			

560  596  
A<sub>g</sub>モードピーク位置 (cm<sup>-1</sup>)

次にマイクロ領域の変化として、ラマン分析で認められた特異な活物質の局所的な構造の変化について、FIB によるマイクロサンプリングを行い、TEM で比較評価した。初期品(エージングのみ)の TEM 観察及び電子線回折結果を図Ⅲ-20 に示す。サイクル前の状態において活物質内部は LiCoO<sub>2</sub> の積層結晶構造に由来する格子像が観察されたが、表面付近では数 10nm の厚さでアモルファス化していた。一方、25°C、400 サイクル後においては、活物質内部で積層欠陥と推測される結晶構造の乱れが観察され、表面付近では岩塩化が進行していることが分かった。

以上の結果から、マクロ領域での結晶構造変化を *in situ* で確認できる技術を確認し、TEM を用いたマイクロ領域の変化と組み合わせることで、正極全体の劣化は、正極中の一部の活物質で酸化コバルトの生成や構造変化等が進行しており、さらに活物質表面において岩塩構造化及び結晶構造の欠陥(堆積欠陥)が蓄積し、活物質不活性化することが主たる要因と推定した。





図Ⅲ-20 初期品(エージングのみ)25°C、400 サイクル後の TEM 観察及び電子線回折結果



### 3. 知的財産権等の取得、成果の普及

LIBTEC が開発した材料評価技術に関する知的財産は、第Ⅱ章の「知的財産等に関する戦略の妥当性」で述べた戦略に則して、ノウハウ化(ドキュメント化も含む)を進めた。一方、住化分析センターについては、自社の分析評価サービスに関する戦略に則して、6件の特許を出願した。

表Ⅲ-9 LIBTEC による成果の普及

	2010年 (平成22年)	2011年 (平成23年)	2012年 (平成24年)	2013年 (平成25年)	2014年 (平成26年)	2015年 (平成27年)	合計
特許出願(うち外国出願)			1(0)				1(0)件
論文(査読付き)							0件
研究発表・講演	3	6	4	5	7	5	30件
受賞実績							0件
新聞・雑誌等への掲載		2	4				6件
展示会への出展		1	2				3件

表Ⅲ-10 住化分析センターによる成果の普及

	2010年 (平成22年)	2011年 (平成23年)	2012年 (平成24年)	2013年 (平成25年)	2014年 (平成26年)	2015年 (平成27年)	合計
特許出願(うち外国出願)		1(0)	1(0)	2(0)		2(0)	6(0)件
論文(査読付き)			1(0)	1(0)	1(1)	1(1)	4(1)件
研究発表・講演		1	1	2	2	1	7件
受賞実績							0件
新聞・雑誌等への掲載			1	1	1		3件
展示会への出展					1		1件

また、NEDO も本プロジェクトの取組みに関して、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 16 件を行っている。

### NEDO の情報発信実績

- 1) 日本高分子学会／ポリマーフロンティア 21(2012 年 9 月 7 日)  
講演「NEDO における蓄電池技術開発の最新動向」
- 2) 防衛技術シンポジウム 2012(2012 年 11 月 13 日)  
講演「蓄電技術のナショナル事業と今後の展望」
- 3) 群馬県次世代産業振興戦略会議／蓄電池セミナー(2012 年 12 月 13 日)  
講演「次世代蓄電池開発の現状、課題とその先へ」
- 4) 日本電気化学会／電気化学セミナー(2013 年 1 月 23 日)  
講演「NEDO における蓄電技術開発」
- 5) 日本化学会／第 93 春季年会(2013 年 3 月 24 日)  
講演「NEDO における大型蓄電技術の開発」
- 7) 化学工業日報社／月刊「化学経済」(2013 年 7 月号)  
寄稿「NEDO における次世代蓄電池の技術開発」
- 8) 青森県三八地域「かしこいすまいを考える 5 日間」技術講習会  
講演「次世代蓄電池開発の現状、課題とその先へ」
- 9) GEATEC2013／第 10 回 JEITA 電子材料セミナー(2014 年 10 月 3 日)  
講演「NEDO における蓄電技術開発」
- 10) 近化電池セミナー(2014 年 10 月 3 日)  
講演「次世代蓄電技術開発の現状、課題とその先へ」
- 11) 「おかやま電池関連技術研究会」第 3 回技術セミナー(2014 年 11 月 29 日)  
講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」
- 12) 日本電気化学会／電気化学セミナー(2014 年 1 月 24 日)  
講演「NEDO における蓄電技術開発」
- 13) 第 55 回電池討論会(2014 年 11 月 19 日)  
講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」
- 14) 豊橋技術科学大学・未来 VCR センターシンポジウム(2014 年 12 月 11 日)  
講演「NEDO における次世代蓄電技術開発」
- 15) 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」  
(2014 年 12 月)  
寄稿「NEDO における次世代蓄電池の研究開発計画」
- 16) 日本電気化学会／電気化学セミナー(2015 年 1 月 21 日)  
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」

## 第IV章 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)を、LIBTEC 及び住化分析センターそれぞれに対して、下記のように定めた。

### 本プロジェクトにおける成果の実用化の考え方(定義)

#### ○LIBTECの成果の実用化

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。

#### ○住化分析センターの成果の実用化

本プロジェクトで開発した解析技術が、電極構造と電池性能の相関関係を把握するための分析サービスとして、材料メーカーや蓄電池・自動車メーカー等に提供されること。

### 1. LIBTEC の開発成果の実用化について

#### 1. 1 実用化の見通し

##### (1)本プロジェクトにおける電池試作・評価の効果

本プロジェクトにおける電池試作・評価の結果を組合員企業がユーザーへの提案活動等に利用する際には、LIBTEC に事前申請するルールを設けた。このルールに則して、プロジェクト期間中、組合員企業より合計で 59 件の申請があった。このように、本プロジェクトで開発した評価技術が材料メーカーによって有効に活用されていく見通しが得られている。

また、本プロジェクトにおける電池試作・評価の結果を活用して、新材料の量産化設備を導入し、実用化ステージ(サンプルワーク～ユーザー採用)に進めたメーカーが 6 社ある。このように、本プロジェクトで開発した評価技術が材料メーカーの研究開発に有効に活用されていく見通しが得られている。

##### (2)本プロジェクトの成果に関する材料メーカーの評価

NEDO 及び LIBTEC が、本プロジェクトの成果(評価技術)に対する LIBTEC 組合員企業の評価を確認した結果を以下に示す

#### ①NEDO による材料メーカーヒアリング

NEDO は本プロジェクトを活用してビジネス進展したと推定される材料メーカー 6 社に対して、直接ヒアリングを行った。本プロジェクトに対する 6 社の主な評価は下記のとおりである。

なお、【 】内の数字は、ヒアリングを行った【6社】中の該当社数を示す。

- (i) LIBTEC の評価事業では、入手できない他社材料との組合せ評価が可能で、電池のサイズ・作製条件・評価条件等のバリエーションが豊富。【6社】
- (ii) 自社の蓄電池評価の技術力やその評価結果の理解・判断力が向上。【6社】
- (iii) LIBTEC 評価材料で蓄電池メーカー採用【3社】、サンプル供試～採用前段階【2社】

- (iv)開発期間の 50%短縮【2社】、10~20%短縮【1社】
- (v)LIBTEC 評価で蓄電池の製造プロセス上、成立しないことが判明し、開発を中止した材料がある。これが無ければ、そのまま無駄に開発を継続していた。【2社】
- (vi)他の試験評価機関は分析中心の評価であるが、LIBTEC の評価は蓄電池メーカーの目線で実用的かつ低コストである。【6社】
- (vii)社内で解析するため LIBTEC で作製した作製した電池の返却を希望。【2社】
- (viii)より詳しいコンサルティングを希望。【2社】

## ② LIBTEC による材料メーカーアンケート

LIBTEC が本プロジェクトに組合員として参画した材料メーカー17社に対し、記入式のアンケート調査を行った。本プロジェクトのメリットとして主に挙げられた点は下記のとおりである。

なお、【 】内の数字はアンケート調査を行った【17社】中の該当社数を示す。

- (i)電池作成技術・評価技術・解析技術が取得できた。【9社】
- (ii)電池技術者の育成ができた。【6社】
- (iii)実電池での客観評価が行われ、問題点の抽出ができた。【10社】
- (iv)電池メーカー・材料メーカーとのコネクション形成機会が提供された。【4社】
- (v)LIBTEC で作製した電池の返却を希望。【9社】
- (vi)LIBTEC 評価設備の使用を希望。【8社】
- (vii)ユーザーのニーズや意見をより多く獲得する機会の提供を希望。【4社】

## ③ まとめ

上記した NEDO ヒアリング結果及び LIBTEC アンケート結果から、本プロジェクトによって材料メーカーの蓄電池としての評価力が底上げされ、プロジェクトの目的であった標準の評価手法の開発と提供に留まらず、今後を見据えてより根本的な成果があったと考える。また、NEDO のヒアリング結果で開発期間は 50%短縮できたとする組合員は 2社あったが、短縮期間を 10~20%としたもう 1社は、同時に新規材料の開発では問題点がクリアにできず物にできていなかったかもしれないとしており、本プロジェクトを活用した組合員においては、材料開発期間は 50%程度に短縮したと考える。

要望点については、後述する LIBTEC の自主事業の中で改善する予定である。更に、現在、実施中の NEDO 事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」においても、LIBTEC の活動によって材料メーカーの評価力向上や開発効率向上が図られるものと考えられる。

## (2)本プロジェクトの成果に関するユーザー・学識者の評価

### ①第1アドバイザー委員会

2014年11月、委員会メンバーである国内主要電池メーカー8社のうち6社の専門家が委員として参加した第5回・第一アドバイザー委員会を開催し、本プロジェクトの成果報告と設備見学を行った。全ての参加委員が、LIBTEC の評価設備、標準電池モデル、評価データの精度等を高く評価した。

本プロジェクトに対する6社の主な評価は下記のとおりである。なお、【 】内の数字は、委

員の【6社】中の該当社数を示す。

- (i) 電池メーカーと同等の電池開発が充分できるレベル【2社】
- (ii) 電池メーカーより場合によっては高精度な評価ができている【2社】
- (iii) 電池メーカーに材料を持ち込む事前データとして活用すべき【2社】
- (iv) 材料開発は勘に頼っていたが、LIBTEC の評価結果は中身が分かるレベル【1社】
- (v) 材料メーカーの結果が社内で再現できず時間が掛かっていたが、LIBTEC 結果をもってくれば短縮できる【1社】
- (vi) 電池作製、性能評価、安全性評価、解析が一貫しかつ充実している【2社】
- (vii) 材料メーカーに開発目標を与え、リードまでして欲しい【1社】
- (viii) シミュレーション技術は、ここまでは一般に到達できるレベル。劣化モードを如何に入れて寿命予測できるレベルにするのが勝負【1社】

## ②第二アドバイザー委員会

2014年12月に、国内主要自動車メーカーの蓄電池部門または自動車用蓄電池メーカー計6社の技術系役員・管理職を委員とした第2回・第二アドバイザー委員会を開催し、本プロジェクトの成果報告と設備見学を行った。

本プロジェクトに対する6社の主な評価は下記のとおりである。なお、【 】内の数字は委員の【6社】中の該当社数を示す。

- (i) 車の様々な使用モードに対して電池の耐久性を如何に保証できるかであり、シミュレーションに期待する。【ほぼ6社】
- (ii) 車の開発時間に対して、電池の開発時間が長すぎて、電池の新しい技術が取り組み難いのが問題。LIBTEC 評価やシミュレーションを活用した電池の耐久性評価で、開発スピードアップに繋げたい。【1社】
- (iii) より高容量の電池(50Ah級)の電池性能評価、蓄電池性能のデータベース化に期待。

## ③外部活動提言委員会

2014年10月20日に、学術関係者、自動車メーカー等の管理職を委員とした、第5回・外部活動提言委員会を開催し、本プロジェクトの成果報告と設備見学を行った。

- (i) 試験設備や評価法が良く検討されている。
- (ii) LIBTEC のデータを持ってこられれば、その材料が使えるかどうかの判断がすぐ可能。
- (iii) 材料メーカーによっては、評価コストがネックになる。また、組合員以外のメーカーから大学に評価法を教えて欲しいとの相談が非常に多い。安価で簡易な評価法を開発し展開すれば、裾野は大きく広がる筈。

## 1.2 実用化に向けての取り組み

LIBTEC は、本プロジェクトで開発した評価技術、本プロジェクトで導入した電池試作評価設備及び分析測定装置を活用して、新材料評価の自主事業(組合員企業による賦課金で運営)を本年より開始しており、成果の実用化は既に実用化されていると言える。なお、この自主事業において、LIBTEC はアンケート等により組合員の要望を汲み取り、試作電池の返却や評価項目・改良方針に関するコンサルタント業務の強化など、サービスの質や幅を向上させている。

### 自主事業の概要

#### 1. 参画組合員(14組合員)

旭化成、クラレ、JSR、JNC、住友ベークライト、ダイキン工業、大日本印刷、凸版印刷  
日本触媒、富士フイルム、三井化学、UACJ、三菱化学、産業技術総合研究所

#### 2. 運営:

初年度は組合員に限定。今後、拡張の予定。

#### 3. 特徴:

- ①要望の多かった電池持ち帰りを可能とした。
- ②組合員による電池試作設備の利用、評価装置の活用を可能とした。

#### 4. 平成27年度の実施状況

期首に組合員から合計 71 件相当の評価賦課金支払い(評価権の確保)があり、10 月末時点までに約 25 件相当の評価を実施した。

また、LIBTEC による本プロジェクトの実施によって、材料メーカーの電池評価力が向上した。これは、組合員企業から出向してきた研究者の現地教育、評価手順書や評価設備、評価法に関する有形・無形の各種ナレッジ提供によって実現したものである。組合員企業では、自社内でも評価技術体制の整備が進んでおり、より一層効率的な材料開発が進められると期待できる。

一方で、国内には更に多くの畜電池材料メーカーがあり、一部の大手メーカーは自社で評価体制が構築できていると思われるが、国内材料メーカー全体の評価技術を底上げすべく、この評価技術を必要とする企業に展開する検討を行っている。

## 2. 住化分析センターの開発成果の実用化について

### 2.1 実用化の見通し

住化分析センターが各ユーザーに分析ニーズの調査を行った結果を表IV-1に示す。

自動車、電池メーカーは高出力、高容量化のための製造工程改良に主な課題があるのに対して、材料メーカーは劣化抑制のための材料開発に主な課題があった。それら課題解決のためには、本プロジェクトにより開発した分析方法は高い有効性を持ち、分析サービスとしてのビジネス化が期待される。

表IV-1 分析ニーズの調査結果

分野	課題(ニーズ)	求められる分析商品
自動車メーカー	高容量タイプの電極における、不均一プレスの問題を解決したい。	電極の空隙解析
	出力特性を改良するために正極の反応分布を評価したい	電極のin situ Raman
	全固体電池の作りこみを改善するために電極内の導電ネットワークを把握したい。	導電ネットワーク解析
電池メーカー	電極プレスによる空隙分布の把握し、出力特性の改良したい	電極の空隙解析
	サイクル試験後の導電ネットワークより劣化因子を解析したい	導電ネットワーク解析
	出力特性を改良するために正極の反応分布を評価したい	電極のin situ Raman
	電極の製造法の違いによる性能差を把握するために、電極の空隙分布を把握したい。	電極の空隙解析
	劣化前後の負極SBRの分布を比較し、バインダー劣化による影響を把握したい。	バインダ分布の定量
材料メーカー	正極、負極、バインダーからのガス発生量を低減することで耐久性を改良したい。	電池内封ガス分析
	ナトリウムイオン電池の高容量化のための製造法を改良したい。	電極の空隙解析
	劣化前後の負極の比表面積より、劣化要因を把握したい。	ミクロ空隙測定
	全固体電池における電極内の導電性向上により、高容量化したい。	導電ネットワーク解析

### 2.2 実用化に向けた取り組み

住化分析センターは、本プロジェクトの成果を用いて、表IV-2に示す 9 種類の新たな分析サービスを本年(2015年)に商品化している。

この分析サービスの特長は、従来困難であった電池の性能発現メカニズムに関連した指標を可視化・数値化するだけでなく、各評価を組み合わせることで電極材料開発から電池製造プロセスに至るまでの総合解析まで可能としたことにある。

なお、この新しい分析サービスは電池メーカーにとっても有用である。この分析サービスによって、電池特性と相関性のある材料の特性を適切に視覚化・数値化することで、電極材料と電池性能の相関が明確になるため、電池メーカーは材料メーカーへの具体的な指示を行うことが可能となる。

表IV-2 本プロジェクト成果に用いて商品化された分析サービス

	商 品	評価項目(得られる情報)	開発技術のポイント
1	電極の空隙解析 (SEM 画像解析)	①空隙面積、②空隙/活物質、③空隙数、④枝分かれ、⑤深さ方向偏在、⑥標準偏差	①樹脂包埋技術 ②特注画像解析ソフト導入
2	導電ネットワーク解析 (電極断面 LM/SPM)	活性な活物質割合 (電子伝導性との相関)	①不活性雰囲気での測定 ②個々の活物質の I-V カーブ測定
3	導電助剤分散度 (電極断面 Raman)	導電助剤(AB)分散度(標準偏差) (電子伝導性との相関)	導電助剤の分布イメージング
4	バインダ分布の定量 (SAICAS-Py/GC-MS)	合剤深さ方向でのバインダ量	SAICAS 導入による任意深さまでのサンプリング技術
5	電極 3D 構造解析	空隙・導電ネットワークの定量的評価(Pore, Throat, Tortuosity)	①負極へのコントラスト付与技術 ②専用画像解析ソフト導入
6	薄膜等の構造解析 (LC-TOF/MS)	活物質表面 SEI の詳細な有機組成	①LC-TOF/MS と多変量解析ソフトの導入 ②不活性雰囲気での前処理
7	電池内封ガス分析 (GC-PDHID)	充放電・サイクル数によって発生するガス成分の定性・定量	オンラインガスサンプリング技術の導入
8	マイクロ空隙測定 (高精度ガス吸着)	活物質の表面細孔の有無、面積など	①不活性雰囲気でのサンプリング測定技術
9	電極の <i>in situ</i> Raman	充放電による活物質の構造変化 (特に正極)	①専用セルによる電極断面方向からのイメージング ②AF 化による長時間測定の対応



添付資料

- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価書

## (エネルギーイノベーションプログラム／ナノテク・部材イノベーションプログラム)

## 「次世代蓄電池材料評価技術開発」基本計画

スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

本プロジェクトは、我が国が世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことを目的として経済産業省が取りまとめた「エネルギーイノベーションプログラム」、及び部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定め、材料関係者だけでなく多様な連携による基盤技術開発の支援で、部材分野の技術革新を促進することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環として実施する。

政府の「新成長戦略(基本方針)～輝きのある日本へ～(2009年12月閣議決定)」においては、「グリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」の中で、蓄電池や次世代自動車等の革新的技術開発の前倒しの必要性が謳われており、これらは政策的に重点的に取り組むべきエネルギー革新技術として位置付けがなされている。

## ②我が国の状況

我が国では、二酸化炭素総排出量の約2割を占める運輸部門において、低環境負荷で走行することが可能な電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド自動車(PHV)、燃料電池自動車等(FCV)等の次世代自動車の早期普及が期待されており、そのキーとなる蓄電池に対する注目度が高まっている。

## ③世界の取り組み状況

米国では2015年までにプラグインハイブリッド自動車の100万台普及を目指すグリーンニューディール政策の下、経済回復・再投資法の施行によって20億\$が先進バッテリー製造に助成されている。ドイツでは2020年までに電気自動車を100万台、2030年以降500万台以上の普及を目指すエレクトロモビリティ国家開発計画の下、連邦教育研究省が電池開発に1億7000万€を投資している。また、韓国では電気自動車戦略部品を選定して集中的に支援を行う電気自動車活性化法案を推進している。さらに、米国・中国間では電気自動車の幅広い普及に向けた基準の共同開発を行うなどの米中電気自動車イニシアティブが提案されるなど、世界中で次世代自動車用蓄電池の開発が活発化している。

## ④本事業のねらい

高性能蓄電池を実現する上で重要な点は新材料の開発であり、様々な新材料を的確かつ迅速に評価し、高性能蓄電池開発にフィードバックしていく体制と評価技術が重要である。これを踏まえ、本プロジェクトでは、新しい蓄電池材料の性能や特性について、的確かつ迅速に評価できる技術を確立することを目的とする。

本プロジェクトの結果として、各材料メーカーと電池メーカーとの擦り合わせ期間が短縮され、高性能蓄電池用材料開発の効率が抜本的に向上・加速化される。さらには電池設計の視点から、材料に求められる要件、組み合わせに関する知見が蓄積されることにより、高性能蓄電池の早期開発が期待できる。電気自動車、プラグインハイブリッド自動車等の航続距離が伸びる等、走行性能向上に貢献することが期待される。

## (2) 研究開発の目標

### ①過去の取り組みとその評価

1990年に米国カリフォルニア州で販売される一定割合の自動車の排出ガスがゼロとなるよう義務付けられたことから、各自動車メーカーが電気自動車開発を指向した。わが国でも1992年度から10年間「分散型電池電力貯蔵技術開発」によりリチウムイオン電池の開発を実施し、2002年に3kWhモジュールで150Wh/kgを上回る成果を得たが、価格が非常に高価であったこともあり、電気自動車用リチウムイオン電池に対する需要はあまり発生せず、電気自動車用電池の継続的な生産には至らなかった。その後、搭載する電池の量がより少ないハイブリッド自動車や燃料電池車への期待が高まり、2002年から5年間「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」を実施し、当時の世界最高水準の成果(出入力性能(1800W/kg)、エネルギー密度(70Wh/kg)、寿命性能(約15年)等)により評価を得た。その成果は、2007年度より開始した「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発事業」に成果を引継ぎ、更なる高性能リチウム電池技術開発に展開中である。なお、平成21年度からは7年間の「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」を実施中であり、蓄電池の反応メカニズムを解明することで従来の延長線上にない革新的な蓄電池の開発を開始したところ。

### ②本事業の目標

[中間目標](平成 24 年度)

高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する課題とアプローチ手法を明確化するとともに評価手法案を作成する。

[最終目標](平成 26 年度)

高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する技術を確立し、標準的手法として産業界、学術関係者等からプロジェクト目的に資するものであることの評価を得る。

### ③本事業以外に必要とされる取り組み

NEDOでは、まず、2006年度から2010年度までの5年間、「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」を実施しており、太陽光発電、風力発電等新エネルギーの負荷平準化を目的とし、MW級の大型蓄電池を開発中である。2007年度から2011年度までの5年間、「次世代自動車蓄電システム技術開発」を実施しており、プラグインハイブリッド車、電気自動車等用の高性能蓄電池を開発している。

また2009年度から2015年度までの7年間、「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」を実施しており、リチウムイオン電池等の基礎的な反応原理・反応メカニズムを解明し、革新型蓄電池の実現等を

目指している。

本プロジェクトの遂行においては、必要に応じてこれら既存の蓄電池関連プロジェクトと相互に連携を図る。

さらに、今後普及を促進するためには、開発した新材料の量産化技術、高性能蓄電池の製造技術、品質評価技術等の製造関連技術の高度化、蓄電池の性能評価、安全性評価手法等の国際標準化、電気自動車用充電設備インフラを整える取り組み等が必要である。加えて、新エネルギー利用の一層の促進のためには、需要側で利用する蓄電池技術の開発も必要である。

#### ④全体としてのアウトカム目標

本プロジェクトの成果が直接寄与する高性能蓄電池分野は、2018年時点の世界市場が約1兆円規模と予想される成長産業である。この市場において、迅速かつ適切な評価方法が開発されることにより我が国が強みを有する新材料開発が加速されれば、大きな経済効果が見込まれる。

また、高性能蓄電池の早期実現により、二酸化炭素排出量が既存ガソリン自動車の1/4程度の高性能自動車の普及が期待される。運輸部門は日本のCO<sub>2</sub>総排出量約2割を占めることから、その貢献は非常に大きいと考えられる。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、以下の研究開発計画に基づく研究開発に対して助成する。

[助成事業(助成率:2/3)]

「高性能蓄電池に用いられる新材料の的確かつ迅速な性能や特性の評価方法の確立」

#### ①研究開発の必要性

高性能蓄電池を実現する上で重要なポイントは材料であり、その物理特性は、蓄電池製造工程や蓄電池の電気化学特性及び信頼性に大きな影響を及ぼす。しかし、材料の蓄電池への適合性を最適化するための検討項目は蓄電池の用途・性能によって多様であるとともに、蓄電池としての性能評価に最適な試験用蓄電池の開発には時間がかかり、新材料の早期開発における障壁となっている。このため、性能や特性の的確かつ迅速な評価方法を早急に確立する必要がある。

#### ②研究開発の具体的内容

以下に示す材料物性の及ぼす影響およびその対策を明確化することにより、高性能蓄電池材料を的確かつ迅速に評価可能な評価手法を開発する。

(a)電池製造工程における、活物質と結着材等の材料どうしの相互影響

(b)電池形成後の電気化学特性、信頼性、安全性に及ぼす材料の影響

#### ③達成目標

高性能蓄電池に用いられる新材料評価に関する技術を確立し、標準的手法として産業界、学術関係者等からプロジェクト目的に資するものであることの評価を得る。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）が、単独ないし複数の企業・大学等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から、公募によって研究開発実施者を選定し助成（助成率2/3）により実施する。なお、本事業実施にあたっては、研究開発責任主体を明確化する。

## 3. 研究開発の実施期間

本プロジェクトの助成期間は、平成22年度から平成26年度までの5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成24年度、事後評価を平成27年度に実施する。また中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他重要事項

### (1) 基本計画の変更

NEDO は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第3号に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

### (1) 平成22年3月、制定

### (2) 平成23年3月、推進部の変更及び「ナノテク・部材イノベーションプログラム」を追加

## 事前評価書

作成日

平成 22 年 2 月 18 日

1. 事業名称	次世代蓄電池材料評価技術開発
2. 推進部署名	燃料電池・水素技術開発部
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 我が国では、総二酸化炭素排出量の約 2 割を占める運輸部門において、低環境負荷で走行することが可能な電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド自動車（PHV）、燃料電池自動車等（FCV）等の次世代自動車の早期普及が期待されており、そのキーとなる蓄電池に対する注目度が高まっている。海外においては次世代自動車用の高性能蓄電池の開発が国家レベルの支援を受け活発化してきており、我が国においても新たな成長産業育成の観点から世界各国に先立ち電気自動車等を本格的に普及させるために高性能蓄電池の早期開発が不可欠である。</p> <p>本プロジェクトでは、高性能蓄電池を実現させる上で重要なカギとなる材料分野において、様々な新材料を的確にかつ迅速に評価し製品開発にフィードバックするための技術を確立させる。</p> <p>具体的には、蓄電池材料を的確かつ迅速に評価可能な「試験用電池」の製造工程を開発する。最終的にマニュアルを作成することを視野に入れつつ、以下に示す材料物性評価項目と評価技術を開発する。</p> <p>(a) 試験用蓄電池における電気化学特性および信頼性への材料物性の影響解明 次世代蓄電池用新材料の蓄電池構成状態における電気化学特性、信頼性、安全性への影響要因を解明する。</p> <p>(b) 試験用蓄電池製造工程への材料物性の影響解明 試験用蓄電池の部材を製造する工程において、例えば、電極を製造する工程において活物質と結着材などの材料同士の相互影響要因を解明する。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費（国費分）5.9 億円（2/3 補助）（予定）</p> <p>(3) 事業期間：平成 22 年度～26 年度（5 年間）</p>
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性 次世代自動車については、政府の「新成長戦略（基本方針）～輝きのある日本へ～（2009 年 12 月閣議決定）」においても、「グリーンイノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」の中で、蓄電池や次世代自動車等の革新的技術開発の前倒しの必要性が謳われており、政策的にも我が国が重点的に取り組むべきエネルギー革新技術として位置付けがなされている。</p> <p>一方、米国、欧州、アジアにおいても次世代自動車用の高性能蓄電池の開発が国家レベルの支援を受け活発化してきており、我が国が世界各国に先立ち電気自動車等を本格的に普及させるためには、高性能蓄電池の早期開発が不可欠である。</p>

本プロジェクトでは、高性能蓄電池を実現する上で重要な「新材料を的確にかつ迅速に評価し製品開発にフィードバックしていく体制と評価技術」を開発する。その結果、各材料メーカーと電池メーカーとの擦り合わせ期間が短縮され、高性能蓄電池用材料開発の効率が抜本的に向上・加速化されるとともに、電池設計の視点から、材料に求められる要件、組み合わせに関する知見が蓄積されることにより次世代蓄電池の早期開発が期待できる。その結果、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車等の航続距離が伸びる等、走行性能向上に貢献することが期待される。

以上から、本プロジェクトの位置づけは妥当であり、必要性も十分であると判断する。

#### (2) 研究開発目標の妥当性

現状では、次世代蓄電池用新材料に関する的確かつ迅速な評価技術は存在していない。日本が強みを有する材料分野において、次世代蓄電池用新材料評価に関するマニュアルを作成し、標準的な手法として評価を得ることを目標とするプロジェクトを実施することは、我が国の産業競争力強化につながると考える。

以上から、本プロジェクトの研究開発目標は妥当と判断する。

#### (3) 研究開発マネジメント

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」および「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」と連携し、「次世代蓄電池材料評価技術開発」を効果的・効率的に推進するための技術委員会を設置したうえ、必要に応じて外部有識者の意見・助言を求める。また、必要に応じてNEDOに委員会や技術検討会等を設置し、事業の進捗について報告を受けるなどを行う。さらに、年に1回程度事業の効率的な推進、情報や認識の共有等を目的に、本事業の実施者による報告会を開催する等を行う予定である。目標達成度、成果の技術的意義等については、外部有識者による中間評価を2012年度に実施し、その結果を反映して全体の進め方を見直す。このように、必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しが可能で弾力的対応が図られている。

#### (4) 研究開発成果

本プロジェクトの成果が直接寄与する次世代蓄電池分野は、2018年時点の世界市場が約1兆円(注1)規模と予想される成長産業である。わが国における蓄電池産業は、国の先進的な技術開発プロジェクトおよび民間企業の自主開発の結果、現状では世界市場において比較的先行しているものの、昨今の韓国、中国等の企業による市場シェアの拡大や予断を許さない状況にある。今後、わが国企業が引き続き競争力を維持するためには、総事業費約5.9億円として本プロジェクトを実施することは費用対効果の面でも妥当である。

(注1) インフォメーションテクノロジー総合研究所の資料等よりNEDOが予測。

(5) 実用化・事業化の見通し

本プロジェクトの成果として得られる次世代蓄電池材料評価技術によって、高性能蓄電池用材料開発の効率が抜本的に向上・加速化されるとともに、電池設計の視点に関する知見が蓄積されることにより次世代蓄電池材料の早期開発が期待できる。その結果、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車等の性能向上に貢献することが期待できる。また、次世代自動車等の本格的普及にともない、風力・太陽光発電といったエネルギー源の多様化に資することができるだけでなく、本評価技術を適用し次世代材料の早期開発が進めば、軽量・コンパクトが要求される介護用機器・電動工具・ロボットなどの移動用電源やバックアップ電源用途など、マーケットがさらに拡大する相乗効果も期待できる。

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

本事業は、次世代クリーンエネルギー自動車の早期の本格的普及に不可欠な次世代蓄電池の早期開発に寄与するものであり、日本の電池産業や自動車産業および化学産業の更なる発展だけでなく、環境戦略やエネルギー戦略に対しても大きく寄与すると考えられることから、NEDOが実施する意義は大きい。