

「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」

(中間評価)分科会

資料7-1

「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」

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 次世代電池・水素部
-----	--

—目 次—

第1章 事業の位置づけ・必要性について	
1.1 事業目的の妥当性	1
1.1-1 本事業のねらい	1
1.1-2 本事業の取組の概要	3
1.1-3 海外における革新型蓄電池の開発状況	6
1.1-4 市場動向	10
1.1-5 特許動向	12
1.1-6 革新型蓄電池の学会発表動向	15
1.1-7 上位施策・制度への関与	16
1.2 事業としての妥当性	18
1.2-1 NEDOの関与の必要性	18
1.2-2 実施の効果	20
第2章 研究開発マネジメントについて	
2.1 研究開発目標の妥当性	23
2.2 研究開発計画の妥当性	26
2.2-1 研究開発内容	26
2.2-2 研究開発スケジュール	27
2.2-3 研究開発予算	28
2.2-4 研究開発人員	30
2.3 研究開発の実施体制の妥当性	31
2.3-1 研究実施体制	31
2.3-2 研究実施体制の詳細 高度解析技術開発	32
2.3-3 研究実施体制の詳細 革新型蓄電池開発	33
2.3-4 実施体制の強化（追加公募）	34
2.4 研究開発の進捗管理の妥当性	35
2.4-1 NEDO・研究実施者による進捗管理	35
2.4-2 有識者会議の設置・運営	37
2.4-3 拡大月例会議の新設	38
2.5 知的財産に関する戦略の妥当性	38
第3章 研究開発成果について	
3.1 高度解析技術開発	39
3.1-1 研究開発成果のまとめ	39
3.1-2 研究開発成果	40
3.2 革新型蓄電池開発	47
3.2-1 研究開発成果のまとめ	47
3.2-2 研究開発成果の一例	48
3.3 成果の普及	54
3.3-1 特許出願および対外発表	54
3.3-2 対外情報発信	54

第4章 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	
4.1 実用化に向けた戦略	57
4.2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組	59
4.2-1 革新型蓄電池の成果の実用化・事業化に取り組む者の検討	59
4.2-2 高度解析技術の普及・定着に向けた検討の状況	59
4.3 成果の実用化の見通し	61
4.3-1 成果の実用化に向けた参画企業各社の見解	61
4.3-2 波及効果	62

概要

		最終更新日	2018年7月26日
プロジェクト名	革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発	プロジェクト番号	P16001
担当推進部/担当者	<p>スマートコミュニティ部</p> <p>桜井 孝史 (2016年4月1日～2018年3月30日)</p> <p>細井 敬 (2016年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>川本 浩二 (2016年4月1日～2016年10月31日)</p> <p>大園 一也 (2016年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>巖 桂二郎 (2016年4月1日～2017年3月31日)</p> <p>木内 幸浩 (2016年4月1日～2016年10月31日)</p> <p>前信 潔 (2016年4月1日～2016年12月31日)</p> <p>古田土 克倫 (2016年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>錦織 英孝 (2016年11月1日～2018年3月31日)</p> <p>竹川 寿弘 (2017年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>近野 義人 (2017年1月1日～2018年3月31日)</p> <p>安井 あい (2016年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>佐藤 恵太 (2016年4月1日～2018年3月31日)</p> <p>次世代電池・水素部</p> <p>細井 敬 (2018年4月1日～現在)</p> <p>錦織 英孝 (2018年4月1日～現在)</p> <p>竹川 寿弘 (2018年4月1日～現在)</p> <p>近野 義人 (2018年4月1日～現在)</p> <p>井ノ上 雅次郎 (2018年4月1日～現在)</p> <p>安井 あい (2018年4月1日～現在)</p> <p>佐藤 恵太 (2018年4月1日～現在)</p>		
0. 事業の概要	<p>本事業(RISING2)では、オリジナリティが高く、優位性のある電池を開発するために、RISINGの時と同様、世界ナンバーワン・オンリーワンの解析技術を開発する。特に、SPring8の放射光の分解能の向上に加えて、新しいOperando解析技術を開発し、それらとJ-PARCの中性子、NMR、計算科学等の技術を融合し、作動状態での電池の反応現象をより精密に把握し、セル設計に反映するなど、革新型蓄電池の課題解決のための世界最先端の解析プラットフォームを構築する。さらには開発する革新型蓄電池の実用化・製品化の道筋をつけるために、RISINGで目標としてきたエネルギー密度だけでなく、電極・電解質及びセル化技術の開発により、安全性・信頼性、コスト等の車載用蓄電池として必要とされる諸性能についても両立できる蓄電池を目指す。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>蓄電池は市場拡大が見込まれる成長産業であり、国内企業が国際競争力を有した製品を他国に先駆けて開発、事業拡大することで、雇用確保をはじめ国益に資する期待が大きい。</p> <p>現在、国内自動車メーカーや蓄電池メーカー等は、国家プロジェクトあるいは自社開発において先進リチウムイオン電池や革新型蓄電池の技術開発を鋭意進めているが、実用化に向けて解決すべき課題は多い。我が国のこれまでの「蓄電池の技術開発、市場開発」での競争優位を活かして次世代の革新的な蓄電池技術を創出し、グローバルで持続的な地球環境の維持、エネルギーセキュリティ・多様化への対応、および我が国の産業活性化に資することが期待される。車載用の革新型蓄電池の実用化が期待される2030年に向けて、エネルギー密度のみならず、耐久性や安全性等も実セルで技術確立する必要がある。しかしながら、自動車として想定すべき様々な運転状態で求められる性能・条件を満足させるレベルでの技術確立となると、開発リスクとハードルは極めて高く、民間企業単独の取組で実現することは困難である。</p> <p>そのため、本事業「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」プロジェクト(RISING2)においては、先端的な材料科学や高度な解析技術を得意とする大学・公的研究機関、車載用蓄電池の開発・製品化で豊富な実績を有する蓄電池メーカー、さらにはエンドユーザーとなる自動車メーカー等による緊密な産学官連携・協調(集中研方式)の体制を構築して、基礎科学に立脚した共通基盤技術を開発し、リチウムイオン電池(LIB)の性能を凌駕する高エネルギー密度500Wh/kgの革新型蓄電池を目指す。</p>		

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>研究開発項目① 高度解析技術開発</p> <p>【最終目標】(2020 年度末)</p> <p>革新型蓄電池の高性能化や高耐久化を実現する実セルおよび電極の設計・製造に活用可能な新規の解析技術を開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実セル作動条件下における電極活物質-電解質界面の反応解析技術 ・実セル作動条件下における電極活物質の反応解析技術 ・実セル作動条件下における電極合剤内の反応分布および劣化現象解析技術 <p>なお、上記の解析技術には、空間分解能で 10 μm、時間分解能で 10 ミリ秒、深さ分解能で 10 ナノメートルを超える技術が含まれるものとする。</p> <p>開発した解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の性能や耐久性等の支配因子とその影響度を提示する。</p> <p>【中間目標】(2018 年度末)</p> <p>開発中の解析技術を組み込んだ計測分析装置・設備の設置を完了する。</p> <p>また、開発中の解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の解析評価に着手していること。</p> <p>研究開発項目② 革新型蓄電池開発</p> <p>【最終目標】(2020 年度末)</p> <p>開発した共通基盤技術を基に試作した実セル（容量 5Ah 級）について、下記を満足することを確認する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量エネルギー密度：500Wh/kg 以上 ・体積エネルギー密度：1,000Wh/L 以上 ・重量出力密度：100W/kg 以上 ・サイクル寿命：100 回以上 ・環境性：カドミウム、水銀、六価クロム等の環境負荷物質をセル構成材料として大量に使用していないこと。 ・車両環境への対応：-30~60℃の動作環境温度において変質しないこと。 ・経済性：貴金属等、高コスト元素を大量に使用しないこと。 ・安全性：内部短絡、圧潰・過充電時の異常発熱、発火、熱暴走等に対する安全策を講じることが技術的に可能なこと。 ・充電性：普通充電（6 時間）が可能なこと。急速充電が可能なこと。 <p>【中間目標】(2018 年度末)</p> <p>開発した共通基盤技術を基に試作した実セルで重量エネルギー密度 300Wh/kg 以上が得られていることを確認する。</p> <p>また、当該蓄電池の性能・耐久性等の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を満足させるための技術開発の方向性を提示すること。</p>						
	事業の計画内容	主な実施事項	H28	H29	H30	H31	H32
	高度解析技術開発					→	
	革新型蓄電池開発					→	
事業費推移 (単位：百万円) 契約種類： 委託(○) 助成() 共同研究()	会計・勘定	H28	H29	H30	H31	H32	総額
	一般会計						
	特別会計(電源)						
	特別会計(需給)	2,880	2,900	3,100			(8,880)
	加速予算 (成果普及費を含む)	700	376				
	総予算額	3,580	3,276	3,100			(9,956)

実施体制	経産省担当原課	経済産業省 製造産業局 自動車課 電池・次世代技術室
	プロジェクトリーダー (PL)、 サブプロジェクトリーダー (SPL)、	PL 松原英一郎 (国) 京都大学 産官学連携本部 副本部長 SPL 小林弘典 国立研究開発法人産業技術総合研究所 総括研究主幹
	委託先 (* 委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	(国) 京都大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、(国) 茨城大学 (国) 神奈川大学、(学) 関西大学、(国) 九州大学、(国) 神戸大学、(国) 東京工業大学、(国) 東京大学、(国) 東京農工大学、(国) 東北大学、(国) 名古屋工業大学、(公) 兵庫県立大学、(国) 北海道大学、(国) 三重大学、(学) 立命館、(学) 早稲田大学、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、(財) ファインセラミックスセンター、国立研究開発法人理化学研究所、トヨタ自動車(株)、(株) 豊田中央研究所、日産自動車(株)、パナソニック(株)、日立化成(株)、(株) 日立製作所、(株) 本田技術研究所、マクセル(株)、三菱自動車工業(株)、(株) 村田製作所

<p>研究開発の 進捗管理</p>	<p><u>NEDOによる進捗管理</u></p> <p>各実施者の目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果、産業界への技術移転なども考慮しながらプロジェクト進捗を管理。主な特徴は以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 京大拠点に常駐者を派遣。研究現場との密接なコミュニケーションを強化。 ➤ マネジメント層による進捗会議を毎月開催し、マネジメント案件を迅速にプロジェクト運営に反映。 ➤ 技術グループ毎に担当者を配置し、月度で開催される研究進捗報告会へ参加。最新の技術情報をプロジェクト運営に反映。 ➤ 個別実施者から毎月予算執行状況についてヒアリングを実施。研究遅延の発生を事前に察知し、プロジェクト運営にただちに反映を行う。 <p>また、加速予算の投入により、設備の前倒し導入を図るとともに研究加速を実施した。加えて、技術動向の調査を行い、最新の動向をプロジェクト運営に反映した。</p> <p><u>実施者による進捗管理</u></p> <p>年1回のペースで開催する会議として「運営会議」を設置している。ここでは各企業の役員レベルの方々に御参加頂き、大所高所からの御意見を頂戴している。それを、本事業の進め方の中において、特に大方針へ反映させている。</p> <p>ほぼ四半期毎に開催する会議として「企画会議」「推進会議」を設置している。前者においては、参画企業の方々に御参加頂き、プロジェクトマネジメントについて議論を進めている。ここで頂戴した意見は、特に本事業における中方針へと反映される。後者においては、参画企業のみならずサテライトの研究者にも御参加頂き、技術情報の共有ならびに技術議論をおこなっている。</p> <p>次に、毎月開催する会議として「GL会議」「月例会議」を設置している。前者では、PL、SPL、GL、NEDO 京都分室メンバーによりプロジェクトマネジメントについて議論を進めている。ここでは特に、日々の事業運営に係る詳細な課題の解決を図っている。後者は、高度解析、各革新電池、共通基盤技術のチーム単位にて、情報共有および技術議論を目的に進めている。</p> <p>最後に不定期開催ではあるが、「金曜会」を設置している。ここでは、本事業内で共有すべき情報（例えば学会聴講結果など）について伝達が図られている。</p> <p>本プロジェクトでは、電池技術に関する有識者10名で構成される「有識者会議」を設置・運営し、技術的な助言およびプロジェクト全体の運営管理等に関する助言を頂き、プロジェクト運営・推進に関する留意点や対応すべき点について検証を行ってきた。これまで2回有識者会議を開催し、様々な評価コメントを頂いた。各コメントに対して対処方針を検討し、計画や運営などに反映を実施した。</p>						
<p>知的財産等に関する戦略</p>	<p>基本方針を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ オープン／クローズ の考えに基づく情報管理と運営 ➤ 柔軟な出願形態 ➤ 戦略的な特許出願 <p>第1の方針について説明する。まず留意している点は、オープン（論文・学会等による発表）にする領域と、クローズ（秘匿すべき情報、特許権等による独占）にする領域を適切に使い分けることである。そして、実施者個別のオープン／クローズ戦略を尊重しつつ、実用化・事業化に際して根幹となるものは積極的に知財を確保するよう指導している。</p> <p>第2の方針については、研究拠点、サテライト、参画企業について個別出願または共同出願を適宜、柔軟に選択することが可能となるようにしている。</p> <p>第3の方針については、各実施者の特許出願・権利化動向を把握しつつ、今後主要な市場形成が見込まれる海外への出願を積極的に推進している。</p> <p>実施者による知財管理については、下記に示す通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 知財運営委員会の設置 ➤ RISING2 知財運用規定の整備 ➤ 特許に適さない情報を「ノウハウ」として運用・管理する制度の設置 ➤ 特許技術動向調査 						
<p>評価に関する事項</p>	<table border="1"> <tr> <td>事前評価</td> <td>平成27年度実施 担当部 スマートコミュニティ部</td> </tr> <tr> <td>中間評価</td> <td>平成30年度 中間評価実施予定</td> </tr> <tr> <td>事後評価</td> <td>平成33年度 事後評価実施予定</td> </tr> </table>	事前評価	平成27年度実施 担当部 スマートコミュニティ部	中間評価	平成30年度 中間評価実施予定	事後評価	平成33年度 事後評価実施予定
事前評価	平成27年度実施 担当部 スマートコミュニティ部						
中間評価	平成30年度 中間評価実施予定						
事後評価	平成33年度 事後評価実施予定						

3. 研究開発成果 について	3. 1 高度解析技術開発	
	<u>放射光高度解析技術開発</u>	
	イメージング HAXPES 装置の導入、共焦点 XRD 装置の導入。X 線 CT による水系空気電池の亜鉛負極断面観察手法を確立。	
	<u>軟 X 線高度解析技術開発</u>	
	超軟 X 線 XAFS 測定系の導入。硫化物電池およびハロゲン化物電池について新規負極材料などの軟 X 線 XAFS 測定を実施し、軟 X 線 XAFS 革新型蓄電池材料評価技術を確立。	
	<u>中性子高度解析技術開発</u>	
	透過ビームモニタ、7 軸ゴニオメータなどの導入。中性子結晶構造解析から直接 MEM 解析する手法を開発。このデータからハロゲン化物電池の固体電解質中のフッ素イオン伝導経路を予測する解析法を確立。	
	<u>核磁気共鳴高度解析技術開発</u>	
	7T 磁場用の新たな固体 NMR 測定システムの導入。 ¹⁹ F NMR 測定によるハロゲン化物電池の電極材料/固体電解質の構造解析を実施。	
	<u>電子顕微鏡測定技術</u>	
世界最高の分解能を有する新規収差補正装置の導入。水系空気電池の亜鉛極での反応モデルの観察法を検討。		
<u>電気化学測定技術開発</u>		
放射光 operando 測定時に並行して測定可能である矩形波インピーダンス測定システムの導入。コンバージョン電池の FeF ₃ 正極でインピーダンス測定を行い、低周波数領域に拡散に起因する特徴的なインピーダンス挙動を確認。		
<u>ラマン分光高度解析技術開発</u>		
可動式電場素子実装セルの導入。水系空気電池の亜鉛負極表面における水酸化物イオンのその場ラマン分光測定技術を確立。		
<u>計算科学解析技術開発</u>		
第一原理計算(電極+反応部分)と古典溶液論(反応周辺の溶質部分)とのハイブリッド計算法の確立。コンバージョン電池の正極である FeF ₃ について、Li 挿入・脱離状態での X 線吸収端近傍微細構造(XANES)を、第一原理計算を用いて解明。		
3. 2 革新型蓄電池		
<u>ハロゲン化物電池</u>		
銅正極を初めとする材料を用いて、圧粉型電極を作製。世界トップレベルとなる性能を実証。ただし、コイン電池において 100 Wh/kg とエネルギー密度目標は未達。金属と金属フッ化物を複合化する、金属フッ化物から欠陥を作るなどにより、フッ化物イオン伝導性がほとんどない活物質でも使用可能であることを示してきた。この成果は、今後の新しい電池開発につながる大きな発見である。		
<u>亜鉛空気電池</u>		
単位面積当たり容量の高い厚膜亜鉛極及び新規な触媒を用いた長寿命炭素系空気極を開発。結果として、8Ah セルにおいて 311Wh/kg を達成。亜鉛極、空気極及びセルに関して、電極構成材料(触媒種、炭素、結着剤)、電極組成、電極構造が性能、耐久性に与える影響を詳細に検討。特に亜鉛極については、高度解析を活用して断面 X 線 CT 観察法を確立。亜鉛偏析が劣化要因であることを解明。		
<u>コンバージョン電池</u>		
FeF ₃ 活物質へのガラス混合により正極特性が大きく向上。結果として、6 Ah 級セルにおいて 319 Wh/kg を達成。FeF ₃ へのガラス混合による非晶質化が耐久性向上に寄与することを確認した。また、充放電サイクルを重ねるごとに、FeF ₃ 表面が Fe を含まない皮膜に覆われることが劣化要因であることを解明。		
<u>硫化物電池</u>		
VS ₄ 活物質の非晶質化により正極特性が大きく向上。結果として、8 Ah 級セルにおいて 314 Wh/kg を達成。VS ₄ 活物質の非晶質化が耐久性に寄与することを確認した。VS ₄ 活物質の非晶質化が耐久性に寄与することを確認した。また、活物質表面を TiO ₂ 皮膜で保護することにより硫酸溶出を抑え耐久性が向上することも分かっている。		
投稿論文	35 件	
特許	「出願」35 件(うち国際出願 7 件)	
その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表」269 件 「プレス発表」5 件	

<p>4. 実用化・事業化の見通し及び取組について</p>	<p>基本方針は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 革新型蓄電池に関しては、<u>プロジェクト期間中より、参画企業と開発内容・状況等の情報をタイムリーに共有し、性能ポテンシャル、実用化課題、改良の方向性等について議論し、開発内容にフィードバックする。また、性能評価結果の取得だけでなく、何故、そのような結果が得られるのかの現象・メカニズムの裏付けデータを取得する。</u> ➤ 解析技術に関しては、<u>プロジェクト期間中より、なるべく多くの企業の研究者・エンジニア（出向研究員以外）を開発技術にアクセスさせるとともに、専門家（アカデミア）が解析データの解釈方法を丁寧に指導し、「この技術で取得されたデータであれば信頼でき、革新型蓄電池の実用化開発に活用できる。」という認識を浸透させる。また、技術面以外にも、装置の操作性、マニュアル類の分かり易さ、秘密漏洩・技術流出防止等に対しても配慮する。</u> <p>4. 1 実用化に向けた戦略</p> <p>実用的なEVが市販されると考えられる2030年頃に、本事業で開発された基盤技術が利活用されるためには、本事業終了後も本事業で得られた成果を活用した研究開発を継続することが重要となる。まず、第1のシナリオにおいては、実用化に向け積み残された課題が無い、あるいは少ない蓄電池タイプについては、企業中心の開発体制（自動車-蓄電池-材料メーカーによる垂直連携体制）を構築し、量産プロトタイプセル（大型セル）の開発ステージに移行していく。第2のシナリオ（シナリオ2）においては、期待どおりの性能ポテンシャルが引き出せていない蓄電池タイプについては、引き続き、産学連携の開発体制で、材料改良と実証セルの開発ステージを継続する。</p> <p>4. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組</p> <p>事業終了後の事業については、2020年度初頭には予算要求を実施することが必要となる。つまり、この点から逆算してマイルストーンを設定しなければならない。まずは2019年度において、NEDO技術戦略策定および検討委員会をおこなう。ここでは、前項で示すシナリオについて改めて議論・策定するとともに、それまでに得られた技術成果を踏まえ、各テーマをどのシナリオへ落とし込んでいくのかも議論・決定する予定である。上記に対応して、2018年度後半には各参画企業との密な意見交換を開始する。</p> <p>本事業終了後においても、本事業で培った高度解析技術の活用が継続していくためには、本事業期間において高度解析技術自体のレベルを上げるとともに、普及・定着を図る必要がある。前者に対しては、本事業で開発中の解析プラットフォーム（技術・装置）は世界最高・最先端のレベルにあり、革新型蓄電池の実用化を手戻り無く進めるための強力なツールとして、企業及びその企業と連携するアカデミアによる活用が期待できる。後者に対しては、今後の進め方となるが、事業終了後における解析プラットフォームの運用体制、運営（コスト負担を含む）・情報管理のルールについて本事業の関係者で議論を深め、コンセンサスを得ることを目指す。</p> <p>4. 3 成果の実用化の見通し</p> <p>4. 3-1 成果の実用化に向けた参画企業各社の見解</p> <p>NEDOは2017年度の前半にプロジェクト参画企業10社を個別に訪問し、革新型蓄電池の実用化開発への移行、または、その際の本プロジェクトの成果の移管方法等について意見交換を行った。その結果を以下に示す。</p> <p>総論</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ プロジェクト終了時点でセル化技術が完全に確立していなくても、競争に勝てるポテンシャルを持った蓄電池であれば、実用化開発をスタートさせることは可能である。 ➤ ただし、性能・耐久性の支配因子や課題解決の方向性・アプローチが明らかとなっている必要がある。
-------------------------------	---

	<p>各社個別の御意見</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 実用化開発のステージでは、性能発現・劣化等の現象・メカニズムについて確度が高い情報が必要となる。その意味で革新型蓄電池開発と高度解析技術開発の更なる連携が重要である。 ➤ 電池特性評価ではパラメトリックスタディーを心掛けて欲しい。 ➤ セル全体の成果を取り込んだ実用化ではなくて、例えば電極の成果に特化して実用化に取り組むケースも考えられる。 ➤ 実用化に向けては製造プロセス技術の検討が必要になるが、それに係る成果は本プロジェクトに求めるつもりはない。 ➤ 革新型蓄電池の実用化に向けては、材料メーカーなど国内にプレイヤーを増やすことも必要なのではないか。 ➤ 実用化開発のステージに進む際の判断基準は、①その蓄電池によってどの程度競争力が向上するのか？、②現行の製造ラインに乗るのか？、③乗らない場合に必要な投資は何か？の3点である。 <p>4. 3-2 波及効果</p> <p>まずは、オープンイノベーションについて記載する。集中拠点においては、自動車・蓄電池メーカーの出向・出張研究員が競合・売買関係等の垣根を取り払い、協働で研究開発に取り組んでいる。ニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られており、これまで垂直連携を基本として展開されてきた我が国の蓄電池の研究開発において、オープンイノベーションを推進している。集中拠点がハブとなって国内の大学・研究機関を研究ネットワークに取り込み、産業界のニーズを共有しながら課題解決型の研究開発を進めている。各研究チーム・グループの内外で、大学・研究機関相互及び異なる専門分野の研究者相互の連携・協力を実現している。</p> <p>次に人材育成について記載する。本事業では、「科学者（アカデミア）とエンジニア（産業界）の交流」および「蓄電池研究者と解析技術者の交流」を実現している。その結果として、以下の効果が生まれる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 科学者は研究と社会（産業）との繋がり・結び付き、企業のコスト意識や時間感覚等を体感。一方、エンジニアは大学・研究機関が保有するサイエンスに立脚した研究を体感。 ➤ 産学両方のフィールドで、「蓄電池を理解した解析技術者」及び「解析技術を理解した蓄電池研究者」が育成されている。 <p>最後に低炭素化について記載する。地球温暖化防止には、輸送部門の低炭素化と電源の低炭素化をセットで対策する必要がある。つまり、蓄電池はモビリティの電動化と再生可能エネルギーの主力電源化に向けたキーテクノロジーであり、本プロジェクトで創出される革新型蓄電池は、低炭素なエネルギーネットワークの構築に貢献する。本プロジェクト参画企業は車載用蓄電池以外の分野でもビジネスを展開しており、本プロジェクトの成果は様々な分野の世界市場に展開することができる。</p>				
5. 基本計画に関する事項	<table border="1"> <tr> <td>作成時期</td> <td>平成 28 年 1 月 作成</td> </tr> <tr> <td>変更履歴</td> <td>平成 30 年 5 月 改訂 プロジェクトマネージャーの変更に伴う改訂</td> </tr> </table>	作成時期	平成 28 年 1 月 作成	変更履歴	平成 30 年 5 月 改訂 プロジェクトマネージャーの変更に伴う改訂
作成時期	平成 28 年 1 月 作成				
変更履歴	平成 30 年 5 月 改訂 プロジェクトマネージャーの変更に伴う改訂				

プロジェクト用語集

用語	説明
HAXPES	hard X-ray photoemission spectroscopy の略。物質に光を当てたときに表面から放出される光電子の状態によって表面の化学状態を解析する手法の一つ。照射する光のエネルギーが高いため、元素の奥（内核）に存在する電子の状態解析が可能となる。
MEM	maximum entropy method の略。最大エントロピー法。
NMR	nuclear magnetic resonance の略。磁場中の原子核に発生する核スピンの特定のラジオ波を与えると共鳴現象が発生する。その現象を利用して物質の化学構造を解析する手法。
Operando 測定	電池作動上において測定すること。
RMC	reverse monte. carlo の略。従来のモンテカルロ法（MC）より少ない実験データをもとに計算が可能であり、乱れた構造の推定に適した手法。
XAFS	X線を物質に照射すると、特定の波長でX線が物質に吸収される。急激な吸収挙動を示す吸収端の微細構造における波長と吸収されたエネルギーから物質の構造を解析する手法。
XANES	上記 XAFS は吸収エネルギー領域により分類されるが、低い領域では XANES、高い領域では EXAFS となる。
XRD	X-ray diffraction の略。X線が結晶格子で回折する特徴を生かし、回折パターンから結晶構造を特定する解析方法。
¹⁹ F	NMR では通常観測対象となる原子を特定するため質量数を左肩に添えた表記を慣用的に用いている。フッ素 NMR においては、 ¹⁹ F NMR という表現を用いる。ただし、天然に存在するフッ素の 100%は ¹⁹ F であり、特殊なフッ素を表す表現ではない。
7T	T はテスラであり、磁場強度の単位。
暗視野	物質に電子線を照射し、回折波から結像したものを暗視野像、透過波から結像したものを明視野像という。
インピーダンス測定	電池に交流電流（または電圧）を印加すると交流の周波数によって異なる電圧を示す。この挙動は観測条件や環境に応じても変化することから、この現象を利用して電池内部の挙動を解析する手法。
加速電圧	物質に電子線を照射する際の、照射強度の指標。
活物質	電池において、電池動作に不可欠なイオンを貯蔵するための材料。
過電圧	放電反応が進むにつれて、基本的な反応機構が変化しないにも関わらず放電電圧が低下する場合がある。または充電反応が進むにつれて、上記機構変化をとまわずに充電電圧が増加する場合がある。この増減した電圧のこと。
固体電解質	固体状態の電解質。なお、電池作動においては、電池内をイオンが移動することが必要だが、電解質とはそのイオン（例 リチウムイオン）の通り道として機能する媒体のこと。

ゴニオメータ	結晶の面角を測定するための測定器。
実セル	ケース、集電箔、電解質、正極、セパレータ、負極により構成される構造。それ単体で電池として機能する。なお、セパレータとは正極と負極を短絡させないための膜状の材料である。
全固体電池	電池に用いられる電解質が固体状態である電池。
第1原理計算	量子力学により物質を構成する原子量等のパラメータから物性・特性値を、経験則に拠らずに直接計算する手法。
矩形波	従来の波とは異なり、例えば、0と1のような2種類の強度が規則的に繰り返す波。
軟X線	エネルギーの弱いX線。
プラトー	例えば放電反応が進んでも、放電電圧が殆ど変化しない領域が存在する場合がある。充電反応においても同領域が存在する場合がある。これがプラトー（領域）となる。
放射光	高エネルギーの電子が磁場中でフレミングの法則により円弧を描く際に円弧の接線方向に発生する光。この光は幅広い波長領域を含むため、材料化学、物理学を初め様々な分野で利用されている。
メカノケミカル処理	物質を粉砕する際に摩擦、圧縮の力が発生する。それを利用した化学合成法のこと。
ラジオ波	電磁波のひとつで、周波数が数10Hz～1GHzである電磁波を総称して「ラジオ波」と呼称する。
ラマン分光	光が物質と衝突すると、その一部は散乱される。その散乱光の一部は物質（分子）構造により決定される固有振動数を有する場合がある。この現象を利用した物質（分子）構造を解析する手法。
リートベルト解析	XRD、中性子回折にて得たデータに対して、結晶構造やピークプロファイルなどのパラメータ群から再現されるパターンで最小二乗法によりフィッティングすることで物質構造データを精密化する手法。

第1章 事業の位置づけ・必要性について

1. 1 事業目的の妥当性

1. 1-1 本事業のねらい

今後、主要各国で自動車のCO₂排出・燃費規制が強化される見込みであり、モビリティの電動化が世界中で急進展することが予想される。米国と中国では一定比率以上の電気自動車(EV)・プラグインハイブリッド自動車(PHEV)の販売を自動車メーカーに義務付ける政策の強化が、また英国、フランス、インドなどでは将来的なガソリン車の販売禁止の政策が検討されている。そのため、多くの自動車メーカーが今後、数百万台/年規模でのEV・PHEV販売を目標に掲げ、それを社会にアピールしている。また、中国は「自動車強国化」を狙い、EV・PHEVの普及を図る補助金政策を進めており、今や世界の約半分のEV・PHEVが中国で生産・販売されている。我が国も経済産業省の「自動車産業戦略2014」において「EV・PHEVの新車販売に占める割合を2030年までに2割から3割とする。」という目標掲げ、EV・PHEVの車両価格及び利便性(航続距離)の支配要因となっている車載用蓄電池のコスト低減と性能向上を図るため、産学が連携・協調して研究開発を進める重点分野の一つとして車載用蓄電池を選定している。

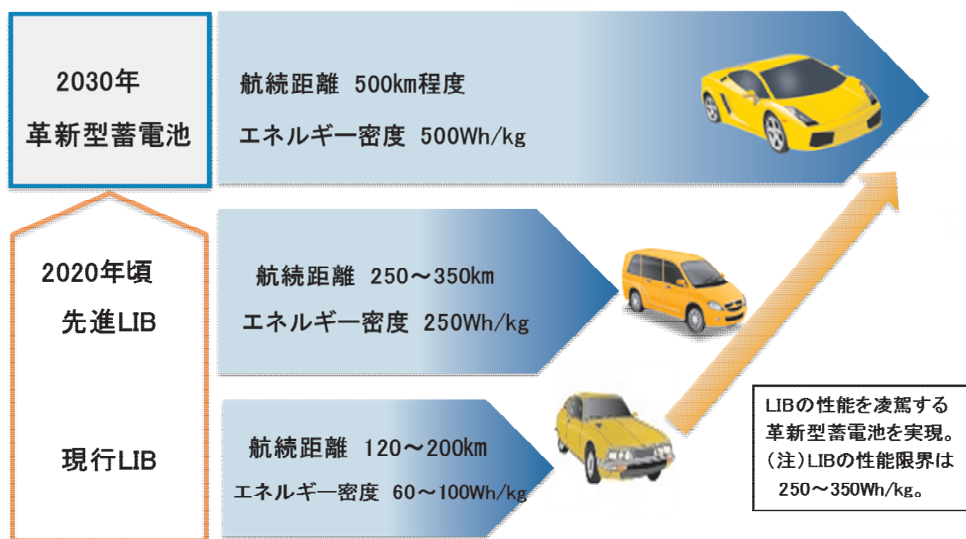
現在のEV・PHEVに搭載されている蓄電池はリチウムイオン電池(LIB)である。電極活物質の理論容量密度と標準電極電位に基づき算出されるLIBの理論エネルギー密度は450~600Wh/kgであるが、自動車の主動力源として求められる安全性や耐久性等をクリアしようとする、セルで350Wh/kg程度、電池パッケージで250Wh/kg程度がエネルギー密度の限界と見られている。

EVでガソリン車並みの車両価格や利便性を実現しようとする、電池パッケージのエネルギー密度は500Wh/kg以上が必要である。しかしながら、LIBのようにインサージョン反応(トポケミカル反応)を利用する蓄電池では、イオンが出入りする遷移金属酸化物や炭素等のホスト材料が正極・負極に必要となるため、エネルギー密度500Wh/kgの実現は困難である。そのため、LIBとは電荷キャリア、材料及び構造等が全く異なった新原理の革新型蓄電池(ポストLIB)を開発する必要がある。

世界各国において革新型蓄電池の研究開発が展開されているが、実用化に向けて解決すべき課題は多く、またそのハードルも高いため、それらの何れもが現時点では基礎研究の領域を出ていない。エネルギー密度でLIBと同等の実験データが示された報告例もあるが、耐久性はまだ実用レベルにはほど遠い状況にある。

一見すると実用化が期待される2030年にはまだ長い期間があるが、実際の製品化までのリードタイムを考慮すると、2020年代前半にはセルの基本仕様を固め、企業による開発フェーズに移行する必要がある。そのためには、2020年までにはエネルギー密度のみならず、耐久性や安全性等も実際の単電池(実セル)で技術確立する必要がある。しかしながら、自動車として想定すべき様々な運転状態で求められる性能・条件を満足させるレベルでの技術確立となると、その開発リスクとハードルは極めて高く、民間企業単独の取り組みで実現することは困難である。

そのため、本事業「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発」(RISING2)において、先端的な材料科学や高度な解析技術を得意とする大学・公的研究機関、車載用蓄電池の開発・製品化で豊富な実績を有する蓄電池メーカー、さらにはエンドユーザーとなる自動車メーカー等による緊密な産学官連携の体制を構築して、産業界による革新型蓄電池の実用化を促進するための科学技術の知見に立脚した共通基盤技術の開発に取り組んでいる。



リチウムイオン電池から革新型蓄電池への飛躍

図 1.1-1-1 本プロジェクトの狙い

1. 1-2 本事業の取組の概要

(1) 革新型蓄電池開発

本事業においては、図 1.1-2-1 に示すように、ナノ界面制御電池(ハロゲン化物)、亜鉛空気電池、ナノ界面制御電池(コンバージョン)、金属硫化物電池の4つの蓄電池タイプを対象として共通基盤技術の研究開発を実施している。なお、これら4つの電池系は、2009~2015年度に実施したNEDO事業「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」(RISING)において基礎・基盤的な知見が得られているものである。

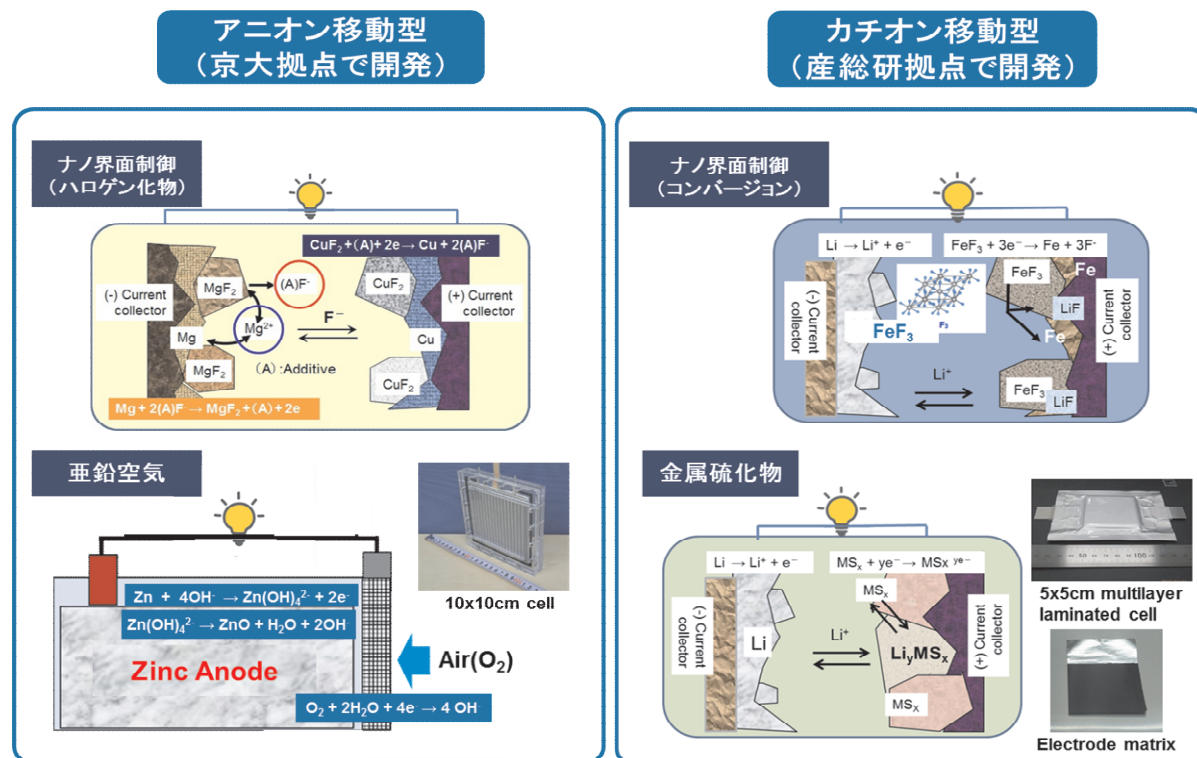


図 1.1-2-1 研究開発対象の蓄電池タイプ

ナノ界面制御電池(ハロゲン化物)は金属ハロゲン化物を活性物質とし、1価のアニオンの移動で反応が進行する蓄電池であり、多価イオンの移動が不要である。密閉系電池として最高の理論体積エネルギー密度を有し、異常時にも酸素を放出しないため、高い安全性が得られる。新規の概念であり、海外も含めて研究成果の報告例や障害となる特許が無いため、オープン・クローズの知財戦略や標準化と特許の組合せにより、ビジネス段階での優位性を構築するには最適と考えられる。

亜鉛空気電池は水酸化イオン(OH⁻)の移動で反応が進行する蓄電池であり、酸素を正極活性物質として利用するため、重量を小さく抑えることができ、高いエネルギー密度が得られる。水系の電解液を使用するため、燃焼の危険性がない。亜鉛は安価な金属であり、資源制約も無い。研究の歴史が古く、研究成果の報告例が多いものの、高エネルギー密度電池としての取組みは少ない。特許件数も多いが、期限切れが多く、ビジネス段階で障害となる特許は無い。

ナノ界面制御電池(コンバージョン)はFeF₃、FeOF、FeS₂等を正極活性物質に用い、1電子反応分のLiがインサージョン(放電)した組成から、更に2電子又は3電子反応分、Liとのコンバージョン反応による放電が可能なものである。トータルで3電子又は4電子反応となるため、高容

量が期待でき、密閉系電池としてはリチウム硫黄電池に次いで高い理論エネルギー密度が得られる。また、異常時にも酸素を放出しないため、高い安全性が得られる。

金属硫化物電池はLi イオンの移動で反応が進行する蓄電池であり、資源量が豊富で高い理論容量を有する硫黄を正極とするため高いエネルギー密度が得られる。資源量の豊富な硫黄を利用することで低コスト化も期待できる。リチウム硫黄電池の研究開発の歴史は古いが、硫黄の溶出が課題となって実用化に至っていない。前記した RISING プロジェクトにおいて硫黄の溶出を抑制し、同時にエネルギー密度・出力等のバランスを取れる金属多硫化物の正極材料を開発済みであり、基本特許を出願済みである。

これら4つの蓄電池タイプについて電極活物質の理論容量密度と標準電極電位をプロットしたものを図 1.1-2-2 に示すが（金属硫化物電池は、実測ベースの容量密度・作動電圧をプロット）、各プロット点は点線で示した理論エネルギー密度 1,000Wh/kg のラインを超えており、本事業で開発対象としている蓄電池タイプは、EV 用電池パックとして 500Wh/kg の実現が期待できるポテンシャルを有していると言える。

なお、同図には参考として、科学技術振興機構（JST）事業「戦略的創造研究推進事業／先端的低炭素化技術開発」（ALCA）の「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」（SPRING）及び文部科学省事業「元素戦略プロジェクト＜研究拠点型＞」で研究開発されている蓄電池タイプについても併記した。

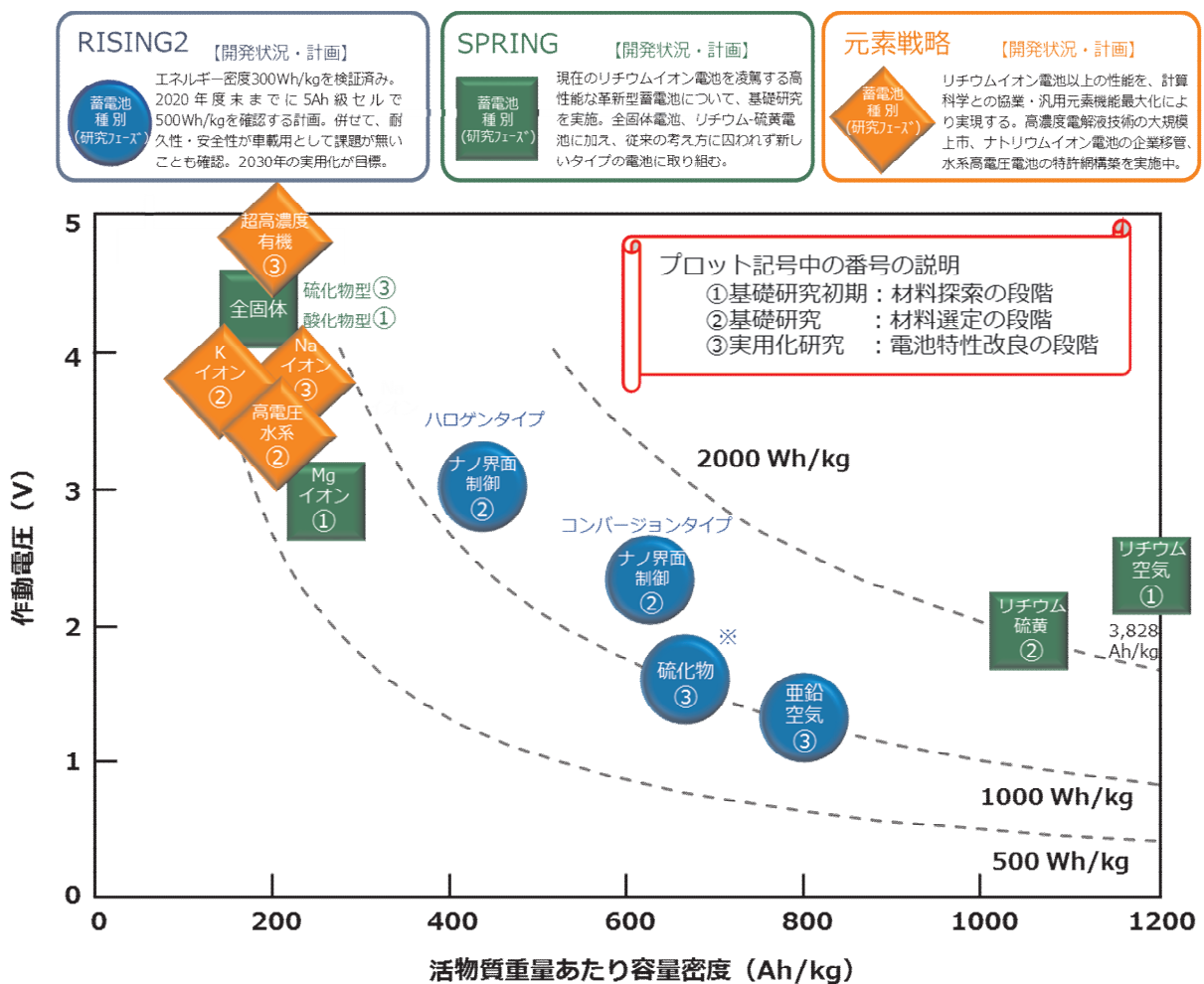


図 1.1-2-2 我が国の蓄電池開発プロジェクト

(2) 高度解析技術開発

蓄電池の反応には、ナノオーダーの局所構造からミリオーダーの反応分布まで様々な空間・時間分布を持つ階層構造が存在する。これら反応の階層構造において、電池の性能（容量・出力）、耐久性、安全性等に及ぼす影響因子とその動的な挙動を最新の基礎科学を駆使して定量的に解明することが、技術的な課題が多く、且つそのハードルも高い革新型蓄電池を過酷な条件で使用される車載用蓄電池として開発する上で必須と考えられる。

RISINGプロジェクトにおいては、理化学研究所の大型放射光施設「SPring-8」に「RISING放射光ビームライン」を、高エネルギー加速器研究機構の大強度陽子加速器施設「J-PARC」に「RISING中性子ビームライン」をそれぞれ建設した。これら2つの異なる特長を持つ世界で唯一の電池専用ビームラインをフル活用し、実作動条件下における電池内部の動的挙動をリアルタイムで観察することが可能となった。その結果、亜鉛空気電池のデンドライト成長を抑制する技術、多電子移動型金属化合物電極の酸化還元反応を円滑化する電解液等、新規のアイデアを導き出すなどの実績を挙げた。また、核磁気共鳴、ラマン分光法、原子間力顕微鏡、電子線ホログラフィー、交流インピーダンス、計算科学等を用いた先端的な解析技術を開発した。

本事業においては、図1.1-2-3に示すように、2030年の革新型蓄電池の実用化には手戻りのない開発によって技術革新のスピードを加速する必要があるとの認識の下、上記したRISINGプロジェクトの解析技術を更に発展させるとともに、各種解析技術を統合した世界最高・最先端の解析プラットフォームの構築に取り組むこととしている。

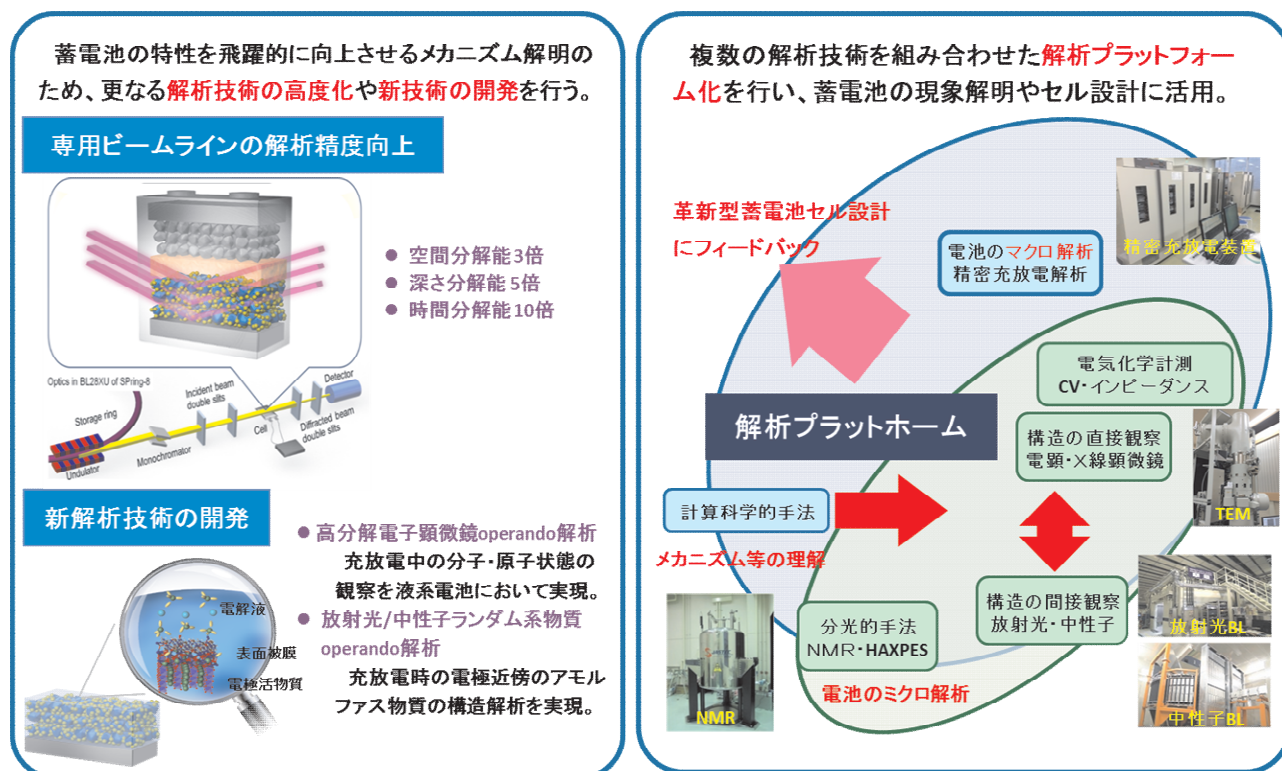


図 1.1-2-3 高度解析技術開発の概要

1. 1-3 海外における革新型蓄電池の開発状況

(1) 米 国

米国においては、エネルギー省 (DOE) の自動車技術局 (VTO)、エネルギー先端研究計画局 (ARPA-E)、科学局 (Office of Science) が蓄電池の研究開発プロジェクトを推進している。

(i) VTO

2016～2021 年の 5 ケ年計画のコンソーシアム型プロジェクト「Battery500」を立ち上げている。開発予算総額は 5,000 万ドル (5 年間) とされている。コンソーシアムのメンバー構成は、Pacific Northwest 国立研究所 (リーダー)、Brookhaven 国立研究所、Idaho 国立研究所、SLAC 国立加速器研究所、Stanford 大、Binghamton 大、California San Diego 大、Texas 大 (Austin)、Washington 大の 9 機関であり、IBM、Tesla、USABC がアドバイザーとして参加している。開発目標はエネルギー密度が 500Wh/kg、サイクル寿命が 1,000 サイクルとなっており、 dendroid フリーのリチウム金属負極を適用したリチウム硫黄電池と先進 LIB (高ニッケル NMC 正極) を開発している。

また、VTO のプログラム「Advanced Battery Materials Research」(BMR) においては、先進 LIB 及び革新型蓄電池に関する新規で有望な材料の探索や作動・劣化メカニズムの解明等の基礎研究に取り組んでいる。金属リチウム負極と固体電解質との組合せ、高電位・高容量正極材料、硫黄系材料、金属空気電池用の電解液等の 10 分野に対して、49 のプロジェクトが実施されている。例えば、Michigan 大学、Maryland 大学及び Oak Ridge 国立研究所が固体電解質 (Li-La-Zr-O 系) を、Pittsburgh 大学、Texas 大学及び Berkley 国立研究所がリチウム硫黄電池の硫黄系材料を、Stanford 大学がリチウム金属負極を研究している。

(ii) ARPA-E

2010～2016 年に実施されたプロジェクト「BEEST」においては、480km 以上の走行を可能とする車載用蓄電池の開発を目的として革新型蓄電池の研究開発が行われた。2010～2014 年の 4 年間の予算総額は約 3,500 万ドルである (2015～2016 年の予算は不明)。開発目標としては、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 が設定された。Missouri 大学と PolyPlus Battery がリチウム空気電池、Sion Power がリチウム硫黄電池、Pellion Technologies がマグネシウムイオン電池、Revolt Technology が亜鉛空気電池、Stanford 大学が全量子型電池に取り組んだ。

2013～2017 年に実施されたプロジェクト「RANGE」においては、車載用蓄電池及び電池システムのロバスト性を向上させることによって、電池システム全体のオーバーヘッドを軽減し、電池コンパクト化 (230Wh/L) や低コスト化 (100～125 ドル/kWh) 等の達成を目指した。開発予算総額は 3,800 万ドル (5 年間) とされている。本プロジェクトには 12 の企業、国立研究所、大学等が参画したが、そのうち、企業 2 社 (Solid Power、Bettergy)、Oak Ridge 国立研究所、Maryland 大学が全固体電池の開発に取り組んだ。また、水系 LIB、亜鉛空気電池、リチウム硫黄電池等の研究開発が行われた。

2016 年開始のプロジェクト「IONICS」では、車載用蓄電池、定置用蓄電池及び燃料電池への適用を想定し、イオン伝導性材料を用いた新規な電気化学デバイスの研究開発が行われている。予算総額は 3,700 万ドル (5 年間) で計画されている。2016 年は大学・国立研究所・企業等による 16 テーマが採択されているが、内訳は蓄電池関係が 12 テーマ、燃料電池関連が 4 テーマとなっている。車載用蓄電池に関しては、コスト目標として、セルで 100 ドル/kWh 以下、

電池パックで 175 ドル/kWh 以下が掲げられており、以下に示すような研究開発が行われている。

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

(iii) Office of Science

プログラム「Basic Energy Science」(BES)において、2012年11月、次世代蓄電池(車載用/定置用)の研究拠点として「Joint Center for Energy Storage Research」(JCESR)を Argonne 国立研究所に設立した。開発予算総額は1億2,500万ドル(5年間)とされている。開発目標は5年以内にエネルギー密度5倍、コスト1/5のポストLIBを開発することであり、Argonne 国立研究所をリーダーとして5国立研究所、5大学、5企業(Dow Chemical、Applied Materials、Johnson Controls、Clean Energy Trust、United Technologies Research Center)が参加した。革新型蓄電池の開発コンセプトは、多価イオンのインサージョン反応やリチウム-酸素、リチウム-硫黄、ナトリウム-硫黄等の化学反応、非水系レドックスフローをベースにしたものであった。

JCESRは2016年1月に、目標達成のための蓄電池コンセプトとして、定置用ではフロー電池を、車載用ではリチウム金属負極と硫黄正極を組み合わせたリチウム硫黄電池を選定した。2017年のプログラム終了までは他の電池系の研究も推進し、\$100/kWh(パックレベル)目標の達成を目指すとしていた(最終的な結果は不明)。

(2) 欧 州

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

EGVIにおける革新型蓄電池関連のプロジェクトの概要を表1.1-3-1に示す。7件のプロジェクトの蓄電池タイプの内訳はリチウム硫黄電池が4件、リチウム空気電池が2件、鉄空気電池が1件である。エネルギー密度の目標は400~500 Wh/kgとなっている。

表1.1-3-1に記載したプロジェクトのうち、「LISSEN」はリチウム金属負極を使用しないリチウム硫黄電池を開発するものであり、イオン液体をベースとした電解液に、ハードカーボン担持体に硫黄を分散させた正極、シリコン(又は錫)と黒鉛の混合負極の組み合わせで、1Ah級のセルを試作し、特性評価を行っている。一方、「EUROLIS」はリチウム金属負極を使用しており、リチ

ウム金属の dendroライト成長対策として、ガラス繊維セラミック製セパレータの仕様を検討している。

表 1.1-3-1 EGVI の革新型蓄電池の開発プロジェクト

プロジェクト	内容	目標値	参加機関	
リチウム硫黄電池	LISSEN (2012～2015)	ポリサルファイド溶出を抑制するイオン液体電解質とカーボンコート・カーボン中空体技術を開発	定量目標無し	Volkswagen(独)等 3企業、6大学・研究所、 1コンソーシアム
	EUROLIS (2012～2016)	材料改良と電極を開発し、18650プロトタイプセルを試作し、EV用評価試験を実施	エネルギー密度:500Wh/kg、 出力密度 1,000W/kg	Renault(仏)、Saft(仏)、 Fraunhofer(独)、 MaxPlanck(独)、 Volvo(スウェーデン)等 4企業、7大学・研究所
	ALISE (2015～2019)	各電極材料を改良して、電池セルとパック評価が目標	エネルギー密度:500Wh/kg	Fraunhofer(独)、 DARAMIC(仏)等 11企業、5大学・研究所
	HELIS (2015～2019) ※EUROLIS 後継	EUROLISの後続プログラムで、リチウム硫黄電池のパイロット試作と電池特性評価	コスト: €150/kWh以下 エネルギー密度:500Wh/kg	PSA(仏)、SAFT(仏)等 4企業、9大学・研究所
金属空気電池	LABOHR (2011～2014)	循環式ドライ酸素収集デバイスを備えたリチウム空気電池技術の開発のための新概念の確認	定量目標無し	Volkswagen(独)等 3企業、7大学・研究所
	STABLE (2012～2015)	空気極の改良と正極表面、触媒改良で、1,200mAh/g、サイクル寿命151回達成	容量:2,000mAh/g サイクル寿命:100～150回	Politecnico di Torino(伊)、SWEAR IVF (スウェーデン)等 1企業、8大学・研究所
	NECOBAUT (2012～2015)	炭化鉄/ペロブスカイト構造体の開発により、鉄空気セルを開発し、電極面積も拡大化(～400 cm ²)	エネルギー密度:400Wh/kg サイクル寿命:3,000回 コスト:€100/kWh	Saft Baterias(スペイン)等5企業、3大学・研究所

なお、欧州連合では、「Horizon2020」プログラムにおいても定置用や宇宙用等のアルミニウムイオン電池、マグネシウムイオン電池、ナトリウムイオン電池、亜鉛空気電池等の研究開発が大学・研究機関中心で行われている。

ドイツ連邦政府は、EGVIのプロジェクトとは別に、EV及び車載用蓄電池の分野でドイツ企業を世界トップ水準に引き上げることを目指し、独自の技術開発政策を展開している。2016年に連邦教育研究省(BMBF)主導で開始されたプログラム「Batterie 2020」プログラムにおいては、車載用蓄電池及び定置用蓄電システムに適用する全固体電池、多価カチオン電池、リチウム硫黄電池、金属空気電池等の研究開発が産学連携で行われている。

ドイツの電池研究開発拠点として2009年に活動を開始したMünster大の蓄電技術研究センター(MEET)にはBMW、BOSCH等、30社以上の企業が参加し、基礎研究～製造技術～リサイクルまで広い範囲で研究開発を行っており、リチウム硫黄電池と金属空気電池の研究を行っている。

(3) 中国

中国においては、第12次5ヶ年計画(2011～2015年)の「国家ハイテク研究発展計画」(863計画)でLIBの研究開発が行われ、「中国国家重点基礎研究発展計画」(973計画)で革新型蓄電池の研究開発が行われたが、第13次5ヶ年計画(2016～2020年)においては、上記2つを統合した「国家重点研究開発計画」においてLIBと革新型蓄電池の研究開発が行われている。この計画の中にある「新エネ車試行特別プロジェクト」において、中国科学院(CAS)がリチウム硫黄電池、リチウム空気電池の研究開発を行っており、サイクル寿命に課題はあるものの実セルで300Wh/kgのエネルギー密度を達成するとともに、1kWh級の電池パックを試作しているとの報告がある。

(4) 韓国

2012年に韓国エネルギー技術評価院(KETEP)は、「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」を補完する位置づけで「EV用エネルギー貯蔵システムロードマップ」を発表しているが、その中でコア技術として改良型LIBと全固体電池を挙げ、特に全固体電池に関しては短期目標として300Wh/kg、中長期目標として500Wh/kgを掲げている。

また、2014年に未来創造科学部が策定した「気候変化対応コア技術開発戦略」では2020年までにエネルギー密度400Wh/kgを目標とする革新型蓄電池を開発するとしている。この戦略を受けて、群山大学が亜鉛空気電池に適用する多元空気極触媒を、韓国電気研究院が亜鉛空気電池のセル化技術を開発している。また、国家プロジェクトではないが、LG化学がリチウム硫黄電池及び金属空気電池を、SKイノベーションがナトリウム二次電池及びリチウム空気電池の研究開発を推進しているとの報告がある。

1. 1-4 市場動向

(1) EV・PHEVの市場動向

過去8年間におけるEV・PHEVの単年度販売台数の推移を図1.1-4-1に示す。世界全体でEV・PHEVの販売は堅調に増加しており、2017年度の販売台数は約110万台である。特に中国での販売が急増し、2017の販売台数は60万台強で世界販売の55%を占める。次いで米国の販売台数が多く、2017年度は20万台で全体の18%となっている。日本はここ数年、2～3万台の範囲で横這い基調であったが、2017年度は4万9千台と大きく増大した。

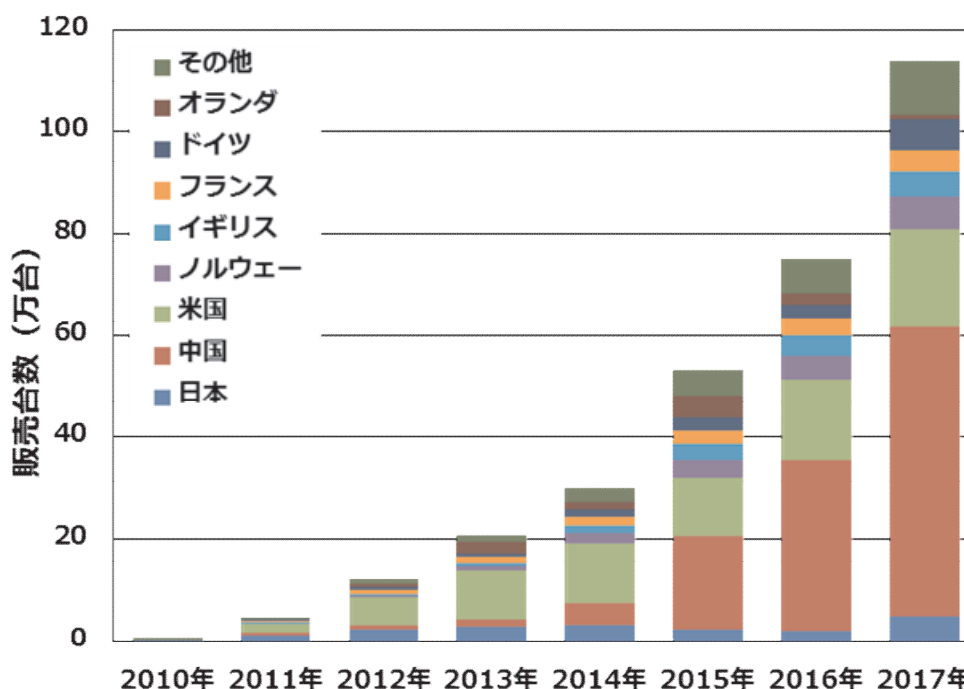


図 1.1-4-1 EV・PHEV 国別単年度販売推移

出典：「MARKLINES 自動車産業ポータル」等の台数統計データによりNEDO作成

主要各国は、運輸部門における環境・気候変動・エネルギー政策の一環として乗用車の燃費規制を強化している。この燃費規制はCAFE(Corporate Average Fuel Economy：企業平均燃費)で計算されるもので、年毎に規制値が決められている。各国で試験条件等が異なるため数値の比較はできないが、2015年から2020年にかけては20～30%程度改善するような厳しい規制となっている。メーカーが規制を達成できない場合の罰則制度があり、例えば欧州では平均CO2排出量が基準を1g/km超える毎に、販売台数×95ユーロの罰金を支払う必要がある(2018年までは軽減措置あり)。

その中で、比較的CO2排出量の少ないEV・PHEVは導入台数に一定の係数を掛けて計算して良い等、優遇制度が取られている。例えば2020年において、米国ではEVは1.75台に、PHEVは1.45台にカウントして良く、欧州ではCO2が大幅に少ない車両(50g-CO2/km未満 = EV・PHEV等)は2台にカウントして良いことになっており、中国でも今後同様な優遇制度になることが予定されている。

また、米国ではカリフォルニア州を中心としたZEV(Zero Emission Vehicle)規制があり、新車販売台数に応じて決められたZEV(EV、FCVが該当)、TZEV(=Transient ZEV、PHEVが該当)を導入する必要がある。例えば、2018年MY(モデルイヤー)は新車販売台数のうち4.5%分のZEV+TZEVを導入する必要がある、大規模メーカーではそのうち2.0%をZEVだけで達成しなければならない。台

数はEVモードの走行距離に応じて、導入台数に一定の係数を掛けて計算可能である。ZEV規制の特徴として、ZEVの販売台数が一定比率を上回った場合「クレジット (CO2削減量/実績係数)」が得られ、反対に下回った場合は罰金 (5,000ドル/クレジット)を支払うか、クレジットを多く保有する他メーカーからクレジットを購入する必要があるという制度がある。中国では2019年より米国ZEV規制と同様なNEV (New Energy Vehicle) 規制が導入される予定である。生産及び輸入台数が3万台/年以上のメーカーが対象であり、販売台数に応じたNEV (=EV・PHEV・FCV) の販売を2019年は10%、2020年は12%以上にしなければならない。条件を満たさない場合は罰金、あるいは他社からNEVクレジット購入が必要な部分もZEV規制と同様である。

上記したような主要各国の政策を背景として、今後、世界全体でEV・PHEVの大幅な普及拡大が見込まれており、例えば、2018年6月にブルームバーグ・ニュー・ファイナンス (BNEF) がまとめた報告書では2040年までに世界の新車販売の55% (6,000万台) がEV・PHEVになると予測されている。

(2) 蓄電池の市場動向

蓄電池市場の現況と将来予測を図1.1-4-2に示す。2016年における蓄電池の世界市場規模は8兆円弱で、今後、各用途でプラス成長が予想され、2025年には約14兆円に成長すると予測がある。次世代自動車用蓄電池の市場規模は2016年では約1.4兆円であるが、今後飛躍的に成長し、2025年には6.6兆円になると予測されており、市場成長分の大半を占めることになる。

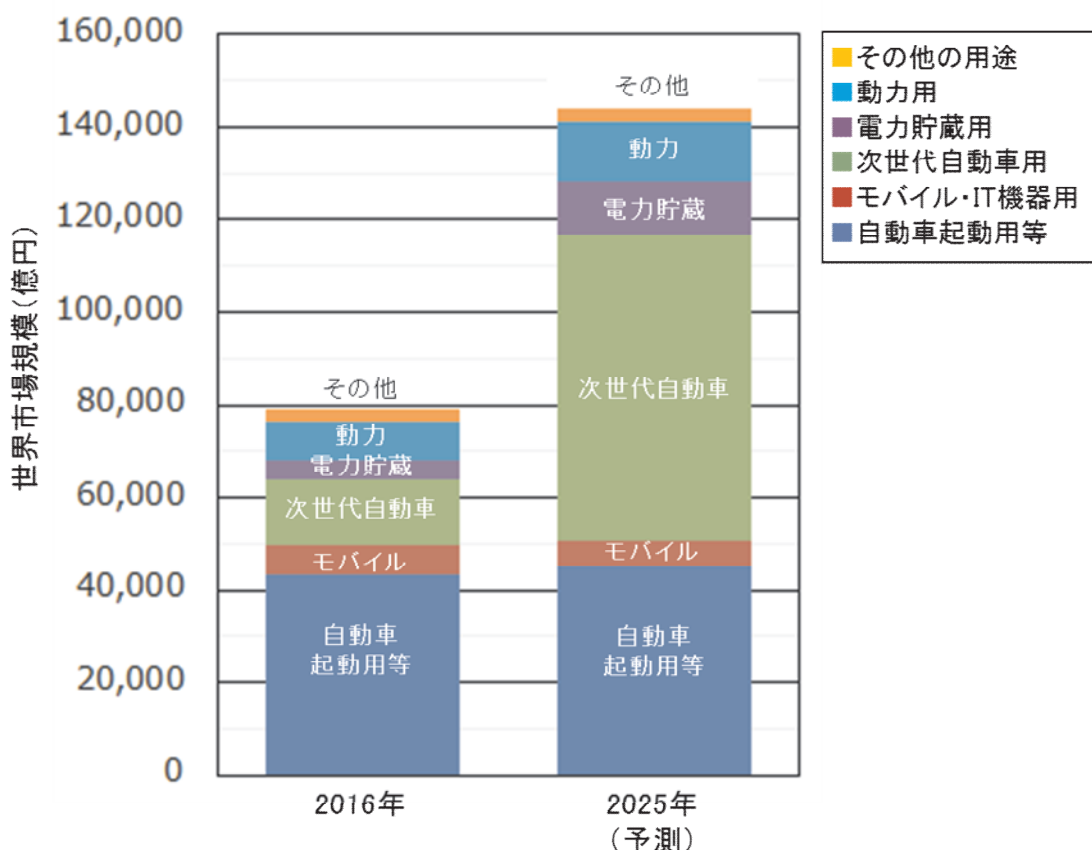


図1.1-4-2 蓄電池市場の現況と将来予測

出典：「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2017」 (株式会社富士経済) に基づきNEDO作成

1. 1-5 特許動向

本事業において研究開発を進めている革新型蓄電池の特許動向を以下に述べる。

(1) ハロゲン化物電池の特許動向

アニオン移動型ハロゲン化物電池の日本及び米国への出願件数の推移を図1.1-5-1に示す。2005年以降増加傾向であるが、出願件数累計は日本で42件、米国で38件と多くはない。なお、2014年以降はRISINGプロジェクトの成果に基づくものが大半を占めている。

出願特許に付与されているFターム*1の5H029(二次電池)のうち、「観点AJ*2」に着目して各出願人の特許の「目的、効果」の傾向を分析すると、図1.1-5-2に示すように、「充放電特性」「容量特性」「サイクル寿命」が多く、「保存性」、「安全性」、「製造の簡易化」の件数が少ない。これは本分野の電池開発の段階が電池性能の検討段階であり、使用や製造の段階では無いことを示唆している。

*1：Fタームは、日本特許に記載された発明の技術的特徴による分類体系で、5H029は二次電池（その他電池）に付与される。

*2：観点AJとは発明の目的、効果、構造、材料、製法、用途等の指標である。

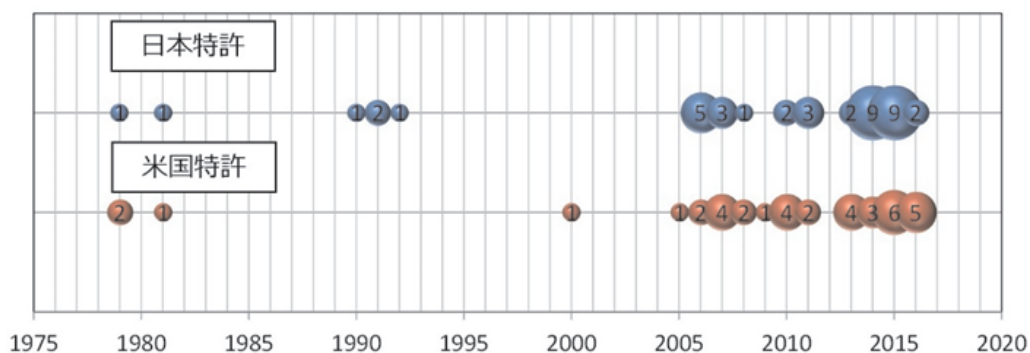


図1.1-5-1 ハロゲン化物電池の出願件数の推移(日本及び米国への出願)

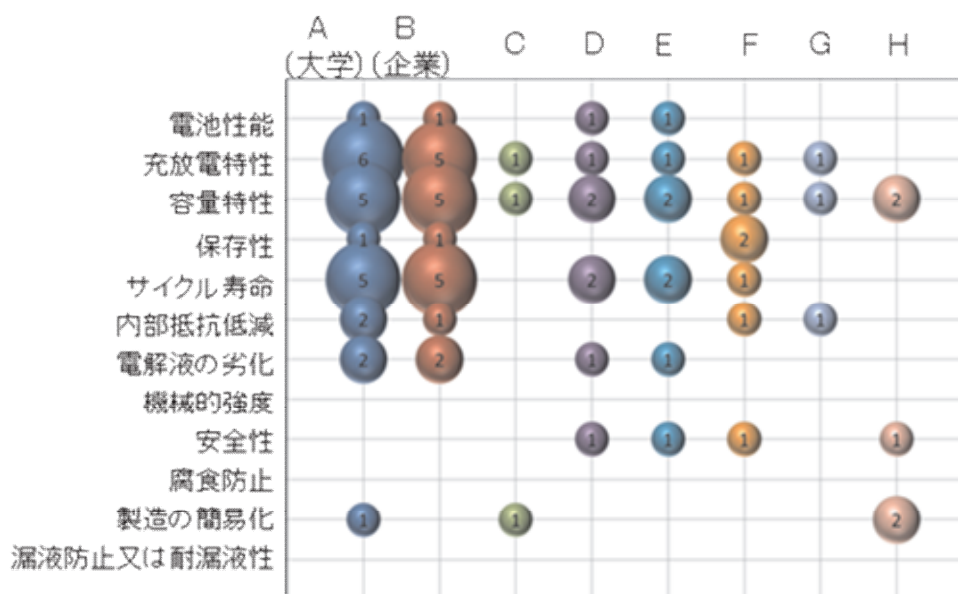


図1.1-5-2 Fタームを活用した出願人別の出願傾向(目的・効果)

(2) 亜鉛空気電池の特許動向

直近3年間における亜鉛空気電池(亜鉛極関連)の出願件数を図1.1-5-3に、課題別の解決手段を図1.1-5-4に示す。

出願人国籍は日本、中国、米国、韓国が大半を占める。また、課題としては、デンドライド防止やサイクル性能といった高安全・高寿命に関係するものが多く、本技術が電池性能よりも動作自体が課題となっている段階の技術であることを示唆している。解決手段としては個々の部材よりも電池全体に関するものが多くなっている。

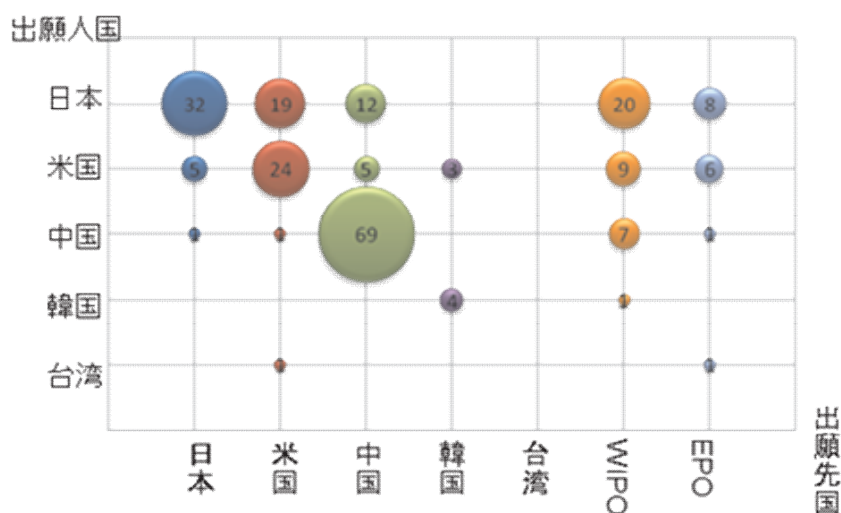


図1.1-5-3 亜鉛空気電池（亜鉛極関連）の出願件数（2015～2017年）

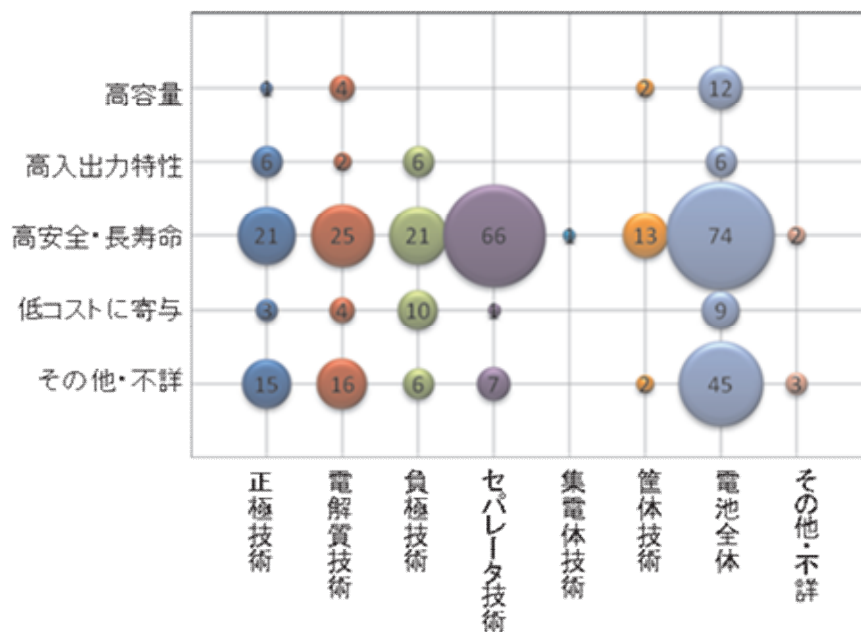


図1.1-5-4 亜鉛空気電池の課題別の解決手段

(3) コンバージョン電池の特許動向

コンバージョン電池（正極関連）の出願件数を図1.1-5-5に示す。

2010年頃より出願件数が大幅に増加しており、近年は中国での出願件数が急増しており、次いで米国での出願件数が増えている。

出願人では、FeF₃の研究を精力的に進めてきた米国Rutgers大学が29件と最多であり、次いで英国Quantumscape が20件、米国Silicon Valley Bank が15件となっている。日本では東芝が20件、パナソニックが10件、ホンダが9件)となっている。一方、欧州では独カールスルーエ工科大が9件、独Siemensが7件、フランス国立科学研究センター（CNRS）が5件である。韓国籍の出願人では Samsung SDIの7件が最多である。

米国籍の出願人の特許では、金属フッ化物との複合化及び表面改質の出願が多く、金属フッ化物のサイクル特性向上を主眼としたものが中心となっている。一方、欧州国籍の出願人は、金属フッ化物とバインダーや導電助剤など電極作製法を出願する傾向にある。近年の全体的な傾向として、複合化や表面改質といった作製プロセスが多くなっている。

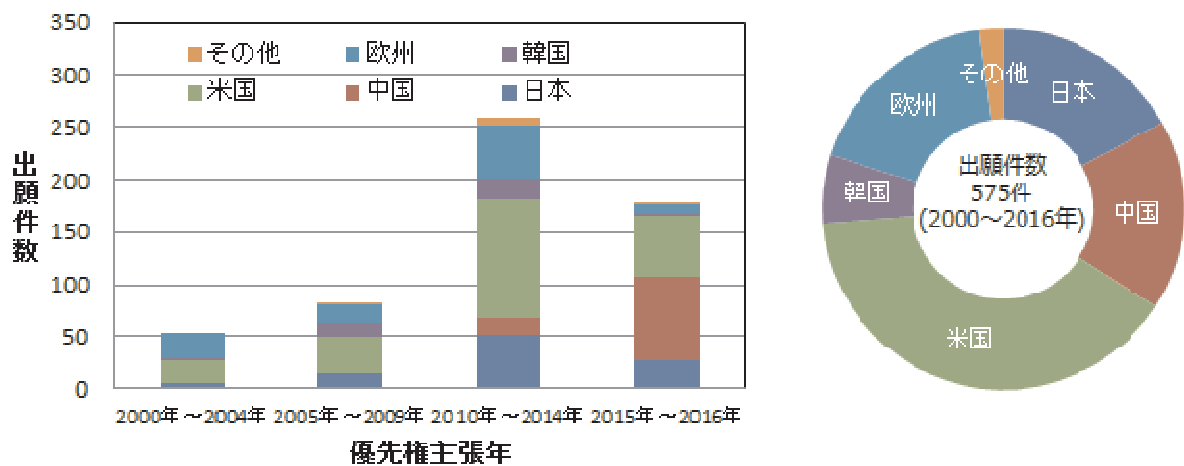


図1.1-5-5 コンバージョン電池（正極関連）の出願件数の推移

(4) 硫化物電池の特許動向

硫化物電池（正極関連）の出願件数の推移を図1.1-5-6に示す。2010年ごろより出願件数が急増しており、中国での出願の伸びが著しい。硫黄正極材料の種類別では、単体硫黄に関係した出願が全体の6割以上を占めている。また、炭素-硫黄複合体の多硫化リチウムシャトル抑制に関する出願が5割程度を占めている。

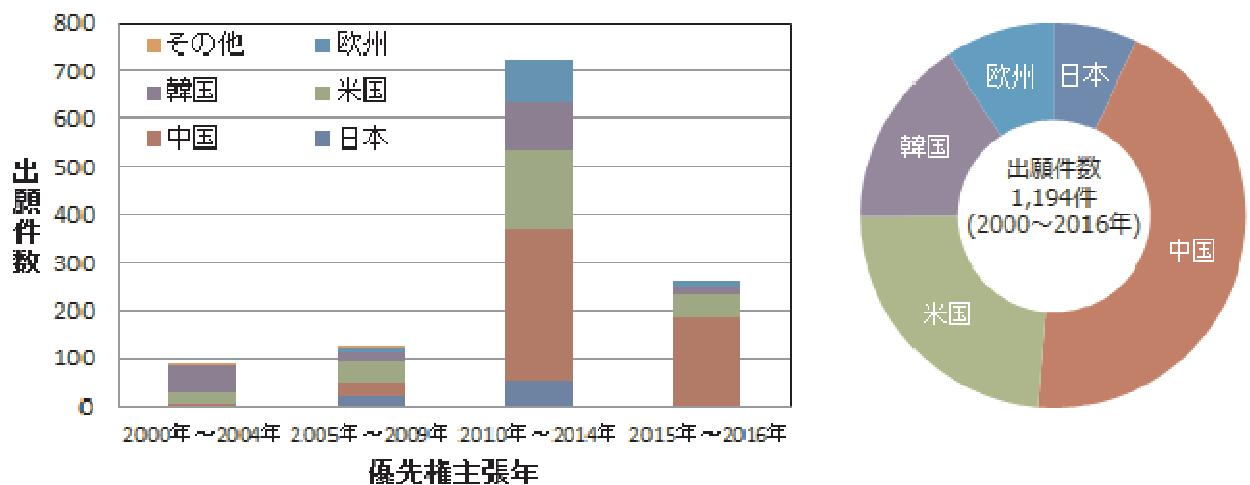


図1.1-5-6 硫化物電池（正極関連）の出願件数の推移

1. 1-6 革新型蓄電池の学会発表動向

2010年、2014年及び2018年のリチウム電池国際会議(International Meeting on Lithium Batteries: IMLB)における蓄電池タイプ別の発表件数を図1.1-6-1に示す。2010年はLIBが8割程度を占めるが、2014年ではLIB以外の固体電池や革新型蓄電池に関する発表が増加した。

IMLB2018ではLIB以外では、全固体電池の発表が目立つが、革新型蓄電池では、Naイオン電池、硫化物電池が多い。

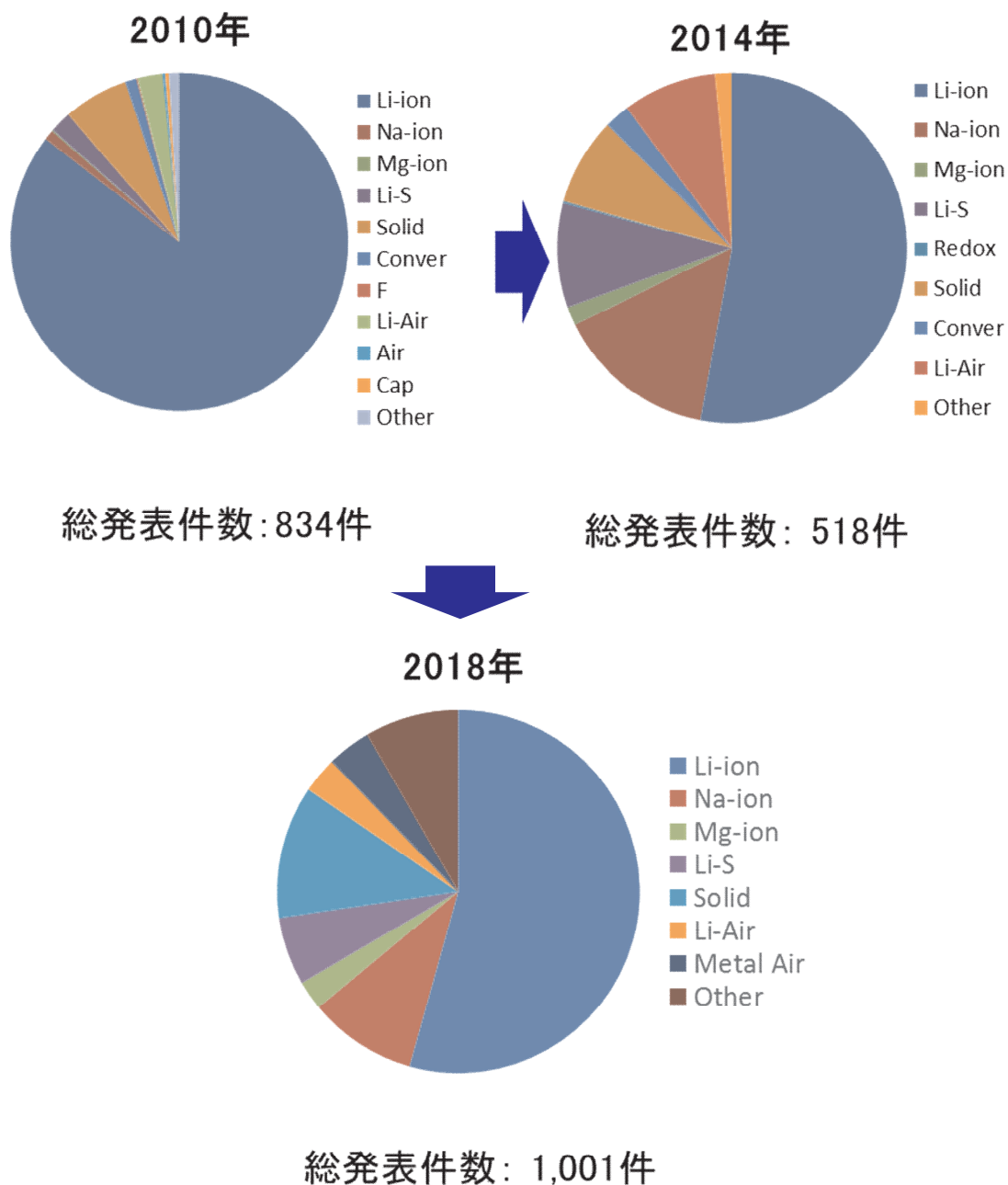


図1.1-6-1 IMLBにおける蓄電池タイプ別発表件数

1. 1-7 上位施策・制度への関与

本プロジェクトが関連する下記(1)～(4)の上位政策・戦略について述べる。

- (1) エネルギー基本計画（第五次計画：2018年7月、閣議決定）
- (2) 科学技術イノベーション総合戦略2014（2014年6月、閣議決定）
- (3) 自動車産業戦略2014（2014年11月、経済産業省策定）
- (4) 未来投資戦略2017(2017年6月、閣議決定)及び未来投資戦略2018（2018年6月、閣議決定）

(1) エネルギー基本計画（第五次計画：2018年7月、閣議決定）

我が国は化石燃料に乏しく、その大半を輸入に頼るといった脆弱性を抱え、エネルギーを巡る国内外の状況変化に大きな影響を受けやすい構造を有している。エネルギーの安定確保は国の安全保障には不可欠であり、我が国にとって常に大きな課題である。さらに、国際的な地政学的構造の大きな変化に直面する中で、我が国のエネルギー安全保障を巡る環境は厳しさを増してきている。このような状況への対応には、長期的、総合的かつ計画的な視点に立ってエネルギー政策を遂行していく必要があり、その着実な遂行の確保を目的として、2002年に「エネルギー政策基本法」が制定された。この基本法では、政府が総合資源エネルギー調査会の意見を聴き、エネルギー需給施策の長期的、総合的かつ計画的な推進を図るために「エネルギー基本計画」を策定することを定め、少なくとも3年には1度の頻度で内容を検討し、必要に応じて変更を行うとしている。この法に基づき、2003年に最初の計画が策定されている。その後、第二次計画が2007年に、第三次計画が2010年に策定され、東日本大震災以降では最初の計画となる第四次計画が2014年に策定された。そして第五次計画が本年7月に策定された。

この第五次計画における蓄電池に関する主な記載は以下のとおりである。

- ① 蓄電池の国際市場の規模が大きく拡大していくことが予想され、引き続き、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていく。
- ② 次世代自動車の新車販売に占める割合を2030年までに5割から7割とすることを目指し、電動化・自動化・サービス化等の制度環境・社会インフラの整備や次世代電池をはじめとした基盤技術開発の抜本的強化等に向けた戦略を定め、官民一体でこれを進める。
- ③ 定置用蓄電池やEVなどの需要家側に設置される分散型エネルギーリソースを活用するバーチャルパワープラント(VPP)、EVからの逆潮流を制御するVehicle-to-Grid(V2G)、蓄電池等の調整力を活用し、調整力の脱炭素化を進めていく。

(2) 科学技術イノベーション総合戦略2014（2014年6月、閣議決定）

我が国政府は、「第4期科学技術基本計画」（2011年8月閣議決定）を指針とする科学イノベーション政策の大きな方向性の下、短期の工程表を具備する「科学技術イノベーション総合戦略」を毎年策定する枠組みを構築している。この枠組みに基づき、「科学技術イノベーション総合戦略2014」が2014年6月に閣議決定されているが、この戦略の「第2章 科学技術イノベーションが取り組むべき課題」の「(8) 革新的エネルギー変換・貯蔵・輸送技術の高度化」において、次世代蓄電池技術の実装化が重点的取組として取り上げられている。

(3) 自動車産業戦略 2014 (2014 年 11 月、経済産業省策定)

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

(4) 未来投資戦略 2017 (2017 年 6 月、閣議決定) 及び未来投資戦略 2018 (2018 年 6 月、閣議決定)

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

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

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

また、2018年6月に閣議決定された「未来投資戦略2018」では、Society 5.0を本格的に実現するための新たに講ずべき具体的施策として、蓄電池関連では次のような施策が追加されている。

- ① 電動車の車載用電池について、平成37年の全固体蓄電池、平成42年の革新型蓄電池等の実用化を見据えた研究開発、鉱物の安定供給を進める。
- ② 運輸部門の省エネを推進するため、電気自動車、燃料電池自動車等次世代自動車の普及、新たな燃費基準などの自動車単体対策や、より高効率な車載用蓄電池の開発・実用化を進める。

1. 2 事業としての妥当性

1. 2-1 NEDOの関与の必要性

本プロジェクトは、下記①～⑥に示す理由からNEDO事業として取り組むこと、あるいはNEDOの関与が必要である。

① 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革新型蓄電池の中・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革新型蓄電池の早期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、共通基盤技術の開発が必須要素である。蓄電池及び蓄電池自体の実用化開発は個別の事業者の負担で行うべきであるが、本事業で開発している技術は関連産業界全体の競争力強化を図るものであり、公共性・汎用性を有する共通基盤技術である。

② 学術成果の産業技術への引き上げ

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

③ 開発リスク・ハードルの高さ

本事業では、革新型蓄電池を車載用蓄電池として実用化するためには、トレードオフ関係にある高エネルギー密度と耐久性・安全性等を高いレベルで両立させる必要があるが、その開発リスクとハードルは極めて高いと言える。

④ 関係者の利害調整

共通基盤技術の開発に際しては、企業を競争させるのではなく、競合関係あるいは売り手と買い手の関係にある複数の企業を連携・協調させる必要がある。特に、技術情報の開示／非開示の範囲に関して、説得性・納得性のあるルールをプロジェクト内で作る必要がある。この場合、関係者の利害得失を調整し、関係者のメリットを最大化させるのは、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。

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

⑤ 蓄電池開発の技術蓄積、マネジメント経験

NEDO では共通基盤技術開発から応用・実用化開発までを戦略的かつ包括的にマネジメントしている。「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」(2011～2015年)では、電力システム用大型蓄電システムの開発とその実証試験を行った。「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発」(2012～2016年)では、EV・PHEV用LIBの高性能化・低コスト化の技術開発を推進した。また、「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(2013～2022年)では、

蓄電池産業における共通的な基礎・基盤技術として、LIB 及び全固体 LIB 用材料の開発効率を飛躍的に向上させるための材料評価技術の開発を推進中である。さらに、本事業推進上の基礎・基盤的な知見を獲得した「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」（2009～2015 年）を実施し、世界最先端の解析プラットフォームの構築と、エネルギー密度 500 Wh/kg を実現可能な革新型蓄電池のコンセプトを創出した。このように国プロの推進等を通じて培われた蓄電池の技術及び産業・市場に関する知見や研究開発マネジメントの経験・ノウハウ等を有効活用する観点において、本プロジェクトへの NEDO の関与は適切と言える。

⑥ 蓄電池開発プロジェクト間の連携

経済産業省と文部科学省では、蓄電池の研究開発において省庁の枠を越えた連携に取り組み、両省が実施している蓄電池開発プロジェクトを一体的に運営するため、各事業に関係している有識者から構成される「文部科学省・経済産業省ガバナリングボード（蓄電池）」（戦略コーディネーター：東京大学大学院工学研究科教授 橋本和仁）を設置している。

NEDO蓄電技術開発室長は同ガバナリングボードの構成員であり、図1.2-1-1に示すように、本事業、NEDO「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」、JST「戦略的創造研究推進事業／先端的低炭素化技術開発」の「次世代蓄電池研究加速プロジェクト」及び文部科学省事業「元素戦略プロジェクト」との連携関係を構築し、シナジー効果の獲得に取り組んでおり、この点においてもNEDOの関与は適切である。

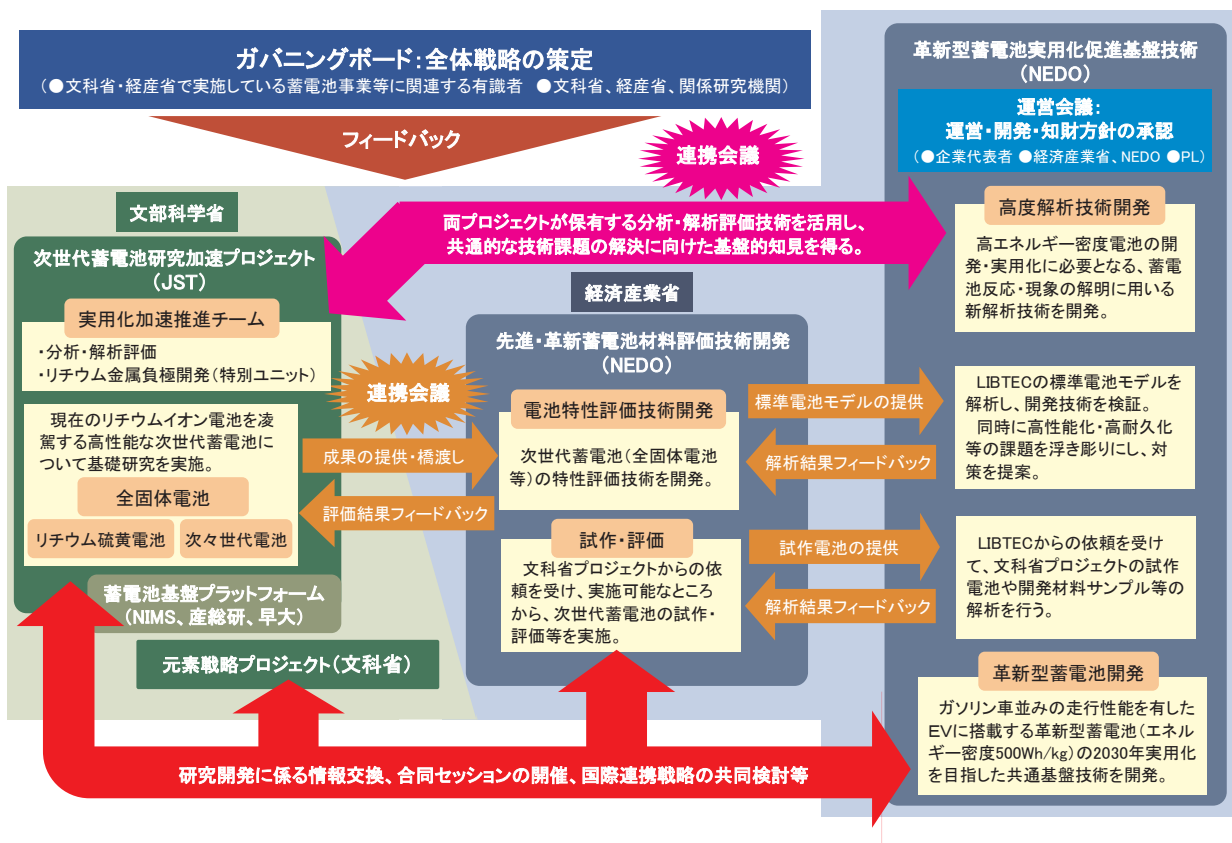


図1.2-1-1 我が国の蓄電池開発プロジェクトの連携関係

1. 2-2 実施の効果

(1) CO₂削減効果

ガソリン車、EV、PHEV1台当たりの年間CO₂排出量はそれぞれ以下のように試算される。

$$\begin{aligned} & \bullet \text{ ガソリン車の年間 CO}_2 \text{ 排出量} \\ & = \text{【年間走行距離】} \div \text{【燃費】} \times \text{【ガソリン CO}_2 \text{ 排出係数】} \\ & = 10,000\text{km}^{\ast 1} \div 10.92\text{km/L}^{\ast 2} \times 2.322\text{kg-CO}_2/\text{L}^{\ast 3} \\ & = 2,126\text{kg-CO}_2 \\ & \bullet \text{ EV の年間 CO}_2 \text{ 排出量} \\ & = \text{【年間走行距離】} \times \text{【電費】} \times \text{【電力 CO}_2 \text{ 排出係数】} \\ & = 10,000\text{km} \times 0.171\text{kWh/km}^{\ast 4} \times 0.37\text{kg-CO}_2/\text{kWh}^{\ast 5} \\ & = 633\text{kg-CO}_2 \\ & \bullet \text{ PHEV の年間 CO}_2 \text{ 排出量} \\ & = \text{【年間 EV 走行距離】} \times \text{【電費】} \times \text{【電力 CO}_2 \text{ 排出係数】} \\ & \quad + \text{【年間 HEV 走行距離】} \div \text{【燃費】} \times \text{【ガソリン CO}_2 \text{ 排出係数】} \\ & = 5,000\text{km}^{\ast 6} \div 7.378\text{km/kWh}^{\ast 7} \times 0.370\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \\ & \quad + 5,000\text{km} \div 26.04\text{km/L}^{\ast 8} \times 2.322\text{kg-CO}_2/\text{L} \\ & = 251\text{kg-CO}_2 + 446\text{kg-CO}_2 \\ & = 697\text{kg-CO}_2 \end{aligned}$$

[注記]

※1：国土交通省「継続検査の際の整備前自動車不具合状況調査」 自家用車 10,575km/年を参考。

※2：2,000cc クラスガソリン車(トヨタ：プレミオ)の燃費 15.6km/L(JC08 モード)の 0.7 倍と仮定。

※3：「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令」(平成 18 年経済産業省・環境省令第三号)に記載の値。

※4：日産リーフ(2017 年発売)の電費カタログ値 0.120kWh/km (JC08 モード) の 1/0.7 倍と仮定。

※5：2015 年電気事業連合会「電気事業における低炭素社会実行計画」において、2030 年度の長期エネルギー需給見通しに基づき、定めた電力 CO₂ 排出係数(使用端)の目標値。

※6：EV 走行距離と HEV 走行距離の割合を 50 : 50 と仮定。

※7：トヨタプリウス PHV(2017 年発売)の EV 走行時電力消費率 10.54km/kWh (JC08 モード) の 0.7 倍と仮定。

※8：トヨタプリウス PHV(2017 年発売)の HEV 走行時燃費 37.2km/L (JC08 モード) の 0.7 倍と仮定。

従って、EV・PHEV 1 台当たりの年間 CO₂ 削減効果は、以下のように算出され、それぞれ 1,493kg-CO₂、1,429kg-CO₂となる。よって EV・PHEV の年間の平均 CO₂削減効果は、約 1.46t/年となる。

次に、本プロジェクトの実施によって車載用 LIB の高性能化や低コスト化等が進展し、その結果として、「未来投資戦略 2017」等に掲げられた 2030 年における EV・PHEV の普及目標が達成された場合の CO₂削減効果について述べる。

「日本の自動車工業 2018」(日本自動車工業会、2018 年 5 月)によると、我が国の四輪車保有台数は 2017 年 12 月末現在で約 8,347 万台であり、うち乗用車(普通車、小型四輪車、軽四輪車)は約 6,200 万台である。本 CO₂削減効果の検討においては、2030 年代の乗用車保有台数は 6,200 万台で一定とすると、国内 CO₂削減量は約 2,715 万 t/年となる。

<ul style="list-style-type: none"> ● EV の年間 CO₂ 削減効果 <ul style="list-style-type: none"> = 【ガソリン車 CO₂ 排出量】 - 【EV 年間 CO₂ 排出量】 = 2,126kg-CO₂ - 633kg-CO₂ = 1,493kg-CO₂ ● PHEV の年間 CO₂ 削減効果 <ul style="list-style-type: none"> = 【ガソリン車 CO₂ 排出量】 - 【PHEV 年間 CO₂ 排出量】 = 2,126kg-CO₂ - 796kg-CO₂ = 1,429kg-CO₂ ● 国内 CO₂ 削減量 <ul style="list-style-type: none"> = 6,200 万台×30%×1.46t/年 = 2,715 万 t/年
--

今後、EV・PHEV、ガソリン車共に電費・燃費は更に向上すること等も想定され、本試算結果は変動要素を含んだものであるが、2030年には約2,715万t/年のCO₂削減効果が期待できる。加えて、我が国の自動車メーカーは2017年実績で約420万台の乗用車を輸出するとともに、米国、欧州、東南アジア、中国等での現地生産にも積極的に取り組んでいる。輸出・海外生産の対象にはEV・PHEVも含まれることから、世界全体のCO₂削減にも大きく貢献することが期待できる。

(2) 経済効果

「未来投資戦略2017」等に掲げられた2030年におけるEV・PHEVの普及目標が達成された場合の経済効果について述べる。

「日本の自動車工業2018」（日本自動車工業会、2018年5月）における直近10年間（2008年～2017年）の国内乗用車生産平均台数は813万台、2017年実績で国内自動車メーカーの海外生産台数は1,974万台とすると、国内生産及び海外生産のEV・PHEVの売上と電池パックの売上は以下のように計算される。

- 国内生産EV・PHEVの売上
 - = 【国内乗用車生産台数】 × 30% × 【乗用車平均価格】
 - = 813万台 × 30% × 200万円/台
 - = 4.9兆円/年

- 国内生産EV・PHEV用の電池パックの売上
 - = 【国内乗用車生産台数】 × 30% × 【電池パック容量】 × 【電池パックコスト】
 - = 813万台 × 30% × 30kWh × 1.0万円/kWh
 - = 0.73兆円/年

- 国内生産EV・PHEV用の電池パックの容量
 - = 【国内乗用車生産台数】 × 30% × 【電池パック容量】
 - = 813万台 × 30% × 30kWh
 - = 73GWh/年

● 海外生産 EV・PHEV の売上

$$\begin{aligned} &= \text{【国内自動車メーカーの海外生産台数】} \times 30\% \times \text{【乗用車平均価格】} \\ &= 1,974 \text{ 万台} \times 30\% \times 200 \text{ 万円/台} \\ &= 11.8 \text{ 兆円/年} \end{aligned}$$

● 海外生産 EV・PHEV 用の電池パックの売上

$$\begin{aligned} &= \text{【国内自動車メーカーの海外生産台数】} \times 30\% \times \text{【電池パック容量】} \\ &\quad \times \text{【電池パックコスト】} \\ &= 1,974 \text{ 万台} \times 30\% \times 30\text{kWh} \times 1.0 \text{ 万円/kWh} \\ &= 1.78 \text{ 兆円/年} \end{aligned}$$

● 海外生産 EV・PHEV 用の電池パックの容量

$$\begin{aligned} &= \text{【国内自動車メーカーの海外生産台数】} \times 30\% \times \text{【電池パック容量】} \\ &= 1,974 \text{ 万台} \times 30\% \times 30\text{kWh} \\ &= 178\text{GWh/年} \end{aligned}$$

上記の売上見通し等に対して、本プロジェクトの3年間の予算総額（NEDO負担分）は約100億円であり、十分な費用対効果があると言える。

第2章 研究開発マネジメントについて

2.1 研究開発目標の妥当性

本プロジェクトは、以下に示す性能・諸元を有したEVおよび電池パックを2030年に実用化するために革新型蓄電池の共通基盤技術の開発として、「研究開発項目① 高度解析技術開発」および「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」を実施する。

2030年に実用化を目指すEVおよび電池パックの性能・諸元

- ✓ 車両走行距離（1回充電あたり）：500km
- ✓ 車両コスト：190万円（10万台/年/社 生産ケース）
- ✓ 電池パックコスト：40万円（容量あたりコスト：1万円/kWh）
- ✓ 電池パック容量：40kWh
- ✓ 電池パック出力：120kW（重量あたり出力密度：1,500W/kg）
- ✓ 電池パック重量：80kg（重量あたりエネルギー密度：500Wh/kg）
- ✓ 電池パック体積：70L（体積あたりエネルギー密度：570Wh/L）
- ✓ 車両環境温度：-30℃～60℃
- ✓ 電池パック寿命：カレンダー10年以上、サイクル1,000～1,500回
- ✓ 電池パック安全性：現行の車載用LIBパックと同等以上のこと

本プロジェクトの基本計画における研究開発目標は以下のとおりである。

研究開発項目① 高度解析技術開発

【最終目標】（2020年度末）

革新型蓄電池の高性能化や高耐久化を実現する実セルおよび電極の設計・製造に活用可能な新規の解析技術を開発する。

- ・実セル作動条件下における電極活物質-電解質界面の反応解析技術
- ・実セル作動条件下における電極活物質の反応解析技術
- ・実セル作動条件下における電極合剤内の反応分布および劣化現象解析技術

なお、上記の解析技術には、空間分解能で10 μ m、時間分解能で10ミリ秒、深さ分解能で10ナノメートルを超える技術が含まれるものとする。

開発した解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の性能や耐久性等の支配因子とその影響度を提示する。

【中間目標】（2018年度末）

開発中の解析技術を組み込んだ計測分析装置・設備の設置を完了する。

また、開発中の解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の解析評価に着手していること。

研究開発項目② 革新型蓄電池開発

【最終目標】(2020 年度末)

開発した共通基盤技術を基に試作した実セル(容量 5Ah 級)^{注1)}について、下記を満足することを確認する^{注2)}。

- ・重量エネルギー密度: 500Wh/kg 以上
- ・体積エネルギー密度: 1,000Wh/L 以上
- ・重量出力密度: 100W/kg 以上^{注3)}
- ・サイクル寿命: 100 回以上^{注3)}
- ・環境性: カドミウム、水銀、六価クロム等の環境負荷物質をセル構成材料として大量に使用していないこと。
- ・車両環境への対応: -30~60°Cの動作環境温度において変質しないこと。
- ・経済性: 貴金属等、高コスト元素を大量に使用しないこと。
- ・安全性: 内部短絡、圧潰・過充電時の異常発熱、発火、熱暴走等に対する安全策を講じることが技術的に可能なこと。
- ・充電性: 普通充電(6 時間)が可能なこと。急速充電が可能なこと^{注3)}。

【中間目標】(2018 年度末)

開発した共通基盤技術を基に試作した実セルで重量エネルギー密度 300Wh/kg 以上が得られていることを確認する^{注2)}。

また、当該蓄電池の性能・耐久性等の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を満足させるための技術開発の方向性を提示すること。

注1) 一對の正極、負極、セパレータおよび電解質(電解液)で構成され、充放電が可能な単電池の状態。ただし、端子や電子制御装置等は含まれない。

注2) 試作する実セルの容量と最終・中間目標は、開発する革新型蓄電池タイプの特性、実用化課題、試作・評価に使用する研究開発設備および研究開発時の安全性等を勘案した上で、提案者が公募時に提案し、採択決定後に NEDO と協議の上、実施計画書において定めるものとする。

注3) 事業終了後における更なるプロセスエンジニアリング開発等によって、前記した 2030 年実用化を想定する電池パックの出力、サイクル耐久性、充電性まで向上する見通しがあること。

第 1 章で述べたように、本プロジェクトは、先端的な材料科学や高度な解析技術を得意とする大学・公的研究機関、車載用蓄電池の開発・製品化で豊富な実績を有する蓄電池メーカー、さらにはエンドユーザーとなる自動車メーカー等による緊密な産学官連携の体制を構築して、産業界による革新型蓄電池の実用化を促進するための基礎科学に立脚した共通基盤技術を開発することを目的としている。

次に主要各国の車載用蓄電池の開発目標を表 2.1-1 に示す。表からわかる通り、RISING2 において設定した目標は、世界トップレベルであることが分かる。一方、主要各国における 2030 年の開発目標はほぼ 500Wh/kg のエネルギー密度と大差がなく、如何に早く目標を達成し、市場投入するのが重要である。本プロジェクトが設定する目標値は各国と競争力を有するものとなってお

り、この目標達成に向けて産官学連携の下で予算を投入して研究開発を推進することは非常に意義がある。

表 2. 1-1 主要各国の車載用蓄電池の開発目標

国/地域		日 本		米 国	欧 州	韓 国	中 国
目標の策定機関		NEDO ※1		DOE/VTO ※2	EC ※3	産業通商資源 ※4	科学技術部 ※5
車両タイプ		PHEV	EV	EV	EV	EV	EV・PHEV
電池パックエネルギー密度 (Wh/kg) ※6	2020年	200	250	280	235	240	240
	2030年	—	400	—	250	400	400
	2030年以降	—	500	500	500	—	—
電池パック出力密度 (W/kg)		2,500	1,500	2,000	—	—	—
コスト(円/kWh)	2020年	20,000	20,000	135,000	12,000	—	13,000
	2030年	—	10,000	—	10,000	—	—
カレンダー寿命(年)		10~15	10~15	15	15	—	—
サイクル寿命(回)		4,000~ 6,000	1,000~ 1,500	1,000	1,500	1,000~ 2,000	1,200

※1:NEDO (二次電池技術開発ロードマップ 2013、先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第 II 期)、革新型蓄電池実用化基盤技術開発)

※2:DOE (Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)), Battery 500 project)

※3:欧州委員会(「Set-Plan/Action7/Declaration on Batteries and E-mobility」,「Horizon2020(ALISE)」)

※4:緑色産業先導型二次電池技術開発、エネルギー技術(R&D ウェアハウス、エネルギー技術ロードマップ 2013)等

※5:第 13 次 5 ヶ年計画/国家重点研究開発計画/新エネ車試行特別プロジェクト(2016)、

中国汽车工程学会(省エネルギー車と新エネルギー車の技術ロードマップ)

※6:米韓中の電池パックのエネルギー密度の目標値については、セルの目標値の 0.8 倍とした。

2. 2 研究開発計画の妥当性

2. 2-1 研究開発内容

本事業における研究開発内容を以下に示す。

研究開発項目①「高度解析技術開発」

高輝度・高強度の量子ビーム技術を用いることにより、高い空間分解能、時間分解能および深さ分解能を具備させた蓄電池の反応・劣化メカニズムの解析技術の開発を進める。また、核磁気共鳴 (NMR)、透過型電子顕微鏡 (TEM)、精密充放電、計算科学等を用いた解析技術も並行して開発に当たる。さらに、これら解析技術を「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発している蓄電池に適用し、性能向上や寿命特性の改善等に資する知見を得ることを目指した。

研究開発項目②「革新型蓄電池開発」

上記した高度解析技術を活用しつつ、亜鉛空気電池、ナノ界面制御電池 (ハロゲン化物)、ナノ界面制御電池 (コンバージョン) および硫化物電池の開発を進めた。

亜鉛空気電池では、高容量亜鉛負極を適用して 8Ah 級 (□50×50mm サイズ) の実セルを試作し、重量エネルギー密度 300 Wh/kg 以上の実証検証を進めた。また、空気極触媒として酸素還元活性の高いブラウンミラーライト結晶構造の Ca-Fe-Co 系酸化物を適用することにより、空気極電極の改善を図った。

ナノ界面制御電池 (ハロゲン化物) では、Cu-F 系正極を適用して 500mAh 級の実セル (全固体ペレット型セル) を試作し、実セルによる充放電挙動の実証に取り組んだ。また、新規に La-F 系固体電解質およびゲルポリマー系電解質を開発し、室温で 10^{-6} S/cm 以上のフッ素イオン伝導度達成を目指した。

ナノ界面制御電池 (コンバージョン) では、ハーフセル (□50×50mm サイズ) の試作・評価を通じて合剤正極の厚膜化や電解液の最適化等を進め、5Ah 級の実セルで 300Wh/kg 以上の重量エネルギー密度が得られることの見通しを得ることを目標とした。

硫化物電池では、ハーフセル (□50×50mm サイズ) の試作・評価を通じて V-S 系正極が高いサイクル耐久性を示すことを見出し、5Ah 級の実セルで 300Wh/kg 以上の重量エネルギー密度が得られることの見通しを得ることとした。

2. 2-2 研究開発スケジュール

高度解析技術では、車載用蓄電池としての革新型蓄電池における特性を飛躍的に向上させる電池反応機構解明のために必要となる新たな高度解析技術の開発を手掛ける。革新型蓄電池技術開発を支えるための革新的な解析技術、既存解析技術の高度化、革新型蓄電池内でみられる独自の反応機構観測に必要な周辺技術開発を推進し、LIB 活用も並行しながら高度解析技術の検証を行い、技術的先進性を確かめていく。生み出された技術を連携して、革新型蓄電池解析を多元的に行う取り組みを推進していく。これらの活動を通じて高度解析技術を統合して運用でき革新型蓄電池の反応機構解明に有効となる高度解析技術プラットフォーム構築の完成を目指す。

また、革新型蓄電池開発においては、フルセルでの電池評価を軸とし、そこで明らかとなる要素技術の組み合わせ効果を検証することで、電池本来の課題を明確にするとともに、その課題解決に向けた研究開発に取り組む。最終目標である 500Wh/kg を検証するための要素技術の確立を進めながら 2018 年度末までに 5Ah 級以上のフルセルにおいて 300Wh/kg の実証を目指していく。

このように革新型蓄電池および高度解析技術の年度毎の開発の進捗状況に応じ、技術の相互連携について重点化を行いながら、最終目標である 500Wh/kg の検証を目指すとともに、プロジェクト終了後の成果と目される事業化に向けた実用化研究へのスムーズな移行を目指す。

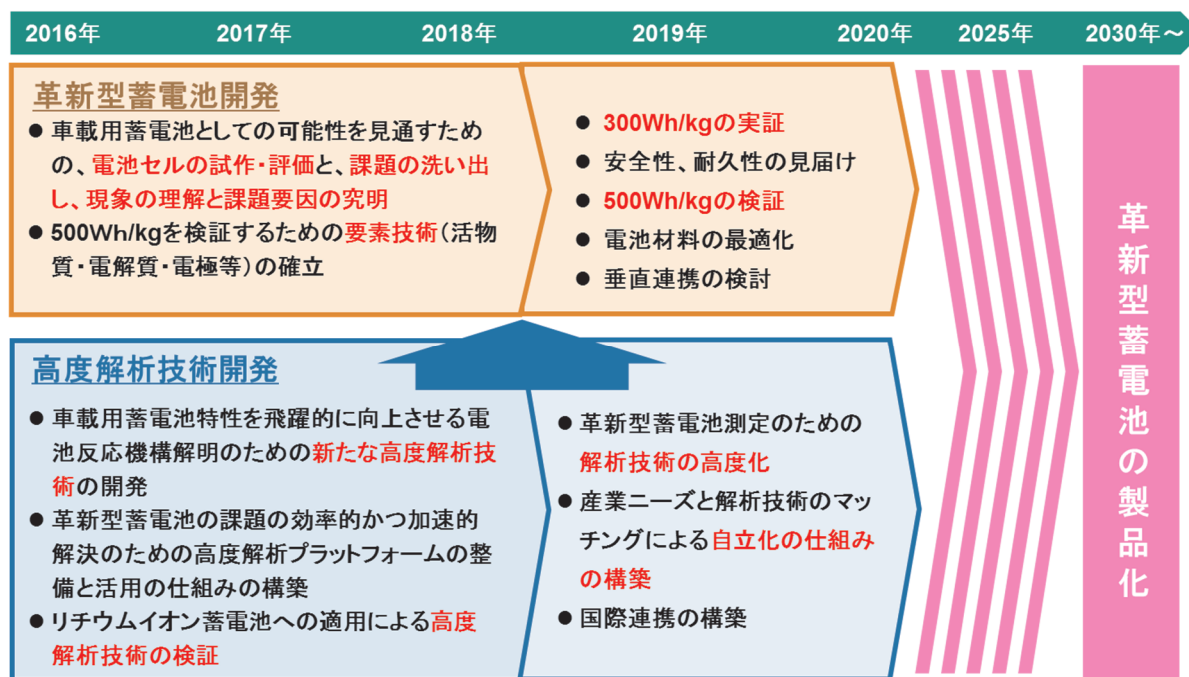


図 2.2-2-1 本事業の全体スケジュール

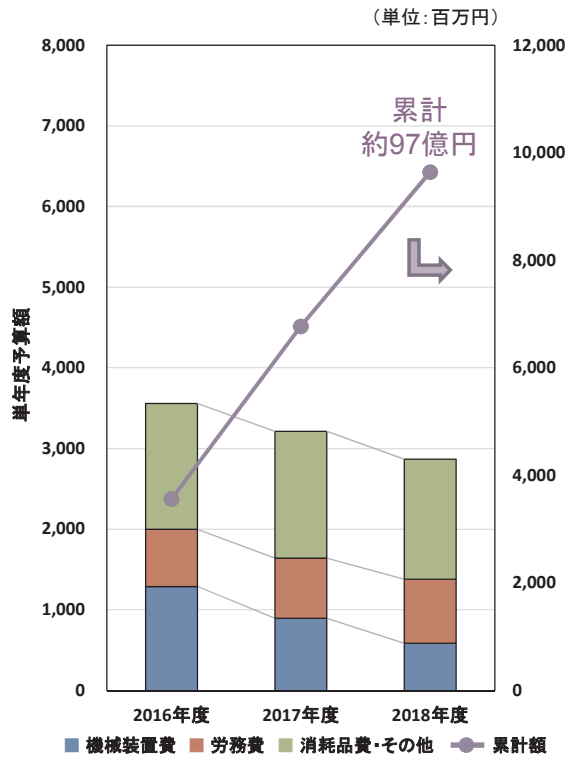
2. 2-3 研究開発予算

本プロジェクトの研究開発予算を図 2. 2-3-1(1)に示す。

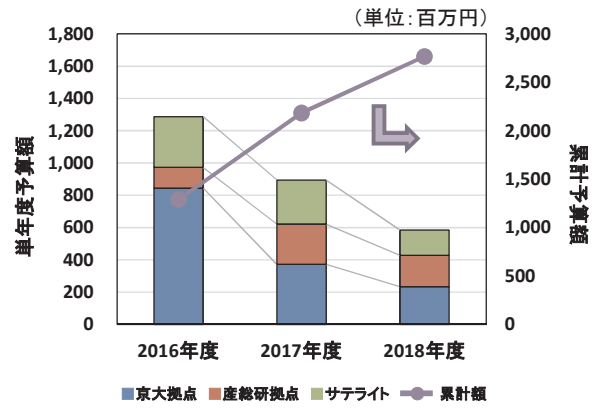
予算総額は3年間で9,740百万円を計画している。総予算の配分は、機械装置費に2,768百万円、労務費に2,251百万円、消耗品費・その他に4,621百万円と研究計画に沿って適切に配分してきた。

その中でも機械装置費の年度推移を図 2. 2-3-1(2)に示す。計画初期には1,288百万円に上る予算投入を行った。これは技術開発が設備などに依存する高度解析技術の早期技術確立を果たすべく、初期投資を厚くすることにより設備の早期導入を図った結果である。設備導入が進むにつれて機械装置費の負担が年々軽減していく様子が明確となっている。一方、革新型蓄電池技術開発での研究が進捗し評価実験のボリュームが徐々に大きくなってきており、それに対応するべく図 2. 2-3-1(3)に示すように労務費への配分を増強していることを示しており、徐々に革新型蓄電池開発への重点化が進んでいる。

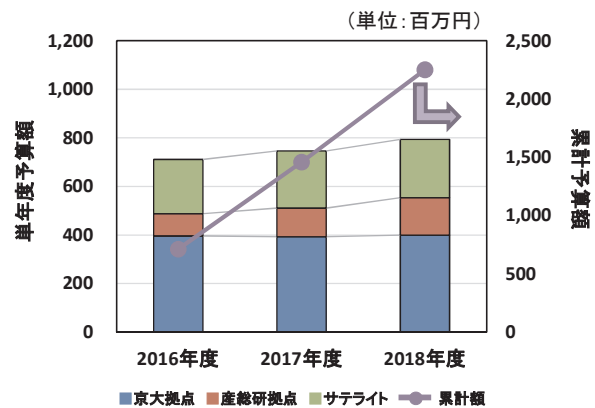
続いて、拠点別、研究グループ別、研究内容別の視点で整理した研究開発予算の内訳を図 2. 2-3-2にまとめた。拠点別でみると(図 2. 2-3-2(1))、京大拠点、サテライト、産総研拠点の順に配分されている。特に京大拠点はプロジェクトに従事する研究員ならびに参画企業が多く参加していることから費用負担が大きいことが要因となっているためである。研究グループ別でみると(図 2. 2-3-2(2))、高度解析技術への配分が大きくなっている。これは上述した通り、技術開発が設備などに依存することで説明される。装置導入が進むにつれて、高度解析技術から革新型蓄電池開発(カチオン移動型蓄電池開発およびアニオン移動型蓄電池開発)へ費用配分がシフトしており、徐々に革新型電池開発が進展している様子が確認できる。このことから予算配分が適切になされてきたことがわかる。



(1) 全体予算の推移

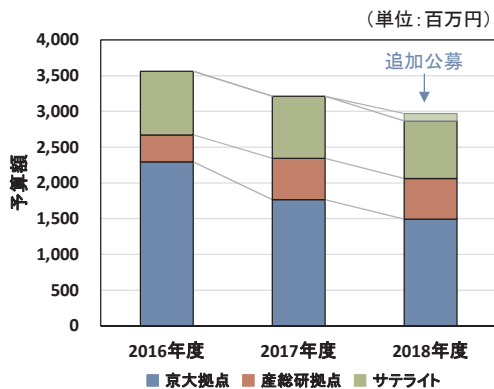


(2) 機械装置費の推移

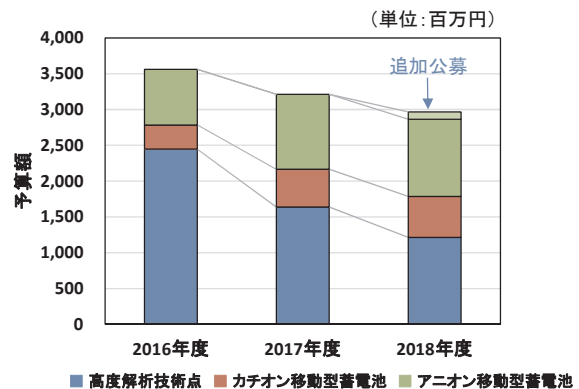


(3) 労務費の推移

図 2.2-3-1 研究開発予算の内訳 (経費別)



(1) 拠点別



(2) グループ別

図 2.2-3-2 研究開発予算の内訳 (拠点・グループ別)

2. 2-4 研究開発人員

本プロジェクトに従事する人員推移を図 2.2-4-1 に示す。

ほぼ 200 名にわたる研究員がプロジェクトに従事している。特に基礎科学分野に密接する高度解析技術開発の従事者が 6 割を占めており、基礎技術をベースに電池開発を支援する様相が人員構成からも明確となっている。

本プロジェクトにおける研究開発拠点は京都大学拠点と産総研拠点の二つに大別される。そこで、各拠点での人員推移を図 2.2-4-2、図 2.2-4-3 に示した。上述の通り、各研究開発拠点の人員構成からも基礎技術指導の様子は明らかであり、京大拠点では構成メンバーの内、3/4 を教職員が占めている。産総研拠点も同様で、その人員構成の 8 割を研究所職員が占めており、いずれの場合も大学・公的研究機関が得意とする先端的な材料科学や基礎的な反応挙動に関する理解、高度な解析技術とともに企業が得意とする電池開発・製品化に関する技術の融合による革新型蓄電池開発が進められている。当初の狙い通り、産業界での革新型蓄電池の実用化を促進するための基礎技術に立脚した、産官学による密接な電池技術開発の連携が順調に進んでいることが分る。

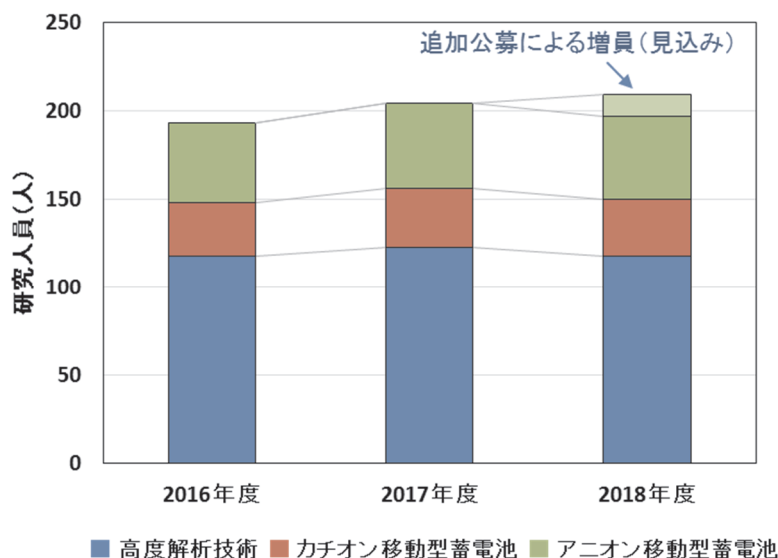


図 2.2-4-1 研究開発人員推移

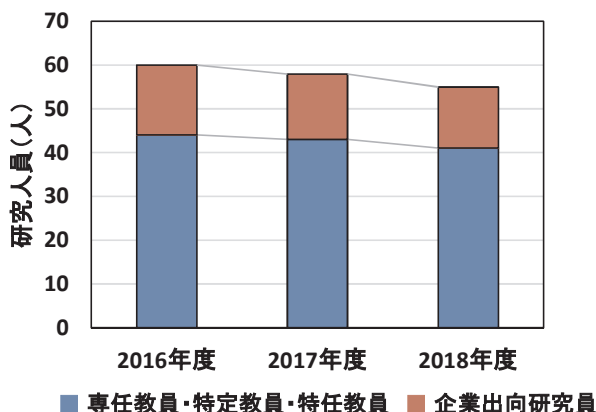


図 2.2-4-2 京大拠点における人員推移

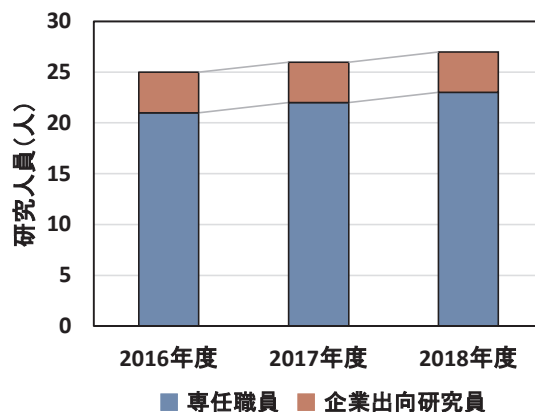


図 2.2-4-3 産総研拠点における人員推移

2. 3 研究開発の実施体制の妥当性

2. 3-1 研究実施体制

本プロジェクト全体の実施体制を図 2. 3-1-1 に示す。本プロジェクトは、NEDO がプロジェクトリーダー (PL) として委託した国立大学法人京都大学 大学院工学研究科 松原 英一郎 教授、およびサブプロジェクトリーダー (SPL) として委託した国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 小林 弘典 総括研究主幹の下で実施している。

集中拠点である京都大学、および産総研で各々テーマを分担しており、それぞれの集中研究拠点が手がける研究開発活動に貢献できる企業が積極的に研究者・エンジニアを派遣し、相互にノウハウ・電池技術を持ち寄ることで研究開発を進める連携体制を構築している。最終製品である蓄電池としてのニーズ・課題を十分に把握している蓄電池メーカーおよび自動車メーカーも連携研究機関として参加し、最新の研究成果に係る情報が広く共有・伝達される体制となっている。



図 2. 3-1-1 研究実施体制概要

2. 3-2 研究実施体制の詳細 高度解析技術開発

図 2.3-2-1 に体制図を示す。高度解析技術開発については、放射光、中性子、核磁気共鳴 (NMR)、精密充放電計測、透過型電池顕微鏡 (TEM)、計算科学からなる「解析技術開発グループ」と、解析技術を電池挙動解析に適用する「解析技術活用グループ」で構成される。それぞれの研究開発テーマごとにテーマダイレクター (TD) を任命し、研究テーマへ貢献できるサテライト機関 (大学、研究機関) 並びに企業が研究者・エンジニアを派遣し、研究開発を進める連携体制を構築している。



図 2.3-2-1 高度解析技術開発における実施体制

2. 3-3 研究実施体制の詳細 革新型蓄電池開発

体制図を図 2.3-3-1 に示す。

革新型蓄電池開発については、電池内のキャリアとなるイオン種によって、アニオン移動型蓄電池とカチオン移動型蓄電池に大別される。アニオン移動型蓄電池は京大集中拠点をベースに、またカチオン移動型蓄電池については産総研集中拠点をベースとし、各々グループリーダー (GL) を任命してその GL の指導の下、それぞれの研究開発テーマごとにテーマリーダー (TL) を任命し研究開発が進められた。革新型蓄電池開発においても、高度解析技術開発と同様に、研究テーマへ貢献できるサテライト機関 (大学、研究機関) 並びに企業が研究者・エンジニアを派遣し、研究開発を進める連携体制を構築している。

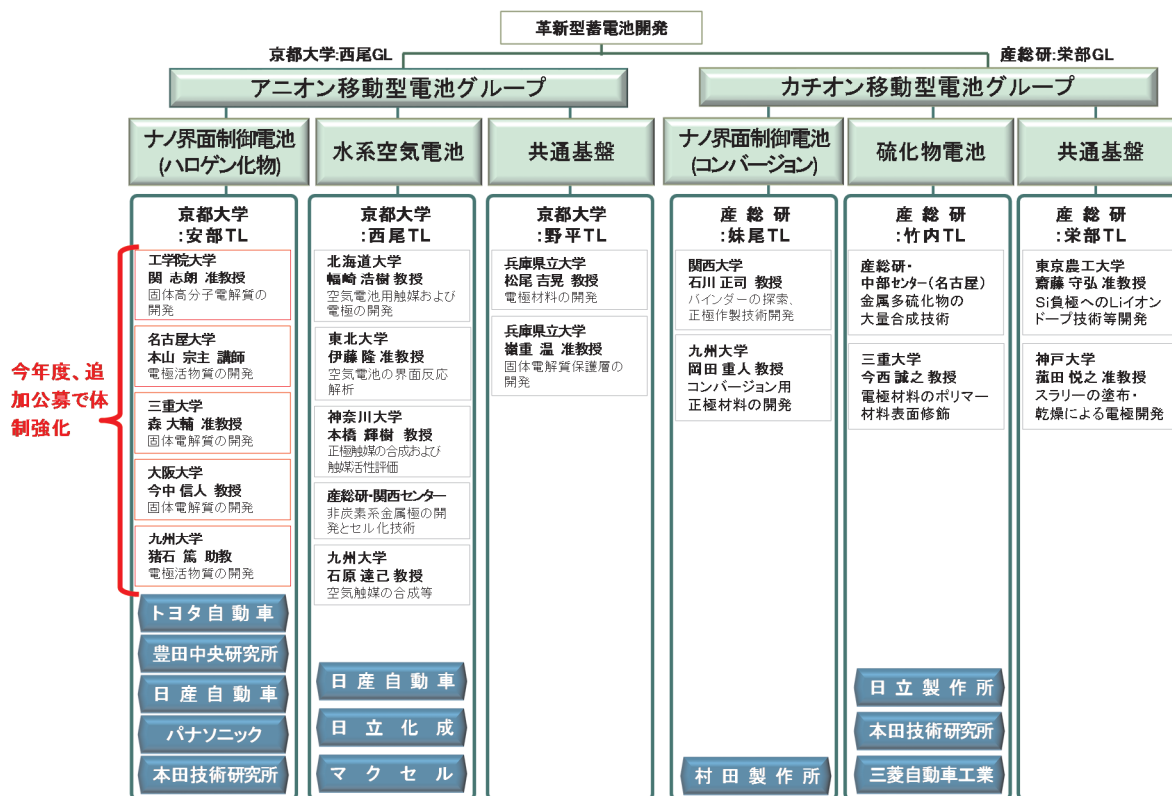


図 2.3-3-1 革新型蓄電池開発における実施体制

2. 3-4 実施体制の強化（追加公募）

ナノ界面制御電池（ハロゲン化物）は、Li イオンに変わりハロゲンアニオンをキャリアとするユニークな電気反応機構を有しており、高容量な電池の実現が期待される。

反面技術ハードルは他の電池系と比べても非常に大きく、特に要素材料の研究の進展が大きな課題となっている。特にハロゲンアニオンが高速に移動できる有望な電解質材料候補が乏しいことが懸念材料であった。そこで、要素材料の研究者を広げサテライト拠点の機能を強化するとともに、要素材料技術の底上げを図るため、今回『ハロゲン化物電池』において追加公募を実施した。公募内容は以下の通りである。

公募内容

フッ化物イオン伝導型全固体電池に適用する電極活物質・電解質材料、電極活物質-電解質界面における電気抵抗の低減技術、合剤電極およびセル構造等について検討し、小型セルを用いた技術検証に貢献できる要素材料技術。

【公募内容の例】

- (1) 合剤電極内の電極活物質比率を 50%以上に向上させる技術。
- (2) 電極活物質の利用度を 60%以上に向上させる技術。
- (3) 電極活物質-電解質界面における電気抵抗に優れた界面抵抗を $100 \text{ } \Omega \text{ cm}^2$ 以下に低減する技術。
- (4) フッ化物イオン伝導度 10^{-6} S/cm 以上を有する固体電解質の技術。
- (5) 電位窓として 3.5V 以上を有する固体電解質の技術。
- (6) 酸化・還元耐性に優れるフッ化物イオン伝導型である固体電解質の技術。

公募結果

前頁の図 2.3-1-1 に示すように、有望な技術を有する 5 大学を委託先として選定した。これにより、ハロゲン化物電池の研究加速を図る。

2. 4 研究開発の進捗管理の妥当性

2. 4-1 NEDO・研究実施者による進捗管理

NEDOのプロジェクト管理概要を図2.4-1-1に示す。各実施者の目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果、産業界への技術移転なども考慮しながらプロジェクト進捗を管理。主な特徴は以下のとおりである。

- 京大拠点に常駐者を派遣。研究現場との密接なコミュニケーションを強化。
- マネジメント層による進捗会議を毎月開催し、マネジメント案件を迅速にプロジェクト運営に反映。
- 技術グループ毎に担当者を配置し、月度で開催される研究進捗報告会へ参加。最新の技術情報をプロジェクト運営に反映。
- 個別実施者から毎月予算執行状況についてヒアリングを実施。研究遅延の発生を事前に察知し、プロジェクト運営にただちに反映を行う。

また、加速予算の投入により、設備の前倒し導入を図るとともに研究加速を実施した。加えて、技術動向の調査を行い、最新の動向をプロジェクト運営に反映した。

	2016年度			2017年度			2018年度														
	4月	5月	6月	4月	5月	6月	4月	5月	6月												
全体	H29年度～予算要求 2017年度予算調整			H30年度～予算要求 2018年度予算調整			H31年度～予算要求 2019年度予算調整														
定例会議	2016年度総括 2017年度計画と協力依頼			2017年度総括 2018年度計画と協力依頼			2018年度総括 2019年度計画と協力依頼														
GL会議	4/5	5/11	7/4	10/12	1/10	4/7	6/16	8/18	10/18	12/18	2/15	4/10	6/8								
拡大月例会議	4/12 4/19 4/25			5/12 7/10			9/25 11/20 1/15			4/10 6/8											
シンポジウム	宇治 内閣シンポジウム			(産総研) 内閣シンポジウム			宇治 内閣シンポジウム			(吉田) 内閣シンポジウム											
成果報告書等	中間年報 実績報告書			中間年報 実績報告書			中間年報 実績報告書			中間年報 実績報告書											
成果発信 広報活動	11/3 JST/NEDO 合同WS			5/28-6/1 ECS			10/1-6 ECS			11/15 電池討論会 ナショナルプロジェクト (MEXT・JST・NEDO)合同 セッション			9/26 NEDO成果報告会								
規定・運用など	10/2-7 PRIME 11/29-12/1 電池討論会			3/25-27 電気化学会			9/10-11 電気化学会			11/14-16 電池討論会			3/9-11 電気化学会			5/13-17 ECS			11/27-29 電池討論会		

図 2.4-1-1 NEDOのマネジメント管理概要

実施者における進捗管理を表 2.4-1-1 に示す。

年 1 回のペースで開催する会議として「運営会議」を設置している。ここでは各企業の役員レベルの方々には御参加頂き、大所高所からの御意見を頂戴している。それを、本事業の進め方の中において、特に大方針へ反映させている。

ほぼ四半期毎に開催する会議として「企画会議」「推進会議」を設置している。前者においては、参画企業の方々に御参加頂き、プロジェクトマネジメントについて議論を進めている。ここで頂戴した意見は、特に本事業における中方針へと反映される。後者においては、参画企業のみならずサテライトの研究者にも御参加頂き、技術情報の共有ならびに技術議論をおこなっている。

次に、毎月開催する会議として「GL 会議」「月例会議」を設置している。前者では、PL、SPL、GL、NEDO 京都分室メンバーによりプロジェクトマネジメントについて議論を進めている。ここでは特に、日々の事業運営に係る詳細な課題の解決を図っている。後者は、高度解析、各革新電池、共通基盤技術のチーム単位にて、情報共有および技術議論を目的に進めている。

最後に不定期開催とはあるが、「金曜会」を設置している。ここでは、本事業内で共有すべき情報（例えば学会聴講結果など）について伝達が図られている。

表 2.4-1-1 実施者（京都大学）における進捗管理

名称	目的	回数	参加者							
			PL・SPL	集中拠点担当役員	企業技術担当役員	企業技術開発責任者	PM・SPM	GL	TL・TD	サテライト研究担当者
運営会議	本プロジェクトの成果および蓄電池産業の状況を踏まえ、運営上の課題解決に向けた基本的事項、重要事項を決定する。	年1回	○	○	○	△*1	○	△*2	—	—
企画会議	運営会議での決定事項を本プロジェクトにおいて円滑に実施するための方策を決定する。	年3回	○	—	—	○	○	○	—	—
推進会議	本プロジェクトの研究進捗について、サテライトを含むプロジェクト参加者全体での情報を共有する。	年3回	○	—	—	○	○	○	○	○
GL会議	マネジメント層による、プロジェクトの進捗管理・運営を論議・決定し、遂行する。	月1回	○	—	—	—	—	○	—	○
月例会議	各研究グループ毎で開催。研究進捗についての成果の共有と進捗管理を行う。	月1回	○	—	—	—	—	○*3	○*3	○*3
金曜会	プロジェクトに係る最新の研究成果について、プロジェクト従事者間で情報を共有すると同時に、情報の可用性拡大を図る。	不定期開催	○	○	○	○	○	○	○	○

*1 オブザーバーとしての参加。*2 PLの判断で必要な場合に参加。*3 各担当Grに参加。

2. 4-2 有識者会議の設置・運営

本プロジェクトでは、表 2.4-2-1 に示す電池技術に関する有識者 10 名で構成される「有識者会議」を設置・運営し、技術的な助言およびプロジェクト全体の運営管理等に関する助言を頂き、プロジェクト運営・推進に関する留意点や対応すべき点について検証を行ってきた。

これまで 2 回有識者会議を開催し、様々な評価コメントを頂いた。その内容と、各コメントに沿って対応した対処方針などを表 2.4-2-2 にまとめた。各コメントに対して対処方針を検討し、計画や運営などに反映を実施した。

表 2.4-2-1 有識者会議のメンバー構成

	氏 名	所 属
議 長	山地 憲治	地球環境産業技術研究機構 理事・研究所長
副議長	横山 明彦	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授
委 員	武田 保雄	三重大学 参与
	竹田 美和	あいちシンクロトロン光センター 所長
	太田 健一郎	横浜国立大学大学院 名誉教授
	桑野 幸徳	太陽光発電技術研究組合 名誉顧問
	佐藤 祐一	神奈川大学 名誉教授
	太田 璋	前 技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター 専務理事
	秋田 調	電力中央研究所 常務理事
	松本 孝直	電池工業会 部長

表 2.4-2-2 有識者会議での指摘事項とその対応

	開催日	指 摘 事 項	対 応
第 1 回	2017 年 5 月 9 日	<ul style="list-style-type: none"> 企業への技術移転を視野に入れ、エネルギー密度以外の技術構築についても議論し助言を頂いた。 国際シンポジウム開催について助言を頂いた。 テーマの絞り込みについてご意見を頂いた。 	<ul style="list-style-type: none"> NEDO による企業個別訪問を実施し、企業のニーズを抽出し、今後のマネジメントに反映。 国際シンポジウムの開催 (2018/6/23) BMBF ワークショップの継続。 中間評価において、必要に応じて判断を行う。
第 2 回	2018 年 4 月 27 日	<ul style="list-style-type: none"> 個々の電池技術の進捗状況を理解いただき、今後の進め方も含め幅広く助言・意見を頂いた。 高度解析技術について、開発した評価法の革新型蓄電池への適用の強化と、相互の技術補完に関して意見を頂いた。 	<ul style="list-style-type: none"> 今後の研究推進に反映。 高度解析技術グループ内で課題を共有し、グループ内の活動方針へ反映した。

2. 4-3 拡大月例会議の新設

特に、実施者による本プロジェクトの進捗管理では、前プロジェクトでの研究開発の進捗確認や議論の場であった「幹事会」を参考に「拡大月例会議」を新設して、参画企業との密接なコミュニケーション場を設定し、産業界との連携強化を図った。拡大月例会議とは、PL、SPLをはじめTL以下テーマ所属研究員・サテライト研究員に加えてテーマに参画する企業技術開発責任者・NEDOを加えたメンバー構成によって技術論議を行うものである。研究テーマ毎に開催される月例会議の場を活用し、年3〜4回開催される。ここでは、最新の研究成果を参画企業と情報を共有し、技術的な助言や取り組み方針に関する助言・指摘を受けながら、各個テーマの研究開発を推進できる。

この新たな試みは参画企業に好評で、以下のとおり好意的な反響を頂いている。

- これまでに比べて情報交換の機会が増え、さらに技術情報を共有できるスピードが高まった。
- 参画企業の声を通り易くなった。
- 拡大月例会議にエース級の研究者が関与しており、研究成果の創出が加速されるようになった
- 解析技術者と電池開発者の技術交流の場として有効活用されている。

2. 5 知的財産等に関する戦略の妥当性

基本方針を以下に示す。

- ① オープン／クローズの考えに基づく情報管理と運営
- ② 柔軟な出願形態
- ③ 戦略的な特許出願

①の方針として、まず留意している点は、オープン（論文・学会等による発表）にする領域と、クローズ（秘匿すべき情報、特許権等による独占）にする領域を適切に使い分けることである。そして、実施者個別のオープン／クローズ戦略を尊重しつつ、実用化・事業化に際して根幹となるものは積極的に知財を確保するよう指導している。

②の方針については、研究拠点、サテライト、参画企業について個別出願または共同出願を適宜、柔軟に選択することが可能となるようにしている。

③の方針については、各実施者の特許出願・権利化動向を把握しつつ、今後主要な市場形成が見込まれる海外への出願を積極的に推進しているものである。

実施者（PL）では、下記を実施することになっている。

- 知財運営委員会の設置
- RISING2 知財運用規定の整備
- 特許に適さない情報を「ノウハウ」として運用・管理する制度の設置
- 特許技術動向調査

第3章 研究開発成果について

3.1 高度解析技術開発

3.1-1 研究開発成果のまとめ

成果まとめ及び中間目標に対する達成状況について下表に示す。表に記載するように、中間目標を達成した。

表 3.1-1-1 高度解析技術の成果まとめ

中間目標	成 果	達成度
<p><u>目標 1</u></p> <p>開発中の解析技術を組み込んだ計測分析装置・設備の設置を完了する。</p>	<p>放射光) イメージング HAXPES 装置の導入、共焦点 XRD 装置の導入。 軟 X 線) 超軟 X 線 XAFS 測定系。 中性子) 透過ビームモニタ、7 軸ゴニオメータなど。 核磁気共鳴) 7T 磁場用の新たな固体 NMR 測定システム。 電子顕微鏡) 世界最高の分解能を有する新規収差補正装置。 電気化学測定) 放射光 operando 測定時に並行して測定可能である矩形波インピーダンス測定システム。 ラマン分光) 可動式電場素子実装セル。 計算科学) 第一原理計算(電極+反応部分)と古典溶液論(反応周辺の溶質部分)とのハイブリッド計算法。</p>	○
<p><u>目標 2</u></p> <p>また、開発中の解析技術を用いて、「研究開発項目② 革新型蓄電池開発」で開発する革新型蓄電池の解析評価に着手していること。</p>	<p>放射光) X 線 CT による水系空気電池の亜鉛負極断面観察手法を確立。 軟 X 線) 硫化物電池およびハロゲン化物電池について新規負極材料などの軟 X 線 XAFS 測定を実施し、軟 X 線 XAFS 革新型蓄電池材料評価技術を確立。 中性子) 中性子結晶構造解析から直接 MEM 解析する手法を開発。このデータからハロゲン化物電池の固体電解質中のフッ素イオン伝導経路を予測する解析法を確立。 核磁気共鳴) ^{19}F NMR 測定によるハロゲン化物電池の電極材料/固体電解質の構造解析を実施。 電子顕微鏡) 水系空気電池の亜鉛極での反応モデルの観察法を検討。 電気化学測定) コンバージョン電池の FeF_3 正極でインピーダンス測定を行い、低周波数領域に拡散に起因する特徴的なインピーダンス挙動を確認。 ラマン分光) 水系空気電池の亜鉛負極表面における水酸化物イオンのその場ラマン分光測定技術を確立。 計算科学) コンバージョン電池の正極である FeF_3 について、Li 挿入・脱離状態での X 線吸収端近傍微細構造 (XANES) を、第一原理計算を用いて解明。</p>	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

また、下表に示すように一部の最終目標については既に前倒しで達成した。

表 3.1-1-1 高度解析技術の成果まとめ

最終目標（抜粋）	成 果	達成度
<p>革新型蓄電池の高性能化や高耐久化を実現する実セル及び電極の設計・製造に活用可能な新規の解析技術を開発する。</p> <p>なお、上記の解析技術には、空間分解能で10マイクロメートル、時間分解能で10ミリ秒、<u>深さ分解能で10ナノメートルを超える技術が含まれるものとする。</u></p>	<p>HAXPES と軟 X 線を組み合わせた測定装置において10nmの深さ分解能を達成。</p>	<p>◎</p>

3. 1 - 2 研究開発成果

(1) 目標1（表 3.1-1-1 参照）に関する成果

SPring-8 BL28XU に既設の HAXPES 装置に、軟 X 線源を備えることで、入射エネルギーを変えて深さ方向の分析ができるようにした（図 3.1-2-1）。また、蓄電池分析のためにグローブボックスから大気非暴露で真空チャンバー内の測定槽まで試料を搬送できるように、トランスファーベッセルを追加した。このトランスファーベッセル部分を従来の SUS 製から高強度ガラスに変更して、ユーザーが試料の移動を見ながらできるように改良した。

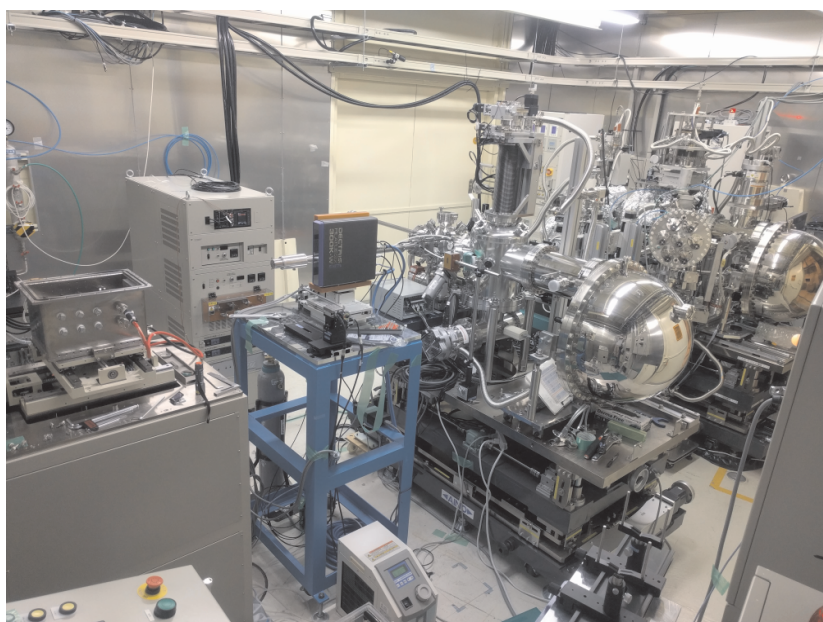


図 3.1-2-1 導入した HAXPES 装置

外部温度に応じた電池内部の反応メカニズムの変化や各反応ステップにおける活性化エネルギーを明らかにするためには、電極反応が再現性良く進行するために電池を拘束しつつ、外部温度を変えて、operando 計測を行う必要がある。そこで、 -10°C の低温から 300°C の高温までの範囲で operando XRD 計測が可能なラミネートセル用の新規治具の開発を行った。低温対応治具は、 -10°C から室温まで温度を変えることができ、特に 0°C 以下の時にラミネートセル表面での結露を防ぐために冷却部分が大気に触れないようにし、シリカゲルを用いて湿度を低減させた。高温対応治具は、室温から 300°C まで温度を変えることができ、高温時に回折計に熱が伝わらないようにするために、断熱と排熱機構の工夫を行った。さらに、新規治具は従来の治具よりも均一に電極反応を進行させるために、ネジとトルクレンチを用いたセル拘束ではなく、バネを用いることで、再現性良くセル拘束ができるようになり、従来よりも高レートで充放電試験を行うことが可能になった。以上の開発により、 -10°C から 300°C までの operando 共焦点 XRD 測定や operando XRD & XAFS 同時測定が利用できるようになった (図 3.1-2-2)。

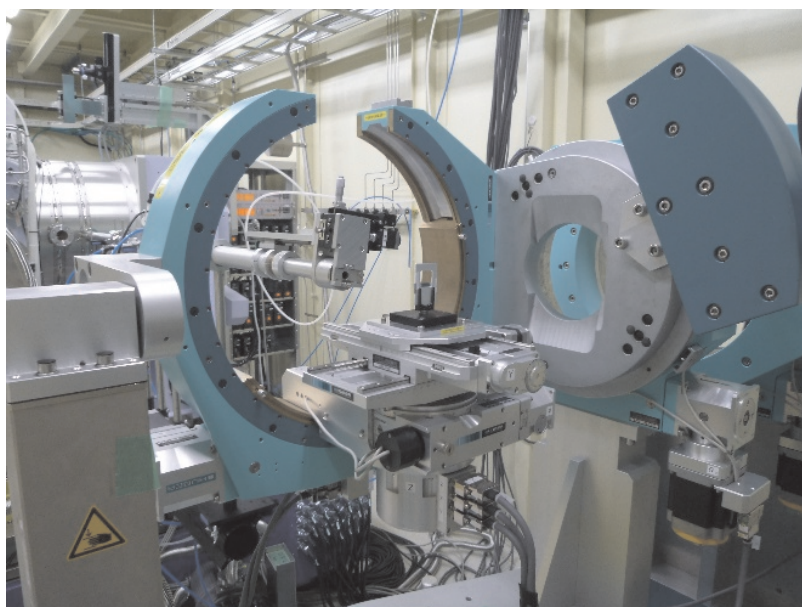


図 3.1-2-2 導入した共焦点 XRD 装置

宇治拠点で開発されているフッ化物全固体電池の超軟 X 線 XAFS に特化した超軟 X 線 XAFS 測定系を開発した (図 3.1-2-3)。通常、超軟 X 線 XAFS 用測定チャンバーはビームライン、光学素子の汚染を避けるため、ビームライン上流から末端の測定室まで超高真空環境の真空チャンバーで構成されている。しかし、フッ化物全固体電池はその動作に 140°C 程度の加熱が必要で、大量の脱ガスは避けられない。また、超軟 X 線の低い透過能のために電池系を密封した状態では高精度な超軟 X 線 XAFS スペクトルを得ることは困難である。そこで、この問題を克服し、フッ化物全固体電池の operando 超軟 X 線 XAFS 測定を可能な測定系を開発した。

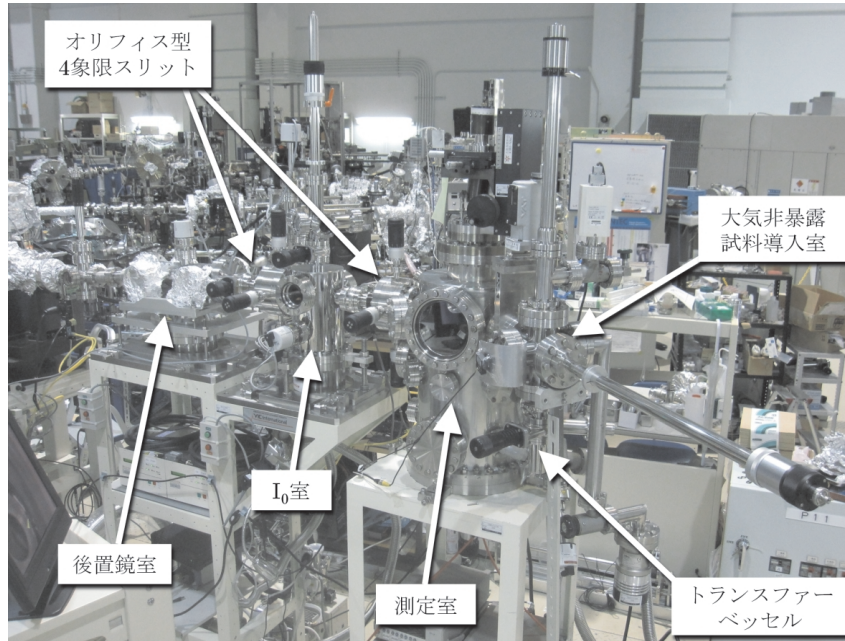


図 3.1-2-3 導入した超軟 X 線 XAFS 測定系

NMR によるダイナミクス研究の推進と測定の効率化を目的として、7 T の NMR 装置を構築した(図 3.1-2-4)。14 T の NMR プローブをそのまま使える 7 T の大口径磁場と 7 T での ^{19}F 観測に必要な NMR 用高出力アンプを導入するとともに、NMR 分光計を作製し、その他の材料 (信号用アンプ、周波数フィルターなど) と併せて 7 T NMR 装置を構築した。作製した 7 T NMR 装置で ^{19}F 信号が観測できること、ラジオ波パルス強度として目標であった 1mT を超えた 5.5 mT を確認した。

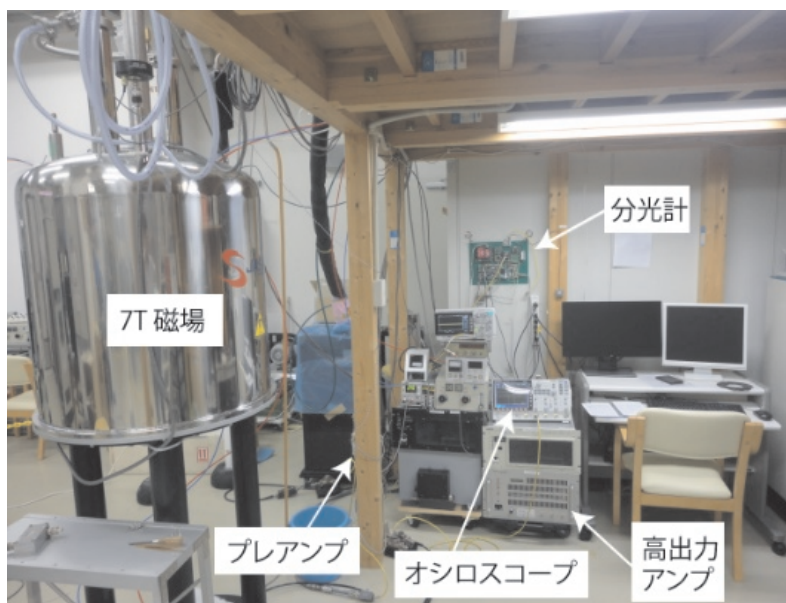


図 3.1-2-4 導入した 7T 磁場 NMR 装置

12 極子-3 段の DELTA 型収差補正装置を加速電圧 300keV の STEM (JEM-ARM300CF) へインストールした (図 3.1-2-5 (a)、(b))。大収束角を実現するためには、(b)に示すような多段レンズを高精度に調整する必要があり、光学系の最適化を主に行った。革新型蓄電池では電子線照射ダメージに弱い材料も多く、低加速電圧での原子分解能観察が重要である。そこで光学系の調整に際しては、40, 60, 80, 120 keV でも原子分解能観察が実施出来るようにレンズ調整を行い、ダメージの少ない顕微鏡法の技術開発も合わせて行った。収差補正度を判定する方法の 1 つに Ronchigram による計測がある。入射電子線の位相が揃った領域が広いほど優れた性能を示すが、図 3.1-2-5 (c) に示すように新規に導入した装置により収束角 (α) が従来の 2 倍以上である 70 mrad (300 keV) の領域まで広がっていることが確認でき、当初の技術開発目標を達成した。大収束角を利用することにより、本技術開発目標である深さ分解能の向上に加え、面内の分解能も向上することが期待される。そこで窒化ガリウムの [212] 入射方向から環状暗視野法を用いた観察を行い、図 3.1-2-5 (d) に示すように 40.5pm の空間分解能を達成した。これは従来報告されていた 44pm から大幅に改善され 2018 年度で世界最高の分解能であり、日本経済新聞にも報道された。

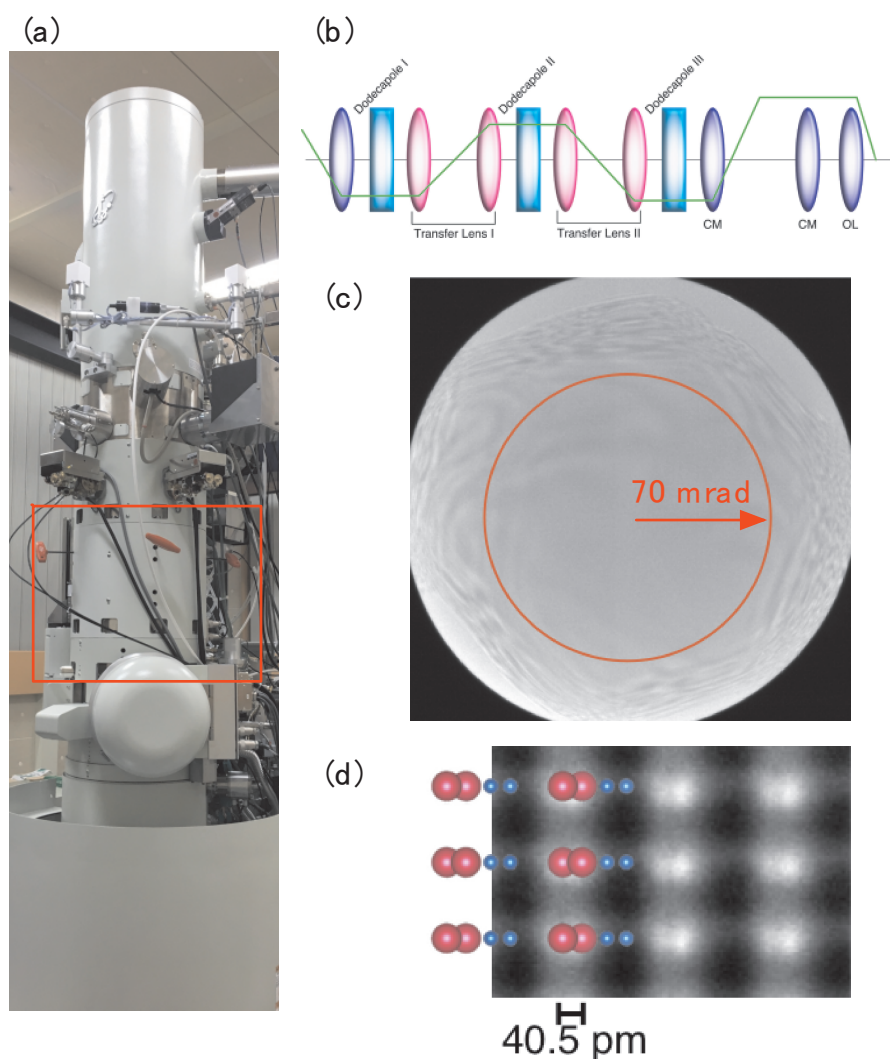


図 3.1-2-5 導入した透過電子顕微鏡

(2) 目標2 (表 3.1-1-1 参照) に関する成果

放射光解析技術において、車載用電池にて使用される環境と使用条件によって金属リチウムが負極上に析出する「リチウム電析」(以下電析と呼ぶ) 事象が発生する。この事象は電池性能を損ない信頼性を低下させる可能性があるため、電析をさせない電池マネジメントや電池仕様開発が求められる。これまでの解体解析により電析が発生しやすい電池内の部位があることが分かっており電池内の活物質の反応分布が電析の原因になっていると推定されるが、詳細なメカニズムは解明されていない。そこで、電析メカニズムの解明のためには動作中の電池を非破壊で解析できる operando 測定手法が有効な手段となる。まずは、これらの解決に向け、高エネルギービームライン (BL04B2) での実電池 operando XRD 測定手法を確立するため、ダブルスリットによる共焦点光学系を通して0次元 CdTe 検出器で手法の確立を目指した。実電池面内の幅 24 mm 高さ 29 mm の領域に 72 点の測定点を設定し、各点を巡回しながら operando XRD 測定を行った。Li (110) ピークの強度から求めた金属リチウム量の面内分布を図 3.1-2-6(a) に示す。観測領域の下辺付近(捲回体の湾曲部に相当) に金属リチウムが偏在しており特に左下隅に集中していることが分かった。また、活物質の 101 と 006 の回折角から求めた同じセルの正極 SOC の面内分布 (図 3.1-2-6(b)) から、観測領域において SOC は上下限で 30%以上偏っていることが分かり、リチウム電析と正極 SOC との間に相関があることが分かった。本技術は、リチウムを利用するコンバージョン電池、硫化物電池の負極解析への適用が可能である。

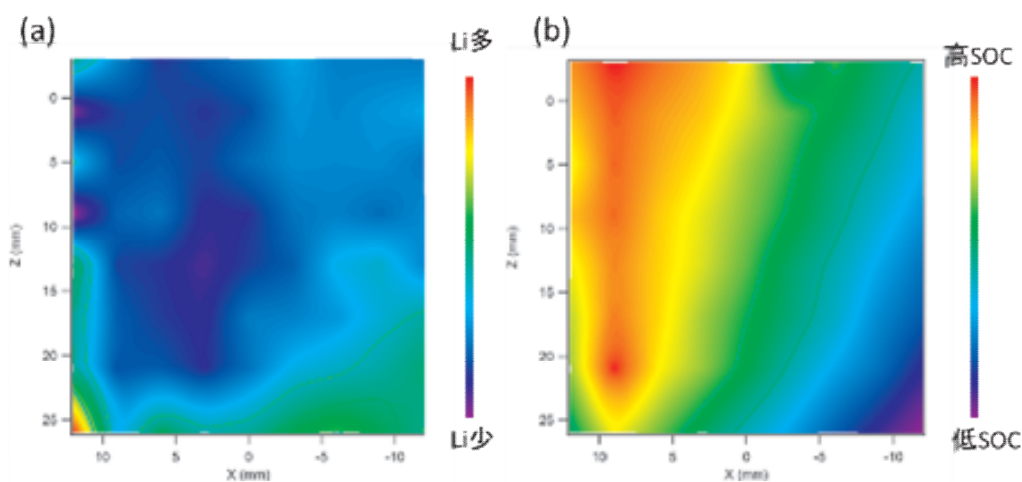


図 3.1-2-6 LIB における X 線回折によるリチウム電析定量化結果

中性子高度解析技術においては、ハロゲン化物電池の活物質である γ -PbSnF₄ の回折データから、 $S(Q)$ および $g(r)$ データを求め、RMC モデリングにより、F イオン、Pb、Sn および空孔分布について可視化した (図 3.1-2-7)。前述した結晶構造解析 (リートベルト解析) では、原子位置を平均的な描像 (平均構造) として取り扱っているため、局所的な乱れ (ランダム構造) を可視化することは難しい。しかしながら、今回開発したランダム系構造解析技術を用いることで、実際には F イオンの分布が乱れていることを示すことができた。

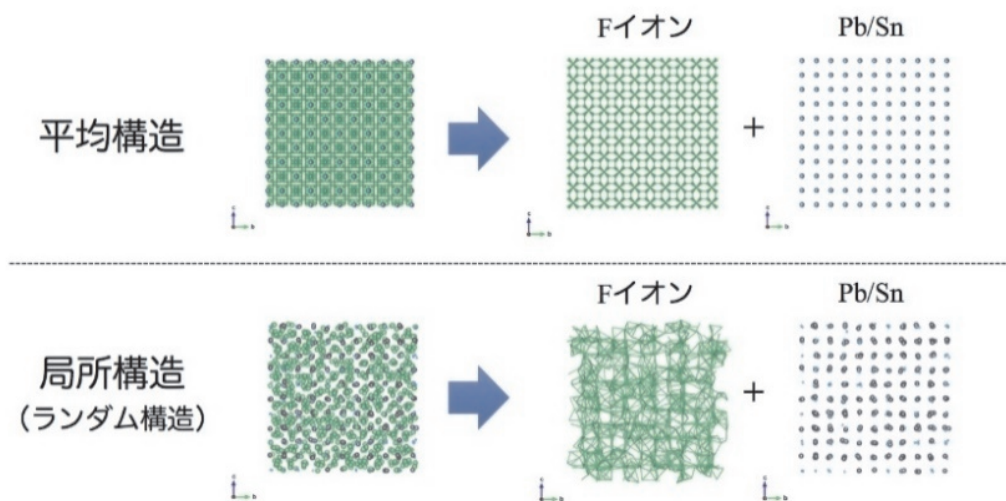


図 3.1-2-7 中性子回折と RMC モデリングによる γ -PbSnF₄ の構造解析結果

核磁気共鳴高度解析技術においては、ハロゲン化物電池の活物質であるタイソナイト型構造の LaF₃ の NMR スペクトルを図 3.1-2-8 に示す。常磁性種を含まないことから、サイドバンドパターンを示さず、3つのフッ素サイトが明確に分離観測される。これらの信号 F1~F3 は量子化学計算から帰属することができている。このように3サイトで分離した NMR ピークが観測されることから、LaF₃ の F1~F3 は交換運動を行っていないと考えられ、交換しているとしても交換速度は 5 kHz (化学シフト差) より充分遅いことが分かる。従ってフッ素の拡散は同じサイト間で行われていることが明確に示された。

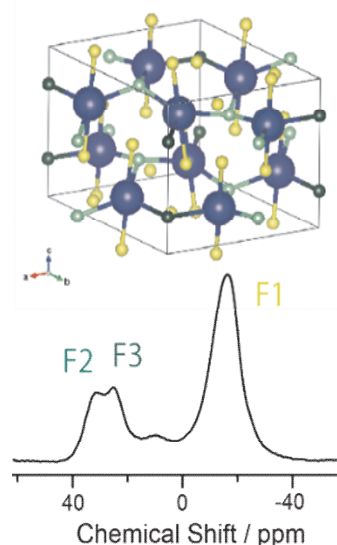


図 3.1-2-8 NMR による LaF₃ の結晶構造の解析結果

電子顕微鏡測定技術開発において、図 3.1-2-9 に示すように、水系空気電池の負極である亜鉛の析出過程のその場 TEM 観察を実施した。それぞれ電圧印加から 1、2、4、6 秒後の同一視野像である。像中下部の暗い領域が Pt 電極に相当し、視野全体が電解液中に浸漬された状態にある。図中矢印で示す部分が dendrite 核に相当する微結晶で、時間が経つにつれ徐々に数が増え、かつ各核が成長して樹状に伸びる様子が捉えられている。また核形成と同時に電極表面での層状の析出も観察された (図 3.1-2-9 の 1、2 秒後)。この後、印加電圧の極性を反転すると、電極上に析出した亜鉛の溶出過程も観察された。さらに析出/溶解のサイクルを繰り返したところ、dendrite 核が発生する場所は毎回ほぼ同一であることが判明した。

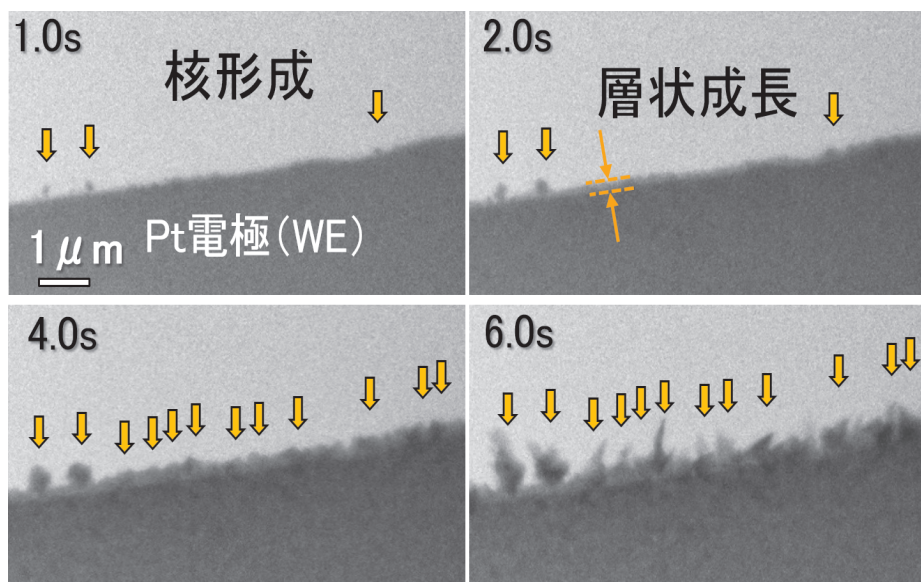


図 3.1-2-9 電解液中での亜鉛 dendrait 成長のその場 TEM 観察像

3. 2 革新型蓄電池開発

3. 2-1 研究開発成果のまとめ

成果まとめ及び中間目標に対する達成状況について下表に示す。目標を大幅達成している項目もあるが、それは300Wh/kgという数値を、最終目標に示される5Ahを超える容量のセルで達成したためである。

表 3.2-1-1 革新型蓄電池の成果まとめ

中間目標	成果と達成度	ハロゲン化物電池	水系空気電池	コンバージョン電池	硫化物電池
<p>開発した共通基盤技術を基に試作した実セルで重量エネルギー密度 300Wh/kg 以上が得られていることを確認する。</p> <p>また、当該蓄電池の性能・耐久性等の支配因子とその影響度を把握し、最終目標を満足させるための技術開発の方向性を提示すること。</p>	成果	<p>銅正極を初めとする材料を用いて、圧粉型電極を作製。世界トップレベルとなる性能を実証。ただし、コイン電池において 100 Wh/kg とエネルギー密度目標は未達。</p> <p>金属と金属フッ化物を複合化する、金属フッ化物から欠陥を作るなどにより、フッ化物イオン伝導性がほとんどない活物質でも使用可能であることを示してきた。この成果は、今後の新しい電池開発につながる大きな発見である。</p>	<p>単位面積当たり容量の高い厚膜亜鉛極及び新規な触媒を用いた長寿命炭素系空気極を開発。結果として、8Ahセルにおいて 311Wh/kg を達成。</p> <p>亜鉛極、空気極及びセルに関して、電極構成材料（触媒種、炭素、結着剤）、電極組成、電極構造が性能、耐久性に与える影響を詳細に検討。特に亜鉛極については、高度解析を活用して断面X線CT観察法を確立。亜鉛偏析が劣化要因であることを解明。</p>	<p>FeF₃ 活物質へのガラス混合により正極特性が大きく向上。結果として、6 Ah級セルにおいて 319 Wh/kg を達成。</p> <p>FeF₃ へのガラス混合による非晶質化が耐久性向上に寄与することを確認した。また、充放電サイクルを重ねるごとに、FeF₃表面がFeを含まない皮膜に覆われることが劣化要因であることを解明。</p>	<p>VS₄ 活物質の非晶質化により正極特性が大きく向上。結果として、8 Ah級セルにおいて 314 Wh/kg を達成。</p> <p>VS₄ 活物質の非晶質化が耐久性に寄与することを確認した。また、活物質表面をTiO_x皮膜で保護することにより硫黄溶出を抑え耐久性が向上することも分かっている。</p>
	達成度	○	◎	◎	◎

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

3. 2-2 研究開発成果の一例

(1) ハロゲン化物電池について

ハロゲン化物電池は金属ハロゲン化物(金属フッ化物、金属塩化物他)を活物質として利用し、塩化物イオン、フッ化物イオンをキャリアーとする電池である。層状活物質を利用する従来のリチウムイオン電池と比較して、理論容量は遥かに高く高エネルギー密度型電池として期待されている。一方で、金属ハロゲン化物はイオン導電性が乏しい等の技術課題が存在する。

本事業(RISING2)の前身であるRISING事業においては、薄膜型電極および電池による評価を進めた。結果として、銅正極において充放電挙動を確認するという成果を得た。しかしながら、実セルの構築、その大型化等、実用化を視野にいたした場合、薄膜型電極での取組には困難がともなう。それを踏まえ本事業においては、活物質及び導電助剤等を圧粉することにより電極を作製することを試みた(圧粉型電極)。研究開発の結果、フッ化銅にイオン導電性を付与することに成功した(詳細は後述)。その銅正極を初めとする材料を用いて、圧粉型電極を作製することに成功し、その電極を利用したコイン電池を構築した。図3.2-2-1に実セルの外観写真を示す。結果として、世界トップレベルとなる性能を実証することができた(図3.2-2-2)。ただし、コイン電池において100 Wh/kgとエネルギー密度の目標は未達である。追加公募により増強した研究体制をもって、更なる研究開発の加速を図っていく。



図 3.2-2-1 ハロゲン化物電池

実セルの外観

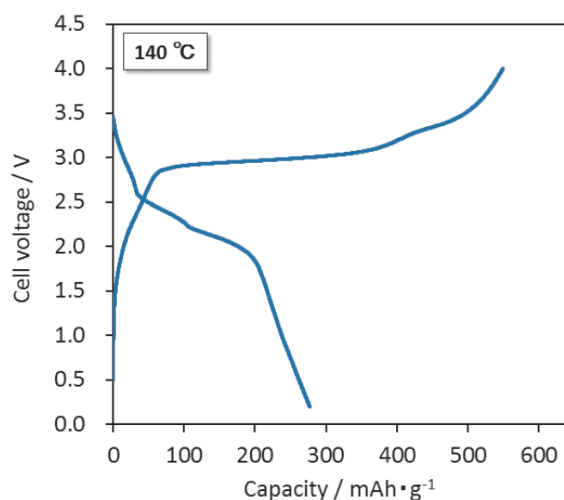


図 3.2-2-2 ハロゲン化物電池 実セルの充放電特性

今後について記載する。銅正極はフッ化されフッ化銅になると絶縁体となり、フッ化物イオン導電性を殆ど示さなかった。粒子状の活物質を利用する圧粉型電極作製を進める上で、上記課題の克服は必須であった。本事業では、フッ化銅に異種金属(フッ化物)を添加することにより、フッ化銅にイオン導電性を付与することを試みた。従来の銅正極では、充放電ともに動作開始直後から急激に過電圧が上昇し、殆ど電池容量を示さない。それに対して、異種金属を添加した場合は、過電圧が大幅に低下し電池容量を示すようになることが分かる(図3.2-2-3)。つまり、異種金属添加により銅活物質の活性を大幅に向上させることに成功した。結果として、圧粉型電極による動作実証が可能となった。ハロゲン化物電池の研究開発を進める上で、理論容量が大きい

活物質を活用することは重要となる。今回の成果は、活物質の選択範囲を広げるという意味で、大いに有意義なものである。

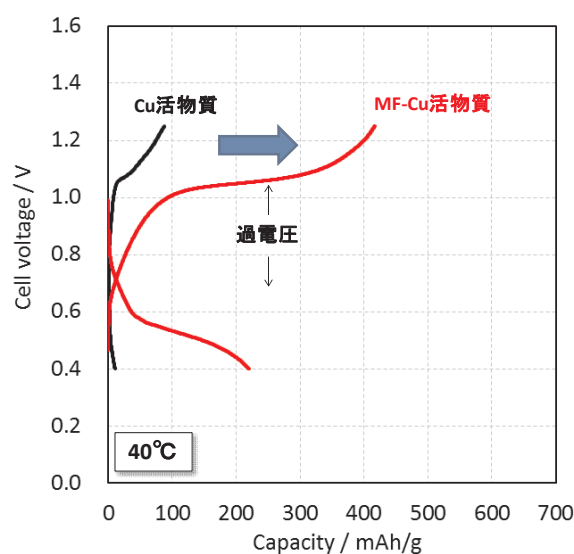


図 3. 2-2-3 フッ化銅への異種金属添加効果

(2) 水系空気電池

空気電池は、大気中の酸素を活物質として利用するため、つまり電池内の正極体積を削減できるため、高エネルギー密度型の電池として期待されている。特に水系空気電池は、非水系の空気電池とは異なり、大気中に含まれる水分の影響を受け難いため、より実用化に適した電池となる。一方、電極構造等が未だ十分に最適化されておらず、期待されるほど実セルのエネルギー密度が高まっていない等、の技術課題がある。

本事業の中間目標であるエネルギー密度 300 Wh/kg 実現が可能となる亜鉛-空気電池のセル設計を行った。また基本計画において最終目標（2020 年度）の実セル容量が 5 Ah 級とされているため、中間評価段階でも 5 Ah 以上の容量を持つセルを開発することを目標とした。

実セル構造は扁平角形とし、亜鉛極を中心に、空気極を両面に配置する構造とした。セルサイズとしては、5~10 Ah の容量を持たせるために正負極対向部分を 5 cm×5 cm (25 cm²) とした。このセルサイズの場合、亜鉛極の単位面積当たりの容量として、200~400 mAh/cm²が必要となる。亜鉛極は酸化亜鉛を活物質とし、短絡防止のため袋状のセパレータで包み込む構造とした。空気極はガス拡散層と触媒層を一体化した 2 層構造の空気極とした。ガス拡散層側に集電体のニッケル網を圧着した。試験セルは各空気極の外気側を端板（アクリル製、厚み 20 mm）で両側から押さえる構造のセルを組み立てた。図 3. 2-2-4 に亜鉛-空気電池実セルの外観写真を示す。

上記の実セルについて、組み立て、性能評価を繰り返して構成の最適化を行った。図 3.2-2-5 に亜鉛-空気電池実セルの充放電曲線の一例を示す。放電容量 8.53 Ah、平均放電電圧 1.09 V、重量エネルギー密度 311 Wh/kg が得られ、エネルギー密度に関しては中間評価の目標値を達成した。また、セルサイズについては最終目標に示される 5Ah を、現時点において超えることができる。

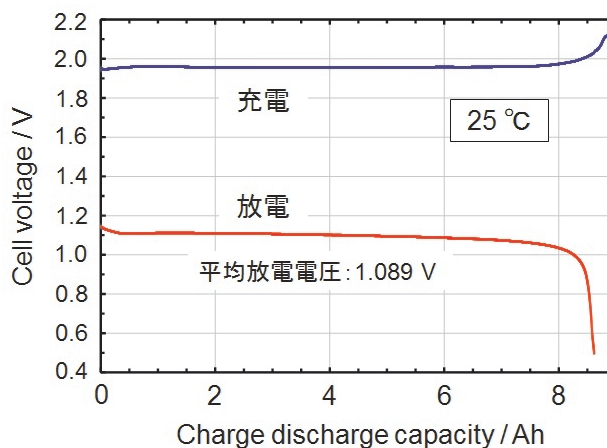
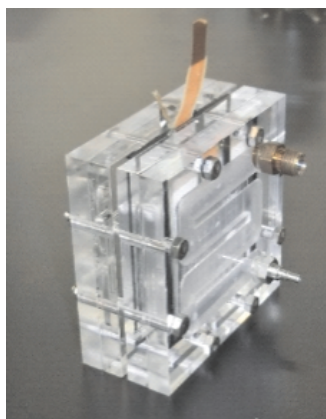


図 3.2-2-4 亜鉛-空気電池
実セルの充放電曲線

図 3.2-2-5 亜鉛-空気電池 実セルの充放電曲線

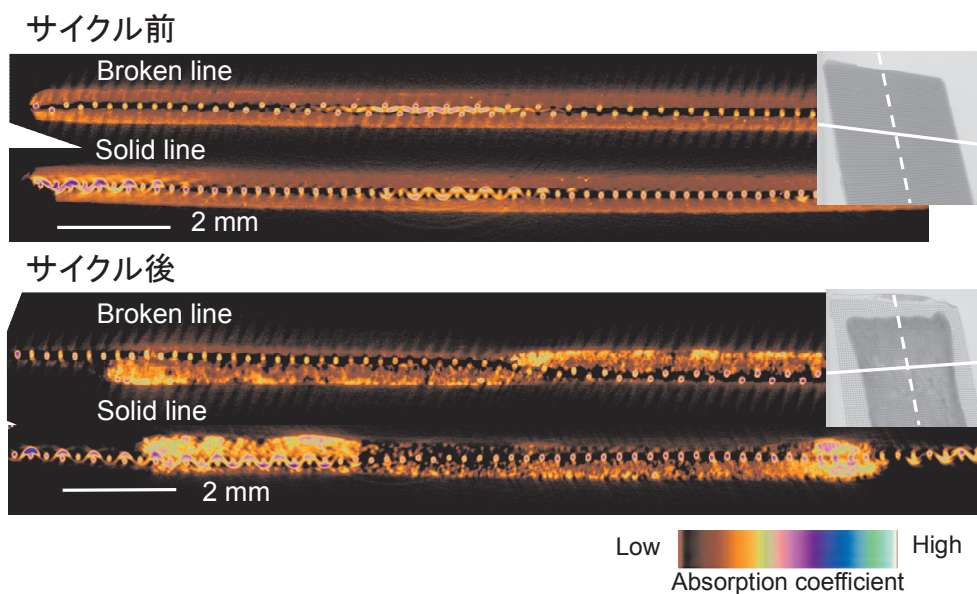


図 3.2-2-6 亜鉛負極断面の X 線 CT による観察結果

今後について記載する。電池の耐久性向上に対して、亜鉛負極のサイクル特性向上が重要となる。具体的には、電池または電極内における亜鉛金属、または亜鉛酸化物の分布状態を詳細に解明することが必要である。そこで、高度解析技術グループと連携し、亜鉛負極断面の X 線 CT 観察技術を確立した。タングステン管球 X 線源を用いた X 線 CT 断面像により、電極端周辺および電極

表面において X 線吸収係数が比較的高い物質の偏析が観察された (図 3.2-2-6)。これは亜鉛金属の偏析によるものと考えられる。従って劣化後において亜鉛金属が酸化亜鉛電極表面に緻密化し、放電反応においても酸化亜鉛パッシベーションにより完全放電出来ないことが示された。

(3) コンバージョン電池

コンバージョン電池では、正極活物質の構造自体が変化するコンバージョン領域まで充放電をおこなう。結果、層状活物質の層間にリチウムイオンを挿入・脱離させる従来のリチウムイオン電池より高い理論容量を得ることが可能となる。一方、正極活物質である FeF_3 の過電圧が大きい、コンバージョン領域まで反応した活物質が元に戻らない、つまり反応可逆性が悪い 等の課題があった。

エネルギー密度向上に向けて、本事業では、活物質の非晶質化による過電圧低減に取り組んだ。具体的には、 FeF_3 へバナジン酸ガラスを添加することにより非晶質化に成功し、活物質レベルでの大幅な過電圧低減を確認した (図 3.2-2-8 中 小図)。それらの活物質を利用して負極とも適合する電解液や部材の選択によりラミネート型実セルを構築した。図 3.2-2-7 に実セルの外観写真を示す。結果として、6 Ah 級セルにおいて 319 Wh/kg のエネルギー密度が得られ、中間目標を達成することができた (図 3.2-2-8)。また、セルサイズについては最終目標に示される 5Ah を、現時点において超えることができている。



図 3.2-2-7 コンバージョン電池 実セルの外観

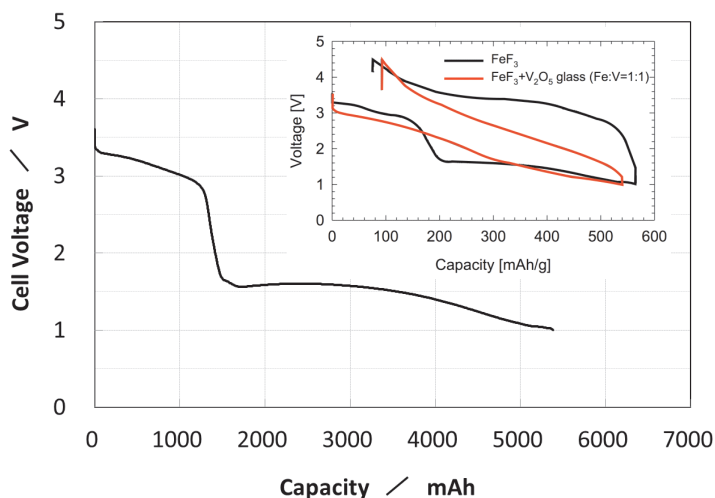


図 3.2-2-8 FeF_3 へのガラス添加効果、およびコンバージョン電池の実セル放電結果

従来の結晶体である FeF_3 正極活物質では、耐久性が低いことが大きな課題となっていた。コンバージョン反応を経ると、結晶構造が元に戻らなくなる、つまり不可逆反応の発生が課題と考えられた。そこで上記 FeF_3 へのバナジン酸ガラス添加による非晶質化で同時に改善を試みた。結果、従来の FeF_3 では結晶粒界が明確に観察されるのに対して、バナジン酸ガラスを添加することより

完全な非晶質体が得られたことを、透過電子顕微鏡にて確認した (図 3.2-2-9)。電池へ適用することにより、この活物質がエネルギー密度のみならず耐久性の向上にも寄与することを確認している。

今後について記載する。車載用電池として各種性能のバランスのとれた高エネルギー密度電池の構築のため、上記のガラスとの複合化に加え、電極構造の改善と全電池反応の把握による特性改善を進める。

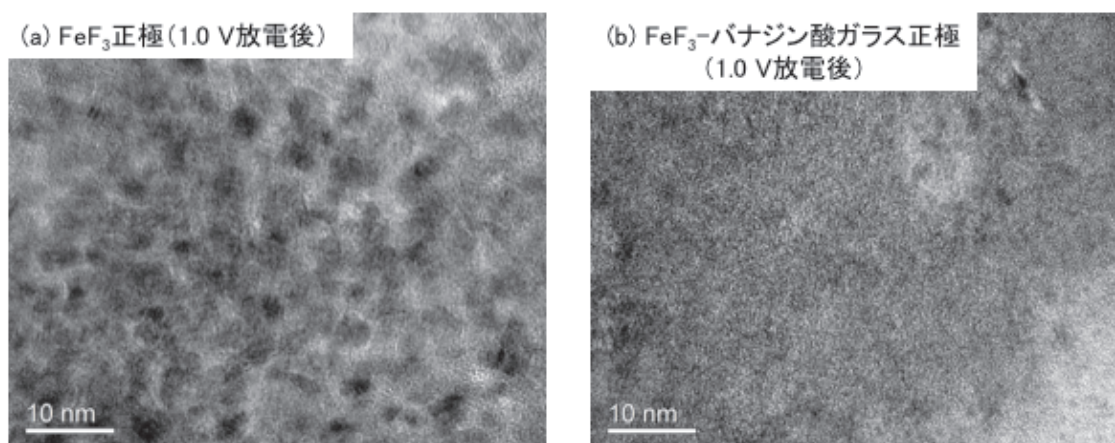


図 3.2-2-9 FeF₃活物質の TEM 観察結果

(4) 硫化物電池

硫黄原子に多数のリチウムを結合させる硫化物電池は、高エネルギー密度電池として期待されている。一方、電極から硫黄が離脱するという大きな課題があり、本事業では金属多硫化物というアプローチで克服するべく研究開発を進めている。

エネルギー密度向上に向けて、正極活物質である VS₄ の過電圧が大きいことが課題となっていた。そこで、メカノケミカル処理により正極活物質である VS₄ の低結晶化を試みた。結果として、低結晶性とすることにより、初期充放電特性の向上が認められた。すなわち、初期放電時において、いずれの活物質を用いたセルもおよそ 950 mAh g⁻¹ の放電容量を示すものの、低結晶性 VS₄ を正極として用いた場合、放電曲線のプラトーの電位がおよそ 0.1 V 向上した。容量増加および過電圧低下を確認した (図 3.2-2-11 中 小図)。この活物質を利用して、負極とも適合する電解液や部材の選択によりラミネート型実セルを構築した。外観を図 3.2-2-10 に示す。結果として、8 Ah セルにおいて 314 Wh/kg のエネルギー密度が得られ、中間目標を達成することができた (図 3.2-2-11)。また、セルサイズについては最終目標に示される 5 Ah を、現時点において超えることができています。



図 3.2-2-10 硫化物電池
実セルの外観

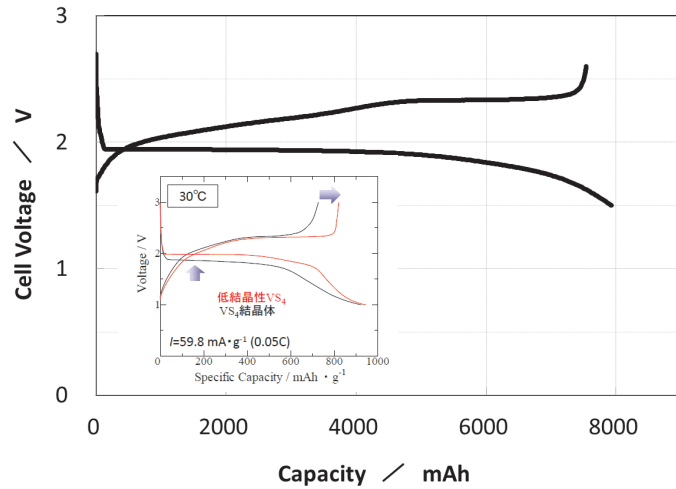


図 3.2-2-11 VS₄低結晶化の効果、および硫化物電池の
実セル充放電結果

金属多硫化物正極をもってしても、電解液への硫黄抑制は不十分であった。そこで本事業では皮膜による表面保護を試みた。TiO_xを選定し、皮膜形成に取り組んだ。得られた Li₈FeS₅-TiO_xについては TEM 観察により被覆の状態を調べた。図 3.3-2-12 に示す通り、TEM 観察からは数百 nm ~ 数 μm の粒子が観察され、粒子はコントラストが異なるコア部分とシェル部分から構成されることが分かった。EDX 分析からは、Fe と S は粒子内に比較的均一に分布し、Ti は主に粒子表面に存在することが分かった。また O も検出され、Ti と類似の分布を示したことから、活物質 Li₈FeS₅ のコア部分を覆うように Ti を含有する酸化物のシェルが存在することが明らかとなった。電池へ適用することにより、この活物質が耐久性向上に寄与することを確認している。

今後について記載する。500 Wh/kg のエネルギー密度を有し、車載用電池としてバランスのとれた性能を示す電池の構築のため、電極材料の高度化、電極構造の改善と全電池反応の把握による特性改善を進める。

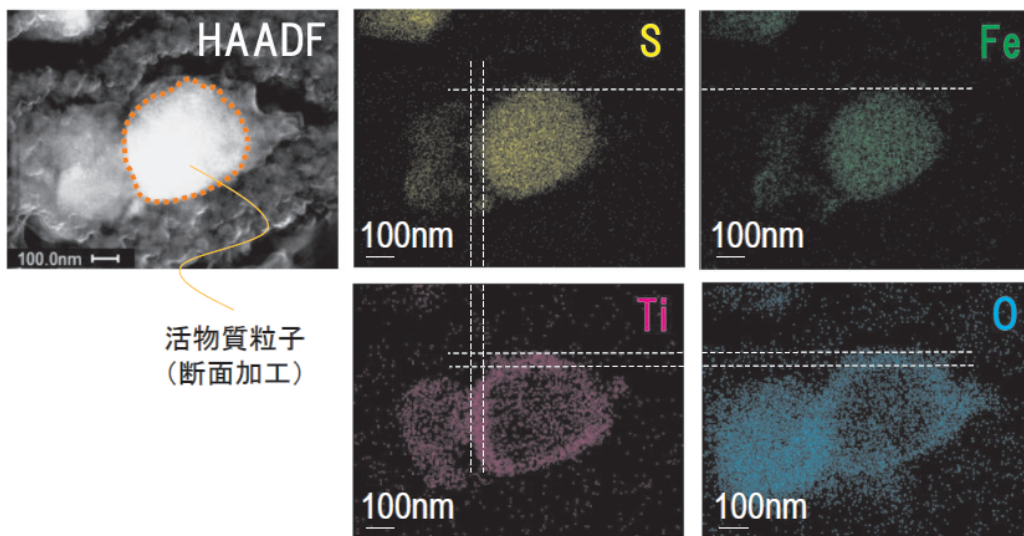


図 3.2-2-12 TiO_x皮膜を有する金属多硫化物の TEM 観察結果

3. 3 成果の普及

3. 3-1 特許出願および対外発表

表 3.3-1-1 に成果まとめを示す。特許出願及び論文発表については、今後更なる加速が求められる。なお、現時点で外国未出願特許のうち大半は出願後 1 年未満であり、今後外国出願予定である。

表 3.3-1-1 特許出願および対外発表の成果まとめ

		特許出願 (うち外国 出願)	論文 (査読つき)	研究発表 ・講演	新聞・雑誌等へ の掲載
高度解析技術開発		1	5 (5)	156	3
革新型 蓄電池	アニオン 移動型	17 (5)	5 (5)	31	0
	カチオン 移動型	9 (2)	6 (6)	57	1

3. 3-2 対外情報発信

本事業の情報発信の取組みとして、図 3.3-2-1、図 3.3-2-2 に示すようにパンフレット作成およびホームページ開設を行った。特にパンフレットについては、後述する「ナショナルプロジェクト合同セッション」においても配布し、国内の電池関係者に本事業の活動を理解頂くようにした。



図 3.3-2-1 本事業のパンフレット



図 3.3-2-2 本事業のホームページ

また、文部科学省、JST と連携して、第 58 回電池討論会との共催にて「ナショナルプロジェクト合同セッション」を開催した。

電池討論会は国内における最大規模の電池関連学会である。セッション当日は 800 名もの電池研究者・技術者に聴講頂き、大変盛況であった。これにより、多くの方々に RISING2 事業の成果を紹介し、国内における本事業の存在感を高めることに成功した。また、各ナショナルプロジェクト間の連携についても紹介することもできた。当日の会場の様子を図 3.3-2-3 に示す。



図 3.3-2-3 合同セッションにおける会場の様子

さらに、「International RISING2 Symposium 2018 “Key Prospects in the Next Generation Batteries”」と題した国際シンポジウムを 2018 年 6 月 23 日に京都大学・吉田キャンパスにおいて開催した。RISING2 の成果をアピールするとともに、海外より招聘した著名な研究者よりトップエンドの研究をご紹介頂いた（表 3.3-2-1）。結果として、国内外のトップレベルの研究情報を共有できたのみならず、世界のトップレベルの研究者に対して、本事業の存在感をアピールすることができた。当日の会場の様子を図 3.3-2-4 に示す。

表 3.3-2-1 国際シンポジウム 招待講演者（アルファベット順）

御名前	御所属	
Prof. Dominique Guyomard	CNRS-IMN	France
Prof. Hong Li	Institute of Physics, CAS	China
Prof. Juergen Janek	Univ. Giessen	Germany
Prof. Maximilian Fichtner	Helmholtz Institute Ulm	Germany
Prof. Patrik Johansson	Chalmers University of Technology	Sweden
Prof. Petr Novak	Paul Scherrer Institut	Switzerland



図 3.3-2-4 国際シンポジウムにおける会場の様子

本事業における成果の実用化定義は以下のように定めた。

定 義

本事業で開発された共通基盤技術が、革新型蓄電池の実用化開発に利活用され、ガソリン車並みの走行距離を有するEVの実現に資すること。

4. 1 実用化に向けた戦略

基本的な戦略は次のとおりとしている。

革新型蓄電池

プロジェクト期間中より、参画企業と開発内容・状況等の情報をタイムリーに共有し、性能ポテンシャル、実用化課題、改良の方向性等について議論し、開発内容にフィードバックする。また、性能評価結果の取得だけでなく、何故、そのような結果が得られるのかの現象・メカニズムの裏付けデータを取得する。

高度解析技術

プロジェクト期間中より、なるべく多くの企業の研究者・エンジニア（出向研究員以外）を開発技術にアクセスさせるとともに、専門家（アカデミア）が解析データの解釈方法を丁寧に指導し、「この技術で取得されたデータであれば信頼でき、革新型蓄電池の実用化開発に活用できる。」という認識を浸透させる。また、技術面以外にも、装置の操作性、マニュアル類の分かり易さ、秘密漏洩・技術流出防止等に対しても配慮する。

次に、実用的なEVが市販されると考えられる2030年頃に、本事業で開発された基盤技術を企業が利活用し、2030年頃にEVに搭載するための研究開発に移行する場合の開発シナリオとロードマップを図4.1-1に示す。

まず、第1のシナリオ（シナリオ1）であるが、実用化に向け積み残された課題が無いか、あるいは少ない蓄電池タイプについては、企業中心の開発体制（自動車-蓄電池-材料メーカーによる垂直連携体制）を構築し、量産プロトタイプセル（大型セル）の開発ステージに移行することが考えられる。本シナリオでは、本事業の成果を活用して、2021年より量産プロトタイプセルの開発を中心に進め、2025年頃にはモジュール・システム開発へ移行し、2030年以降には車載評価、量産へと移行することになる。また、これらと並行して、解析技術の高度化、試験評価法の開発、国際標準化・基準化等も進めていくことになる。

次に、第2のシナリオ（シナリオ2）であるが、期待どおりの性能ポテンシャルが引き出せていない蓄電池タイプについては、引き続き、産学連携の開発体制で、材料改良と実証セルの開発ステージを継続することが考えられる。ただし、この場合もセル大型化に向けた検討を含める必要があり、開発体制への材料メーカーの取込みが必須と考えられる。このシナリオでは、2025年頃までは材料改良および実証セル開発を進め、2025年頃を目途に次のステージへの移行判断をすることになる。移行可の判断がなされた後には、シナリオ1と同様に量産プロトタイプセル開発から量産までのプロセスを進めることになる。ただし、車載評価および量産の時期をシナリオ1から遅らせないために、量産プロトタイプセル開発およびモジュール・システム開発に対して、

高度解析技術または計算シミュレーションを有効に活用し、開発期間の短縮を図る必要がある。また、上記プロセスと並行して、解析技術の高度化等を進めていく必要があることは、シナリオ1と同様である。

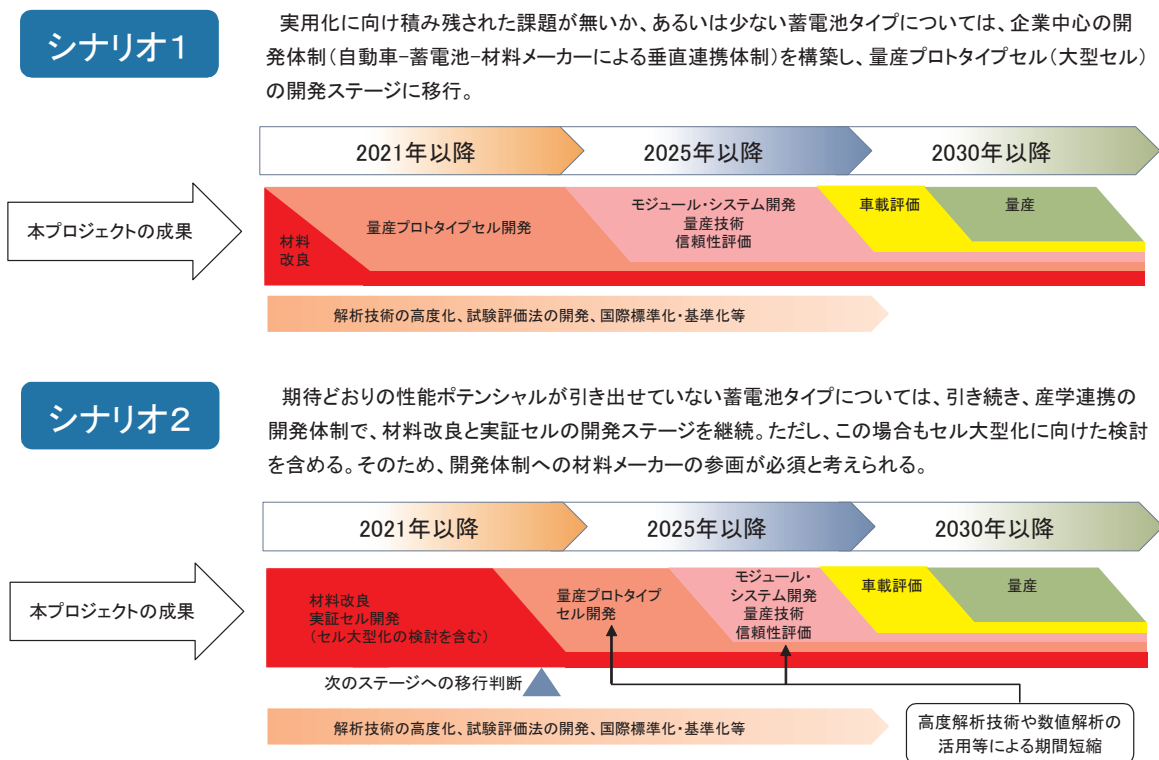


図 4.1-1 革新型蓄電池 本事業終了後の戦略

4. 2 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

4. 2-1 革新型蓄電池の成果の実用化・事業化に取り組む者の検討

本事業における革新型蓄電池に係る成果の実用化の担い手は、本事業に参画している自動車メーカー及び蓄電池メーカーである。そのため、NEDOは図4.2-1-1に示すスケジュールに則り、本事業の成果をどのような形で移管していくのかを検討している。

具体的には、プロジェクト開始当初より、各企業のキーパーソンが出席する「拡大会議」、「企画会議」等において意見交換を行っている。また、2017年度の前半には、参画企業10社を個別に訪問して意見交換を行っている。

もし仮に、企業による実用化開発を後押しするNEDOプロジェクトが必要となる場合には、予算要求を行う1年前にはその技術戦略を策定しておく必要があることから、NEDOとしては、本中間評価の結果を踏まえた上で、今年度の後半より、参画企業10社を個別訪問して本プロジェクト終了後の展開を確認する予定である。

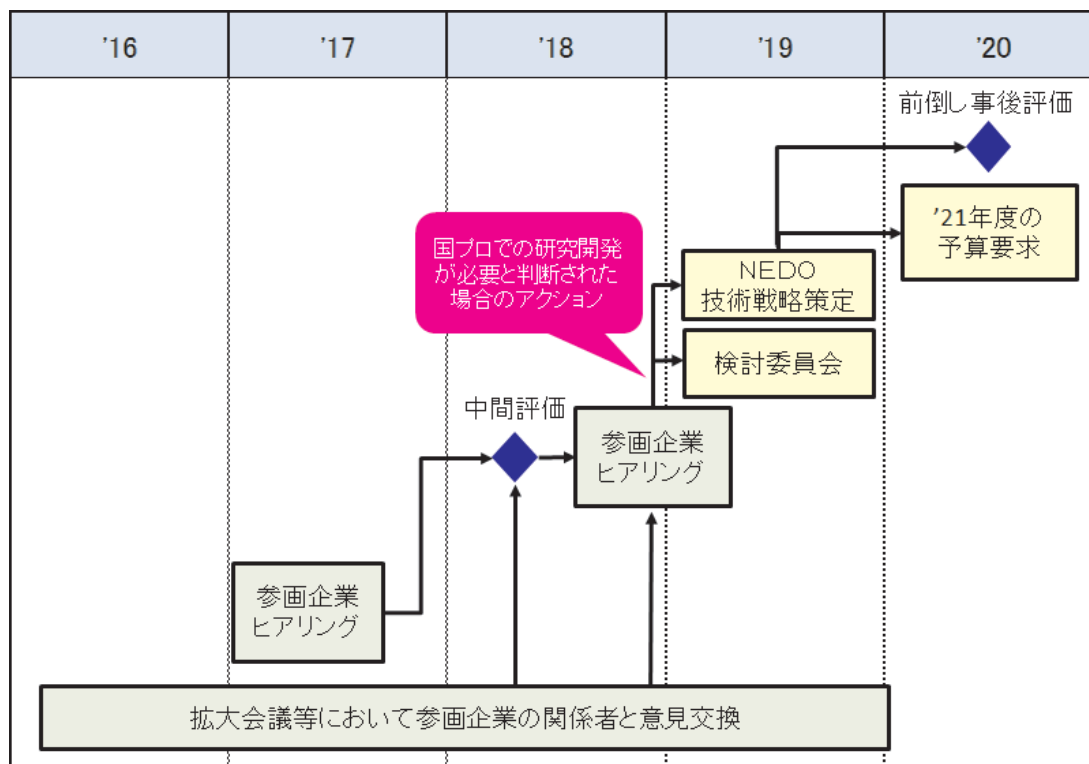


図 4.2-1-1 本事業の成果に向けたマイルストーン

4. 2-2 高度解析技術の普及・定着に向けた検討の状況

本事業で開発中の解析プラットフォーム（技術・装置）は世界最高・最先端のレベルにあり、革新型蓄電池の実用化を手戻り無く進めるための強力なツールとして、企業及びその企業と連携するアカデミアによる活用が期待できる。

今後は、事業終了後における解析プラットフォームの運用体制、運営（コスト負担を含む）・情報管理のルールについて本事業の関係者で議論を深め、コンセンサスを得ることを目指す。

この議論は、以下に示す事項も考慮しながら進める予定である。

- 継続的な解析技術のレベルアップ、新解析技術・ノウハウの開発等への対応
- 今後、革新型蓄電池の開発に参入してくる企業のユーザーとしての取込み
- 文科省・JSTの蓄電池プロジェクト等における基礎研究領域での活用
- 実用電池（例えば、現行のリチウムイオン電池）や個社製品開発における活用

あくまで一例ではあるが、図 4.2-2-1 に本事業終了後におけるイメージの一例を示す。現状は解析技術の維持・管理・開発を全て公的資金で賄う方式にて進めている。それに対して、本事業終了後は、蓄電池に関わる解析技術の維持・管理・開発を、蓄電池の課題毎に受益者が負担する方式が考えられる。

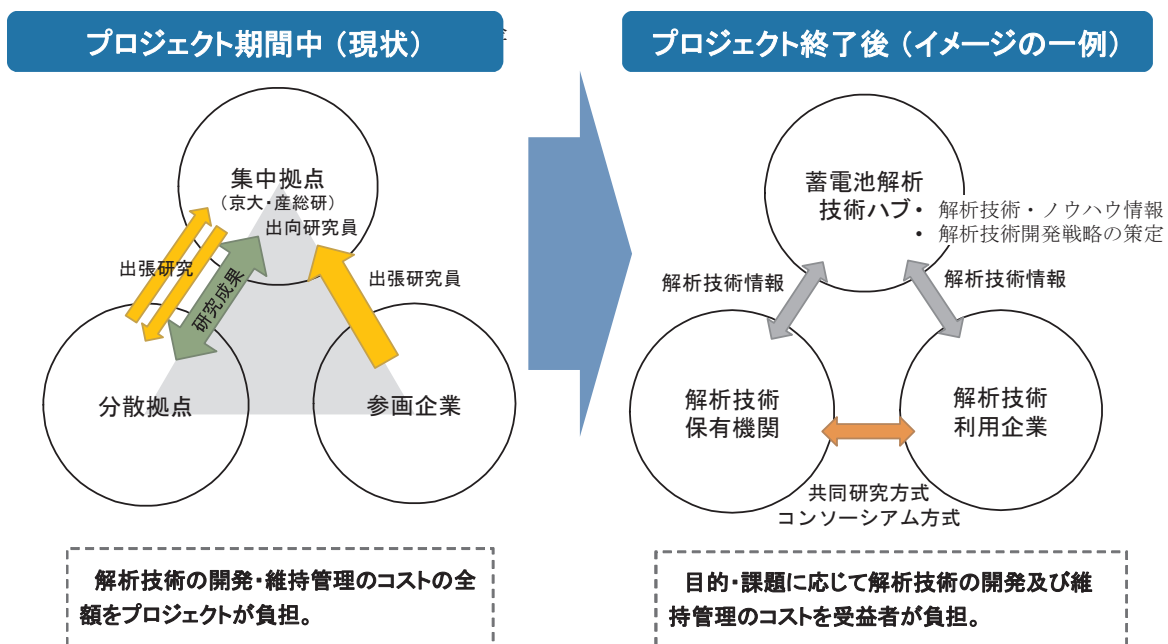


図 4.2-2-1 本事業終了後におけ解析プラットフォームの活用形態イメージの一例

4. 3 成果の実用化の見通し

4. 3-1 成果の実用化に向けた参画企業各社の見解

前述したように、NEDOは2017年度の前半にプロジェクト参画企業10社を個別に訪問し、革新型蓄電池の実用化開発への移行、または、その際の本プロジェクトの成果の移管方法等について意見交換を行った。その結果を以下に示す。

総論

- プロジェクト終了時点でセル化技術が完全に確立していなくても、競争に勝てるポテンシャルを持った蓄電池であれば、実用化開発をスタートさせることは可能である。
- ただし、性能・耐久性の支配因子や課題解決の方向性・アプローチが明らかとなっている必要がある。

各社個別の御意見

- 実用化開発のステージでは、性能発現・劣化等の現象・メカニズムについて確度が高い情報が必要となる。その意味で革新型蓄電池開発と高度解析技術開発の更なる連携が重要である。
- 電池特性評価ではパラメトリックスタディーを心掛けて欲しい。
- セル全体の成果を取り込んでの実用化ではなくて、例えば電極の成果に特化して実用化に取り組むケースも考えられる。
- 実用化に向けては製造プロセス技術の検討が必要になるが、それに係る成果は本プロジェクトに求めるつもりはない。
- 革新型蓄電池の実用化に向けては、材料メーカーなど国内にプレーヤーを増やすことも必要なのではないか。
- 実用化開発のステージに進む際の判断基準は、①その蓄電池によってどの程度競争力が向上するのか？、②現行の製造ラインに乗るのか？、③乗らない場合に必要な投資は何か？の3点である。

4. 3-2 波及効果

(1) オープンイノベーションの推進

集中拠点においては、自動車・蓄電池メーカーの出向・出張研究員が競合・売買関係等の垣根を取り払い、協働で研究開発に取り組んでいる。ニーズ・シーズの好循環や幅広い知・人材の交流が図られており、これまで垂直連携を基本として展開されてきた我が国の蓄電池の研究開発において、オープンイノベーションを推進している。

また、集中拠点がハブとなって国内の大学・研究機関を研究ネットワークに取り込み、産業界のニーズを共有しながら課題解決型の研究開発を進めている。

さらに、各研究チーム・グループの内外で、大学・研究機関相互及び異なる専門分野の研究者相互の連携・協力を実現している。

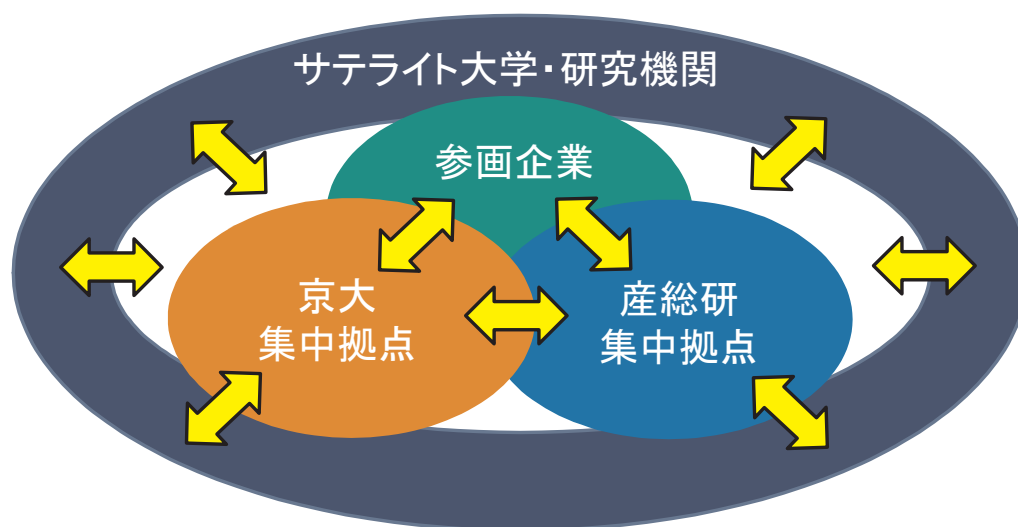


図 4.3-2-1 本事業におけるオープンイノベーションの取組み

(2) 人材育成

本事業では、図 4.3-2-2 に示すように、「科学者（アカデミア）とエンジニア（産業界）の交流」および「蓄電池研究者と解析技術者の交流」を実現している。この図において、大学所属研究員が上記「科学者（アカデミア）」を指し、企業からの出向研究員が「エンジニア（産業界）」を指す。

その結果として、科学者は研究と社会（産業）との繋がり・結び付き、企業のコスト意識や時間感覚等を体感している。一方、エンジニアは大学・研究機関が保有するサイエンスに立脚した研究を体感している。

また、産学両方のフィールドで、「蓄電池を理解した解析技術者」及び「解析技術を理解した蓄電池研究者」が育成されている。

特に、企業からの出向研究員（前プロジェクトでは累計 50 名、本プロジェクトでは累計 25 名）は電池研究者として大きく成長し、出向元復帰後は第一人者として企業の蓄電池研究を牽引中である。

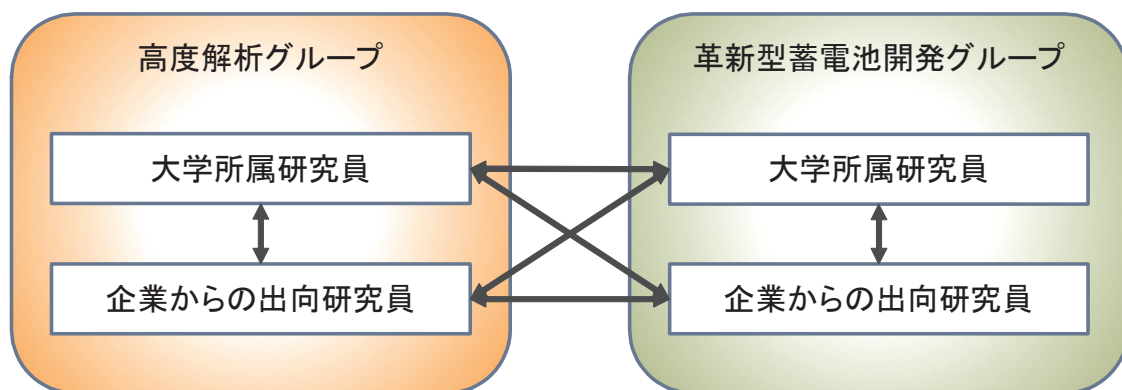


図 4.3-2-2 本事業における人材交流

(3) 低炭素化社会の構築

地球温暖化防止には、輸送部門の低炭素化と電源の低炭素化をセットで対策する必要がある。

図 4.3-2-3 に輸送部門と電源、それに対する蓄電池関わりを示す。具体的には、発電、再エネ（再生エネルギー）、送配電、水素、需要家の関係を示している。再エネ→送配電→需要家（ビル・工場、商店・事務所）へ至る過程では、様々な個所において蓄電池へ一旦エネルギー貯蔵を行うことが重要である（図 4.3-2-3 中 赤矢印）。これにより、効率的なエネルギー運用ひいては低炭素化の実現に貢献することができる。また、EV・PHEV および FCV の車載蓄電池は、車両運用時における低炭素化に大きく貢献する。のみならず、車載蓄電池から系統へ電力供給することにより、効率的なエネルギー運用へ貢献することもできる。

つまり、蓄電池はモビリティの電動化と再生可能エネルギーの主力電源化に向けたキーテクノロジーであり、本プロジェクトで創出される革新型蓄電池は、低炭素なエネルギーネットワークの構築に貢献する。

本プロジェクト参画企業は車載用蓄電池以外の分野でもビジネスを展開しており、本プロジェクトの成果は様々な分野の世界市場に展開することができる。

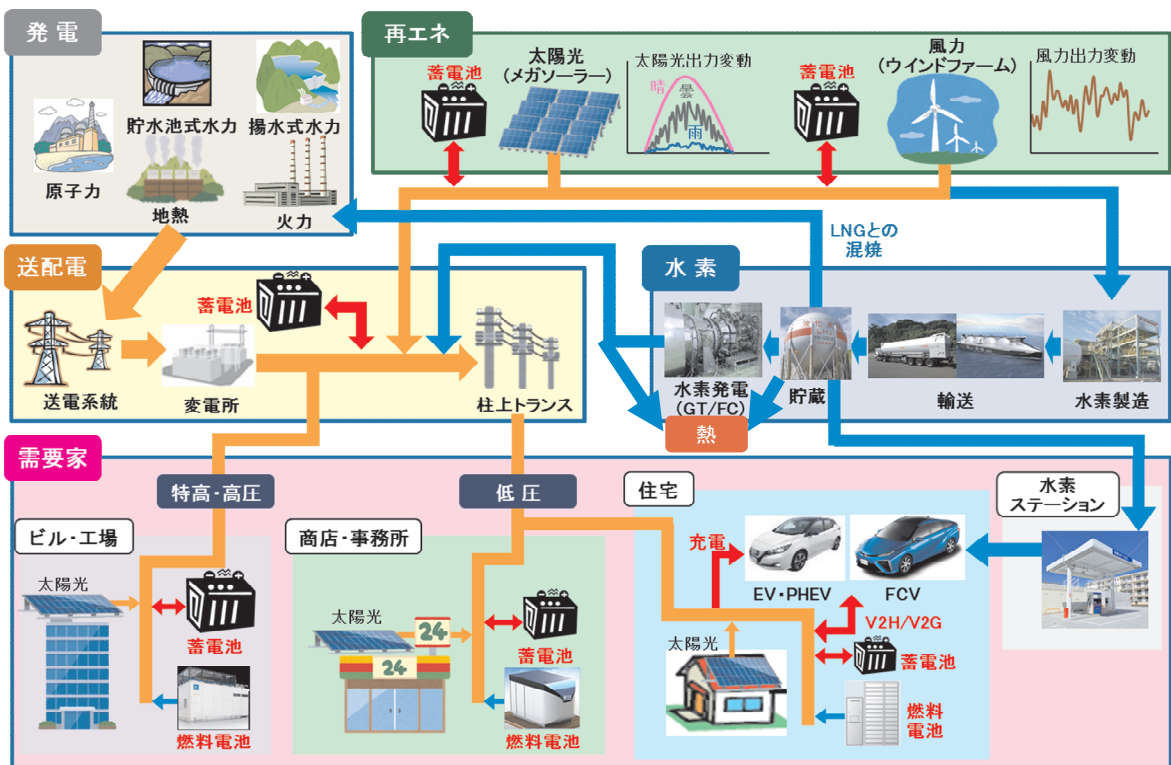


図 4.3-2-3 電源および郵送部門と蓄電池の関係図