

「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業」
(事後評価)分科会
資料 7-1

「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業」

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
-----	--

—目次—

概要

プロジェクト用語集

第1章 事業の位置づけ・必要性について	1
1.1 事業の目的の妥当性	1
1.1.1 EV・PHEVの普及に係る政策動向	2
1.1.2 EV・PHEVに係る市場・産業動向	6
1.1.3 車載用蓄電池に係る市場・産業動向	14
1.1.4 主要国における車載用蓄電池の技術開発プロジェクト	18
1.1.5 特許動向	30
1.1.6 標準化動向	36
1.2 NEDOの事業としての妥当性	39
1.2.1 関連する上位政策の目標達成への寄与	39
1.2.2 NEDOの関与の必要性	43
1.2.3 実施の効果	45
第2章 研究開発マネジメントについて	48
2.1 研究開発目標の妥当性	48
2.2 研究開発計画の妥当性	52
2.3 研究開発実施体制の妥当性	54
2.4 研究開発の進捗管理の妥当性	56
2.5 知的財産及び標準化に関する戦略の妥当性	60
2.6 中間評価結果への対応	61
第3章 研究開発成果について	64
3.1 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果	64
3.1.1 高容量Si合金負極の研究開発(日産自動車)	64
3.1.2 高容量・低コスト酸化物正極を用いた高エネルギー密度リチウムイオン電池の開発 (日本電気、積水化学工業、田中化学研究所)	70
3.1.3 高エネルギー密度・低コストセル開発及び高入出力パック開発 (東芝インフラシステムズ)	78
3.1.4 PHEV用高電圧充電リチウムイオン電池の研究開発(パナソニック)	87
3.1.5 高性能材料の電池化と実装技術による高エネルギー型リチウムイオン電池の開発 (日立製作所、日立オートモティブシステムズ)	91
3.1.6 電極ナノコンポジット化による高性能全固体電池の研究開発(トヨタ自動車、豊田中央研究所)	98
3.1.7 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果のまとめ	104
3.2 研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果	105
3.2.1 港湾設備を中心とした産業用機械のEV/HEVを実現する蓄電池の実用化開発 (三井造船、エレクセル、三井造船システム技研)	105
3.3 研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の成果	112
3.3.1 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発 (日本自動車研究所、産業技術総合研究所)	112
3.4 知的財産等の取得、成果の普及	122
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	124
4.1 「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果の実用化・ 事業化に向けた取組及び見通し	124
4.2 「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の成果の実用化に向けた取組及び見通し	127
(添付資料)	
・基本計画	添付資料-1
・事前評価書	添付資料-2
・パブリックコメント募集の結果について	添付資料-3

概要

		最終更新日	2017年11月21日
プログラム名			
プロジェクト名	リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業	プロジェクト番号	P12003
担当推進部/担当者	<p>スマートコミュニティ部</p> <p>細井 敬 (2012年5月～現在)、安井 あい (2014年5月～現在)、 上村 卓 (2015年4月～現在)、古田土 克倫 (2016年4月～現在)、 相原 茂 (2017年4月～現在)、田所 康樹 (2017年4月～現在)、 宮本 潤一 (2017年4月～現在)、佐藤 恵太 (2017年4月～現在)、 下山田 倫子 (2015年5月～2017年9月)、内田 哲也 (2015年4月～2017年3月)、 木内 幸浩 (2014年1月～2016年10月)、近藤 あさ美 (2014年4月～2016年3月)、 森山 英樹 (2014年3月～2016年2月)、高橋 悟 (2014年4月～2014年10月)、 佐藤 文 (2011年5月～2014年4月)、平松 星紀 (2013年4月～2014年3月)、 釘野 智史 (2011年7月～2014年3月)、木村 英和 (2011年7月～2013年12月)、 田中 博英 (2011年7月～2013年7月)、松村 光家 (2011年7月～2013年3月)</p>		
0. 事業の概要	<p>運輸部門における石油依存度を低減し、CO₂排出量を削減するために電気自動車(EV)やプラグイン・ハイブリッド自動車(PHEV)等の次世代自動車の普及拡大が期待されており、そのために電動走行距離を延伸する高性能な車載用蓄電池技術の開発・実用化の国際競争が加速している。</p> <p>本プロジェクトでは、EVやPHEVに搭載するリチウムイオン電池(以下、「LIB」と略す。)の高エネルギー密度化、安全性の向上、低コスト化のための技術開発に取り組むとともに、更に先を狙い、全固体電池についても世界に先駆けて実用化を図る。また、LIBの量産化によりコスト削減を図るため、自動車以外の用途拡大のための技術開発を行う。さらに、国際規格・基準に反映される車載用LIBの試験評価法を開発する。</p> <p>これらの取組により、2020年代における次世代自動車の大量導入と車載用蓄電池市場での国際競争力の強化を図る。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>1.1 事業目的の妥当性</p> <p>各主要国は地球温暖化問題への対応の一環として、運輸部門における石油依存度を低減し、CO₂の排出量を低減するため、EVやPHEV等の次世代自動車の普及拡大を図る方針であり、近年、EV・PHEVの電動走行距離の延伸や車両価格の低減を図る車載用蓄電池技術の開発及び実用化の国際競争が活発化している。</p> <p>本プロジェクトでは、2020年代における次世代自動車の大量導入と車載蓄電池市場での競争力強化に資する技術開発を実施したが、国内外の政策動向、技術開発動向、市場・産業動向、特許・標準化動向に照らし合わせてみても本プロジェクトの目的は妥当である。</p> <p>1.1.1 EV・PHEV、車載電池に係る政策動向</p> <p>主要各国の政府は、主に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、EV・PHEV等の次世代自動車を2020年から2030年にかけて100万台～1,000万台規模で普及させる目標を掲げている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・米国：One Million Electric Vehicle by 2015 (2011年) ・ドイツ：National Electromobility Development Plan (2009年) ・英国：Carbon Plan (2011年) ・ノルウェー：ノルウェー電気自動車所有者協会 (2012年) ・フランス：The National Plan to Development Electric and Plug-in Hybrid Vehicles (2009年) ・中国：省エネルギー車と新エネルギー車の技術ロードマップ (2016年) ・韓国：新エネルギー産業戦略 (2015年) ・日本：エネルギー基本計画 (2014年)、未来投資戦略2017 (2017年) <p>また、その目標達成に向け、EV・PHEV購入者に対する補助金支給・税控除や充電インフラ導入支援等、様々なインセンティブ施策を積極的に推進している。</p> <p>1.1.2 EV・PHEVに係る市場・産業動向</p> <p>EV・PHEVの世界販売は堅調に増加の傾向にあり、2016年の世界販売は約75万台である。EVが約21万台、PHEVが約14万台、合計で約35万台である。</p> <p>特に中国において、政府によって推進された普及施策及びガソリン車規制により、販売が</p>		

急増しており、2016年の販売は約34万台で世界全体の45%を占めている。次いで、米国での販売が多く、2016年は16万台で全体の21%となっている。一方、日本での販売はここ数年2万台～3万台の範囲で横這いでの推移となっている

EVの累計販売のシェア首位は、量産で世界に先行した日産自動車LEAFで、累計販売が約25万台（シェア約21%）である。シェア2位は、Tesla Motors Model Sの約14万台（シェア約12%）である。PHEVの累計販売のシェア首位はGM Voltで、累計販売が約12万台（シェア約15%）である。シェア2位は、三菱自動車OUTLANDER PHEVで、約11万6,000台（シェア約15%）である。

主要自動車メーカーのEVには容量20～30kWh級の電池パックが搭載され、型式認定ベースの航続距離が200～280km程度となっている。PHEVには容量7～14kWh級の電池パックが搭載され、EVモードの航続距離が30～70kmとなっている。また、車両価格は概ね300万円～500万円の範囲にある。

1.1.3 車載電池に係る市場・産業動向

2016年における蓄電池の世界市場規模は約8兆円で、今後、各用途でプラス成長が予想され、2025年には約14兆円に成長するとの予測がある。とりわけ、次世代自動車用蓄電池の市場規模は2016年では約1.4兆円であるが、今後飛躍的に成長し、2025年には約5倍の6.6兆円になると予測されている。

車載用LIBの日本メーカー合計のシェア（容量ベース）は2015年には50%を超えていたが、2016年は40%程度まで落ち込む見通しである。一方、韓国メーカーが欧米のグローバルな自動車メーカーからの受注獲得を進め、シェアを徐々に伸ばしている。また、中国においては中央・地方政府の手厚い補助金政策により、EV・PHEVの市場が急激な成長を見せており、中国メーカーもシェアを伸ばしている。

主要な蓄電池メーカーのセルエネルギー密度はEV用が180～260Wh/kg、PHEV用が130Wh/kgである。高容量化・高電圧化のため、正極には従来のLMOスピネル系やLFPオリビン系から、ハイニッケル系にシフトする傾向にある。

1.1.4 主要国における車載用蓄電池の技術開発プロジェクト

主要各国の車載用蓄電池の開発目標は基本的に大差なく、如何に早く目標を達成し、市場投入するのが勝敗の分かれ目である。

(1) 米 国

エネルギー省（DOE）における車載用蓄電池の技術開発は、技術の成熟度の高いものから順に、自動車技術局（VTO）、エネルギー先端研究計画局（ARPA-E）、科学局が担当することになっている。

VTOは車載用蓄電池の研究開発戦略として、材料、セル及びシステムの3階層に分けた研究開発ポートフォリオを掲げ、各階層に対して、研究開発項目とその目標値を設定している。セルの開発目標は、エネルギー密度が350Wh/kg、サイクル寿命が1,000回、カレンダー寿命が10年以上となっている。コストは電池パックで125ドル/kWhとなっている。また、LIBの構成材料については、正極材料では300mAh/kg級の高電位型層状系化合物、負極材料では1,000mAh/kg以上の金属間複合材料、電解液では4.6～5.0V級の耐高電圧電解液を開発するとしている。

ARPA-Eは、2016年より、予算総額約3,700万ドルの計画で「IONCS」プロジェクトを実施している。このプロジェクトでは、車載用蓄電池、定置用蓄電池及び燃料電池を対象として、イオン伝導性材料を用いた新規な電気化学デバイスの創造を目指している。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以下が掲げられている。

科学局は「Basic Energy Science」（BES）プログラムにおいて、Argonne国立研究所に次世代蓄電池（車載用／定置用）の研究拠点「Joint Center for Energy Storage Research」（JCESR）を設立しており、2012～2017年（5年間）で開発予算総額は1億2,500万ドルの予定である。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）が参加している。

(2) 欧 州

欧州においては、全欧州的な研究開発プログラム（フレームワークプログラム）と、自動車研究開発のコンソーシアムとして設置された欧州グリーンカー・イニシアティブ（EGCI/EGVI）において蓄電池の研究開発が行われている。LIB関連プロジェクトの動向

は、高性能化・低コスト化に取り組むプロジェクトが多く、主に材料開発、パイロット規模で作製されたセルの評価、及びその劣化メカニズムの理解をテーマにしている。材料開発では、プロジェクト内で正極材料と負極材料、電解液のうち、2つ以上の材料を同時に開発し、その材料をセルに組み込んで電池特性を評価することを重視している。開発目標は、取り扱っている材料系で異なるが、コストが 150 ユーロ/kWh、エネルギー密度が 200～300Wh/kg、サイクル寿命が 3,000～5,000 サイクル、カレンダー寿命が 10～15 年となっている。

(3) ドイツ

ドイツ政府は、EGCI とは別に、EV 及び車載用蓄電池の分野でドイツ企業を世界トップ水準に引き上げることを目指しており、独自の技術開発政策を展開している。2008～2015 年に連邦教育研究省（BMBF）主導で実施された「LIB2015」プログラムの後継として、「Batterie 2020」プログラムが 2016 年より開始されている。車載用及び定置用蓄電池を対象としてエネルギー密度・出力密度の向上、安全性・信頼性の向上、劣化メカニズムの解明、電池の低コスト化等を目的とした研究開発が産学連携で行われている。

また、ドイツの電池産業発展のため、企業と応用研究機関のネットワーク「KLIB」を結成している。BASF、Evonik、BOSCH、Li-Tec、SB-LiMotive、Umicore、ZSW、Karlsruhe 工科大等、25 の企業・研究機関が参加し、たな素材や部品、生産技術の実用性を試験生産で見極め、量産化に繋げることを目的とした LIB のパイロット生産施設を Ulm に建設した。

さらに、研究開発拠点として、BMW、BOSCH 等、30 社以上の企業が参加した MEET（ミュンスター電気化学エネルギー技術センター）が設立されている。

(4) 中国

中国における車載用蓄電池の技術開発は、第 12 次 5 ヶ年計画（2011～2015 年）の枠組みで、「国家ハイテク研究発展計画」（863 計画）の LIB 開発と「中国国家重点基礎研究発展計画」（973 計画）の革新型蓄電池開発が実施されてきたが、2016～2020 年の第 13 次 5 ヶ年計画の枠組みで、これら 2 つを統合した「国家重点研究開発計画」プログラムが開始されている。この「国家重点研究開発計画」プログラムの中の「新エネ車試行特別プロジェクト」では、目標達成に向けて重点テーマが設定されており、LIB の正極材料では高 Ni 系（NCM、NCA）の高電位・高容量化、負極材料ではシリコンと黒鉛の混合系等の大容量材料、電解液では耐高電圧電解液を開発するとしている。また、革新型蓄電池では、全固体電池、リチウム硫黄電池及びリチウム空気電池を開発するとしている。5 年間の総予算は約 3.55 億元（60 億円）で計画されている。また、今後、全固体電池を対象とした国家プロジェクトが開始される予定である。

(5) 韓国

韓国政府は、2010 年、二次電池を基幹産業へと育成することを目指した「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」を発表した。この計画においては、韓国は小型民生用 LIB の競争力では日本と同等であるが、2020 年までには EV 用等の中大型 LIB の市場が急拡大することが見込まれるが、中大型 LIB 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、2012 年に、韓国エネルギー技術評価院（KETEP）は、「エネルギー技術の R&D ウェアハウス」の中で「EV 用エネルギー貯蔵システム」のロードマップを発表しており、開発するコア技術対象を先進 LIB と全固体電池としている。特に全固体電池に関してはエネルギー密度の短期目標を 300Wh/kg、中長期目標を 500Wh/kg として、その開発に政府予算 220 億ウォン（約 22 億円）を投入するとしている。

1.1.5 特許動向

LIB の世界全体の年間特許出願件数は、2000 年代前半は約 2,000 件/年であったが、2010 年以降、急速に増加しており、約 7,000 件/年と約 3 倍となっている。2000 年～2015 年（15 年間）の累積の国別特許出願件数では日本が 4 割を占め最多であるが、2010 年以降は中国の出願数が急増しており、技術開発の猛追が伺える。ただし、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。

特許出願の内容として、正極材料では、オリピン系、NCM 三元系、高電位 Ni-Mn スピネル酸化物系及び高容量 Li 過剰系の急増の傾向にある。負極材料では、黒鉛質炭素系だけでなく、シリコン系が急増の傾向にある。また、全固体電池の特許出願は、2006 年以降、増加傾向にある。出願人国籍別では、総出願件数（6,498 件）のうち、日本は 54%（3,509 件）を占めており、他国に比べて圧倒的に多い。ただし、出願件数の推移で見ると、近年、日本は横這い傾向であるのに対して、中国、米国、韓国は増加の傾向にある。

1.1.6 標準化動向

車両・車載電池・充電システム等の国際標準化は、国際標準化機構（ISO）と国際電気標準会議（IEC）を中心として進められており、日本は積極的な取組を進めている。この中で蓄電池に関するものは、電池（セル）関連の IEC/TC21 及び電池パック/システム関連の ISO/TC22/SC37 である。IEC/TC21 では、LIB 単セルの試験法に係る IEC 62660-1（性能試験）、IEC62660-2（信頼性・誤用試験）、IEC62660-3（安全要件）、一方 ISO/TC22/SC37 では LIB パック・システムの試験法に係る ISO 12405-1（高出力用性能試験）、ISO 12405-2（高エネルギー用性能試験）、ISO 12405-3（安全要件）を取り扱っている。

セル単体の安全性試験法としては、IEC 62660-3 が 2013 年に日本提案の形で進められ、2016 年に発行された。この試験法はセル製造時の異物混入に起因する内部短絡への安全性確認を目的に、Ni 片を挿入し加圧することで内部短絡を起こさせるものであるが、実施が困難な場合があるため、その代替試験法が議論されており、改定審議が行われる予定となっている。パックの安全性試験法としては、ISO 12405-3 がドイツ提案を発端として 2014 年に発行されたが、この改定審議にて、新たに熱連鎖試験が検討されることになっている。なお、UN/ECE/WP29 の「Electrical Vehicle Safety - Global Technical Regulation」(EVS-GTR) において、車載用 LIB パックの安全性試験の標準化が進められており、フェーズ 1 の議論の中で熱連鎖試験法が盛り込まれたドラフトが 2017 年にまとめられる予定となっており、その後のフェーズ 2 の中で議論を進める予定となっている。

寿命試験法に係る発行済みの国際規格としては、セル単体の試験法が IEC 62660-1、電池パック・システムの試験法が ISO 12405-1 及び ISO 12405-2 がある。これら規格は日本が主導して策定されたものであり、NEDO プロジェクト「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発～Li-EAD～」(2007～2011 年度) の「次世代自動車用高性能蓄電池基盤技術の研究開発」における試験法の開発成果が国際規格として反映されたものである。これらの規格のうち、ISO 12405-1 及び ISO 12405-2 は 2015 年から統合に向けた改定審議が開始されている。

1.2 NEDO の事業としての妥当性

以下に示す「関連する上位施策の目標達成への寄与」、「NEDO 関与の必要性」、「実施の効果」より NEDO の事業として妥当である。

1.2.1 関連する上位施策への寄与

本プロジェクトは上位施策である下記(1)～(4)の目標達成に寄与する。

(1) エネルギー基本計画（第四次計画：2014 年 4 月、閣議決定）

この第四次計画では本プロジェクトに係る施策・目標として、「第 3 章 エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策」において、「利便性の高い電気を貯蔵することで、いつでもどこでも利用できるようにする蓄電池は、エネルギーの需給構造の安定化を強化すると共に、再生可能エネルギーの導入を円滑化することができる、大きな可能性を持つ技術」、「最近の安全性の向上や充放電効率の増加による性能向上によって、従来の用途に加え、車載用、住宅・ビル・事業用等の定置用の用途へも広がりつつあるが、引き続き、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図っていく」としている。また、「次世代自動車（ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル自動車、CNG 自動車等）の普及・拡大に当たっては、研究開発に加え、官民が協力して電気自動車及びプラグイン・ハイブリッド自動車に必要な充電インフラの普及に努める。」とした上で、「次世代自動車については、2030 年までに新車販売に占める割合を 5 割から 7 割とすることを目指す」としている。

(2) 次世代自動車戦略 2010（2010 年 4 月、経済産業省策定）

次世代自動車戦略 2010 の「全体戦略」としては、EV 及び PHEV の普及目標を、新車販売に占める割合を 2020 年に 15～20%、2030 年に 20～30%と設定しており、アクションプランの一つとして、蓄電池、電池マネジメント技術等を重点的に研究開発するとしている。また、「電池戦略」としては、LIB の新材料についても引き続き幅広い基礎研究が必要としている。

(3) 自動車産業戦略 2014（2014 年 11 月、経済産業省策定）

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)

この戦略においては、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。この内、車載用蓄電池に係る戦略と KPI は以下の 4 つとなっている。

- ・ 車載用蓄電池については、現在の液系 LIB よりも安全面等で性能が高い全固体 LIB 等の開発・実用化を加速する。
- ・ 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 割とすることを旨とする。
- ・ EV・PHEV の普及台数を 2020 年までに最大 100 万台とすることを旨とする。
- ・ 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)を獲得することを旨とする。

1.2.2 NEDO 関与の必要性

本プロジェクトが取り組む車載用蓄電池に係る技術開発については、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

本プロジェクトのように、ビジネス上の競合関係にある複数の民間企業が参画したプロジェクトにおいて、各参画企業に対し、公平な予算配分管理や進捗管理等を行い、日本全体としての競争力を向上させていく観点からも NEDO の関与は適当であるといえる。さらに、研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」においては、LIB の安全性・信頼性に関する国際標準化・基準化に資する評価技術開発を行っている。これは、国内産業界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

NEDO は、2013 年に経済産業省・産業技術環境局、文部科学省・研究開発局が中心となって設置された「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:東京大学大学院工学研究科教授 橋本和仁)の構成メンバーとなっている。NEDO はこのガバナリングボードでの活動を通じ、文部科学省所管の「戦略的創造推進事業/先端的低炭素化技術開発(ALCA)/次世代蓄電池研究開発プロジェクト」や「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>/触媒・電池材料」等において、我が国の大学・研究機関等が実施している蓄電池の研究内容とその研究進捗を把握しつつ、必要に応じて、これら大学等の先進的な有望技術について産業界とのマッチングを図ることも念頭に置きながら、NEDO プロジェクトを推進している。加えて、実施者グループの中には、例えば、トヨタ、日本電気、三井造船のグループは大学・研究機関が実施体制の中に入っており、学術成果が企業の製品化に直結する取組を実施した。

(3) 蓄電技術開発プロジェクト間の連携

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」では、本プロジェクトでも取り扱っている安全性試験法について、材料評価技術の一環として試験法を開発している。この試験法は本プロジェクトで行っている市販 EV・PHEV の蓄電池を用いた国際標準・基準に反映させるものと異なり、産業界共通の「ものさし」となる標準電池モデルを開発し、それを用いたものであるが、お互いに強制内部短絡試験の代替試験法を開発しているため、NEDO が主導で交流会を実施した。

(4) 過去の車載用蓄電池技術開発プロジェクトの技術蓄積等の活用

NEDO は、「分散型電池電力貯蔵技術開発」(1992~2001 年度)において当時黎明期にあった LIB の技術開発を世界に先駆けて実施するとともに、「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」(2002~2006 年度)、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発~Li-EAD~」(2007~2011 年度)において車載用 LIB の技術開発を実施し、これらプロジェクトの成果を我が国民間企業における車載用 LIB の実用化・事業化や ISO/IEC の国際規格の制定等に繋げてきている。このように、ナショナルプロジェクトの推進等を通じて蓄積さ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 の関与は適当であると言える。

(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、素材産業課、情報通信機器課、研究開発課等と緊密に連携しつつ、第一線級の実力を有する企業、大学、公的研究機関等の技術開発能力を最適に組み合わせ、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。

現在推進中の「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」では、本プロジェクトで検討されている固溶体正極やシリコン系負極を用いた先進 LIB 及び硫化物固体電解質を用いた全固体電池について、産業界の共通評価指標となる材料の評価技術開発を実施しており、本プロジェクトで得られた知見を活用できる。同様に、「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発事業」では、サイエンスに立脚した革新型蓄電池（ポスト LIB）の共通基盤技術開発を推進しており、量子ビームラインを用いた高度な反応メカニズムの解析技術の開発にも取り組んでいるが、本プロジェクトで把握された解析ニーズを反映させることで、開発中の解析技術を先進 LIB や全固体電池にも応用できるようにしている。

1.2.3 実施の効果

(1) 経済効果

次世代自動車用蓄電池の市場規模として、2025 年は約 6.6 兆円との予測が示されており、その大部分が EV・PHEV 用の LIB である。一方、本プロジェクトの実施者（助成先企業）グループの成果を取り入れた材料・部品、蓄電デバイス・モジュール・パックの売上計画の合計額は、2025 年には約 7,000 億円/年に達する計画である。また、EV・PHEV の売上も、販売開始後 5 年目には約 2.5 兆円/年に達する計画である。この売上見通しに対して、本プロジェクトの 5 年間の予算総額（NEDO 負担分）は約 96 億円であり、十分な費用対効果が有ると言える。

(2) CO₂削減効果

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、「EV・PHV ロードマップ 2016」等に掲げられた EV・PHEV の普及目標が達成された場合の CO₂削減効果は、今後、EV・PHEV、ガソリン車共に電費・燃費は更に向上することや再生可能エネルギーの普及拡大によって電力の CO₂排出源単位が改善すること等の変動要素も含んだものであるが、2020 年～2030 年の年間平均で約 580 万トン-CO₂/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 2016 年実績で約 410 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（2016 年実績で約 1,900 万台規模）。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。

(3) 波及効果

① V2H・V2G の普及

本プロジェクトにおける高エネルギー密度化や低コスト化等の技術開発によって、蓄電容量が増大した EV・PHEV の普及拡大が図られることは、上記した V2H・V2G の普及課題の解決にも繋がる。さらに、電力システム改革による小売全面自由化の進展と相俟って、EV・PHEV の電気充電に最も適したサービスを行う事業者が輩出されることが期待される。

② 各実施者の定置用蓄電池のビジネス展開

本プロジェクトの実施者（あるいはそのグループ会社）の多くは、LIB を適用した大型蓄電池及び定置用蓄電池のビジネスを実際に展開している。車載用 LIB と定置用 LIB とはセルを含め、共通する部分も多い。本プロジェクトの成果は各実施者の定置用 LIB の高性能化・低コスト化技術としても活用され、そのビジネス展開にも寄与する。

③ 若手工学技術者の育成

蓄電池技術は化学、電気化学、材料（有機・無機材料）、電気、機械等、広範囲で高度な設計技術の裾野を必要とし、かつ高度な製造技術も必要となる。本プロジェクトの実施を通じ、技術立国日本の将来を担う若手工学技術者の育成を促進できる。

	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載）	<p>(1) 研究開発項目①「高性能リチウム電池技術開発」 日産自動車、トヨタ自動車、豊田中央研究所、日本電気、積水化学工業、田中化学研究所、パナソニック、東芝インフラシステムズ、日立製作所、日立オートモティブシステムズ</p> <p>(2) 研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」 三井造船、エレクセル、三井造船システム技研</p> <p>(3) 研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」 日本自動車研究所、産業技術総合研究所</p>										
情勢変化への対応	<p>NEDO は、本プロジェクトに係る政策、市場、技術開発、特許及び標準化等の動向を調査・把握しながら、情勢変化に対応したプロジェクトの運営・管理を推進した。事業のマネジメントに努めている。こうした情勢変化への対応事例を以下に示す。</p> <p>① 「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」の策定 2012 年 7 月、経済産業省は、2012 年に「蓄電池戦略」を策定・発表し、今後、大きな市場拡大が想定される電力系統用、需要家用及び車載用の蓄電池に関して、コスト・技術面の課題、制度面の課題及びこれらの課題解決に向けた施策が示された。NEDO は、この戦略策定を受けて、2013 年 4 月～6 月にかけて、産官学の外部有識者で構成される委員会を設置・運営し、同年 8 月、「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」を策定・公開した。このロードマップの検討過程において、本プロジェクトに係る技術開発シナリオや開発目標値等について点検を行い、特に見直し等は必要ないことを確認した。</p> <p>② プロジェクトの拡充／新規テーマの追加 本プロジェクトを推進する中、車載用蓄電池の安全性や継時的な容量低下についての市場の関心が高まり、中韓蓄電池メーカーの技術向上と低価格化の顕在化及び欧州自動車メーカーにより車載用蓄電池をモジュール化・コモディティ化するための国際標準化の動きが出てきた。こうした状況を踏まえ、NEDO は経済産業省や業界関係者と議論した結果、車載用 LIB の安全性と耐久性について国際標準化を視野に入れた試験評価法の開発に取り組む必要があると判断し、2015 年 2 月に本プロジェクトの基本計画を改訂して、研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」を追加し、後半 2 年間、研究開発を実施した。</p>											
中間評価結果への対応	<p>中間評価における主な指摘事項とその対応を下表に示す。</p> <table border="1" data-bbox="450 1167 1469 2004"> <thead> <tr> <th data-bbox="450 1167 962 1205">指摘事項</th> <th data-bbox="962 1167 1469 1205">対応</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="450 1205 962 1400">日本の電池産業が今後も世界をリードして行くためには、コストだけでは測れない独自技術を確立していくことが重要であり、本プロジェクトを活用した知的財産確保と、開発成果のタイムリーな発信による技術的優位性の可視化が重要と考える。</td> <td data-bbox="962 1205 1469 1400">オープン・クローズ戦略に基づいて技術情報の流出に配慮しつつ、各実施者の合計で特許 501 件（うち外国出願 273 件）、学会等での技術情報発表を 142 件実施した。NEDO としても講演やニュースリリース等において、タイムリーに本成果の優位性を発信した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="450 1400 962 1624">諸外国との新蓄電池開発競争は非常に厳しいものになると予想されることから、耐久性や安全性といった標準化に関連する項目の情報を実用化・事業化に早期に反映する企業内の体制の構築が重要と思われる。開発した蓄電池の耐久性、安全性に関しても早急に評価、実証を進めてほしい。</td> <td data-bbox="962 1400 1469 1624">本プロジェクトの蓄電池材料及び蓄電池開発において、当初は小型セルでの性能評価までであったが、成果の実用化・事業化の早期実現のため、実用段階に近い 3～30Ah 級のプロトタイプセルを作製して、エネルギー密度、出力密度、耐久性、安全性等を評価した。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="450 1624 962 1848">標準化は両刃の剣であるので、将来的に不利にならないように慎重に対応することが望まれる。</td> <td data-bbox="962 1624 1469 1848">標準化については、将来的に不利にならないように新たに研究開発項目を設定し、H27 年度～H28 年度の 2 年間実施した。また、自工会、自動車メーカー、大学関係者、標準化 WG 主査及び METI からなる電池技術委員会を設置し、評価技術開発の方向性の議論した上で実施内容に反映させた。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="450 1848 962 2004">NEDO 以外にも、幾つかのプロジェクトが遂行されている。それぞれ国の大きな予算を投入していることから、省庁間の枠を超えて、意見交換を計画されると良いと考える。</td> <td data-bbox="962 1848 1469 2004">NEDO は「文部科学省・経済産業省ガバナングボード（蓄電池）」のメンバーであり、文部科学省が所掌する「先端的低炭素化技術開発／次世代蓄電池研究加速プロジェクト」等の関係者とも定期的に意見交換を実施した。</td> </tr> </tbody> </table>		指摘事項	対応	日本の電池産業が今後も世界をリードして行くためには、コストだけでは測れない独自技術を確立していくことが重要であり、本プロジェクトを活用した知的財産確保と、開発成果のタイムリーな発信による技術的優位性の可視化が重要と考える。	オープン・クローズ戦略に基づいて技術情報の流出に配慮しつつ、各実施者の合計で特許 501 件（うち外国出願 273 件）、学会等での技術情報発表を 142 件実施した。NEDO としても講演やニュースリリース等において、タイムリーに本成果の優位性を発信した。	諸外国との新蓄電池開発競争は非常に厳しいものになると予想されることから、耐久性や安全性といった標準化に関連する項目の情報を実用化・事業化に早期に反映する企業内の体制の構築が重要と思われる。開発した蓄電池の耐久性、安全性に関しても早急に評価、実証を進めてほしい。	本プロジェクトの蓄電池材料及び蓄電池開発において、当初は小型セルでの性能評価までであったが、成果の実用化・事業化の早期実現のため、実用段階に近い 3～30Ah 級のプロトタイプセルを作製して、エネルギー密度、出力密度、耐久性、安全性等を評価した。	標準化は両刃の剣であるので、将来的に不利にならないように慎重に対応することが望まれる。	標準化については、将来的に不利にならないように新たに研究開発項目を設定し、H27 年度～H28 年度の 2 年間実施した。また、自工会、自動車メーカー、大学関係者、標準化 WG 主査及び METI からなる電池技術委員会を設置し、評価技術開発の方向性の議論した上で実施内容に反映させた。	NEDO 以外にも、幾つかのプロジェクトが遂行されている。それぞれ国の大きな予算を投入していることから、省庁間の枠を超えて、意見交換を計画されると良いと考える。	NEDO は「文部科学省・経済産業省ガバナングボード（蓄電池）」のメンバーであり、文部科学省が所掌する「先端的低炭素化技術開発／次世代蓄電池研究加速プロジェクト」等の関係者とも定期的に意見交換を実施した。
指摘事項	対応											
日本の電池産業が今後も世界をリードして行くためには、コストだけでは測れない独自技術を確立していくことが重要であり、本プロジェクトを活用した知的財産確保と、開発成果のタイムリーな発信による技術的優位性の可視化が重要と考える。	オープン・クローズ戦略に基づいて技術情報の流出に配慮しつつ、各実施者の合計で特許 501 件（うち外国出願 273 件）、学会等での技術情報発表を 142 件実施した。NEDO としても講演やニュースリリース等において、タイムリーに本成果の優位性を発信した。											
諸外国との新蓄電池開発競争は非常に厳しいものになると予想されることから、耐久性や安全性といった標準化に関連する項目の情報を実用化・事業化に早期に反映する企業内の体制の構築が重要と思われる。開発した蓄電池の耐久性、安全性に関しても早急に評価、実証を進めてほしい。	本プロジェクトの蓄電池材料及び蓄電池開発において、当初は小型セルでの性能評価までであったが、成果の実用化・事業化の早期実現のため、実用段階に近い 3～30Ah 級のプロトタイプセルを作製して、エネルギー密度、出力密度、耐久性、安全性等を評価した。											
標準化は両刃の剣であるので、将来的に不利にならないように慎重に対応することが望まれる。	標準化については、将来的に不利にならないように新たに研究開発項目を設定し、H27 年度～H28 年度の 2 年間実施した。また、自工会、自動車メーカー、大学関係者、標準化 WG 主査及び METI からなる電池技術委員会を設置し、評価技術開発の方向性の議論した上で実施内容に反映させた。											
NEDO 以外にも、幾つかのプロジェクトが遂行されている。それぞれ国の大きな予算を投入していることから、省庁間の枠を超えて、意見交換を計画されると良いと考える。	NEDO は「文部科学省・経済産業省ガバナングボード（蓄電池）」のメンバーであり、文部科学省が所掌する「先端的低炭素化技術開発／次世代蓄電池研究加速プロジェクト」等の関係者とも定期的に意見交換を実施した。											

評価に関する事項	中間評価	H26 年度 中間評価実施
	事後評価	H29 年度 事後評価実施
3. 研究開発成果について	<p>3.1 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果</p> <p>3.1.1 高容量 Si 合金負極の研究開発（日産自動車） 本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年計画で EV 用 LIB を開発した。 LIB の高容量化を行うために、負極活物質として 1,300mAh/g の Si-Sn-Ti 系合金材料を開発した。その粒子表面にカーボン被覆した負極活物質と導電助材として繊維状・球状混合導電助剤、バインダ材としてポリイミドを用いて小型セルを作製し、90%@300 サイクルを達成した。また、球面収差補正透過型電子顕微鏡等を用いた負極の微細構造解析からシリコン合金中のシリコン相の適切な形態を見出し、材料設計に反映した。このシリコン合金負極を適用した 3Ah 級セルを作製し、エネルギー密度 300Wh/kg、出力密度 2,200W/kg、耐久性として 84%@300 サイクル、安全性として釘刺し試験時異常無きこと、更にコストとして 1.4 万円/kWh の見通しを得た。</p> <p>3.1.2 高容量・低コスト酸化物正極を用いた高エネルギー密度リチウムイオン電池の開発（日本電気、積水化学工業、田中化学研究所） 本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年計画で EV 用 LIB を開発した。 低酸素濃度で熱処理した鉄系層状固溶体材料に $\text{Sm}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ 表面コートをした正極を開発し、容量密度 271mAh/g、電極密度 2.35g/cm³ を達成した。高電圧化に対応するため、フッ素系溶媒とイオン液体を添加剤として用いた電解液と表面樹脂コートした酸化防止剤添加 PP セパレータを開発し、SiO 混合黒鉛負極とともに 8Ah セルを作製した。このセルを 8 直 1 並モジュールにして、エネルギー密度 273Wh/kg、出力密度 1,600W/kg を達成した。</p> <p>3.1.3 高エネルギー密度・低コストセル開発及び高入出力パック開発（東芝インフラシステムズ） 本テーマでは平成 24 年度から平成 27 年度の 4 年計画で、EV、PHEV 及び ISS（アイドリングストップ）用途の LIB の開発を行った。 EV・PHEV 用途では、新規チタンニオブ系複合酸化物負極材料を適用し、従来正極、集電箔・セパレータの薄膜化と組合せたセル、及び現行負極材料を適用し、正極材料の改良、正・負極の厚膜化、セパレータの薄膜化と組合せたスタック構造セルで 275Wh/L 以上を達成した。また、セルコスト低減に寄与するセパレータを電極上に密着させる技術の要素技術を確認し、セルコスト 30 円/Wh の目処をつけた。ISS 用途では、電極の薄塗り塗工技術、多層集電体の低抵抗・高接合強度接合技術等を開発し、出力 3,500W/kg、セルコスト 70 円/Wh の目処をつけた。さらに、PHEV 用途では、パックでの入出力特性向上を目指し、3C 連続放電で温度上昇 15℃以下を実現するパック冷却要素技術を確認した。</p> <p>3.1.4 PHEV 用高電圧充電用リチウムイオン電池の研究開発（パナソニック） 本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年で PHEV 用 LIB を開発した。 PHEV 用の高電圧充電用として、組成と添加元素の適正化、更に新規合成プロセスの適用を進めて、粒子硬度の向上や粉体流動性の改善を図った新規なニッケル・コバルト・マンガン 3 元系正極材（NCM）を開発した。開発した NCM 正極材を適用すると共に集電部の軽量化を図って試作した 20Ah 実規模セルを評価した結果、目標値を超えるエネルギー密度 209Wh/kg、出力密度 2,538W/kg を確認すると共に、安全性、サイクル寿命、コスト等の目標も達成した。</p> <p>3.1.5 高性能材料の電池化と実装技術による高エネルギー型リチウムイオン電池の開発（日立製作所、日立オートモティブシステムズ） 本テーマでは、平成 24 年度から平成 28 年度の 5 年計画で高性能 EV 用電池パックの実用化に向けた開発を行った。250Wh/kg パックの見通しを得るため、パック内のセルの重量比を 0.8 として、セルの最終目標値を 320Wh/kg に設定した。 320Wh/kg を見込める正極材料として Ni 比率 80%正極を選定し、酸化物被覆により高容量と長寿命を両立させた。負極材として、900Ah/kg を実現できるシリコン系活物質混合黒鉛を選定し、表面へのカーボンコート及び高強度バインダ、電解液への FEC 添加剤の適用によ</p>	

り、サイクル特性を改善した。上記正極と組み合わせた 30Ah 級ラミネートセルを試作し、エネルギー密度 320Wh/kg を達成した。実用角形電池を作製し、電池性能及び安全性能を評価するとともに、電池パックを作製し、外装筐体冷却やセルホルダー等の採用によりセル重量比率 0.8 を達成した。

3.1.6 電極ナノコンポジット化による高性能全固体電池の研究開発（トヨタ、豊田中央研究所） 本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年間で EV 用全固体 LIB を開発した。

車載用全固体電池について、高イオン伝導固体電解質、5V 級正極活物質とナノ粒子化技術、電極界面形成技術、電池化技術等の要素技術開発を進めながら、小型セルを試作してエネルギー密度や出力特性の検証を実施してきた。その中で、25 mS/cm と世界最高の Li イオン伝導度を有する硫化物系固体電解質を発見し、適用したセルで現行のリチウムイオン電池に比べ 3 倍以上の出力特性を示すことが明らかとなった。また、酸化物系全固体電池の作製プロセスの低温化によるセル高性能化に成功し、エネルギー密度 600Wh/L と出力特性 2,000W/L の目標を達成した。

3.1.7 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果のまとめ

各実施者の開発成果から試算される電池パックのエネルギー密度及び出力密度は、現行品に比べて約 1.5～2 倍の向上となっている。また、コストについても、現行品に比べて約 2/3～1/2 の低減となっており、製品化段階において市場競争力を有するものとなっている。

3.2 研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果

3.2.1 港湾設備を中心とした産業用機械の EV/HEV を実現する蓄電池の実用化開発 （三井造船、エレクセル、三井造船システム技研）

本テーマでは、平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年計画で、港湾コンテナターミナルのヤードクレーン及びトラクターヘッドへの LIB の応用を目的として、リン酸鉄リチウムを正極材に用いた長寿命・急速充放電に特化した大型電池システムを開発した。

小粒径化と炭素被覆を行ったリン酸鉄リチウム正極材料を使用し、集電箔の最適化を行った 20Ah のハイレート電池セルを開発し、ヤードクレーンを想定した 20C、SOC 40-60%、250,000 サイクルで容量保持率が 82%及びトラクターヘッドでの使用を想定した 6C、SOC 10-90%、10,000 サイクルで容量維持率が 90%を達成した。開発セルを用いた耐塩水性の高い密閉構造でありながら、急速充放電による発熱を効率的に放熱する構造を持った 10kWh 電池モジュールを開発した。開発セルの特性に応じた劣化予測式とセルバランスアルゴリズムを構築し、それらを組み込んだ最大 20 個の 10kWh 電池モジュールを制御可能な BMS を開発した。

3.3 研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」

3.3.1 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発

（日本自動車研究所、産業技術総合研究所）

本テーマは、平成 27 年度から平成 28 年度までの 2 年間で車載用 LIB の国際規格・基準に反映される安全性評価法及び寿命試験法の開発に取り組んだ。

安全性評価法では、強制内部短絡試験法 (FISC) の代替試験法として先端 Ni チップ付きセラミック釘刺法の可能性が高いことを確認し、さらにセラミック釘刺は釘の固定を解除する新規方式を開発し、発生事象、短絡層数で FISC と同等となることを確認した。パック内 1 セルが熱暴走したときのパック内への影響を評価する熱連鎖試験法では、起点となる 1 セル熱暴走発生方法を、熱暴走時の発生事象の再現性、1 セル発熱量から市販 EV・PHEV の各種セルで検討し、ヒーター加熱法でセル種類によらず実現可能なことを確認し、シミュレーションにより試験条件を明確化した。

寿命試験法では、実車両搭載電池を用いて IEC 寿命試験法の妥当性を検証した。実車両搭載電池における劣化ばらつきを主要因が温度であることを明確し、単セル試験による組電池試験の代用性を確認した。IEC 試験法の不明確点であった上限電圧及び休止条件を明確化し、IEC62660-1 の改訂審議で提案し、承認された。

	投稿論文	42 件（うち査読付き 5 件）
	特 許	「出願済」 501 件（うち国際出願 273 件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	「研究発表・講演」 142 件 「プレス発表（新聞・雑誌等への掲載）」 14 件 「展示会への出展」 5 件
4. 実用化・事業化 の見通し及び 取組について	<p>4.1 「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し</p> <p>研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の各実施者は自社の事業部門も検討に参加して、製品設計～量産設備導入～販売までの具体的な計画を立てており、大半の実施者は、現在、製品設計の検討を進め、2018 年～2019 年頃から量産化の検討を行い、2020 年頃に事業化されていく見込みである。現在、多くの実施者が製品の実用段階の検討やサンプルワークを実施しており、顧客評価等も含めて、製品化を推進している。また、一部の実施者は、既に本プロジェクトで得られた成果を適応した製品の販売・量産を開始しており、成果の事業化が進んでいる。</p> <p>この 7 実施者グループの本プロジェクトの成果を取り入れた車載用 LIB 及び材料・部品の売上計画の合計については、早期事業化を推進している実施者があるため、2020 年から既に売上が立つ計画となっている。2022 年頃には量産の拡大や多くの実施者が事業化を開始するため、大きな売上の増加が見込まれ、2025 年には約 7,000 億円/年に達する計画となっている。また、2 実施者グループの本プロジェクトの成果を取り入れた EV・PHEV の売上計画の合計については、それぞれの実施者で売上の開始時期は異なるが、販売開始 1 年目から約 5,000 億/年の売上が見込まれており、5 年後には約 2.5 兆円/年までに達する計画となっている。</p>	
	<p>4.2 「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の成果の実用化に向けた取組及び見通し</p> <p>研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」において開発した試験法及び取得された試験データについては、既に国際標準・基準の議論に活用されており、一部は国際規格の内容に盛り込まれ済みである。</p> <p>例えば、セラミック釘刺し試験法は、本プロジェクトの成果を反映して Ni 片を用いる強制内部短絡試験の代替試験法として既に 2017 年に 2 月に発行した TR 62660-4 に盛り込まれており、IEC 62660-3 改訂版に反映される予定である。熱連鎖試験法については、釘刺しやヒーター加熱を起点とした熱暴走試験手順・結果やシミュレーション結果を ISO 6469-1 の改定審議及び安全性に係る国際技術基準(EVS-gtr)のドラフト作成に係るフェーズ 1 に提出済みであり、2017 年から開始される国際技術基準のフェーズ 2 の議論に活用される予定である。</p> <p>寿命試験法については、IEC 62660-1 試験手順中において不明確であった充電条件及び休止条件を明確化した内容を IEC 会議で提案し、2018 年 10 月発行予定の Edition2 に反映されることが決定している。また、現在審議している ISO12405-4 や寿命に係る国際技術基準(EVE-gtr)の PartB においても、我が国の標準化・基準化の方針に従って適宜試験データが活用される予定である。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2012 年 4 月 作成
	変更履歴	2015 年 2 月 研究開発項目③の新規追加に係る改訂

プロジェクト用語集

用語	説明
18650 型電池	直径 18mm、長さ 65mm の円筒形セル。
213 固溶体	$\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiMO}_2$ (M=Ni, Co, Mn 等)固溶体の略称。 Li_2MnO_3 の理論容量は約 359mAh/g と高容量であるが不活性であるため、活性な LiMO_2 と固溶体化させることにより、高容量を発現させることが可能となった。
21700 型電池	直径 21mm、長さ 70mm の円筒形セル。
BMS (Battery Management System)	→バッテリーマネジメントシステム
C	定電流放電したときに、ある時間で放電終了となる電流値。)1 C が 1 時間、0.2 C が 5 時間で放電終了となる電流値。
CCCV (Constant Current / Constant Voltage)	充放電の制御方法の一つ。定電流(CC)で充電若しくは放電した後、に所定電圧到達後に定電圧(CV)に切り替えて充電若しくは放電する制御方法。
CO ₂ 排出係数	使用エネルギー量あたりに排出される CO ₂ 量。電力、ガス、ガソリン等のエネルギー種別に定められた値であり、政令等で指定される。
DCR (Direct Current Resistance)	直流抵抗。
DEC (Diethyl Carbonate)	ジエチルカーボネート。低粘度溶媒であり、イオン移動度が大きいことから、電解液の溶媒用途に使用されている。
EC (Ethylene Carbonate)	エチレンカーボネート。高極性溶媒であり、電解質を大量に溶解できることから、電解液の溶媒用途に主に使用されている。
EDX (Energy dispersive X-ray spectrometry)	エネルギー分散型 X 線分光法。電子線照射により発生する特性 X 線を、分光することで、元素分析や組成分析を行う手法。
EELS (Electron Energy-Loss Spectroscopy)	電子エネルギー損失分光法。電子が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で、物質の構成元素や電子構造を分析する手法。
EV (Electric Vehicle)	外部からの電力供給によって車載二次電池(蓄電池)に充電し、電池から電動機に供給して自動車を駆動させる電気自動車。
FCV (Fuel Cell Vehicle)	燃料電池車。燃料電池(FC)を搭載して、水素を燃料として発電し、その発電電力を電動機に供給して自動車を駆動させる電気自動車。
FDEC (DiFluoro Ethylene Carbonate)	ジフルオロエチレンカーボネート。電解液の耐高電圧化のための添加剤として用いられるフッ素系溶媒。
FEC (Fluoro Ethylene Carbonate)	フルオロエチレンカーボネート。電解液の耐高電圧化のための添加剤として用いられるフッ素系溶媒。
FISC (Forced Internal Short Circuit)	強制内部短絡。セルを解体して正極と負極の間にニッケル片を入れ、その部位に圧力を印加し、内部短絡を発生させることで電池セルの安全性を評価する。

用語	説明
HEV (Hybrid Electric Vehicle)	内燃機関と電動機を動力源として備えた車両(ハイブリッドカー)。
IEC (International Electrotechnical Commission)	国際電気標準会議。電気、電子、通信、原子力等の分野で各国の規格・標準の調整を行う国際機関。1906年に設立され、1947年以降はISOの電気・電子部門を担当している。本部はスイスのジュネーブ。
ISO (International Organization for Standardization)	国際標準化機構。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格の策定を行う国際機関。1908年に創設され、本部はスイスのジュネーブ。
ISS (Idling Stop System)	自動車の燃費向上等のため、停車時にアイドリングを停止させる機能。
JC08 モード	1Lの燃料(又は1kWhの電力)で何km走行できるかを、いくつかの自動車の走行パターンから測定する燃費測定方法の一つ。日本の行政機関が規定し、日本国内にて型式認定を受ける車両に対して適用される。
JIS (Japanese Industrial Standards)	日本工業規格。工業標準化法に基づき、日本工業標準調査会の答申を受けて、主務大臣が制定する工業標準であり、日本の国家標準の一つ。
LCO	LiCoO ₂ コバルト酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
Li	→リチウム
LiPF ₆	六フッ化リン酸リチウム。リチウムイオン二次電池の電解質塩として使用される。
LCP	LiCoPO ₄ 。リチウム、コバルト、リン、酸素からなるオリビン型結晶構造を有する正極材。5V級の高電位正極材の一つ。
Li 過剰 NCM 系	xLi ₂ MnO ₃ -(1-x)Li[Ni _{1/3} Co _{1/3} Mn _{1/3}]O ₂ 等の組成を有するLi過剰層状正極活物質。高容量化が期待される正極活物質。
LLZ	リチウム、ランタン、ジルコニウム、酸素からなるガーネット型結晶構造を有する酸化物電解質材料。
LMO	LiMn ₂ O ₄ マンガン酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
LNMO	スピネル型ニッケルマンガン酸リチウム LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ の頭字語。5V正極材として注目されている材料。
LNO	LiNiO ₂ ニッケル酸リチウム。リチウムイオン電池用正極材として利用。
LPS	リチウム、リン、硫黄からなるガラス電解質材料。
Mn-Ni スピネル	スピネル型ニッケルマンガン酸リチウム LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄ の別称。5V正極材として注目されている材料。
NCA	Li[NiAlCo]O ₂ リチウムイオン電池用正極材として利用。
NCM	Li[NiMnCo]O ₂ リチウムイオン電池用正極材として利用。元素比の違いによりNCM622等と表記されることもある。
NMR (Nuclear Magnetic Resonance)	核磁気共鳴。強力な磁場中に設置した原子核に、外部から電磁波を加えることによって共鳴現象を起こす性質を利用して有機化合物の構造を分析する手法。

用語	説明
PHV/PHEV (Plug-in Hybrid Vehicle/Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	ハイブリッドカー(HEV)の電池容量を増加させて、外部電源から充電できる仕組みにしたハイブリッドカー。短距離は電気自動車として、長距離はハイブリッドカーとして使用できる自動車。
PP セパレータ (Poly-Propylene セパレータ)	ポリプロピレンを素材として用いたセパレータ。
SEI (Solid Electrolyte Interface)	リチウムイオン電池の電解液と電極の界面で、Li イオンと電解液の電気化学反応によって形成される皮膜の呼称。SEI が形成されるとLi イオンの拡散が抑制される。
SEM (Scanning Transmission Electron Microscope)	走査型電子顕微鏡。電子線を試料に照射し、試料の凹凸や組成を分析する手法。
Si 負極	→合金系負極
SOC (State of Charge)	充電状態。
STEM (Scanning Transmission Electron Microscope)	走査透過型電子顕微鏡。試料に照射する電子線を走査させ、透過像を得ることにより構造を分析する手法。
TEM (Transmission Electron Microscope)	透過型電子顕微鏡。試料に電子線を照射し、透過した電子を結像することで観察するタイプの電子顕微鏡。
USABC (United State Advanced Battery Consortium)	米国先進バッテリーコンソーシアムの略である。車載用蓄電池開発のためのコンソーシアムで、蓄電池開発を推進している。また、車載用蓄電池の安全性に対する規格も提案している。
V2G (Vehicle to Grid)	電気自動車等に搭載された電池から、配電網へ給電を行うこと。
V2H (Vehicle to Home)	電気自動車等に搭載された電池から、家庭用電源へ給電を行うこと。
XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)	X線光電子分光法。X線照射により放出される光電子の運動エネルギー分布を測定し、試料表面(数nm程度の深さ)に存在する元素の種類・存在量・化学結合状態を分析する手法。
ZEV (Zero Emission Vehicle)	有害な排出ガスを出さない無公害車のこと。
アーク溶解炉	アーク放電で発生した熱を利用して金属材料等を溶解し、合金を作製する電気炉。
エージング	セルを組み立てた後、不良品の検出や活性化のため、充電状態で一定時間保管すること。
エネルギー密度	二次電池の単位質量又は単位容積当たりに取り出せるエネルギー。Wh/kg、Wh/L等の単位で示される。
円筒形セル	正極、セパレータ、負極を重ねて捲回させた電極体を、筒形の外装ケースに収納した電池のこと。

用語	説明
角形セル	正極、セパレータ、負極を重ねて捲回させた、若しくは積層した電極体を、角形の外装ケースに収納した電池のこと。
過充電	蓄電池を端子間電圧の定格を超えて充電しすぎること。異常な発熱や内圧の上昇が発生し危険であるため、通常は安全回路を取り付けてこれを防止する。
活物質	電極活物質ともいう。化学電池で、その電池の起電反応のもととなる主要物質のこと。LIBでは、正極活物質として、コバルト酸リチウム、マンガン酸リチウム、リン酸鉄リチウム等が、負極活物質として、黒鉛等が使用されている。
ガラスセラミックス	過冷却ガラスの非晶質に熱を加えることで、部分的に結晶が析出した材料。硫化物電解質材料として開発されている。
ガラス電解質	過冷却ガラス状態のイオン伝導材料。
急速充電	通常は電気自動車の充電には数時間を要するが、数十分以内に満充電に近い状態まで充電できる充電方法のこと。
急冷ロール凝固装置	ロール上に熔融金属等を吹き付けて急冷凝固させ、薄帯合金等を作製する装置。
グラファイト	炭素の同素体の一つであり、炭素原子六員環が同一面に連なったグラフェン面が積層した構造となっている。商品化されている LIB の負極材として使用されている。
合金系負極	Si や Sn のように、充放電の際に Li と合金を形成する材料のこと。炭素系負極材に比べて、充放電電位は高くなるが、数倍の理論容量を示す。
航続距離	燃料を最大積載量まで積んで航続できる最大距離のこと。電気自動車においては電池を満充電状態から完全放電までの間に航続できる距離のこと。
黒鉛	→グラファイト
固体電解質	有機物又は無機物の固体の中で、リチウムイオン伝導性を示し、電解質として使用できるもの。
サイクル特性	一定条件下での充放電サイクル数と容量維持率の関係をプロットした図で表され、エネルギー密度、レート特性と並ぶ重要な電池特性。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。
三元系	LiMO ₂ の一般式で示され、M には Ni、Mn、Co、Al 等の 3 種を含むもの。
集電体	電池反応により活物質で発生した電子を集め、又は供給するための部品。一般に導電性の金属が使用され、形状は箔や孔あき板、格子等がある。
充放電サイクル	充放電の繰り返し回数。電池が劣化する主な原因は充放電繰り返しによるセルの内部抵抗の増大。内部抵抗が増大すると容量・放電レートや温度特性も低下する。
充放電レート	電池を充放電する際の速度。電池の全容量を 1 時間で充放電させるだけの電流量が 1C レートであり、その電流量の何倍かを C レートで表す。

用語	説明
出力密度	二次電池の単位質量又は単位容積当たりに取り出せる電気出力。W/kg、W/L 等の単位で示される。
初期容量	電池が最初に持っている放電容量。
スラリー	リチウムイオン電池の製造工程で、電極材料を塗工できるように、液体に溶かして塗料化したもの。
正極	一対の電極のうちで、電位が高い方の極。充電時に電流が流れ出し、放電時に電流が流れ込む極。
セパレータ	正極と負極の間に短絡防止、間隔保持、電解液保持等の目的で挿入する多孔又は微孔性の膜や不織布状のもの。
セル	単電池。正極・負極・バインダ・電解液・集電体・包材からなる電池の最小構成単位。形状として、円筒形、角形、ラミネート(パウチ)形がある。
セルコントローラ	電池の状態(電圧、温度等)をセル単位で監視し、バッテリーコントローラの指令により容量調整を行う制御装置。
全固体電池	可燃性電解液の代わりに固体電解質を利用し、電池全てが固体で構成される電池。電池パックの損傷等によるショート、発火する危険性が低減する。
電解液	二次電池内の電気化学反応に際してイオン伝導させる溶液。LIBでは、極性が大きく溶解力の高いカーボネート系有機溶剤が使用される。
電極	電解質溶液等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。
電池パック	セルを組み立てたモジュールを複数接続し、電気自動車等に搭載する形状としたもの。
電池容量	電池から取り出せるエネルギー量。電圧と電流容量の積であり、Wh で表す。
トラクターヘッド	運転席と荷台が分離可能な牽引自動車。
鉛蓄電池	正極(陽極板)に二酸化鉛、負極(陰極板)には海綿状の鉛、電解液として希硫酸を用いた二次電池。自動車のバッテリーとして広く利用されている。
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。
ニッケル水素電池(NiMH 電池)	二次電池の一種で、正極に水酸化ニッケル、負極に水素吸蔵合金、電解液に濃水酸化カリウム水溶液(KOH(aq))を用いたもの。
ハイレート電池セル特性	電池容量に対して比較的大きな電流を流すことにより短時間で充放電を行った際に影響を受ける電池の劣化に関する特性。
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等様々な性能が要求される。
バッテリーコントローラ	充放電を制御し、容量調整を判断してセルコントローラに指令を出す制御装置。

用語	説明
バッテリーマネジメントシステム	組電池の電池管理システム。通常、単セルを管理する複数のセルコントローラから電圧、温度等の情報を収集し、組電池全体の電圧・温度等の状態を把握して、異常時には電流遮断等の制御を実施する。
表面修飾	活物質粒子や電極等の表面に他の特性を付与及び現在の特性を更に向上させる目的で被覆を行うこと。
負極	一対の電極のうちで、電位が低い方の極。充電時に電流が流れ込み、放電時に電流が流れ出す極。
普通充電	充電スタンドから100V又は200Vで電気自動車に搭載した電池を充電すること。
フッ化オリビン	Li ₂ MPO ₄ Fの一般式で示されるリチウムイオン電池用正極材。
ポストLIB	現行のリチウムイオン電池を超える特性を示す電池。候補として、金属空気電池等が含まれる。
ポリアニオン系正極	結晶構造中にXO ₄ 四面体(X=P, S, As, Mo, W, Si等)を有する正極材。
ポリマー電解質	有機物からなるポリマーを電解質として適用したもの。
マグネシウムイオン電池	充放電に際し、マグネシウムが正負極間を移動する電池系のこと。イオン化した際、リチウムは1価であるのに対し、マグネシウムは2価となる。
モジュール	複数のセルを組み立てて接続したもの。
ヤードクレーン	コンテナヤードにあるコンテナの積み降ろしを行うクレーン。
容量維持率	初期容量に対する再測定時の容量比。容量維持率が高いほど、優れたサイクル特性があると言える。
容量密度	電池から取り出せる容量の単位質量当りの値。mAh/gで表す。
ラミネートセル	正極、セパレータ、負極を重ねて巻き取った、及び積層した電極体を、熱溶着で密封できるラミネートフィルム内に収納した電池のこと。
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。
リチウム硫黄電池	正極に硫黄、負極に金属リチウム等を適用した電池系のこと。硫黄が多硫化物を形成し、電解液中に溶出することで特性が低下する問題があるが、現行のリチウムイオン電池に比べ大きな容量を示す。
リチウムイオン電池	二次電池の一種。LIBの充放電における反応は、リチウムイオンが正極・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4Vと高い、(2)エネルギー密度が高い、(3)レート特性が良い、(4)温度特性、自己放電特性が良い、(5)メモリ効果が見られない、という特徴を持っている。これらの特徴から、家電、通信機等の幅広い分野で応用されている。今後は、自動車等輸送機器用の電源としての用途が期待されている。
リチウム金属負極	金属リチウムを適用した負極のこと。

用語	説明
リチウム空気電池	正極に空気、負極に金属リチウムを適用した電池系のこと。
リチウムチタン複合酸化合物(LTO)	リチウムイオン電池用負極活物質のひとつ。本材料は不燃性のため、炭素系の負極材料を用いた電池と比べ安全性が高い。
リン酸鉄リチウム	LiFePO ₄ の一般式で示されるリチウムイオン電池用正極材。

第1章 事業の位置づけ・必要性について

1.1 事業の目的の妥当性

地球温暖化問題への対応の一環として、運輸部門における石油依存度を低減し、CO₂の排出量を低減するため、電気自動車(EV)やプラグインハイブリッド自動車(PHEV)等の次世代自動車の普及拡大が期待されており、近年、EV・PHEVの電動走行距離の延伸や車両価格の低減を図る車載用蓄電池技術の開発及び実用化の国際競争が活発化している。

本プロジェクトでは、2020年代における次世代自動車の大量導入と車載蓄電池市場での競争力強化に資する技術開発を実施した。

本プロジェクトの概要を図1.1-1に示す。

研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」では、EV・PHEVに搭載されるリチウムイオン電池(以下、LIBと表記する)の高性能化・低コスト化に向け、電極・電解質材料、セル・パック化技術等、LIBのキー技術を開発した。研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」では、現行のLIBの自動車以外の用途拡大のための技術開発として、港湾設置のヤードクレーン・トラクターヘッド用LIBを開発した。研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」では、国際規格・基準に反映される車載用LIBの安全性・寿命に係る試験評価法を開発した。



図 1.1-1 本プロジェクトの研究開発の概要

本プロジェクトに関連する国内外の政策動向、技術開発動向、市場・産業動向、特許・標準化動向について以下に述べるが、これらの動向に照らし合わせてみても本プロジェクトの目的は妥当であると言える。

1. 1. 1 EV・PHEV の普及に係る政策動向

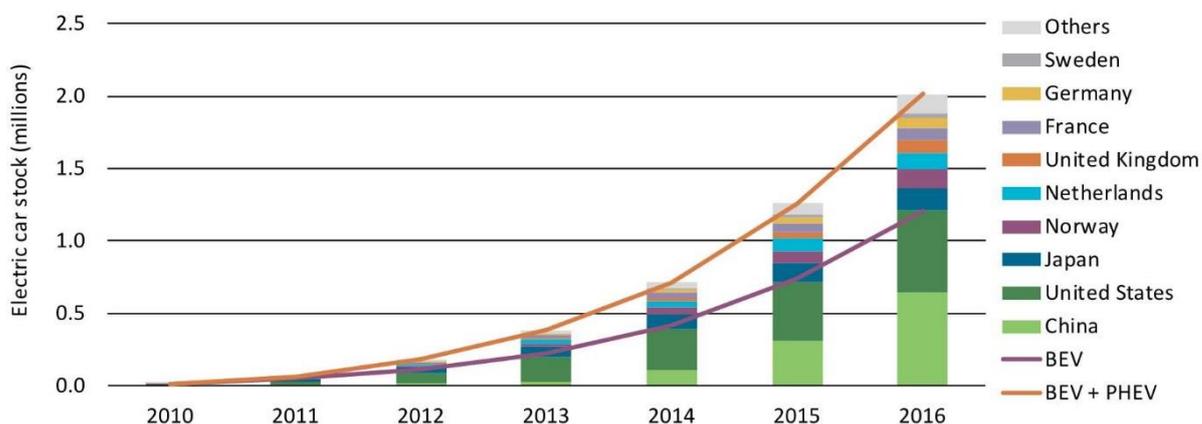
(1) 主要国におけるEV・PHEVの普及目標と普及実績

主要各国の政府は、主に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、表 1.1.1-1 に示すように、EV・PHEV 等の次世代自動車を 2020 年から 2030 年にかけて 100 万台～1,000 万台規模で普及させる目標を掲げている。また、その目標達成に向けて、EV・PHEV 及び充電インフラの導入支援とその実証プロジェクトの実施、自動車・蓄電池産業に対する開発・設備投資支援等、各種インセンティブ施策を積極的に推進している。

表 1.1.1-1 主要国におけるEV・PHEVの普及政策と目標

国	普及政策と目標
米 国	<ul style="list-style-type: none"> ➤ One Million Electric Vehicles by 2015(2011 年) 普及台数 2015 年 100 万台 ➤ Vehicle Technologies Program 2050 年までの普及台数シェア EV:3.2%、PHEV:27.7% 販売台数シェア EV:4.1%、PHEV:35.9%
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ National Electromobility Development Plan(2009 年) 普及台数 2020 年 100 万台、2030 年 500 万台
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ➤ The National Plan to Development Electric and Plug-in Hybrid Vehicles(2009 年) 普及台数 2020 年 200 万台、2025 年 450 万台
英 国	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Carbon Plan(2011 年) 2020 年 170 万台(公共政策研究所 IPPR の 2011 年提案)
ノルウェー	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ノルウェー電気自動車所有者協会(2016 年) 2020 年 普及台数 40 万台、2025 年 新車販売に占める割合 100%(検討中)
中 国	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 省エネルギー・新エネルギー自動車産業発展計画(2012 年) 累積生産・販売台数 2015 年 50 万台、2020 年 500 万台 ➤ 中国製造 2025(2015 年) 中国メーカーの年間販売台数 2020 年までに 100 万台、2025 年までに 300 万台 ➤ 省エネルギー車と新エネルギー車の技術ロードマップ(2016 年) 新車販売に占める割合 2020 年 7%以上、2025 年 15%以上、2030 年 40%以上
韓 国	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 新エネルギー産業戦略(2015 年) 累計販売台数を 2030 年までに 100 万台
日 本	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 自動車産業戦略 2014(2014 年、経済産業省) 2030 年 新車販売に占める割合 20~30% ➤ 未来投資戦略 2017(2017 年、閣議決定) 2020 年の保有台数を最大で 100 万台

図 1.1.1-1 に国際エネルギー機関(IEA)によって取りまとめられた世界全体のEV・PHEVの累積販売台数の推移を示す。2011年から累積販売台数は急速に増加し、2016年には前年比で約60%増と大きく伸びて200万台を突破した。国別で見ると、2015年までは米国が最も多かったが、近年は中国の伸びが著しく、2016年に米国を抜き世界のEV・PHEV保有国になった。2016年までの累積販売台数は、中国(約65万台)、米国(約56万台)、日本(約15万台)、ノルウェー(約13万台)、オランダ(約11万台)、英国(約9万台)、フランス(約8万台)、ドイツ(約7万台)と続いている。



Notes: The electric car stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005. When available, stock numbers from official national statistics have been used, provided good consistency with sales evolutions.

Sources: IEA analysis based on EVI country submissions, complemented by EAFO (2017a), IHS Polk (2016), MarkLines (2017), ACEA (2017a, 2017b) and EEA (2017).

図 1.1.1-1 世界全体の EV・PHEV 乗用車累積販売台数の推移

出典:「Global EV Outlook 2017」(IEA, 2017)

また、IEA では世界の車種別販売台数の将来予測を行っているが、図 1.1.1-2 に示すように、2020 年には EV が約 2%、PHEV が約 5%、2030 年には EV が約 8%、PHEV が約 20% の販売シェアを占めるとしている。

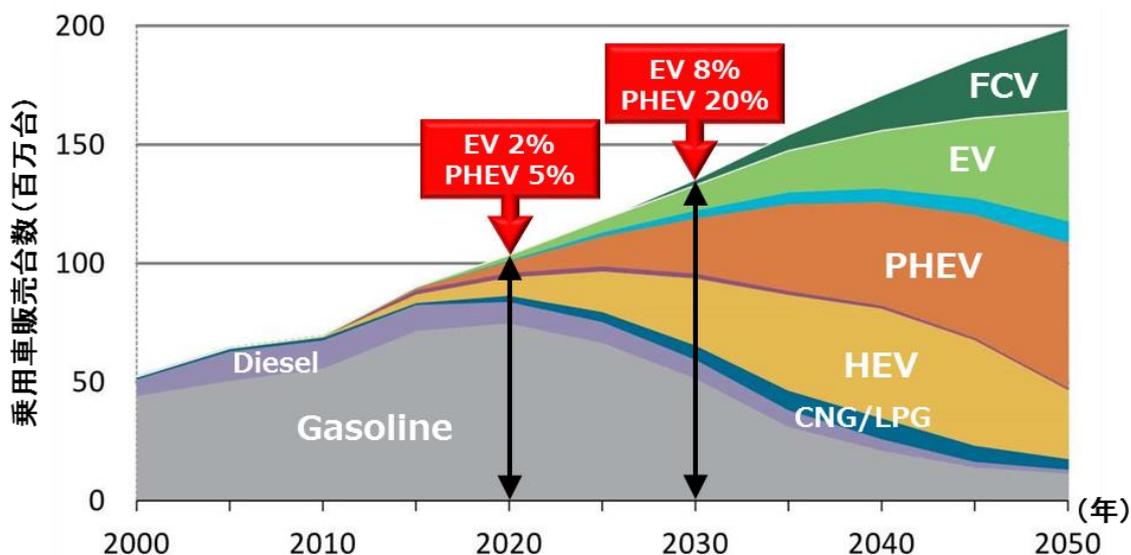


図 1.1.1-2 世界の車種別販売台数の将来予測

出典:「Energy Technology Perspectives 2012」(IEA, 2012)

(2) 主要国における乗用車の CO₂ 排出量規制

図 1.1.1-3 に示すように、主要各国は CO₂ 排出量削減を目的とした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。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。

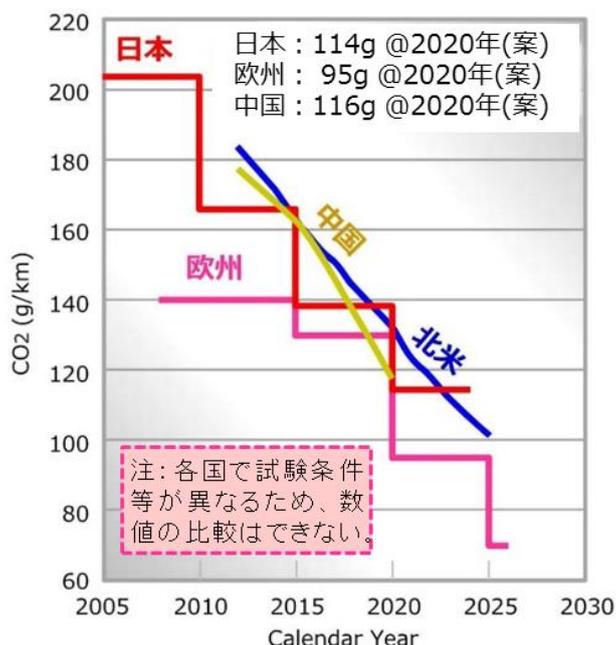


図 1.1.1-3 主要国の乗用車 CO₂ 排出量規制

出典：自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE) 作成

(3) 主要国における EV・PHEV 導入規制

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、表 1.1.1-2 のように新車販売台数に応じて決められた ZEV (EV、FCV が該当)、TZE (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+TZE 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。

表 1.1.1-2 ZEV 規制の対象となるメーカーと新車販売における次世代自動車比率基準

規模	州での販売量	該当するカーメーカー	ZEV 条件	2018 MY	2020 MY	2025 MY
大規模メーカー	2 万台超 / 年	トヨタ、ホンダ、GM、日産、Fiat-Chrysler、Ford	ZEV+TZE	4.5%	9.5%	22.0%
			ZEV 下限	2.0%	6.0%	16.0%
中規模メーカー	0.45~2 万台以下 / 年	VW、BMW、KIA、Benz、現代自、スバル、マツダ等	ZEV+TZE	4.5%	9.5%	22.0%

出典：CARB「California's ZEV Regulation for 2018 and Subsequent Model Year Vehicles 2016」

また、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%以上にする必要がある。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。

(4) 主要国にEV・PHEVの普及支援・導入補助金

表 1.1.1-3 に示すように、主要各国政府はEV・PHEVの普及支援・導入補助金を設けている。多くの国ではEV・PHEVの購入時に補助金や税控除の制度が設けられており、他にもバス専用レーンの走行や無料駐車場の利用等の優遇措置が設けられている。

表 1.1.1-3 主要国におけるEV・PHEVの普及支援・導入補助金

国	普及支援・導入補助金
米 国	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時税控除 電池容量に応じて2,500～7,500ドルの税控除が受けられる補助制度を実施。但し、メーカー毎に対象台数20万台に達すると、段階的に減額。
ドイツ	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時補助金 EV: 4,000ユーロ、PHEV: 3,000ユーロ(販売価格6万ユーロ以下のEV・PHEVが対象) ➢ 普及支援 自動車保有税の10年間免除、専用駐車場の設置、バス専用レーンの優先利用、等
フランス	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ボーナス・マルス制度 CO₂排出量の低い車両(EV等)の購入には補助金(ボーナス)が支払われるが、CO₂排出量の高い車両には課税(マルス)される。また、古いディーゼル車を廃車にし、EVを購入した場合、置き換えに対するボーナスあり。
英 国	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時補助金 CO₂排出量やEVモード航続距離に応じて、購入費用の35%(上限4,500ポンド)。 ➢ 普及支援 地方都市でのバスレーン開放、無料駐車場開放、等。
ノルウェー	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時税控除 購入税10万クローネの免除、(EVのみ)25%の付加価値税の免除、等。 ➢ 普及支援 高速料金の免除、バス専用レーンの走行許可、無料公共駐車場の利用許可、等。
中 国	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時補助金 EVモードの航続距離に応じて、2017年はEV:2～4万元、PHEV:2.4万元。 ※補助金対象は「NEV製品目録」に登録されている車種のみであり、その車種の蓄電池メーカーが「自動車駆動用電池規範条件適合企業目録」に掲載されていることが必須。 ➢ 普及支援 NEVの無料ナンバープレート取得(内燃機関車は抽選・有料)、等。
韓 国	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時補助金 EV: 1,400万ウォン、PHEV: 500万ウォン
日 本	<ul style="list-style-type: none"> ➢ EV・PHEV 購入時補助金 EV: EV 走行距離×1,000円/km(上限40万円)、PHEV: 20万円(EV 走行30km以上)

1.1.2 EV・PHEVに係る市場・産業動向

(1) EV・PHEV の販売動向

図 1.1.2-1 に過去 8 年間における EV・PHEV の単年度販売推移を示す。世界全体で EV・PHEV の販売は堅調に増加の傾向にあり、2016 年の世界販売は約 75 万台である。

特に中国において、政府によって推進された普及施策及びガソリン車規制により、販売が急増しており、2016 年の販売は約 34 万台で世界全体の 45%を占めている。次いで、米国での販売が多く、2016 年は 16 万台で全体の 21%となっている。一方、日本での販売はここ数年 2 万台～3 万台の範囲で横這い・漸減基調の推移となっている。

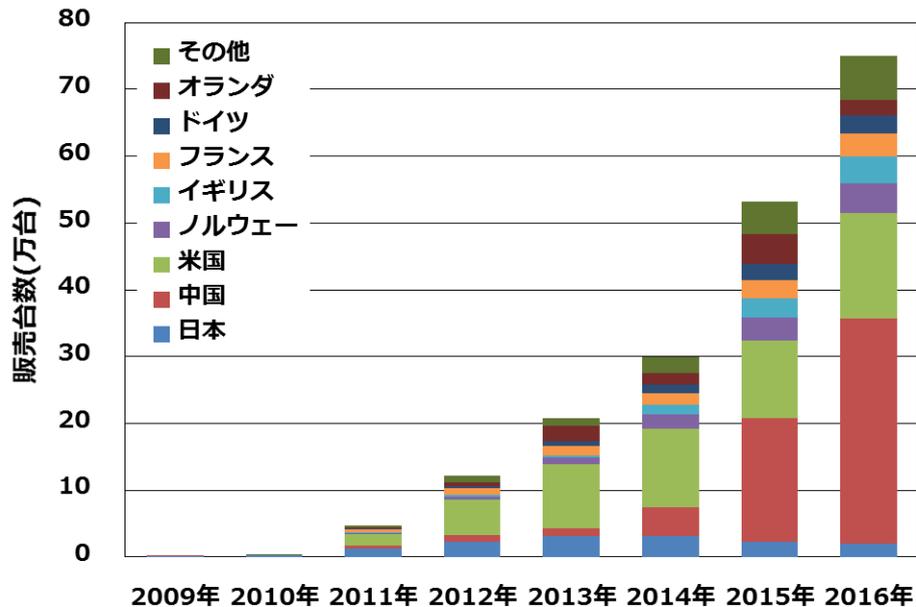


図 1.1.2-1 EV・PHEV の全体及び各国の単年度販売の推移

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

EV・PHEV 車両モデルの累計での世界販売シェアを、EV について図 1.1.2-2 に、PHEV について図 1.1.2-3 に示す。

EV の累計販売のシェア首位は、量産で世界に先行した日産自動車 LEAF であり、累計販売が約 24 万 9,000 台(シェア約 21%)、2016 年販売が約 4 万 9,000 台(シェア約 11%)となっている。シェア 2 位は Tesla Motors Model S であり、累計販売が約 14 万台(シェア約 12%)、2016 年販売が約 4 万 3,000 台(シェア約 10%)である。

一方、PHEV の累計販売のシェア首位は GM Volt であり、累計販売が約 12 万 2,000 台(シェア約 15%)、2016 年販売が約 2 万 8,000 台(シェア約 10%)となっている。シェア 2 位は、三菱自動車 OUTLANDER PHEV で、累計販売が約 11 万 6,000 台(シェア約 15%)、2016 年販売で約 2 万 6,000 台(シェア約 9%)となっている。

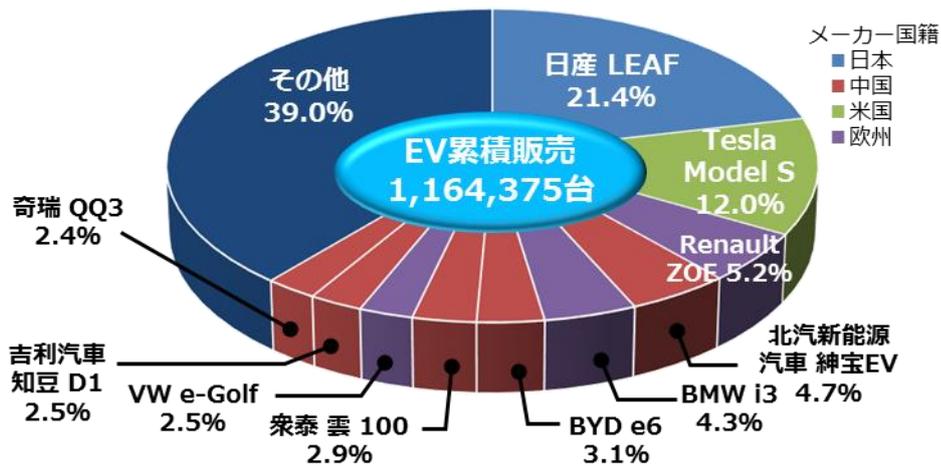


図 1.1.2-2 EV の世界累計販売シェア

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

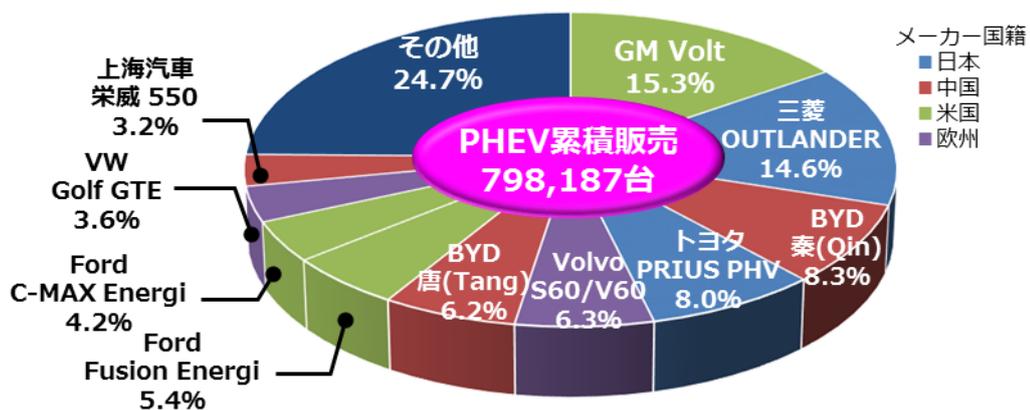


図 1.1.2-3 PHEV の世界累計販売シェア

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

過去 3 年間における世界販売上位の EV・PHEV について、その販売推移を図 1.1.2-4 に示す。上位 10 車種の販売台数の合計は、2014 年は約 21 万台、2015 年は約 27 万台、2016 年は約 32 万台である。日本の自動車メーカーでは、日産自動車 LEAF や三菱自動車 OUTLANDER PHEV が常に上位に入っており、日産自動車 LEAF は 2015 年を除いて販売トップとなっている。欧米メーカーでは、Tesla が目立っており、2016 年に市場に投入された SUV 仕様の Model X がセダン仕様の Model S の販売数に上乗せする形で Tesla 全体の販売数を伸ばしている。中国の自動車メーカーは、2014 年は上位 10 車種に 1 車種が入るだけであったが、2015 年には 4 車種、2016 年には 3 車種が入っており、販売台数の合計でも 2014 年では約 1 万 5,000 台であったが、2015 年には約 8 万台、2016 年には約 9 万台となって 2015 年以降大きく販売台数を伸ばしている。

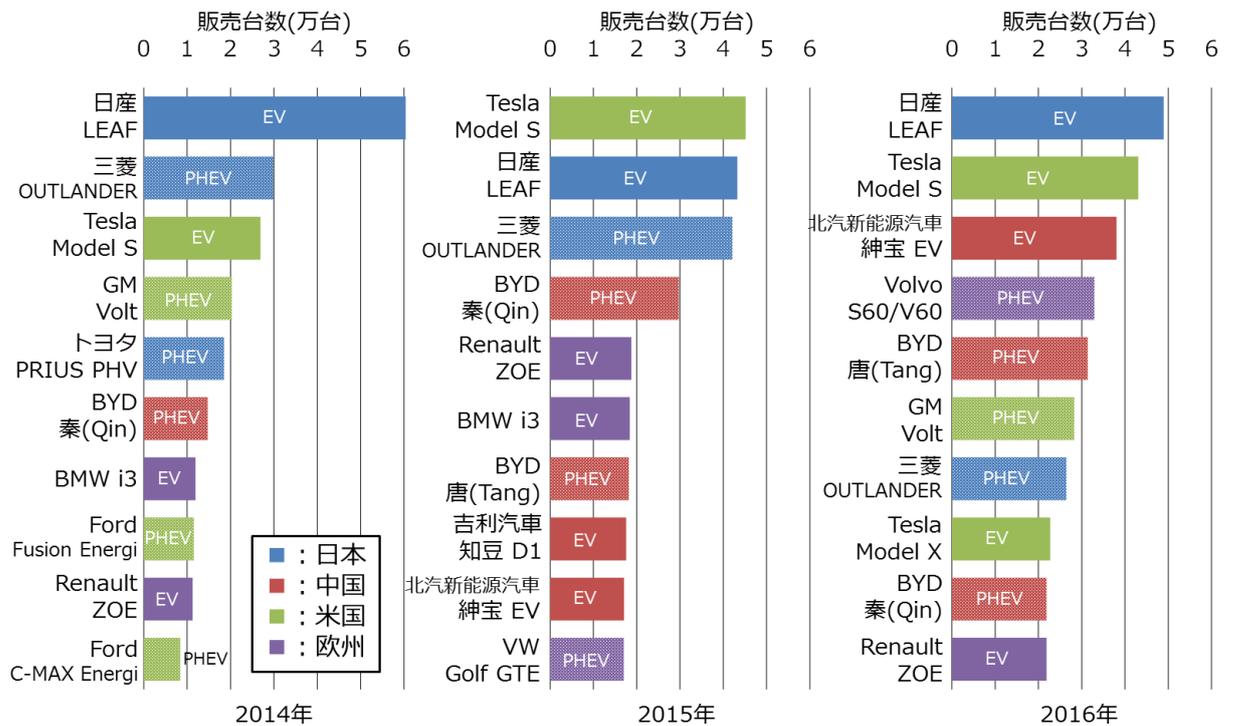


図 1.1.2-4 EV・PHEV の世界販売推移

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

(2) 主要自動車メーカーの開発動向

国内外の主要な自動車メーカーが市場投入している EV・PHEV を表 1.1.2-1 に示す。

EV では容量 20～30kWh 級の電池パックが搭載され、型式認定ベースの航続距離が 200～280km 程度となっている。PHEV では容量 7～14kWh 級の電池パックが搭載され、EV モードの航続距離が 30～70km となっている。また、車両価格は概ね 300 万円～500 万円の範囲にあるが、Tesla Model S を代表例として、電池パック容量が大きくなるほど高価となる傾向にある。

表 1.1.2-1 主要自動車メーカーのEV・PHEV

車種	メーカー	モデル	EV 航続距離 (km)	価格 (万円)	電池パック		
					電池容量 (kWh)	セル形状	電池供給メーカー
EV	日産自動車	LEAF	228 (280)	274	24 (30)	ラミネート形	AESC
	Tesla	Model S	502	933	85	円筒形	パナソニック
	Renault	ZOE	240	264	22	ラミネート形	LG Chem
	北汽新能源汽車	紳宝 EV	175	575	38	-	BESK 他
	BMW	BMW i3	229	499	21.8	角形	Samsung SDI
	BYD Auto	BYD e6	400	497	82	角形	BYD
	衆泰	雲 100	150	265	17.76	-	BAK
	Volkswagen	e-Golf	215	425	24.2	角形	パナソニック
	吉利汽車	知豆 D1	152	263	15.0 12.0	-	Boston-Power、DFD
PHEV	GM	Chevrolet Volt	80 (85)	374 (415)	16.5 (18.4)	ラミネート形	LG Chem
	三菱自動車	OUTLANDER PHEV	60.2	342	12	角形	LEJ
	BYD Auto	秦 (Qin)	70	314	13	角形	BYD
	トヨタ自動車	PRIUS PHV	26.4 (60)	285 (294)	4.4 (8.8)	角形	パナソニック
	Volvo	Volvo S60/V60	50	694	11.2	ラミネート形	LG Chem
	比亞迪汽車 / BYD Auto	唐 (Tang)	80	464	19	角形	BYD
	Ford Motor	Fusion Energi	34	443	7.2	角形	パナソニック
	Ford Motor	C-MAX Energi	33.8	377	7.6	角形	パナソニック
	Volkswagen	Golf GTE	50	449	8.7	角形	パナソニック

出典:「MARKLINES 自動車産業ポータル」のモデル総覧・台数統計データ等により NEDO 作成

次に、主要な自動車メーカーにおけるEV・PHEVの開発方針、市場投入の状況、蓄電池メーカーからの車載用LIBの調達状況等を以下に示す。

① 日産自動車(日本)

LEAFは2016年までに累計で約25万台を販売しており、EVの累計販売台数では世界トップとなっている。2017年に容量を増やし航続距離を伸ばした新型LEAFを発売した。新型LEAFの容量は40kWh、航続可能距離は400kmである。セルはオートモーティブエナジーサプライ(AESC)から調達している。

② 三菱自動車(日本)

2016年に日産自動車が三菱自動車の株式34%を取得し筆頭株主となった。日産グループとして、EV開発は日産自動車に一本化し、三菱自動車は先行するPHEV開発に集中する方針である。

2013年に市場投入したOUTLANDER PHEVは販売台数を堅調に伸ばしており、2016年までに累計で約12万台を販売している。セルはリチウムエナジージャパン(LEJ)から供給を受けている。

③ トヨタ自動車(日本)

EV開発においては、2016年にEVの戦略や開発を担当するEV事業企画室を新設した。また、2017年にはマツダと業務資本提携を行い、デンソーも加えEV開発のための新会社を設立して、EVの共同技術開発を行うとしている。

中国でのNEV規制に対応するため、2016年の北京モーターショーで発表したカローラ、レブンの2車種のPHEVを現地生産し、2018年に中国市場に投入すると発表している。EVについても2020年までの量産開始を目指してきたが、1年前倒しの2019年の投入を検討中とのことである。

2012年にトヨタ自動車初のPHEVであるPrius PHVを市場投入し、発売以来2016年までに累計約6万4,000台販売している。初代の電池パック容量は4.4kWhであったが、2016年にモデルチェンジ実施し容量を8.8kWhに増やした。セルはいずれもパナソニックから調達をしている。

④ Tesla(米国)

2008年にスポーツカー仕様のRoadsterの販売を開始し、2009年からはセダン仕様のModel S、2015年からはModel S派生のSUV仕様であるModel Xを販売している。Model S、Model Xは、2016年までにそれぞれ累計で約14万台、約2万2,000台を販売している。さらに、2017年にベース車価格を35,000ドルの普及価格帯に抑えたModel 3を市場投入する予定である。電池容量は100kWhで航続距離は350kmを超えるモデルもあるとしている。

Model S、Model Xは、パナソニック製円筒形セル(18650)を採用している。Model 3は、パナソニック製で従来よりもエネルギー密度を上げた円筒形セル(21700)を採用する予定である。

また、Model 3の発売に合わせ、両社は、年間50万台規模でのEV販売を想定し、米国ネバダ州に容量規模で35GWhを生産可能な大規模なLIBの生産工場Gigafactoryを共同で建設して、2017年に稼働を開始した。50万台を生産する時期を2020年から2018年に前倒したことに対応し、Gigafactoryでの生産計画も2年前倒した。Teslaはパートナーと合わせてこの新工場建設に50億ドル(Tesla単独で20億ドル)を投資している。

⑤ GM(米国)

2010年よりChevrolet VOLTを北米中心に販売しており、2016年までに累計で約12万台を販売している。

また、2016年に容量60kWhのLIBを搭載したEVであるChevrolet BOLTの販売を開始した。欧州ではOpel Ampera-eとしてOpelブランドで2017年に発売した。航続距離は、EPAモードで383kmである。

すべてのモデルでセルはLG Chemより調達しており、Chevrolet BOLT及びOpel Ampera-eでは、LGグループを電動パワートレインユニットのキーパートナーとして、モーターやインバーター等のパワートレイン部品もLG電子より供給を受けている。セルコストは145ドル/kWhを実現しているとのことで、2022年には100ドル/kWhを達成可能としている。

⑥ Daimler(欧州)

Daimlerは、2022年までに20モデル(総販売台数の25%程度)のEV・PHEVを投入すると公表している。特に、EVについては、Mercedes-Benz EQというサブブランドを立ち上げ、2025年までに少なくとも10車種のEVを発売し、EVに代表されるゼロエミッション車を販売台数の15～25%として、EVの販売台数目標を最大100万台とするという戦略を発表している。

EVについては、2012年に2人乗りであるsmart fortwo electric driveの量産をフランスで開始した。その後2017年に新型のsmart fortwo electric driveと4人乗りのsmart forfour electric driveを発売している。両モデルとも、RenaultとのアライアンスによってモーターはRenaultから調達している。また、2014年にTeslaとのアライアンスによりB250eを発売した。さらに、BYDとの合弁会社Shenzhen BYD Daimler New Technology (BDNT)でDENZAを中国で現地生産し、2014年9月より販売した。

一方、PHEVについては、2015年にC350e/eLを発売しており、2016年までの累計で約2万台を販売している。

smart fortwo electric driveには、当初ドイツの大手化学メーカーであるEvonic Industriesとの合弁会社で設立したLi-TecのラミネートLIBを採用した。2014年4月、DaimlerはLi-Tecの全株式を所得し、同社を完全子会社化したが、2015年にコスト競争力がないことを理由に閉鎖しており、その後、セルは外部調達となった。2017年発売の新型smart fortwo electric drive及びsmart forfour electric driveのセルはLG Chem製を採用している。B250eでは、Teslaからパナソニック製18650セルを搭載した電池パック供給を受けた。DENZAはBYD製のセル・パックを採用している。PHEVのC350e/eLのセルはSamsung SDI製を採用している。

パックについては、パック生産会社のDeutsche ACCumotiveを完全子会社化し、Sachsen州に新工場の立地用地を取得し、工場建設に5億ユーロを投資する予定である。

2016年のパリモーターショーで発表された生産モデルに近いEQのコンセプトSUVでは、EVプラットフォームにDeutsche ACCumotiveが開発した70kWhのパックからなるドライブトレインが採用された。量産モデルは、航続距離が最大500kmに達する見込みとしており、2020年までにドイツのブレーメン工場生産される予定としている。

⑦ BMW(欧州)

2025年に、EV・PHEVの電動車の販売台数がBMWとMINIブランドの合計販売台数の15～25%を占め、EVの販売台数目標は50万台以上としている。

EVについては、2014年に量産車i3を市場投入しており、通常のEVモデルに加えて、発電用の24kWエンジンを搭載したモデルi3レンジエクステンダー(REX)もラインアップしている。それぞれ2016年までの累計で約5万台、約1万台を販売している。両モデル共に容量は同じ21.8kWhである。

PHEVについては、2014年にi8(電池容量:7.1kWh)、2015年にX5 xDrive40e iPerformance(電池容量:9.2kWh)、2016年に225xe Active Tourer iPerformance(電池容量:7.6kWh)、330e iPerformance(電池容量:7.7kWh)、740e/Le iPerformance(電池容量:9.2kWh)を発売しており、コンパクト車から大型高級車まで幅広いモデルを展開している。

何れのモデルも、Samsung SDI製のセルを搭載している。2014年にSamsung SDIとLIBセルの供給拡大に関するMOUを締結済みである。さらに将来の先進LIB・革新型蓄電池に関する包括的な共同研究を行っている。

⑧ Volkswagen(欧州)

VWはグループ全体で2018年までに電動車を10車種投入する計画である。これには、現行モデルやその更新モデルであるEVとPHEVが含まれる。2018-2019年にはAudi初及びPorsche初の100%電動EVであるAudi e-tron及びPorsche Mission Eを投入する予定である。

2020年からはEV用に開発された共通プラットフォームの採用を開始し、それを使用したEVを2025年までに30車種投入する予定である。タイプはコンパクトカーからセダン、クロスオーバー、SUV、ミニバン等、多様なスタイル・サイズに渡り、各ブランドから販売される。2025年にはグループ全体の販売数の20~25%にあたる年間200~300万台の電動車を販売する計画であり、その中でVWブランドでのEV販売は100万台を目標として、うち60%を中国で販売するとしている。2025年の目標を達成するには、150GWhの容量が必要となるため、中核となるバッテリー技術開発に向けた戦略上の選択肢を模索している。

EVでは、2014年にe-Golfを発売し、2016年までの累計で約3万台を販売している。PHEVは2014年にGolf GTEを発売し、2016年までの累計で約3万台を販売している。また、2014年にはAudiブランドのAudi A3 Sportback e-tron、2015年にはPassat GTEを発売、2016年までの累計でいずれも約2万台販売している。セルはパナソニック、Samsung SDIから調達している。

⑨ Renault(欧州)

Renaultは、フランクフルトモーターショー2009で、4台のEVコンセプトカーを披露し、2012年までにEVのフルラインナップを設定すると発表した。2011年にセダンのFLUENCE Z.E.とバンのKangoo Z.E.を発売し、2012年に都市型EVのTwizyとハッチバックのZOEを発売した。

ZOEは、日常の移動手段として使える、初の手ごろな価格帯のEVとしてあらゆる顧客のニーズに対応できるように設計されたEVで、2016年までの累計で約6万台販売しており、欧州で最多販売台数を誇るEVとなっている。2016年末にマイナーチェンジを行い、電池容量をそれまでの22kWhから41kWhにし、航続距離を240kmから400kmに拡大した。

Kangoo Z.E.は、2011年の発売以来、2016年までの累計で約2万台販売しており、欧州で最多販売台数を誇る商用EVとなっている。電池容量は22kWhで、航続距離は170kmである。2017年に33kWhの電池を搭載したZ.E. 33が発売され、航続距離が270kmと伸びた。

Renaultは、当初2016年までにルノー・日産アライアンスで累積150万台のEVを販売すると予測していたが、その後、2020年のマイルストーンに修正している。

ZOEのセルはLG Chem製で、Kangoo Z.E.のセルはAESC製である。

⑩ 北京汽車(中国)

2014年3月に新エネルギー車(EV・PHEV)の製造と販売を行う北京新能源汽车股份有限公司が設立され、北京汽車グループが電動化戦略を推進する上で重要な役割を担う企業となっている。2016年に資金調達の観点より、グループ傘下で香港H株に上場している北京汽車股份有限公

司より6.5%の出資を受けた。

北京新能源汽车股份有限公司は、2020年に向けて新エネルギー車18モデルを市場に投入することを発表した。研究開発センターを海外に設置し、グローバルな人材や最新レベルのテクノロジーを活用しながら、新モデルの開発を推進するとしている。また、2020年に生産台数80万台、販売台数50万台の目標達成に向けて、現在新工場の建設が急ピッチで進められている。

北京汽車グループの外資合弁先は、Daimlerと現代自動車の2社である。2016年の販売台数に占める外資ブランドの比率は引き続き50%超であるが、2016年は自主ブランドの販売台数比率が過去5年で最も高く46.9%を占めた。外資ブランドは、北京現代が2020年までにFCVも含めた新エネルギー車を9モデル市場投入する計画であり、北京ベントンは2017年6月に北京汽車グループとDaimlerとの間で新エネルギー車での提携強化について合意がなされて、今後2020年までにEVの生産を行う計画である。

2014年に発売したEVのES210/紳宝(Senova)EVは、2016年までの累計で約5万5,000台販売し、中国メーカー製のEVで最多の販売台数となっている。BESKや他メーカーから供給された電池33kWhを搭載し、航続距離は175kmである。

⑪ BYD Auto(中国)

中国の政策により、EV・PHEVとも順調に販売を増やしてきたが、2017年からEVとPHEVに対する中国政府の補助金が2016年比で4割以上減額されたことに伴い、2017年1～6月期の純利益は2016年の同時期に比べ20%以上の減益となった。

EVでは、2010年にe6を発売し、2016年までの累計で約4万台を販売している。電池パック容量は82kWhで航続距離は400kmとなっている。また、2015年にはe5を発売し、2016年までの累計で約2万台を販売している。電池容量は48kWhで航続距離は300kmとなっている。

PHEVでは、2013年に唐(Tang)を、2014年に秦(Qin)を発売し、2016年までの累計でそれぞれ約5万台、約7万台を販売している。

EV・PHEVのモデルは順次市場に投入されており、2017年もEVではBYDの王朝シリーズである宋(Song)EV300、PHEVでは宋(Song)DMが発売された。EV航続距離はそれぞれ300km、80kmとなっている。

セルはいずれもリン酸鉄リチウムイオンであり、グループ企業のBYDが製造している。

1.1.3 車載用蓄電池に係る市場・産業動向

(1) 蓄電池の市場動向

蓄電池市場の現況と将来予測を図 1.1.3-1(用途別)及び図 1.1.3-2(蓄電池種別)に示す。2016年における蓄電池の世界市場規模は約 8 兆円で、今後、各用途でプラス成長が予想され、2025年には約 14 兆円に成長するとの予測がある。とりわけ、次世代自動車用蓄電池の市場規模は2016年では約 1.4 兆円であるが、今後飛躍的に成長し、2025年には約 5 倍の 6.6 兆円になると予測されている。また、図 1.1.3-2に示すように、市場全体の成長分(6 兆円超)の大半が次世代自動車用の LIB で占められると予測されている。

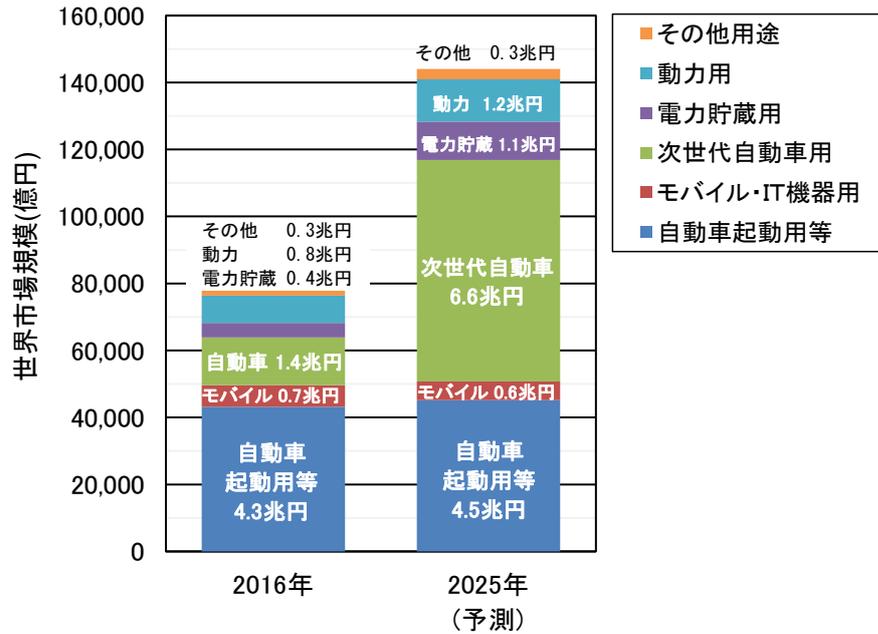


図 1.1.3-1 蓄電池市場の現況と将来予測(用途別)

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

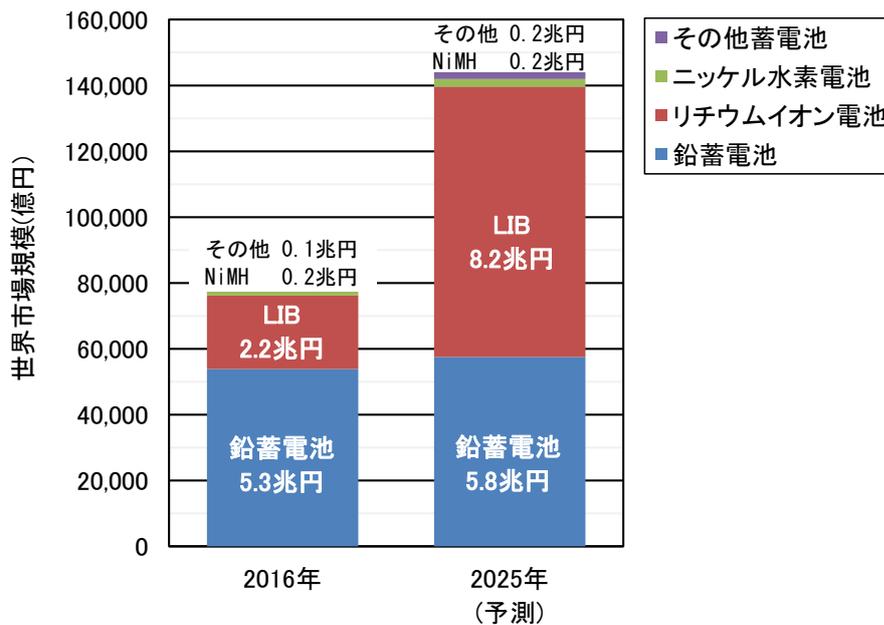


図 1.1.3-2 蓄電池市場の現況と将来予測(蓄電池種別)

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

(2) 車載用 LIB に係る市場動向

直近3年間における車載用 LIB の総需要と市場シェアの推移を図 1.1.3-3 に示す。世界需要は、2015 年の約 13GWh から 2017 年(見込み)の約 29GWh と 2 倍以上に増加している。車載用 LIB の場合、蓄電池自体の性能、安全性及び耐久性の確保において高い技術水準が求められることに加えて、自動車メーカーの電動車両システム技術との摺り合わせにも高い技術水準が求められるため、日本の蓄電池メーカーが競争力を保持している。しかし、日本メーカーの合計シェアは 2015 年には 50%を超えていたが、2016 年は 40%程度まで落ち込む見通しである。一方、韓国メーカーが欧米のグローバルな自動車メーカーからの受注獲得を進め、シェアを徐々に伸ばしてきている。また、中国においては中央・地方政府の手厚い補助金政策により、EV・PHEV の市場が急激な成長を見せており、中国メーカーもシェアを伸ばしている。

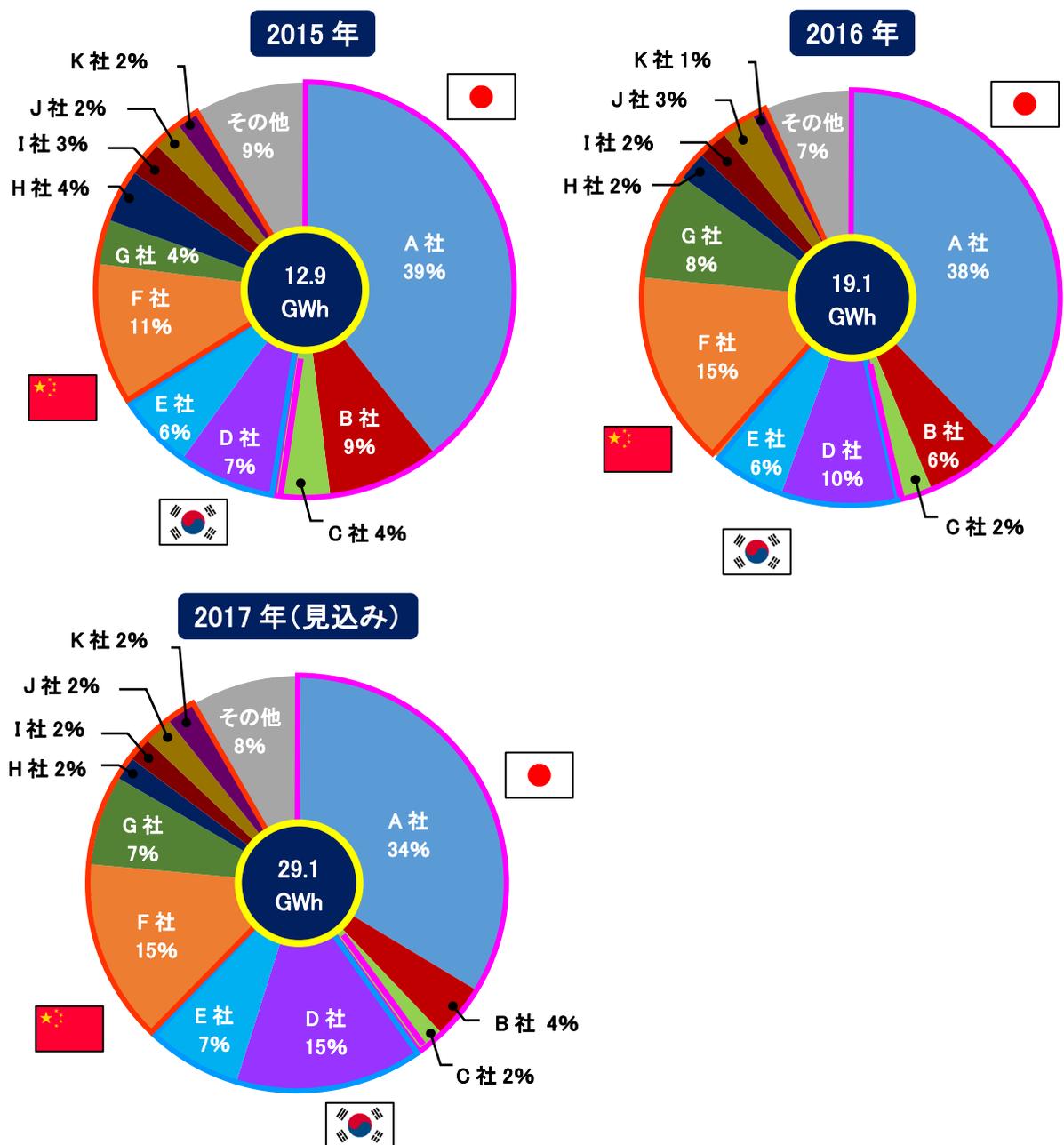


図 1.1.3-3 2015 年から 2017 年の車載用 LIB 世界市場シェア

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 で作成

(3) 主要蓄電池メーカーの技術開発動向

主要な蓄電池メーカーの車載用 LIB のセル仕様を表 1.1.3-1 に示す。

表 1.1.3-1 主要蓄電池メーカーの車載用 LIB のセル仕様

セルメーカー	セル形状	正極材料	負極材料	容量 (Ah)	電圧 (V)	セルのエネルギー密度		採用車種
						Wh/kg	Wh/L	
パナソニック	円筒形 (21700)	NCA	黒鉛	4.75 (推定)	3.60	260	683	Tesla Model 3 (2017)
	角形	NCM	黒鉛	25	3.70	128 (推定)	224 (推定)	トヨタ自動車 Prius PHV (2017)
LG 化学	ラミネート形	NCM622	黒鉛	59.0	3.70	241	466	GM BOLT (2017)
AESC	ラミネート形	NCM (推定)	黒鉛	57.1 (計算値)	3.65 (計算値)	240 (推定)	454 (推定)	日産 LEAF 40kWh (2017)
サムスン SDI	角形	LMO-NCA-NCM622	黒鉛	94.0	3.70	189	357	BMW i3 (2017)
BYD	角形	LFP	黒鉛	24.0	(不明)	134	(不明)	BYD 唐 (2015)
CATL	角形	NCM	黒鉛	42.0	3.65	178	403	北京汽車 Shenbao (2016)

パナソニックは Tesla 向けに円筒形セルを供給している。そのエネルギー密度は 260 Wh/kg で、電池の材料構成は正極材料に NCA、負極材料に黒鉛を用いている。また、トヨタ自動車、Ford、VW 等に PHEV 向けの角形セルを供給している。そのエネルギー密度は 128Wh/kg (NEDO 推定) で、正極材料に NCM、負極材料に黒鉛を用いている。今後、高容量化が可能な負極材料 (黒鉛とシリコン系の複合材料) の採用、電極組成中の活物質割合の増加及びセルの大型化により高エネルギー密度化を目指すと言われている。

LG 化学は VW、Daimler、GM、Ford、Renault、現代自動車向けにラミネート形セルを生産して供給している。そのエネルギー密度は 241 Wh/kg で、電池の材料構成は正極材料に NCM622、負極材料に黒鉛、セパレータにマイクロポーラスポリオレフィンフィルムをナノサイズのセラミック粒子で被覆した Safety-Reinforced Separator を用いている。セル構造は、電極を蛇腹折りで積層するスタック

ホールディング構造を採用している。この構造は、旋回で生じる歪みを無くするため長期サイクルに優位であるとされている。

AESC は日産自動車の LEAF 向けにラミネート形セルを供給している。正極材料は 2010 年時点では LMO を主体としていたが、2017 年に発表された新型の LEAF に採用されたセルは NCM が主体となっている。こうした正極材料などで高エネルギー密度化が進められ、2010 年では 157 Wh/kg であったが、現在では約 1.5 倍の 240Wh/kg (NEDO 推定) まで向上が図られている。また、安全性を確保するためにセラミックをコーティングしたセパレータを使用している。

サムスン SDI は VW や BMW 等に角形セルを供給している。そのエネルギー密度は 189 Wh/kg で、電池の材料構成は正極材料に LMO-NCA-NCM622、負極材料に黒鉛を用いている。また、セルとモジュールのサイズを標準化しているため、製品開発でセル容量が向上しても、顧客の自動車メーカーは大きなデザイン変更不要で電池パックのアップグレードが可能となっている。

BYD は、系列会社の BYD オート等に角形セルを供給している。そのエネルギー密度は 134 Wh/kg で、電池の材料構成は正極材料に LFP、負極材料に黒鉛を用いている。また、一部、正極材料に NCM を用いたセルも生産しており、今後は NCM を用いたセルの比率を半分程度に高めていくと言われている。

CATL は、主に北京汽車や上海汽車等の中国自動車メーカーに角形セルを供給している。EV 向けのセルのエネルギー密度は 178 Wh/kg で、電池の材料構成は正極材料に NCM、負極材料に黒鉛を用いている。EV バス向けには、エネルギー密度が 133 Wh/kg の正極材料に LFP を用いたセルを供給している。

1. 1. 4 主要国における車載用蓄電池の技術開発プロジェクト

本項では、米国、EU、ドイツ、韓国、中国政府が主導している車載用蓄電池の技術開発プロジェクトの動向について述べる。

表 1.1.4-1 に示すように、各国の車載用 LIB の開発目標は大差なく、如何に早く目標を達成し、市場投入するのかが勝敗の分かれ目である。

表 1.1.4-1 主要国の車載用蓄電池パックの開発目標値

国/地域		日本		米国	欧州	韓国	中国
目標の設定機関		NEDO		DOE/VTO	EC	産業通商資源省	科学技術部
車両タイプ		PHEV	EV	EV	EV	EV	EV・PHEV
重量エネルギー 密度(Wh/kg)	2020年	200	250	280	235	240	240
	2030年	—	500	—	250	400	400
重量出力密度(W/kg)		2,500	1,500	2,000	—		—
コスト(円/kWh)	2020年	20,000	20,000	13,500	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	1,500

注記) 米韓中の電池パックのエネルギー密度の目標値は、セルの目標値の 0.8 倍とした。

(1) 米国

エネルギー省 (DOE) における車載用蓄電池の技術開発ロードマップを図 1.1.4-1 に示す。また、各部局の役割分担を図 1.1.4-2 に示す。技術の成熟度の高いものから順に、自動車技術局 (VTO)、エネルギー先端研究計画局 (ARPA-E)、科学局 (BES) が担当することになっている。

Research Roadmap for 2015 & Beyond

Current emphasis: The development of high voltage cathodes and electrolytes coupled with high capacity metal alloy anodes. Research to enable lithium metal-Li sulfur systems.

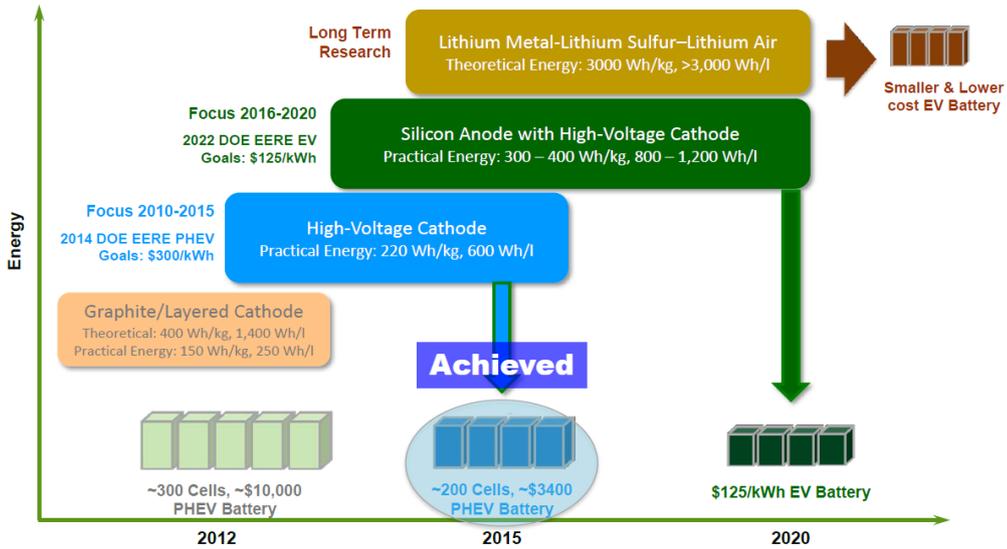


図 1.1.4-1 DOE の車載用蓄電池の技術開発ロードマップ
出典：DOE Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)

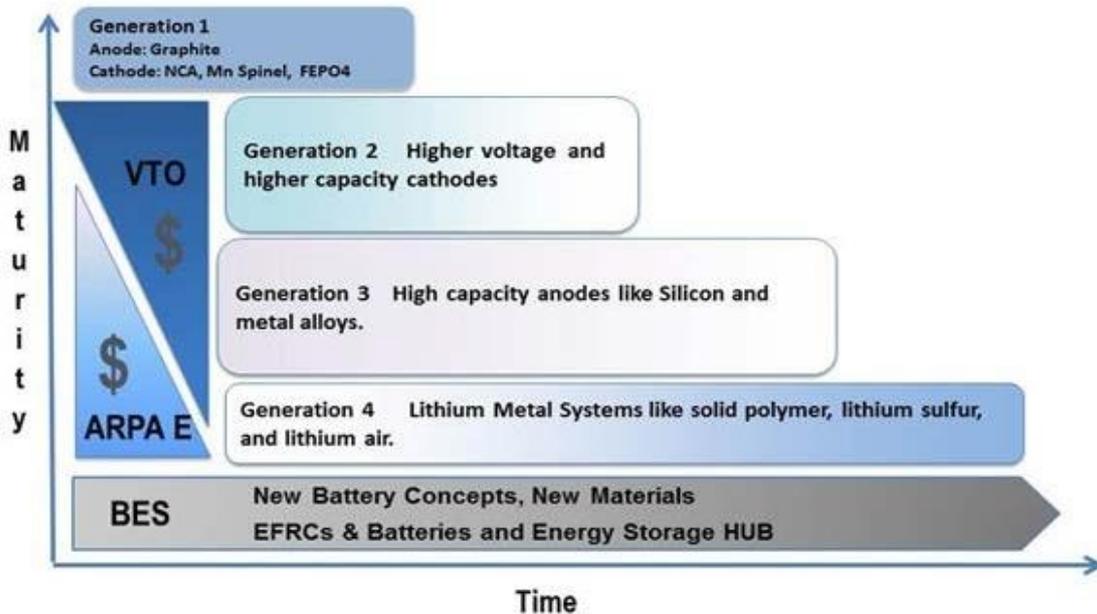


図 1.1.4-2 DOE 各部局の役割分担
出典：<http://bestar.lbl.gov/>

(i) DOE 自動車技術局の技術開発プロジェクト

VTO は、図 1.1.4-3 に示すように、車載用蓄電池の研究開発戦略として、材料、セル及びシステムの3階層に分けた研究開発ポートフォリオを掲げ、各階層に対して、研究開発項目とその目標値を設定している。また、図 1.1.4-4 に示すように車載用 LIB の構成材料については、正極材料では 300mAh/kg 級の高電位型層状系化合物、負極材料では 1,000mAh/kg 以上の金属間複合材料、電解液では 4.6~5.0V 級の耐高電圧電解液を開発するとしている。

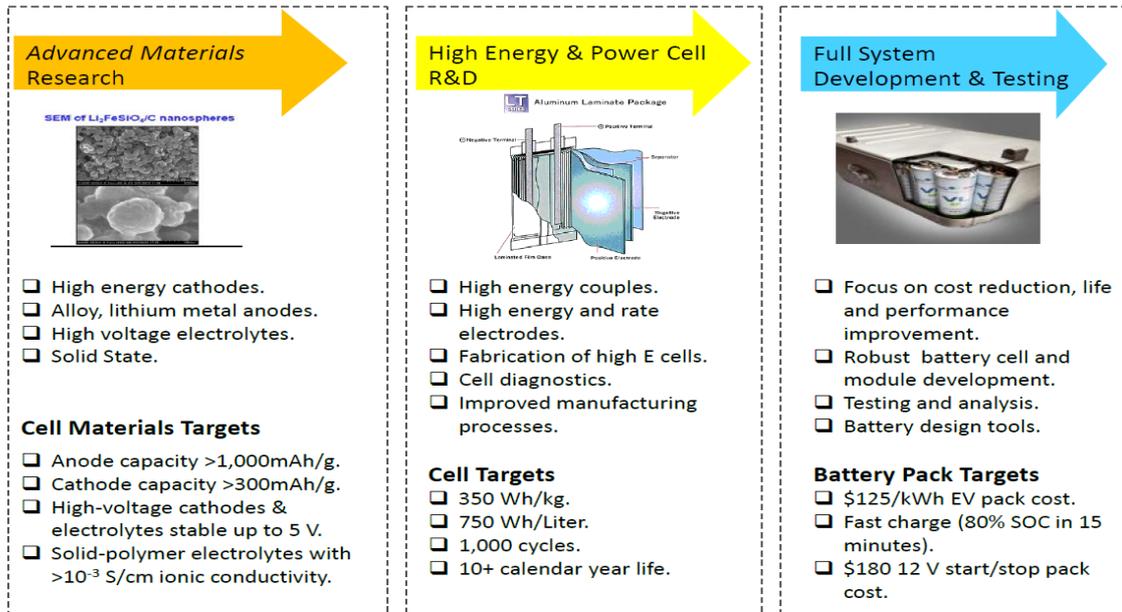


図 1.1.4-3 DOE-VTO の車載用蓄電池の研究開発戦略

出典:DOE Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)

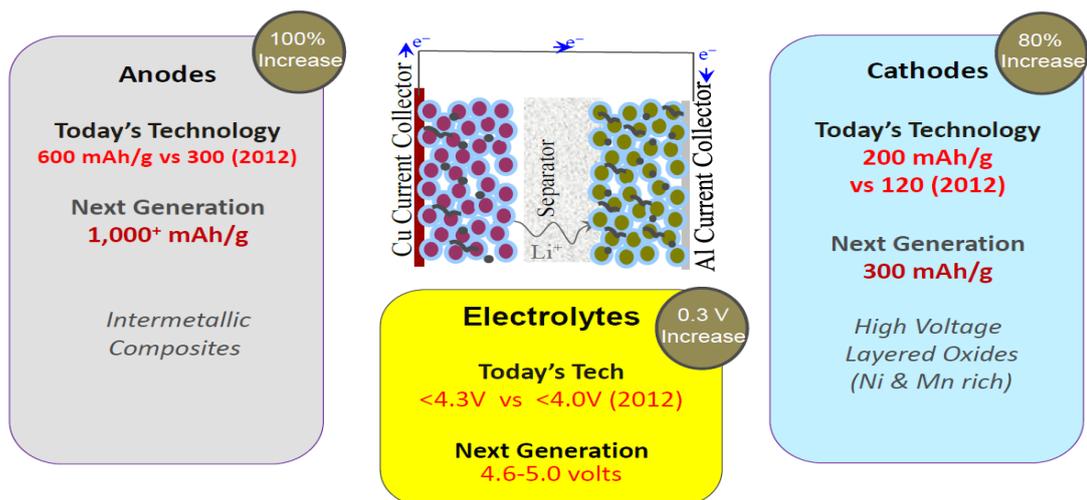


図 1.1.4-4 DOE-VTO の車載用蓄電池材料の研究開発ターゲット

出典:DOE Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)

VTO は DOE 年次成果報告会において、開発成果に基づく電池パックコスト(年間 10 万パック生産時)と体積エネルギー密度の試算結果を報告している。2014 年はそれぞれ 325 ドル/kWh、150Wh/L であったが、2016 年は図 1.1.4-5 に示すように、268ドル/kWh、260Wh/L と発表されており、体積エネルギー密度の向上による低コスト化が進展していることが分かる。

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、図 1.1.4-6 に示すように、NCM 正極-黒鉛負極で 150~200ドル/kWh、Mn リッチの NCM 正極-シリコン合金負極で 125ドル/kWh、Mn リッチの NCM 正極-金属リチウム負極で 100ドル/kWh、となっている。なお、空気極-金属リチウム負極(リチウム空気電池)では 80ドル/kWh との試算も示されている。

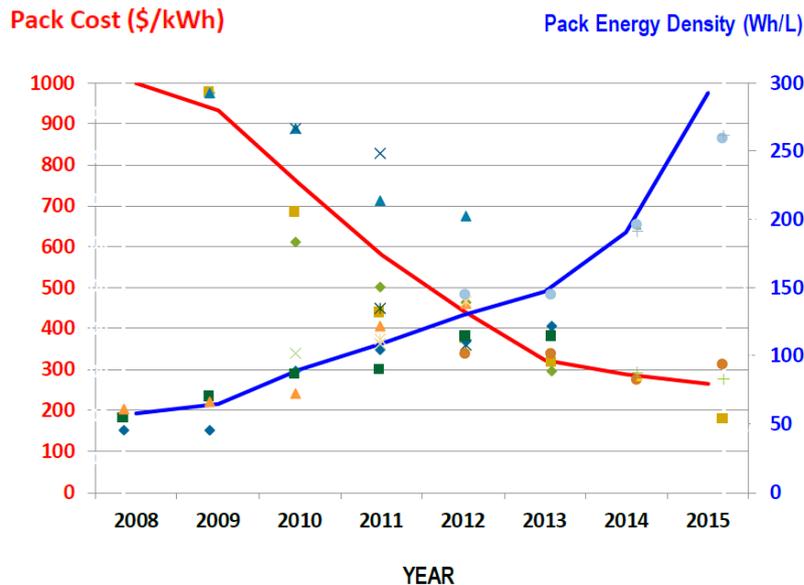


図 1.1.4-5 EV Everywhere Challenge の車載用蓄電池の開発進展

出典: DOE Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)

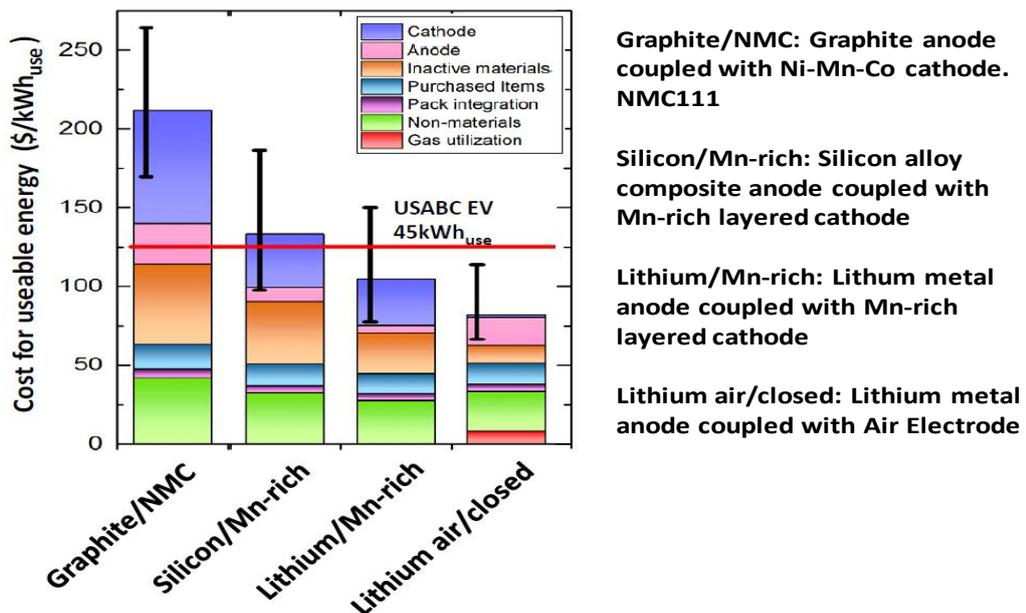


図 1.1.4-6 DOE-VTO の車載用蓄電池のコスト試算

出典: DOE Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting (2016)

先進 LIB (Next Generation)の事例としては、Amprius, Inc.がスタンフォード大学 Yi Cui グループのシリコン系材料技術をベースとし、2014年に中国で製品工場を立ち上げ、2016年にモバイル用ハイエンド製品の販売を開始したとアナウンスしている。シリコンナノワイヤー負極と高容量正極を組み合わせ、USABC 2020 の目標を満たす 2Ah、10Ah、及び 40Ah のラミネートセルを開発中である。最終的な目標は、350Wh/kg 及び 750Wh/L と 1,000 サイクルの寿命である。

Envia Systems は USABC 電気自動車(EV)バッテリー目標を満たす高容量ラミネートセルを開発するため、市販の SiO_x 材料を使用し、電極の処方、加工、コーティングのノウハウを適用して、独自のシリコンベースの負極を開発した。また、Mn リッチ及び Ni リッチ NCM 系正極材料をブレンドし、10Ah、20Ah、及び 40Ah のラミネートセルを開発中である。20Ah のラミネートセルにて、300Wh/kg 及び 700 サイクルの寿命を実現している。

(ii) DOE エネルギー先端研究計画局のプロジェクト

DOE のエネルギー先端研究計画局 (Advanced Research Projects Agency-Energy :ARPA-E) が所管している車載用電池の技術開発プロジェクトについて、その動向を以下に示す。

① BEEST

2010～2014 年の 5 年間、予算総額約 3,500 万ドルで実施された(その後 2016 年までリチウム空気電池と LIB 用シリコン負極材料の開発で追加実施)。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、開発目標が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 と設定された。図 1.1.4-7 に示すように、リチウム空気電池、リチウム硫黄電池、先進的 LIB、マグネシウムイオン電池、亜鉛空気電池等の研究開発が行われた。

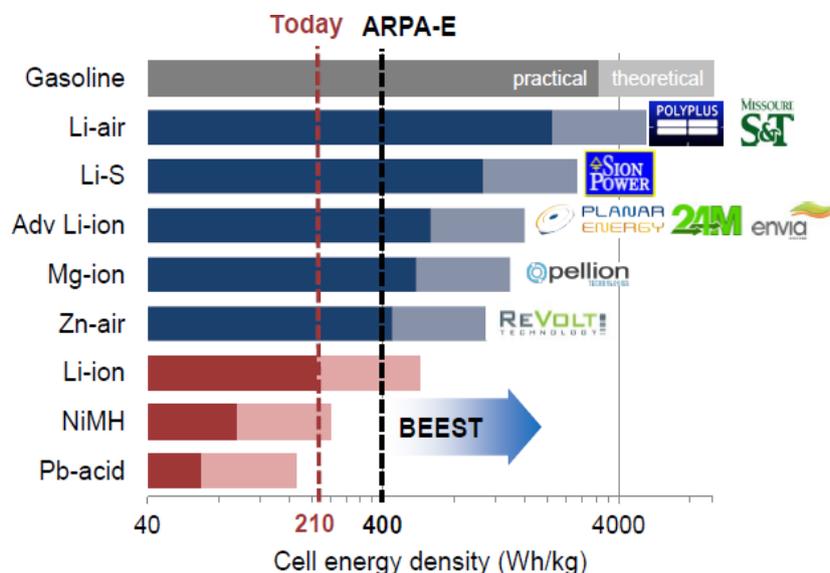


図 1.1.4-7 ARPA-E/BEEST の開発機関と電池タイプ

出典:「EV Everywhere Energy Work Shop」(2012)

先進的 LIB としては、24M が自動車及びエネルギー貯蔵用半固体フローセルに取り組んだ。また、革新型蓄電池としては、Planar Energy が全固体電池、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。

BEEST プロジェクトでは、プロジェクト成果が実用化に結びついた報告は確認されなかったが、唯一、24M が自動車及びエネルギー貯蔵用半固体フローセルに取り組んだ事例が更新された。厚い電極を製造することが、セル設計にとって高エネルギー密度の有望なアプローチであると判断し、集電体を完全に覆い、従来の製造プロセスによる亀裂及び接着性低下の無い電極を開発した。このプロセスでは、塗工液(半固体)を混合し、集電体に押し出し、コンポーネントと一緒に押しつけて集積体をシールすることでセルを組み立てた。黒鉛負極と LFP 正極はそれぞれ 450 μ m の厚みである。17Wh ラミネートセルにてサイクル寿命 1,000 サイクル以上を示した。エネルギー密度の正確な記載は無いが、写真と「Photo of a 40Ah, 300 sq. cm (130Wh) lithium ion pouch cell manufactured by 24M.」の記載から 600Wh/L 程度と推測される。2018 年までに製品を大量生産に移行することを目指している。

② RANGE

2013～2017 年の 5 年間、予算総額が約 2,000 万ドルの予定で進められている。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、大学等が参画しているが、その内、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でいる。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も行われている。

③ AMPED

車載用蓄電池や系統用蓄電池の安全性・性能・寿命を大幅に改善し得る高度なセンシング技術や制御技術の開発を目的としたプロジェクトである。蓄電池劣化予測や蓄電池診断・制御、セル温度管理、セル表面圧力管理等のテーマを中心に、13 のプロジェクトが実施(一部終了)されている。2012～2016 年の 5 年間で約 3,000 万ドルの予算が計画されている。

④ IONICS

2016 年から開始されたプロジェクトであり、予算総額は 3,700 万ドルで計画されており、車載用蓄電池、定置用蓄電池及び燃料電池を対象として、イオン伝導性材料を用いた新規な電気化学デバイスの創造を目指している。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:全固体電池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・セパレータ複合体

(iii) DOE 科学局のプロジェクト

DOE の科学局 (Office of Science) が所管している「Basic Energy Science」(BES) プログラムにおいて、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) が Argonne 国立研究所に設立されている。開発予算総額は 1 億 2,500 万ドル (5 年間) の予定である。

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) が参加している。

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、車載用では図 1.1.4-8 のような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) 目標の達成を目指している。

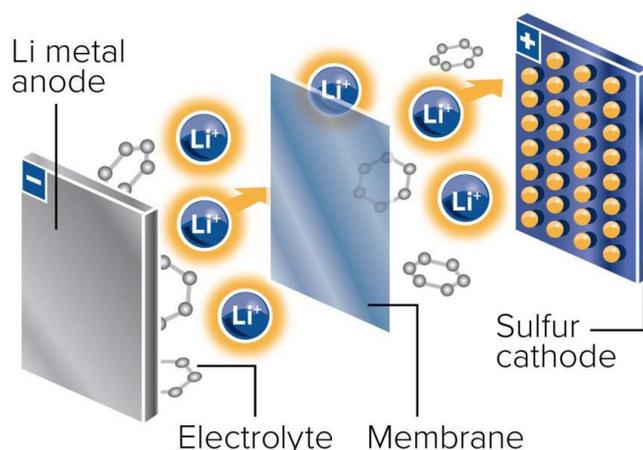


図 1.1.4-8 JCESR がコスト目標達成のために選定した車載用蓄電池のコンセプト
出典: JCESR <http://www.jcesr.org/>

(2) 欧州

欧州においては、表 1.1.4-2 に示すように、全欧州的な研究開発プログラム (フレームワークプログラム) と、自動車研究開発のコンソーシアムとして設置された欧州グリーンカー・イニシアティブ (EGCI/EGVI) において蓄電池の研究開発が行われている。なお、欧州プロジェクトは、産学が連携したコンソーシアム型が多いが、これは採択に最低でも欧州連合に加盟する 3 カ国の企業・研究組織の参画が必須であるためである。

LIB 関連プロジェクトの動向は、高性能化・低コスト化に取り組むプロジェクトが多く、主に材料開発、パイロット規模で作製されたセルの評価、及びその劣化メカニズムの理解をテーマにしている。材料開発では、プロジェクト内で正極材料と負極材料、電解液のうち、2つ以上の材料を同時に開発し、その材料をセルに組み込んで電池特性を評価することを重視している。また、量産プロセス開発やリサイクル技術の開発等に取り組むプロジェクトもある。

開発目標は、取り扱っている材料系で異なるが、コストが 150 ユーロ/kWh、エネルギー密度が 200

～300Wh/kg、サイクル寿命が 3,000～5,000 サイクル、カレンダー寿命が 10～15 年となっている。プロジェクト期間は 2～4 年で、既に多くのプロジェクトが終了している。公開されている成果レポートを見る限り、各プロジェクトともに材料開発では進展はしているものの、セルの長期信頼性試験までは至っていないものが多く、また、掲げた数値目標が未達成のプロジェクトが半数近くある。

表 1.1.4-2 EGCI の車載用 LIB 開発プロジェクト

プロジェクト(期間)	内容	目標	参加機関
AMELIE (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開発プロジェクト。最終目的は6Ah級セルでの性能・耐久性検証。各材料の改良を実施し、数Ah級ラミネートセルの作製まで実施。	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(LiNi _{0.5} Mn _{1.5} O ₄)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。電極製造技術を開発し、パイロットサイズの電極を試作。	エネルギー密度:300Wh/kg	Consorzio Sapienza Innovazione(伊)、Chalmers Tekniska Högskola(Sweden)、Chemetal(独)、ENI(伊)、ETC Battery and Fuel Cells(Sweden)、Università di Roma(伊)、SAES Getters(伊)、Stena Metall(Sweden)、ZSW(独)等
BATTERIES 2020 (2013～2016)	ニッケル・マンガン・コバルト系正極を適用したLIB研究開発プロジェクト。材料の改良、セルの試作及び評価、劣化メカニズムの解明を実施。	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を適用したLIB研究開発プロジェクト。正極材(フッ化オリピン、Mn-Niスピネル)と負極材(ナノSi)の改良を実施。18650セル/ラミネートセルでエネルギー密度204Wh/kgを達成。	エネルギー密度:200Wh/kg コスト:150ユーロ/Wh	Technische Universiteit Delft(Netherlands)、Uppsala Universitet(Sweden)、Kemijoki Institut(Slovenia)、University of Cambridge(英)、Volvo(Sweden)、Renault(仏)、Spijksaal Elektro B.V.(Netherlands)、GAIA(独)、ZSW(独)等
MARS-EV (2013～2017)	高電位正極とシリコン合金負極を適用したLIB開発プロジェクト。正極材の改良(フッ化オリピン系/シリケート系の高電位正極材、表面被覆化技術、水系バインダーの検討)と負極材の改良(シリコンナノワイヤ-CNT複合材)を行い、B5サイズのラミネートセルで、150サイクル、600mAh/gを達成。不燃性UV硬化固体ポリマー電解質も開発。その他、電気・熱的特性及び劣化特性の評価法を開発中。	エネルギー密度:250Wh/kg サイクル寿命:3,000回 (100%DOD)	Fundacion Cideted(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)	LIB用先進材料開発プロジェクト。現行セル(NMC正極/液体電解質/黒鉛負極)よりも特性を向上させる液体電解質、ゲル電解質、固体電解質を選定。パイロットラインで作製した16Ahセルについて、in situでの電極表面の劣化解析を実施。現在は、Li-リッチ正極、グラファイト負極、グラフェン添加、ゲルポリマー/固体ポリマー電解質を開発中。	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 Cideted(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)開発プロジェクト。低コストの材料開発と電極製造プロセスの改良を実施し、40Ahラミネートセルの初期特性を評価。また、使用済LIBのリサイクル技術検討も実施。	(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)	高エネルギーLIBの開発プロジェクト。4種類の正極(NCA、LMO、LFP、NMC)と黒鉛を組合せ、40Ah級セルで評価を実施し、優れた特性のLIBを見出す性能、寿命、コスト、リサイクル、安全性の評価試験法を開発。また、セルの解体分析を実施し、劣化機構の解明も実施。その他、使用済みセルの取り扱い及び材料回収方法も検討。	(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)、ENEAC(伊)、Saft(仏)等
SOMABAT (2011～2013)	ポリマー固体電解質を用いた安全、環境調和型LIBの開発プロジェクト。また、低コスト製造とリサイクル技術の開発を実施。計算上で50%以上のリサイクル率を見通した。	リサイクル率:50% 150ユーロ/kWh	Accurec(独)、ATOS Origin Sociedad Anonima Española(Spain)、Cegasa International(Spain)、Instituto Tecnológico de la Energía(Spain)、Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft(Austria)、Lithium Balance(Denmark)、Recupyl(仏)、Umicore(Belgium)、Université de Liège(Belgium)等

出典: European Green Car Initiative (<http://www.egvi.eu/projects/research-projects>)

なお、Horizon2020 プログラムでも LIB や革新型蓄電池の研究開発プロジェクトが実施されている。車載用の 5V 級 LIB を開発するコンソーシアム型プロジェクト「FiveVB」には BMW が参画し、改良した各電池材料をパイロット規模でセルを試作し、最終的にモジュール評価を目標としている。

「eCAIMAN」には FIAT 及び VOLVO が参画し、欧州に製造工場を有するメーカーが量産製法で試作した高電圧・高容量な LIB の特性を評価している。「SPICY」には 8 大学と 5 企業が参画し、ポリアニオン系正極とシリコン系ナノ粒子材料の開発とそれらをセルに組み込んで特性を評価している。

(3) ドイツ

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

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

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

また、2011 年、BMBF 主導でドイツの電池産業発展のために企業と応用研究機関のネットワークとして結成された KLIB (Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen Batterien) は、新素材や部品の生産技術の実用性を試験生産で見極め、量産化に繋げることを目的としており、BASF、EVONIK、BOSCH、Li-Tec、SB-LiMotive、ZSW 等の企業・研究機関等が参加している。KLIB は、LIB を中心とした基礎研究、電池試作及び電池特性評価が可能なプラットフォーム型の研究センター (eLaB) を 2014 年に Ulm の ZSW 内にパートナー企業と共同で建設している。eLaB では材料改良と量産技術、LIB の製造 (18650 形セル、ラミネートセル、20Ah 級角形セル)、セルの安全性・信頼性評価等を行っている。

(4) 中国

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

863 計画における車載用蓄電池の 2020 年の開発目標はエネルギー密度が 300 Wh/kg、サイクル寿命が 3,000 回、バッテリーコストが 1,500 元/kWh (2.5 万円/kWh)であったが、中国科学技術部 (MOT) ハイテク研究開発センターによる第 12 次 5 ケ年計画の成果報告では、エネルギー密度が 160Wh/kg、バッテリーコストが 2,000～3,000 元/kWh (3 万 3,000～5 万円/kWh) のレベルとされており、開発目標を達成できていない。

第 13 次 5 ケ年計画における 2020 年の LIB の開発目標は、エネルギー密度 300 Wh/kg と第 12 次 5 ケ年計画と同じだが、サイクル寿命は 1,500 回と目標を下げたのに対し、バッテリーコストは 800 元/kWh (1 万 3,000 円/kWh) と更に厳しい目標となっている。また、革新型蓄電池の開発目標はエネルギー密度が 500 Wh/kg となっている。

「国家重点研究開発計画」プログラムの中の「新エネ車試行特別プロジェクト」では、表 1.1.4-3 に示す 6 項目の重点テーマが設定されており、LIB の正極材料では高 Ni 系 (NCM、NCA) の高電位・高容量化、負極材料ではシリコンと黒鉛の混合系等の大容量材料、電解液では耐高電圧電解液を開発するとしている。また、革新型蓄電池では、全固体電池、リチウム硫黄電池及びリチウム空気電池を開発するとしている。5 年間の総予算は約 3.55 億元 (60 億円) で計画されている。2016 年には表 1.1.4-4 に示す 5 つのプロジェクトが採択されている。また、今後、全固体電池を対象とした国家プロジェクトが開始される予定である。

表 1.1.4-3 新エネ車試行特別プロジェクトの車載用蓄電池技術の重点テーマ

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

出典: ABAA-9(2016) 報告

表 1.1.4-4 2016 年度に採択された車載用蓄電池開発プロジェクト

開発テーマ	企業・研究機関	対象
新材料を用いた長寿命の LIB 電池システム開発	中国科学院物理研究所	LIB
高エネルギー密度電池の技術開発と基礎的研究	北京大学	革新電池
高エネルギー密度 LIB とそのアプリケーションについての研究開発	合肥國軒高科動力能源	LIB
次世代 LIB の技術開発	CATL	LIB
高エネルギー密度 LIB 開発とその産業技術研究	LISHEN	LIB

出典: 国家重点研究開発新エネ車試行特別プロジェクト 2016 年度公示

(5) 韓国

韓国政府は、2010年4月、地球温暖化対策の推進と環境科学技術産業の育成を関連付けて規定し、これを経済成長の牽引力にすることを旨とした「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、二次電池を次世代の基幹産業へと育成することを旨とした「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」を発表した。この計画においては、2020年までにはEV用やエネルギー貯蔵用の中大型LIBの市場が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、蓄電池分野の人材育成の必要性も強調している。

2012年に、韓国エネルギー技術評価院(KETEP)は、「エネルギー技術のR&Dウェアハウス」の中で、図1.1.4-9に示す「EV用エネルギー貯蔵システム」のロードマップを発表しており、開発するコア技術対象を先進LIBと全固体電池としている。特に全固体電池に関してはエネルギー密度の短期目標を300Wh/kg、中長期目標を500Wh/kgとして、その開発に政府予算220億ウォン(約22億円)を投入するとしている。

また、2012年に関係省庁が発表した「揚水発電を代替する中大型エネルギー貯蔵技術開発及び産業化推進」では、中長期的に価格・寿命・容量で画期的なエネルギー貯蔵技術(マグネシウム電池、リチウム金属電池、全固体電池等)の開発を推進するとしている。



図 1.1.4-9 エネルギー技術 R&D ウェアハウス
「EV用エネルギー貯蔵システム」ロードマップ

出典: KETEP「韓国エネルギー技術評価院」(2012)

① World Premier Materials(WPM)高性能二次電池素材開発

2010年に知識経済部(現在の産業通商資源部)が、2018年までに主要素材分野で30%以上の世界シェアを確保することを目指して立ち上げたプロジェクトであり、2019年まで継続される予定である。「高性能二次電池素材」が対象分野の一つとなっており、Samsung SDIをプロジェクトリーダーとし、韓国の主要蓄電池・材料メーカーや研究機関が広く参画し、高Ni三元系正極やシリコン合金系負極の開発に取り組んでいる。

② 緑色産業先導型二次電池技術開発事業

2011年に産業通商資源省傘下の韓国産業技術評価管理院が、蓄電池分野で2018年に世界シェア45%を確保することを目指し、政府の総予算は1,300億ウォン(約130億円)で、多様な大学・研究機関及び民間企業が参画し、Ni系正極、Mn系正極、シリコン合金系負極、バインダー・コーティング技術等の研究に取り組んでいる。

③ 気候変化対応コア技術開発戦略

2014年7月、未来創造科学部は産業波及効果が大きい6大コア技術開発分野を選定し、2020年まで分野合計で毎年4,300億ウォン(約430億円)を投資すると発表しており、蓄電池もこのコア分野の1つに含まれている。

この戦略では、韓国の蓄電池生産は世界1位であるが、コア材料の国産化率は41%に過ぎないと分析し、競争力強化が必要としている。その上でLIBのエネルギー密度の向上を図りつつ、2020年までにエネルギー密度400Wh/kgの革新型蓄電池を実現するとし、全固体電池、リチウム硫黄電池、リチウム空気電池等の開発が行われている。

④ 中大型二次電池商用化技術開発事業

2016年7月に産業通商資源部が立ち上げたプロジェクトであり、2020年12月までの5年間の総予算は430億ウォン(約43億円)で、このうち270億ウォン(約27億円)を政府が負担することになっている。韓国電池研究組合がプロジェクトリーダーとなり、コンソーシアムにはLG Chemicalや現代自動車等が参画している。

開発対象はLIBで、2020年までに現行のLIBに対してエネルギー密度を2倍以上、EV走行400kmの実現を掲げ、高Ni系正極やシリコンと黒鉛の混合系負極等の開発に取り組んでいる。

1.1.5 特許動向

(1) リチウムイオン電池の特許動向

(i) 出願人国籍別の特許出願件数

2000～2014年(15年間)におけるLIBの特許出願推移を図1.1.5-1に示す。世界全体の年間特許出願件数は、2000年代前半は約2,000件/年であったが、2010年以降、急速に増加しており、約7,000件/年と約3倍となっている。

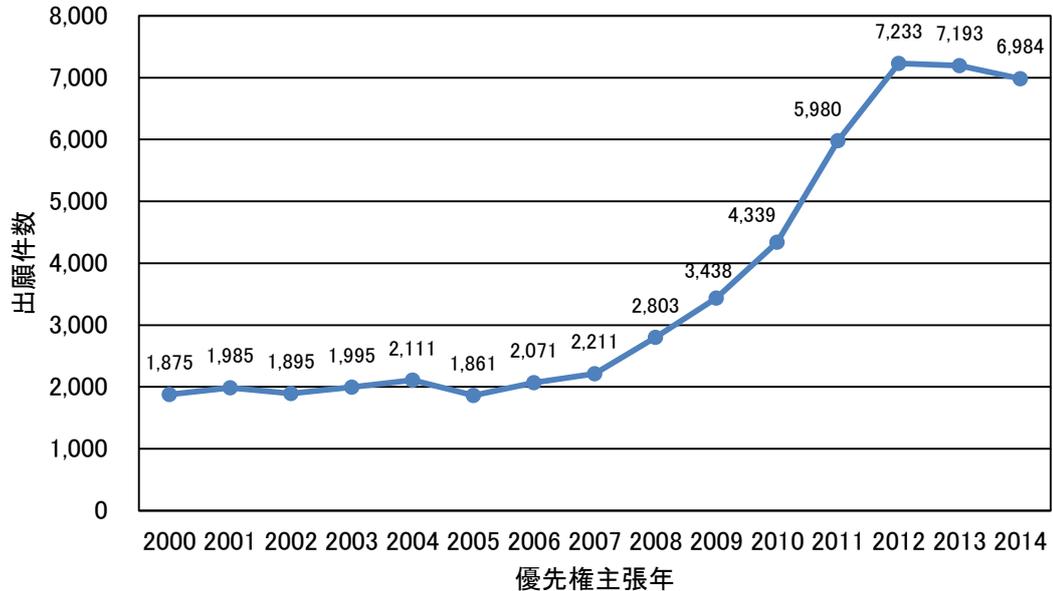


図 1.1.5-1 リチウムイオン電池の特許出願件数推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

図 1.1.5-2 に示すように、過去 15 年の累積の国別特許出願件数では、日本が 4 割を占め最多である。しかしながら、図 1.1.5-3 に示すように、2010 年以降は中国の出願数が急増しており、技術開発の猛追が伺える。日本の特許出願件数も多いが、特許は実質的に技術を公開することに繋がり、実際、民生用 LIB の市場で苦境に立たされていることから、特許出願・登録の件数が必ずしもグローバル市場の競争力に直結しないケースもあることに留意する必要がある。

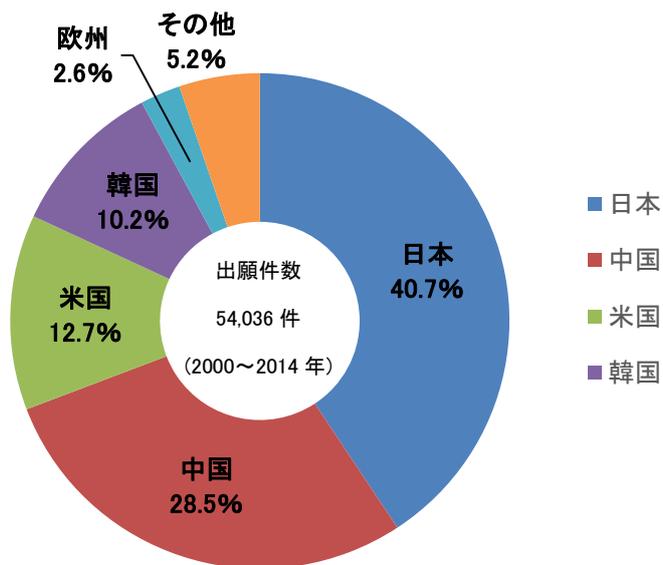


図 1.1.5-2 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

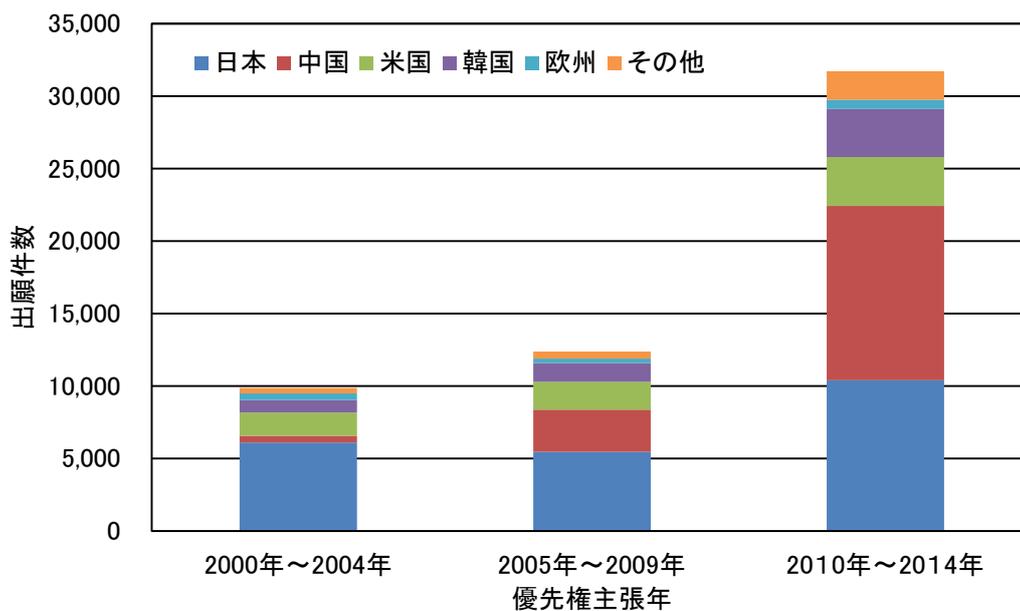


図 1.1.5-3 リチウムイオン電池の出願人国籍別出願件数の推移
(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(ii) 出願特許の内容

正極の材料別の出願件数を図 1.1.5-4 に示す。LNO 系、LCO 系、NCM3 元系及びオリビン系（リン酸塩系）が数多く出願されているが、最近ではオリビン系の急増が顕著である。NCM3 元系も伸び率が大きく、高容量化を目指した傾向が伺える。本プロジェクトの実施者が研究開発に取り組んだ LNMO 系（高電位 Ni-Mn スピネル酸化物）と 213 固溶体系（高容量 Li 過剰系）については、現時点での出願件数は 100～200 件程度と少ないが、こちらも急増の傾向にある。

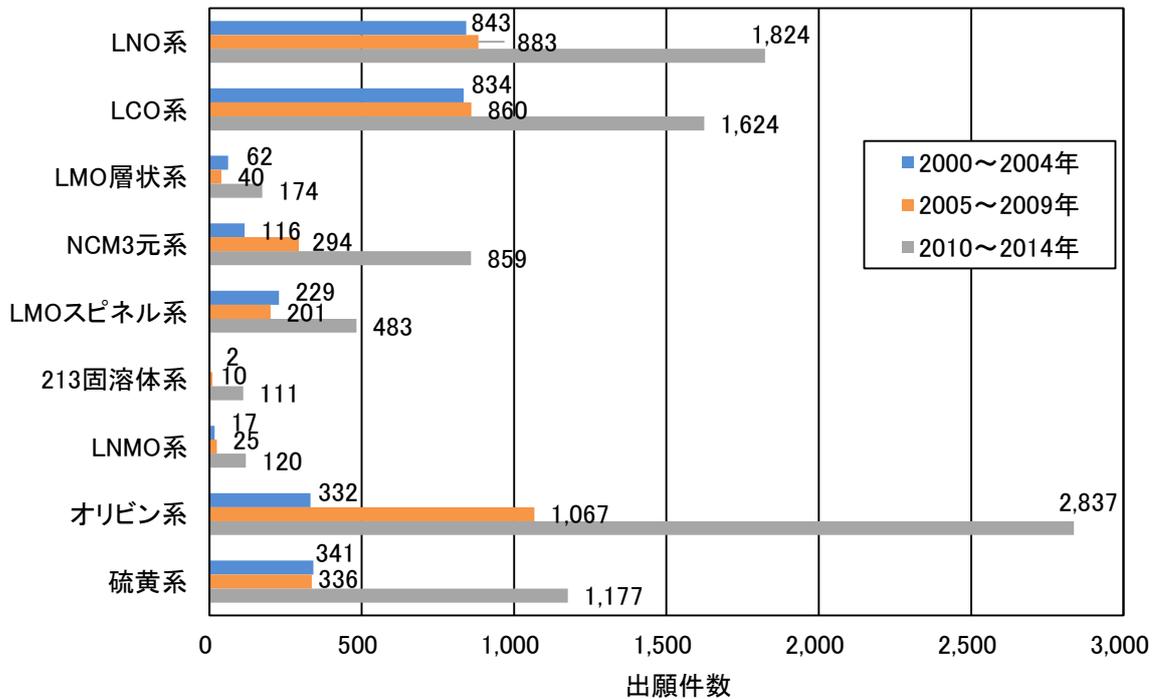


図 1.1.5-4 リチウムイオン電池・正極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

次に、負極の材料別の出願件数を図 1.1.5-5 に示す。黒鉛質炭素とシリコン系が数多く出願されており、かつ 2010 年以降に急増している。本プロジェクトの実施者の多くが研究開発に取り組んだシリコン系負極は、図 1.1.5-6 に示すように、日本及び米国が特許出願で先行していたが、近年では中国・韓国の出願も急増している。

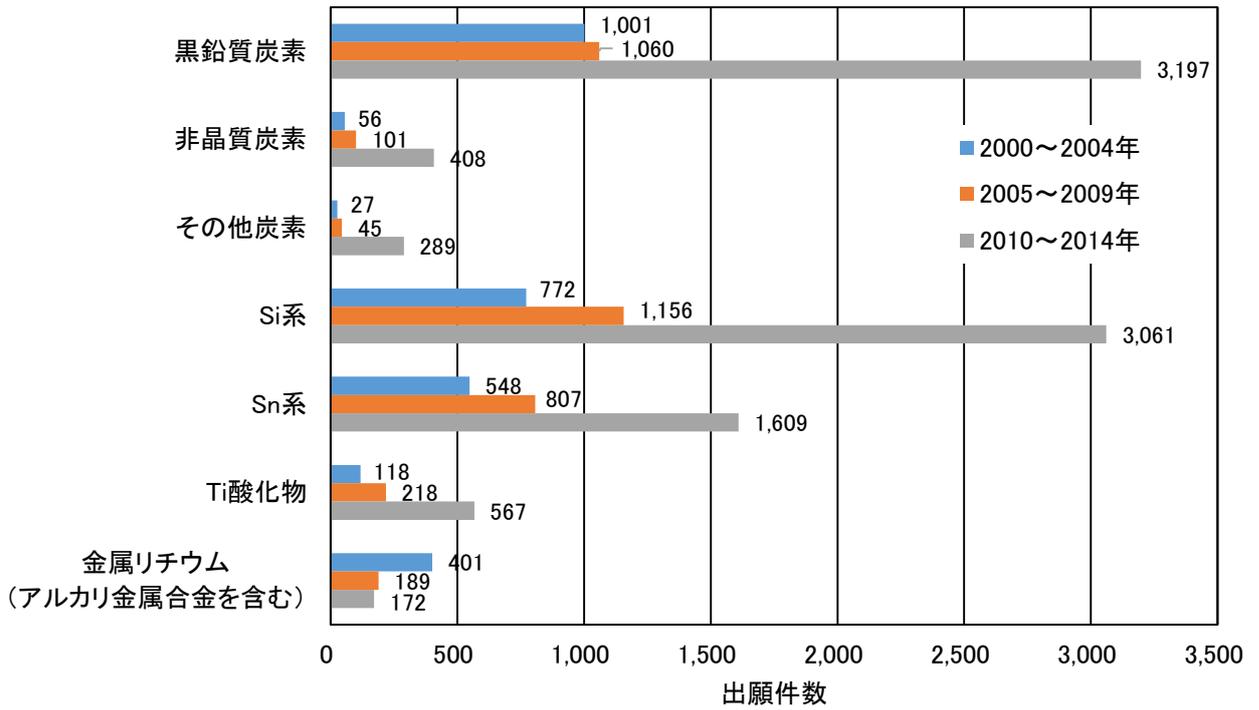


図 1.1.5-5 リチウムイオン電池・負極の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

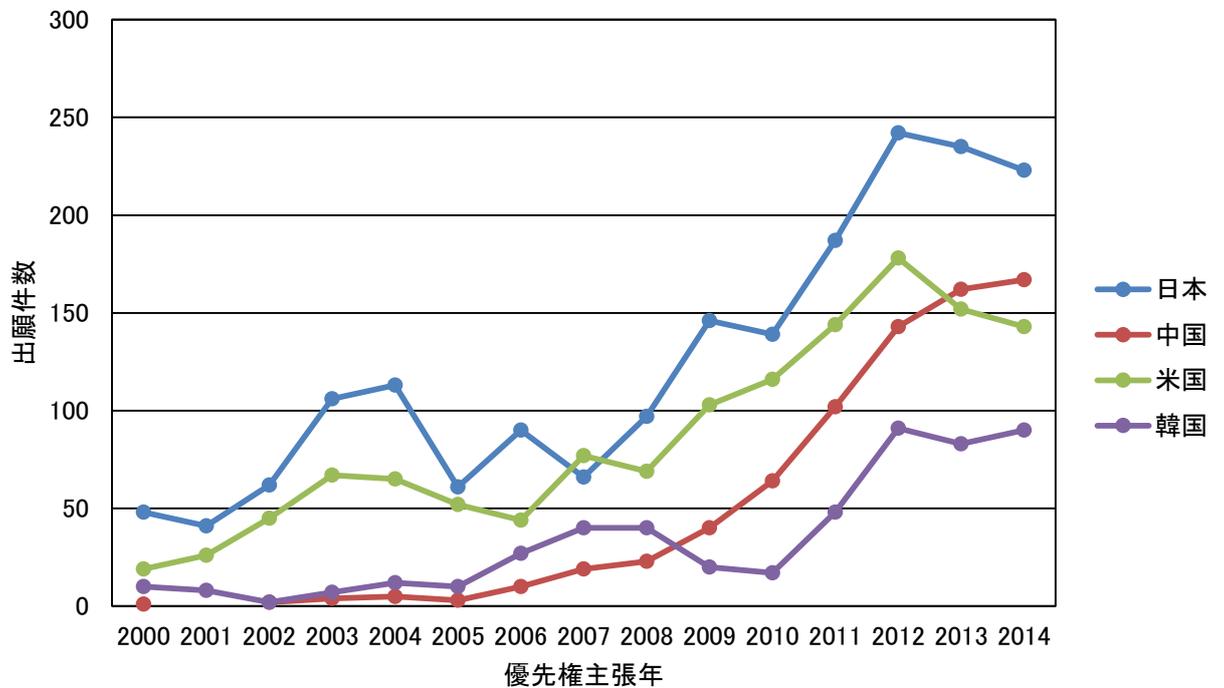


図 1.1.5-6 シリコン系負極材料の特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

(2) 全固体電池の特許動向

図 1.1.5-7 に示すように、全固体電池の特許出願は 2006年頃より増加している。また、図 1.1.5-8 に示すように、出願人国籍別で見ると、累積での総出願件数 6,498 件のうち、日本の出願件数が最多の 3,509 件であり、過半数を占めている。出願件数の推移で見ると、日本がほぼ横這いであるのに対して、米国・中国・韓国は増加の傾向にある。

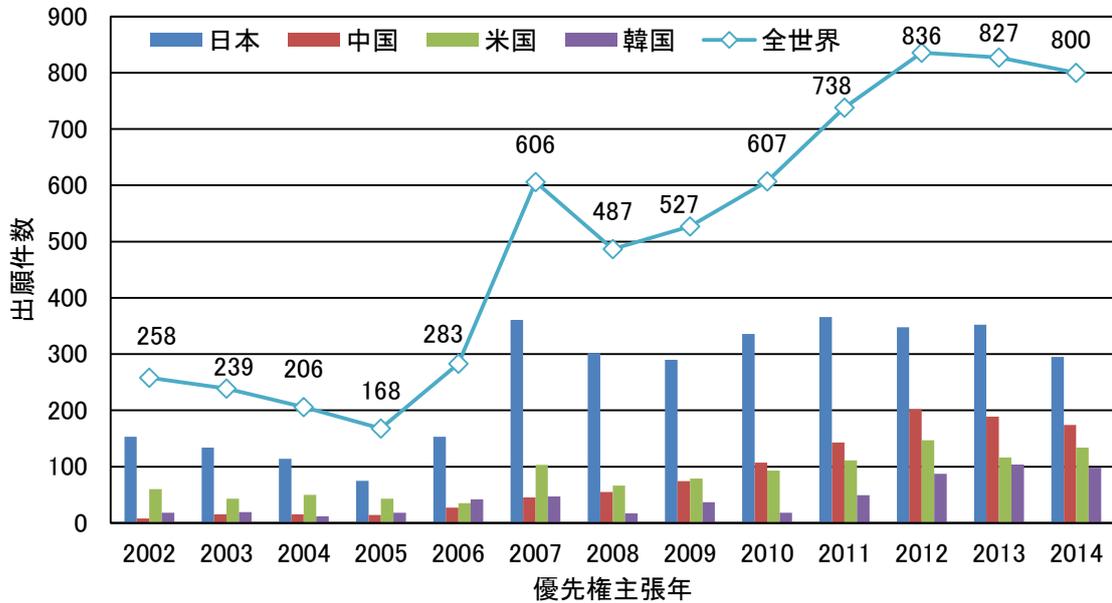


図 1.1.5-7 全固体電池・特許出願件数の推移

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

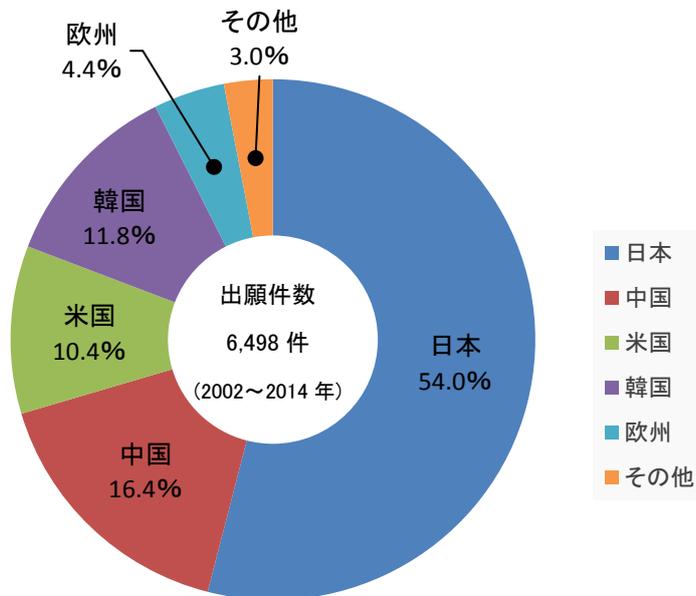


図 1.1.5-8 全固体電池・出願人国籍別出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

固体電解質の材料別の出願件数を図 1.1.5-9 に示す。無機系材料については、日本の出願件数が他国と比べて圧倒的に多く、特に硫化物系固体電解質の出願件数は全体の約 70%を占めている。

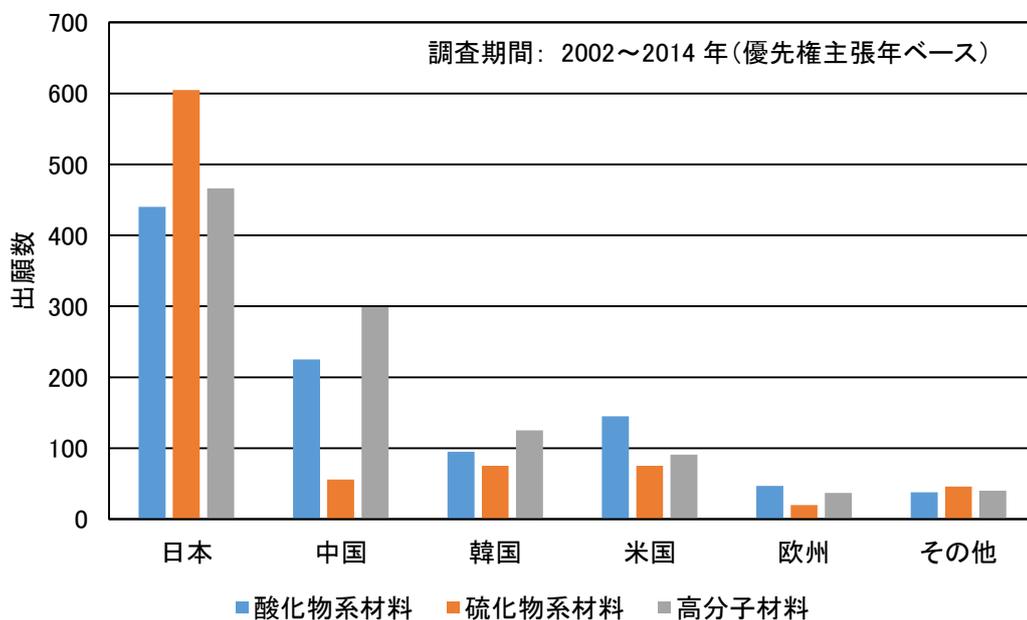


図 1.1.5-9 全固体電池・電解質の特許出願件数

(Derwent World Patents Index に基づき NEDO 作成)

1.1.6 標準化動向

電動車両に係る国際規格を図 1.1.6-1 に示す。車両・車載電池・充電システム等の国際標準化は、国際標準化機構 (International Organization of Standardization:ISO) と国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission:IEC) を中心として進められており、日本は積極的な取り組みを進めている。この中で蓄電池に関するものは、電池(セル)関連の IEC/TC21 及び電池パック/システム関連の ISO/TC22/SC37 である。IEC/TC21 では、LIB 単セルの試験法に係る IEC 62660-1(性能試験)、IEC62660-2(信頼性・誤用試験)、IEC62660-3(安全要件)、一方 ISO/TC22/SC37 では LIB パック・システムの試験法に係る ISO 12405-1(高出力用試験)、ISO 12405-2(高エネルギー用試験)、ISO 12405-3(安全要件)を取り扱っている。

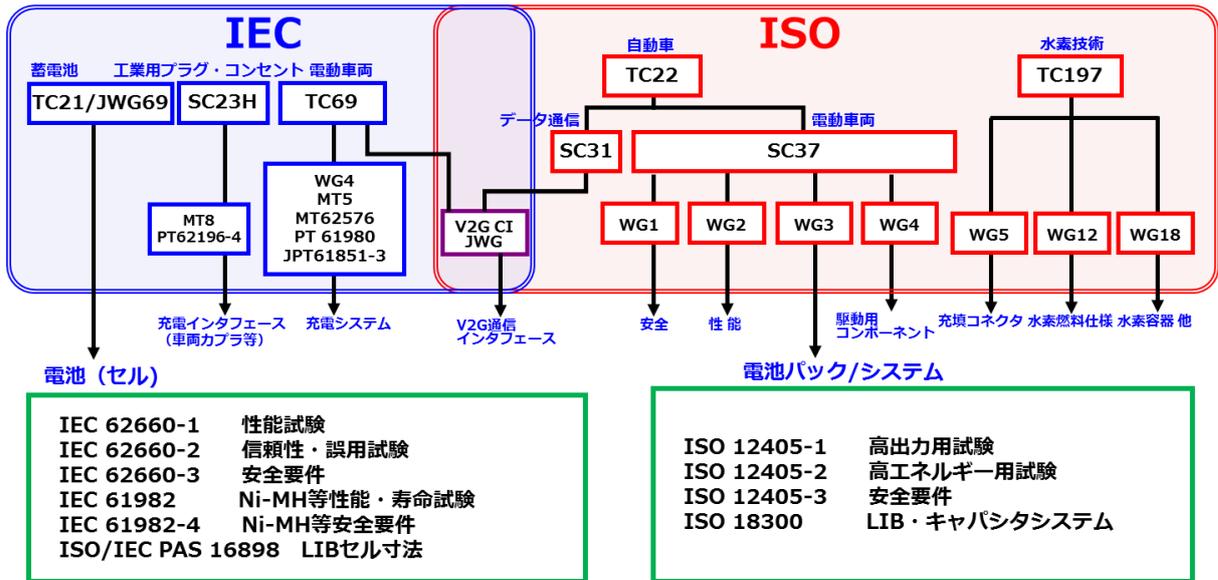


図 1.1.6-1 電動車両に係る国際規格

IEC/TC21 の国内審議団体は(一社)電池工業会である。一方 ISO/TC22/SC37 の国内審議団体は(一財)日本自動車研究所であり FC・EV 標準化委員会の元で進められており、その体制を図 1.1.6-2 に示す。FC・EV 標準化委員会は、FCV 分科会、HEV 分科会、EV 分科会、電池分科会の 4 つの分科会から構成され、各分科会の下に関連する WG が設置されている。蓄電池に係る国際標準化については、電池分科会の中の電池標準化 WG が担当しており、電池標準化 WG において審議、承認の後、ISO へ提案する流れとなっている。

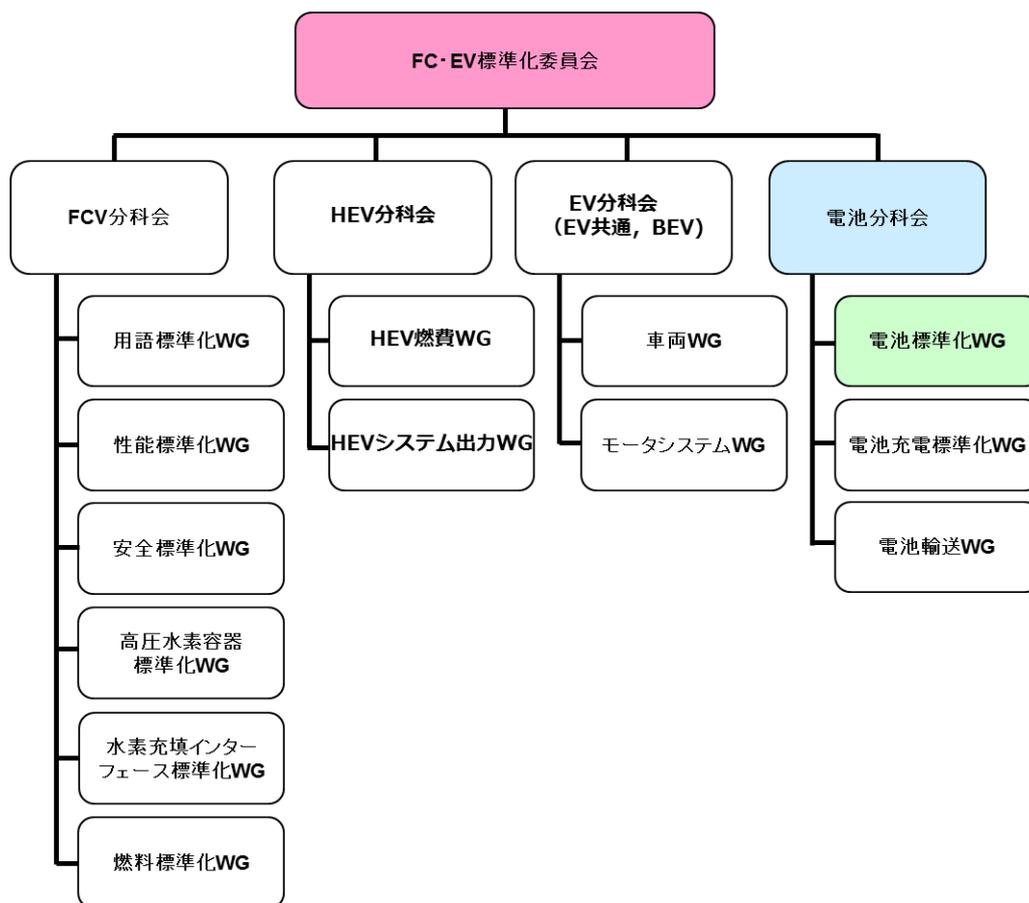


図 1.1.6-2 電動車両に係る国際標準化の国内審議体制

車載用 LIB の安全性と寿命に関する国際標準化の動向を図 1.1.6-3 に示す。

安全性については、一部の EV に搭載された LIB で発生したトラブル等を踏まえ、内部短絡により熱暴走に至った場合でも外部に被害を生じさせないよう、熱連鎖の防止が主要な課題となっており、内部短絡や熱連鎖を評価するための試験法の検討が進められている。セル単体の試験法として、2016 年に IEC 62660-3(EV 用 LIB 単セルの安全要件)が発行されているが、この規格は、2013 年に日本提案の形で進められ、セル製造時の異物混入に起因する内部短絡への安全性確認を目的として、民生用電池規格である IEC62133、産業用電池の規格である IEC62619 及び JIS C8715-2 と同様に、Ni 片を挿入して加圧することで内部短絡を起こさせる試験法である。しかしながら、本試験法は実施が困難な場合があるため、その代替試験法について議論されており、今後改定審議が行われる予定となっている。電池パックの試験法としては、ドイツ提案を発端として 2014 年に ISO 12405-3(電池システム安全性試験法)が発行されている。この改定審議にて、新たに熱連鎖試験が検討されることになっているが、類焼試験における熱暴走の発生方法については、定まっていない状況である。なお、UN/ECE/WP29 の「Electrical Vehicle Safety - Global Technical Regulation」(EVS-GTR)において、車載用 LIB パックの安全性試験の基準化が進められており、フェーズ1の議論の中で熱連鎖試験法が盛り込まれたドラフトが 2017 年に出来る予定となっており、その後のフェーズ2の中で議論を進める予定となっている。

但し、車載用蓄電池の安全性は、最終的に電池パック・システムで確保される必要があるが、これらの安全設計に当たっては、基本的なセルの安全性が確保されていることが前提となる。そのため、電池パック・システム単位での安全要件に対応させて、セル単体の安全要件を明確化する必要がある。そ

の一方で、電池システムは車両毎に異なるため、セルの仕様も電池システム的设计に応じて異なってくること、また、LIB は現在も技術開発が進行しているため、試験方法を規定する場合には今後開発される先進的な LIB の特性も考慮する必要があること等、安全要件や安全性試験の合否判定基準を一律に規定するには慎重な議論が必要な状況にある。

一方、寿命試験法に係る発行済みの国際規格としては、セル単体の試験法が IEC 62660-1(性能試験)、電池パック・システムの試験法が ISO 12405-1(高出力用電池の試験仕様)及び ISO 12405-2(高エネルギー用電池の試験仕様)である。これら規格は日本が主導して策定されたものであり、NEDO プロジェクト「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発～Li-EAD～」(2007～2011 年度)の「次世代自動車用高性能蓄電池基盤技術の研究開発」における試験法の開発成果が国際規格として反映されたものである。これらの規格のうち、IEC 62660-1 は 2016 年より改定審議が開始されており、ISO 12405-1 及び ISO 12405-2 は 2015 年から統合に向けた改定審議が開始されている。なお、国連欧州経済委員会 (UN/ECE) の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) の「Electrical Vehicle and Environment - Global Technical Regulation」(EVE-GTR) の会議の場においても、米国、カナダから寿命試験の基準化の提案があった。しかしながら、多種の電池が存在し、車種毎に電池に求められる性能が異なる中で、長期間を要する寿命試験の基準化は時期尚早という意見もあり、世界統一試験方法 (WLTP) のインフォーマル会議 (IWG) とも連携しつつ、EVE-GTR 化の要否について検討が進められている。

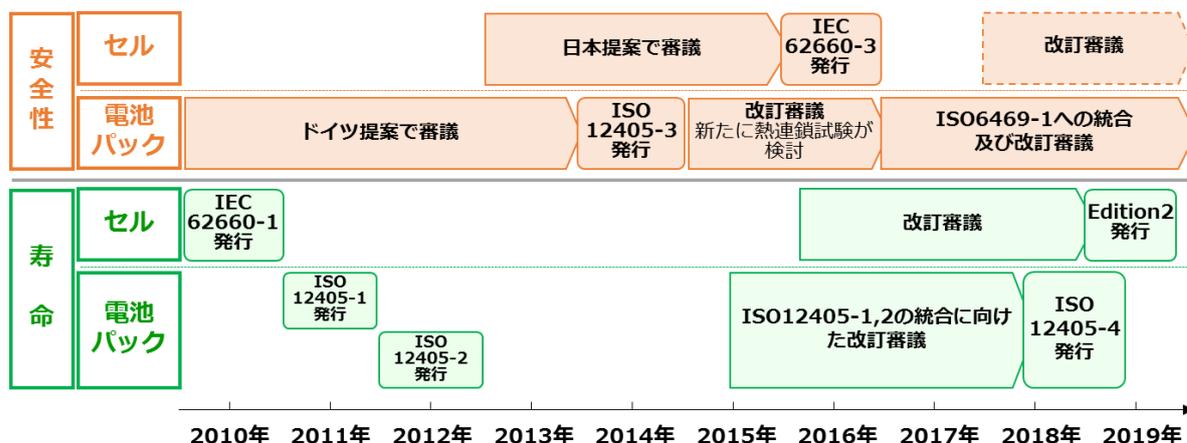


図 1.1.6-3 安全性・寿命に関する標準化動向

1.2 NEDOの事業としての妥当性

1.2.1 関連する上位施策の目標達成への寄与

本項では、本プロジェクトが関連する上位施策である下記(1)～(4)の目標達成に寄与することについて述べる。

- (1) エネルギー基本計画(第四次計画:2014年4月、閣議決定)
- (2) 次世代自動車戦略 2010(2010年4月、経済産業省策定)
- (3) 自動車産業戦略(2014年11月、経済産業省策定)
- (4) 未来投資戦略 2017－Society 5.0の実現に向けた改革－(2017年6月、閣議決定)

(1) エネルギー基本計画(第四次計画:2014年4月、閣議決定)

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

この第四次計画では本プロジェクトに係る施策・目標として、「第3章 エネルギーの需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策」において、「利便性の高い電気を貯蔵することで、いつでもどこでも利用できるようにする蓄電池は、エネルギーの需給構造の安定化を強化すると共に、再生可能エネルギーの導入を円滑化することができる、大きな可能性を持つ技術」、「最近の安全性の向上や充放電効率の増加による性能向上によって、従来の用途に加え、車載用、住宅・ビル・事業用等の定置用の用途へも広がりつつあるが、引き続き、技術開発、国際標準化等により低コスト・高性能化を図っていく」としている。また、「次世代自動車(ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル自動車、CNG自動車等)の普及・拡大に当たっては、研究開発に加え、官民が協力して電気自動車及びプラグイン・ハイブリッド自動車に必要な充電インフラの普及に努める。」とした上で、「次世代自動車については、2030年までに新車販売に占める割合を5割から7割とすることを目指す」としている。

本プロジェクトは、各種次世代自動車のうち、EV・PHEVの普及促進と我が国の自動車・蓄電池産業の競争力強化を図るため、車載用LIBの高性能化、低コスト化等の技術開発に取り組むものであり、「エネルギー基本計画」の目標達成に直接的に寄与すると言える。

(2) 次世代自動車戦略 2010

我が国の自動車産業は、内燃機関自動車の開発・製造において技術的に優位性を持ち、国際競争力を保有してきており、この技術的優位性を保持することは日本の産業政策として重要である。その一方で、自動車関連産業を巡る外部環境を踏まえると、将来、次世代自動車が普及していくことは確実である。既に市場化が始まり、世界的にも開発・普及に向けた競争が激化しているEV・PHEVに関しては、我が国がバリューチェーン上、広い範囲で強みを維持しているものの、海外企業もキャッチアップに向けた取組みを強化しており、我が国にとっても戦略の策定は重要である。こうした状況を踏まえ、経済産業省は2010年4月、「次世代自動車戦略2010」を策定した。

この戦略は、図1.2.1-1に示すように、「全体戦略」、「電池戦略」、「資源戦略」、「インフラ整備戦略」、「システム戦略」、「国際標準化戦略」の6つの戦略で構成されている。

「全体戦略」においては、次世代自動車の普及加速のため、政府が目指すべき車種別普及目標（新車販売に占める割合）を表1.2.1-1のように設定している。また、アクションプランの一つとして、部品・部材産業の高付加価値化を図るとしており、軽量化・省エネ化技術に加え、蓄電池、電池マネジメント技術、モーター、パワー半導体、EV用エアコンディショニングシステム、車内ソフトウェア、ネットワーク技術等について重点的に研究開発を推進するとしている。

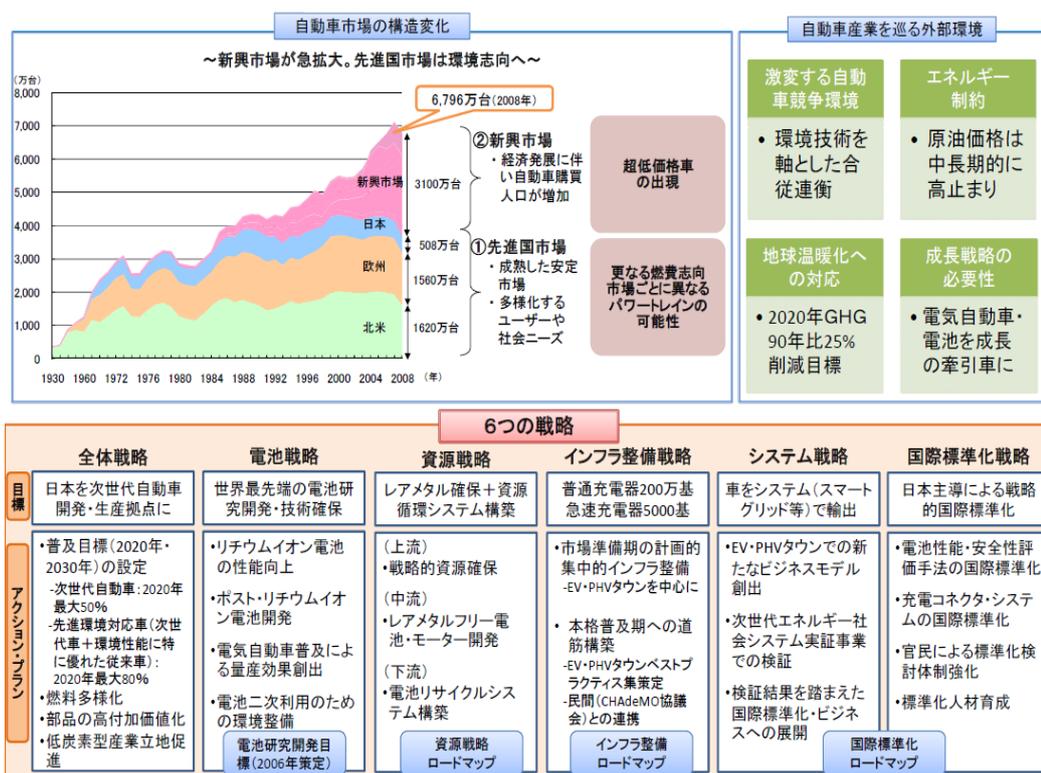


図 1.2.1-1 「次世代自動車戦略 2010」の概要

表 1.2.1-1 2020～2030年の乗用車種別普及目標(政府目標)

	2020年	2030年
従来車	50～80%	30～50%
次世代自動車	20～50%	50～70%
ハイブリッド自動車	20～30%	30～40%
電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車	15～20%	20～30%
燃料電池自動車	～1%	～3%
クリーンディーゼル自動車	～5%	5～10%

また、「電池戦略」においては、蓄電池材料及び蓄電池自体の技術は日本企業が現時点では世界をリードしている一方で、海外の蓄電池メーカーが続々と市場参入し、大規模な設備投資の計画や特許出願件数・論文発表件数も急増していることから、LIBの新材料についても引き続き幅広い基礎的な研究が必要であるとしている。具体的には、2006年の「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」でまとめられた「電池の性能とコストを2015年までに1.5倍と1/7倍にする」という目標達成に向け、先進的・革新的LIBの研究開発を進めるとしている。また、自動車以外の分野でのアプリケーションにおける蓄電池システムの活用を目指すとしている。

本プロジェクトは、2020年初頭に商品化されるEV・PHEVへの搭載を想定した先進的LIBについて、高性能化(高エネルギー密度化)や低コスト化等に取り組むものであり、その結果として、航続距離の延伸及び車両価格の低減というEV・PHEVの普及課題の解決に繋がることから、「次世代自動車戦略2010」の「全体戦略」及び「電池戦略」の目標達成に直接的に寄与すると言える。

加えて、本プロジェクトでは、先進LIBよりも更に先(2025年頃)の競争力強化を狙い、飛躍的な安全性向上や低コスト化等が期待できる全固体電池についても研究テーマに取り上げていることは、前記した「革新的LIBの研究開発を進める。」という「電池戦略」の方向性に合致し、また、港湾荷役機械用LIBの応用開発にも取り組んでいることは、「自動車以外のアプリケーションにおける活用を目指す。」という方向性にも合致している。

(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。

本プロジェクトは、次世代自動車の普及に資する車載用LIBの高性能化、低コスト化等の技術開発に取り組むものである。また、実施者グループの中には、例えばトヨタや日本電気のグループは、電池・自動車メーカー、材料メーカー及び大学・研究機関が協調して効率的に研究開発に取り組む体制になっており、「自動車戦略2014」の方針と合致している。

(4) 未来投資戦略2017(2017年6月、閣議決定)

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

これら成長戦略には、達成すべき「成果目標(KPI:Key Performance Indicator)」が設定されており、

この KPI を実現するために必要な個別施策の方向性、手段、実施時期等が明記されている。「未来投資戦略 2017」の「エネルギー・環境制約の克服と投資の拡大」において記載されている車載用蓄電池に係る戦略と KPI は次の①～④となっている。

- ① 車載用蓄電池については、現在の液系 LIB よりも安全面等で性能が高い全固体 LIB 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)を獲得することを指す。

一方、本プロジェクトにおける電池パックのエネルギー密度の開発目標値は EV 用で 250Wh/kg、PHEV 用で 200Wh/kg であり、2017 年の EV・PHEV 用電池パックの 2 倍程度の値を設定した。そのため、プロジェクトの目標値をクリアすることによって、現行 EV・PHEV と同じ電池パックの搭載重量で航続距離の 2 倍化が実現できる。コストの目標値は EV 用と PHEV 用、共通で 2 万円/kWh と設定したが、現在の市場平均価格の水準は EV 用が 3 万円/kWh、PHEV 用が 5 万円/kWh となっており、我が国自動車・蓄電池産業が世界市場においてコスト競争力を獲得可能な目標と言える。安全性と高エネルギー密度化・高出力化の同時成立が期待できる全固体電池の開発にも取り組んだ。

したがって、「未来投資戦略 2017」の目標達成に直接的に寄与し、また、戦略の方向性にも合致していると言える。

1. 2. 2 NEDOの関与の必要性

本プロジェクトが取り組む車載用蓄電池に係る技術開発については、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

本プロジェクトのように、ビジネス上の競合関係にある複数の民間企業が参画したプロジェクトにおいて、各参画企業に対し、公平な予算配分管理や進捗管理等を行い、日本全体としての競争力を向上させていく観点からも NEDO の関与は適当であるといえる。さらに、研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」においては、LIB の安全性・信頼性に関する国際標準化・基準化に資する評価技術開発を行っている。これは、国内産業界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

NEDO は、2013 年に経済産業省・産業技術環境局、文部科学省・研究開発局が中心となって設置された「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:東京大学大学院工学研究科教授 橋本和仁)の構成メンバーとなっている。NEDO はこのガバナリングボードでの活動を通じ、文部科学省所管の「戦略的創造推進事業/先端的低炭素化技術開発(ALCA)/次世代蓄電池研究開発プロジェクト」や「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>/触媒・電池材料」等において、我が国の大学・研究機関等が実施している蓄電池の研究内容とその研究進捗を把握しつつ、必要に応じて、これら大学等の先進的な有望技術について産業界とのマッチングを図ることも念頭に置きながら、NEDO プロジェクトを推進している。

加えて、実施者グループの中には、例えば、トヨタ、日本電気、三井造船のグループは大学・研究機関を開発体制に組み込み、学術成果が企業の製品化に直結する取組みを実施した。

(3) 蓄電技術開発プロジェクト間の連携

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」では、本プロジェクトでも取り扱っている安全性試験法について、材料評価技術の一環として試験法を開発している。この試験法は本プロジェクトで行っている市販 EV・PHEV の蓄電池を用いた国際標準・基準に反映させるものと異なり、産業界共通の「ものさし」となる標準電池モデルを開発し、それを用いたものであるが、お互いに強制内部短絡試験の代替試験法を開発しているため、NEDO が主導で交流会を実施した。なお、この交流会の内容を反映したことで、本プロジェクトの試験法の高性能化が図れた。

(4) 過去の車載用蓄電池技術開発プロジェクトの技術蓄積等の活用

NEDO は、「分散型電池電力貯蔵技術開発」(1992～2001 年度)において当時黎明期にあった LIB の技術開発を世界に先駆けて実施するとともに、「燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発」(2002～2006 年度)、「次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発～Li-EAD～」(2007～2011 年度)において車載用 LIB の技術開発を実施し、これらプロジェクトの成果を我が国民間企業における車載用 LIB の実用化・事業化や ISO/IEC の国際規格の制定等に繋げてきている。

このように、ナショナルプロジェクトの推進等を通じて蓄積さ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 の関与は適当であると言える。

(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、素材産業課、情報通信機器課、研究開発課等と緊密に連携しつつ、第一線級の実力を有する企業、大学、公的研究機関等の技術開発能力を最適に組み合わせて、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。

現在推進中の「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」では、本プロジェクトで検討されている固溶体正極やシリコン系負極を用いた先進 LIB 及び硫化物固体電解質を用いた全固体電池について、産業界の共通評価指標となる材料の評価技術開発を実施しており、本プロジェクトで得られた知見を活用できる。

同様に、「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発事業」では、サイエンスに立脚した革新型蓄電池(ポスト LIB)の共通基盤技術開発を推進しており、量子ビームラインを用いた高度な反応メカニズムの解析技術の開発にも取り組んでいるが、本プロジェクトで把握された解析ニーズを反映させることで、開発中の解析技術を先進 LIB や全固体電池にも応用できるようにしている。

1.2.3 実施の効果

本項では本プロジェクトの実施の効果として、(1)経済効果、(2)CO₂削減効果、(3)波及効果について述べる。

(1) 経済効果

「1.1.1 EV・PHEVの普及に係る政策動向」で述べたように、主要各国はEV・PHEVの普及拡大を図る国家計画を策定しており、今後、EV・PHEVの市場拡大が予想される。「1.1.3 車載用蓄電池に係る市場・産業動向」で述べたように、車載用蓄電池の市場規模は2025年に約6.6兆円になると予測されており、その大部分がEV・PHEV用のLIBである。一方、第4章で詳細を述べるが、本プロジェクトの実施者(助成先企業)グループの成果を取り入れた材料・部品、蓄電デバイス・モジュール・パックの売上の合計額は、2025年には約7,000億円/年に達する計画である。また、EV・PHEVの売上も販売開始後5年目には約2.5兆円/年に達する計画である。この売上見通しに対して、本プロジェクトの5年間の予算総額(NEDO負担分)は96億円であり、十分な費用対効果が有ると言える。

(2) 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。

$$\begin{aligned} & \bullet \text{ ガソリン車の年間CO}_2\text{排出量} \\ & = \text{【年間走行距離】} \div \text{【燃費】} \times \text{【ガソリンCO}_2\text{排出係数】} \\ & = 10,000\text{km}^{\ast 1} \div 10.92\text{km/L}^{\ast 2} \times 2.322\text{kg-CO}_2/\text{L}^{\ast 3} \\ & = 2,126\text{kg-CO}_2 \\ & \bullet \text{ EVの年間CO}_2\text{排出量} \\ & = \text{【年間走行距離】} \times \text{【電費】} \times \text{【電力CO}_2\text{排出係数】} \\ & = 10,000\text{km} \times 0.171\text{kWh/km}^{\ast 4} \times 0.530\text{kg-CO}_2/\text{kWh}^{\ast 5} \\ & = 909\text{kg-CO}_2 \\ & \bullet \text{ PHEVの年間CO}_2\text{排出量} \\ & = \text{【年間EV走行距離】} \times \text{【電費】} \times \text{【電力CO}_2\text{排出係数】} \\ & \quad + \text{【年間HEV走行距離】} \div \text{【燃費】} \times \text{【ガソリンCO}_2\text{排出係数】} \\ & = 5,000\text{km}^{\ast 6} \div 7.378\text{km/kWh}^{\ast 7} \times 0.530\text{kg-CO}_2/\text{kWh} \\ & \quad + 5,000\text{km} \div 26.04\text{km/L}^{\ast 8} \times 2.322\text{kg-CO}_2/\text{L} \\ & = 359\text{kg-CO}_2 + 446\text{kg-CO}_2 \\ & = 805\text{kg-CO}_2 \end{aligned}$$

[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。

※5:2016年12月電気事業低炭素社会協議会発表の2015年度CO₂排出実績(速報値)より。

※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10.54kWh/km(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。

したがって、EV・PHEV1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1,218kg-CO₂、1,321kg-CO₂となる。

- EV の年間 CO₂ 削減効果
 = 【ガソリン車 CO₂ 排出量】 - 【EV 年間 CO₂ 排出量】
 = 2,126kg-CO₂ - 909kg-CO₂
 = 1,218kg-CO₂
- PHEV の年間 CO₂ 削減効果
 = 【ガソリン車 CO₂ 排出量】 - 【PHEV 年間 CO₂ 排出量】
 = 2,126kg-CO₂ - 805kg-CO₂
 = 1,321kg-CO₂

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 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 2017」(日本自動車工業会、2017 年 5 月)によると、我が国の四輪車保有台数は 2016 年 12 月末現在で約 7,800 万台であり、うち乗用車(普通車、小型四輪車、軽四輪車)は約 6,100 万台である。本 CO₂ 削減効果の検討においては、2020 年代の乗用車保有台数は 6,100 万台で一定とする。「未来投資戦略 2017」における「EV・PHEV が 2020 年に保有台数 100 万台、2030 年に新車販売台数割合 30%(保有台数割合 16%=約 980 万台)」との目標値を当て嵌め、EV・PHEV の普及割合は、「2017 年版 HEV, EV 関連市場徹底分析調査」(株式会社富士経済)に示された予測販売台数を参考として、2020 年～2030 年の販売比率 EV:PHEV=50%:50%と仮定する。

この仮定に対して、前記した EV・PHEV1 台当たりの年間 CO₂ 削減効果の試算値を当て嵌め、トータルの普及台数による CO₂ 削減効果を試算した結果を図 1.2.3-1 に示す。

今後、EV・PHEV、ガソリン車共に電費・燃費は更に向上すること、また、再生可能エネルギーの普及拡大によって電力の CO₂ 排出源単位が改善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、2020 年～2030 年の年間平均で約 580 万トン-CO₂/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 2016 年実績で約 410 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(2016 年実績で約 1,900 万台規模)。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。

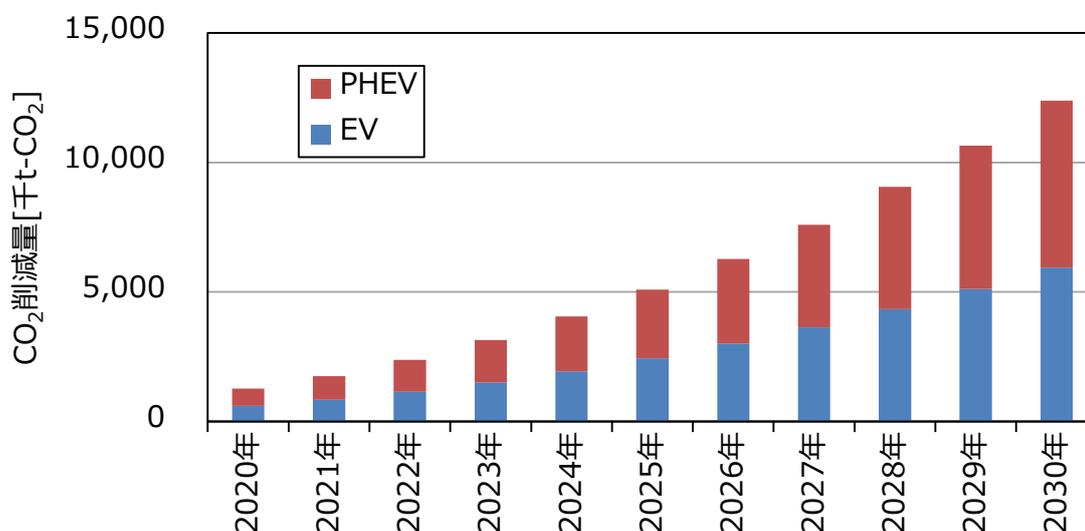


図 1.2.3-1 EV・PHEV 普及による CO₂ 削減効果の試算

(3) 波及効果

(i) V2H・V2G の普及等への貢献

スマートグリッドの一環として、大容量の LIB を搭載する EV・PHEV^{注1)}を電力供給の調整に用いる V2H(Vehicle to Home)、V2G(Vehicle to Grid)という新しい試みがある。V2H は EV・PHEV 等を住宅・オフィスビル等に接続することにより、電力ピークシフト、停電時のバックアップ対策、夜間電力活用等に利用可能とするものである。V2G は夜間や休日等で停車中の EV・PHEV を地域の電力系統に接続することで、車載電池をスマートグリッド全体の蓄電設備として利用するものである。V2H と同様に電力の無駄を省きながら、地域全体で電力の消費と供給の平準化を図るとともに、エネルギー事業者の発電や蓄電設備の設置負担軽減を目指すものである。

このように、V2H・V2G は EV・PHEV のユーザに対して新たな価値を提供するものであるが、その一方で、車載電池から他用途に電力供給を行う状況が不定期に発生するため、ユーザが走行したい時に十分な電力が車載電池に充電されていない場合は航続距離が不十分となり、本来の EV・PHEV の利便性が損なわれることが普及課題の一つとして挙げられる^{注2)}。

本プロジェクトにおける高エネルギー密度化や低コスト化等の技術開発によって、蓄電容量が増大した EV・PHEV の普及拡大が図られることは、上記した V2H・V2G の普及課題の解決にも繋がる。さらに、電力システム改革による小売全面自由化の進展と相俟って、EV・PHEV の電気充電に最も適したサービスを行う事業者が輩出されることが期待される。

<p>注1) 車載用 LIB の蓄電容量は日産 LEAF(2017 年発売)で 40kWh、トヨタ PRIUS PHV(2017 年発売)で 8.8kWh、三菱 OUTLANDER PHEV(2013 年発売)で 12kWh である。一方、一世帯当たりの一日の電力消費量は約 10kWh(電気事業連合会より)である。</p> <p>注2) V2H・V2G の普及課題には、ユーザの利便性損失以外に、太陽光発電電力を車載電池に充電した場合、自家消費の扱いで、現状の固定価格買取制度では対象外となるため経済的損失に繋がること、その設備利用負担をどのように分担するか等がある。</p>

(ii) 各実施者の定置用蓄電池ビジネスへの寄与

世界全体において再生可能エネルギーの導入促進、電力設備の効率的運用、需要家に対する電力サービスの向上等が求められている。現在、各国政府は電力系統・産業用の大型蓄電池や住宅・ビル等の需要家用途の定置用蓄電池の導入を促進する政策及び市場環境整備を積極的に進めている。

前述したように、「未来投資戦略 2017」では 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としており、こうした蓄電池には応答性(入出力)や高エネルギー密度及び低コストが要求され、性能面と車載用電池での量産によるコスト低減が期待できる LIB はこれら市場においても主流となり始めている。

また、本プロジェクトの実施者(あるいはそのグループ会社)の多くは、LIB を適用した大型蓄電池及び定置用蓄電池のビジネスを実際に展開している。さらに、車載用 LIB と定置用 LIB とはセルを含め、共通する部分も多い。本プロジェクトの成果は各実施者の定置用 LIB の高性能化・低コスト化技術としても活用され、そのビジネス展開にも寄与するものと考えられる。

(iii) 若手工学技術者の育成

蓄電池技術は化学、電気化学、材料(有機・無機材料)、電気、機械等、広範囲で高度な設計技術の裾野を必要とし、かつ高度な製造技術も必要となる。本プロジェクトの実施を通じ、技術立国日本の将来を担う若手工学技術者の育成を促進できる。

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

「研究開発項目① 高性能リチウムイオン電池技術開発」、「研究開発項目② リチウムイオン電池応用技術開発」及び「研究開発項目③ 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」のそれぞれについて、研究開発目標の妥当性を以下に述べる。

(1) 「研究開発項目① 高性能リチウムイオン電池技術開発」の研究開発目標について

【基本計画における研究開発目標の記載】

次世代リチウムイオン電池として 2020 年～2025 年頃の EV/PHEV 用の主動力を想定し、下記目標を基本とするが、個別の目標(中間目標及び最終目標)は提案者が公募時に技術開発テーマ及び事業化計画とともに提案し、採択決定後に NEDO と協議の上個別に実施計画に定める。

[最終目標](平成 28 年度)

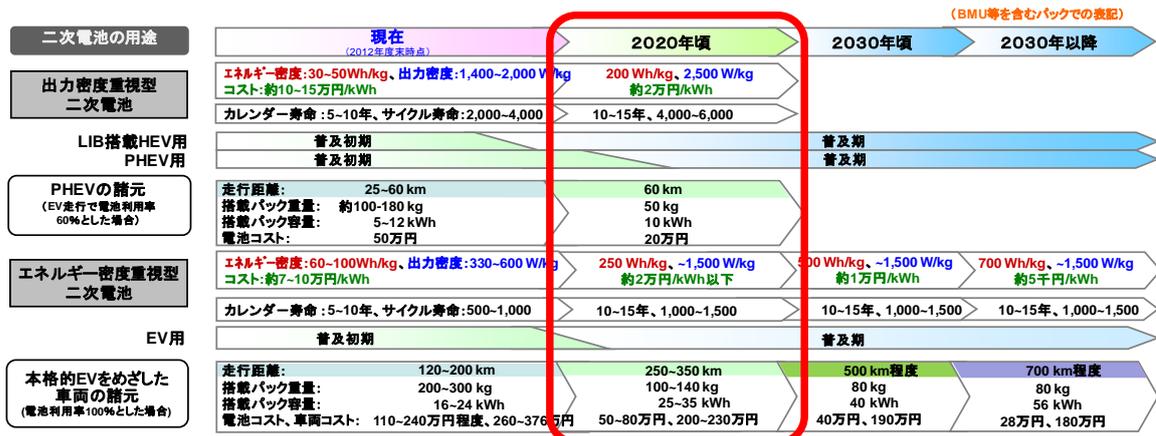
高性能材料電池化技術開発では、2020 年から 2025 年頃に車載用電池パックとして EV 用途性能目標と PHEV 用途性能目標のいずれかとコスト目標の達成を見込める技術を確立し、その技術で小型実用電池を試作・評価する。

製造プロセス技術開発については、EV 用途性能目標、PHEV 用途性能目標、コスト目標のいずれかの実現に資する電池製造技術確立の目処を得る。

- EV 用途性能目標
 - 質量エネルギー密度:250Wh/kg
 - 質量出力密度:1,500W/kg
- PHEV 用途性能目標
 - 質量エネルギー密度:200Wh/kg
 - 質量出力密度:2,500W/kg
- コスト目標:2 万円/kWh

NEDO は、2013 年 8 月、我が国における二次電池技術開発の方向性を示すため、産官学の有識者で構成される委員会を設置し、「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」(Battery RM2013)を策定・公開している。このロードマップでは、2020 年頃の EV 用電池と PHEV 用電池のそれぞれについて、図 2.1-1 に示すように、質量エネルギー密度、質量出力密度、カレンダー寿命、コストの目標値を設定しているが、上記した本プロジェクトの目標値と基本的に整合している。ロードマップの目標値は、自動車メーカー、電池メーカー、材料メーカー等の専門家及び大学・研究機関の学識者から提供された最新の知見・情報に基づき設定したものである。

また、第 1 章の「1.1.4 主要国における車載用蓄電池の技術開発プロジェクト」で主要国の車載 LIB の開発目標を示したが、本プロジェクトの目標値はエネルギー密度及びコストのどちらも各国の目標と遜色無いものになっている。



二次電池の課題	現行LIB	先進LIB	ブレークスルーが必要	革新電池
正極	スピネルMn系 他	高容量化・高電位化等		金属-空気電池 (Al, Li, Zn等)
電解液	炭酸エステル系混合溶媒 他	難燃性・高耐電圧性等		金属負極電池 (Al, Ca, Mg等) 等
負極	炭素系	高容量化等		
セパレーター	微多孔膜	複合化、高次構造化・高出力対応 等		
電池化技術	新電池材料組合せ技術/電極作製技術/固-液-固-固界面形成技術 等			
長期的基礎・基礎技術の強化	界面の反応メカニズム・物質移動現象の解明、劣化メカニズムの解明、熱的安定性の解明、「その場観察」技術・電極表面分析技術の開発、等			
その他課題	システムとしての安全性・耐環境性の向上、V2H/V2G、中古利用・二次利用、リサイクル、標準化、熟成性能の把握、充電技術 等			

図 2.1-1 NEDO Battery RM2013/自動車用二次電池ロードマップ

次に、日米欧の自動車メーカーが販売したEV・PHEVの電池パックのエネルギー密度を図2.1-2に示す。最新の車両モデルでもエネルギー密度はEVで約140Wh/kg、PHEVで約100Wh/kgであり、これらと比較して、本プロジェクトの目標は高い設定になっている。

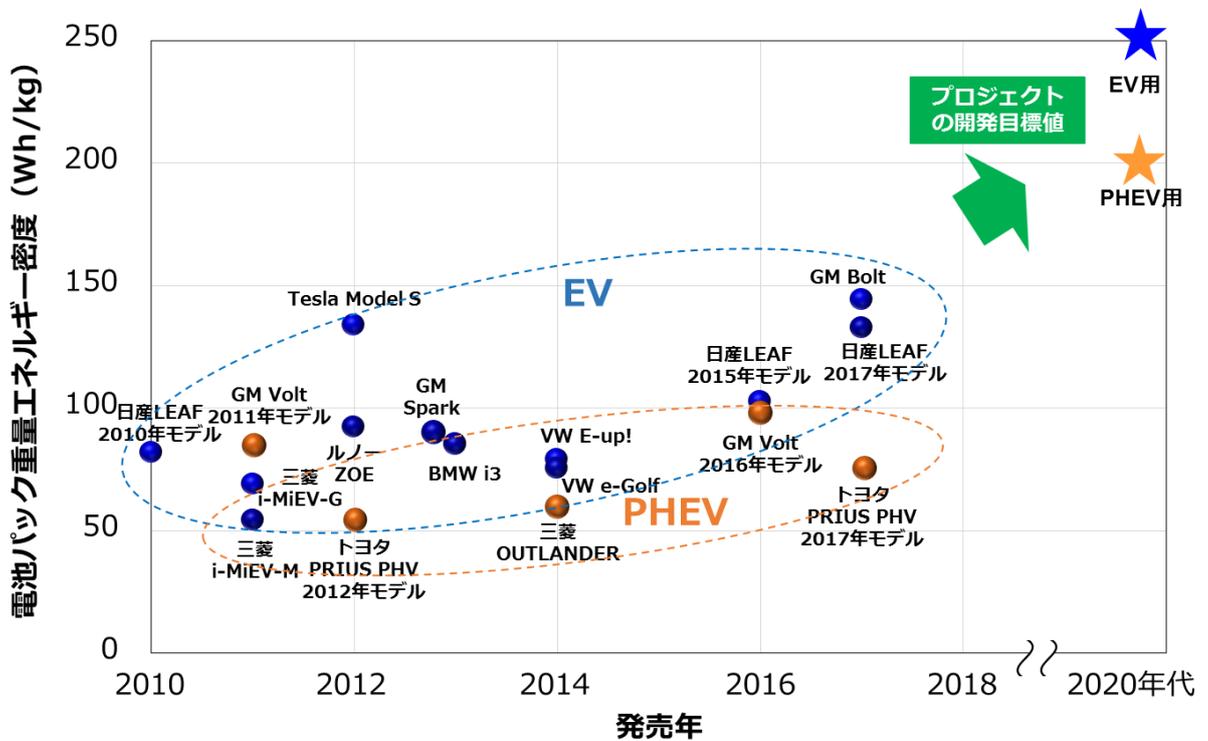


図 2.1-2 電池パックの重量エネルギー密度の推移

また、図 2.1-3 に車載用電池パックのコスト推移を示すが、近年の世界市場での平均価格水準は EV 用が 3 万円/kWh、PHEV 用が 5 万円/kWh であり、これらと比較して、本プロジェクトの目標は高い設定になっている。

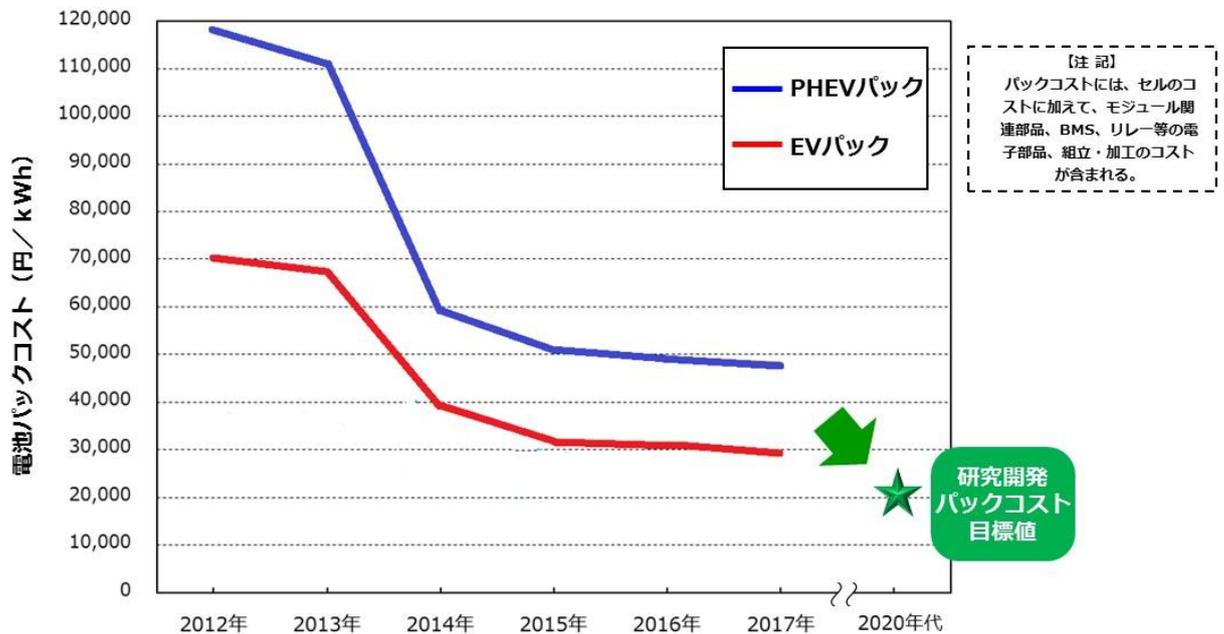


図 2.1-3 車載用電池パックのコスト推移

出典:「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 -次世代環境自動車分野編-」(株式会社富士経済)
2014年版～2017年版に基づき NEDO が作成

(2) 「研究開発項目② リチウムイオン電池応用技術開発」の研究開発目標について

【基本計画における研究開発目標の記載】

下記目標を基本とするが、各開発の年度目標は提案者が公募時に技術開発テーマ及び事業化計画とともに提案し、採択決定後に NEDO と協議の上個別に実施計画に定める。なお、目標値に対する評価は、個別に想定するリチウムイオン電池の設計仕様に基づいて評価する。

[最終目標]

- 開発した電池パックを実環境下で使用した場合の効果をフィールドテスト等によって実証する。
- 想定するアプリケーションにおける要求性能を満足する電池セルまたは電池パック実用化の目処を得る。

本研究開発項目については、産業用動力(建設機械、運搬・荷役機械等)や大型移動体(鉄道、船舶等)といった新規用途・市場の開拓を企図したものであり、用途を限定していないことから具体的な数値目標は設定せず、「個別に想定するリチウムイオン電池の設計仕様に基づいて評価する」とした。

実際に公募で採択された三井造船、三井造船システム技研、エルクセルの技術開発テーマ「港湾設備を中心とした産業用機械の EV/HEV を実現する大型蓄電池の実用化開発」においては、第 3 章で詳細を述べるが、港湾ヤードクレーン及びトラクターヘッドに求められる高出力特性や耐塩水性を考慮した開発目標を具体的に設定し、それに対応した電池セルまたは電池パックを開発し、実用化の目処を得ている。

(3) 「研究開発項目③ 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の研究開発目標について

【基本計画における研究開発目標の記載】

下記目標を基本とするが、各開発の年度目標は提案者が公募時に技術開発テーマ及び事業化計画とともに提案し、採択決定後に NEDO と協議のうえ個別に実施計画に定める。

[最終目標](平成 28 年度)

- 国際規格・基準に反映される内部短絡試験法及び熱連鎖試験法を開発する。
- 国際規格に反映される寿命試験法を開発する。また、開発した寿命試験法の妥当性を検証するための劣化解析・評価手法を開発する。

EV・PHEV の市場投入が進む中、車載用リチウムイオン電池に適用するための安全性と継時的な容量劣化について市場の関心が高まっている。そのため、安全性や耐久性を適切・公平に評価するための試験評価法の開発と国際標準化・基準化は、EV・PHEV の普及拡大と我が国の自動車・蓄電池産業の競争力強化に向けて重要である。また、競争力の強化に向けては、新技術と標準化を戦略的に組み合わせてビジネスに相乗効果をもたらす取組みが必要である。このような観点から、「国際規格・基準に反映される試験評価法の開発」という目標設定は適切である。

また、第 1 章の「1.1.6 標準化動向」で述べたように、異物混入による内部短絡に対する安全性試験法を規定した IEC 62660-3 が 2016 年に発行されているが、現在、強制内部短絡試験の代替試験法が議論されており、2017 年以降に改訂審議が行われる予定である。また、2015 年から改訂審議が進められている ISO 12405 の中で新たに熱連鎖試験が検討される予定であり、国際技術基準 EVS-GTR においても熱連鎖試験の議論が行われている。さらに、寿命試験法についても、IEC 62660-1、ISO 12405-1 及び ISO 12405-2 の改定審議が行われている。そのため、成果活用のタイミングという観点において、タイムリーな目標設定となっている。

2. 2 研究開発計画の妥当性

(1) 研究開発内容

本プロジェクトにおける各実施者の研究開発の概要を図 1.1.1-1(再掲)に示す。

研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」においては、6つの企業グループが自らの事業化計画に基づいて適用車種を選択し、本プロジェクトの目標を達成可能な電極・電解質材料、セル・パック化技術、製造プロセス技術等のキー技術を開発対象に取り上げて、研究開発に取り組んだ。2020年代には実用化の狙えない基礎研究フェーズの技術や産業として実現性に乏しい技術は取り上げていない。

研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」においては、港湾荷役機械用リチウムイオン電池を開発した。省エネルギーや環境負荷低減への配慮から港湾コンテナヤードの電動化が強く求められている状況にあり、リチウムイオン電池の用途拡大を図るテーマとして適切であり、荷役機械として求められる頻繁かつ急速な充放電に対応するための技術を開発した。

研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」においては、セル内への異物混入を想定した強制内部短絡試験の代替試験法(セラミック釘刺し試験法)の開発、内部短絡により電池パック内の1セルが熱暴走した際の電池パック周囲への影響を評価する熱連鎖試験法の開発、実車両の市場走行時のリチウムイオン電池の劣化要因を反映した寿命試験法の開発を実施し、国際規格・基準の議論を適切な方向に導くためのデータを取得した。



図 1.1.1-1(再掲) 本プロジェクトの研究開発の概要

(2) 研究開発スケジュール及び予算

プロジェクト全体の研究開発スケジュール及び研究開発費用を表 2.2-1 に示す。

研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」については、各実施者の事業化戦略に基づいて研究開発期間を設定しており、5年間のテーマが5件、4年間のテーマが1件、3年間のテーマが1件となっている。

また、研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」については、車載用リチウムイオン電池の安全性及び寿命に関する社会的な関心の高まりを踏まえ、プロジェクトの基本計画を改訂して追加し、実施者の公募を行い、平成27年度から2年間実施した。

研究開発予算(NEDO負担分)の総額は5年間で約98億円である。

表 2.2-1 研究開発スケジュールと研究開発費用(NEDO負担分)

(単位：百万円)							
研究開発項目	実施者	H24fy	H25fy	H26fy (中間評価)	H27fy	H28fy	合計
研究開発項目① 高性能リチウムイオン電池技術開発 【2/3助成】	(1) 日産自動車	74	110	135	171	47	537
	(2) 日本電気、積水化学工業、 田中化学研究所	320	283	234	204	140	1,181
	(3) 東芝インフラシステムズ	90	525	563	554	H27末で 終了	1,733
	(4) パナソニック	180	175	203	201	188	947
	(5) 日立製作所、 日立オートモティブシステムズ	461	365	266	388	240	1,720
	(6) トヨタ自動車、 豊田中央研究所	367	636	858	321	234	2,416
研究開発項目② リチウムイオン電池応用技術開発 【1/2助成】	三井造船、エルクセル、 三井造船システム技研	52	42	43	H26末で 終了		137
研究開発項目③ 車載用リチウムイオン電池の 試験評価法の開発【委託】	日本自動車研究所、 産業技術総合研究所			H27から 開始	483	442	925
	合計	1,544	2,136	2,302	2,322	1,291	9,595

2.3 研究開発実施体制の妥当性

(1) 研究開発実施者の技術力・事業化能力について

研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の実施者には、車載用リチウムイオン電池（電池パック、モジュール、セル）及びリチウムイオン電池材料の研究開発に豊富な経験と実績を有し、かつ事業化能力を十分に有した自動車メーカー、蓄電池メーカー及び材料メーカー等を公募により選定している。

研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の実施者である三井造船は、港湾荷役機械の国内トップメーカーであり、海外でもビジネスを展開しており、市場獲得に向けた適切な開発目標仕様が設定でき、かつ開発成果の実用化・事業化の能力を有する。また、エルクセルはリチウムイオン電池及び材料・部品について豊富な研究開発実績に加えて、電池の生産及び特性評価技術を保有している。

研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の実施者である日本自動車研究所は、電動車両の性能評価、車載用リチウムイオン電池の性能・安全性評価に関する豊富な実績と幅広い知見を有し、電動車両に関する国際標準化を担当する国内審議団体でもあることから、本事業で得られた成果を戦略的かつ迅速に標準化活動に展開できる。また、産業技術総合研究所は、市販品や自主開発のリチウムイオン電池の性能・寿命評価に関する豊富な実績と幅広い知見を有している。

なお、NEDO は、研究開発項目①及び研究開発項目②の各実施者に対して、本プロジェクトの成果を実用化・事業化に繋げる戦略・シナリオを「課題設定型産業技術開発費助成金交付申請書」（非公開資料）に記載して提出することを求め、それを審査した上で助成金の交付を決定している。

(2) 指揮命令系統及び責任体制について

NEDO は各実施者に対し、開発成果の実用化・事業化の戦略・シナリオに基づいて、研究開発部門と事業化部門が協働して本プロジェクトを推進する体制を構築することを求め、指揮命令系統及び責任体制が明確になっていることを確認している。また、複数の企業で構成される実施者グループ内においても幹事企業を決めて研究開発に取り組むように指導している。

(3) 大学・公的研究機関の企業の取組みへの貢献

本プロジェクトの実施者グループのうち、トヨタ自動車・豊田中央研究所、日本電気・積水化学・田中化学及び三井造船・エルクセルの3グループには、大学・公的研究機関が委託先として参画した。

これらの研究内容及び主な研究成果を表 2.3-1 に示すが、何れの大学・公的研究機関も企業の取組みに十分に貢献した。

表 2.3-1 大学・公的研究機関の主な成果

実施者グループ	大学・研究機関	大学・研究機関の研究開発内容	主な成果
トヨタ自動車 豊田中研	大阪府立大学	耐水性硫化物固体電解質の開発	硫化物固体電解質に窒素ドーピングすることで、大気中水分との反応性を大幅に抑制できることを発見。
	大阪大学	活物質・固体電解質のナノコンポジット化技術開発	5V 級正極活物質のナノ粒子化と酸化物固体電解質を機械的にコンポジット化する技術を開発し、5V 級酸化物全固体電池の駆動を確認。
	名古屋大学	正極活物質と酸化物固体電解質の界面抵抗抑制	5V 級正極活物質とガラス電解質の副反応メカニズムを検証し、反応抑制の指針を得た。
	物質・材料研究機構	サイクル特性に優れた高容量負極開発	充放電時の膨張収縮を緩和することのできるポーラス Si 負極を試作し、サイクル耐久性向上に寄与することを見出した。
	東京工業大学	高イオン伝導度固体電解質の開発	世界最高のイオン伝導度を有する硫化物系電解質を開発し、全固体電池が現行のリチウムイオン電池の 3 倍の出力特性を有することを実証。
	東北大学	5V 級正極活物質・固体電解質の界面解析	正極/酸化物固体電解質の薄膜積層体のインピーダンス解析を実施し、界面抵抗の支配因子を明確化。
日本電気 積水化学 田中化学	産業総合研究所	鉄含有リチウム過剰正極技術開発	鉄含有リチウム過剰正極材料の高容量化メカニズム解明し、田中化学の正極材料開発に活用。
	京大・鶴岡高専	耐高電圧電解液技術開発	電解液添加としてのイオン液体を開発し、積水化学の電解液と組み合わせることで、サイクル性向上及びガス発生抑制を実現。
三井造船 エレクセル 三井造船システム技研	早稲田大学	劣化予測の開発	寿命評価に基づき劣化予測式を構築、アルゴリズムを開発した。これを三井造船システム技研の開発した BMS へ搭載し、正確な残量把握による高精度な電池制御を可能にした。

2.4 研究開発の進捗管理の妥当性

(1) プロジェクトの進捗管理

NEDO は実施者の開発進捗を常に把握するとともに、実施者の目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等を随時確認しながら、プロジェクトの運営管理を実施した。具体的な開発進捗管理の内容は次のとおりである。

- ① 2～3ヶ月に1回、NEDO 担当者が個別実施者の研究実施場所を訪問し、研究開発状況や導入設備を確認。
- ② 1回／半年を目途に、実施者グループ毎の研究進捗報告会を開催し、NEDO のプロジェクトマネージャーが各研究テーマの半年単位での全体進捗を確認。
- ③ 毎月、NEDO 担当者が個別実施者より予算執行状況の報告を受け、研究設備の導入や消耗品の購入状況から研究に遅延が発生していないことを把握。
- ④ 1回／年を目途に、後述する「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を開催し、学識者・専門家を交えて全実施者グループから研究進捗の報告を受け、プロジェクト全体の進捗を確認。

また、各実施者グループも、グループ内での進捗報告会や要素技術毎のワーキンググループを開催し、効率的かつ円滑な研究開発の推進を行った。その一例を以下に示す。

- ・ 日立、日立オートモティブのグループは、毎月、プロジェクト進捗報告会議を開催した。
- ・ NEC、積水化学、田中化学のグループでは各要素技術に対する 5 つのワーキンググループを設け、月1回進捗報告会議を開催した。また、全体会議は四半期に1回実施した。
- ・ トヨタ自動車・豊田中央研究所のグループは、委託先の大学・研究機関も含めた 12 機関が参加する全体会議を年 2 回、合計 10 回開催した。
- ・ 日本自動車研究所・産業技術研究所のグループは、連携会議を月1回開催した。また、後述する「電池試験法連絡会」を 6 回、「電池技術委員会」を 3 回開催した。

さらに、NEDO は上記した開発進捗管理を行いながら、実施者の開発状況に応じて実施計画の変更や執行予算の前倒し・後ろ倒しに適切かつ柔軟に対応した。また、新たな実施内容の追加が適切で追加予算が必要と判断された場合には加速予算を配賦した。主な加速予算の配賦実勢を表 2.4-1 に示す。加速予算の配賦の合計金額は約 4.0 億円(NEDO 負担額)であり、加速予算を配賦することで、研究開発の過程で発生した問題の解決や早期実用化に係る成果を得た。

表 2.4-1 主な加速予算の配賦実績

実施者	配賦時期	内容
トヨタ自動車	平成 26 年 3 月	透過型電子顕微鏡の検出精度の向上及び設置環境の改善を実施。その結果、正極/固体電解質界面の高精度な構造解析が可能となり、界面抵抗低減の指針を得た。
日産自動車	平成 26 年 5 月	Si 合金負極活物質の合成条件の検討を効率化するため、アーク溶解炉、急冷ロール凝固装置等を導入。その結果、合成時間を短縮することができ、試作量の目標値を達成した。
東芝インフラシステムズ	平成 26 年 5 月	電極に密着させる薄膜セパレータの実現のため、高速製膜が可能で均一な膜厚を実現できる試験装置を導入。その結果、膜厚 5μm、製膜速度 10m/min でセパレータを作製可能となり、評価で量産までの目途を立てられるところまで研究開発が進捗した。

(2) NEDO 技術委員会の設置・運営

NEDO は、2013 年度より、表 2.4-2 に示す外部有識者で構成される「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」を設置し、技術的な助言やプロジェクト全体の運営管理に関する助言・指摘を受けながら、蓄電技術開発プロジェクトを推進している。技術委員会の助言・指摘は、必要に応じて、各プロジェクト全体の実施方針や各実施者の研究計画に反映することになっている。また、技術委員会には、議題に関する専門家・学識者、他の蓄電技術開発プロジェクトのプロジェクトリーダー、経済産業省の担当者もオブザーバーとして出席している。

この技術委員会はこれまでに 13 回開催しているが、本プロジェクトを議題として取り上げたのは、第 4 回(2013 年 3 月開催)、第 8 回(2015 年 10 月開催)、第 11 回(2016 年 7 月開催)、第 12 回(2017 年 3 月開催)の合計で 4 回である。

第 4 回の技術委員会では、本プロジェクトの中間目標の達成に向けて、全実施者グループがこれまでの開発進捗状況を報告し、有識者委員より技術的な助言・指摘を受けた。また、プロジェクト全体の進捗について特に大きな障害等は見当たらないとの評価を得た。第 8 回の技術委員会ではプロジェクトの後半 2 年間の進め方について、第 11 回の技術委員会では本プロジェクトの最終目標の達成に向けて、全実施者グループが開発計画と開発進捗を報告し、有識者委員より主に技術的での助言・指摘を受けた。第 12 回の技術委員会では、全実施者グループが最終の開発成果を報告し、主に成果の実用化・事業化に向けた助言・指摘を受けた。

表 2.4-2 NEDO 技術委員会(蓄電技術開発) 委員一覧

	氏名	所属、役職
委員長	佐藤 祐一	神奈川大学 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
	鳶島 真一	群馬大学大学院 工学系研究科 教授
	辰巳 国昭	産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 副部門長
	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
	太田 璋	技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター 理事
	小久見 善八	京都大学 名誉教授
	栄部 比夏里	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 蓄電デバイス研究グループ 上級主任研究員
	稲葉 稔	同志社大学 理工学部 教授
	松原 英一郎	京都大学大学院 工学研究科 教授

(所属、役職は委員会開催時点のもの)

(3) 電池試験法連絡会及び電池技術委員会の設置・運営

研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」における開発成果を日本の自動車・蓄電池産業の競争力強化に資するよう、戦略的に国際標準化・基準化していくため、NEDO は実施者である一般財団法人日本自動車研究所 (JARI) 及び国立研究開発法人産業総合技術研究所 (AIST) に対して、国際標準化・基準化に関係する国内組織・団体と緊密に情報共有・意見交換を行いながら研究開発を進めるように指導した。

この NEDO の指導を受けて、JARI 及び AIST は、日本自動車工業会 (JAMA) の「電動車両国際標準化委員会／電池分科会／電池標準化ワーキンググループ」の委員、経済産業省の電動車両国際標準・基準担当者及び NEDO 等で構成される「電池試験法連絡会」を組織し、プロジェクト期間中 (2 年間) で合計 6 回、開催して成果の国際標準・基準への反映方法を議論しながら、研究開発を進めた。

また、表 2.4-3 に示すように、「電池試験法連絡会」のメンバーに学識者、蓄電池メーカー及び電力中央研究所等の専門家も加えた「電池技術委員会」を組織し、プロジェクト期間中に合計 3 回開催して学術的かつ実用的な見地から助言・指摘を受けながら研究開発を進めた。

表 2.4-3 電池技術委員会 委員一覧

役職	氏名	所属
委員長	佐々木 正一	慶應義塾大学
副委員長	佐藤 祐一	神奈川大学
委員	鳶島 真一	群馬大学
	内本 喜晴	京都大学
	堀場 達雄	東京理科大学
	三田 裕一	(一財)電力中央研究所
	下井田 良雄	JAMA 電池 WG 主査
	小松 茂生	JARI 電池標準化 WG 主査
	愛甲 英史	トヨタ自動車(株)
	野口 実	(株)本田技術研究所
	小暮 正紀	三菱自動車工業(株)
	田中 啓介	パナソニック(株) オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社
	山本 雅秋	(株)東芝
	岩崎 靖和	オートモーティブエナジーサプライ(株)

(4) プロジェクト間の連携

「先進・革新蓄電池材料評価技術開発」(実施期間:2013年～2017年)の実施者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(LIBTEC)と研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の実施者である JARI 及び AIST との技術交流会を、それぞれ 2016 年 5 月、2016 年 6 月に開催した。JARI と LIBTEC の技術交流会においては、国際標準 IEC62660-3 (EV 用リチウムイオン電池単セルの安全要件)として発行されている異物混入を模擬した強制内部短絡試験法の代替試験法について情報・意見交換を行った。また、AIST と LIBTEC の技術交流会では、高容量負極材であるシリコン系負極材を適用した先進リチウムイオン電池の劣化試験法や dV/dQ 解析手法の先進リチウムイオン電池への適用性等について情報・意見交換を行った。

また、一部の実施者は、「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業(RISING)」(実施期間:2009年～2015年)で開発している高度解析技術を本プロジェクトで開発している電池材料の課題解決に活用した。

(5) 情勢変化への対応

NEDO は、第 1 章に示したように、本プロジェクトに関係する政策、市場、技術開発、特許及び標準化等の動向を調査・把握しながら、情勢変化に対応したプロジェクトの運営・管理を推進した。事業のマネジメントに努めている。こうした情勢変化への対応事例を以下に示す。

① 「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」の策定

2012 年 7 月、経済産業省は、2012 年に「蓄電池戦略」を策定・発表し、今後、大きな市場拡大が想定される電力系統用、需要家用及び車載用の蓄電池に関して、コスト・技術面の課題、制度面の課題及びこれらの課題解決に向けた施策が示された。2.1 開発目標の妥当性で記載したとおり、NEDO は、この戦略策定を受けて、2013 年 4 月～6 月にかけて、産官学の外部有識者で構成される委員会を設置・運営し、同年 8 月、「NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013」を策定・公開した。このロードマップの検討過程において、本プロジェクトに係る技術開発シナリオや開発目標値等について点検を行い、特に見直し等は必要ないことを確認した。

② プロジェクトの拡充／新規テーマの追加

本プロジェクトを推進する中、欧米や中国において EV・PHEV の市場投入が進み、航空機用や民生用の LIB のトラブルを踏まえ、車載用蓄電池の安全性や継時的な容量低下について市場の関心が高まった。また、中韓蓄電池メーカーの技術向上と低価格化が顕在化すると同時に、欧州自動車メーカーにより車載用蓄電池をモジュール化・コモディティ化するための国際標準化の動きが出てきた。こうした状況を踏まえ、NEDO は経済産業省や業界関係者と議論した結果、車載用 LIB の安全性と耐久性について国際標準化を視野に入れた試験評価法の開発に取り組む必要があると判断し、2015 年 2 月に本プロジェクトの基本計画を改訂して、研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」を追加し、後半 2 年間、研究開発を実施した。

2.5 知的財産及び標準化に関する戦略の妥当性

(1) 知的財産戦略

NEDO の知的財産マネジメントの基本的な方針は、本プロジェクトの成果として得られる知的財産は、オープン(論文等による公表、ライセンス、標準化)にする領域と、クローズ(ノウハウとしての秘匿化、特許権等による独占)にする領域とに適切に使い分けることとしている。また、出願による権利化は技術情報を公開することを認識した上で、出願する場合においても技術情報の開示・権利化の範囲に注意を払うとともに、権利を侵害する第三者に対しても差止請求を行うことができる実効性のある権利取得にも留意することとしている。

以上の方針を踏まえ、NEDO は、本プロジェクトの実施者に対して、実施者個別のオープン&クローズ戦略は尊重しつつ、材料・デバイス・システム設計技術を中心に、各実施者が想定している実用化・事業化に際して根幹となるものは積極的に確保するように指導した。また、グローバル市場での展開を見据え、EV・PHEVの導入機運が高まっている先進国での海外出願を促進するとともに、必要に応じて BRICs 等の新興国での出願も検討するように指導した。さらに、権利化した特許については、逐次、NEDO に報告書を提出することを義務付け、本プロジェクトの知的財産の権利化動向を把握した。その結果として、詳細は第3章で述べるが、平成 24 年度から平成 28 年度の 5 年間で本プロジェクト全体の特許出願件数は 501 件(うち海外出願 273 件)となっている。

(2) 標準化戦略

EV・PHEV やFCVといった次世代自動車のグローバル市場への投入と普及拡大に向けては、性能・品質、安全性、互換性等の統一的なルールとなる国際規格の整備が必要となる。また、近年は様々な産業分野で技術革新のスピードが増す中、海外企業はブラックボックス化とオープン化を組み合わせ合わせた標準化戦略の仕掛けで競争優位を發揮しており、自社や自国に不利にならない国際規格を作ることが産業競争力の強化には不可欠である。日本の携帯電話メーカーがその優れた技術にも拘らず、国際規格を逃した結果、世界市場を掴み損ねたのは記憶に新しい。加えて、国際規格は法的拘束力を持たないが、近年は各国の規制において国際規格を引用するケースが増加しており、この点を考慮して国際標準化の取組を進める必要がある。

車載用 LIB に関する当面の NEDO の標準化戦略としては、市場における車載用 LIB の安全性及び耐久性に対する関心の高まりと、中韓蓄電池メーカーの技術向上・低価格化や欧州自動車メーカーによるコモディティ化の動きが顕在化しつつあることを踏まえ、安価ではあるが安全性・寿命に劣る粗悪品を市場から排除するとともに、日本製の LIB が持つ高い信頼性・耐久性の価値を客観的に浮かび上がらせて、ユーザーに高い訴求力を示すための試験評価法の国際標準化に取り組むこととしている。

また、NEDO は国際標準化で主導権を握るためには、ISO/IEC 等の標準化機関への提案活動を早く始めることが重要であると認識している。そのためには、研究開発成果を速やかに標準化提案できるよう、研究開発プロジェクト関係者と標準化関係者との緊密な連携が必要であり、JAMA の標準化・標準化ワーキンググループの委員をメンバーとする「電池試験法連絡会」及び「電池技術委員会」をプロジェクト内に設置し、情報共有・意見交換を行いながら、研究開発を進めた。さらに、「NEDO 技術委員会(蓄電技術開発)」の委員として、車載用 LIB の国際規格の国内審議団体である電池工業会と JARI の職員が参加しており、研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の研究開発状況も共有している。

2.6 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 26 年 7 月 29 日に実施した。表 2.6-1 に研究評価分科会委員を示す。また、表 2.6-2 に中間評価における指摘事項とその指摘への対応を示す。

表 2.6-1 研究評価分科会委員一覧（平成 26 年度中間評価）

	氏名	所属	役職
分科会長	豊田 昌宏	大分大学 工学部応用化学科 機能物質化学講座	教授／学部長
分科会長代理	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	荒川 正泰	株式会社NTTファシリティーズ総合研究所 バッテリー技術部	部長
	井手本 康	東京理科大学 理工学部 工業化学科	教授
	稲葉 稔	同志社大学 理工学部 機能分子・生命化学科	教授
	今西 誠之	三重大学大学院 工学研究科分子素材工学専攻	教授
	櫻井 庸司	豊橋技術科学大学 電気・電子工学系 電気システム工学分野 クリーンエネルギー変換研究室	教授

表 2.6-2 中間評価に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
日本の電池産業が今後も世界をリードして行くためには、コストだけでは測れない独自技術確立していくことが重要であり、 <u>本プロジェクトを活用した知的財産確保と、開発成果のタイムリーな発信による技術的優位性の可視化が重要と考える。</u>	オープン・クローズ戦略に基づいて技術情報の流出に配慮しつつ、各実施者の合計で特許 501 件(うち外国出願 273 件)、学会等での技術情報発表を 142 件実施した。NEDO としても講演やニュースリリース等において、タイムリーに本成果の優位性を発信した。
<u>諸外国との新蓄電池開発競争は非常に厳しいものになると予想されることから、耐久性や安全性といった標準化に関連する項目の情報を実用化・事業化に早期に反映する企業内の体制の構築が重要と思われる。開発した蓄電池の耐久性、安全性に関しても早急に評価、実証を進めてほしい。</u>	本プロジェクトの蓄電池材料及び蓄電池開発において、当初は小型セルでの性能評価までであったが、成果の実用化・事業化の早期実現のため、実用段階に近い 3~30Ah 級のプロトタイプセルを作製して、エネルギー密度、出力密度、耐久性、安全性等を評価した。
<u>標準化は両刃の剣であるので、将来的に不利にならないように慎重に対応することが望まれる。</u>	標準化については、将来的に不利にならないように新たに研究開発項目を設定し、H27 年度～H28 年度の 2 年間実施した。また、自工会、自動車メーカー、大学関係者、標準化 WG 主査及び METI からなる電池技術委員会を設置し、評価技術開発の方向性の議論した上で実施内容に反映させた。
NEDO 以外にも、幾つかのプロジェクトが遂行されている。それぞれ国の大きな予算を投入していることから、 <u>省庁間の枠を超えて、意見交換を計画されると良いと考える。</u>	NEDO は「文部科学省・経済産業省ガバナングボード(蓄電池)」のメンバーであり、文部科学省が所掌する「先端的低炭素化技術開発/次世代蓄電池研究加速プロジェクト」等の関係者とも定期的に意見交換を実施した。

表 2.6-2(続き) 中間評価に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
<p><u>本プロジェクトの最終開発段階では、RISING で開発された高度解析技術の活用が非常に大きな武器になるものと考えられる。他の蓄電池に関する NEDO 施策との連携も強化していくことが望まれる。</u></p>	<p>一部の実施者は、RISING プロジェクトで開発している高度解析技術を本プロジェクトで開発している電池材料の課題解決に使用した。また、先進・革新蓄電池材料評価技術開発の実施者である LIBTEC と本プロジェクトの実施者である AIST 及び JARI との間で技術交流会をそれぞれ 2016 年 5 月、2016 年 6 月に開催した。</p>
<p><u>本プロジェクトの最終目標達成のためには、実施者グループごとに一つの電池として全ての開発目標を達成することが必要であり、開発の方向性(材料、量産化技術)の早期の絞り込みが重要である。一方、将来の芽として派生技術を育てることも重要であり、絞り込んだ後の技術による目標達成に加えて、派生技術を評価する枠組みも必要と考える。</u></p>	<p>NEDO 技術委員会外部有識者の意見も取り入れつつ、各助成先及びその再委託先が取り扱っている技術を、実用化に向かう要素技術と将来技術として育成する萌芽的技術とに峻別し、開発内容の重点化を行った。さらに峻別した技術について、将来の本質的な課題解決に向けた派生技術に関する取組みも実施した。</p>
<p><u>本事業の自動車用蓄電池、蓄電システム等の構築でも、最終的には、価格競争になってしまうことは避けられないが、国内で産業を維持し、雇用を継続していくためにも、コスト競争に係る状況を常に把握しておくことが重要である。</u></p>	<p>これまでも経済産業省・自動車課と連携し、各実施者のヒアリングや調査会社の調査レポート等からコスト競争の状況把握に努めてきており、その取組みを継続して行った。</p>
<p><u>本事業終了後、開発技術の展開状況を継続的にウォッチングしてプロジェクトの成否を確認し、もし実用化・事業化できないのであれば何が問題でできないのかを調査して、今後の事業計画に反映できるプログラムがあれば望ましいと思われる。</u></p>	<p>本プロジェクトの助成金交付規程において、各実施者はプロジェクト終了後の 5 年間、企業化状況報告書の提出が義務付けられており、その中で NEDO は企業化とその問題点について把握することができる。</p>
<p><u>本事業は自動車用の蓄電池開発であるが、設定されている目標はエネルギー密度、出力密度、寿命等の電池単体に関するもので、自動車搭載時・作動時の要求性能は特に目標に掲げられていない。本事業終了時、円滑に市場化へと進めるようなプログラムが本来もう一つあってもよいと思われる。</u></p>	<p>市場化に進めるプログラムについては、今後の次世代自動車の普及見通しや我が国蓄電池関連産業の動向を把握しつつ、経済産業省との相談等により、判断したい。</p>
<p><u>研究開発目標は、諸外国の動向等詳細な調査を基に、2020 年以降の実用化が期待される次世代自動車に求められている数値を設定しており、十分に戦略的な目標となっている。なお、指標の定義を明確にすることが必要である。</u></p>	<p>基本計画に記載の通り、最終目標は電池パックとしての値と明確に定義している。</p>
<p><u>また、エネルギー密度の目標値として、重量あたりだけでなく体積あたりの数値を例示した方がよいと思われる。</u></p>	<p>一部の実施者は、個別目標として体積エネルギー密度を設定している。ただし、体積エネルギー密度は、電池パックの冷却設計等によって大きく変わることから、必要に応じて個社が設定すべき数値目標であると認識している。</p>

表 2.4.5-2(続き) 中間評価に対する指摘事項と対応

指摘事項	対応
<p>事業化に向けた知的財産権の確保も、ノウハウとしての保持を含めて戦略的に計画されている。大学への委託においても、将来的な国益にもつながる可能性のある新規電池材料・プロセス技術の権利化にも積極的に取り組んで頂きたい。</p>	<p>委託先の大学等についても、オープン・クローズ戦略に基づいた知的財産の確保に積極的に取り組むように指導し、プロジェクトに参画している大学全体で 24 件出願した。</p>
<p>事業開始後より蓄電池開発を取り巻く情勢にはおおむね変化がなく、むしろ早期普及への要望は高まっていると思われる。加速できる部分があれば、さらに加速するなどして、最終目標の早期達成を目指してほしい。</p>	<p>最終目標の早期達成のため、実施者のビジネス展開が加速される案件について、加速予算を合計で 4 億 200 万円配賦した。</p>
<p>ヨーロッパ、アメリカ、さらにアジアの技術開発動向等についても調べられており、それを基にして、計画は立てられていると考えて良い。NEDO は、「蓄電池戦略」に基づき「二次電池技術開発ロードマップ 2013」を策定し、当該事業の情勢の変化は、それに基づき対応していることになっていると思うが、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向等は、刻々と変化しており、もっと短い年度間隔で考えた方が良いと思われる。</p>	<p>ロードマップは多くの産業界の専門家及び学識者と十分に議論を重ねた上、我が国の蓄電池開発の方向性として取り纏めたものである。そのため、極端に短い年度間隔で改訂するべきものではなく、関連する政策や市場・産業等に大きな情勢変化があった場合に改訂する方針としており、その方針を継続した。</p>
<p>当該事業を実施することによりもたらされる効果については、各年度で確認をしながら進めた方が良く考えられる。</p>	<p>これまでも自動車・蓄電池関連産業の動向把握に努めるとともに、定期的に各実施者のヒアリングを行って、本プロジェクトの実施効果の確認を継続して行った。</p>
<p>全固体電池開発に関しては、他の電池系に対して実用化が先の研究であり、また克服しなければならない課題も多い。固体電解質として酸化物系、硫化物系それぞれに課題とその解決策を整理し、目標達成のための筋道をつけるべきである。</p>	<p>中間評価以降の開発進捗を確認しながら、NEDO 技術委員会で外部有識者の意見も取り入れて、酸化物系、硫化物系固体電解質の課題とその解決策を整理した。これを基に、実施計画を策定し、目標達成の筋道を付けた。</p>
<p>特性改善を目指して材料系の開発を進めてきたテーマについては、材料の絞り込みやコスト目標の達成にも留意することが必要である。また、実用化・事業化の観点から、大学に委託されているいくつかのテーマについては適用可能性を再度検討する必要がある。</p>	<p>材料の絞り込みやコスト目標の達成についても留意しながら、重点化と峻別を実施した。また、大学に委託されているテーマについても、位置づけ・可能性の再検討を行って、絞り込みを実施した。</p>

第3章 研究開発成果について

3.1 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果

3.1.1 高容量 Si 合金負極の研究開発(日産自動車)

本テーマでは、平成 24 年度から平成 28 年度の 5 年間で EV 用 LIB を開発した。

LIB の高容量化を行うために、負極用のシリコン合金材料を開発するとともに、シリコン合金負極を適用した電池特性評価や 3Ah 大型セルで安全性の検証を行った。セルとしての目標値はパックの目標値である 250Wh/kg、1,500W/kg に対して前 NEDO プロジェクト(Li-EAD プロジェクト)で用いてきたセル換算値(パックの 1.2 倍)を用いて、セルエネルギー密度目標を 300Wh/kg と設定し、セル出力密度目標を 1,800W/kg と設定した。本テーマの開発成果と達成度を表 3.1.1-1 に示す。

表 3.1.1-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
高性能シリコン合金負極活物質の量産化	<ul style="list-style-type: none"> 放電容量: 800mAh/g 耐久性: 90%@300 サイクル シリコン合金活物質の合成方法絞り込み(シリコン合金試作量 1kg/月) 	<ul style="list-style-type: none"> メカニカルアロイ法を用いて検討した結果、アモルファス化によりサイクル耐性の高い Si-Sn-Ti 系を選択。組成最適化により決定した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金を用いた小型ラミセルにて 1300mAh/g、90%@300 サイクルを達成。 急冷ロール凝固及び攪拌ボールミルにより試作量 2.8kg/月を達成。 	◎
高性能シリコン負極複合材	<ul style="list-style-type: none"> 3Ah 級セルの負極仕様決定 	<ul style="list-style-type: none"> 負極体積膨張によるサイクル耐性向上のため、負極構成として、繊維状・球状混合導電助剤、高耐薬品性及び高破断伸びを有するポリイミドバインダ及びカーボン被覆活物質粒子を選定。 安定な SEI 形成のため、電解液として 1.4M LiPF_6+FEC/DEC+添加剤を選定。 	○
高度解析	<ul style="list-style-type: none"> 耐久性を満足するシリコン合金の微細構造/化学状態の特定 	<ul style="list-style-type: none"> Si-Sn-Ti 合金微細構造を解析し、TiSi_2 相が Si 相を包み込む形態で複合化し、かつ Si 相のアモルファス度が大きいことが高容量かつ高耐久性に必要であることを確認。 量産化に向けたシリコン合金の設計指針に反映させた。 	◎
電池セル試作、評価	<ul style="list-style-type: none"> 3Ah 級セルで下記を実証 エネルギー密度: 300Wh/kg 出力密度: 1,800W/kg 耐久性: 90%@300 サイクル 安全性: 釘刺異常無 コスト: 1.5 万円/kWh 	<ul style="list-style-type: none"> 面圧・エージング条件の最適化や負極製造プロセスの改良を行い、3Ah 級セルを作製。エネルギー密度 300Wh/kg、出力密度 2,200W/kg、耐久性として 84%@300 サイクル、安全性として釘刺し試験時異常無きこと、更にコストとして 1.4 万円/kWh の見通しを得た(675MWh/年生産時の予測値)。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 高性能シリコン合金負極活物質の量産化

高性能なシリコン合金活物質の組成スクリーニングにおいて、活物質のみの「薄膜電極」を試作・評価することにより、高サイクル耐久性を有するシリコン活物質としては、「アモルファス化」、「多元合金化」が必須であることを確認した。量産化も考慮したメカニカルアロイ処理による合金活物質粒子を用いた検討の結果、高容量と高サイクル耐久性を両立できる有望なシリコンアモルファス合金組成として Si-Sn-Ti 合金を見出した。更に組成比の最適化及び電極合剤の作成方法を検討し、Li 金属を対極としたハーフセルを作製して充放電容量を評価した。その結果を図 3.1.1-1 に示す。Si₆₅Sn₅Ti₃₀ 合金は放電容量 1,300mAh/g を示し、目標の放電容量 800mAh/g を達成した。

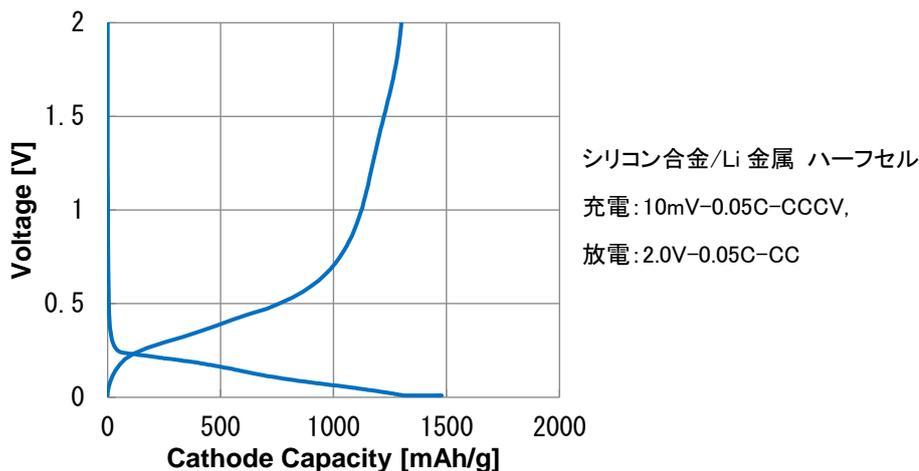


図 3.1.1-1 シリコン合金の充放電容量

次いで、本負極材料を用いて 50mAh 級小型ラミネートセルを作製した。正極は Li 過剰系、負極は炭素被覆したシリコン合金、電解液としては LiPF₆/FEC-DEC+添加物を使用した。この小型ラミネートセルのサイクル耐久性を評価した結果を図 3.1.1-2 に示す。

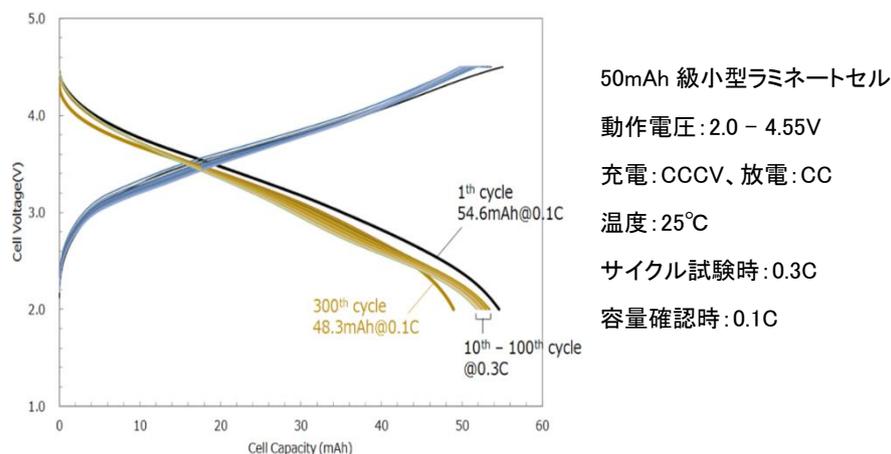


図 3.1.1-2 シリコン合金を用いた小型ラミネートセルのサイクル試験時の充放電曲線

このグラフには1回目と300回目の容量確認時の充放電曲線及び10から100回目までの0.3Cでの充放電曲線を記載した。グラフから1回目の容量は54.6mAhであり、300回目の容量は48.3mAhであることから、300サイクル目の容量維持率は約90%となり、目標値を達成した。

これまでスパッタ薄膜や小型遊星ボールミル等の少量試作レベルでは高性能なシリコン合金を

合成できているものの、実用化に向けては大量のシリコン合金の作製が可能な工法で、少量合成時と同等の放電容量・サイクル耐性を両立することが必要不可欠である。そこでメカニカルアロイ法として「攪拌ボールミル装置」、急凝固法として「急冷ロール凝固装置」を組み合わせた製造方法によりシリコン合金を作製し、電池性能を評価した。図 3.1.1-3 に示した中型単ロール急凝固装置及びグラファイトノズルを用いて、平均膜厚 $28\mu\text{m}$ の急冷薄帯を作製した。得られた薄帯を攪拌ボールミル装置にてメカニカルアロイ処理を行った。

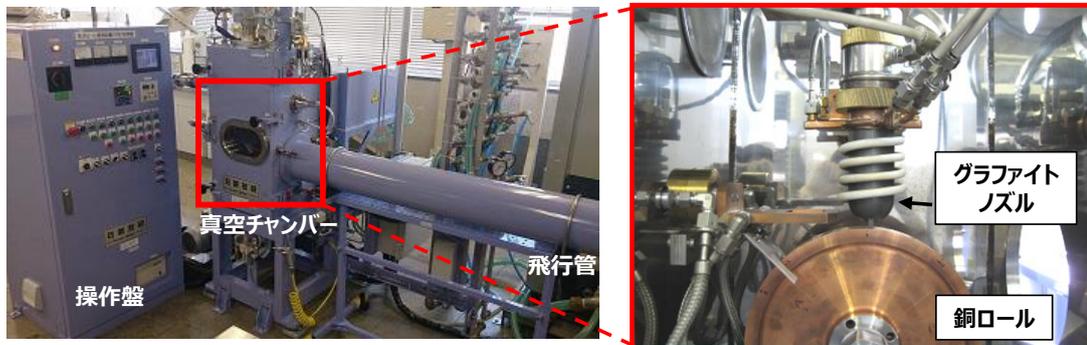


図 3.1.1-3 単ロール急凝固装置(中型)

図 3.1.1-4 に平均膜厚 $28\mu\text{m}$ の急冷薄帯を用いてメカニカルアロイ処理した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金、及びメカニカルアロイ法のみで作製した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金について、メカニカルアロイ処理時間に対する 50 サイクル後の耐久性を比較した図を示す。

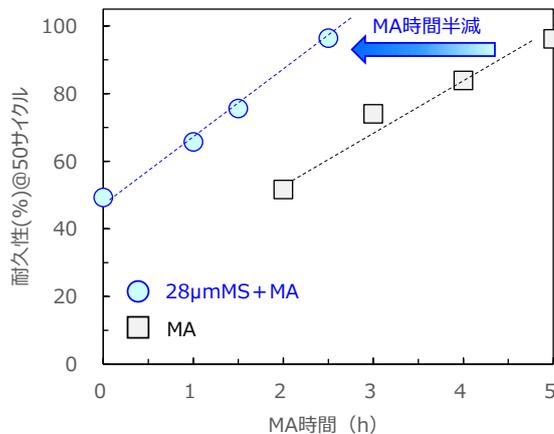


図 3.1.1-4 $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金のメカニカルアロイ処理時間と耐久性

メカニカルアロイ法のみで作製した合金は 50 サイクル後の耐久性が 96%に達するのに 5 時間のメカニカルアロイ処理時間が必要であるのに対し、 $28\mu\text{m}$ の急冷薄帯を用いてメカニカルアロイ処理をした場合は、2.5 時間の処理時間で十分ことが分かる。この図より、量産を想定した中型急冷ロール装置と攪拌ボールミルを組み合わせた工法においても、メカニカルアロイ時間を約 1/2 の 2.5hr まで短縮できることが分かり、急冷ロール法/攪拌ボールミルの組み合わせ工法の効果を実証することができた。メカニカルアロイ時間 2.5hr であれば、1 日に 2 バッチ(100g/バッチ)仕込めるため、仮に営業日数を 20 日/月とした場合、原料投入量 $4\text{kg}/\text{月} \times \text{収率 } 80\% = \text{合金試作可能量}$ は $3.2\text{kg}/\text{月}$ となる。中型単ロール急凝固装置での作製可能量は $3.5\text{kg}/\text{月}$ であるため、急冷装置とメカニカルアロイとの組み合わせにより目標 $1\text{kg}/\text{月}$ 以上の合金作製可能量 $2.8\text{kg}/\text{月}$ を達成した。

また、図 3.1.1-5 にメカニカルアロイ処理した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金の放電容量と耐久性の関係を示す。

メカニカルアロイ法のみで作製したシリコン合金と比較して、急冷ロール法/メカニカルアロイ法で作製した合金の方が 50mAh/g ほど放電容量が高いことが分かる。これはメカニカルアロイ処理の時間短縮のため、酸化やメカニカルアロイプロセス中のコンタミ混入によるシリコン合金の容量低下を抑制できるためである。

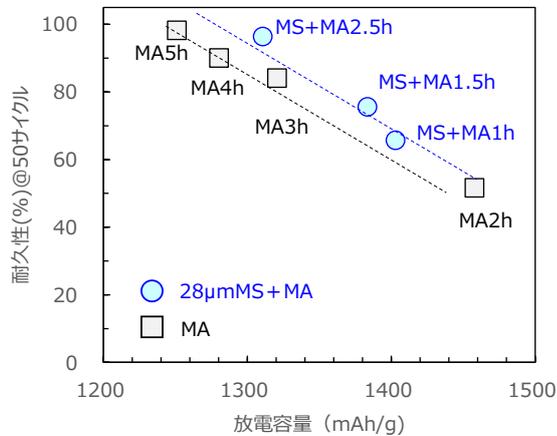


図 3.1.1-5 メカニカルアロイ処理した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金の放電容量と耐久性

以上の検討より、シリコン合金の作製プロセスとしては、①メカニカルアロイ処理時間の短縮、②容量の向上、という観点より、急冷ロール法/メカニカルアロイ法の組み合わせが有効である。

(2) 高度解析

「多元素化」による添加元素分布とマイクロ組織分布が、サイクル耐久性に与える影響を把握するため、Cs-STEM(球面収差補正透過型電子顕微鏡)を用いたシリコンアモルファス合金粒子のマイクロ組織観察及び TEM-MRO 測定を行った。サンプルとしては、メカニカルアロイ法で合成されたアモルファスシリコン合金粒子を用いた。図 3.1.1-6 にその観察例として $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金の Cs-STEM・EDX マッピング像、TEM 像、電子線回折像、TEM 像の逆フーリエ変換像を示す。

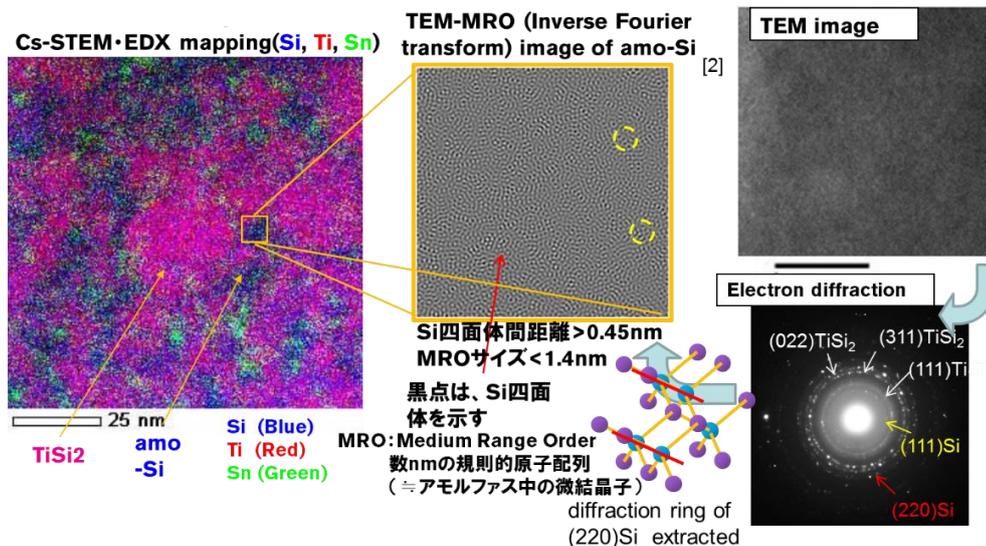


図 3.1.1-6 高容量と高サイクル耐久性を両立できる Si-Sn-Ti 合金のナノ組織・構造

良好なサイクル耐性を示す合金の場合、一次粒子中にアモルファス合金相と TiSi_2 合金結晶相の二相があり、それらが粒子中に数 10nm オーダーで複合化されていることが認められた。また、TEM 像から得られた電子像から $\text{Si}(220)$ の回折データを抽出し、逆フーリエ変換像を得た。図中に黄色の円で示した格子縞領域の存在(中距離秩序構造 medium range order 以下 MRO)が確認された。シリコンの結晶領域の大きさを示す MRO サイズは攪拌 BM で処理を行ったいずれのサンプルにおいても 2-3nm であることが分かった。一方で、逆フーリエ変換像 $\text{Si}(220)$ 間の距離(シリコン四面体間距離)を計測したところ、差異が確認され、高耐久な合金ほどその距離が増大していることが確認された。シリコン四面体間距離が増大する要因として、Sn がアモルファスシリコン中に侵入固溶することで、Si-Si 間の結合距離が広がっていることが考えられる。実際に Cs-STEM 観察結果とも対応しており、Sn が高耐久な合金を形成する上で重要な役割を担っていることが明らかになった。これらの結果からシリコン合金負極のサイクル耐久性向上に適したシリコンアモルファス合金のマイクロ組織構造が判明し、今後の量産化に向けた仕様決定と品質目標値設定のための合金組成の設計指針に反映させていく方針である。

(3) 電池セル試作、評価

実使用電池レベルの大容量電池で電池性能や安全性能を確認するために、50mAh 級小型ラミネートセルの検討結果を反映させた 3Ah 級大型セルを作製した。大型化にあたり、いくつかの検討を実施した。まず、電極面積が大幅に増加するため、電極面への均一な圧力を加えることが難しくなる。このため、治具の板材や緩衝ゴムを最適化させた面圧加圧治具を作製した。また、負極内反応分布を均一にするため、負極作製プロセスを改良した。具体的には負極用バインダの不均一状態を解消するために、ボールミル混合時のボール量、ボール径、回転数、攪拌時間等を適正化し、バインダの均一分散化を行った。更に、初期のエージング条件についても、品質工学の直交表を用いて、上限電圧、下限電圧、電流密度のサイクル耐久性に対する影響度合いを検討した。その結果、電流密度が最もサイクル耐久性への感度が高いことが分かり、エージング条件を最適化した。

以上のように負極プロセス、面圧検討、エージング条件検討の検討を行った結果を反映し、3Ah 級セルを作製した。正極は Li 過剰系、負極は炭素被覆した $\text{Si}_{65}\text{Sn}_5\text{Ti}_{30}$ 合金、電解液としては $\text{LiPF}_6/\text{FEC-DEC}$ +添加物を使用した。図 3.1.1-7 に活性化後の充放電曲線を示すが、放電容量として約 3Ah 得られている。また、図 3.1.1-8 にサイクル耐久試験の結果を示すが、3Ah 級セルで 84% @300 サイクルを達成した。今後、電極要素及び添加剤の最適化、集電体の改良により 90% @300 サイクルを見込んでいる。

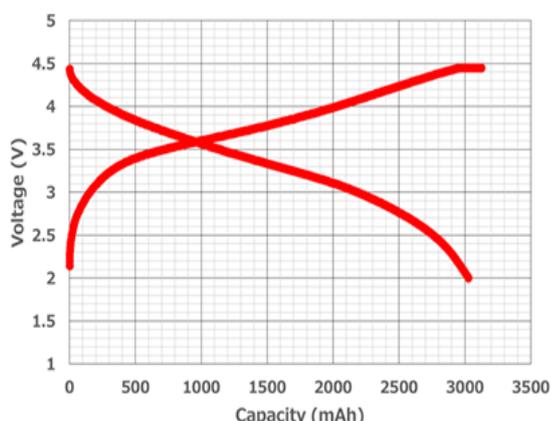


図 3.1.1-7 3Ah 級セルの充放電曲線

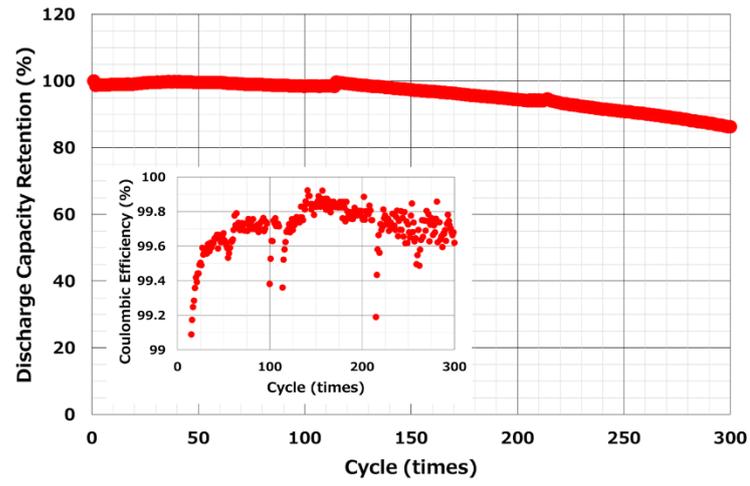


図 3.1.1-8 3Ah 級セルの充放電サイクル試験結果

3. 1. 2 高容量・低コスト酸化物正極を用いた高エネルギー密度リチウムイオン電池の開発（日本電気、積水化学工業、田中化学研究所）

本テーマでは、平成 24 年度から平成 28 年度の 5 年間で EV、PHV 用の LIB を開発した。

Mn 若しくは Fe を主成分とする新規高容量・低コストな酸化物正極材料の量産化検討を実施し、さらに正極に適合した負極、電解液、セパレータを新規に開発することによって、高エネルギー密度 LIB の開発を行った。

表 3.1.2-1 に開発成果と達成度を示す。

表 3.1.2-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
セル化・電池パック化技術開発	<ul style="list-style-type: none"> エネルギー密度 250Wh/kg 出力密度 1,500W/kg コスト 20,000 円/kWh 	<ul style="list-style-type: none"> 8Ah セル 8 直 1 並モジュールを製作し、エネルギー密度 273Wh/kg、出力密度 1,600W/kg を達成し、コスト 20,000 円/kWh の目途を得た。 	○
鉄含有リチウム過剰正極技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 容量密度 240mAh/g 電極密度 1.9g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> 酸化抑制熱処理の LFNM151570 に Sm₂O₃/Al₂O₃ 表面コートを施した正極を開発し、容量密度 271mAh/g、電極密度 2.35g/cm³ を達成。 	○
シリコン化合物負極技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 容量密度 1,300mAh/g 電極密度 1.0g/cm³ 	<ul style="list-style-type: none"> SiO:黒鉛=70:30 混合負極を開発し、容量密度 1,641mAh/g、電極密度 1.2 g/cm³を達成。 	○
耐高電圧電解液技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 耐電圧(室温) 5.3V vs. Li/Li⁺ イオン伝導度(室温) 5.0 × 10⁻³ S cm⁻¹ 	<ul style="list-style-type: none"> 1MLiPF₆ EC/DEC(3/7)(v/v) + 5wt%FDEC + 2wt% B2MPy 電解液を開発し、耐電圧 5.24V vs. Li/Li⁺、イオン伝導度 7.2 × 10⁻³ S cm⁻¹を達成。 セル動作電圧内でのガス発生の抑制も確認。 	○
耐高電圧セパレータ技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 耐電圧(室温) 4.8V vs Li/Li⁺ 膜厚 25 μm 空孔率 40% 	<ul style="list-style-type: none"> 表面樹脂コートした酸化防止剤添加 PP セパレータを開発し、セル動作電圧内での長期サイクル評価(100 サイクル)後の高い機械特性維持を確認し、膜厚 20-25 μm 制御及び空孔率 40-55%制御可能なことを確認。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 鉄含有リチウム過剰正極技術開発(田中化学研究所、日本電気)

本プロジェクトでは 2011 年に産総研-田中化学が Li-EAD プロジェクトで見出した日本発のオリジナル正極材料である LFNM 正極($x\text{LiFe}_{1/2}\text{Ni}_{1/2}\text{O}_2-(1-x)\text{Li}_2\text{MnO}_3$ 固溶体、 $0 < x < 1$)のさらなる低コスト化、高性能化のため、組成・プロセス等を再検討し、具体的には組成比の再検討、表面被覆材の検討、正極材中の遷移金属価数制御手法の検討等を実施した。

$\text{LiFe}_{1/2}\text{Ni}_{1/2}\text{O}_2$ と Li_2MnO_3 の組成比 x については、 $x=0.2, 0.3, 0.4$ を検討した。 $x=0.2$ は Li_2MnO_3 の比率が高くなるため、放電容量が高くなり有利であるが、サイクルを繰り返すとスピネル相への構造転移が多いことが判明した。このため、容量とサイクル特性とのバランスに優れた $x=0.3$ の $\text{Fe}/\text{Ni}/\text{Mn}=15/15/70$ 組成試料(LFNM151570)を遷移金属の組成として選定した。

次に充放電時のガス発生を抑制するため、酸化物による正極材粒子の表面コートを検討した。種々の酸化物を検討した結果、 Sm_2O_3 は容量維持率向上とガス発生抑制の双方に効果を示した。また、 Al_2O_3 もガス発生抑制に効果があることから、 Sm_2O_3 と Al_2O_3 を両方コート(ダブルコート)した正極材を検討した。図 3.1.2-1 及び図 3.1.2-2 に $\text{Sm}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ダブルコートの比率を変えた LFNM151570 正極材と、 SiO 負極のフルセルを作製し、出力密度とサイクル試験時の容量維持率を比較した結果を示す。 Sm_2O_3 を 2wt%、 Al_2O_3 を 1.5wt%としたものが出力密度、サイクル容量維持率共に優れているため、LFNM151570 正極材のコート仕様は、2wt% Sm_2O_3 (内殻)/1.5wt% Al_2O_3 (外殻)ダブルコートとした。

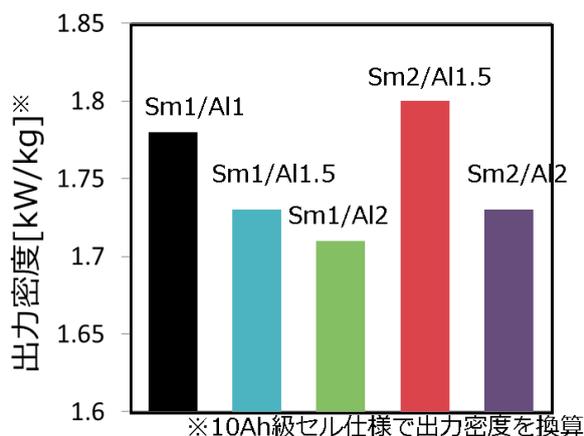


図 3.1.2-1 $\text{Sm}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ダブルコート正極材を用いた電池の出力密度比較

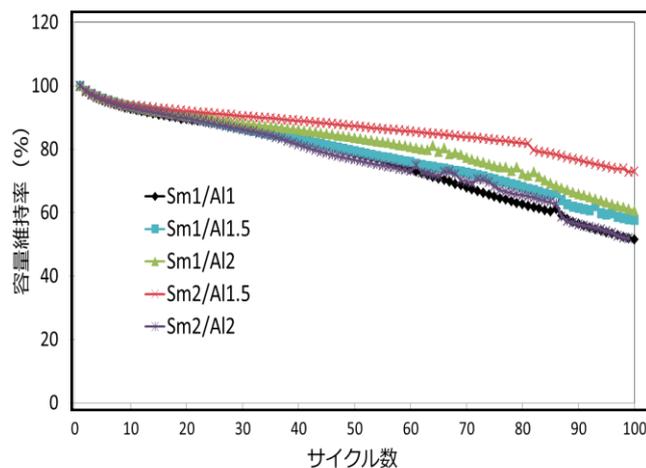


図 3.1.2-2 $\text{Sm}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ ダブルコート正極材を用いた電池のサイクル特性

また、この LFNM 正極材の合成方法は各種水溶液原料を混合した後の共沈物を焼成するものであるが、合成方法のポイントとして遷移金属価数低減のための不活性雰囲気での焼成が挙げられる。この処理により充放電容量を大きくすることが可能となる。この酸化を厳密に抑制するために窒素ガスを増加させた「酸化抑制」条件に変更し、更に酸素濃度を 100ppm 以下に制御して LFNM 正極材を作製した。これらを用いて Li を対極とした単極セルを作製して充放電試験を行った結果を図 3.1.2-3 に示す。初期放電容量は酸化抑制条件で 240~250mAh/g であったが、酸素濃度 100ppm 以下に制御した正極材では 271mAh/g が得られ、目標値を達成した。

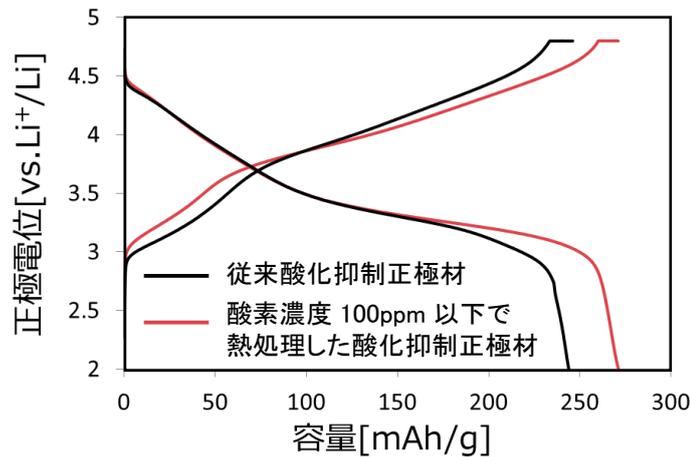


図 3.1.2-3 酸化抑制正極材の初期充放電曲線

なお、出力密度向上及び正極容量密度向上のアプローチとして、正極材の炭素還元処理も検討したが、還元処理によって遷移金属の価数を更に低減すると、より一層の容量向上が期待されることが判明しており、今後この手法も取り入れて、さらなる充放電容量の改善を行う方針である。

(2) シリコン化合物負極技術開発(日本電気)

負極材料の候補として種々検討した結果、SiOを主活物質とし、黒鉛を混合した負極を選択した。1,300mAh/g 以上の容量を維持しながら充放電効率を制御し、セルとして高いエネルギー密度を維持すると同時に、耐久性、安全性の確保ができる SiO:黒鉛混合比の検討を実施した。SiO:黒鉛混合比は 95:5~70:30 まで比率を変えて、活物質:導電剤:ポリイミドバインダ=80:5:15 (wt%) とした負極を作製し、Li 金属を対極としたコインセルを作製した。図 3.1.2-4 に初期充放電曲線を示す。SiO:黒鉛=95:5 の負極で初期放電容量 1,939mAh/g、SiO:黒鉛=70:30 の負極でも 1,641mAh/g が得られ、容量密度は全ての組成において最終目標の 1,300mAh/g を達成した。

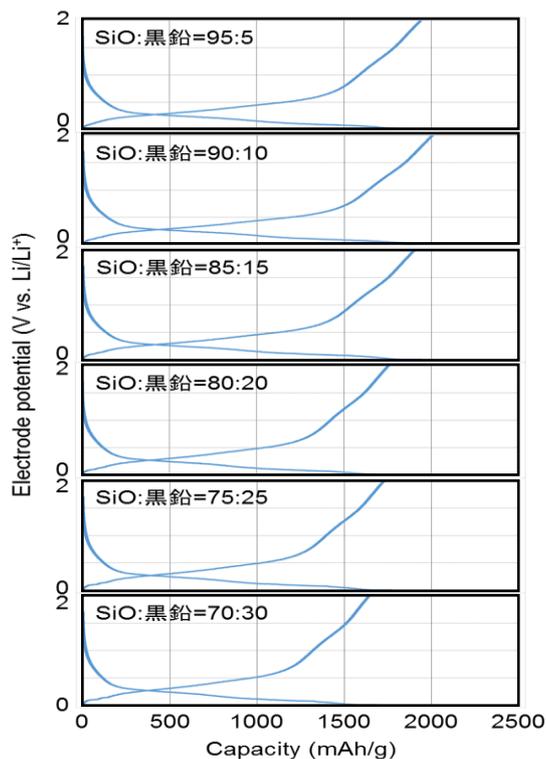


図 3.1.2-4 SiO/黒鉛混合負極単極セルの充放電曲線

前記の結果を踏まえて、8Ah 級セルを試作したが、黒鉛混合量が多いほど負極試作時の塗布量が安定し、設計どおりのスペックが得られ易くなり、またセルの出力密度も高まる傾向が見られたため、8Ah 級セル最終仕様には SiO:黒鉛=70:30 の負極を選定した。

(3) 耐高電圧電解液技術開発(積水化学工業)

電解液について、本プロジェクトの正極材料に対応可能な耐高電圧性の向上を検討した。固溶体系である LFNM 正極は 4.6V~4.8V まで充電しないと高容量を発現できないため、その電圧に耐えられる電解液が必要となるが、通常用いられるカーボネート系溶媒ではガス発生量が多いことが課題であった。そこで、耐酸化性の高いフッ素系溶媒を検討した。その結果、フッ素化カーボネートである 2,2-Difluoroethyl ethyl carbonate (FDEC) が、サイクル特性に優れることを見出した。そこで 1MLiPF₆ EC/DEC/FDEC=32/36/32 (v/v)、LFNM151570 正極、SiO:黒鉛=95:5 負極を用い、小型ラミネートセルを作製し、45°C、4.5-1.5V の充放電サイクル試験を行った結果、31 サイクル後の容量維持率は 37%、31 サイクル間のガス発生量は正極活物質重量あたり 22ml/g となり、改善はされたが、依然ガス発生量が多い結果となった。そこで正極における電解液分解の新たな抑制手段として、イオン液体の添加を検討した。添加の目的としては正極表面にイオン伝導が良好な被膜を形成させ、電解液との接触を抑制して、電解液の酸化分解を低減させることである。イオン液体の候補として、ピリジニウム系を検討した。図 3.1.2-5 に示す 4 種のピリジニウム系を電解液に 5wt% 添加し、サイクル特性とサイクル後のガス発生量について比較した結果を図 3.1.2-6 に示す。ピリジニウム系の 1-Butyl-2-Methylpyridinium hexafluorophosphate:略称 B2MPy を用いた電解液が最も容量維持率に優れ、ガス発生量も少ないことを見出した。

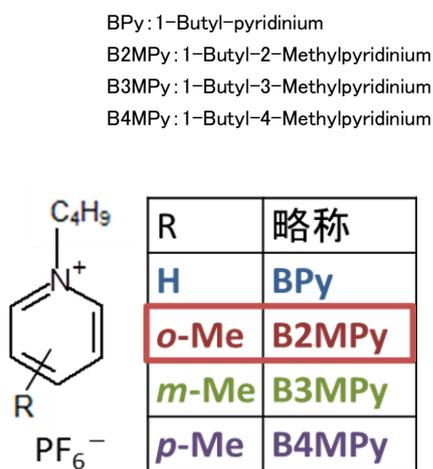


図 3.1.2-5 ピリジニウムカチオン構造

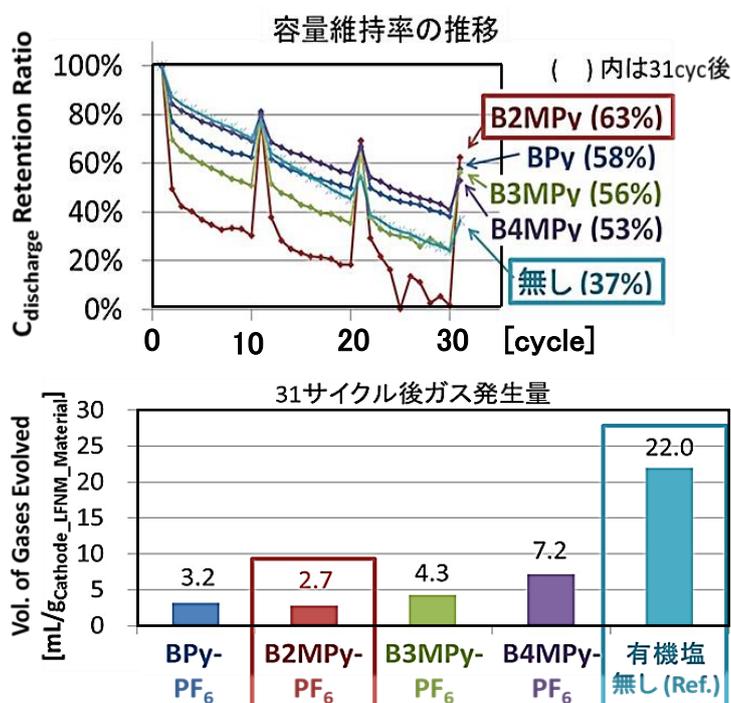


図 3.1.2-6 イオン液体を添加した電解液を用いた電池の容量維持率とサイクル後のガス発生量

イオン液体の添加量を適正化するため、正極に 1wt%Sm₂O₃+ 1wt%Al₂O₃ コート LFNM151570、負極に SiO+5%黒鉛を用いた小型ラミネートセルを作製し、電解液のベース組成に 1MLiPF₆ EC/DEC (3/7)(v/v)+5wt%FDEC を用い、B2MPy の添加量が電池特性に及ぼす影響を評価した。その結果、表 3.1.2-2 に示すように、イオン液体添加量を 2wt%から 3wt%に増やすことでサイクル時のガス発生量は 7.2ml/g から 5.9ml/g に低減された。しかし、一方で出力密度が 0.6kW/kg から 0.4kW/kg と 2/3 に低下することが分かったため、イオン液体の添加量は 2wt%とすることとした。

表 3.1.2-2 イオン液体 B2MPy 添加量と電池特性の関係

B2MPy 添加量 (wt%)	1-10cyc.時 ガス発生量(ml/g)	容量維持率 (%)	出力密度 (kW/kg、8Ah セル換算)
2	7.2	87	0.6
3	5.9	86	0.4

更に添加したイオン液体の効果を確認するため、初回充電曲線の dQ/dV 曲線を作成した結果を図 3.1.2-7 に示す。B2MPy を添加した場合のみ 2.4V 付近及び 4.4V 付近にピークが確認された。この結果から B2MPy を電解液に添加すると、2.4V 及び 4.4V において新たな電気化学反応が生じ、正極に被膜が形成されると考えられる。また、TOF-SIMS による分析結果から B2MPy の被膜形成メカニズムは、①まず活性化 1 サイクル目の 2.4V 付近で B2MPy が正極上に配位し、正極表面上が B2MPy⁺層、PF₆⁻層で覆われる、②次に活性化 1 サイクル目の 4.4V 付近で N 上ブチル基が脱離し、被膜形成が開始、③その後、活性化 2~4 サイクル目の高電位下で更に被膜化が進行と考えられ、この正極被膜が電解液の分解抑制に寄与していると判断される。

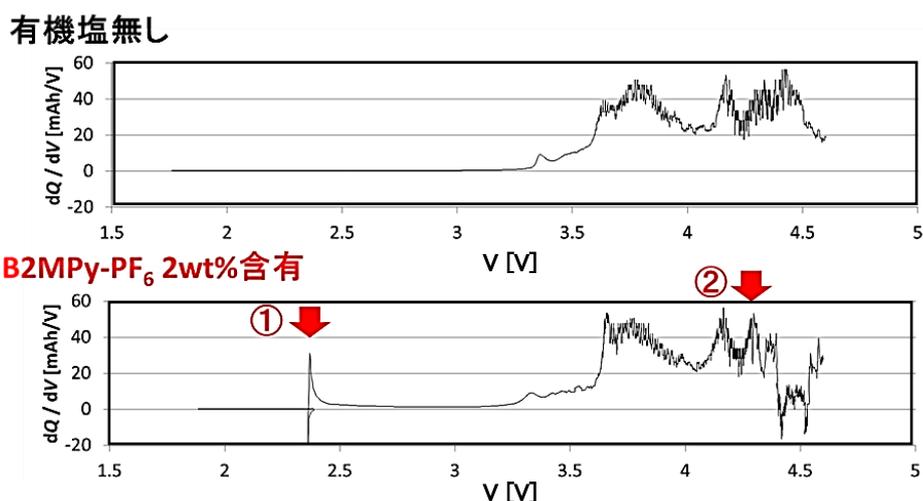


図 3.1.2-7 初期充電時の dQ/dV 曲線(B2MPy 添加有無)

(4) 耐高電圧セパレータ技術開発(積水化学工業)

LFNM 正極を用いた電池系におけるセパレータの劣化原因としては、高電位下での樹脂の劣化及び酸素等のガスによる樹脂の劣化が挙げられる。これらの問題に対応するために、図 3.1.2-8 のようなコンセプトにて対策を試みた。すなわち、PP セパレータの表面に高温高弾性エンジニアリングプラスチックをコートし、かつ PP 樹脂に酸化防止剤を添加することにより、酸素や生成ガスによる

酸化劣化の抑制を検討した。表面樹脂コート前後の PP セパレータの物性比較を表 3.1.2-3 に、熱収縮率測定結果を図 3.1.2-9 に示す。樹脂コートを施しても空孔率に差はなく、透気度はやや低下するものの電池特性への影響は問題ないレベルであり、また、熱収縮率が大幅に低減し、高温時の安定性も向上することが判明した。更にこの樹脂コートセパレータを用いた小型セルの活性化後、10 サイクル後、50 サイクル後、100 サイクル後のセパレータの外観を図 3.1.2-10 に示す。電極に接触した面で茶色い変色が見られたが、亀裂はなかった。充放電サイクル後でも正極の高電位や負極の伸び縮みによる影響がないことが分かった。

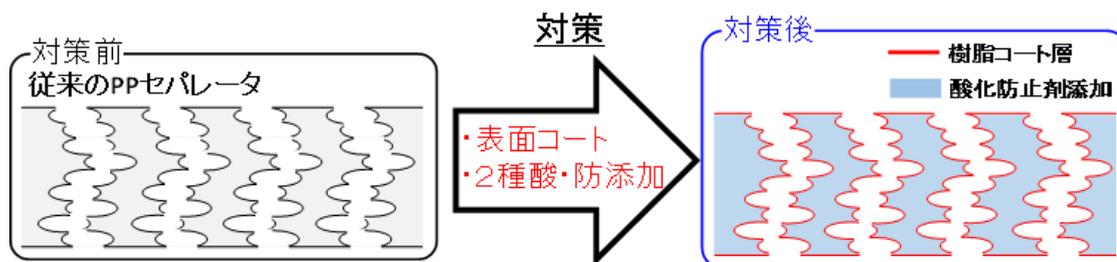


図 3.1.2-8 活性化後の機会特性低下抑制への対策コンセプト図

表 3.1.2-3 酸化防止剤添加 PP 基材の表面樹脂コート前後の物性

項目	単位	樹脂コート前	樹脂コート後
厚み	μ m	24	25
耐酸化性樹脂コート量	g/m ²	0	1.2
空孔率	%	55	約55
ガーレ	秒/100ml	99	129
活性化後機械強度	MPa	25.5	47.2

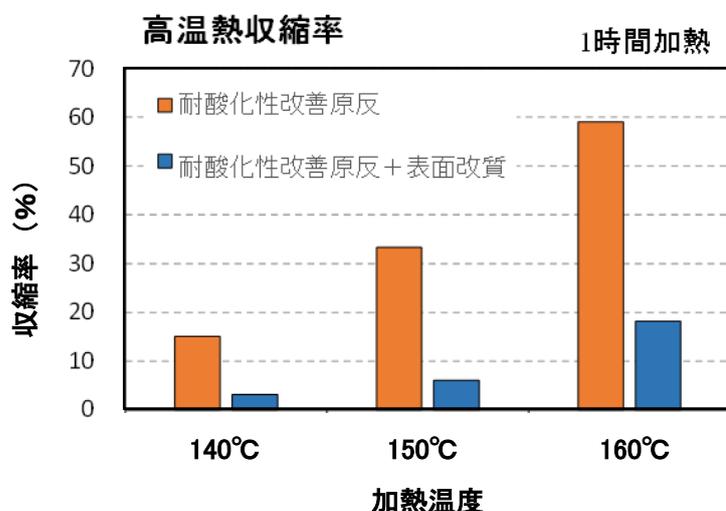


図 3.1.2-9 表面樹脂コート前後のセパレータの熱収縮率測定結果

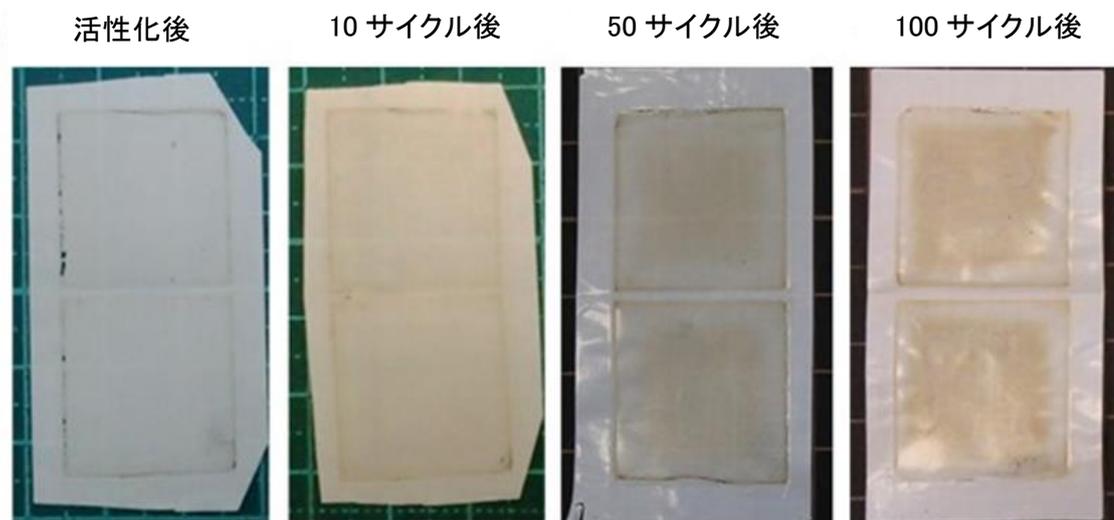


図 3.1.2-10 小型セルの充放電サイクル後のセパレータの外観写真

(5) セル化・電池パック化技術開発(日本電気)

前記(1)~(4)で開発した各部材を用いて 8Ah 級ラミネートセルを作製した。最終仕様を以下に示す。

- ・ 正極:LFNM151570(酸化抑制処理型)+Sm₂O₃/Al₂O₃ コート
- ・ 負極:SiO/黒鉛=70/30wt%混合負極
- ・ 電解液:1MLiPF₆ EC/DEC/FDEC=28.5/66.5/5+2%B2MPy
- ・ セパレーター:樹脂表面コート・酸化防止剤添加 PP セパレーター

このセルの充放電試験を 45°C、4.68-1.5V、0.15mA/cm² の条件で行った。活性化処理後の初期充放電曲線を図 3.1.2-11 に示す。初期放電容量は 8.2Ah、平均電圧は 3.08V、エネルギー密度は 308Wh/kg が得られた。各 SOC における入出力密度を求めた結果を図 3.1.2-12 に示す。SOC50% における入出力密度はそれぞれ 1,700W/kg、1,900W/kg が得られた。8Ah セルと同じ仕様の 40mAh 小型セルでサイクル特性を評価した。充放電サイクルは 45°C、4.68-1.5V において、0.5C-CCCV 充電/0.5C-CC 放電の条件で行った。図 3.1.2-13 に示すように、100 サイクル後に 93%の容量維持率が得られた。また、ほぼ同等仕様の 12Ah セルについて、4.5V 満充電状態での 130°C30 分加熱試験、0.5C 過充電試験、外部短絡試験を実施した結果、全てにおいて破裂発火に至らず、安全性の高いセルであることを確認できた。

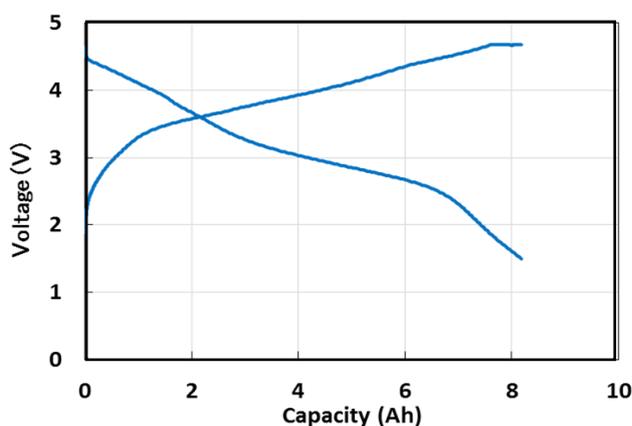


図 3.1.2-11 8Ah 級セルの初期充放電曲線

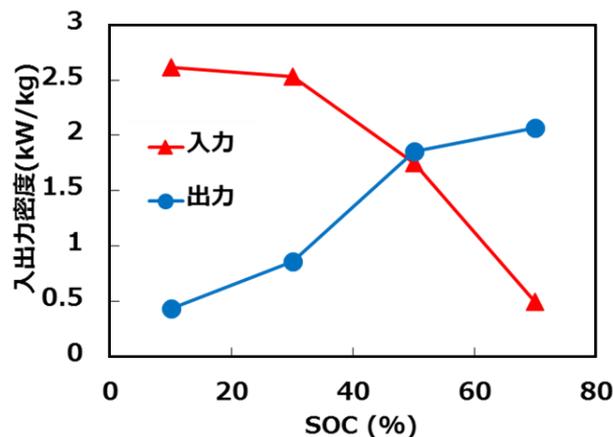


図 3.1.2-12 8Ah 級セルの入出力特性

8Ah セルを 8 セル直列につなげた電池モジュールを作製した。その外観写真を図 3.1.2-14 に示す。また、得られたエネルギー密度、出力密度を表 3.1.2-4 に示す。エネルギー密度は最終目標の 250Wh/kg を達成し、出力密度も最終目標の 1,500W/kg を達成した。

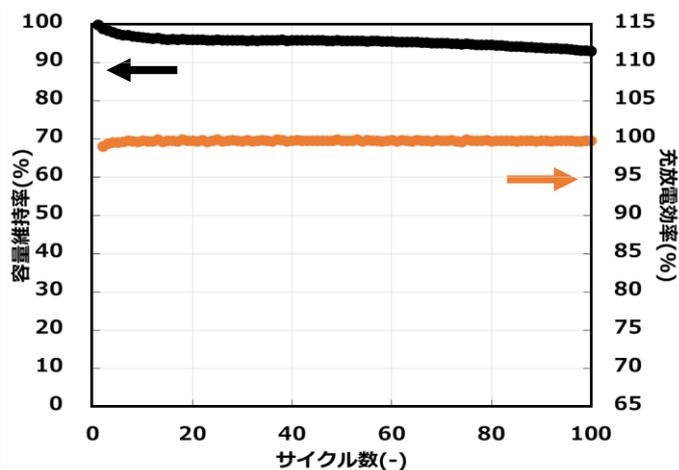


図 3.1.2-13 8Ah 級セルと同仕様の 40mAh セルのサイクル特性

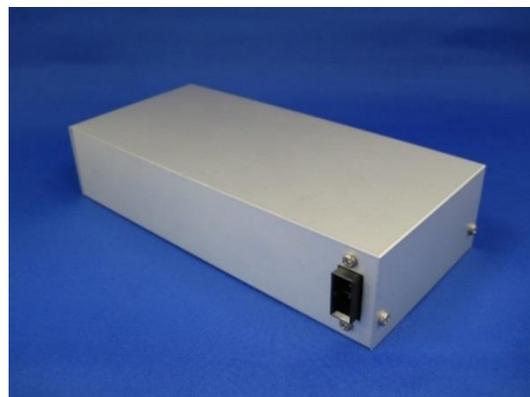


図 3.1.2-14 試作した電池モジュール

表 3.1.2-4 8 直 1 並電池モジュールのエネルギー密度と出力密度

		8Ah セル仕様	
		セル	モジュール
エネルギー密度(37.4-12.0V)	Wh/kg	308	273
出力密度(SOC50%)	W/kg	1,900	1,600

3. 1. 3 高エネルギー密度・低コストセル開発及び高入出力パック開発(東芝インフラシステムズ)

本テーマは平成 24 年度から平成 27 年度の 4 年計画で、EV、PHEV 及び ISS(アイドリングストップ)用途の LIB の開発を行った。

EV/PHEV 用途では、セルでの容積エネルギー密度 275Wh/L、コスト 30 円/Wh を最終目標とした。ISS 用途では、セルでの出力密度 3,200W/kg、コスト 70 円/Wh を最終目標とした。さらに PHEV 用途では、パックでの入出力特性向上を目指し、パック冷却要素技術を開発した。

表 3.1.3-1 に開発成果と達成度を示す。

表 3.1.3-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
EV/PHEV 用途セル: 高エネルギー密度化 低コスト化	<ul style="list-style-type: none"> セルエネルギー密度 275Wh/L の達成。 セルコスト 30 円/Wh の達成。 	<ul style="list-style-type: none"> 新規チタンニオブ系複合酸化物負極材料を適用し、従来正極、集電箔・セパレータの薄膜化と組合せたセル、及び現行負極材料を適用し、正極材料の改良、正・負極の厚膜化、セパレータの薄膜化と組合せたスタック構造セルで 275Wh/L (30Ah) 以上を達成。 セパレータを電極上に密着させる技術の開発により、セルコスト低減を達成する要素技術を確立し、セルコスト 30 円/Wh の目標達成する目処をつけた。 	○
ISS 用途セル: 低コスト化	<ul style="list-style-type: none"> 出力性能 3,200W/kg を維持してセルコスト 70 円/Wh の達成。 	<ul style="list-style-type: none"> 電極の薄塗り塗工技術、多層集電体の低抵抗・高接合強度接合技術等を開発し、出力 3,500W/kg、セルコスト 70 円/Wh の目標達成する目処をつけた。 	○
PHEV 用途パック: 冷却パックの開発	<ul style="list-style-type: none"> 3C 連続放電で温度上昇 15℃以下の冷却パック開発。 	<ul style="list-style-type: none"> 4 種冷却方式毎の試験モジュール構造について、冷却効果を定量的に検証し、構成が簡単で、低コストで実現可能な側面空冷モジュールで目標値を達成する要素技術を確立。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) EV/PHEV 用途セル: 高エネルギー密度化、低コスト化

SCiB™は、正極にリチウム遷移金属複合酸化物、負極にリチウムチタン複合酸化物(LTO)を用いている。高エネルギー密度化を目指し、2つのアプローチで開発に取り組んだ。検討は現行製品である20Ahセルと同じサイズ(外形寸法 W116×D22×H106 mm)の角型セルで実施した。また、低コスト化に向けては、セパレータを電極上に密着させる技術開発に取り組んだ。

(i) 新規負極材料とこの材料を適用したセル開発

新規負極活物質材料の開発を行った。チタンをベースに他の金属元素を含み、従来負極材料とは結晶構造の異なるチタンニオブ系複合酸化物を開発した。新規負極材料により240mAh/gの単極容量が得られ、この負極材料と、従来正極を用いて、集電箔・セパレータの薄膜化と組み合わせ、セル設計の最適化を図ることにより、30Ahセルを開発した。集電箔の薄膜化については、応力-歪曲線から、必要な強度と伸びを確認し、従来集電箔と同等以上の伸びを持つ材料組成、純度等を決定した。セパレータについては、材料、構造を見直し、薄膜化しつつも強度と空隙率が高く保たれる耐熱性を高めたセパレータを開発した。得られた試作セルの充放電曲線を図3.1.3-1に示すが、セル容量30.1Ah(エネルギー密度275Wh/L)を達成した。

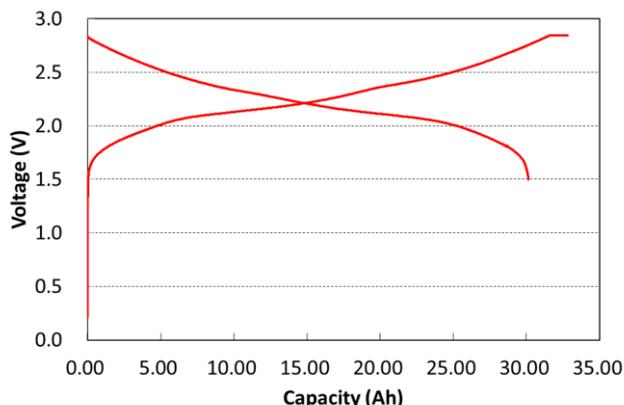


図 3.1.3-1 新規負極材料を用いたセルの充放電曲線

図 3.1.3-2 に、30Ahセルの45°Cサイクル特性を示す。新規負極材料の製造条件違いでの材料組成の均一化の検討、負極バインダ種、導電助剤、電極組成、電解液組成の検討により寿命性能の向上を図った。3,500サイクル後で容量85%以上を維持可能な目処が立った。

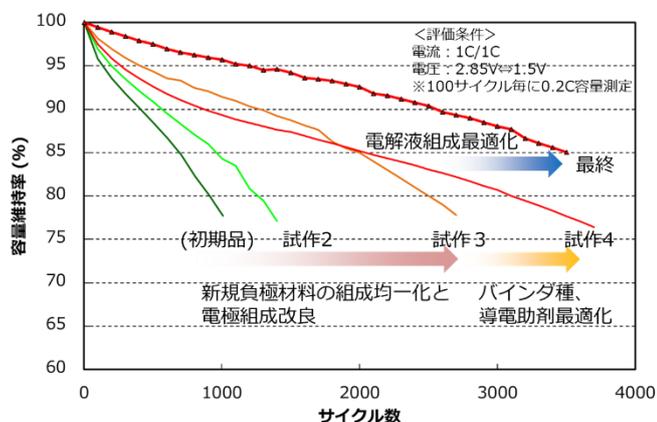


図 3.1.3-2 新規負極材料を用いた30Ahセルの45°Cサイクル特性

図 3.1.3-3 に 25°C の 10 秒入出力特性を示すが、寿命性能向上での改良に加え、電解液組成を検討することにより、出力性能では現行 20Ah セルとほぼ同等、入力性能では大きく上回る値を得た。また、開発した新規負極材料を用いた 30Ah セルの安全性の確認として、SOC100%状態での釘刺し試験を行い、破裂・発火なしで最高温度 47°C という現行 20Ah セルと同等以上の結果を得た。

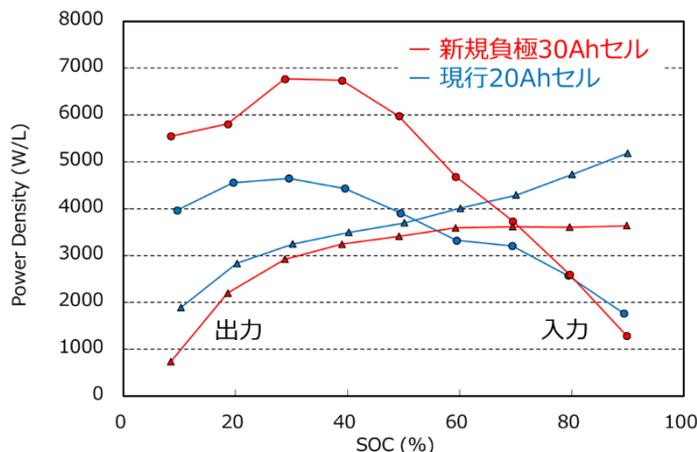


図 3.1.3-3 新規負極材料を用いた 30Ah セルの 10 秒入出力特性(25°C)

(ii) 現行 LTO 負極材料を適用したセル開発

現行 20Ah セルの LTO 負極を用い、30Ah セルで容積エネルギー密度 275Wh/L を目標とした開発を行った。高容量化開発は 24Ah セル(中間目標)、27Ah セル、30Ah セル(最終目標)と段階的に実施した。

24Ah セルでは、正・負極の厚膜化、セパレータの薄膜化を行い、電解液組成を検討することで、容量の向上を図った。

27Ah セルでは、正極材料であるリチウム遷移金属複合酸化物中の遷移金属比率及び正極活物質種の混合比率の検討を行った。遷移金属比率は、より充放電容量が大きくなるよう、元素間の比率を調整した。活物質種の混合比率は、複数の活物質からなる正極において、より充放電容量の高い活物質の比率を増加させた。また、検討の過程において、電極の塗液物性、加工性の一部が影響を受けるため、特性に影響が出ないよう副部材の種類・比率等の最適化した。

30Ah セルは、電極群の構造をスタック型として電極の充填密度を高めた。集電タブ出しの位置を片側一方向とし、残り3面は、集電部のためのスペースを省略することで、電極塗工面積の最大化を図り、20Ah セルと同じ外装缶で、端子部品も流用可能な設計とした。正・負極、セパレータの厚み、電解液組成も最適化した。

得られた各種試作セルの充放電曲線を図 3.1.3-4 に示すが、容量 31Ah で容積エネルギー密度は 282Wh/L となった。

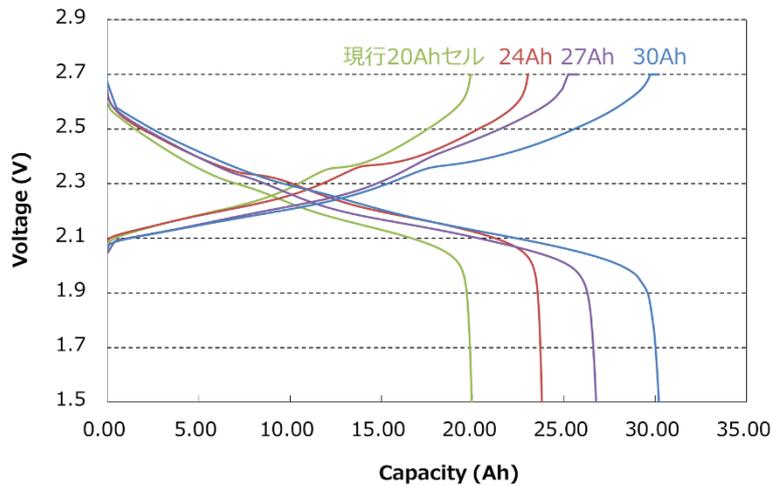


図 3.1.3-4 従来負極材料を用いた高容量セルの充放電曲線

30Ah セルの 45°C サイクル特性を図 3.1.3-5 に、25°C 10 秒入出力特性を図 3.1.3-6 に示す。1000 サイクル時点の容量維持率は 87%、抵抗増加率は約 1.25 倍となった。容量減少については初期の容量低下が若干見られるが、500 サイクル以降では現行 20Ah セルとほぼ同等の劣化速度(傾き)を示し、抵抗上昇については半分程度に抑制されている。また、25°C においては現行 20Ah セルと同等の入出力性能が得られた。

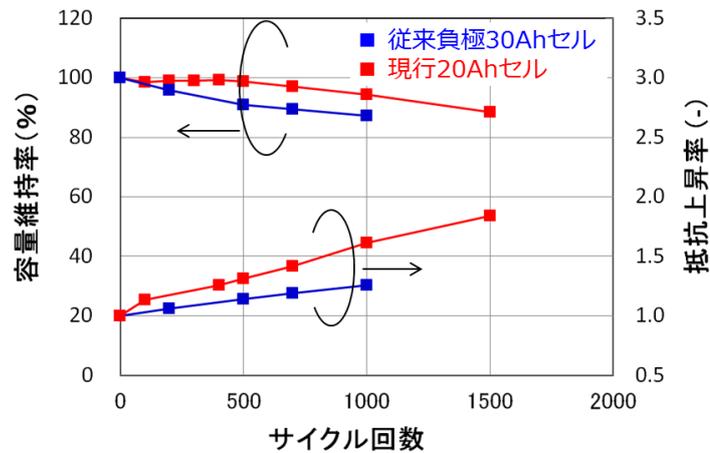


図 3.1.3-5 従来負極材料を用いた 30Ah セルのサイクル特性(45°C)

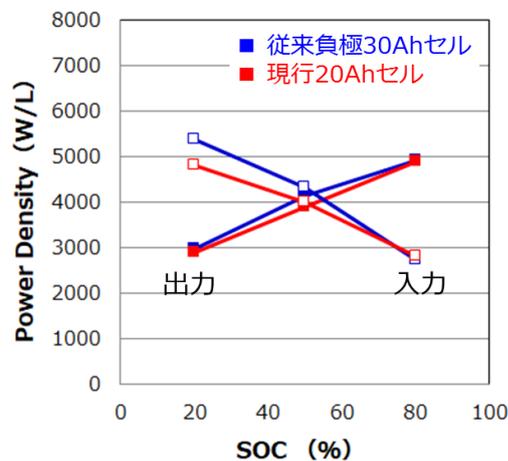


図 3.1.3-6 従来負極材料を用いた 30Ah セルの 10 秒入出力特性(25°C)

また、開発した従来負極材料を用いた 30Ah セルの安全性の確認として、SOC100%状態での釘刺し試験を行い、破裂・発火なしで最高温度 150°C という現行 20Ah セルと同等の結果が得られた。

なお、中間評価時に開発した 24Ah セルについては、その後更に設計を最適化し、23Ah セルとして 2015 年度に製品化し、量産を開始済みである。

(iii) セパレータを電極上に密着させる技術

セパレータの薄膜化による高エネルギー密度化とセルの低コスト化への寄与を目的として、従来の自立膜のセパレータに代えて、電極上に絶縁膜を形成するセパレータの開発を行った。ナノサイズの樹脂繊維からなる膜を形成(製膜)する製膜セパレータ、バインダと混合した絶縁性の無機粒子を電極上に塗布する無機セパレータの大きく 2 つの候補について検討した。

製膜セパレータについては、帯状の電極上に均一なセパレータが形成されるよう、製膜装置を導入し、ヘッド形状、配置や製膜条件を適正化した。また、電極への密着性や表面の平坦性が得られるようロールプレス圧力を調整した。製膜速度の向上を目指し、図 3.1.3-7 に示すようなより繊維化しやすい樹脂材料を選定し、製膜環境温度と湿度の適正化を行い、ノズル形状の改良を加え、最終的には 10m/min の製膜速度を得た。製膜セパレータを適用する際の電極群構成(セパレータ配置)については、正極と負極の両面に製膜し、捲回する構成を選定した。膜厚についても、自己放電速度の膜厚依存性を評価し、概ね 5 μ m 以上の領域では自己放電速度の大きさ・ばらつきが抑制されることを確認した。

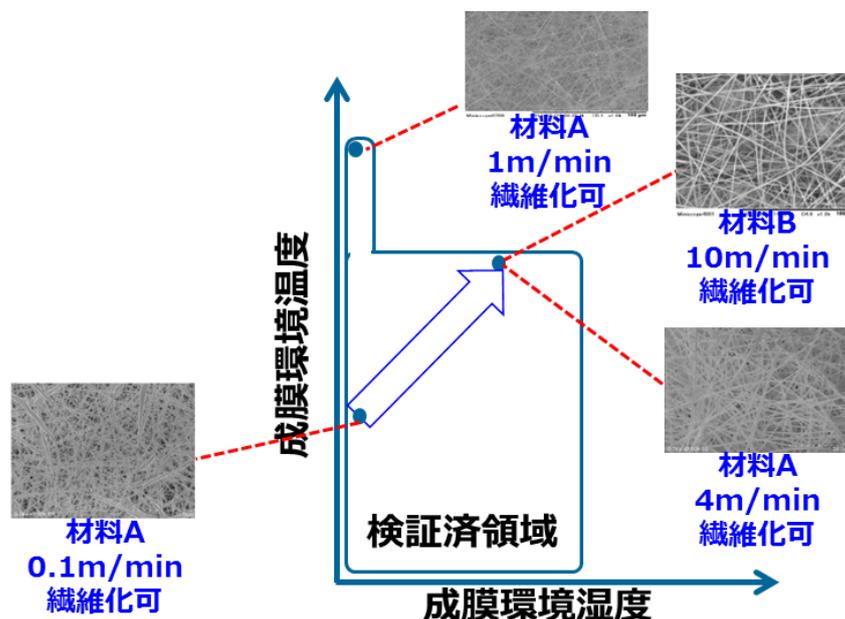


図 3.1.3-7 製膜セパレータの製膜環境条件と製膜速度の検討結果

一方、無機セパレータについては、無機粒子にはアルミナを選定し、グラビアコーターを用いて塗布を行った。膜厚と自己放電電流の関係を調べ、適正な膜厚は 4 μ m 以上であることを確認した。無機セパレータを適用する際の電極群構成(セパレータ配置)については、無機セパレータを負極の両面全面に配置することに加え、負極と対向する正極 Al 箔部にも無機粒子層の絶縁膜を配置した。

実セルでの検証としては、前記した条件で電極上への製膜を行い、捲回・組立して試作した 20Ah セルで評価した。充放電温度特性、充放電レート特性、45°C1C サイクル特性、130°C加熱試験、振動試験を実施した結果、製膜セパレータ・無機セパレータ共に現行セパレータと同等の性能を確認できた。図 3.1.3-8 に放電レート特性と 45°C1C サイクル特性を示す。

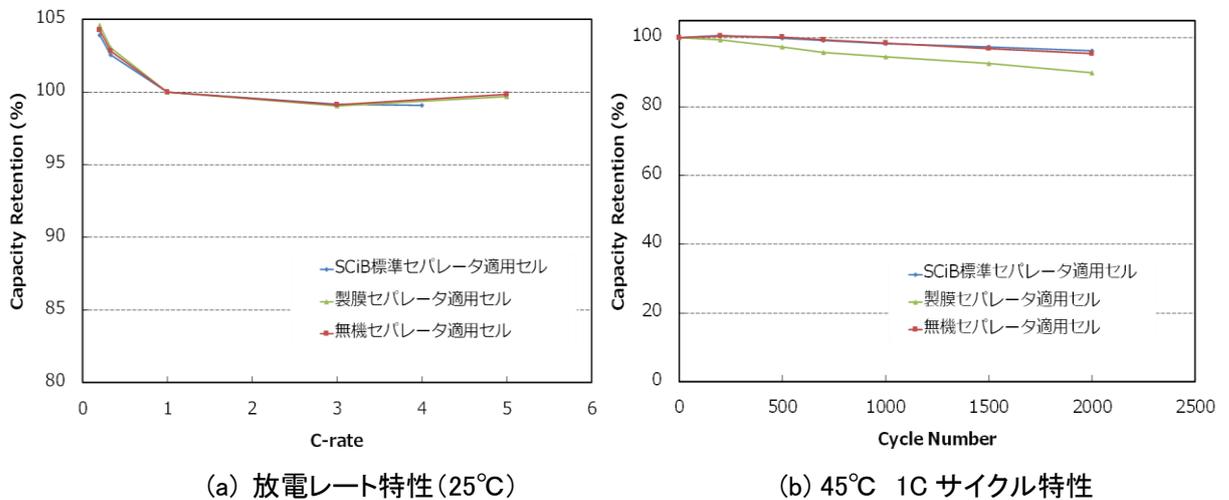


図 3.1.3-8 電極上に密着させるセパレータを用いた 20Ah セルの放電特性とサイクル特性

図 3.1.3-9 に電極上に密着させるセパレータと現行セパレータのコスト試算結果を示す。セパレータコストは、材料、プロセス、セル設計、装置構成(装置コスト)見積もり結果に基づき試算を行った。製膜セパレータは、直接材料費は現行セパレータのおよそ 1/3、加工費を合わせても約 1/2 にまでコストを低減できる見込みである。一方、無機セパレータについては、直接材料費は現行セパレータの約 1/4 から 1/5、加工費を合わせた合計額で 40~50%程度にまでコストを低減できる見込みである。電極上に密着させるセパレータと新規負極材料を適用した 30Ah セルで、コスト目標¥30/Wh 以下を達成できる目処が立った。製膜セパレータ、無機セパレータは、いずれも量産化が可能と考えられる。製膜セパレータはより薄膜化・高エネルギー密度化に寄与できる可能性がある。今後適用するセルの顧客要求などによって選定を行う。

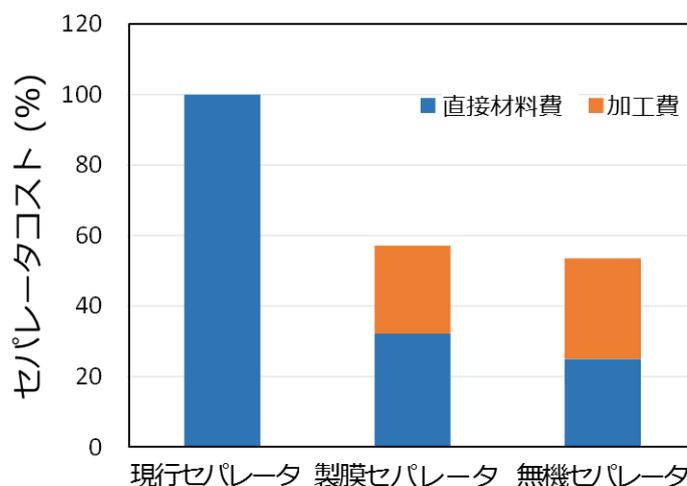


図 3.1.3-9 電極上に密着させるセパレータと現行セパレータのコスト試算結果

(2) ISS 用途セル: 低コスト化

ISS用途セルは、最終目標である出力性能 3,200W/kg かつセルコスト 70 円/Wh の達成のため、主な開発項目として薄塗り塗工技術開発とセルの低抵抗化技術開発に取り組んだ。

(i) 薄塗り塗工技術開発

高い入出力特性を得るためには、電極の薄塗り塗工技術が必要になるが、従来技術では電極を薄膜化すると塗工時に電極がかすれたり箔切れする頻度が高くなるため、塗工速度の低下や塗工幅の制限など低い生産性レベルとなっていた。

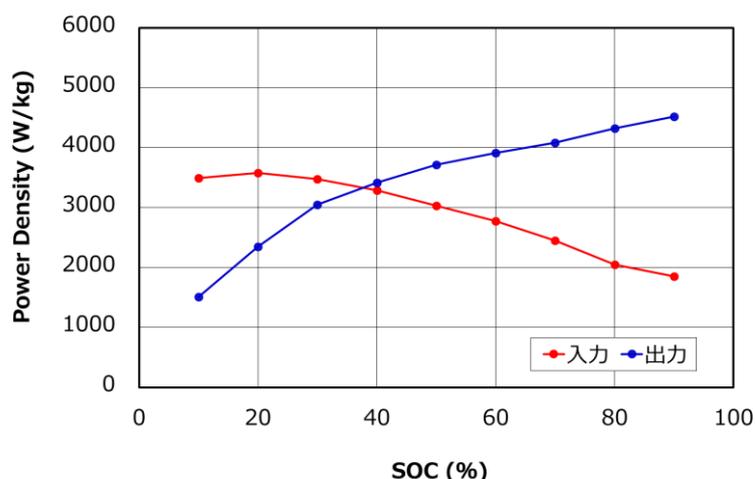
本技術では、電極スラリー粘度、スロットダイー箔間ギャップ、塗工速度をパラメータとして塗工装置の塗工ヘッド周辺のスラリーの流れ解析や実験を行い、塗工速度・塗工幅を共に 2 倍にしても箔切れが生じないプロセスを確立した結果、単位時間あたりに生産できる電極は 4 倍にできる見込みとなった。塗工装置の大型化が必要なため、設備費は増加するが、生産効率が向上するので、単位設備費当たり 2 倍の電極を生産できるようになり、ISS 用セルの電極の量産段階におけるコスト低減ができる。

(ii) セルの低抵抗化技術開発

電極薄膜化に伴い、一定容量のセル内では電極面積を増大する必要があるが、電極が多層化し、集電タブと接合する集電箔の合計厚みも厚くなるため、従来の接合方法では、接合強度の不足や接合抵抗の増大につながる。そこで、超音波接合装置のホーン支持構造の高剛性化、ホーン先端形状適正化を検討し、多層集電体の低抵抗・高接合強度接合技術を開発した。

上記以外に、現行 20Ah セルと共通材料を用いたラミネート外装セルを試作、評価検証、電極の薄膜化に加え、薄膜セパレータの検証、電解液組成の適正化を行った。さらに電極上に密着させるセパレータを適用することにより、最終的に出力が 3,500W/kg 以上、セルコスト 70 円/Wh 以下を達成する目処がついた。

上記の成果の一部を用い、2017 年 2 月に新規高出力セルとなる 10Ah セルを製品化し、量産を開始している。その 10Ah セルの入出力特性と外観図を図 3.1.3-10 に示す。



(a)入出力特性

(b)セルの外観

図 3.1.3-10 ISS 用途 10Ah セルの入出力特性とセル外観

(3) PHEV 用途パック: 冷却パックの開発

PHEV 用途として 3C 連続放電で温度上昇 15°C 以下の冷却パックの開発を目指し、モジュールの冷却方式を検討した。

現行の 20Ah セルを用いて、浸漬液冷、底面水冷板冷却、バスバー面空冷、側面空冷の 4 種類の冷却要素方式による冷却効果とモジュールの構造を検討した。液冷方式は冷媒の密度、比熱が相対的に大きいため冷却性能を大きくすることができるが、モジュール構成が複雑になりコスト高となる。空冷方式はモジュール構成が簡単になるが、冷媒の物性によって除熱量が決まるため密度、比熱が相対的に小さい空冷では冷却性能に自ずから限界が生じる。

それぞれの冷却方式について、環境温度 25°C 下で、SOC を 50% にしたモジュールに 10 秒パルス充放電を熱平衡になるまで繰り返した後、冷却時の熱抵抗を測定した。図 3.1.3-11 に、1 並列 10 直列 (1P10S) 又は 1 並列 12 直列 (1P12S) モジュール等で得られた熱抵抗の比較を示す。いずれの冷却方式においても冷却なしと比較して、熱抵抗を 60% 以上低減可能なことが確認できた。

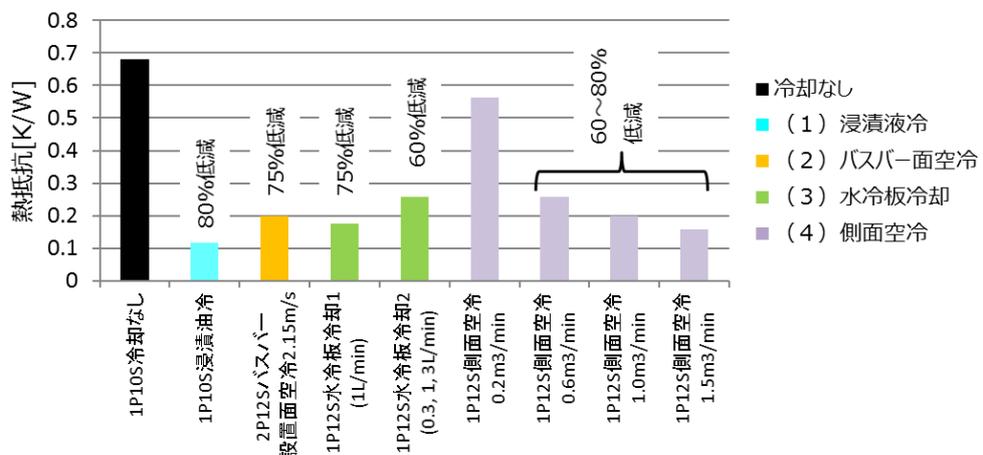
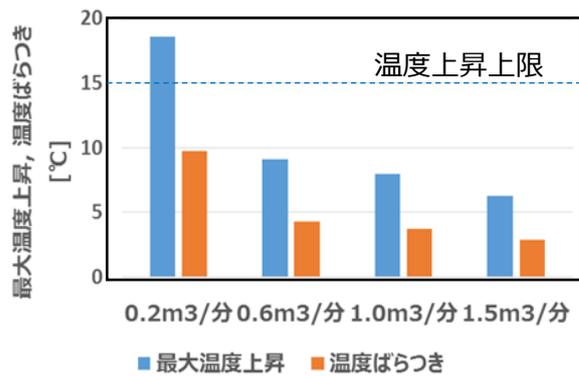
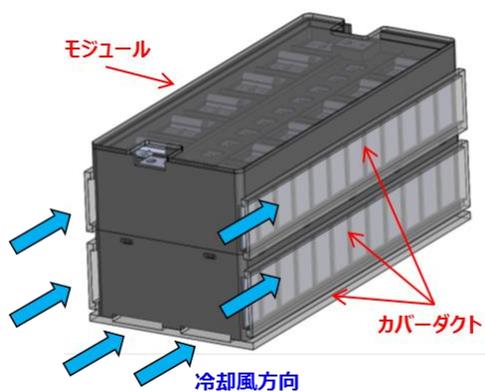


図 3.1.3-11 冷却方式違いによる熱抵抗の比較

構成が簡単で、低コストで実現可能な 1P12S 側面空冷モジュールは、モジュール側面及び底面には冷却のためのスリット、また、検討により最適な形状としたカバーダクトを設けたセル露出部分のモジュール長手方向に向けて冷却風を通過させることにより、セル側面及び底面から冷却する構造とした。図 3.1.3-12 に、1P12S モジュールの構造と、3C 連続充放電時の空冷条件違いによるモジュール内最大温度上昇と最大温度ばらつき測定結果を示す。流す風量を 0.6m³/min 以上で、目標である 3C 連続放電で温度上昇 15°C 以下が達成可能なことが確認できた。また、開発の過程において、モジュールに求められる充放電電流を横軸に、作成した一次元熱モデルで計算したモジュール上限温度の 55°C に達するまでの充放電時間を縦軸にプロットしたマップと実測値がほぼ一致することを確認しており、精度良い予測を可能とした。引き続き、量産化に向けて、1P9S 側面空冷モジュールについて、劣化挙動も加味した上で、実際の電池パックシステムの充放電条件や温度条件などのシステム制約に応じた冷却設計・条件を検討中である。



(a) 1P12S 側面空冷モジュールの構造

(b) 空冷条件違いによる 3C 連続充放電結果

図 3.1.3-12 1P12S モジュールの構造と 3C 連続充放電結果

3. 1. 4 PHEV 用高電圧充電リチウムイオン電池の研究開発(パナソニック)

本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年計画で PHEV 用 LIB を開発した。

高性能を実現する材料(高容量電極活物質、耐高電圧電解液、その他部材)の開発及びそのセル化技術開発を行い、開発成果を用いて 20Ah 級実規模セルを試作し、実電池としての特性実証及び実用性検討を実施した。今後は、2020 年頃に予定している PHEV 用途への実用化に向け、個社保有技術との統合による更なる性能向上を目指す予定である。

表 3.1.4-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
高エネルギー密度化要素技術	・ 200Wh/kg	・ 遷移金属酸化物を中心に正極活物質の材料組成の適正化、粉体圧縮流動性改善による高密度化、角形電池の機構軽量化等により、20Ah 級実規模電池(AI 缶)でエネルギー密度 209Wh/kg を達成。	○
高出力化要素技術	・ 2,500W/kg	・ 低粘度新耐酸化性溶媒を用いた電解液組成の適正化により、18650 円筒型電池で約 2,100W/kg を達成。 ・ 新 NCM 正極、新集電構造の開発により、エネルギー密度 209Wh/kg の実規模電池で 2,538W/kg の出力特性を達成。	○
高安全化要素技術	・ 内部短絡安全性の確保 (USABC 規格 HL<4)	・ 燃焼ガスの発生速度と電池の安全性を定量的に評価する手法を開発。 ・ 安全性を評価する手法として確立した燃焼ガスの解析手法を活用し、耐熱層セパレータ等の導入により、209Wh/kg、2,538W/kg を達成した実規模電池で内部短絡安全性を確保(USABC 規格 HL<4)。	○
長寿命化要素技術	・ 1500 サイクル後 70%容量維持 (SOC:0-100%)	・ 高電圧充電時のサイクル劣化は、正極材の高抵抗と電解液酸化に伴う負極への堆積物蓄積が原因。 ・ 新耐酸化性溶媒の開発により、正極の金属イオン溶出を抑制し、4.6V 充電電圧で 700 サイクル後、70%の容量維持率を確認。 ・ 新 NCM 正極、電解液組成の適正化により、209Wh/kg、2,538W/kg を達成した実規模電池で 1500 サイクル後、73%容量維持を達成。 (実使用換算予測によるサイクル寿命>5,500 レベル)	○
低コスト化	・ 2 万円/kWh	・ 外部端子簡素化、部材削減、正極材合成プロセスの合理化、耐熱層セパレータのコスト低減で 1.96 万円/kWh を達成。	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 新規 3 元系正極活物質の開発

組成や熱処理条件の適正化を図ると共に新合成プロセスを開発して、新規の NCM 正極活物質を開発した。NCM 正極活物質の開発品と現行品の物性を比較して表 3.1.4-2 に示す。出力特性低下の要因となる結晶子サイズの肥大化を抑制しつつ、高電圧充電サイクル負荷時の粒子の耐割れ性を支配する粒子硬度を約 2 倍向上させることに成功した。

表 3.1.4-2 NCM 正極活物質の開発品と現行品の物性比較
(現行品を 100 として規格化)

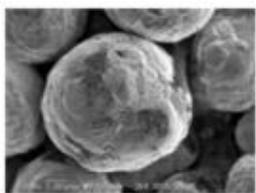
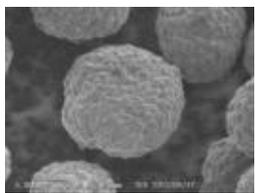
	開発品	現行品
結晶子サイズ	97	100
粒子硬度	242	100
粒子形態 SEM		

図 3.1.4-1 に、新合成プロセスを適用して試作した開発品と従来の合成プロセスで試作した現行品の粒子硬度と結晶子サイズの関係を示す。NCM 活物質の結晶子サイズの肥大化は出力特性低下に繋がるため、結晶子サイズの肥大化を抑制しつつ、粒子硬度を上げて、サイクル負荷時の活物質の膨張収縮に起因する粒子割れ抑制を図る必要がある。しかし、従来品では熱処理条件を強化して粒子硬度を上げようとする、結晶子サイズが肥大化する相関にあり、結晶子サイズを維持したまま粒子硬度を増加させることができない結果であった。一方、合成プロセスを見直した開発品では、現行品同等の結晶子サイズを維持したまま、粒子硬度を上げることに成功している。

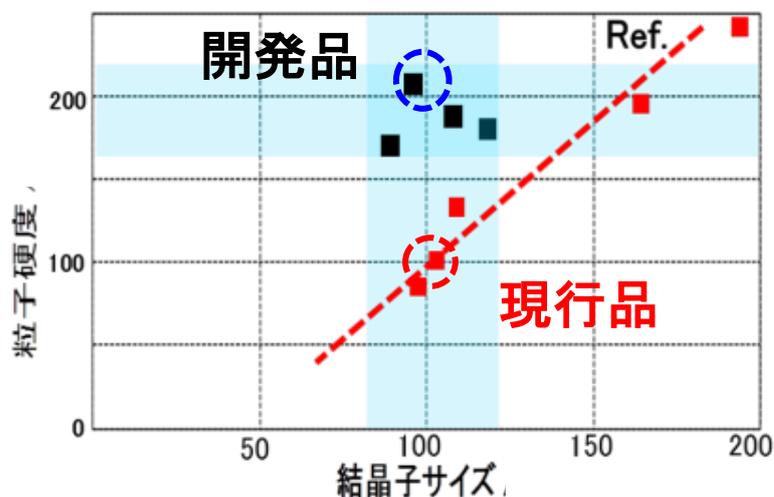
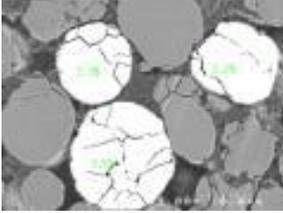
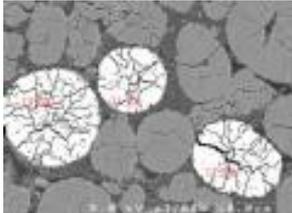


図 3.1.4-1 開発品と現行品における粒子硬度と結晶子サイズの関係

また、表 3.1.4-2 に示した粒子 SEM 像の表面モルフォロジーを比較すると、開発品の方が平滑である傾向がある。この粒子表面の平滑性から考えて、開発品の NCM 粒子の方が、粉体としての圧縮流動性に優れることが期待される。表 III.1-4-3 に開発品と現行品の NCM 粒子につき、粉体としての圧縮流動性を比較して示すが、開発品では圧縮流動性が 10%向上する結果が得られた。この結果から、正極充填密度の 5%増大、ひいては正極板体積あたりのエネルギー密度の 5%向上が見込まれる結果である。

また、表 3.1.4-3 に、対極 Li を用いたハーフセルを試作して、充電電圧 4.35V で 700 サイクルの充放電負荷を加えた後、セルを解体して正極側の劣化状態を評価した結果を示す。サイクル負荷後の正極側の正極層厚みの増加割合、更には正極活物質粒子の断面 SEM 像と SEM 像から見積もった粒子割れの定量値とを比較すると、粒子割れと電極膨化共に開発品を用いたセルの方が大幅に抑制される結果が得られており、サイクル劣化の要因の 1 つと考えられる粒子割れや電極膨化による電子伝導パスの阻害が抑制されることが期待される。

表 3.1.4-3 NCM 正極材の圧縮流動性とサイクル負荷後の状態比較
(現行品を 100 として規格化)

	開発品	現行品
圧縮流動性	110	100
耐久性 700サイクル経過後の 粒子断面		
粒子割れ (断面画像比較)	35	100
電極膨化 (電極厚み増加率)	30	100

(2) 20Ah 実規模角形セルの開発

前記した新開発の NCM 正極活物質に、負極活物質としてグラファイトを、電解液として一般的なカーボネート系電解液を組み合わせ、20Ah 実規模角形セルを開発した。図 3.1.4-2 に開発した実規模セルの外観写真を示す。



図 3.1.4-2 20Ah 実規模角形セル(4.35V 充電仕様)

また、開発した 20Ah 実規模角形セルの仕様、及び性能を表 3.1.4-4 に示す。この実規模セルについては、新開発の NCM 正極活物質に加え、集電構造の見直し等を実施することで、エネルギー密度 200Wh/kg 以上と出力密度 2500W/kg 以上の両立の実現に成功した。

表 3.1.4-4 20Ah 実規模角形セルの仕様及び性能

項目	値
形状	角形
寸法	幅170×高さ65×厚み15mm
重量	0.36kg
容量	20Ah
公称電圧	3.7V
エネルギー密度(セル)	209Wh/kg (0.3C放電)
入力密度(セル)	3,312W/kg (SOC50% 4.35V 10sec 25°C)
出力密度(セル)	2,538W/kg (SOC50% 2.5V 10sec 25°C)
サイクル耐久性	73% @1,500サイクル (25°C、2.5V-4.3V、0.5C充電、1C放電)
コスト	1.96万円/kWh

3.1.5 高性能材料の電池化と実装技術による高エネルギー型リチウムイオン電池の開発(日立製作所、日立オートモティブシステムズ)

本テーマは、平成 24 年度から平成 28 年度の 5 年間で、EV 用電池パックの実用化開発を実施した。セルとしての目標値 320Wh/kg はパックの目標値 250Wh/kg からパック中のセル重量比 0.8 を見込んで設定した。また、パックの目標値の容量 250Wh/kg と出力 1,500W/kg、コスト 2 万円/kWh は日立製作所と日立オートモティブシステムズの成果を合わせることで、平成 32 年度頃に達成を見込める技術を確立することを目標とした。日立製作所は、高容量電極材料及びセルの構造仕様を 1Ah 級の小型セル及び 30Ah 級ラミネートセルを用いて検討した。また、電池パックのエネルギー密度向上のため、セルとセルコントローラーの一体化の検討及びバッテリーコントローラーと複数のセルコントローラー間の無線通信化を実証した。日立オートモティブシステムズは、汎用性が高く、組み立て性にも優れた実用電池である 40Ah 級角形セルで、高エネルギー密度・高出力密度を図るとともに、制御を含めたパック仕様の高密度実装技術を開発した。本テーマの開発成果と達成度を表 3.1.5-1 に示す。

表 3.1.5-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
高容量正極	高容量正極材料の最終仕様選定。	・ 320Wh/kg を見込める正極材料としてNi比率 80%正極を選定し、酸化物被覆により高容量と長寿命(100 サイクル後容量維持率 90%)を両立させた。	○
高容量負極	高容量負極材料の最終仕様選定。 ・ 負極エネルギー密度: 900Ah/kg (セルとして 320Wh/kg) ・ サイクル寿命: 80% @ 100 サイクル	・ 320Wh/kg を見込める負極材として、900 Ah/kg を実現できるシリコン系活物質混合黒鉛を選定。シリコン系負極表面へのカーボンコート及び高強度バインダ、電解液への FEC 添加剤の適用により、サイクル寿命として 100 サイクル後で 90%維持率を実現。 ・ 上記正極と組み合わせた 30Ah 級ラミネートセルを作製し、エネルギー密度 320Wh/kg を達成。	○
正極・負極電極構造の高エネルギー化	・ エネルギー密度 \geq 200Wh/kg ・ 出力密度 \geq 1,500W/kg ・ 寿命 10 年の見通し。 ・ 安全性、信頼性: 車載時の濫用に耐えること。	・ Ni比率 80%正極及び表面修飾黒鉛を用いて 40Ah 級角形電池を試作し、セルのエネルギー密度 210Wh/kg、出力密度 1,900W/kg を達成。 ・ サイクル試験と保存試験の結果から 10 年寿命の見通しを得た。更に車載時の濫用を想定した安全性試験にて目標仕様を満足することを実証。	◎
高密度化実装技術の開発	・ 無線通信可能なセルコントローラー一体化セルの開発。 ・ パック中セル重量比 \geq 0.8	・ 2~5V かつ数 mA で動作可能なセルコントローラー一体化セルを開発し、バッテリーコントローラーとの無線通信を実証。 ・ 外装筐体冷却やセルホルダー等の採用により部品点数を減らすことでセル重量比率 0.8 を達成。	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 高容量正極(日立製作所)

高容量化可能な正極材料候補として、Li-EAD プロジェクト等の結果から、高 Ni 含有正極材料と、Li 過剰層状系正極材料が有望であると考えた。単極セルによる評価の結果、高 Ni 含有正極は高電位化させることで、Li 過剰層状系正極とはほぼ同等の容量を発現し、Li 過剰層状系正極と比べても高い放電電位を示した。一方、Li 過剰層状系正極は、放電電位や電極密度が高 Ni 含有正極と比べて低い等の課題が分かり、設計裕度がなく実現が困難と考えられた。そのため、320Wh/kg を実現できる高容量正極として Ni 比率 80% 正極を選定した。

続いて、Ni 比率 80% 正極/黒鉛負極の 1Ah 級小型セルでのサイクル特性と直流抵抗(DCR)を評価した結果、200 サイクルで容量維持率は初期の約 50%に低下し、DCR も初期の約 1.5 倍に増加していることが分かった。この改善のための要因解析として 200 サイクル後のセルの解体分析を行った。電子エネルギー損失分光法(EELS)による Li マッピング像から SEI 厚さが 20-50nm、電子線回折像から NiO 層は 8nm であり、いずれも初期に比べ、増加していることが判明した。また、断面 SEM 像から合剤間の剥離も見られた。この結果から、劣化要因は①活物質と電解液との酸化反応による NiO、SEI 層成長、②HF 生成による SEI 層成長と剥離の 2 つであると考察した。そのサイクル劣化要因推定モデルを図 3.1.5-1 に示す。

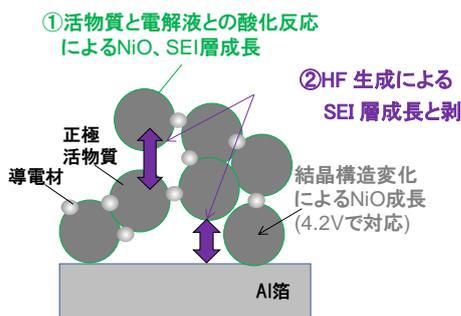


図 3.1.5-1 正極のサイクル劣化要因推定モデル

これらの劣化要因に対し、酸化物被覆による対策を検討した。被覆の狙いは、電解液接触界面を減らすことによる酸化反応抑制と、金属酸化物による HF トラップである。酸化物の被覆量とサイクル特性の関係を図 3.1.5-2 に示す。

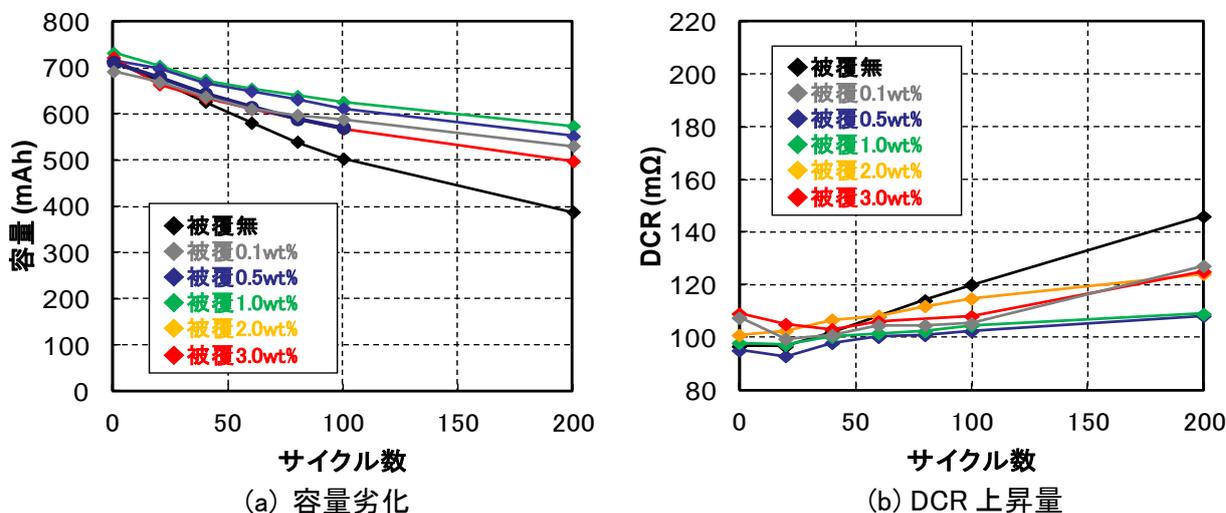


図 3.1.5-2 酸化物被覆量とサイクル特性の関係

酸化物を被覆することにより容量劣化及び抵抗上昇が抑制できることが確認され、被覆量としては 0.5wt% 及び 1.0wt% が良好であり、初期特性とサイクル特性のバランスから酸化物の被覆量は 0.5wt% を選定した。電圧の最適化によるエネルギー密度の減少は電極の高密度化により補償した。これらの取り組みにより、最終目標である初期エネルギー密度 320Wh/kg と、自主目標である 100 サイクル後容量維持率 80% を上回る 100 サイクル後容量維持率 90% を両立する正極仕様を最終選定した。

(2) 高容量負極(日立製作所)

目標の 320Wh/kg を得るためには負極材料で 900Ah/kg が必要であるため、候補材料として、シリコン、SiO、シリコン合金等のシリコン系活物質と、黒鉛との混合負極材料を検討し、充放電効率・平均電圧・電極密度が良好なシリコン系活物質を選定した。この材料の課題はサイクル試験時の著しい容量劣化であるが、その主要因として、①負極合剤層と集電箔間の剥離、②膨張収縮に伴う活物質の孤立化、③負極活物質表面での電解液反応による SEI 被膜成長、の 3 つがある。まず 600Ah/kg 相当のシリコン系活物質混合黒鉛負極を検討した。Ni60%含有の標準的な正極を用いた 1Ah 級セルを作製してサイクル試験を実施した。図 3.1.5-3 の点線 A に示すように従来バインダでは、初期特性は 600Ah/kg を達成するものの、サイクル劣化が激しく、20 サイクル後には黒鉛負極の容量を下回る。そこで①、②の対策として、高強度バインダの適用、負極活物質表面へのカーボンコートを実施した。この改良負極を用いたセルでは図 3.1.5-3 の実線 B に示すように、100 サイクル目において黒鉛セルよりも高い容量を示し、サイクル特性を大幅に改善した。

さらにシリコン系活物質の混合比率を増やした 900Ah/kg 相当のシリコン系活物質混合黒鉛負極に用いてセルを作製したところ、図 3.1.5-3 の点線 C に示すように 40 サイクル以降の容量劣化が大きく、性能が不十分であることが判明した。そこで更に③の SEI 成長対策として、電解液への添加剤を検討した。シリコン系活物質表面に生成した SEI を分析した結果、 Li_2CO_3 が主成分であることが分かった。黒鉛負極では SEI の主成分は安定な LiF であることから、シリコン系活物質混合黒鉛負極においても安定な SEI 形成のために、フッ素を含む添加剤としてフルオロエチレンカーボネート (FEC) の適用を検討した。

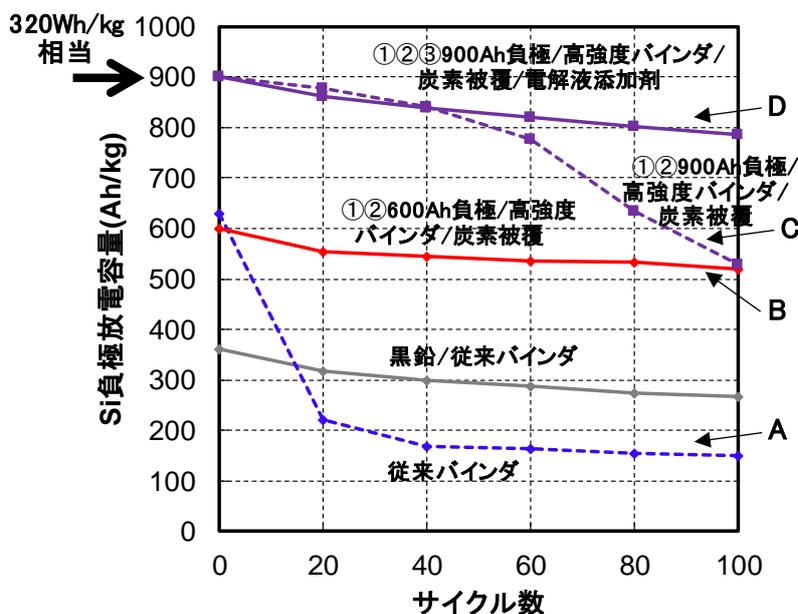


図 3.1.5-3 シリコン系活物質負極を用いた 1Ah 級セルでのサイクル特性

図 3.1.5-4 にシリコン系活物質混合黒鉛負極 500 サイクル後特性の FEC 添加量依存性を示す。500 サイクル後容量維持率は、FEC を 10wt% 添加することで 30% から 60% に改善した。また、DCR 増加率も同様に、FEC を 10wt% 添加することで 400% から 250% に改善した。図 3.1.5-5 に電解液 FEC 添加有無の 500 サイクル後 STEM-EELS マッピング分析結果を示す。FEC 無添加の STEM-EELS マッピングでは、シリコン系活物質表面に SEI が約 100nm の厚さで存在していたのに対して、FEC10wt% 添加では、シリコン系活物質表面に Li、O、C、F を含む SEI が約 50nm まで薄膜化しており、FEC を添加することで、SEI の被膜成長を抑制できた。この結果を踏まえて FEC を添加した電解液を用いて 1Ah 級セルを作製してサイクル試験を実施した結果、図 3.1.5-3 の実線 D に示すように 100 サイクル時点でも安定な性能を示しており、①②③の対策を講じることで目標の 320Wh/kg 達成に必要な 900Ah/kg 相当シリコン系活物質混合黒鉛負極を使いこなすことが可能となった。

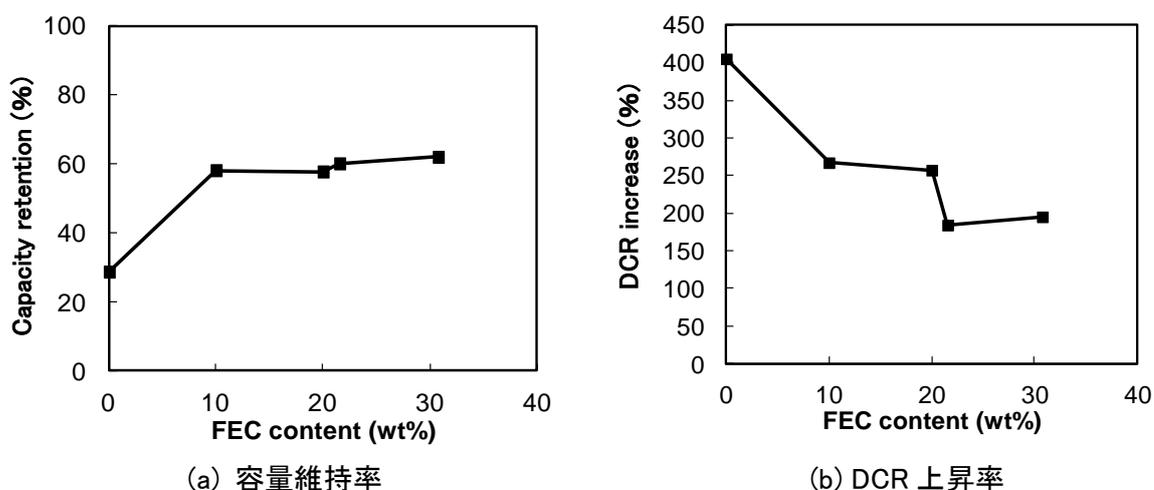
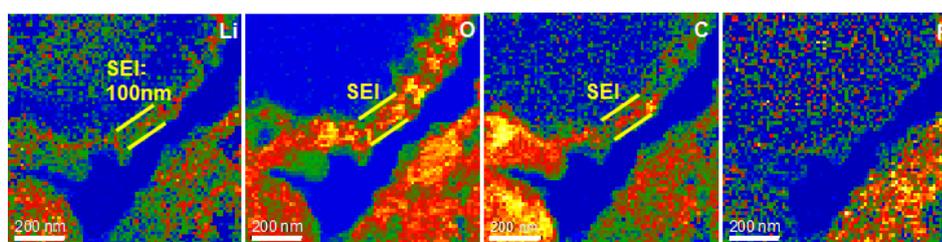
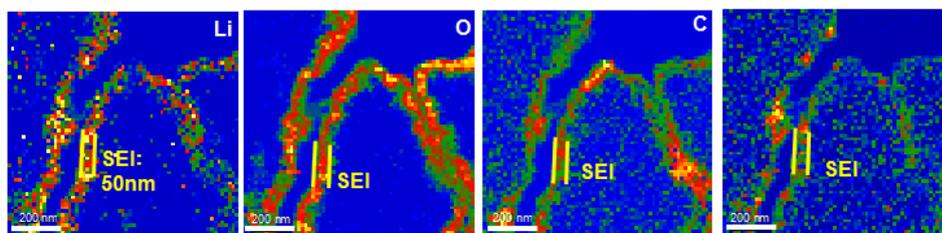


図 3.1.5-4 FEC 添加量と 500 サイクル後のセル特性



(a) FEC 添加無し電解液



(b) FEC10%添加電解液

図 3.1.5-5 サイクル後 STEM-EELS マッピング分析結果

(3) 正極・負極 電極構造の高エネルギー化(日立製作所、日立オートモティブシステムズ)

小型セルによる高容量正極及び高容量負極等の検討結果を受けて、実用電池レベルの大型セルにて電池性能や安全性能を実証するために大型セルの開発を行った。

(i) 30Ah 級ラミネートセルの開発(日立製作所)

セルのエネルギー密度 320Wh/kg を達成するため、高容量正極、高容量負極の適用及び厚膜電極仕様の検討を進めた。正極には酸化物 0.5wt%被覆したNi比率 80%正極、負極にはシリコン系負極混合黒鉛を用いて 30Ah 級ラミネートセルを作製した。その結果、エネルギー密度 320Wh/kg、サイクル特性として 100 サイクル後の容量維持率 90%が得られ、目標値を達成した。

(ii) 角形実用電池の開発(日立オートモティブシステムズ)

図 3.1.5-6 に示す角形実用電池を用いた電池性能評価を実施した。エネルギー密度向上のため、車載用 LIB の活物質として、最も高容量が見込まれるNi比率 80%正極と、天然黒鉛とシリコン系材料の混合負極について検討を進めた。寿命劣化の要因の一つが正極表面に生成するNiO や有機堆積物等による高抵抗化と推定された。その生成の原因が正極活物質表面不純物である LiOH と考えられたため、それを除去した正極活物質にて実用電池を作製して、電池試験を実施した。その結果を図 3.1.5-7 に示す。不純物を除去することにより、寿命特性が改善し、製品適用の見通しを得た。また、EV用途として必要な出力密度を確保するため、正極電極中の導電性発現機構に着目し、活物質比率、及び導電材炭素の種類と配合比率等の電極組成を最適化した。更に、安全性を確保するため負極上に絶縁材料を含んだ機能膜形成や、セルに過充電状態で適切に作動する電流遮断弁を採用した。その結果、電池性能の目標値(重量エネルギー密度 ≥ 200 Wh/kg, 出力密度 $\geq 1,500$ W/kg)と、安全性が両立した実用電池を実証した。最終的な性能としては図 3.1.5-7 に示すように電池容量約 40Ah、重量エネルギー密度 206Wh/kg, 出力密度 2,000W/kg となった。



図 3.1.5-6 実用電池の外観写真

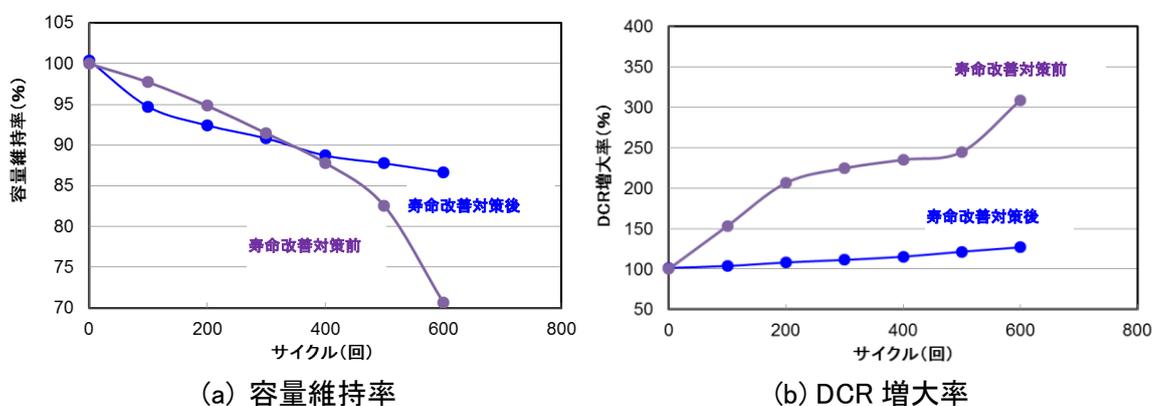
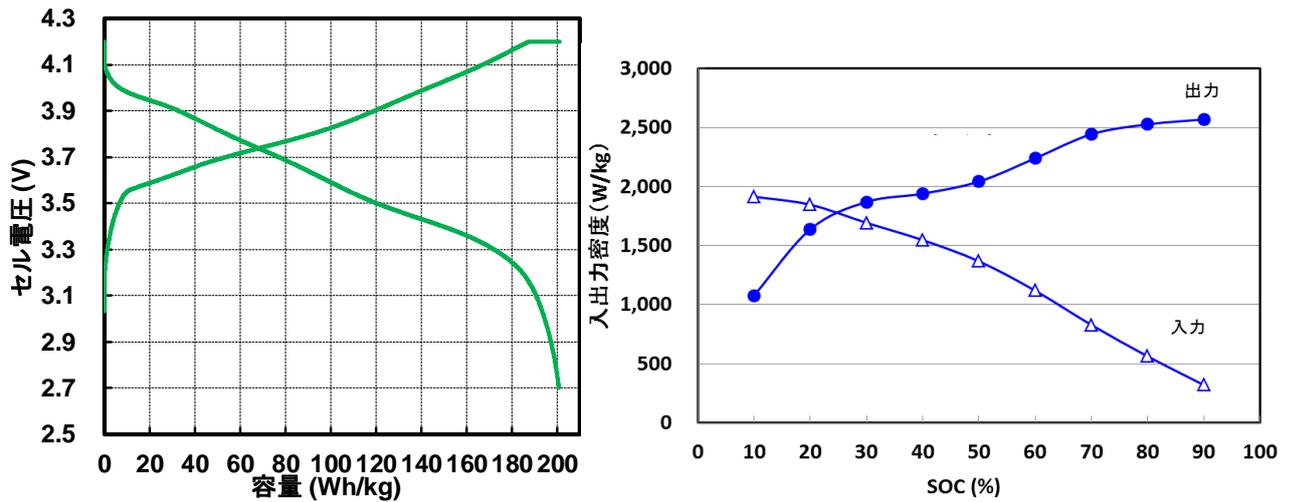


図 3.1.5-7 実用電池を用いた 50°C サイクル寿命試験



(a) 実用電池の充放電曲線

(b) 実用電池の入出力特性

図 3.1.5-7 実用電池の電池性能評価結果

今後、ラミネートセルで得られた結果を実用電池へと展開することにより、平成 33 年度頃にはパックで目標値を達成する目途を得た。

(4) 高密度化実装技術の開発(日立製作所、日立オートモティブシステムズ)

現状、製品化されている HEV パックは、パック容量 1.4kWh で約 30kg であるのに対して、EV パックは、24kWh で 300kg を超えるため、この重量増加は1充電当たりの走行距離に大きく影響する。そこで、パックを軽量化するための高密度実装化を検討した。既存の電池パックでは、電池状態(電圧、温度等)を検知するセルコントローラー(CC:Cell Controller)は、パック内部に複数の専用制御基板を設けて、各セルと有線接続にて電圧・温度等の計測を行っている。また、バッテリーコントローラー(BC:Battery Controller)は、これらの各 CC と有線接続され、集約されたデータを処理している。この複数の有線ケーブルが、軽量化の課題となっていた。また、パック構造においても、現状、製品化されているEVパックの、パック重量に対するセル重量の比率(パック中セル重量比)は、約 0.6 であることから、部品軽量化とセル固縛力の両立設計により、さらなる向上が見込めると考え以下の検討を実施した。

(i) セルコントローラー(セルコン)一体化

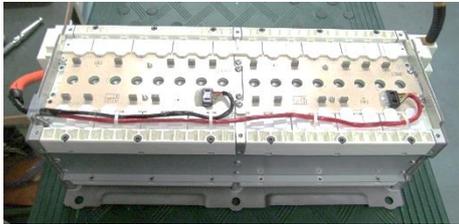
単セルそれぞれにそのデッドスペースを利用して設置可能な CC 及びセルコン一体化セルの開発と、これら複数 CC から電池状態を取得し、電池パック状態(充電状態等)を検知する BC との間の無線通信化を検討した。CC は単セル電圧 2.0V~4.2V で動作する回路とし、CC は BC より情報を要求する信号を受信した時のみ反射波を送信することで、低消費電力化を実現した(通信消費電流<0.5mA@1.8V)。さらに受信回路のノイズ耐性を強化して、受信感度を向上させ通信距離 2m を達成した。角型電池(セル)に搭載したセルコン一体化セルを試作し、BC との間で無線通信することを実証した。

(ii) パック軽量化

角形実用電池を用いて、電池パックの設計・試作を実施した。電池パックの低コスト化と軽量化を実現するため、セル保持構造を検討した。容積、質量、部品点数を評価項目として構造の絞り込みを実施した。まず、サイドプレートに強度をもたせて、その他の部品の重量を低減させ、さらに

外装筐体冷却を採用し、コールドプレートを削減することにより重量を大幅に削減させた。また、セルホルダーやインシュレーションプレート等の採用によりセル保持方法を簡素化した。これらの工夫によりパック中のセル重量比率0.8を達成した。新旧電池パックの特性と外観の比較を表 3.1.5-2 に示す。

表 3.1.5-2 電池パックの特性と外観

	従来品	最終開発品
エネルギー密度	80Wh/kg	160Wh/kg
セル重量比率	0.64	0.8
パック外観		

3. 1. 6 電極ナノコンポジット化による高性能全固体電池の研究開発(トヨタ自動車、豊田中央研究所)

本テーマでは、平成 24 年度～平成 28 年度の 5 年計画で、EV 用の全固体電池を開発した。

高イオン伝導度固体電解質、5V 級正極活物質とナノ粒子化技術、電極界面形成技術、電池化技術等の要素技術開発を進めながら、エネルギー密度 600Wh/L、出力密度 2,000W/L の目標性能を実証した。表 3.1.6-1 に開発成果と達成度を示す。

表 3.1.6-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
5V 級正極と固体電解質の界面抵抗低減技術開発	① 界面抵抗 $\leq 100 \Omega \text{ cm}^2$ ② ハーフセルで充放電容量 $\geq 2\text{mAh/cm}^2$	① 新開発の Li-P-B 系ガラス電解質を LNMO 正極にコートすることにより、LPS 硫化物固体電解質との界面抵抗 $150 \Omega \text{ cm}^2$ を確認。 また、LiCoPO ₄ 正極と新開発のガラスセラミック酸化物電解質のナノコンポジット正極で界面抵抗 $900 \Omega \text{ cm}^2$ を確認。 ② LiCoPO ₄ とガラス酸化物電解質のナノコンポジット正極を用いたセルで 2mAh/cm^2 の目付けに対し放電容量 1.5mAh/cm^2 を確認。	△
新規材料の開発	① 固体電解質の開発 イオン伝導度 $\geq 1\text{mS/cm}$ 、 大気中未反応 $\geq 400^\circ\text{C}$ ② シリコン系負極の開発 $\geq 2,100\text{mAh/g}$ @100 サイクル	① 25mS/cm と世界最高の Li イオン伝導度を有する Li-Si-P-S-Cl 硫化物系電解質を開発。 また、L-P-S 硫化物系電解質への窒素ドーピングで伝導度 1mS/cm と 20°C ・湿度 70% 大気中で反応生成ガス抑制 (H_2S 発生速度 $< 0.001\text{cm}^3/\text{min/g}$) を両立させた高安定性電解質を開発。 ② 30vol% ミクロ孔を導入したシリコン膜負極をスパッタ法で開発。また、全固体ハーフセルで、初期容量 2.1mAh/cm^2 ($3,000\text{mAh/g}$)、100 サイクル後の容量維持率 98% 以上を達成。	○
セル化プロセス技術の開発	① セル化プロセス低温化 プロセス温度 $< 500^\circ\text{C}$ 低温焼結した電解質のイオン伝導度 $\geq 10^{-4} \text{ S/cm}$ (酸化物) ② 構造化負極の応力緩和設計技術確立 ③ 活物質ナノコート技術 10nm 厚被覆率 $\geq 90\%$	① LLZ 粉末の焼結性を高めることにより、 400°C 熱処理での接合とイオン伝導度 $1 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ の LLZ 電解質層形成、酸化物全固体セル駆動を確認。 ② ポーラスシリコン負極と LLZ 電解質との界面応力解析が可能なシミュレーション技術確立。 ③ 転動流動方式によるナノコート技術改善で $10 \mu\text{m}$ 径の正極活物質に対し 10 nm 厚での被覆率 94% を達成。	◎
高性能全固体電池の実証	① 全固体電池のアドバンテージの提示 ② 酸化物全固体電池の実証 600Wh/L、2,000W/L	① 新開発の硫化物電解質を適用した全固体電池にて液系 LIB の 3 倍の高出力特性を実証。 ② 酸化物系コインセルにて 400°C プロセスで試作した LCO 及び NCM/LLZ/金属 Li セルで 600Wh/L から算出した 2mAh/cm^2 充放電、2000W/L から算出した電解質伝導度 10^{-4} S/cm 、電極体抵抗 $100 \Omega \text{ cm}^2$ を確認。	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 5V 級正極と固体電解質の界面抵抗低減技術開発

固体電解質は化学的安定性が高いため、5V 級正極を適用し高エネルギー密度化することが可能であると考えられる。しかし、5V 級活物質と固体電解質との界面で高抵抗な副反応物が生成する課題があることから、その対策技術を検討した。具体的には、5V 級のニッケルマンガンスピネル正極 (LNMO) にコーティング層を設けて LPS 硫化物電解質との界面反応を抑制する技術及び 5V 級のリン酸コバルトリチウム正極 (LCP) と酸化物ガラス電解質のナノコンポジット化を検討した。

LNMO 正極のコーティング層としては液相プロセスで成膜の実績のあるリチウム酸化物ガラス材料 9 種類を検討した。コーティング層の融着性に係る軟化温度、耐高電圧性の指標である耐酸化性、イオン伝導度を評価した結果、これらの物性バランスに最も優れる Li-P-B 系の新規ガラス電解質のコーティングが有効であることが明らかとなった。LPS 硫化物固体電解質と組合せたハーフセルの評価結果を図 3.1.6-1 に示すが、ほぼ LNMO 正極の理論容量に近い放電容量が得られ、また、インピーダンス解析の結果は目標値の $100 \Omega \text{cm}^2$ には若干未達であるものの、 $150 \Omega \text{cm}^2$ と低い界面抵抗が得られている。

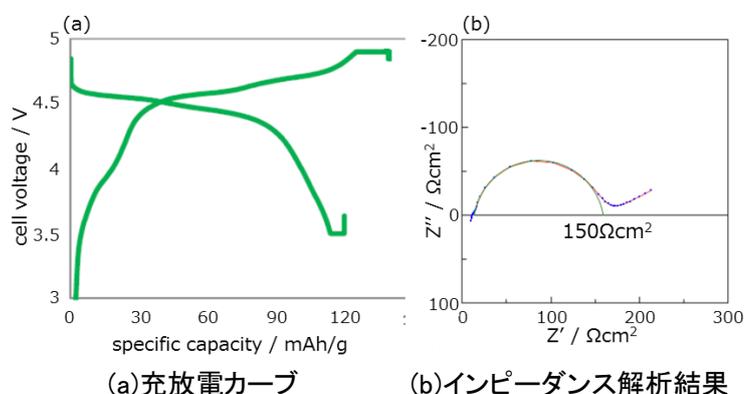


図 3.1.6-1 ガラス電解質をコートした LNMO 正極ハーフセルの評価結果

LCP 正極と酸化物ガラス電解質のナノコンポジット化はメカノケミカル方式で検討した。電子伝導性に乏しい LCP 正極は 100nm 級の微粒子を用い、LCP 正極との界面反応を抑制可能な Li 酸化物ガラスを新規に開発した。これらをメカノケミカル方式で合成したナノコンポジット正極体を用いたハーフセルの評価結果を図 3.1.6-2 に示すが、正極体の界面抵抗が約 $900 \Omega \text{cm}^2$ とまだ高いため、 80°C ではあるが、充電終止電圧 5V の条件で 1.5mAh/cm^2 、 100mAh/g の放電容量が得られた。

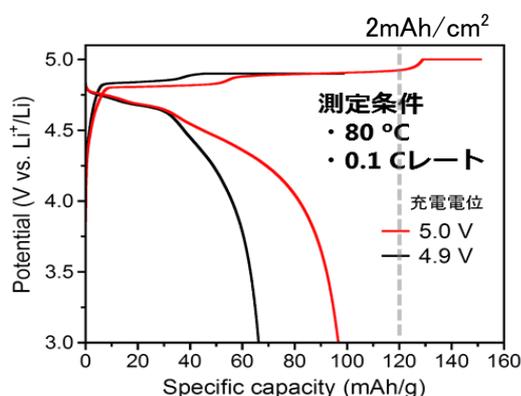


図 3.1.6-2 LCP ナノコンポジット正極を用いたハーフセルの充放電曲線

(2) 新規材料の開発

(i) 高イオン伝導度の固体電解質の開発

2種類の高イオン伝導度を有する固体電解質を開発した。開発品のイオン伝導度の温度依存性を図 3.1.6-3 に示す。開発した固体電解質 $\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$ はゲルマニウム等の高コストな元素を含まないにも拘らず、室温において 25mS/cm という世界最高のリチウムイオン伝導度を示した。また、 $\text{Li}_{9.6}\text{P}_3\text{S}_{12}$ は負極側での電気化学安定性(耐還元性)と、高イオン伝導度 1.2mS/cm を兼ね備える材料であることを見出した。

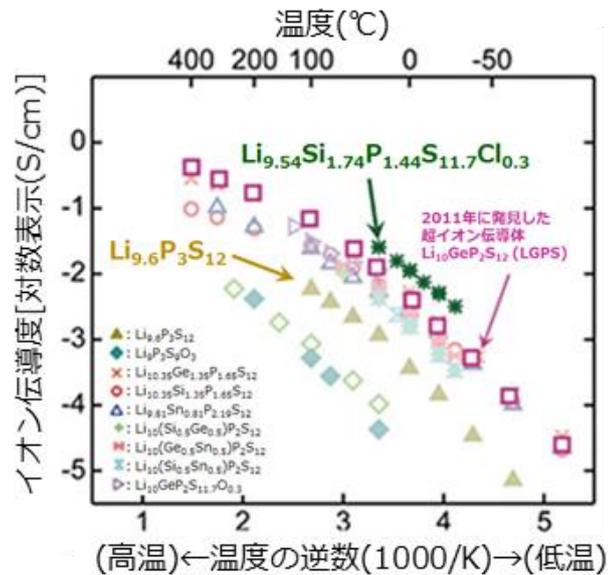


図 3.1.6-3 固体電解質のイオン伝導度の温度依存性

(ii) 耐水性固体電解質の開発

高イオン伝導度と耐水性を兼ね備えた窒素置換型の LPS 硫化物固体電解質を開発した。図 3.1.6-4 に示すように、開発した電解質 $50\text{Li}_2\text{S}\cdot 30\text{P}_2\text{S}_5\cdot 20\text{Li}_3\text{N}$ は 20℃、湿度 70%の大気中に暴露した際の硫化水素発生速度が $0.001\text{cm}^3/\text{min}/\text{g}$ 以下であり、窒素置換しない LPS 電解質に比べ大幅に抑制されていることが確認できた。また同時に、イオン導電率も室温で 1mS/cm のイオン伝導度を示すことが確認された。

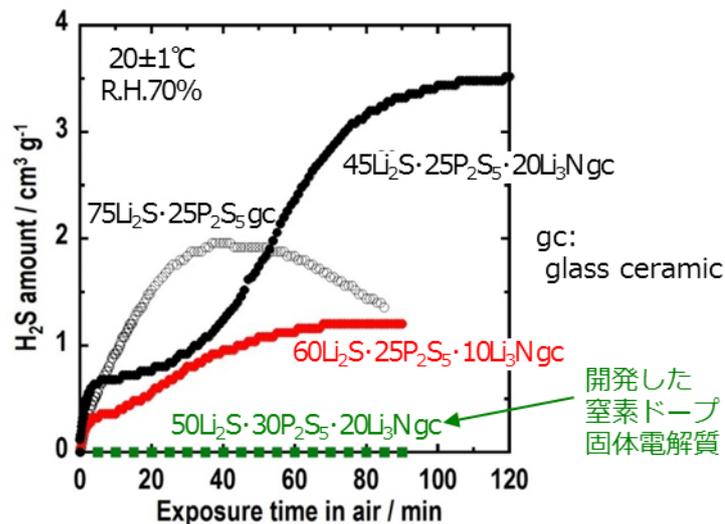


図 3.1.6-4 各種 LPS 固体電解質の硫化水素発生量

(iii) 高容量シリコン系負極開発

純金属のシリコン負極は充放電時に 3 倍以上の体積変化があり、その時に発生する応力で電極構造が破壊されサイクル耐久性が低くなる課題を解決するため、シリコン負極層にマイクロ孔を導入した多孔体とすることで充放電時の応力を緩和し、サイクル耐久性の改善を試みた。

製膜条件を最適化したスパッタリング法により、マイクロ孔を 30vol%内包したシリコン負極を試作し、ハーフセルでサイクル耐久性を評価した。その結果を図 3.1.6-5 に示すが、初期充放電時の放電容量は 2.1mAh/cm^2 (比容量 $3,000\text{mAh/g}$) を示しており、また、100 サイクルの充放電負荷後の放電容量維持率も 98%以上と非常に安定したサイクル特性を示すことが確認できた。

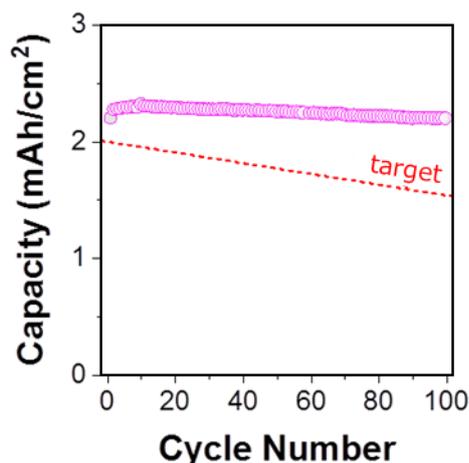


図 3.1.6-5 30vol%マイクロ孔内包シリコン膜負極のハーフセルサイクル特性

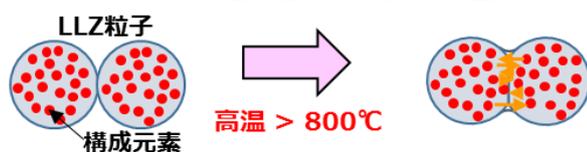
(3) セル化プロセス技術の開発

(i) 酸化物系全固体電池のセル化プロセスの低温化

低温で LLZ 酸化物電解質層や合剤電極の緻密化を実現するためには、粒子間の焼結を促進する必要があり、そのためには粒子構成元素の相互拡散を促進させることが有効である。そこで、図 3.1.6-6 に示すように、LLZ を拡散性の高い元素を含む組成に改良した。

改良した LLZ 電解質を用いて約 400°C の低温プロセスで酸化物全固体セル構造を作製し、SEM/EDX により断面構造を解析した結果を図 3.1.6-7 に示すが、固体電解質層と正極層とが接合し、緻密化している。また、LLZ 焼結体のインピーダンス測定を行った結果、 800°C で焼結した場合とほぼ同等の $1 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ のイオン伝導度であることを確認した。

【従来のLLZ接合法】 高温で粒子構成元素の相互拡散により接合



【新技術】 拡散性の高い元素を含む組成として低温にて接合

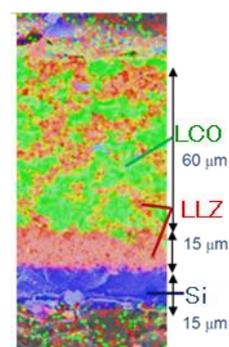
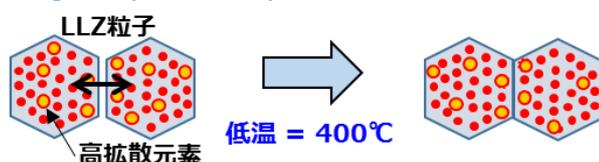


図 3.1.6-6 低温焼結メカニズムの概念図

図 3.1.6-7 低温セルの SEM/EDX 像

(4) 高性能全固体電池の実証

(i) 全固体電池のアドバンテージの提示

前記した新開発の $\text{Li}_{9.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$ 高イオン伝導度固体電解質を用いた全固体電池を試作し、その優れた特性を実証した。

図 3.1.6-8 に示すように、液系 LIB では 25°C、60C 放電時の容量が 30mAh/g 以下まで低下するが、全固体電池では 25°C、60C 放電時に 85mAh/g の容量を示しており、出力特性も液系 LIB の 3 倍以上となっている。また、全固体電池は 100°C でも安定した電池駆動が可能であり、1,500C という超高レートでの放電が可能である。

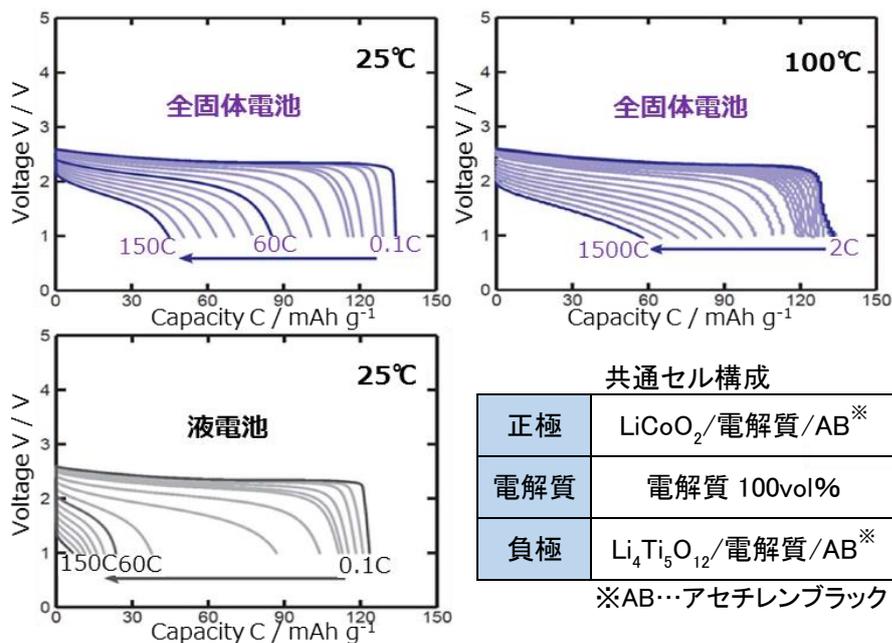


図 3.1.6-8 全固体電池と液系 LIB の放電カーブの比較

また、図 3.1.6-9 に 100°C、18C 充放電条件でのサイクル試験結果を示すが、500 サイクル後も容量は初期の 70% 以上であり、そのクーロン効率ほぼ 100% であることから、高温での繰り返し動作においても高い安定性を示している。

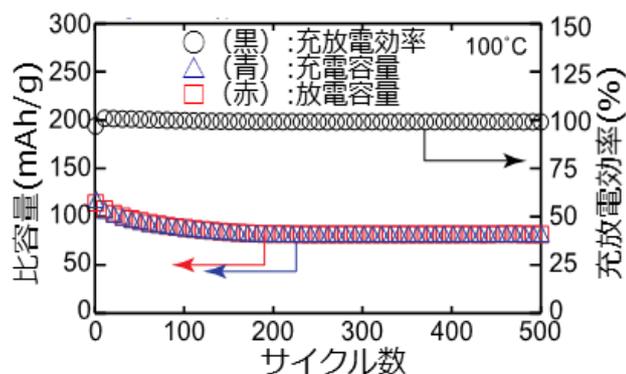
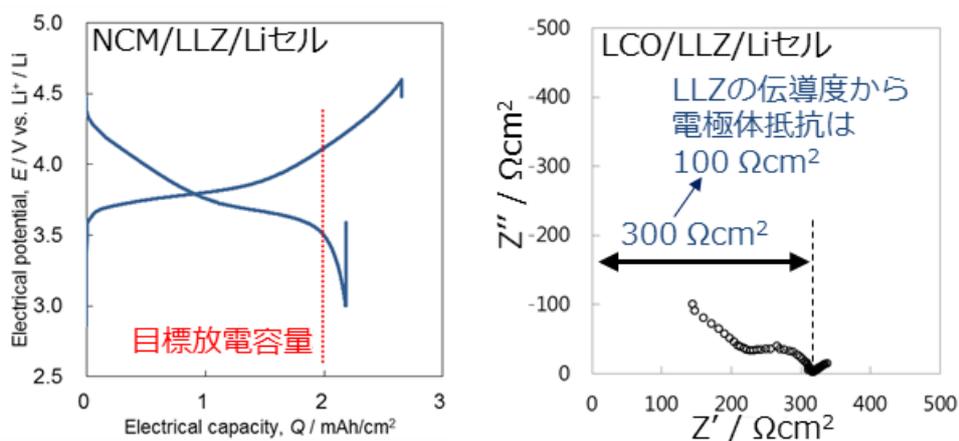


図 3.1.6-9 100°Cでの充放電サイクル試験結果

(ii) 酸化物系全固体電池の性能実証

前記した 400°Cでのセル化プロセスを適用し、酸化物系全固体電池の作製・評価を行った。正極に NCM 及び LCO、固体電解質に LLZ、負極に金属 Li を用いた。得られた充放電特性とインピーダンス測定結果を図 3.1.6-10 に示す。目標としている 600Wh/L の指標となる放電容量 2mAh/cm^2 を超える 2.2mAh/cm^2 の放電容量が得られた。また、セルのインピーダンスは $300\ \Omega\text{cm}^2$ となっているが、LLZ の伝導度を考慮すると、正負両極の抵抗合計は $100\ \Omega\text{cm}^2$ であり、出力密度目標 $2,000\text{W/L}$ の目安となる抵抗 $100\ \Omega\text{cm}^2$ が得られたと考える。



(a)充放電特性結果

(b)インピーダンス測定結果

図 3.1.6-10 低温接合したセルの特性

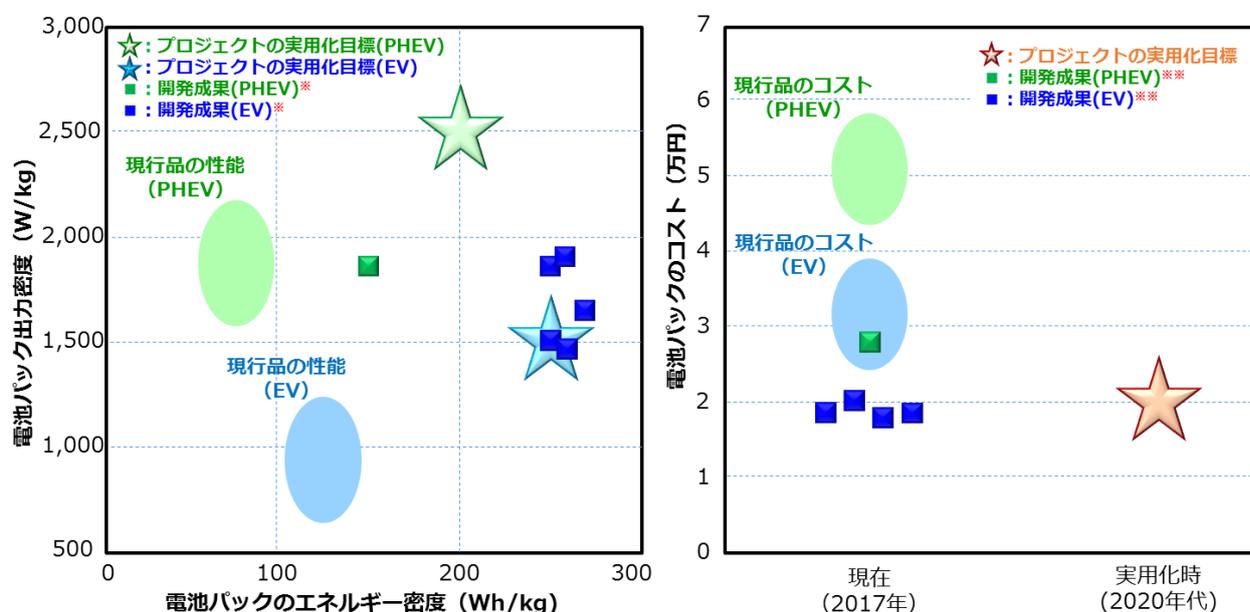
3. 1. 7 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の成果のまとめ

本プロジェクトの目標は、2020年代にEV用電池パックで重量エネルギー密度 250Wh/kg、出力密度 1,500W/kg、PHEV用電池パックで重量エネルギー密度 200Wh/kg、出力密度 2,000W/kg かつ 2万円/kWhの電池パックを実用化することである。

各実施者の本プロジェクトの成果が反映された電池パックの重量エネルギー密度、出力密度及びコストの達成見込みを図 3.1.7-1 に示す(全固体電池を除く)。エネルギー密度については、現行品(2017年時点)から約 1.5~2 倍の大幅な重量エネルギー密度の向上が見込まれる。また、コストについても、現行品に比べて約 2/3~1/2 の低減が見込まれる。

今後、各実施者にて量産化に向けた開発が進められることになっており、製品化段階では市場競争力を有するものになることが想定される。

なお、全固体電池は小型セルでの実証段階であり、製品化段階における電池パックの性能・コストを試算する状況ではないが、例えば、低コスト化に大きく寄与する Ge フリーの固体電解質等の開発に成功しており、今後、セルの量産プロセス開発が確立されれば、液系 LIB と比較して高安全性や高出力性に優れるため、市場で有利なポジションを獲得できると考える。



※ NEDOが本プロジェクト終了時点(2016年3月)におけるセルのエネルギー密度にパック係数を乗じて求めた。なお、電池パックの設計思想は各実施者で異なるため、パック係数(電池パックの重量に占めるセル重量の割合)は実施者個別の値を採用した。
 ※※ 各実施者が成果を基に、個別の生産規模に基づいて量産プロセス等を想定して試算した製造コスト。

図 3.1.7-1 本プロジェクトの成果が反映した電池パックのエネルギー密度とコスト

3. 2 研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果

3. 2. 1 港湾設備を中心とした産業用機械の EV/HEV を実現する蓄電池の実用化開発 (三井造船、エレクセル、三井造船システム技研)

本テーマは、平成 24 年度から平成 26 年度までの 3 年計画で、港湾コンテナターミナルのヤードクレーン及びトラクターヘッドへの LIB の応用を目的として、リン酸鉄リチウムを正極材に用いた長寿命・急速充放電に特化した大型電池システムを開発した。

表 3.2.1-1 に開発成果と達成度を示す。

表 3.2.1-1 開発成果と達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度
ハイレート電池セルの開発	<ul style="list-style-type: none"> リン酸鉄リチウム系正極を用いた高安全・6C~20C レートでの急速充放電可能なセルの開発 6C、SOC 10-90%、5,000 サイクル及び 20C、SOC 40-60%、250,000 サイクルで容量保持率 80%以上 	<ul style="list-style-type: none"> 二次粒子径としてサブミクロンオーダーまで小粒径化し、炭素被覆を行ったハイレート充放電を可能とするリン酸鉄リチウム正極材料を開発。 開発した正極材料を用いた 20Ah ラミネートセルを開発し、20C 放電では 0.2C 放電に対する放電保持率が 82%、10C 充電では 0.2C 充電に対する充電保持率が 92%であることを確認。 6C、SOC 10-90%、10,000 サイクルで容量維持率が 90%及び 20C、SOC 40-60%、250,000 サイクルで容量保持率が 82%であることを確認。 過充電及び釘刺試験により、セルの安全性を確認。 	○
電池モジュールの開発	<ul style="list-style-type: none"> 安全性を確保し、塩水噴霧に耐えられるモジュール技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 耐塩水性の高い密閉構造としつつ、急速充放電による発熱を効率的に放熱する構造を持った 10kWh 電池モジュールを開発。 UN3480 安全性試験及び JIS Z 2371 塩水噴霧試験により、開発モジュールの安全性と耐塩水噴霧性を確認。 	○
電池システム (BMS 等) の開発	<ul style="list-style-type: none"> 高電圧・大電流に対応する電池モジュールを制御可能な BMS の開発。 寿命評価技術及びセルバランス技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 高電圧・大電流を要するヤードクレーン等に適用するため、最大 20 個の 10kWh 電池モジュールを制御可能な BMS を開発。 リン酸鉄 LIB の特性に応じた劣化予測式とセルバランスアルゴリズムを構築。 	○
本開発電池モジュールの応用先の検討	<ul style="list-style-type: none"> 電動トラクターヘッド、ハイブリッドヤードクレーン用電池パック仕様の決定 	<ul style="list-style-type: none"> 負荷計測及び電池シミュレーションにより、電動トラクターヘッドでは 44.5kWh の電池パックの適用により 86%のエネルギーコスト削減効果を確認。 ハイブリッドヤードクレーンでは 16.7kWh の電池パックの適用により 60%のエネルギーコスト削減効果を確認。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) ハイレート電池セルの開発

開発した 5Ah セル及び 20Ah セルの外観を図 3.2.1-1 に示す。

これらのセルに使用するリン酸鉄リチウム正極については、小粒径化(二次粒子径としてサブマイクロンオーダー)と炭素被覆を行うことにより、充放電末期におけるハイレート時の分極を抑制した。

また、集電箔については、表面粗さの異なる種々の集電箔を評価し、従来品と比較してセル抵抗が約 1/2 となるように最適化した。



図 3.2.1-1 開発セルの外観図

20Ah セルの 20C 放電と 10C 充電までの充放電特性を図 3.2.1-2 に示すが、0.2C 放電に対する 20C 放電保持率は 82%、0.2C 充電に対する 10C 充電保持率は 92%が得られた。

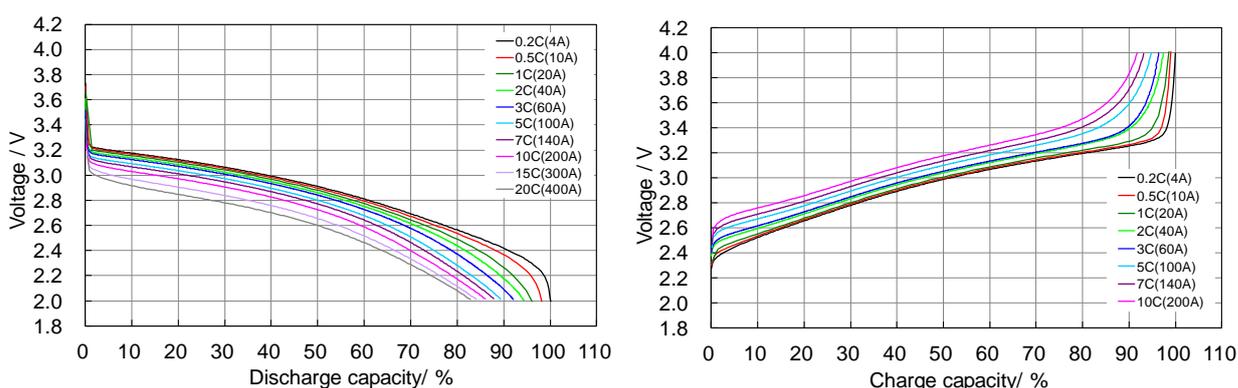


図 3.2.1-2 25°Cでの電池モジュールの充放電試験結果

20Ah セルでトラクターヘッドでの使用を想定した 6C 充放電サイクル試験の結果を図 3.2.1-3 に示すが、5,000 サイクル後の容量維持率が 93%、10,000 サイクル後の容量維持率が 90%となり、目標とした 5,000 サイクル後の容量維持率 80%を上回ることが確認された。

また、20Ah セルでヤードクレーンでの使用を想定した試験条件により充放電サイクル試験を実施した結果を図 3.2.1-4 に示すが、ヤードクレーン 1 回荷役の高負荷条件である 20C で 4 秒、さらに 15C で 10 秒の充放電サイクルで、25 万サイクル後の容量維持率が 82%であることが確認された。

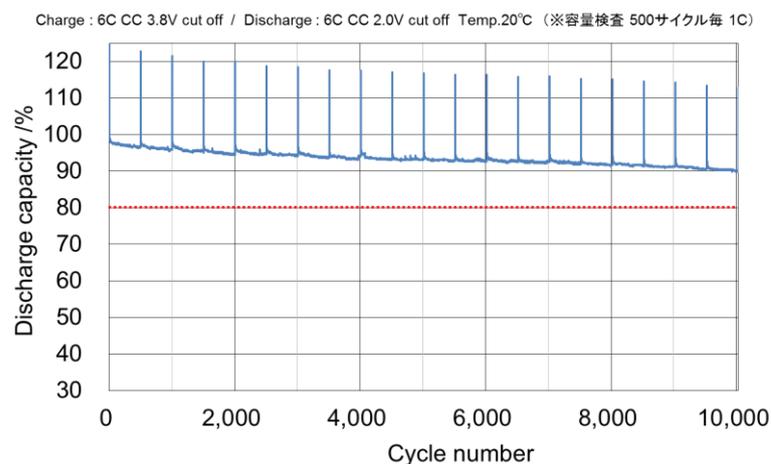


図 3.2.1-3 20Ah セルのトラクターヘッド使用を想定したサイクル試験結果

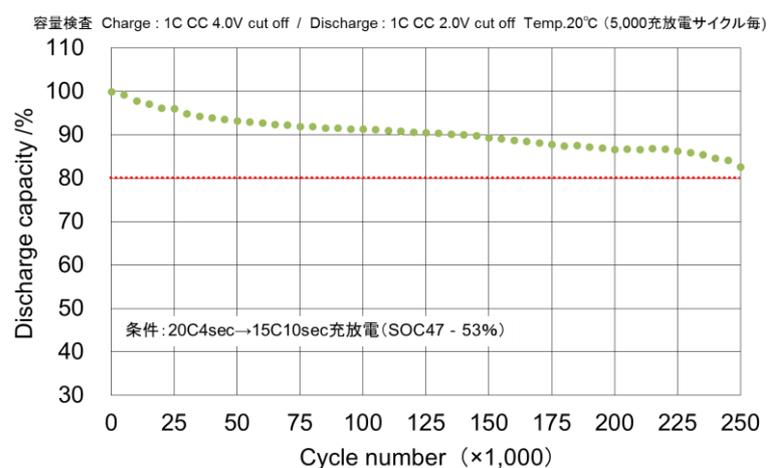


図 3.2.1-4 20Ah セルのヤードクレーンを想定したサイクル試験結果

5Ah 及び 20Ah セルについて、過充電試験及び釘刺し試験を実施し、安全性を評価した。過充電試験は満充電から 3C 12V CC-CV 充電を行い、釘刺し試験は 5Ah セルでは ϕ 3mm の金属釘で、20Ah セルでは ϕ 5mm の金属釘で、満充電状態から一気に貫通させた。20Ah セルの過充電試験では、充電開始後約 8 分程度で電圧が 12V に達し、この間セル膨張とともにセル温度が最高 78°C まで上昇したが、破裂・発火は無かった。また、20Ah セルの釘刺し試験では、金属釘貫通後、セル膨張は確認されるものの発熱(最高 107°C)のみが観察された。

(2) 電池モジュールの開発

開発する電池モジュールは、内部に配置される電池セルに対して大電流で充放電を行うため、大きな発熱が予想された。また、港湾コンテナターミナルでの使用を想定しているため、モジュール内部への塩水や塵埃の侵入を防ぎ、内部部品の劣化を防止可能な閉じた構造とする必要があった。そのため、閉じた構造であってもモジュール内のセル温度上昇を低減する放熱と構造設計を、コスト面も考慮して実施した。

図 3.2.1-5 に開発した 20Ah セル 12 直列構成の 10kWh 電池モジュールの外観及び構造を示す。アルミのヒートシンクを筐体後方に取り付け、これに熱が伝導するよう放熱板を用いた。また、セルの熱が放熱材に伝わるように放熱板をセルで挟み込み、さらに樹脂製のセルケースで覆う構造とした。

図 3.2.1-6 に、この対策の有無による温度上昇の低減効果を示す。対策無しの場合と比較して約30%の温度上昇を低減している。

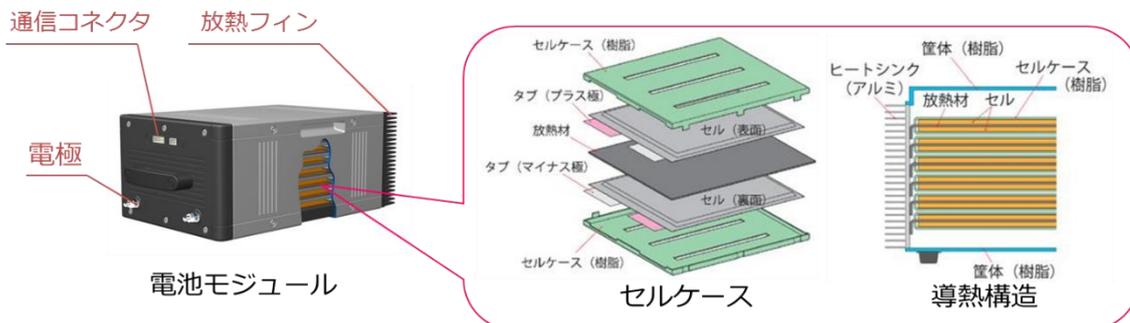


図 3.2.1-5 電池モジュールの外観ならびに構造

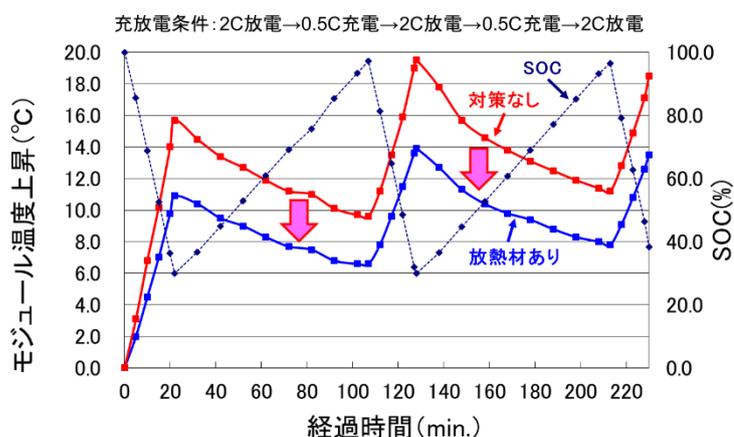


図 3.2.1-6 電池モジュールの温度上昇対策の効果

本 10kWh 電池モジュールについて、充放電レートを 3C~16C に設定して充放電試験を行った結果を図 3.2.1-7 に示すが、16C の充放電において 80%以上の容量を確保できた。

また、10kWh 電池モジュールで、UN3480 規格に基づいて強制放電、外部短絡、圧壊試験等を実施し、安全性に問題ないことを確認するとともに、JIS Z 2371 塩水噴霧試験により耐塩水性を確認した。

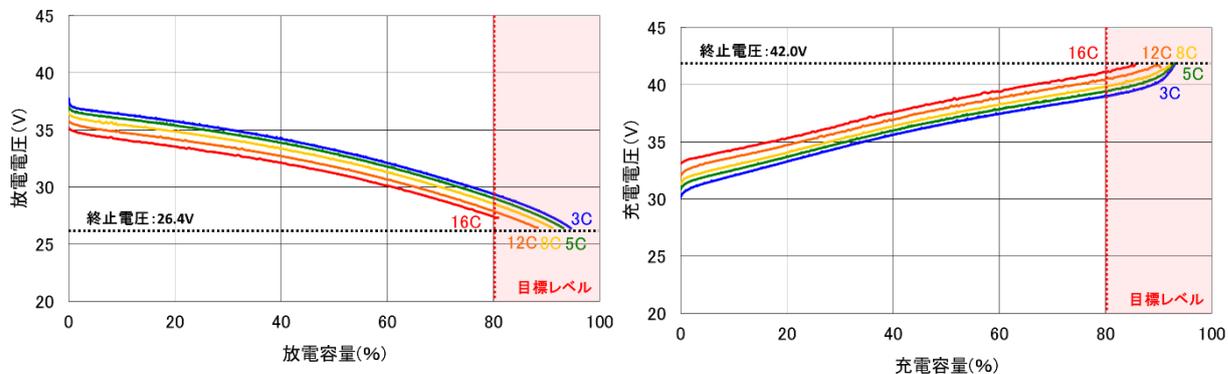


図 3.2.1-7 電池モジュールの充放電試験結果(at 20°C)

(3) 電池システムの開発

高電圧・大容量を要するヤードクレーンやトラクターヘッドに対応するため、10kWh 電池モジュールを最大 20 モジュール連結して制御可能な BMS(Battery Management System)を開発した。BMS 駆動電力を外部電力から供給できない場合も想定し、BMS が制御している電池モジュールのエネルギーを利用して駆動できるように、新たに SiC を使用し、DC300V～500V の高電圧に対応した最大効率 88%の DC-DC コンバータを開発し、BMS に搭載した。

また、電池制御の際に劣化に応じた満容量を正確に把握するため、開発したセルの特性に合わせた劣化予測式を開発し、その劣化予測のアルゴリズムを BMS に搭載した。劣化予測式は容量低下率で表し、保存劣化とサイクル劣化、それらに掛け合わせる保存劣化係数とサイクル劣化係数により定義した。各劣化係数は、SOC、セル電圧、温度の関数となっており、パラメータは実際のセルの劣化試験データを用いて求めた。図 3.2.1-8 に劣化予測式によって求めた容量低下率の予測値と実測値を示すが、予測した容量劣化率は実測値に対して 1%程度の範囲内となっており、精度良く予測ができることを確認した。

$$\text{容量低下率(\%)} C_F = C_{F,s} + C_{F,c} = k_s \times t^{0.5} + k_c \times \text{cap}^{0.5}$$

$C_{F,s}$: 保存劣化による容量低下率(%) $C_{F,c}$: サイクル劣化による容量低下率(%)

t : 時間(sec) cap : 充放電電流量(Ah)

k_s : 保存劣化係数 k_c : サイクル劣化係数

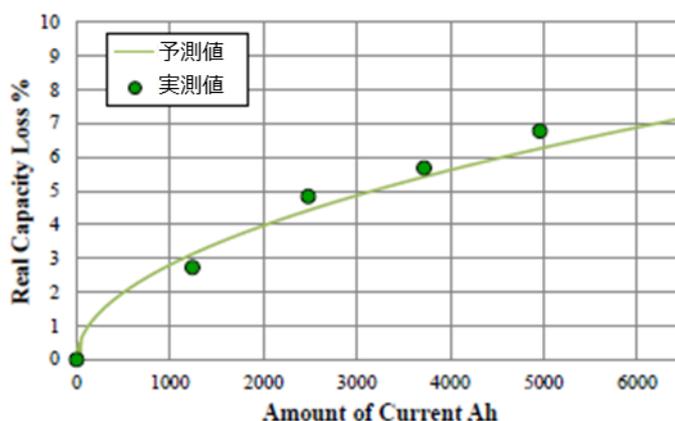


図 3.2.1-8 容量低下率の予測値と実測値

さらに、開発したセルの電圧がフラットな領域が多いことから、バランス動作条件を規定したセルバランスアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを BMS に搭載し、10kWh 電池モジュールを実負荷に接続し、セルバランス動作を評価した。負荷パターンは、SOC 50～80%の範囲で 2C 放電を 9 分、5C 放電を 3.6 分とするサイクルとした。0～200 サイクルまではセルバランスを動作させずにバランスを悪化させ、その後 201～400 サイクルまでセルバランスを動作させた。350 サイクルの時点でバランス動作を行う条件を設定変更した。図 3.2.1-9 にサイクル毎のモジュール内の最大・最小セル電圧差と最大・最小の SOC 差の推移を示すが、バランス動作がない状態ではサイクル数が進むと電圧差、SOC 差とも増加する傾向が見られるが、バランス動作を有効にするといずれも減少し、SOC 差で 2%程度ばらつきを抑制できることを確認した。

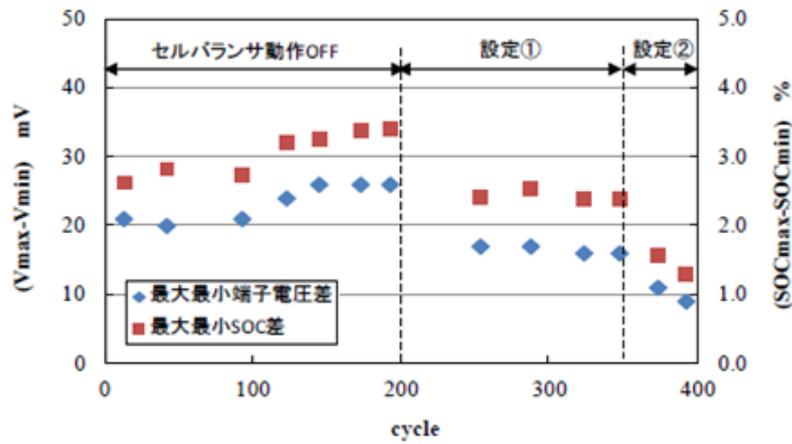


図 3.2.1-9 最大・最小電圧差及び最大最小 SOC 差の推移

図 3.2.1-10 に示すヤードクレーンの模擬試験装置を製作し、10kWh 電池モジュールを接続し性能評価を行った。図 3.2.1-11 に電池モジュールの挙動を示すが、放電では最大 20C、充電では最大 12C のハイレートで電池システムが正常に動作することが確認された。

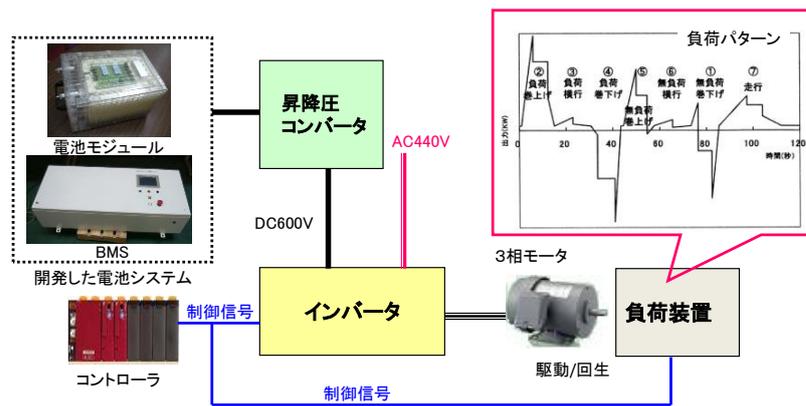


図 3.2.1-10 ヤードクレーン模擬試験装置の構成

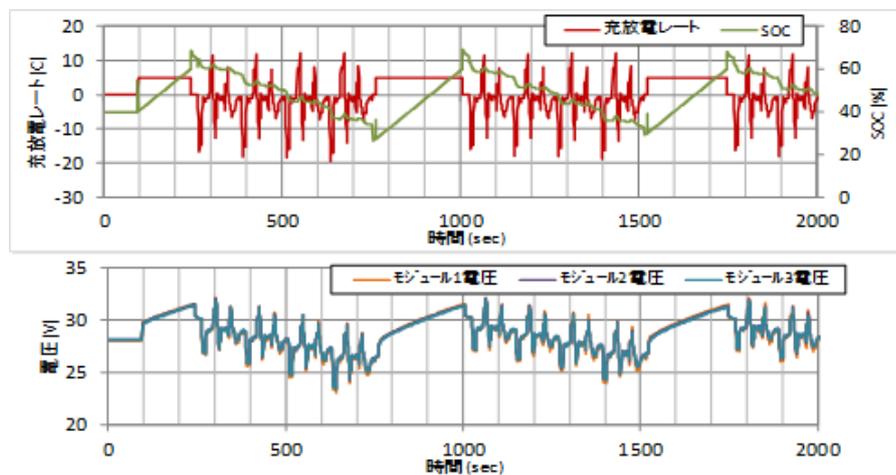


図 3.2.1-11 試験時の 10kWh 電池モジュールの挙動

(4) 応用先の検討

実際に稼働しているヤードクレーンとトラクターヘッドの実負荷データと開発したセルの充放電特性を用いたシミュレーションモデルを構築し、電池システムの必要容量とシステム構成、必要となる充放電レート及び省エネ効果を推定した。その結果を表 3.2.1-2 に示すが、ヤードクレーンでは、50kW 小型発電機とのハイブリッド構成で 16.7kWh の電池システムが必要であり、現行のエンジン型のヤードクレーンに比べ、60%省エネ効果があることが確認された。また、トラクターヘッドでは、電動化に 44.5kWh の電池システムが必要で、86%省エネ効果があることが確認された。

また、図 3.2.1-12 にヤードクレーン用途の電池システムの充放電レート及び SOC の推移を示すが、放電レートは最大 20C、充電レートは 12C であり、SOC は 45~50% で推移することが分かった。

表 3.2.1-2 ヤードクレーンとトラクターヘッドでの機器構成と省エネ効果

用途	機器構成	必要な充放電レート	省エネ効果
ヤードクレーン	ハイブリッド 電池システム: 16.7kWh 小型発電機: 50kW	充電: 最大 12C 放電: 最大 20C	現エンジン型より 燃料・電気代: 約 60%削減 現ハイブリッド型より 燃料・電気代: 約 30%削減
トラクターヘッド	電動 電池システム: 44.5kWh 頻繁充電 サポート車利用(充電中にサポートする予備車両)	充電: 最大 2C 放電: 最大 5.7C	現エンジン車より CO2 排出量: 76%削減 燃料・電気代: 86%削減 トータルコスト: 同等

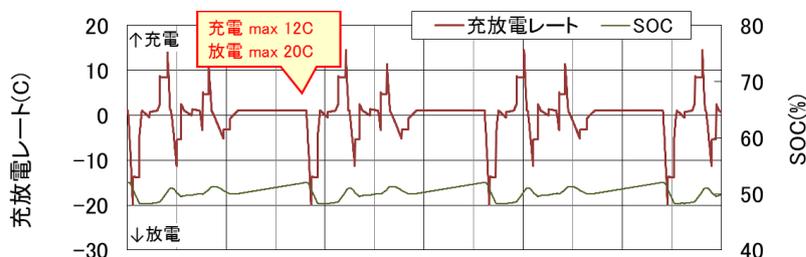


図 3.2.1-12 ヤードクレーン用途の電池システムの挙動

3.3 研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の成果

3.3.1 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発(日本自動車研究所、産業技術総合研究所)

本テーマは、平成 27 年度から平成 28 年度までの 2 年間で車載用 LIB の国際規格・基準に反映される安全性評価法及び寿命試験法の開発に取り組んだ。本テーマの開発成果と達成度を表 3.3.1-1 に示す。

なお、検証データの取得には、現在市販されている EV・PHEV 7 車種を含む LIB を用いており、電池形状(ラミネート形、角形、円筒形)や正極材料(LMO、NCM、NCA)等の違いにも対応できることを確認している。

表 3.3.1-1 開発成果と達成度

開発項目		最終目標	成果	達成度
安全性試験法の開発	内部短絡試験法の開発	<ul style="list-style-type: none"> リファレンスとなる FISC の検証データ取得 代替試験法の検証データ取得 形態の異なる内部短絡部の発熱挙動解析 	<ul style="list-style-type: none"> FISC 代替試験法として先端 Ni チップ付きセラミック釘刺法の可能性が高いことを確認。 セラミック釘刺は釘の固定を解除する新規方式を開発し、事象、短絡層数で FISC と同等となることを確認。 シミュレーションで FISC と釘刺侵入過程の熱発生メカニズムを明らかにし、FISC の単層短絡と同程度の発熱量となる釘刺し試験の短絡層数を導出。 	◎
	熱連鎖試験法の開発	<ul style="list-style-type: none"> 各手法の再現性確認及び発熱量把握 熱暴走到達に必要なヒーター熱量を一般化する為、セル体積との関係についてシミュレーション含めて検証 	<ul style="list-style-type: none"> 過充電、釘刺し、ヒーター加熱について、セルを熱暴走させるために必要な熱量とセル自体の有する熱量を算出し、過剰な熱量追加がない釘刺し、ヒーター加熱を 1 次選定。 各種手法を比較し、ヒーター加熱法が最も汎用性・再現性が高いことを確認。 ヒーター加熱による熱暴走起点作成に必要な熱量を規定するため、シミュレーションでセルの大きさに対する必要な熱量を導出。 ヒーター加熱法を実際に電池パックで実証し、1 セル起点の熱暴走を確認。 	○
寿命試験法の検証	単セル寿命試験法の検証	<ul style="list-style-type: none"> 寿命試験法の妥当性検証と不明確な点の改定提案 	<ul style="list-style-type: none"> 実車両搭載電池を用いて IEC 試験法の妥当性を明確化。 保存試験の寿命予測に 0.75 乗則の有用性を確認。 IEC 試験法の不明確点であった上限電圧及び休止条件を明確化し、IEC62660-1 の改訂審議で提案。 	◎
	組電池試験法の検証	<ul style="list-style-type: none"> 単セルと組電池試験の差異明確化と寿命試験によるモジュールと単セルの差異検証 	<ul style="list-style-type: none"> 単セル試験による組電池試験の代用性を確認。 市販 EV において劣化ばらつきの主要因が温度であることを明確化。 	○
	次世代 LIB 電池セルの寿命評価と解析技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> 電池劣化評価手法開発：劣化解析手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 負極に Sn 系及び Si 系材料を含有する小型セルで、現行車載用単セルとは異なる劣化メカニズムの可能性を確認。 NMR や XPS 測定劣化メカニズム解析(特に、次世代負極材料)への有用性を確認。 次世代材料の基礎物性(電気化学特性、物性及び熱特性)を把握。 	○

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

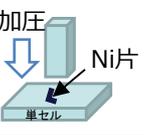
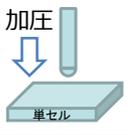
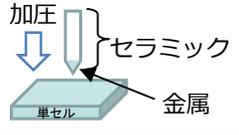
本テーマにおける主要な開発成果について以下に述べる。

(1) 安全性試験法の開発

(i) 内部短絡試験法の開発

保護機能では防げない異物混入による内部短絡を模擬した単セルによる内部短絡試験法について、IEC 62660-3(単セル安全要件)では、日本提案の JIS C 8712 試験法に準拠したセル内に Ni チップを入れて外部から加圧し強制的に内部で短絡を発生させる強制内部短絡(FISC)試験が規定されている。しかし、本試験は技術面及び安全面から実施が難しい場合があり、代替試験として Blunt Rod 試験、先端 Ni 片付きセラミック釘刺試験が提案されている。Blunt Rod 試験は先端丸釘で電池の外装を押すことで、先端 Ni 片付きセラミック釘刺試験は先端の Ni を電池外装から刺すことでそれぞれ短絡を発生させる方法である。各試験の概要を表 3.3.1-2 に示す。

表 3.3.1-2 内部短絡試験の概要

試験項目	強制内部短絡(FISC)	Blunt Rod	セラミック釘刺
			
参照規格	IEC 62660-3	—	—
短絡方法	Ni 片+加圧治具により加圧	ロッドで加圧	加圧、先端金属としたセラミック釘挿入
終了条件	設定した電圧降下検出の時点で加圧治具を停止し、30 秒後に加圧を開放。電圧降下確認から 1 時間観察。	設定した電圧降下を検出時点で加圧治具の下降を停止する。その後 1 時間観察。	設定の電圧降下を検出時点で加圧治具の下降を停止する。その後 1 時間観察。

これら3つの内部短絡試験法で、現在市販されているEV・PHEV 7車種のセル(ラミネート形4種、角形1種、円筒形2種)を評価した結果を図 3.3.1-1 に示す。FISC では全て発熱、セラミック釘刺では95%が発熱、Blunt Rod では発熱に留まらず発煙・発火に至るケースが多かったことから、セラミック釘刺試験が FISC 代替試験法として妥当性が高いとの結果が得られた。

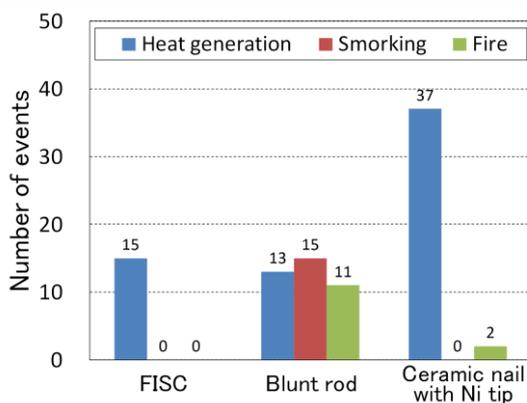


図 3.3.1-1 各試験法による評価結果

しかし、セラミック釘刺試験は FISC と比較すると短絡層数と発熱量が大きい。これは、ラミネートセルでは短絡後にセル膨張するため、セル内部の電極がせり上がり短絡層数が増加することで、短絡による発生熱量が増加する場合がある。そこで、短絡後のセル膨張による影響を排除するために、

図 3.3.1-2 に示すセラミック釘の固定を短絡後解除する工程を加える試験法を新たに開発した。

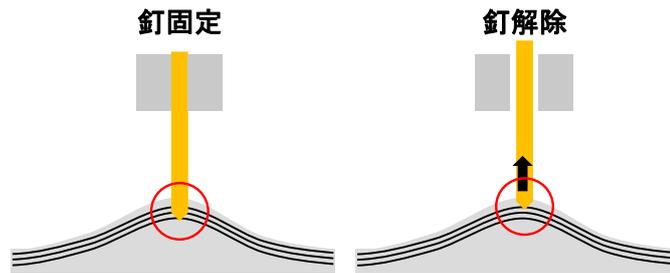


図 3.3.1-2 釘解除工程有無の概要

図 3.3.1-3 にセラミック釘刺試験の釘固定解除工程が有る場合と無い場合及び FISC のラミネートセルのセル電圧・温度挙動の一例を示す。釘固定解除工程無しではセル膨張に伴い、セル温度が上昇し、短絡層数は 4 層に達した。一方、釘固定解除工程有りではセル電圧、温度挙動とも FISC と同じ傾向となり、結果として 1 層短絡となった。以上から、釘固定解除工程を加えたセラミック釘刺試験法を FISC 代替試験法として選定した。これらの結果に基づき、セラミック釘刺試験法は 2017 年 2 月に TR62660-4 に反映され、今後 IEC において FISC 代替試験法の議論を進める予定である。

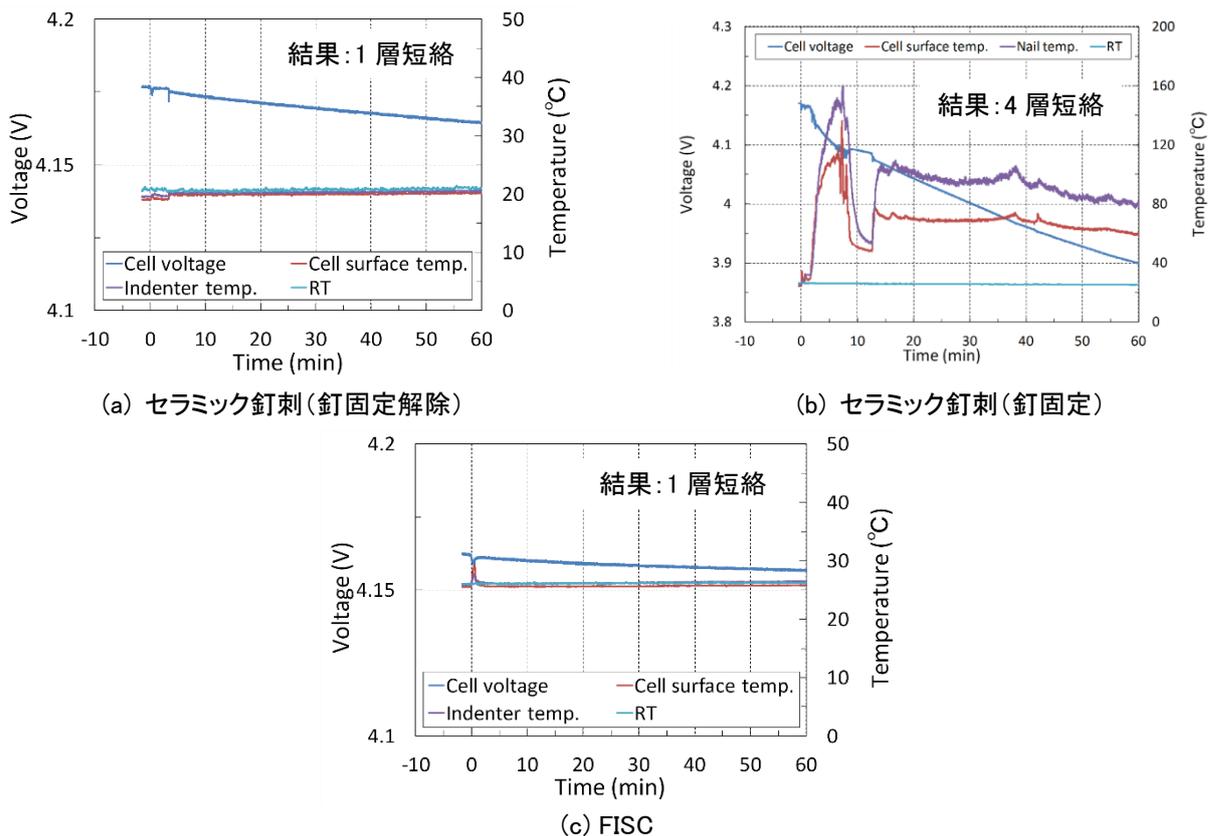
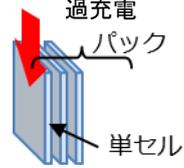
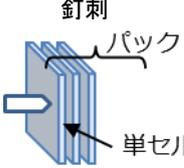
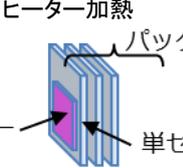


図 3.3.1-3 各試験法におけるセル電圧・温度挙動

(ii) 熱連鎖試験法の開発

熱連鎖試験法は、万一パック内の 1 セルが異物混入に限らず何らかの原因で熱暴走に至った際に、電池の発火・破裂等によるパック周囲への影響を評価する試験法である。起点となる 1 セルの熱暴走発生方法には、表 3.3.1-3 に示すように、過充電、釘刺、ヒーター加熱といった方法がある。

表 3.3.1-3 熱連鎖試験の起点発生方法

起点発生方法			
概要	起点とする1セルを過充電し、熱暴走させる。	起点とする1セルに釘刺を行い、熱暴走させる。	起点とする1セルをヒーターにより加熱し、熱暴走させる。
条件	過充電 充電レート 1C,2C	①非貫通釘刺:セル電圧 \geq 20mV低下まで釘刺 ②貫通釘刺:全層貫通	ヒーターによる局所加熱

公正な評価が可能な熱連鎖試験法とするには、1セルに熱暴走の起点を作る際に、セルの種類に依存せず、発生現象(例えば、電圧低下のみ、発煙、発火等)の再現性が高い適正な熱暴走を発生させる必要がある。特に、起点となる1セルの熱暴走が過剰な発熱を伴うと健全な電池も不合格となるため、熱暴走のレベル設定が重要である。

そこで、各熱暴走発生手法を用いて、次の①～③のクライテリアを設定し、市販 EV・PHEV のラミネート形3種類、角形1種類、円筒形1種類の合計5種類の単セルを熱暴走させた。

- ① 熱暴走時の発生事象の再現性が高い手法である。
- ② 起点の熱暴走セルの温度がパックの使用温度上限(約60～80℃)を超える。
- ③ 発熱が1セルの元々有する全発熱量(=熱分解発熱量+ジュール発熱量+電解液燃焼熱量)程度まで(熱暴走を発生させる追加熱量が全発熱量に比べ十分小さい)。

その結果、表 3.3.1-4 に示すように、各手法の比較において、過充電は追加熱量が多く、釘刺はラミネート形セルを用いた場合に再現性が低かった。また、ヒーター加熱は全てのセルでクライテリアを満足し、起点を作る方法として汎用的に適用可能であることが確認できた。

表 3.3.1-4 単セルを用いた熱暴走起点作成手法のスクリーニング結果

手法	適用性	セル種類	結果(○:クライテリアに適合/×:不適合)		
			①再現性有無(事象)	②使用温度以上(セル表面温度)	③1セル発熱量(全発熱量+追加熱量※)
過充電	×	ラミネート形	○	○	×
	×	角形	○	○	×
非貫通釘刺	×	ラミネート形	×	×	○
	○	角形	○	○	○
貫通釘刺(全層釘刺)	×	ラミネート形	×	○	○
	○	角形	○	○	○
	○	円筒形	○	○	○
ヒーター加熱	○	ラミネート形	○	○	○
	○	角形	○	○	○
	○	円筒形	○	○	○

※追加熱量 過充電: 過充電による追加エネルギー量
ヒーター加熱: ヒーターからの入熱量
釘刺(非貫通釘刺/貫通釘刺): 追加熱量なし

しかし、加熱対象セルが元々有する発熱量に比較して、熱量の大きなヒーターで加熱した場合、過剰な熱が供給されることで、過剰な試験要求となる懸念がある。そのため、ヒーター加熱手法で確実に熱暴走に移行でき、かつ過剰な熱量とならない適切なヒーター熱量を決定する必要がある。そこで、加熱対象セルをヒーターで加熱した時の熱暴走に至るまでの過程を 3 次元のシミュレーション解析を行い、必要なヒーター熱量について検討した。

図 3.3.1-4 に示す NCM 正極と黒鉛負極を用いたラミネート形電池の解析モデルを用いて、ヒーターサイズを固定した場合のシミュレーションを行った。ヒーターの加熱開始からのセル温度の推移を図 3.3.1-5 に示す。セルサイズを変更しても、ヒーターサイズを固定し一定熱量を与えた場合に、熱暴走起点となる内部短絡を起こすセパレータ融点を超える温度にでき、温度挙動もセルサイズによらず同等となることが分かった。従って、シミュレーションにより、適切なヒーター熱量を定めることで、セルサイズによらず熱暴走へ移行させることが可能と判断される。

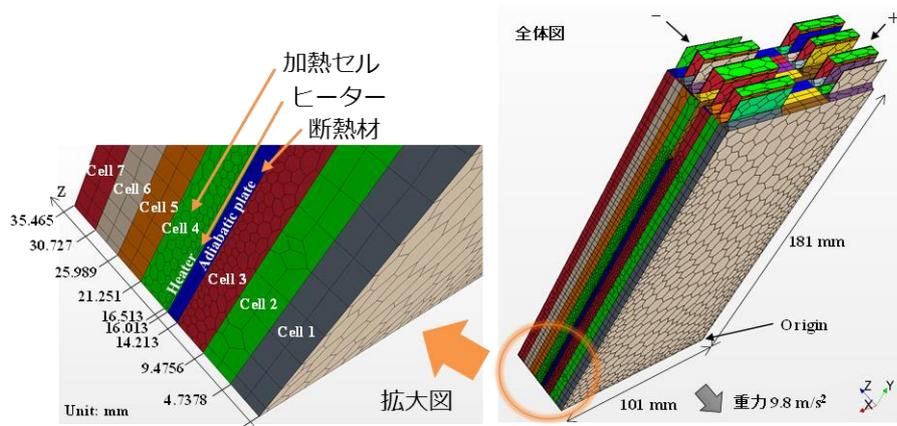


図 3.3.1-4 ラミネート形電池モデル

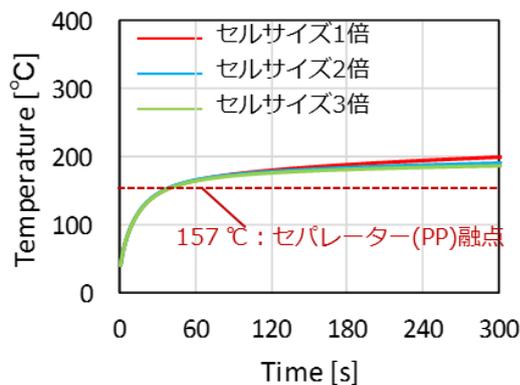


図 3.3.1-5 ヒーター、セル間温度比較(ヒーターサイズ固定)

さらに、電池パックにおいて 1 セル起点で熱暴走するかを、実際にラミネート形セルを用いた EV 用電池パックで検証した。図 3.3.1-6 にヒーター加熱により 1 セルを熱暴走させた場合のパック内のセルの電圧と温度挙動を示す。まず、ヒーター加熱によって起点となる 1 セル目の熱暴走が起こり、一定時間経過後に 2 セル目の熱暴走が起き、熱暴走が 1 セル起点となっていることが確認できた。角形セルのパックでも同様の試験を行い、表 3.3.1-5 に示すように、ヒーター加熱による手法により起点となる 1 セル熱暴走の実現が可能であることを確認した。

以上の結果から試験条件を明確化し、現在、国際標準(ISO6469-1)の改定審議に試験データを提供し、標準化の議論を進めている。

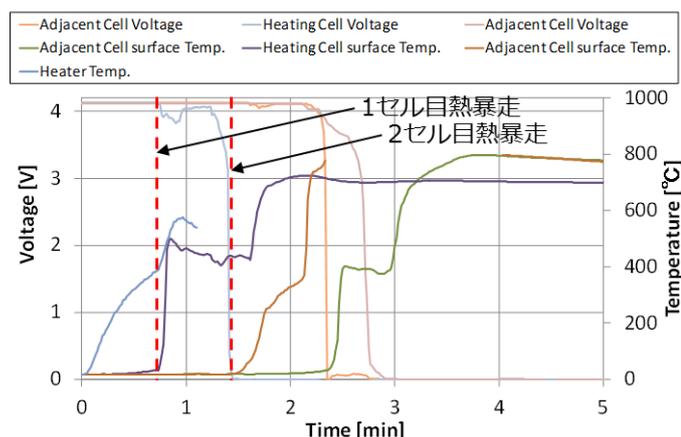


図 3.3.1-6 パック試験時のセルの電圧と温度挙動

表 3.3.1-5 車載用電池パックを用いた熱暴走起点作成手法の評価結果

手法	セル種類	1セル 起点	熱暴走判定※	最終事象 (参考)
ヒーター加熱	ラミネート形	○	○	1モジュール発煙
	角形	○	○	1セル発煙

※熱暴走判定： 起点となるセルの温度がパック使用温度上限(約 60~80°C)を超えること

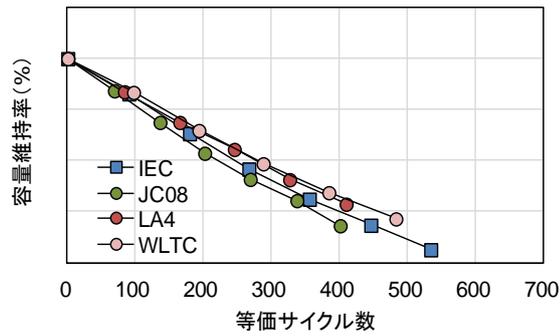
(2) 寿命試験法の検証

(i) 単セル寿命試験の検証

車載用 LIB の寿命を評価する国際標準試験法として、単セル用の寿命試験法 (IEC62660-1 の一部として規定) がある。単セルの寿命試験は比較的实施が容易であるが、実車両における劣化要因をどの程度反映しているか検証されていないため、現行の IEC 試験法の妥当性について検証を行った。検証には、市販されている EV・PHEV 6 車種の電池パック、モジュール、セルを用いた。

IEC 試験と日本の JC08 モード、米国で用いられる LA4 モード、国際的に用いられている WLTC の 3 種類の車両の実走行パターンを模した認証試験モードの条件で寿命試験を行った。それらを比較するため、等価サイクルを試験時積算放電容量 / 単セル初期容量と定義し、容量維持率を比較した。図 3.3.1-7 に一例として EV のセルを用いた結果を示すが、IEC 試験の単セルのサイクル寿命試験結果は他の認証試験モードと同等の結果となった。

また、寿命試験後のセルを解体分析した結果、IEC 試験と認証試験モードとでは、電極劣化や被膜形成といった同様の劣化を示し、IEC 試験は実車両の走行を反映していることを確認した。



※等価サイクル数=試験時積算放電容量/単セル初期容量

図 3.3.1-7 単セルサイクル寿命試験の一例

保存劣化については、約 4 年という長期の保存試験を行い、保存日数と容量維持率の関係を把握した。図 3.3.1-8 に一例として EV のセルでの結果を示すが、保存時の SOC を変えても容量維持率は、保存日数の 0.5 乗よりも 0.75 乗と線形の関係があり、保存日数の 0.5 乗則ではなく 0.75 乗則に従う傾向を確認した。さらに、初期の 1.5 年程度のデータから、それ以降の容量維持率を予測したところ、約 4 年のデータとはほぼ一致しており、保存試験の寿命予測に 0.75 乗則が有効であることを確認した。

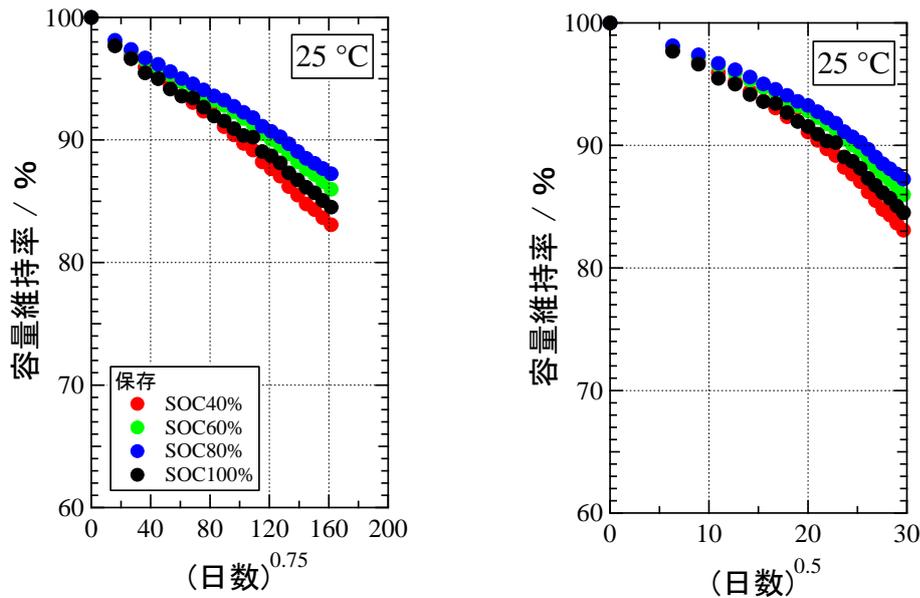


図 3.3.1-8 容量維持率の経時変化

8 台の走行距離の異なる実走行車両について、台上試験により容量を計測して求めた容量維持率と単セルの IEC 試験結果との比較を行った結果を図 3.3.1-9 に示す。IEC 試験ではサイクル試験時の放電電力と初期の車両の台上試験における WLTC 走行時電費から走行距離を推定し、保存劣化を差し引いた IEC 試験のサイクル劣化量と実走行車両を比較したところ、同じ走行距離でも劣化量が異なり保存劣化の影響が大きいことが分かった。次に、実走行車両の保存劣化量を、保存試験結果と市場走行車両から取得した SOC 分布から算出した保存劣化率を用いて見積もった。このとき実走行車両の電池温度は 15°C、25°C、35°C の 3 種類とし、0.75 乗則により推定した。その結果、実走行車両の容量維持率と推定した保存劣化量は同程度であり、実走行車両では保存劣化の寄与が大きいことが分かった。また、走行距離が約 10 万 km の長距離走行車両においてはサイクル劣

化の影響も確認できた。従って、実走行車両の劣化量は、IEC 試験によるサイクル劣化量に保存劣化量(15°C~35°C 程度)を加えたもので説明可能であることが分かった。

以上から、IEC 寿命試験法は、実車両における劣化要因を反映した妥当性が高い試験法であることが確認できた。

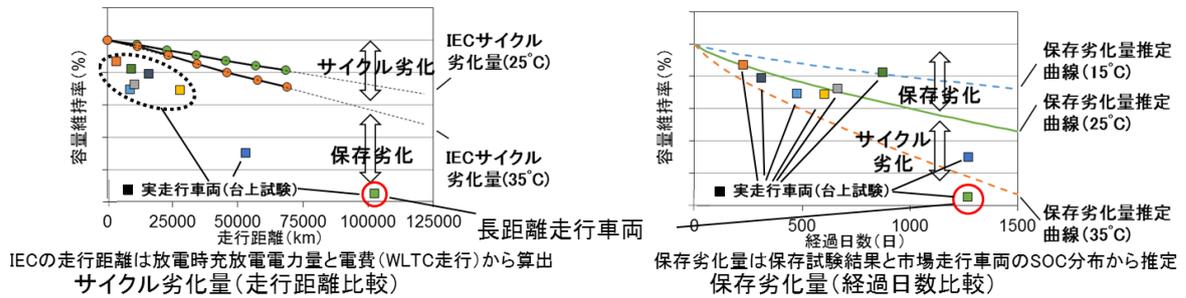


図 3.3.1-9 IEC 試験と実走行車両の劣化の比較

一方、IEC 試験では、図 3.3.1-10 に示す試験の 1 サイクルの手順の中で規定されていない不明確な部分が存在している。これらによって、試験結果が変わるようであれば国際標準として不適切であるため、影響を確認した上で明確化が必要である。

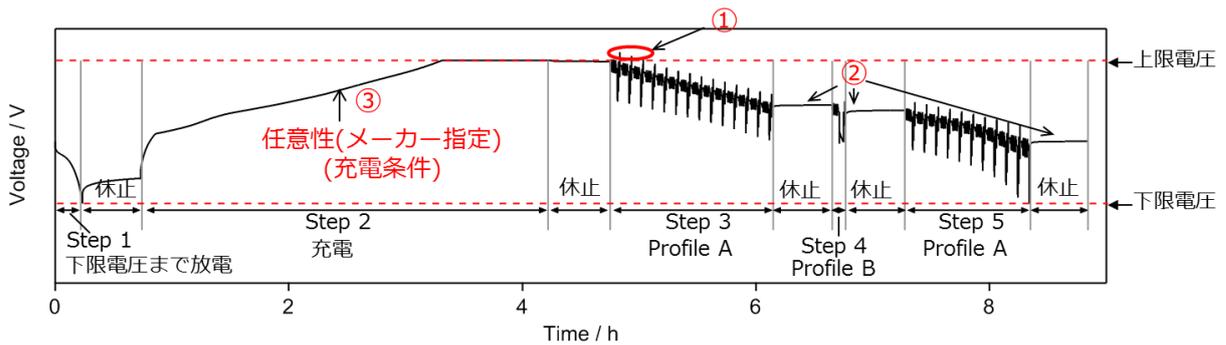
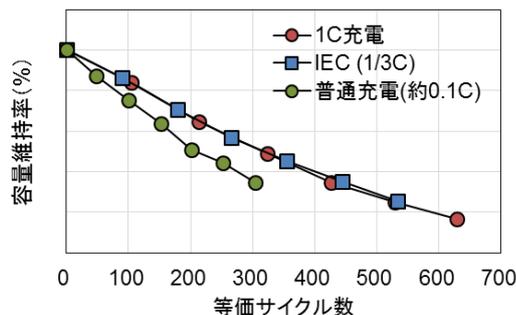


図 3.3.1-10 IEC 試験の 1 サイクル

充電条件については、IEC 試験では充電条件がメーカー指定手法(ただし、12 時間以内)と規定されているが、電池情報が得られない第三者には実施が困難である。そこで、充電条件の影響度について評価を行った。EV のセルの例を図 3.3.1-11 に示すが、1C 及び 1/3C 条件では比較的劣化傾向が似ている一方、普通充電では保存劣化の影響が大きく異なる傾向が見られたことから、充電手法により劣化に差が生じる可能性がある。そのため、充電手法の参考値記載について提案に向けた検討を継続中である。



※等価サイクル数=試験時積算放電容量/単セル初期容量

図 3.3.1-11 充電条件による劣化の比較

また、上限電圧については、プロファイルで回生パターンが入った際に上限電圧を超える場合があり、その際の処置が不明瞭であったため、放電プロファイル時に上限電圧に達した場合 CV 充電に移行すること、休止条件については、サイクル試験時の放電プロファイルにおいてプロファイルの切り替え時に 4 時間以内の休止が求められているが、不要な休止を要件から外すことを IEC62660-1 の改訂審議で提案し、承認された。

(ii) 組電池寿命試験法の検証

ISO12405-2 では電池制御ユニット(BCU: Battery Control Unit)を含む車載電池システムについてサイクル寿命試験法が規定されている。この試験法は、BCU の情報が必要となり、第三者による試験実施が困難であることから、IEC 試験による組電池試験の代用性検証を行った。

実車両の台上試験による充放電時パック、モジュールや単セルでの充放電試験による電池電圧及び温度の差異を評価した。電圧については、パック内単セルの電圧分布は非常に小さく、性能低下への影響がないことを確認した。

一方、温度については、図 3.3.1-12 に示すように、充放電時のパック、モジュール、単セルの温度を取得したところ、モジュールの温度分布は小さく単セルとほぼ同温度で、パックは各車種の冷却構造に依存した温度分布を持ち、最大温度ではセルと比較して約 5°C (図中の T1-T2) 温度上昇する結果となった。

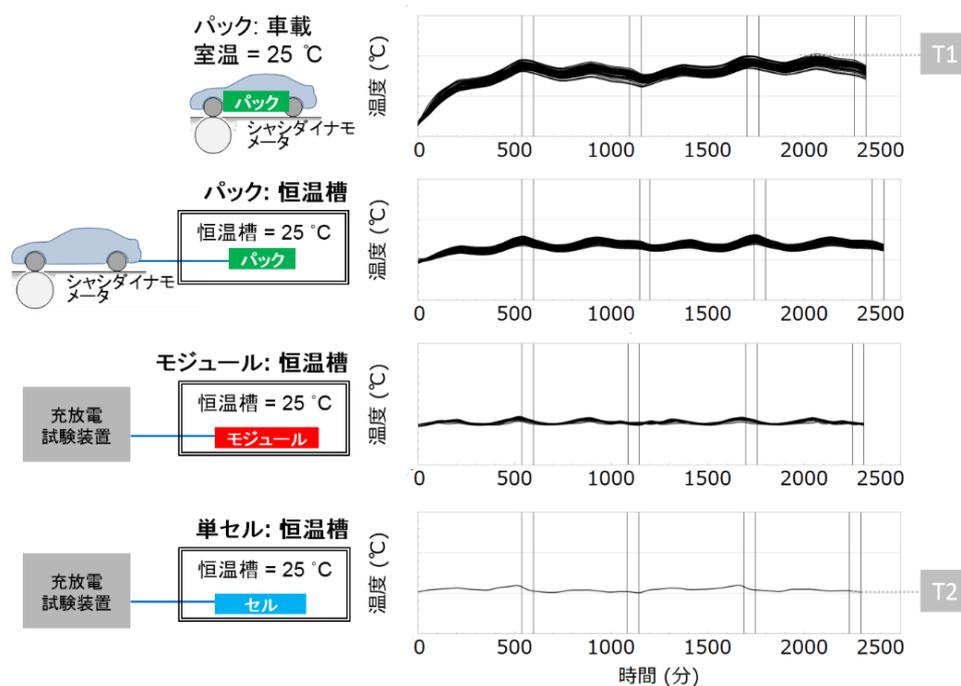


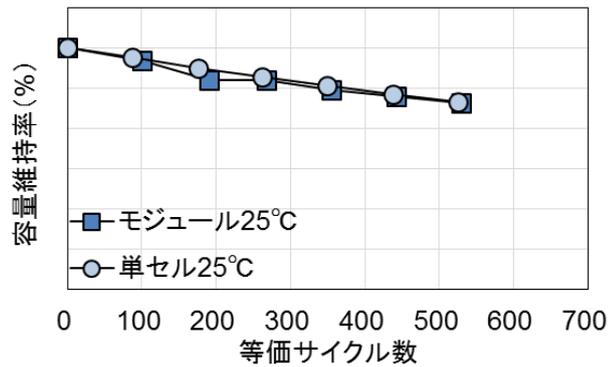
図 3.3.1-12 パック、モジュール、単セルの温度比較

モジュールと単セルでは試験中の温度がほぼ等しいことから、同じ温度条件において IEC 試験でモジュールと単セルとの間で劣化に差が出るかを評価した。EV のモジュールと単セルの IEC 試験での劣化比較の結果を図 3.3.1-13 に示すが、同じ温度条件下ではそれらの容量維持率に差が無いことを確認した。

次に、モジュール内の劣化ばらつきと各試験条件による劣化への影響を、IEC 試験も含めその他の試験モード(ISO 試験、JC08 モード)で評価した。EV のモジュールでの結果を図 3.3.1-14 に示すが、モジュールで IEC 試験と他の試験モードで試験を行った後のモジュール内の単セルの容量維

持率は、何れの試験モードでも約 1%以内のばらつきで、さらにモジュール全体の容量維持率と約 1%の差であった。すなわち、同じ温度条件下では、どの試験モードにおいてもモジュール内のばらつきがないことを確認した。

一方、温度による劣化への影響を評価するため、EV のセルを用いて温度条件を変更し IEC 試験を行った結果を図 3.3.1-15 に示すが、35℃では 25℃に比べて容量維持率が低下することが確認された。温度が劣化に影響を与えるため、単セル試験で組電池試験を代用するには車載時の組電池温度を反映させることが必要である。



※等価サイクル数＝試験時積算放電容量／単セル初期容量

図 3.3.1-13 モジュールと単セルの IEC 試験での劣化比較

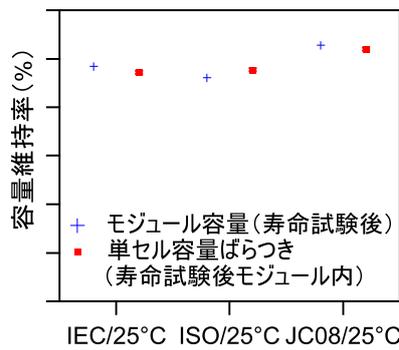


図 3.3.1-14 寿命試験後のモジュールとモジュール内単セルの容量維持率の比較

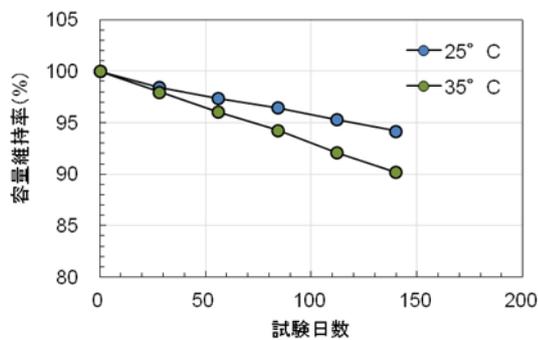


図 3.3.1-15 単セル IEC 試験の温度依存性

3.4 知的財産等の取得、成果の普及

各実施者の特許出願件数、論文発表、研究発表・講演等の実績を表 3.4-1 に示す。

特許については、NEDO は実施者に対して、競争力の向上に結び付く戦略的な特許出願を推進するとともに、逐次、報告書を NEDO に提出することを義務付け、本プロジェクトの出願・登録の動向を把握した。本プロジェクト終了時点での全体の特許出願件数は 501 件となった。また、事業化を見据え積極的な海外出願を推奨した結果、アメリカ、欧州、中国を中心に全体の出願の半数以上にあたる 273 件が海外出願された。

成果の普及については、NEDO は、各実施者に対して、本プロジェクトの成果をユーザ・関連企業等に向けて情報発信することで実用化・事業化を促進するため、技術情報の流出に配慮しつつ、適切に成果を発表・公開するように指導している。プロジェクト全体の情報発信件数は、論文が 42 件（うち査読付き 31 件）、研究発表・講演が 142 件、新聞雑誌等への掲載が 14 件、展示会への出展が 5 件である。

表 3.4-1 特許出願件数、成果普及の実績

実施者	特許出願 (うち外国出願)	論文 (うち査読つき)	研究発表・ 講演	新聞・雑誌 等への掲載	展示会への 出展
日産自動車	121 (66)	0 (0)	7	0	0
日本電気、積水化学工業、 田中化学研究所	34 (20)	4 (0)	22	1	0
東芝インフラシステムズ	54 (29)	2 (1)	5	0	0
パナソニック	103 (58)	0 (0)	0	0	0
日立製作所、 日立オートモティブシステムズ	71 (48)	4 (4)	18	6	3
トヨタ自動車、 豊田中央研究所	113 (52)	26 (26)	77	7	0
三井造船、エレクセル、 三井造船システム技研	5 (0)	5 (0)	3	0	2
日本自動車研究所、 産業技術総合研究所	0 (0)	1 (0)	10	0	0
合計	501 (273)	42 (31)	142	14	5

また、表 3.4-2 に示すように NEDO 自身も技術情報の流出に配慮しつつ、情報発信に努めており、成果の実用化・普及の観点で有効な国内外の学会・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、合計で 23 件に対応した。

表 3.4-2 本プロジェクトに関する NEDO の情報発信実績

No.	発表年月日	発表媒体	発表形態	発表タイトル
1	2012 年 7 月 12 日	EV technology innovation forum 2012	講演	R&D of High-performance Batteries for Next-generation Vehicles in NEDO
2	2012 年 9 月 7 日	日本高分子学会／ポリマーフロンティア 2	講演	NEDO における蓄電池技術開発の最新動向
3	2012 年 9 月 18 日	5th International Conference on Advanced Lithium Batteries for Automobile Applications	講演	R&D of High-performance Batteries Relating to Vehicles in NEDO
4	2012 年 11 月 13 日	防衛技術シンポジウム 2012	講演	蓄電技術のナショナル事業と今後の展望
5	2012 年 12 月 13 日	群馬県次世代産業振興戦略会議／蓄電池セミナー	講演	次世代蓄電池開発の現状、課題とその先へ
6	2013 年 1 月 23 日	日本電気化学会／電気化学セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
7	2013 年 3 月 24 日	日本化学会／第 93 春季年会	講演	NEDO における大型蓄電技術の開発
8	2013 年 7 月	化学工業日報社／月刊「化学経済」	寄稿	NEDO における次世代蓄電池の技術開発
9	2013 年 8 月 2 日	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
10	2013 年 9 月 9 日	6th International Conference on Advanced Lithium Batteries for Automobile Applications	講演	R&D of High-performance Batteries Relating to Vehicles in NEDO
11	2014 年 10 月 3 日	CEATEC JAPAN2013 / 第 10 回 JEITA 電子材料セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
12	2014 年 10 月 3 日	近化電池セミナー	講演	次世代蓄電技術開発の現状、課題とその先へ
13	2014 年 11 月 29 日	「おかやま電池関連技術研究会」第 3 回技術セミナー	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
14	2014 年 1 月 24 日	日本電気化学会／電気化学セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
15	2014 年 11 月 19 日	第 55 回電池討論会	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
16	2014 年 12 月 11 日	豊橋技術科学大学・未来ビークルシテリサーチセンターシンポジウム	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発
17	2014 年 12 月	シーエムシー出版／「蓄電デバイスの今後の展開と電解液の研究開発」	寄稿	NEDO における次世代蓄電池の研究開発計画
18	2015 年 1 月 21 日	日本電気化学会／電気化学セミナー	講演	NEDO におけるスマートコミュニティ海外実証と次世代蓄電技術開発
19	2015 年 11 月	シーエムシー出版／ナトリウムイオン二次電池の開発と二次電池の市場展望	寄稿	NEDO における次世代蓄電技術開発の状況
20	2016 年 6 月 21 日	日本電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術 2016	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発とスマートコミュニティ海外実証
21	2016 年 9 月 32 日	EVEX(EV・PHV 普及活用技術展)セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
22	2016 年 11 月 17 日	近畿化学協会／近化電池セミナー	講演	NEDO における蓄電技術開発
23	2017 年 1 月 19 日	日本電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術 2017	講演	NEDO における次世代蓄電技術開発

第4章 実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて

本プロジェクトにおける成果の実用化・事業化の考え方(定義)を、研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」、研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」及び研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」のそれぞれに対して、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・事業化の考え方(定義)

- 研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」

【実用化・事業化の定義】

本事業で開発された材料・部品、蓄電池デバイス・モジュール・パック及びこれらを組み込んだ製品・システム等の販売や利用により、企業活動(売上等)に貢献すること。

- 研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」

【実用化の定義】

本事業で開発された車載用リチウムイオン電池の試験評価法が、国際標準・国際基準に反映されること。

4.1 「高性能リチウムイオン電池技術開発」及び「リチウムイオン電池応用技術開発」の成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

研究開発項目①「高性能リチウムイオン電池技術開発」の各実施者は、EV・PHEV 又は車載用 LIB の実用化・事業化の能力を十分に有した自動車メーカー、蓄電池メーカー等である。具体的には、日産自動車は LEAF を、トヨタ自動車は PRIUS PHV を製造・販売し、社会に普及させてきた実績がある上、今後も EV 開発・量産に取り組む方針である。パナソニック、東芝、日立オートモティブシステムズ、日本電気、積水化学工業、田中化学研究所は車載用 LIB や電極・電池材料等を製造し、国内外の自動車・電池メーカーに供給している実績があり、特にパナソニックは車載用 LIB でトップシェアを有している。また、研究開発項目②「リチウムイオン電池応用技術開発」の実施者である三井造船、三井造船システム技研、エルクセルについても、港湾荷役機械や特殊用途 LIB の製造・販売実績を有する。

図 4.1-1 に各実施者グループの本プロジェクトの成果の事業化計画を示す。各実施者は、自社の事業部門も検討に参加して、製品設計～量産設備導入～販売までの具体的な計画を立てており、大半の実施者は、現在、製品設計の検討を進め、2018 年～2019 年頃から量産化の検討を行い、2020 年頃に事業化されていく見込みである。表 4.1-1 に各実施者グループにおける本プロジェクトの成果の事業化への戦略及び取組を示す。多くの実施者が製品の実用段階の検討やサンプルワークを実施しており、顧客評価等も含めて、製品化を推進している。また、一部の実施者は、既に本プロジェクトで得られた成果を適応した製品の販売・量産を開始しており、成果の事業化が進んでいる。

図 4.1-2 に 7 実施者グループの本プロジェクトの成果を取り入れた車載用 LIB 及び材料・部品の売上計画の合計を示す。早期事業化を推進している実施者があるため、2020 年から既に売上が立つ計

画となっている。2022年頃には量産の拡大や多くの実施者が事業化を開始するため、大きな売上の増加が見込まれ、2025年には約7,000億円に達する計画となっている。

また、図4.1-3に2実施者グループの本プロジェクトの成果を取り入れたEV・PHEVの売上計画の合計を示す。それぞれの実施者で売上の開始時期は異なるが、販売開始1年目から約5,000億/年の売上が見込まれており、5年後には約2.5兆円/年に達する計画となっている。

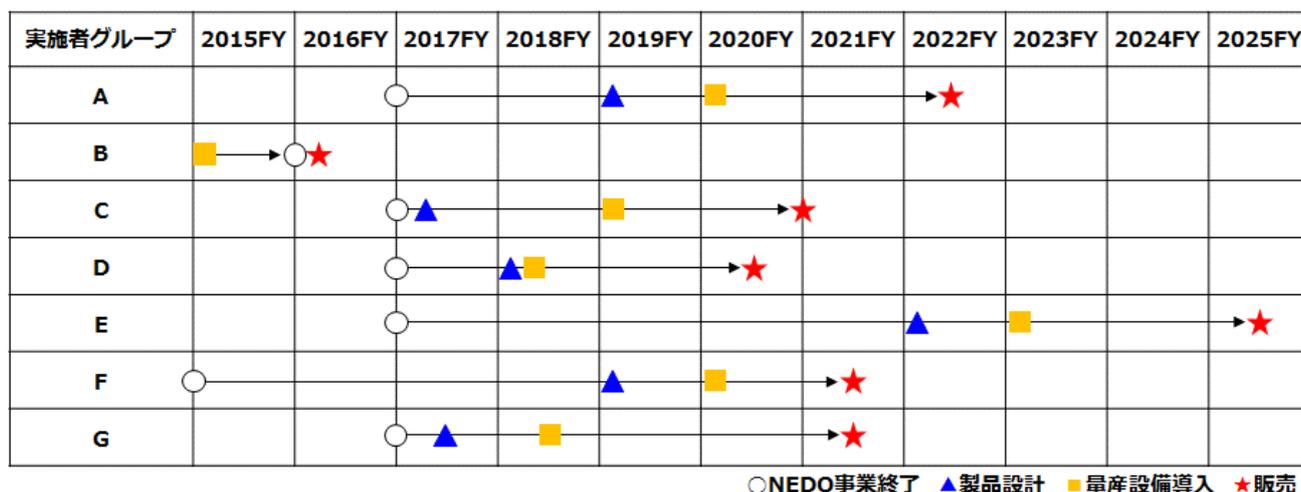


図 4.1-1 各実施者グループの事業化計画

表 4.1-1 各実施者グループの成果の事業化に向けた戦略及び取組

実施者グループ	事業化に向けた戦略及び取組
A	<ul style="list-style-type: none"> ● 開発した活物質は材料メーカーへ製造委託の検討実施中。 ● この材料を用いて電池・パック化して車両評価を実施し、2022年からの車載を目指す。
B	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在、本プロジェクトの開発成果を活用した電池を量産・販売中。 ● 2019年度に本プロジェクトで開発した次世代の電池を販売する計画。
C	<ul style="list-style-type: none"> ● 開発した電池材料はサンプルワーク等により性能評価を実施し、2021年の製品化を検討中。 ● 知財／技術ライセンスの活用により成果の普及を目指す。
D	<ul style="list-style-type: none"> ● 現在、開発してセルの製品化に向けて、実用段階である大型セルを開発中。 ● 2018年より顧客にエンジニアリングサンプルを提出し、性能検証・改善と共に、量産技術開発を実施し、2020年より車載用途として販売開始する計画。
E	<ul style="list-style-type: none"> ● 2020年代前半に実用化を目指し、2020年代半ばに普及型EVの核になる電池として市販化を目指す。 ● 低コストプロセスに向けた検討を進め、既存設備の小改修での流用を目指す。
F	<ul style="list-style-type: none"> ● 2019年度までに、開発成果の電池を組み込んだ製品の実証試験を完了し、2021年度までに量産設備を整え、量産・販売する計画。
G	<ul style="list-style-type: none"> ● 開発した高容量セル・パック化技術及び低コスト化技術等を活用して実用電池を作製し、現在、サンプルワーク中。顧客の性能評価等を通して2021年に実用化する計画。

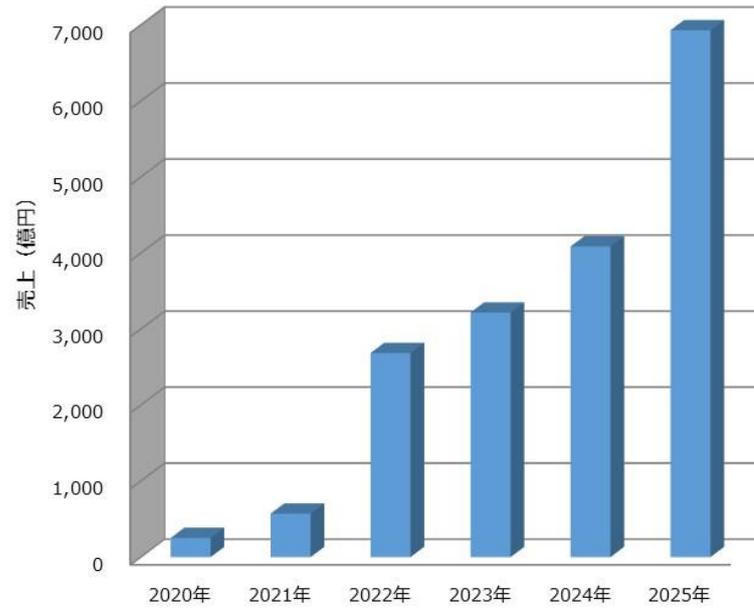


図 4.1-2 車載用 LIB 及び材料・部品の売上計画
(7 実施者グループの合計)

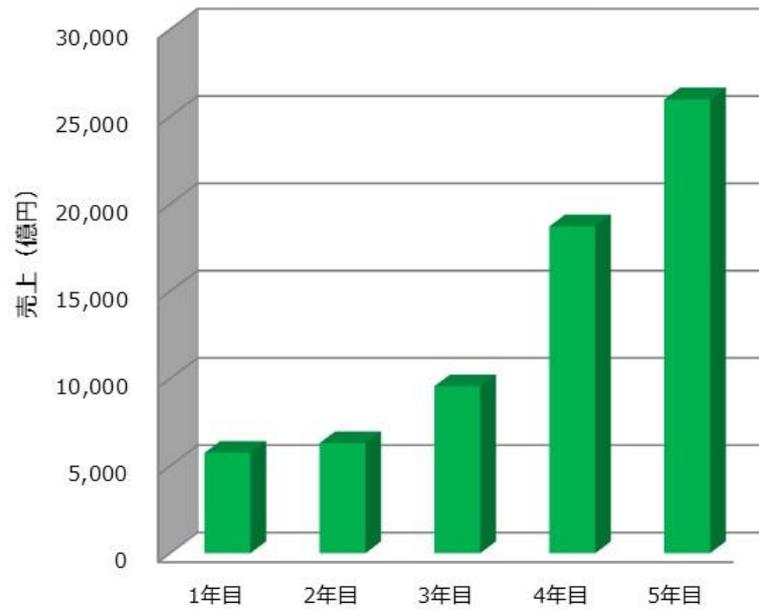


図 4.1-3 EV・PHEV の売上計画
(2 実施者グループの事業開始後 5 年間の合計)

4.2 「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」の成果の実用化に向けた取組及び見通し

研究開発項目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」において開発した試験法及び取得された試験データについては、既に国際標準・基準の議論に活用されており、一部は国際規格の内容に盛り込まれ済みである。

例えば、セラミック釘刺し試験法は、本プロジェクトの成果を反映して Ni 片を用いる強制内部短絡試験の代替試験法として既に 2017 年に 2 月に発行した TR 62660-4 に盛り込まれており、IEC 62660-3 改訂版に反映される予定である。熱連鎖試験法については、釘刺しやヒーター加熱を起点とした熱暴走試験手順・結果やシミュレーション結果を ISO 6469-1 の改定審議及び安全性に係る国際技術基準 (EVS-gtr) のドラフト作成に係るフェーズ 1 に提出済みであり、2017 年から開始される国際技術基準のフェーズ 2 の議論に活用される予定である。

寿命試験法については、IEC 62660-1 試験手順中において不明確であった充電条件及び休止条件を明確化した内容を IEC 会議で提案し、2018 年 10 月発行予定の Edition2 に反映されることが決定している。また、現在審議している ISO12405-4 や寿命に係る国際技術基準 (EVE-gtr) の PartB においても、我が国の標準化・基準化の方針に従って適宜試験データが活用される予定である。

車載用 LIB に関する国際標準化・基準化の計画を図 4.2-1 に示す。今後、安全性・寿命への関心の高まりを受けて、国際標準である IEC62660-1、IEC62660-3、ISO6469-1 及び ISO12405-4 の改訂が進められ、内容の追加や手順の明確化が進められていく。これに加えて国際技術基準についても、EVS-gtr と EVE-gtr の議論が 2015 年から始まっており、今後、フェーズ2や PartB としてより深い審議が進められていく。今後、これらの議論に本プロジェクトの成果を提案・活用されることになっており、EV・PHEV の普及拡大と我が国自動車・蓄電池産業の競争力強化に資する標準化・基準化が推進される。

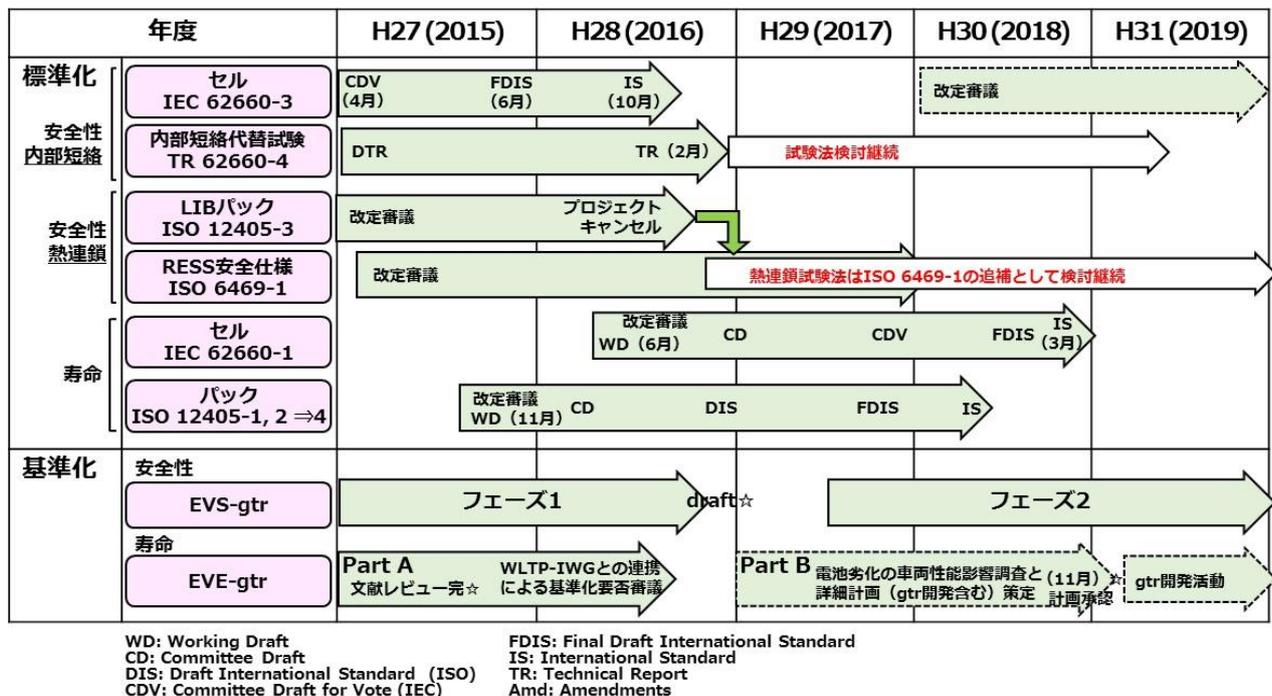


図 4.2-1 国際標準化・基準化の計画