

車載用蓄電池分野の 技術戦略策定に向けて

2015年10月

1 章	車載用蓄電池技術の概要	2
1-1	自動車産業が直面する課題と次世代自動車の普及予測	2
1-2	車載用蓄電池の研究開発プロジェクトの必要性	4
2 章	車載用蓄電池技術の置かれた状況	5
2-1	市場の動向と産業競争力	5
2-2	特許動向と学会・論文発表動向	7
2-3	各国の技術開発プロジェクト	9
3 章	車載用蓄電池分野の技術課題	14
3-1	蓄電池の技術進化の変遷	14
3-2	各種蓄電池の特徴と高エネルギー密度化の可能性	15
3-3	電動車両開発の変遷	18
3-4	電動車両及び車載用蓄電池の技術課題	19
4 章	おわりに	21

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

1章 車載用蓄電池技術の概要

気候変動問題の深刻化や新興国の経済成長による資源獲得競争の激化等により、持続可能な低炭素社会の構築とグリーン経済への移行に向けた国際的な動きが活発化しつつある。我が国はこれらに積極的に取り組み、高い目標を掲げて課題解決をリードしていくことを国際的に明言しており、今年実施される国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）において、2030年に向けた温室効果ガスの削減目標と、目標達成に向けた取組の方針を示す予定である。また、これと関連して、国内においても、2030年のエネルギー長期需給見通しの議論が進められ、徹底した省エネルギーの推進と再生可能エネルギーの最大限の導入がうたわれているところである。

低炭素化社会の構築に取り組む際には、社会全体の技術体系もエネルギー高依存技術から低炭素化技術へと転換していく必要がある。その技術体系は供給側でエネルギーの低炭素化を図る技術に加えて、需要側で低炭素のエネルギー源を使う技術、エネルギーの需要・消費を減らす技術で構成される。このうち、我が国のエネルギー消費量の約23%を占める運輸部門、更にはその約80%を占める自動車における需要側の低炭素化技術の中核となるのが、ハイブリッド自動車（HEV）やプラグインハイブリッド自動車

（PHEV）、電気自動車（EV）といった電動車両である。とりわけ、外部からの充電が可能であるため、再生可能エネルギー由来の電力を利用可能であり、かつ、その電力を高効率で利用して走行するEV及びPHEVは低炭素化技術の決め手ともいえ、車載用蓄電池の技術革新がその普及拡大の鍵を握っている。

1-1 自動車産業が直面する課題と次世代自動車の普及予測

2014年における自動車の世界販売台数は約8千万台、市場規模は約200兆円であるが、図1に示すように、今後、新興国の人口増加と経済発展に連動して、2025年には世界販売台数が1億台を突破し、市場規模は約250兆円になると試算されている。

世界全体のCO₂排出量は、1990年の約210億トンから2010年には305億トンと大幅に増加したが、この排出量の約15%を自動車占めており、今後の自動車の大量普及によるCO₂排出をいかに抑制していくかが世界全体で問われている。例えば、乗用車の走行距離あたりのCO₂排出量を、EUは2021年までに2013年実績値の約75%に低減する規制を導入しており、米国も2025年までに2012年実績値の約50%に低減する目標を立てている。更に、世界最大の市場を有する中国も、先進国並みの燃費規制の導入を検討している。このように、今後、CO₂排出削減に向けた各国の規制強化とこれに対応する技術革新が自動車産業に大きな影響を与えることは確実である。

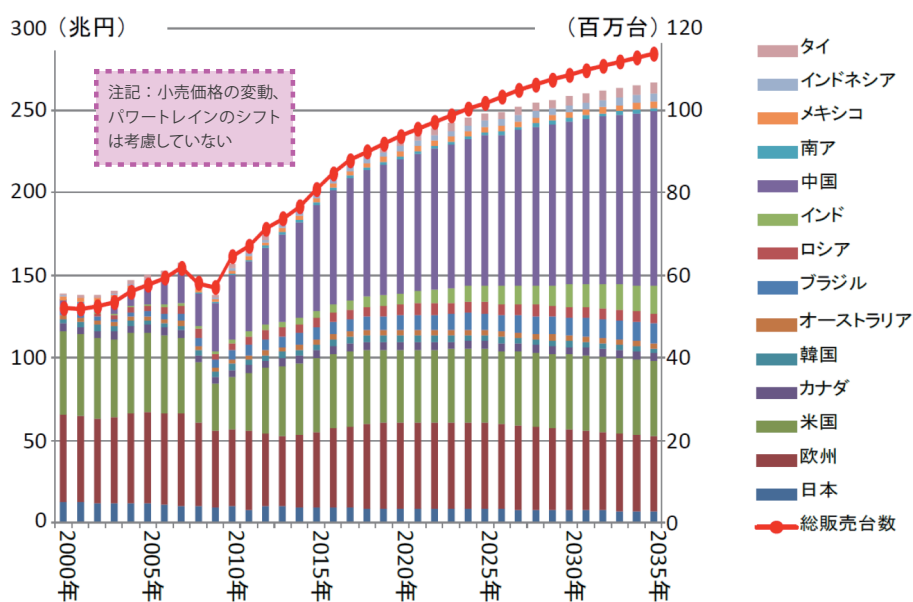


図1 主要国・地域における自動車販売額の推移予測
出所：自動車産業戦略2014（経済産業省，2014）

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

また、エネルギー資源の面から捉えても、自動車の燃料消費の低減は最重要課題である。世界全体のエネルギー需要は、2030年には2010年の1.3倍に達すると見込まれる中で、新興国も交えて激化するエネルギー資源獲得競争や地域紛争、経済情勢の変動等は、価格の上昇傾向や乱高下が起りやすい状況を生み出している。原油にほぼ依存する自動車には、地域によって差はあるが、燃費の向上や脱石油を求める圧力が今後も強まると予想される。特に我が国のようにほぼ全てのエネルギー源を海外からの輸入に依存し、エネルギー供給体制に根本的な脆弱性を抱えている国々では、自動車用途の石油の消費抑制（燃費向上）はもちろん、電力や天然ガス、更には水素の活用によるエネルギー源の多様化を積極的に進めていく必要に迫られている。

このように世界中の自動車市場において環境・エネルギー制約が強まる中で、次世代自動車は有効な解決策であり、その普及拡大が強く求められる。例えば、国際エネルギー機関（International Energy Agency：IEA）が行った世界の車種別販売台数の将来予測（図2）においては、2025年にHEV・PHEVが約28%、EVが約4%、2035年にHEV・PHEVが約52%、EVが約11%の販売シェアを占めると予測されている。また、各国政府も2020年頃までにEV・PHEVを100万台規模で普及する目標を掲げており、その目標達成のためのEV・PHEV及び充電インフラの導入支援（補助金制度）、自動車・蓄電池産業に対する開発・設備投資の支援等、様々なインセンティブ施策を積極的に推進している。

こうした状況とともに、我が国自動車産業の競争力の維持・強化の観点から、我が国では次世代自動車市場を世界に先駆けて確立することを国家戦略としている。具体的には、「日本再興戦略」（2013年6月閣議決定）において、2030年までに次世代自動車の新車販売に占める割合を最大70%まで引き上げるとしており、更に表1に示すように、「自動車産業戦略2014」（2014年11月、経済産業省策定）では、上記の目標に加えてEV及びPHEVについては2030年までに最大30%を目指すことが明記された。この我が国の目標は、温暖化抑制策を重視するIEAの推定と比べても極めて野心的なものである。

表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%

出所：自動車産業戦略2014（経済産業省，2014）

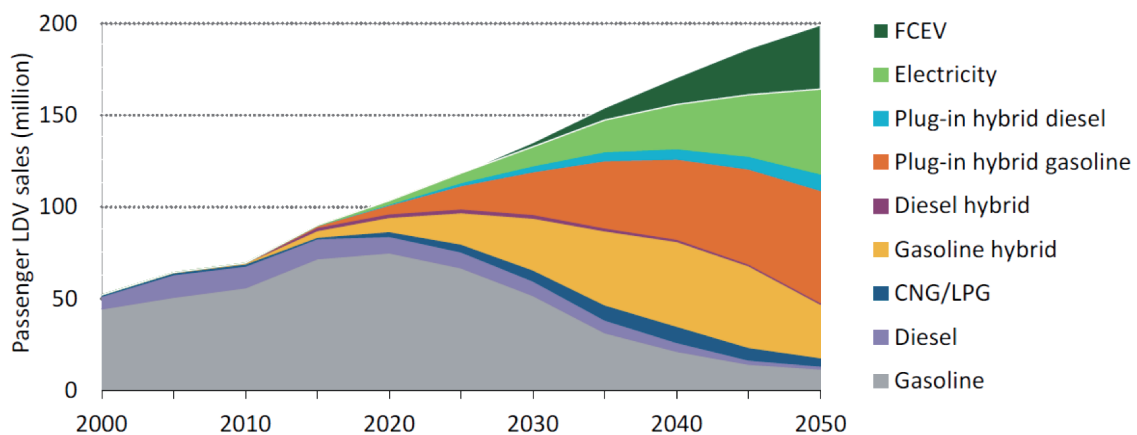


図2 世界の車種別販売台数の将来予測（IEA 推定）

出所：自動車産業戦略2014（経済産業省，2014）

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

1-2 車載用蓄電池の研究開発プロジェクトの必要性

現在、市場投入されているEV・PHEVの性能諸元は、前節で述べた政府の普及目標の実現が期待できるものとなっていない。例えば、1回の充電あたりの電動走行距離は、EVで120～200km程度（表2）、PHEVで20～60km程度であり、ユーザー利便性や十分なCO₂削減効果を確保するには、これらを飛躍的に伸長する必要がある。また、搭載されている電池パックの性能保証期間は5～8年間であり、ガソリン車の寿命の目安と言われている10～15年まで伸ばす必要がある。更に、販売価格についても300万円以上のモデルが大半を占め、消費者意識として割高感が存在しており、車両コストを抜本的に低減する必要がある。

これらEV・PHEVの普及課題解決のキーテクノロジーとなるのが車載用蓄電池であり、技術革新によって高エネルギー密度化、高耐久化及び低コスト化等が図られなければ、EV・PHEVの電動走行距離の伸長、スタイリング・車室レイアウトの自由度向上、販売価格の低減は実現できない。

特に、電気のみで走行し、走行中のCO₂排出が全く無いEVについては、2030年代の本格普及期に向け、1回の充電あたりの走行距離をガソリン車並みの500km以上に伸長させることが望ましく、この場合、搭載する電池パックのエネルギー密度を現状の約5倍に高め、同時にコストも現状の約1/7に低減する必要がある。この開発目標を達成するには、現状のリチウムイオン電池（LIB）とは電荷キャリア、材料、構造等が全く異なった新原理の革新型蓄電池を開発する必要がある。

そのため、理論エネルギー密度（蓄電池が活物質^{*1}だけで構成され、かつ活物質の利用率を100%と仮定したときに得られるエネルギー）がLIBを超える様々なタイプの革新型蓄電池の候補について、世界各国で研究開発が取り組まれている。

しかし、そのどれもが基礎研究段階にあり、LIBと同程度の実験データも示されつつあるものの、耐久性は実用レベルにほど遠く、安全性評価や生産技術の検討については未着手の状況にある。実用化が期待される2030年までには時間があるように思えるが、製品開発のリードタイムを考慮すると、2020年代前半にはセルの基本仕様を固め、モジュール・パックやパワートレインシステムの開発フェーズに移行する必要がある。そのためには今後5年程度の短期間でエネルギー密度のみならず、耐久性や安全性もセルレベルで確立することが不可欠である。

この技術革新のハードルは極めて高く、ブレークスルーが求められる。そのため、サイエンスに立脚した基礎・基盤技術を確立しながら、セル開発を効率的・加速的に進める必要がある。また、革新型蓄電池のタイプによっては、その技術的難易度と必要となるブレークスルーの数が異なってくることも考慮する必要がある。そのため、量子ビーム解析技術や先端的材料科学を得意とする大学・公的研究機関、蓄電池・材料メーカー、更にはエンドユーザーである自動車メーカーが参画する産学官連携プロジェクトを形成し、学界が有する基礎科学の知見と産業界の技術ニーズが双方向的に伝達することで、異分野を融合したブレークスルーを創出する取組が必要である。

*1 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。

表2 車載用蓄電池の開発目標

		現 状	2020年代	2030年代
EV	航続距離	120～200 km	250～350 km	500 km 以上
	車両価格	300 万円以上	230 万円	190 万円
電 池 パ ッ ク	蓄電池タイプ	LIB	先進 LIB	革新型蓄電池
	エネルギー密度	100 Wh/kg	250 Wh/kg	500 Wh/kg
	コスト	7 万円/kWh	1.5 万円/kWh	1 万円/kWh
	研究開発体制	産主導 (垂直連携)	産学連携 (垂直連携を基本)	産学連携 (水平連携)

出所：NEDO作成（2015）

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

他方、2020年代の車載用蓄電池では引き続き、LIBが主力と予想される。EV・PHEVの普及拡大に向けては、LIBのエネルギー密度を現状の約2倍、コストも現状の約1/3まで低減する必要がある。これを実現しようとすると、高電圧かつ大電流作動を可能とする電極・電解質等の新規材料を使用する必要があることに加えて、セル構造や製造プロセスにも改良・改善を重ねつつ、性能・コストとトレードオフの関係にある安全性・耐久性を同時に成立させることが求められる。このようなLIBの技術革新については、我が国の自動車メーカー及び蓄電池メーカーが得意とするところであるが、競争関係にある欧米中韓メーカーも極めて積極的に研究開発に取り組んでおり、日本のリードが少なくなっているといわれている。そのため、個々のメーカーが膨大なリソースと時間を投じてきた従来の経験則や、網羅的な充放電実験に基づいた開発手法を踏襲しているのでは、競争に打ち勝つことは難しい。上記した革新型蓄電池の研究開発と同様に、産学官が連携し、電極活物質中のイオン拡散と電子伝導による電荷授受を伴う蓄電池反応や電極・電解液の損傷・劣化現象等に関するナノスケールレベルでの動的なメカニズムの理解を深めつつ、LIBの技術革新の具体的な方策・指針を打ち出していく取組が必要である。

シタ)で構成されている。次世代自動車用蓄電池では、LIBの市場規模が最も大きく約1,700億円、次いでNi-MH電池の約1,400億円となる。これらの次世代自動車用蓄電池では、蓄電池自体に高い技術水準が求められることに加え、車載化に係る車両製造技術との組み合わせにも高い技術水準が求められるため、日本メーカーが競争力を保持している。2013年の日本メーカーのシェアはLIBでは約57%、Ni-MH電池ではほぼ100%である。

※2: 参考資料「平成26年度 日本企業の国際競争ポジションに関する情報収集」(NEDO, 2015)等

(2) EV・PHEVの産業・市場の動向

① EV・PHEVの普及目標

各国政府は、表3に示すように、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を2020年頃までに100万台規模で普及させる等の目標を掲げ、その目標達成のため、EV・PHEV及び充電インフラの導入支援、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実施している。

② EV・PHEVの普及状況

EV・PHEVの世界販売台数は、堅調に増加の傾向にある。2014年までの累計販売台数はEVが約36万台、PHEVが約25万台、合計で約61万台である。また、2014年の販売台数はEVが約16万台、PHEVが約11万台、合計で約27万台である。

一方、日本販売台数は、世界販売台数と比べて、やや横ばい基調での推移となっている。2014年までの累計販売台数はEVが約7万台、PHEVが約4万台、合計で約11万台である。2013年の日本販売台数はEVが約1万7千台、PHEVが約1万3千台、合計で約3万台である。

表3 各国におけるEV・PHEVの普及目標

国	普及政策と目標
米国	One Million Electric Vehicle by 2015 (2011年) 2015年 100万台
ドイツ	National Electromobility Development Plan (2009年) 2020年 100万台、2030年 500万台
英国	Carbon Plan (2011年) 2020年 170万台 (公共政策研究所IPPRの2011年提案)
フランス	Plan national pour le développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables (2009年) 2015年 10万台、2020年 200万台、2025年 450万台
中国	省エネルギー・新エネルギー自動車産業発展計画 (2012年) 2015年 50万台、2020年 500万台
韓国	電気自動車産業活性化案 (2009年) 2015年 生産120万台、輸出90万台
日本	自動車産業戦略2014 (2014年、経済産業省) 2020年 新車販売に占める割合15~20% 2030年 新車販売に占める割合20~30%

出所: NEDO作成 (2015)

2章 車載用蓄電池技術の置かれた状況

2-1 市場の動向と産業競争力

(1) 蓄電池の産業・市場の動向^{※2}

各種蓄電池の世界市場規模は、2013年で約5兆3,000億円であり、鉛蓄電池が約3兆5,700億円、次いでLIBが約1兆4,300億円である。分野で見ると、車載用が最も大きく約3兆9,000億円、次いでモバイル機器用が約1兆4,000億円である。モバイル機器用のLIBについては、市場規模が数千億円であった2000年台初頭には90%以上のシェアを日本メーカーが占めていた。しかし、韓国企業は、ウオン安、産業政策支援によるコスト競争力、日本メーカーの人材獲得による品質向上等を背景に急激な追い上げをみせており、更に中国企業の台頭も著しい。

車載用蓄電池の世界市場は、起動用の鉛蓄電池が全体の約90%、残りの約10%が次世代自動車用 (LIB、Ni-MH電池、キャバ

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

③自動車メーカーのEV・PHEV市場投入状況

現在、市場投入されているEVの市場シェア首位は、EVの量産で世界に先行した日産自動車Leafであり、2015年4月までの累計販売台数は約17万台、2014年の販売台数は約6万台となっている。市場シェア2位はTesla Motors Model Sであり、累計販売台数は約6万6千台、2014年の販売台数は約3万台となっている。

一方、PHEVの市場シェア首位はGM Voltであり、2015年4月までの累計販売台数は約9万台、2014年の販売台数は約2万台となっている。市場シェア2位、3位は、それぞれトヨタ自動車Prius PHVが累計販売台数で約7万台、2014年販売台数で約2万台、三菱自動車Outlander PHEVが累計販売台数で約6万台、2014年販売台数で約3万台となっている。

(3) 電動車両及び車載用蓄電池の産業競争力について

日本は高度な蓄電池技術、自動車メーカーと蓄電池メーカーの垂直統合型の開発による高いレベルでの性能向上・安全性確保、普及価格帯の完成車開発と欧米自動車メーカーに先駆けた市場投入により、電動車両及び車載用蓄電池の分野において世界をリードしてきた。そのため、前述したように、日本が電動車両及び車載用蓄電池の市場において高いシェアを確保しているが、韓国メーカーが多くの蓄電池を供給している欧米自動車メーカーも近年積極的に電動車両の開発及び市場投入を進めていることから、今後ますます、競争が激化することが予想される。

特に日本の自動車メーカーは、蓄電池メーカーとジョイントベンチャーを組み、1対1の関係で個社の仕様に最適化された蓄電池を調達している。これに対して、欧米自動車メーカーは、車載用蓄電池を一部品とみなし、電池メーカーとは1対Nの関係で開発車両ごとに最適な蓄電池をグローバルに調達しようとする傾向が見られ、韓国の蓄電池メーカーが車載用蓄電池の市場シェアを広げるという流れができつつあることに留意する必要がある。

(4) 車載用蓄電池に関する標準化の動向

新しい技術であるEV・PHEV等の電動車両の普及促進と市場形成のためには、車両・車載用蓄電池・充電システム等に関し、性能、品質、安全性、形状、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である。国際規格そのものは法的拘束力をもたないが、近年、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。

電動車両・車載用蓄電池・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)を中心に進められており、日本は積極的な取組を進めている。車載用LIBのセル単体の標準化はIEC/TC21(二次電池)が担当しており、国内審議団体は電池工業会である。一方、車載用LIBの電池パック・システムの標準化はISO/TC22/SC21(電気自動車)が担当しており、国内審議団体は日本自動車研究所である。

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)及びIEC62660-2(信頼性・誤用試験)、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。これらの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。

また、IEC/ISO 16898(EV用LIBの寸法)が2012年に公開仕様書(PAS)として発行されている。この規格は、日本とドイツの新規提案に基づき、IEC/ISOの合同プロジェクトとして審議・策定されたものである。この規格の寸法リストには、量産を前提とした既存又は販売予定のセルについて、円筒形で8タイプ、角形で26種、ラミネート形で28種の寸法が記載されており、日本メーカーのセルは全て含まれている。

なお、ドイツの提案は車種別、セル形状別に単一の寸法と電池容量を設定しようとするものであったが、これに対して、日本は現時点でセルの寸法を標準化することは技術開発を阻害するおそれがあり、コスト低減効果も期待できないとの立場を取り、各国の同意を得ている。

現在は、IEC 62660-3(安全要件)、ISO 12405-3(安全要件)が検討されている。一部の航空機や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な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。

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、そのためには基本的な部品であるセルの安全性が確保されていることが前提となる。したがって、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ごとに異なるため、セルの仕様も電池システムの設計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。

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

あることなど、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。

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 Safety - Global Technical Regulation」(EVS-GTR)において、車載用LIBの内部短絡試験及び熱連鎖試験の検討が始まっており、前記規格の審議において考慮が必要になってくるものと予想される。

2-2 特許動向と学会・論文発表動向

本節では、LIB及び革新型蓄電池のそれぞれについて特許動向、学会・論文発表動向をまとめた。

(1) リチウムイオン電池 (LIB) の特許動向

1998年～2007年(10年間)、2006年～2010年(5年間)におけるLIBの出願人国籍別の特許出願件数を表4に示す。

調査期間に重複があり、期間の長さも異なるが、世界全体の年間特許出願件数は1998年～2007年で約2,700件/年に対し、2006～2010年では4,400件/年と1.5倍以上に増加している。また、用途を電動車両とした特許は両件数全体の約2割を占める。また、正極材料が最多で8,143件、次いで負極の6,406件となっている。

特許出願件数は、LIBの技術開発で世界に先行し、長年、市場を占有してきたこともあり、日本企業が圧倒的に多くなっている。しかし、特許は実質的に技術を公開することに繋がり、民生用LIBの市場では日本メーカーが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。

表4 LIBの出願人国籍別特許出願件数

	1998年～2007年 (10年間)		2006年～2010年 (5年間)	
	件数	割合	件数	割合
日本	17,781	66.1 %	11,625	52.7 %
米国	2,149	8.0 %	1,585	7.2 %
欧州	1,587	5.9 %	1,668	7.6 %
中国	1,289	4.8 %	2,921	13.2 %
韓国	3,704	13.8 %	3,906	17.7 %
その他	378	1.4 %	362	1.6 %
合計	26,888	100 %	22,068	100 %

出所：平成21年度特許出願技術動向調査－リチウムイオン電池－（特許庁，2010）
平成24年度特許出願技術動向調査－リチウム二次電池－（特許庁，2013）

(2) 革新型蓄電池の特許動向

2002年～2011年(10年間)における革新型蓄電池の出願人国籍別の特許出願件数を整理したものを表5に示す。

総特許出願件数は5,642件となっている。電池タイプ別の出願件数（総出願件数に占める割合）は、全固体電池が3,306件（59%）、金属空気電池が1,251件（22%）、ナトリウムイオン電池が226件（4%）、多価イオン電池が212件（4%）、硫黄系電池が494件（9%）、有機系電池が113件（2%）となっている。

日本の特許出願数が他国に比べ突出して多いが、電池タイプ別みると、例えば、硫黄系電池の出願数は韓国が首位である。

表5 革新型蓄電池の出願人国籍別特許出願件数

	全固体電池		金属空気電池		Naイオン電池		多価イオン電池		硫黄系電池		有機系電池		合計
	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	件数	割合(%)	
日本	1,996	60.4	490	39.2	211	79.3	118	55.7	103	20.9	75	66.4	2,993
米国	331	10.0	246	19.7	22	8.3	41	19.3	92	18.6	2	1.8	734
欧州	371	11.2	186	14.9	8	3.0	0	0.0	91	18.4	16	14.2	672
中国	197	6.0	135	10.8	11	4.1	33	15.6	44	8.9	6	5.3	426
韓国	270	8.2	133	10.6	8	3.0	19	9	143	28.9	11	9.7	584
その他	141	4.3	61	4.8	6	2.2	1	0.5	21	4.2	3	2.7	233
合計	3,306	100	1,251	100	266	100	212	100	494	100	113	100	5,642

出所：平成25年度特許出願技術動向調査－一次世代二次電池－（特許庁，2014）

(3) 学会・論文発表動向

図3に、2010年と2014年のリチウム電池国際会議 (IMLB: International Meeting on Lithium Batteries) における電池タイプ別の発表件数を比較して示す。また、図4に2009年と2014年の米国電気化学学会 (ECS: The Electrochemical Society) における電池タイプ別の発表件数を比較して示す。これらの図からも明らかなように、現在もLIBの研究が中心である一方で、革新型蓄電池の研究発表が増加する傾向にある。

図5に、IMLB 2014における革新型蓄電池の研究発表について、国・地域別の発表件数を整理したものを示す。各国・地域でもLIBの研究が中心であるが、日本と中国は革新型蓄電池の割合が50%を超えている。

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

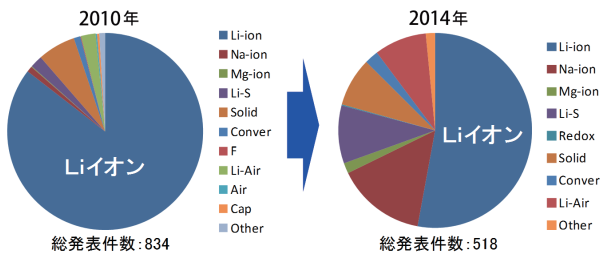


図3 IMLBにおける電池タイプ別発表件数
出所：NEDO作成(2015)

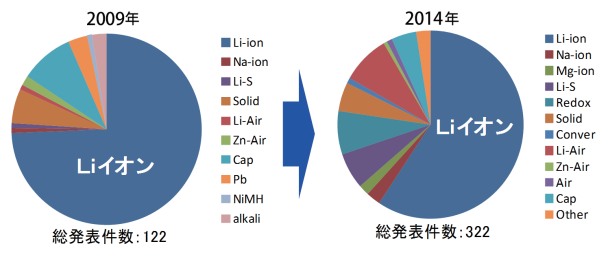


図4 ECSにおける電池タイプ別発表件数
出所：NEDO作成(2015)

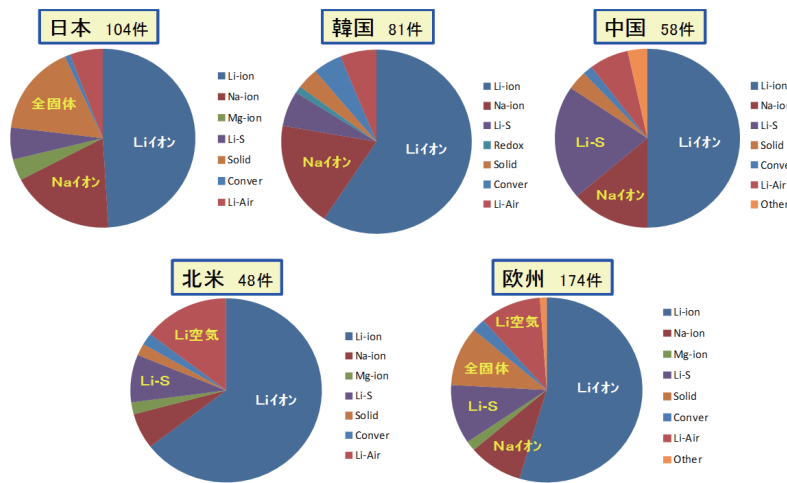


図5 IMLB2014における電池タイプ別発表件数(国・地域別)
出所：NEDO作成(2015)

次に図6に、2003年～2012年(10年間)における革新型蓄電池の論文発表件数の推移を示す。各電池タイプのいずれも2010年前後より増加の傾向にあり、特に全固体電池、金属空気電池、ナトリウムイオン電池、硫黄系電池が急増している。

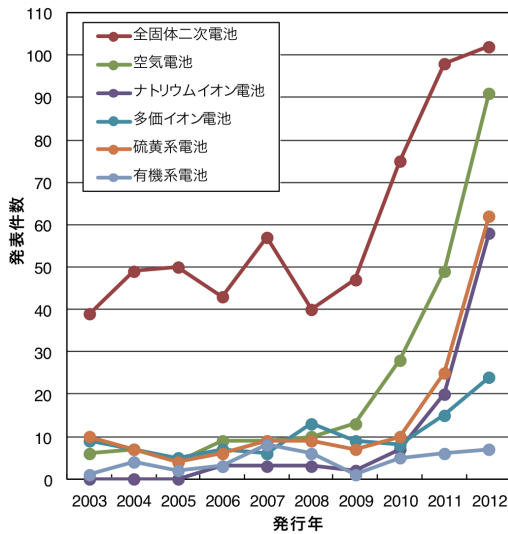


図6 革新型蓄電池の論文動向
出所：平成25年度特許出願動向調査 - 次世代二次電池-(特許庁, 2014)よりNEDO作成

また図7に、論文著者所属機関の国籍別発表件数の比率を示す。日本の論文発表数の割合は特許と比べて低い。

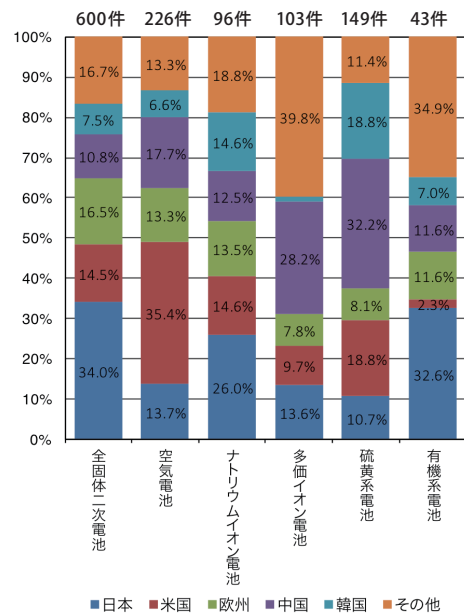


図7 論文著者所属機関の国籍別発表件数の比率
出所：平成25年度特許出願技術動向調査 - 次世代二次電池-(特許庁, 2014)よりNEDO作成

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

2-3 各国の技術開発プロジェクト

車載用蓄電池の技術開発を主導している米国、EU、ドイツ、中国、韓国の車載用LIBの開発目標値を表6に示す。各国の車載用LIBの開発目標は大差なく、いか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。米国のコスト目標(125ドル/kWh)は相当に挑戦的であるが、これは革新型蓄電池(金属リチウム負極、リチウム硫黄電池、リチウム空気電池)を採用しての目標達成を考えたものである。

なお、革新型蓄電池についても、各国の開発目標は大差なく、重量エネルギー密度で400~500Wh/kgとなっている。

表6 各国の車載用蓄電池(LIB)の開発目標値

国/地域	日本		米国	欧州	中国
	PHEV	EV	EV	EV	EV
車両タイプ					
重量エネルギー密度 (Wh/kg)	200	250	235	200~300	200
体積エネルギー密度 (Wh/L)	240	300	500	300~500	-
重量出力密度 (W/kg)	2,500	1,500	2,000	-	2,000
体積出力密度 (W/L)	3,000	1,800	1,000	-	-
コスト (円/kWh)	20,000	15,000	13,500	20,000	26,000
カレンダー寿命 (年)	10~15	10~15	15	10	10~15
サイクル寿命 (回)	4,000~6,000	1,000~1,500	1,000	3,000	2,000~3,000

出所：NEDO作成(2015)

(1) 米国

エネルギー省(DOE: Department of Energy)における車載用蓄電池の技術開発について、各部局の役割分担を図8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: Vehicle Technology Office)、エネルギー高等研究計画局(ARPA-E: Advanced Research Projects Agency-Energy)、科学局(SC: Office of Science)が担当している。

①DOE VTOのプロジェクト

VTOは、年間2億ドル規模の予算を拠出して、総合的な車載用蓄電池の技術開発プロジェクト「Vehicle Technologies Battery R&D」を推進している。このプロジェクトは、下記i~vのテーマで構成されており、i及びiiが民間企業主体、iii~vが国立研究所・大学主体で取り組まれている。

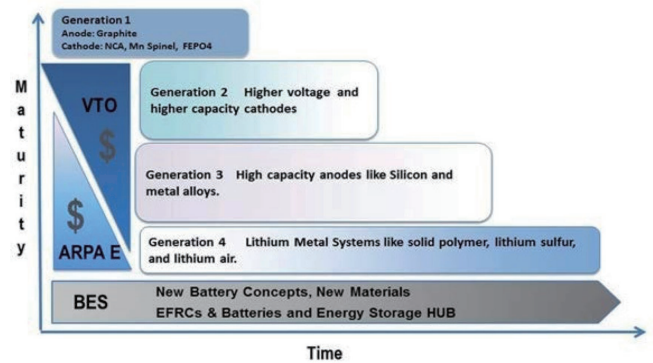


図8 DOE各部局の役割分担

出所：DOE VTO Webサイト(2014年3月閲覧)

- i - The EV Everywhere Challenge
- ii - Advanced Battery Development
- iii - Battery Testing, Analysis, and Design
- iv - Applied Battery Research for Transportation (ABR)
- v - Focused Fundamental Materials Research, or Batteries for Advanced Transportation Technologies (BATT)

iのテーマは、2012年のオバマ大統領の声明「The EV Everywhere Grand Challenge」(2022年までにEVをガソリン車並みに手頃なものにする。)に基づき実施されている。本テーマにおける開発目標を表7に示す。Johnson Controls、3M、BASF、TIAX、Leyden Energy、Argonne国立研究所等がLIB及びLIB構成材料の高性能化、低コスト化、量産化の技術開発に取り組んでいる。

表7 EV EVERYWHERE CHALLENGEの2022年開発目標

バッテリーコスト	125 ドル/kWh
電池パック重量当たりエネルギー密度	250 Wh/kg
電池パック体積当たり出力密度	400 Wh/L
電池パック重量当たり出力密度	2,000 W/kg

出所：FY 2013 Annual Progress Report for Energy Storage R&D (DOE, 2014)を基にNEDO作成(2015)

2014年2月に開催されたDOE年次成果報告会においては、2013年の成果に基づいて電池パックコスト(年間10万パック生産時)と体積エネルギー密度を試算すると、図9に示すように、それぞれ325ドル/kWh、150Wh/Lになると発表されている。

また、正極材料-負極材料の組合せごとのコスト試算も行われており、図10に示すように、三元系正極-黒鉛負極で150~200ドル/kWh、Mnを多く含んだ三元系正極-シリコン合金負極で125ドル/

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

kWh、Mnを多く含んだ三元系正極-金属リチウム負極で100ドル/kWhとなっている。

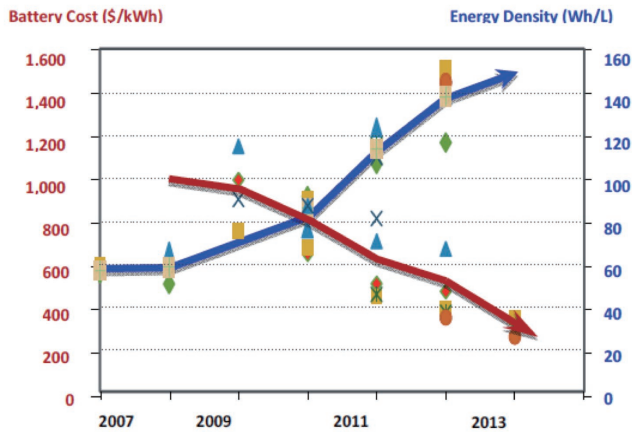
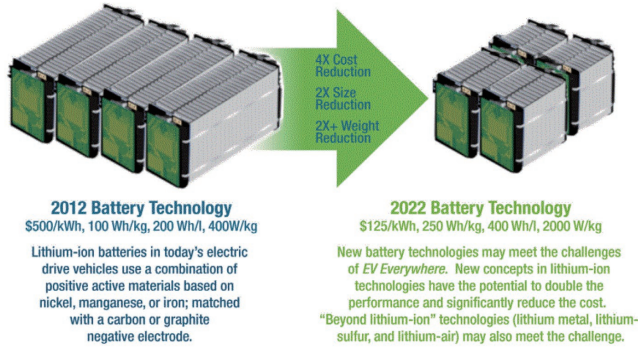


図9 EV EVERYWHERE CHALLENGEの車載用蓄電池の開発進展
出所：EV Everywhere Grand Challenge Blueprint (DOE, 2013)
EV Everywhere Grand Challenge Road to Success (DOE, 2014)

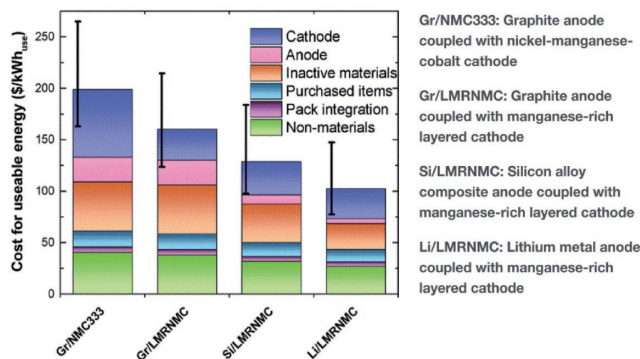


図10 EV EVERYWHERE CHALLENGEの車載用蓄電池のコスト試算

出所：EV Everywhere Grand Challenge Road to Success (DOE, 2014)

iiのテーマでは、ビッグスリー (Chrysler, Ford, GM) を幹事会社とするコンソーシアム「The United States Advanced Battery Consortium」(USABC) が主導して、複数タイプの車載用蓄電池がフルスケールサイズで開発されている。Johnson Controls, 3M,

Maxwell等の米国電池・化学メーカーに加え、LG Chemical, SK Innovation, Dow Kokam, Saft等の海外電池メーカーも参加している。また、このテーマでは、国立エネルギー技術研究所 (NETL: National Energy Technology Laboratory) の管理の下、様々な先進的な電池セル、材料、部品等の開発や、中小企業技術革新研究プログラム (SBIL: Small Business Innovation Research) の資金提供を受けた中小企業・ベンチャーによる初期的なR&Dが行われている。

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

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

② DOE ARPA-Eのプロジェクト

(a) BEEST

2010年～2013年の3年間、予算総額約3,500万ドルで実施されたプロジェクトである。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、開発目標として重量エネルギー密度200 Wh/kg、体積エネルギー密度300 Wh/L、コスト250ドル/kWhが設定された。

図11に示すように、リチウム空気電池、リチウム硫黄電池、マグネシウムイオン電池、亜鉛空気電池等の研究開発が行われた。先進的リチウムイオン電池としては、Planar Energyが全固体電池、Envia Systemsが表面修飾したMn系固溶体正極と耐高電圧電解液を組み合わせたリチウムイオン電池に取り組んだ。

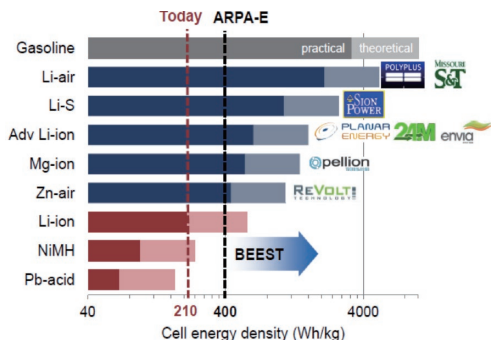


図11 ARPA-E/BEESTの開発機関と電池タイプ

出所：EV Everywhere Energy Storage Workshop (DOE, 2012)

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

(b) RANGE

2013年に開始されたプロジェクトであり、開発予算の総額は約2,000万ドルである。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、電池のコンパクト化(230Wh/L)や低コスト化(100～125ドル/kWh)等を達成することを目指している。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、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、水系リチウムイオン電池、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。

(c) 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。2012年～2015年の3年間で約3,000万ドルの予算が計画されている。

③ DOE SC のプロジェクト

SCが所管している「Basic Energy Sciences」(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、4企業(Dow Chemical、Applied Materials、Johnson Controls、Clean Energy Trust)が参加している。

LIB以外の革新型電池の開発コンセプトは、多価イオンのインサージョン反応やリチウム-酸素、リチウム-硫黄、ナトリウム-硫黄等の化学反応、非水系レドックスフローをベースとしている。

(2) EU

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

車載用LIB関連のプロジェクトの概要を表8に示す。高性能化・低コスト化に取り組むプロジェクトが多いが、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。また、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サイクル程度、カレンダー寿命が10年となっている。

表8 EGCIの車載用LIBの開発プロジェクト

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

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

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

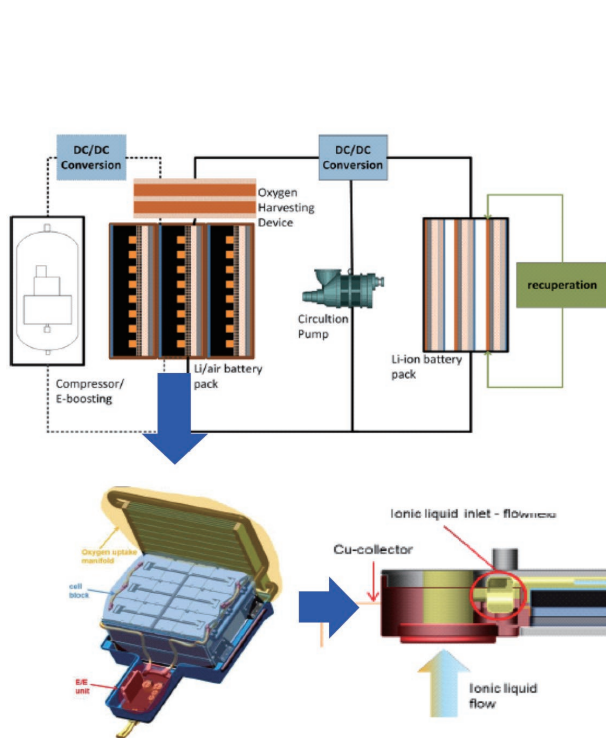
車載用革新型蓄電池関連のプロジェクトは5件あり、その内訳はリチウム硫黄電池が2件、リチウム空気電池が2件、鉄空気電池が1件である。これらプロジェクトの概要を表9に示す。エネルギー密度として400～500Wh/kgを目標に置いている。

これらの開発プロジェクトのうち、LISSENの開発アプローチを図12に、LABOHRの開発コンセプトを図13に示す。

表9 EGCIの車載用革新型蓄電池の開発プロジェクト

プロジェクト(期間)	電池タイプ	目標	参加機関
EUROLIS (2012～2016)	リチウム硫黄電池	エネルギー密度 500Wh/kg、出力密度 1,000Wh/kg@18650セル	Kemiji Institute (Slovenia)、Chalmers Tekniska Hoegskola AB (Sweden)、Renault (仏)、Saft (仏)、Fraunhofer (独)、Max Planck (独)、Volvo (Sweden)、Solvionic (仏)、Center National de la Recherche Scientifique (仏)、Center Odlicnosti Nizkoogljicne Tehnologije Zavod (Slovenia)、Sincrotrone Trieste SCPA (伊)
LABOHR (2011～2014)	リチウム空気電池	循環式ドライ酸素収集デバイスを備えたリチウム空気電池技術の開発	Universität Münster (独)、AVL (Austria)、CSIC (Spain)、Tel Aviv University (Israel)、SAES (伊)、Kiev National University (Ukraine)、University of Bologna (伊)、University of Southampton (英)、Chemetall (独)、Volkswagen (独)、ERS (独)
LISSEN (2012～2015)	リチウム硫黄電池	イオン液体電解質の開発、ハードカーボンへの硫黄粒子の均一分散技術の開発等	Consorzio Sapienza Innovazione (伊)、Chalmers Tekniska Hoegskola (Sweden)、Rockwood Lithium (独)、Sapienza Università di Roma (伊)、Volkswagen (独)、Celaya, Empananza y Galdos International (Spain)、ZSW (独)、Università degli Studi G. D'Annunzio Chieti Pescara (伊)、Universität Münster (独)、Hanyang University (韓)等
NECOBATT (2012～2015)	鉄空気電池	エネルギー密度 400Wh/Kg、サイクル寿命3,000回 (80%DOD)、コスト100Wh/ユーロ	TECNALIA (Spain)、University of Southampton (英)、ITAE/CNR (Italy)、University of Warwick (英)、INERIS (仏)、Técnicas Reunidas (Spain)、TIMCAL (Switzerland)、Saft Baterías (Spain)
STABLE (2012～2015)	リチウム空気電池	容量2,000mAh/g、サイクル寿命 100-150回	Politecnico di Torino (伊)、Acondicionamiento Tarrasense Association (Spain)、L'Urederra Fundacion Para el Desarrollo Tecnológico y Social (Spain)、SWEARIV AB (Sweden)、University College Cork (Ireland)、Sakarya Universitesi (Turkey)、Celaya Empananza y Galdos International (Spain)等

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



The solubility issue. LISSEN approach: use of a selected multi-salt, ionic liquid –based electrolyte

The kinetic issue. LISSEN approach: use of a new morphology, Homogeneous dispersion of the sulfur particles in hard carbon spherules: (HCS-S)

The safety issue. LISSEN approach: replacement of the reactive Li metal anode with a Si-C composite either pristine (Li₂S cathode) or lithiated (HCS-C cathode)

図12 LISSENにおけるリチウム硫黄電池の開発アプローチ

出所：EGVI Expert Workshop on Post Lithium Ion Batteries (European Green Vehicles Initiative, 2014)

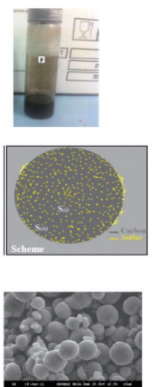


図13 LABOHRにおけるリチウム空気電池の開発コンセプト

出所：EGVI Expert Workshop on Post Lithium Ion Batteries (European Green Vehicles Initiative, 2014)

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

(3) ドイツ

ドイツ連邦政府は、EGCIの技術開発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。ドイツ連邦政府において先端的な蓄電池研究の資金を拠出しているのは、ドイツ連邦教育研究省 (BMBF: Bundesministerium für Bildung und Forschung) である。

①イノベーション連合リチウムイオン電池 2015

(LIB 2015: Innovation Alliance “Lithium-ion battery LIB 2015”)

2007年、BMBF主導で結成されたイノベーション連合である。BASF、BOSCH、EVONIK、LiTec、VW等の参加企業は、LIBの技術開発・移転に対して、2009年～2013年の4年間で総額3億6,000万ユーロを拠出し、それに追加してBMBFが6,000万ユーロの支援を行っている。これらの資金を用いて、高性能なLIBの実現を目指すプロジェクトが多数立ち上げられ、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等が実施されている。

②リチウムイオン電池コンピタンス・ネットワーク

(KLiB: Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen Batterien)

2011年、BMBFの主導で結成されたKLiBは、ドイツの電池産業発展のために形成された企業と応用研究機関のネットワークである。BASF、EVONIK、BOSCH、LiTec、SB LiMotive、バーデン・ヴュルテンベルク太陽エネルギー水素研究センター (ZSW: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg) 等、25の企業・研究機関等が参加している。LIBのパイロット生産施設 (試験生産施設) をUlmに建設している。

③ミュンスター電気化学エネルギー技術センター

(MEET: Münster Electrochemical Energy Technology)

2009年に活動を開始したMünster大学の蓄電技術研究センターである。資金はMünster大学とNordrhein-Westfalen州が主に負担し、BMBF、ドイツ連邦経済技術省 (BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)、ドイツ連邦環境・自然保護・原子炉安全省 (BMUB: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) 等の政府も支援している。電気化学や素材等の基礎研究から応用技術までを対象として産学連携を強化し、競争力を高めることを目的としている。

BMW、BOSCH等、30社以上の企業がMEETに参加しており、大手企業だけでなく、中小企業との連携も重視している。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いるほか、企業向けにLIBセルの寿命・安全性試験や素材分析等のコンサルティングも行っている。

④ヘルムホルツ電気化学エネルギー貯蔵ウルム研究所

(HIU: Helmholtz-Institut Ulm Elektrochemische Energiespeicherung)

ヘルムホルツ協会所属のKarlsruhe工科大学とUlm大学が共同で2011年に設立した研究所である。費用の90%をBMBFが、10%をBaden-Württemberg州が負担し、年間予算として500万ユーロが割り当てられている。重点研究分野は電気化学の基礎研究、材料研究、電気化学プロセス理論・モデリング等であり、基礎研究と応用研究を結びつけ、LIBの開発で産学連携を強化する役割を担っている。

(4) 中国

中国における車載用蓄電池の技術開発は、「国家ハイテク研究発展計画」(863計画)の第12次5ヶ年計画(2011年～2015年)の枠組みで実施されている。2012年には、次世代自動車に特化した新プログラム「Industrialization Technology Innovation Project of New Energy Vehicles」が立上げられ、開発予算総額約3億元のうち60%が車載用蓄電池の開発に割り当てられている。

863計画における車載用蓄電池の2020年の開発目標は、重量当たりエネルギー密度が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)とされている。この目標達成に向けて、正極材ではリン酸金属塩リチウム、三元系、リチウム過剰マンガン系固溶体、負極材では黒鉛、シリコン系、チタン酸リチウム(LTO)等を用いたリチウムイオン電池の開発が行われている。2013年における開発状況は、エネルギー密度が100～120 Wh/kg、サイクル寿命が1,200回、コストが3,000元～4,000元/kWh(5～6.5万円/kWh)のレベルと報告されている。

また、「中国国家重点基礎研究発展計画」(973計画)においては、エネルギー密度で300 Wh/kg以上を目標とした、リチウム硫黄電池やリチウム空気電池等の革新型蓄電池の基礎研究も行われている。

(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(グリーン産業)の育成を関連付けた政策を定め、これを経済成長

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

の新たな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、二次電池を韓国の次世代の基幹産業へと育成することを目指した2020年までの長期計画である「二次電池の競争力強化に向けた統合ロードマップ」を発表した。この計画においては、2020年までにはEV用や大規模エネルギー貯蔵用の中大型LIBの市場が急拡大することが見込まれるが、韓国は小型民生用の競争力では日本と同等であるものの、中大型の技術力は日本に相当に劣るとし、中大型市場を狙った研究開発に4～5兆ウォンを投資するとしている。

また、蓄電池の素材メーカーは零細企業が多く、そのR&D環境は劣悪であるため、LIB素材全体の国産化率は20%以下、特に負極材の自給率は1%に過ぎず、大部分を日本からの輸入に頼っているとし、以下に示す対応を取るとしている。

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

LIBの重要部材である正極材や負極材の技術者を育成する。

更に、2012年に前記の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。

なお、米国の動向で述べたように、LG Chemical、SK Innovation、Dow KokamはDOEの技術開発プロジェクト「Vehicle Technologies Battery R&D」に参加している。このプロジェクトにおいて、LG ChemicalはEV走行40マイル対応のPHEV用電池パックを開発中であり、目標コスト3,400ドル（10万パック生産時）をクリアするため、Mnリッチ層状岩塩構造の正極材とSafety-Reinforced Separator（マイクロポーラスポリオレフィンフィルムをナノサイズのセラミック粒子で被覆したもの）を組み合わせた次世代セルを開発している。また、SK InnovationはEV用電池パックを開発中であり、目標コスト125ドル/kWh（10万パック生産時）をクリアするため、コアシェル形態の安定化材料で表面を被覆した三元系正極材を用いた次世代セルを開発している。これまでの成果としては40Ah級セルで体積エネルギー密度が230Wh/L、重量エネルギー密度が150Wh/kg、サイクル寿命2,000回と報告されている。

一方、Samsung SDIは、三元系正極材を用いた角形セルHEV用が5.2Ah、EV・PHEV用が20～60Ahまで複数のセルをラインアップ

して事業展開しており、EV用の開発目標として、2015年までに電池コスト350ユーロ/kWh、サイクル寿命3,000回、航続距離100～150km、生涯走行距離30万kmを掲げている。

3章 車載用蓄電池分野の技術課題

3-1 蓄電池の技術進化の変遷

蓄電池は、大きな流れとして、鉛蓄電池、ニカド電池、ニッケル水素電池（Ni-MH電池）、リチウムイオン電池（LIB）の順で開発されてきた。

蓄電池の開発の歴史は、基本的に高エネルギー密度化の歴史であるといえ、表10に示すように、現在の主な市販品（民生用小型）の重量エネルギー密度で比較すると、ニカド電池は鉛蓄電池の約1.5倍、Ni-MH電池はニカド電池の約2倍、LIBはNi-MH電池の約2～2.5倍となっている。

表10 主な市販の蓄電池のエネルギー密度

種類	商品化	形状	セル電圧	重量エネルギー密度	体積エネルギー密度
鉛蓄電池	1859年	角形	2.0 V	30～50 Wh/kg	50～100 Wh/L
ニカド電池	1863年	単三	1.2 V	55～65 Wh/kg	170～210 Wh/L
Ni-MH電池	1990年	単三	1.2 V	90～100 Wh/kg	340～390 Wh/L
LIB	1991年	18650	3.7 V	200～250 Wh/kg	460～700 Wh/L

出所：NEDO作成（2015）

このような高エネルギー密度化を蓄電池にもたらした要因として、以下に示す二つの技術革新が挙げられる。

一つ目の技術革新が、蓄電池反応機構の単純化である。

蓄電池の反応機構には、図14に示すように、溶解・析出反応とインサージョン反応の2種類がある。溶解・析出反応機構では、電極活物質が電解液中に溶解し、充放電により複雑な反応過程を経て固体の放電生成物が生成されるのに対して、インサージョン反応機構はイオンが電極活物質の結晶中に挿入・脱離するだけの単純なものである。

鉛蓄電池では正極・負極の両方で溶解・析出反応、ニカド電池では正極でインサージョン反応、負極で溶解・析出反応、Ni-MH

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

電池とLIBでは正極・負極の両方でインサージョン反応をそれぞれ利用している。そのため、Ni-MH電池及びLIBでは、本質的に充放電サイクルに対する安定性が高くなり、同時に優れた電池特性が得られる材料・構造の選択が可能となった。

二つ目の技術革新が、有機電解液の採用による高電圧作動化である。

ニカド電池及びNi-MH電池では水系電解液（アルカリ水溶液）を使用するため、水の理論分解電圧である1.23V以上の電池電圧を得ることは原理的に不可能である。（鉛蓄電池も水系電解液を使用するが、正極活物質の二酸化鉛上での酸素過電圧と負極活物質の鉛上での水素過電圧が極めて大きいため、約2Vの電池電圧が得られる。）

これに対して、有機電解液を使用するLIBにおいては、Ni-MH電池の約3倍という3.7Vという高い電池電圧が得られ、エネルギー密度が飛躍的に向上した。そして、1991年のソニーによる商品化以降、LIBは高エネルギー密度蓄電池の中心になっている。

LIBの普及過程においては、高エネルギー密度化を図る様々な研究開発が行われた。その結果、LIBのエネルギー密度は発売当初の3倍程度となり、現在も高密度化が進んでいる。しかし、EV・PHEV等の電動車両用途においては更なる高エネルギー密度化が必要であり、トレードオフの関係にある安全性・耐久性の確保を考慮すると、その反応の性格から、LIBの性能は工業的な限界に近づいているといわれている。

特に、EVの走行距離をガソリン車並みの500～600km程度まで伸長させようとした場合、LIBの性能を凌駕する革新型蓄電池を開発する必要がある。

3-2 各種蓄電池の特徴と高エネルギー密度化の可能性

本節では鉛蓄電池、ニカド電池、Ni-MH電池、LIB、革新型蓄電池の順に、その技術的な特徴と今後における高エネルギー密度化の可能性について述べる。

(1) 鉛蓄電池

歴史上、最初に登場した実用蓄電池は鉛蓄電池であり、1859年にフランスのPlanteによって発明された。通常、バッテリーといえは鉛蓄電池を指すほど、自動車の起動用電源を中心に現在も幅広い用途で使用されているが、その理由は大出力と電池構成材料コストの低廉さにある。

鉛蓄電池では正極活物質に二酸化鉛、負極活物質に鉛、電解液に希硫酸を使用しており、蓄電池反応は正極・負極ともに鉛イオンの溶解・析出反応である。硫酸と二酸化鉛（正極）又は鉛（負極）の反応により、放電生成物は正極・負極ともに硫酸鉛になるため、放電の際には硫酸が消費されて濃度が低下することから、電池電圧が低くなり、逆に充電すると硫酸が生成されて比重が上昇するために電池電圧が高くなる。また、放電によって生成した硫酸鉛が二酸化鉛や鉛に戻り難い第二の固体層として析出し、充放電が円滑に進まなくなるといったサルフェーション現象が起きることもある等、電気化学的に固体の溶解再析出を伴う複雑な反応系である。

鉛蓄電池の小型軽量化・高出力化は、極板の薄板化、セパレータの低抵抗薄型化、セル間接続抵抗の低減等によって顕著に進展したが、基本的に高エネルギー密度化の技術開発はほぼ終了しているといえる。

(2) ニカド電池

次いで登場した蓄電池がニカド電池であり、1899年にスウェーデン人のJungnerによって発明された。

ニカド電池では正極活物質に水酸化ニッケル、負極活物質に水酸化カドミウム、電解液にアルカリ水溶液（水酸化カリウム）を使用する。蓄電池反応については、正極はプロトンが脱離・挿入されるインサージョン反応であり、鉛蓄電池のように充放電生成物の明確な溶解・析出は起こらない。一方、負極においては、活物質は放電時に水酸化カドミウムとして、充電時は金属カドミウムとして固体で存在し、カドミウム錯体の溶解・析出反応が起きる。

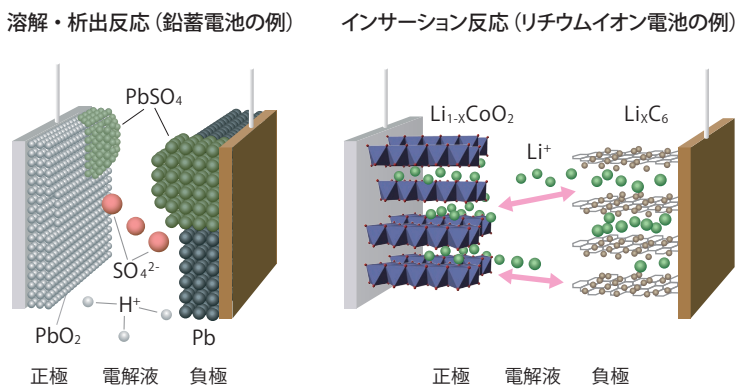


図14 蓄電池の反応機構
出所：NEDO作成（2015）

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

ニカド電池は発明当初、構成材料が高価であったため、商品化されるまで年月を要した。しかし、1930年代前半のAckermanによる焼結式電極板の発明、1940年代後半のNeumanによる完全密閉化技術の発明を経て、1960年に米国で商品化され、日本では1963年から64年にかけて三洋電機、松下電器産業が相次いで量産化した。

その後、1980年代に入ると、発泡式ニッケル基板の採用により30%の高容量化、引き続いて、球状化処理した活物質の発泡式ニッケル基板への充填技術の確立により60%の高容量化を達成し、軽量小型の蓄電池として社会に普及した。ハンディ型のビデオカメラの普及とともに販売数量が増加し、1994年にはピークとなる9億個が販売されたが、環境負荷が大きいという課題もあり、Ni-MH電池の普及とともにシェアを奪われ、販売数量は減少していった。

ニカド電池は、急速充放電特性や温度特性に優れた頑丈で安価な蓄電池であり、玩具用や電動工具用等では現在も使用されている。しかし、高エネルギー密度化の技術開発は、上記した発泡式ニッケル基板の採用と球状化活物質充填技術の確立で基本的に終了しているといえる。

(3) ニッケル水素電池 (Ni-MH 電池)

Ni-MH電池は、ニカド電池のカドミウム負極を水素吸蔵合金で置き換えたものであり、電池電圧もほぼ同じ1.2Vである。

蓄電池反応については、正極はニカド電池と同様に、プロトンが脱離・挿入されるインサージョン反応であるが、負極においても水素吸蔵合金の中をプロトンが放電して生成した水素原子が脱離・挿入されるインサージョン反応であり、両電極においてインサージョン反応を実現したことが特徴である。

金属が水素ガスと反応して金属水素化物を生成することは古くから知られていたが、これを蓄電池の負極に用いるためには、常温付近で電気化学的に水素を吸蔵・放出する能力を備えている必要がある。そこで実用的な常温域で利用可能な水素吸蔵合金の探索が行われ、1970年前後にオランダのPhilips研究所においてLaNi₅水素吸蔵合金が発見され、引き続いて、Laに代替して安価な希土類元素 (Mm: ミッシュメタル) を用いたMmNi₅合金が発明された。このAB₅型水素吸蔵合金を負極に用いることにより、1990年、ニカド電池を凌ぐ容量を有するNi-MH電池が三洋電機と松下電池工業により実用化され、ニカド電池の発明以来、約100年ぶりに新しい蓄電池が登場した。更にその後、2000年には、AB₅型構造ユニットとAB₂型構造ユニットが規則的に積層した超格子構造を有した高容

量のMm-Mg-Ni系合金が開発され、約20~30%の高容量化を実現した。

1990年の実用化以降、Ni-MH電池は、携帯電話の普及とともにニカド電池の市場を奪いながら、それを遥かに超えるスピードで普及し、2000年にはピークとなる約10億個が販売されたが、約2年の遅れでLIBが販売されると、蓄電池に対するコストデマンドの低いモバイル・IT機器では一気にLIBによって代替された。

しかし、Ni-MH電池は出力特性、安全性、信頼性、リサイクル性等、総合的にはバランスが取れた蓄電池であり、現在もHEV、電動工具等の高出力用途や乾電池代替用途では一定の市場を確保している。2013年には販売数量が約4億個、販売金額は2000年当時の2倍に近い約1,800億円となっており、そのうち、HEV用では約1,700 MWh、約1,300億円が販売されている。

ただし、アルカリ水溶液を電解液に用いるため、前述のとおり、水の理論電解電圧 (1.23V) 以上の電池電圧を得ることが原理的に不可能であり、作動電圧の大幅な向上は今後期待できないことから、高エネルギー密度化の技術開発は、上記したMm-Mg-Ni系合金の実用化でほぼ終了しているといえる。また、Ni-MH電池には、使用方法によっては正極の容量が顕著に低下するメモリー効果と呼ばれる劣化も大きな課題として残されている。

(4) リチウムイオン電池 (LIB)

IT・モバイル機器の小型軽量化・高機能化の流れの中で、Ni-MH電池を超えるエネルギー密度を持つ蓄電池として登場したのがLIBである。

リチウムは、元素の中で最も小さな酸化還元電位 (標準水素極基準で-3.045V) をもち、更に比重が固体単体中で最も小さい (d=0.534) ため、高エネルギー密度化が期待できることから、1950年代に米国で軍事・宇宙開発用の一次電池の負極として提案された。そして、1976年に我が国において、正極にフッ化黒鉛を用いた世界最初の民生用リチウム一次電池が実用化された。その後、二酸化マンガンを正極とするリチウム一次電池が開発され、主流となっていった。このリチウム一次電池について、充電を可能とする蓄電池化の技術開発が進められたが、リチウム金属が樹枝状 (デンドライト状) に析出・成長し、信頼性・安全性及び寿命を損ねるという点が障害となり、現在に至ってもリチウム金属負極の蓄電池は本格的に実用化されていない。

このデンドライト析出の問題を解決するために、リチウムと金属間

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

化合物を形成する金属・合金材料や、リチウムを自らの構造内に取り込むことができる化合物等が試みられた中で、LIBが創造された。1980年に、Goodenough（英国）と水島公一が、リチウムイオンを脱離・挿入するコバルト酸リチウム（ LiCoO_2 ）等の層状化合物を発明した。また同年、Scrosati（イタリア）らによって、正極と負極に酸化物を使用し、両極でリチウムイオンの脱離・挿入反応を利用する蓄電池系が発表されている。更に、有機電解液中でリチウムの黒鉛層間化合物を用いた負極に関する特許は、1981年の三洋電機の池田宏之助らによるものが世界最初とされている。

LIBは、正極活物質にリチウム酸化物、負極活物質に炭素（グラファイト、ハードカーボン等）、電解液に有機溶媒（エチレンカーボネート、プロピレンカーボネート等）とリチウム塩（ LiPF_6 、 LiBF_4 等）の混合物で構成される。

LIBの蓄電池反応は、Ni-MH電池と同様、正極・負極ともにリチウムイオンのインサージョン反応で成り立っており、電極活物質の溶解・析出反応がないため、蓄電池として極めて有利な反応形態である。更に、この蓄電池の価値を高めている特長は、高い電池電圧である。LIBの正極活物質として代表的なコバルト酸リチウムの理論容量は274Ah/kgであるが、構造を維持して繰り返し使える実効容量は150Ah/kgであり、ニカド電池とNi-MH電池の正極活物質である水酸化ニッケルの290Ah/kgの約半分にすぎない。しかし、アルカリ水溶液を電解液に用いるNi-MH電池では、電池電圧は水の理論分解電圧（1.23V）以下の1.2Vとなるのに対して、有機電解液を使用するLIBでは約3倍の3.7Vという高電圧が得られる。そのため、Ni-MH電池の理論エネルギー密度が218Wh/kgであるのに対して、LIBの理論エネルギー密度は400～650Wh/kgと飛躍的に向上する。

このような特長を有するLIBは、1980年代の初めに旭化成の吉野彰によって原型が考案され、1991年にソニーによって世界で初めて商品化されると、瞬く間にIT・モバイル機器への搭載が進み、一気にNi-MH電池を代替した。現在もLIBの生産量は顕著に増加しており、民生用では2010年の約21GWhから2014年には約43GWhと5年間で約2倍となっている。また、車載用としての生産量も2010年の約110MWhから2014年には約5,200MWhと5年間で約50倍と急増している。

こうしたLIBの普及過程において、電極活物質、電解液、セパレータ、合剤電極構造、セル化技術等、様々な研究開発が行われ、高エネルギー密度化、高出力化、長寿命化、低コスト化が進展した。このうち、高

エネルギー密度化については、電極活物質固有の物性に大きく依存するため、様々な正極・負極活物質が探索・開発されると同時に、充電終了電圧を上昇させるための電解液の改良、集電体の薄型化や筐体内への電極部材の収納方法の改良等が行われた。その結果、LIBのエネルギー密度は、発売当初から飛躍的に向上している。1990年代前半の18650型^{※3}LIBの重量エネルギー密度は80Wh/kg程度、体積エネルギー密度は200Wh/L程度であったのに対して、現在の民生用途の18650型LIBでは重量エネルギー密度で250Wh/kg以上、体積エネルギー密度で700Wh/Lと3倍以上となった。

しかし、EV・PHEV等の電動車両の主動力源として要求される高出力特性、安全性、耐久性等の全てを満足させようとすると、現状ではエネルギー密度が低い電池を選択せざるを得ない。したがって、車載用LIBについては、今後も安全性・耐久性等に優れた高エネルギー密度化の技術開発に取り組むことが必要である。

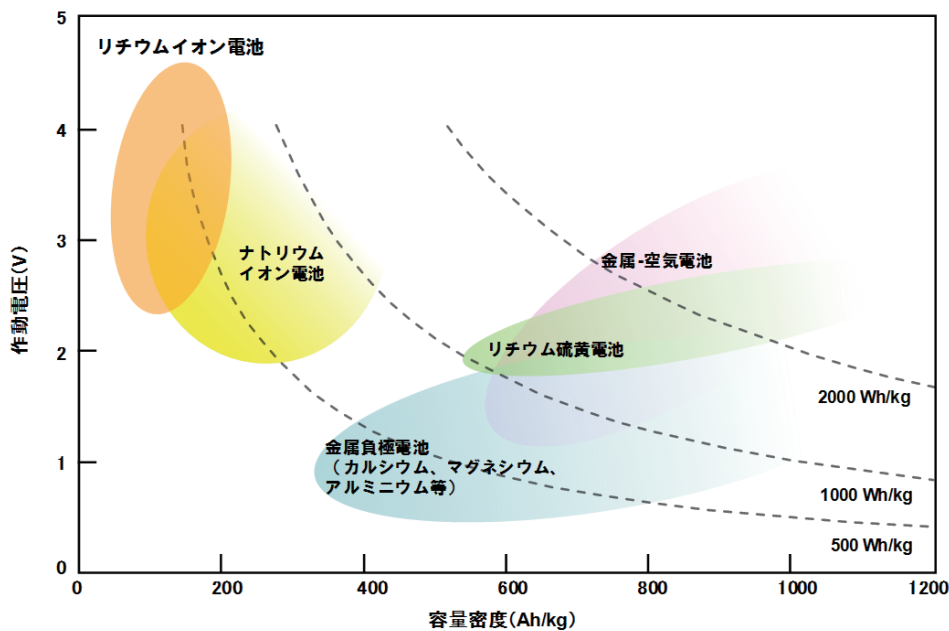
(5) 革新型蓄電池

LIBについては更なる高エネルギー密度化が必要である一方、これとトレードオフの関係にある安全性・耐久性の確保を考慮すると、LIBのエネルギー密度には工業的な限界が近づいているといわれている。

特に、EVについて1回の充電あたりの走行距離をガソリン車並みに伸長させようとした場合、現在の電池パックのエネルギー密度を現状の約5倍に高めると同時に、コストも現状の1/5程度に低減する必要がある。この開発目標を達成するには、LIBとは電荷キャリア、材料、構造等が全く異なった新原理の革新型蓄電池を開発する必要がある。そのため、2章に記述したとおり、様々な革新型蓄電池の候補に関する研究開発が世界全体で活発化している。現在、研究開発されている各革新型蓄電池について、容量密度と作動電圧の関係をプロットしたものを図15に示す。

※3 直径18mm×長さ65mmの円筒形電池のこと。

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて



※正極・負極活物質材料の理論容量密度と標準電極電位に基づいて算出した作動変圧値のプロットであり、あくまで高エネルギー密度化の可能性を示す理論的なものである。実際の蓄電池、すなわち、電極活物質以外の電極・電解質材料、集電体箔、外装材等が組み込まれた状態で得られた性能ではない。

図15 革新型蓄電池の技術マップ (容量密度と作動電圧)

出所：NEDO 二次電池技術開発ロードマップ2013 (2013)

3-3 電動車両開発の変遷

電動車両は、蒸気自動車やガソリン車と並んで最も古くからある技術の一つであり、1899年には走行速度が100km/hを超えるEVが開発されたが、出力やエネルギー密度が低く、コストも高く、寿命も不十分であったことから、ガソリン車の性能向上に押されて衰退していった。

我が国では、環境制約の高まりに応じて過去2回の電動車両開発の動きがあった。双方とも、主として排出ガス低減の決め手としてEVへの注目が集まったこと、EV用の蓄電池の開発が展開されたことが共通点である。

1回目は、1970年代前半における米国マスキー法 (Muskie Act) の導入が契機となったものであり、1971年～1976年の6年間、国が主体となったプロジェクトでEVの研究開発が行われた。適用された蓄電池は鉛蓄電池である。当時としては世界最高のEV実験車 (図16) が開発されたものの、鉛蓄電池パックの総重量は538kg、1回の充電あたりの走行距離は244km (40km/hの定常走行) であり、ガソリン車の性能には遠く及ばず、実用化には至らなかった。



車両諸元	全長	3,410 mm
	全幅	1,500 mm
	全高	1,480 mm
	総重量	1,480 kg
	乗員定員	4人
	最高速度	85 km/h
蓄電池諸元	走行距離 (40 km/h 定常)	244 km
	定格電圧	144 V
	公称容量	190 Ah (5 hr)
	エネルギー密度	50 Wh/kg
	サイクル寿命 (5 hr 60 %放電)	522 サイクル
	総重量	538 kg

図16 通産省・電気自動車プロジェクトの第2次実験車 (EV-2P)

出所：次世代自動車用電池の将来に向けた提言 (経済産業省, 2006)

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

2回目は1990年代前半における米国California州のZEV (Zero Emission Vehicle) 規制を契機とする、自動車メーカー各社のEV開発への着手である。当時のEV開発で適用された蓄電池はNi-MH電池であり、高性能化の研究開発が展開された。その結果、1995年、トヨタ自動車はRAV4-EV、本田技研工業がEV Plusの販売を開始した(図17)。これらEVも当時としては世界最高性能であったものの、走行距離と価格は、RAV4-EVが220km、495万円、EV Plusが220km、月額26.5万円(リース価格)であり、ガソリン車に比べて劣るため、普及は進まなかった。



図17 ニッケル水素電池を搭載した電気自動車
(上：トヨタ自動車 RAV4-EV、下：本田技研工業 EV Plus)

しかし、これら2回のEV開発を通じ、インバータ及びモータの高出力化・高効率化技術に大きな進展が見られた。インバータに関しては、十分な効率・信頼性を有する大電力制御技術が構築された。また、モータに関しては、磁性材料自体の研究開発、製造技術の高精度化、構造強度・信頼性の確保等により、コンパクトかつ高出力な交流同期モータの開発が進展した。更に、Ni-MH電池の性能向上・低コスト化も進展した。これらの技術進展を踏まえて、自動車メーカー各社はEV開発からHEV開発への方向転換を行った。その結果、1997年、世界初の量産HEVとしてPriusがトヨタ自動車より販売開始され、次いで1999年には本田技研工業もInsightを市場投入して追随し、以降、この2社は車種を増やすとともに、販売地域を日米欧と広げ、生産台数を増やした。2014年におけるHEVの世界生産は約190万台であり、世界シェア

のトップはトヨタ自動車で約135万台(シェア約70%)、次いで本田技研工業の約33万台(シェア約17%)であり、この日本メーカー2社で世界市場の約9割を確保している。

このようにHEVの普及が進む中、世界全体でエネルギー制約及び温暖化抑制に関する問題意識が高まると同時に、Ni-MH電池を凌駕する高エネルギー密度蓄電池であるLIBの技術がめざましく進展した。そのため、自動車メーカー各社は、LIBを用いたEVの開発を進め、2000年代初頭より量産試作モデルの自治体・法人向けリース販売や実証試験等を通じて、走行可能距離の限界や蓄電池の適正搭載量、寿命等のデータ収集を進めた。その結果、EVについては、2009年に三菱自動車がi-MiEVの量産を開始し、次いで2010年に日産自動車がLeafの量産を開始した。また、PHEVについては、2010年にGM Voltの販売開始によって市場が立ち上がり、2012年にはトヨタ自動車がPrius PHV、2013年には三菱自動車がOutlander PHEVを日本市場に投入し、順次、欧米での販売に展開した。

海外の自動車メーカーも積極的に開発と市場参入を進めており、今後、2017～2018年にかけて各自動車メーカーのラインナップが拡大する見通しである。

3-4 電動車両及び車載用蓄電池の技術課題

(1) HEV 及び HEV 用蓄電池の技術課題

HEVのパワートレインシステムはエンジン、モータ、発電機、インバータ、蓄電池で構成される。その作動方式はエンジンで発電した電力によってモータで車輪を駆動するシリーズ方式、エンジンとモータで車輪を駆動し、モータによって蓄電池に充電するパラレル方式、これらの両方の機構をもつシリーズ・パラレル方式の3つがあり、例えば、トヨタ自動車Priusはシリーズ・パラレル方式を採用している。

HEVシステムの特長としては、i) ブレーキ時のエネルギー回生が可能、ii) 負荷変動に伴う効率変化が少ない、iii) エネルギー密度の高い液体燃料が使用可能、iv) エンジンは低コストかつ長寿命が証明済み等、EVとガソリン車の長所を利用した技術である。

HEVは、一般のガソリン車の約2倍の燃費性能を有しているものの、化石燃料の使用を前提としている。そのため、主要各国政府は、今後、HEVよりもEV・PHEVの普及率を高めていく方針であり、例えば、米国のZEV規制においてHEVは「AT-PZEV」(Advanced Technology Partial Zero Emission Vehicle)と

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

定義されており、2018年以降には認定対象から除外される方針となっている。

また、HEV用蓄電池では、加速時に費やされる瞬時的な出力と回生電力の受容性、すなわちパワー性能が最も重視され、電気の貯蔵量（エネルギー密度）は二義的と考えられている。そのため、電池パックの容量は0.5～2kWh程度と小さく、車両コストに電池パックの占める割合は小さい。

以上のことから、HEVについては、今後、更なる燃費向上、低コスト化、信頼性確保等が求められるものの、技術的には成熟しつつあり、また、搭載される蓄電池の技術進展が今後におけるHEVの進化に果たす役割はそれほど大きいとはいえない。

(2) PHEV 及び PHEV 用蓄電池の技術課題

PHEVは、基本的にHEVと同じパワートレインシステムの構成であるが、蓄電池の搭載量を増やし、外部からの充電を可能にしており、比較的短距離においてはEV走行を行い、長距離ではHEV走行を行う自動車である。現在、市販のPHEVに搭載されている蓄電池は、高いエネルギー密度を求められることから全てLIBである。自動車メーカーによってPHEVの開発戦略は異なり、大別すると、HEVのシステムをベースとしたモデル、例えばトヨタ自動車Prius PHVやFord C-MAX・Fusion等と、EVのシステムをベースとして、レンジエクステンダと呼ばれる発電用エンジンを搭載したモデル、例えばGM VoltやBYD Auto Qinの2つが存在する。

HEVとPHEVで大きく異なる点は、蓄電池の使用条件である。HEV用蓄電池では、SOC（充電状態）が50%程度を中心にプラスマイナス20%程度の狭い範囲で浅い充放電を激しく繰り返す。一方、PHEV用蓄電池ではEV走行を行うため、蓄電池はSOCが20～90%程度の範囲で使用されることになるが、それに加えて、SOCが20%であっても、また90%であってもHEVと同じ使用条件となる。すなわち、蓄電池の残量が少ないときにも大きな出力が要求され、また満充電に近い状態にあるときでも大電流で高速充電される。この使用条件は蓄電池にとって極めて過酷であり、劣化を招いて寿命を短くするとともに、安全性の確保が著しく難しいとされている。

また、PHEVの電池パックにおいては数十以上のセルを直列接続して使用しているが、充放電サイクルを重ねたとき、各セルの容量、SOC、内部抵抗、温度等、種々のばらつきが生じる。極端なケースでは、ある特定のセルで集中的に劣化が進んだ結果、電池パックとして十分な寿命を確保できずに交換を要する場合も想定される。

そのため、各自動車メーカーは、単セルと電池パックとの間で寿命に大きな開きが生じることのないよう、蓄電池の運用システムに工夫を施している。しかし、電池パック性能保証期間は、例えば、GM Voltでは8年間、Prius PHVでは5年間となっており、ガソリン車の寿命の目安といわれている10～15年とは大きな開きがある。

更に、今後の先進国を中心としたCO₂排出規制やZEV規制等への対応に向けては、電動走行距離を伸長させた車両モデルの市場投入が求められる。しかし、蓄電池の単純な積増しによる電池パック容量の増加は、室内空間がせまくなる等、車両設計の制約とコストアップを招く。

以上のことから、PHEVについては、電池パックの信頼性・耐久性の確保、EV走行距離の伸長に向けたエネルギー密度の向上等、複数の大きな技術課題が存在しているといえる。また、その課題解決に向けて蓄電池の担う役割は大きく、2020年代の普及拡大期に向けてはLIBの技術革新が求められ、更に2030年代以降の本格普及期に向けては、LIBを凌駕する革新型蓄電池の創出が求められている。

(3) EV 及び EV 用蓄電池の技術課題

EVは、PHEVよりも更に蓄電池の搭載量を増やし、電気のみで走行する自動車である。EVのパワートレインシステムは、モータ、蓄電池、インバータのみで構成されるため、HEV・PHEVと比較して簡素な構造になる。中国市場では鉛蓄電池を使用したマイクロEVも販売されているが、現在、先進国で市販されているEVの蓄電池は全てLIBである。

現在のEVは、①日産自動車Leaf、三菱自動車i-MiEVやVW e-up!等の、価格を抑えた中・小型車、②Tesla Motors Model SやBYD Auto e6等の、高価格であるが大量の蓄電池と高出力モータを搭載した大型車、③日産自動車eNV200、Renault kangoo等の商用バンタイプ、といった形で各自動車メーカーは異なるコンセプトで市場開拓を進めており、電池パックの容量に幅がある。

しかし、車両モデルによらず、その普及拡大に向けた課題は共通で、走行距離の限界、電池パックの耐久性、コスト低減である。

EVについても、PHEVと同様に、電池パックの信頼性・耐久性の確保、走行距離の伸長に向けたエネルギー密度の向上等、複数の大きな技術課題が存在している。また、その課題解決に向けて蓄電池の担う役割は大きく、2020年代の普及拡大期に向けてはLIBの技術革新が求められ、更に2030年代以降の本格普及期に向け

車載用蓄電池分野の技術戦略策定に向けて

ては、LIBを凌駕する革新型蓄電池の創出が求められている。

なお、EVのユーザーに対して新たな価値を提供するものとして、大容量の蓄電池を搭載するEV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。

図18に示すように、V2HはEV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を地域の電力系統に接続することで、EV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、再生可能エネルギーの発電事業者等の蓄電設備の設置負担軽減を目指すものである。その一方で、V2H・V2GはEV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、ユーザーがEVを使用する際に十分な電力が車載用蓄電池に充電されていない場合は、走行距離が不十分となり、本来の自動車としての利便性が損なわれることが課題として挙げられる。そのため、車載用蓄電池について高エネルギー密度化や低コスト化が進展し、蓄電容量が増大したEVの普及拡大が図られることは、V2H・V2Gの普及と課題の解決にも繋がるといえる。

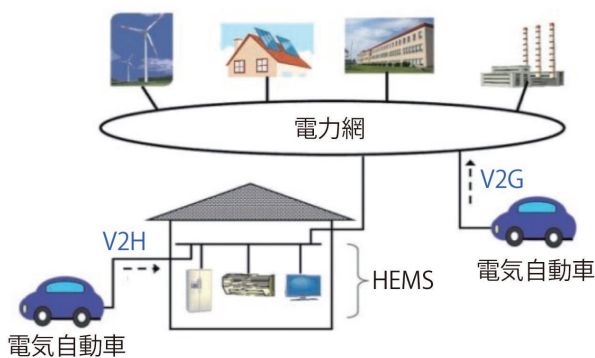


図18 V2G (Vehicle to Grid)、V2H (Vehicle to Home)

出所：NEDO作成 (2015)

4章 おわりに

EV・PHEVは、外部から供給される電気を蓄電池に貯蔵し、主要な動力源として活用するものであり、エネルギー効率に優れ、再生可能エネルギー由来の電力の利用も可能である等、低炭素化技術の決め手となると考えられる。

EV・PHEVを普及させるためには、ガソリン車と同等の使い勝手を実現すること、すなわち、現在課題とされている1回の充電あたりの電動走行距離の飛躍的な伸長や、車両コストの抜本的な低減が必要である。これら課題解決のキーテクノロジーとなるのが車載用蓄電池であり、LIBの更なる高性能化に留まらず、LIBを凌駕する高エネルギー密度で安価な革新型蓄電池の実用化が必要である。

エネルギー密度を飛躍的に向上させた、安全性・信頼性が高い、低コストの車載用蓄電池 (革新型蓄電池及び先進LIB) と、それを搭載したEV・PHEVの市場投入を通じて、自動車・蓄電池関連産業の国際競争力を維持・向上させていくことが期待される。また、安全性や性能の試験評価法、更には給充電方法等について国際標準化の提案を行って、電動車両分野の発展に対する貢献を行うことも必要である。