

車載用リチウムイオン電池の現状と今後の展望

小林 弘典

国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 総括研究主幹

要旨 車載用蓄電池は、エネルギー密度に対する要求が高く、リチウムイオン二次電池（LIB）の優位性が高い。電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）、ハイブリッド自動車（HEV）の車種が異なることで、電池の役割のみならず、電池の運用方法も異なる。現在、第二世代の車載用 LIB では高エネルギー密度化が進んでいるが、材料の変更による更なる高エネルギー密度化の余地はまだあると思われる。

ポスト LIB としては全固体 LIB が最有力候補であり、体積エネルギー密度の大幅向上の可能性が期待できることから、車載用として適している。硫化物系全固体 LIB の普及へ向けた技術的課題は、エネルギー／出力密度の向上及び安全性の確保、コスト低減が挙げられる。産総研 電池技術研究部門では、硫化物系全固体 LIB としては電極／固体電解質シートを積層したシート型セル作製技術の開発、酸化物系全固体 LIB としては低温プロセス及び可塑性材料を組み合わせたプロトタイプセルの開発に取り組んでいる。（本稿は、2019年6月12日に千里ライフサイエンスセンター（大阪）にて行われた弊社主催「第5回蓄電池ユーザーミーティング」での招待講演を基に構成したものです。）

1. 電動車両を取り巻く最近の状況

電動車両需要の高まりの背景には、二酸化炭素（CO₂）削減が主な理由として挙げられる。2017年度の日本国

内のCO₂排出量の17.9%が運輸部門（自動車、船舶等）から排出されており、運輸部門の86.2%を自動車が、中でも、自家用乗用車が46.2%を占めているという報告が国土交通省よりされている（図1）。

このような背景から、日本はもちろんのこと、世界

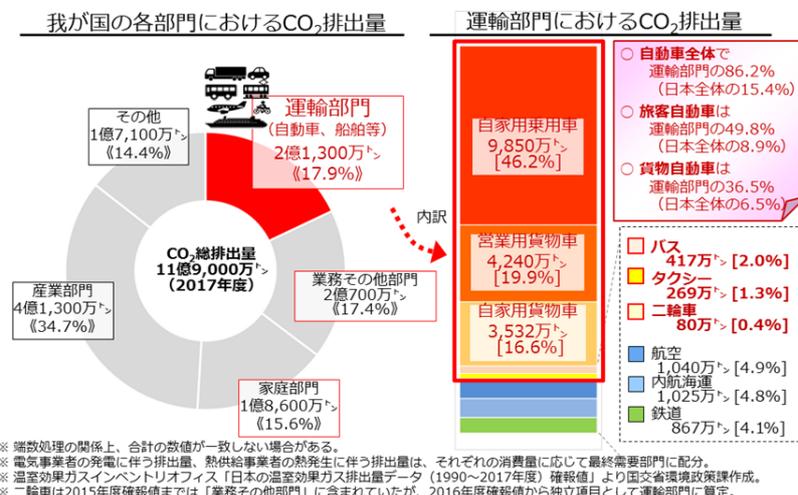


図1 運輸部門におけるCO₂排出量

<出典> 国土交通省ホームページ（環境）

各国で自動車の電動化に向けた取り組みが進んでおり、欧州や中国を中心に、EVやPHEVといった電動化に舵を切ったというのがここ数年の大きな傾向である。ノルウェーは、2025年にはゼロエミッション車の新車販売100%を目指すとしており、スウェーデンやデンマークは2030年に、イギリスやフランスは2040年に、内燃機関とディーゼル車の販売を禁止するとしている。実際、EVおよびPHEVの販売台数の比率は、ノルウェーでは20%近くと高く、アイスランド、スウェーデン、オランダなどでも、5%以上の電動車両が販売されている。日本では、HEVの販売台数は順調に伸びてきている一方で、PHEVやEVは頭打ちになっていたが、2017年に再びPHEVやEVの台数が伸びてきており、世界的な動向と類似の傾向を示している。

CO₂の削減という観点からは、本来は発電方式まで考慮してCO₂排出量を試算する必要がある。例えば、原子力や風力、水力発電では発電時にCO₂を排出しないため、その電気を使ってEVを駆動すれば、CO₂削減への寄与は大きい。一方、石炭やLNGなどを使って発電すると、発電時のCO₂排出量が多くなるため、電動化によるCO₂削減効果は限定的になる。国内に目を向けると、東日本大震災以降は原子力発電が大幅に減少し、LNGや石炭などの火力発電の割合が増加している。電動化を進めたとしても、日本の電源構成からは胸を張ってCO₂削減をしているとは言い難いのが実情である。中国も石炭火力が非常に多く、日本と類似の状況ではあるが、都市環境の改善という観点からは、電動化の効果は大きいと考えられる。北欧地域では、自動車の電動化に積極的に取り組んでいるが、水力や風力発電などの再生可能エネルギーの発電比率が高い

表1 LIBの市場規模予測

分野	2017年 (億円)	2030年 (億円)	増加率 (2030年/2017年)
次世代環境自動車分野 (内:HEV) (内:PHEV) (内:BEV)	16,129 (654) (2,038) (7,811)	97,493 (2,726) (24,778) (59,195)	6.0 (4.2) (12.2) (7.6)
電力貯蔵分野 (内:住宅用蓄電システム) (内:電力貯蔵(系統設置))	1,367 (413) (350)	10,614 (2,453) (3,802)	7.8 (5.9) (10.9)
動力 (内:フォークリフト) (内:電動式自動二輪車)	831 (37) (725)	9,892 (4,457) (4,423)	11.9 (120.5) (6.1)
家電分野	6,441	8,757	1.4
総計	26,192	131,898	5.0

<出典> エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望 2018、富士経済(2018)を参考に作成

ことが背景にある。

このような潮流の中で、自動車向けの車載用LIBの市場拡大への期待は大きい。2030年のLIBの市場規模予測を、2017年からの増加率で見ると、EVとPHEVの伸びは大きく、将来的に非常に有望な市場であることが分かる(表1)。

内燃機関がないEV、電池を搭載するが主としてエンジンで駆動するHEV、電池走行も想定したPHEVと、車種によって電池に求められる特性は異なる(図2)。いずれにおいても高い安全性・信頼性は不可欠であるが、EV用途では、電池容量が走行距離に直結するので、できるだけ幅広い電圧範囲で電池を使うことになる。HEVの場合は、加速や回生などで効率的にエネルギーを活用するために、高い入出力密度が求められており、EVとは要求性能が異なる。PHEVは、EV走行とHEV走行を両立できる電池にする必要がある。三菱自動車のアウトランダーPHEVでは、3種類の走行モードがある。EV走行モードは、電池とモーターだ

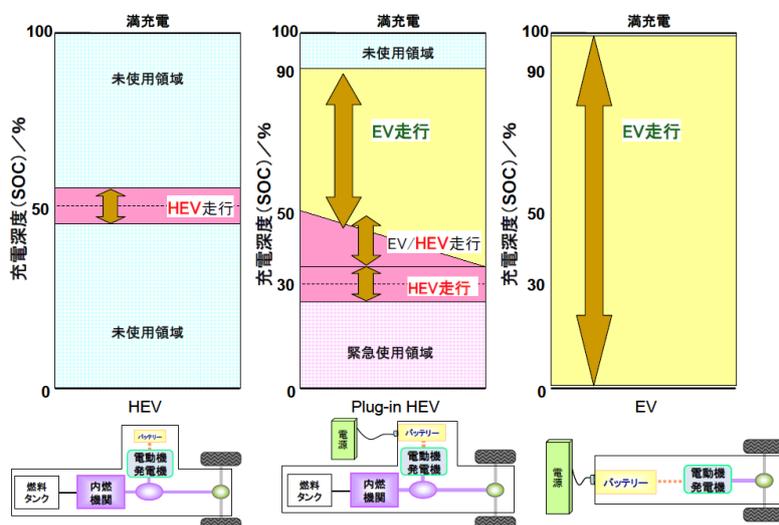


図2 車載用LIBの運用方法について

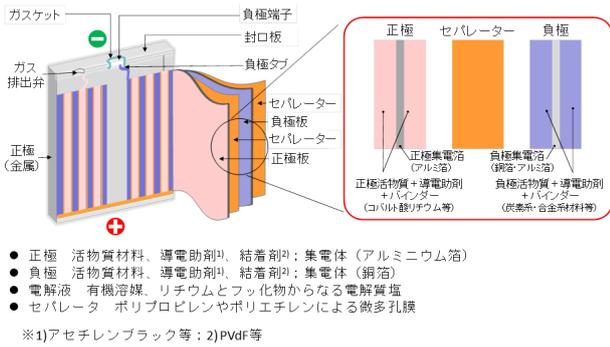


図3 LIBの構造と必要とされる材料と種類

だけで走行するものであり、最も高効率期待される。シリーズ走行モードは、加速時や電池の容量低下時など高電力を必要とする場合に、電池とエンジンの両方の電力によりモーター走行するものである。パラレル走行モードは、エンジン効率が良い高速道路でエンジンの駆動力で走行し、モーターがアシストするという走行モードである。これらの走行モードを走行シーンに合わせて効率よく切り替えて走行する。

2. 車載用 LIB の現状

まず、電解液系の LIB を中心とした車載用 LIB の現状について以下に述べる。LIB の良い点は、常温で使用可能であり、高電位かつ長寿命であることが挙げられる。正極と負極に用いる化合物の結晶構造中を、その構造を壊さずにリチウムが可逆的に挿入・脱離することで機能発現するというのが動作原理である。カーボン^{-2.9 V (v.s. Li)}、遷移金属は 1 V (v.s. Li) 程度で

あり、これらを組み合わせることで 3.9V 程度の電位差を発現することができる。水系の電解液を用いるニッケル水素電池では 1.2 V 程度、鉛電池だと 2 V 程度であり、有機電解液を使用することで、これらをはるかに超える電位差を発現することができる。

正極にはセラミックス材料、負極にはカーボン材料やシリコン材料が活物質材料として含まれる (図3)。その他に、電子伝導性を担保するために導電助剤 (アセチレンブラック等)、活物質粒子等を結着させるためのバインダー (PVdF 等) が使われる。正・負電極を作製する際には、活物質、導電助剤及びバインダーを攪拌機等で混ぜてペーストを作り、集電箔にそのペーストを塗工する。塗工したままの状態では、電極内の空隙が多く、電子伝導性が低いため、圧延機で電極をプレスし、正極/セパレーター/負極の巻回体または積層体を作製する。これらを外装材に入れた後に、電解液を注入することで電池が完成する。この方法を基本として、電池メーカーでは、量産に対応した高速化した製造方法を採用している。

正極、負極の代表的な材料は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の二次電池技術開発ロードマップの「主なりチウムイオン二次電池用正極・負極材料」にまとめられている (図4)。カーボン負極の場合 350 ~ 360 Ah/kg であり、グラファイトを主成分とし、シリコンを添加した高容量負極は、800~1200 Ah/kg をターゲットとしている。一方で、正極は 200 ~ 250 Ah/kg 程度と、負極と正極の容量密度はアンバランスであり、正極の高エネルギー密度化への期待は大

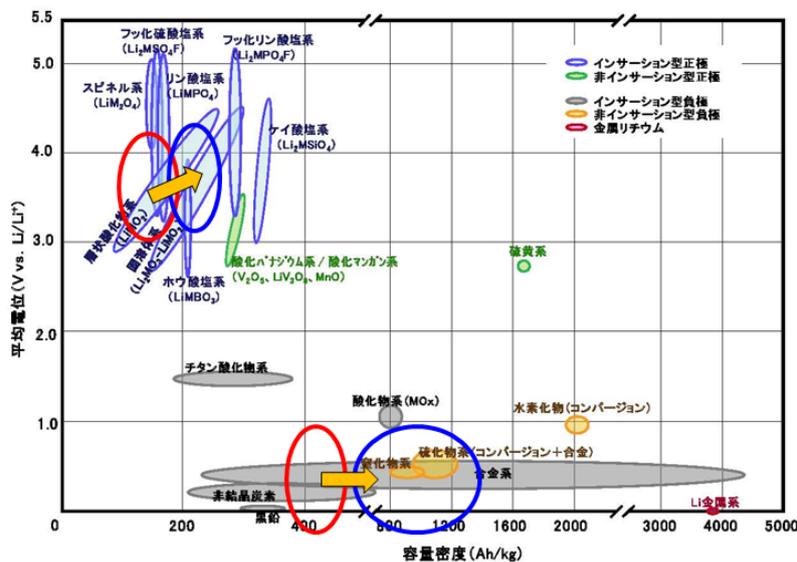


図4 主なりチウムイオン二次電池用正極・負極材料

<出典> NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013

きい。これらを組み合わせることで様々な電池系が提案されている。

現在市場に出ている車載用 LIB は、主に TYPE-A、TYPE-B、TYPE-C の 3 種類がある (図 5)。TYPE-A は、正極にニッケルやマンガンの層状・スピネル酸化物、負極はカーボンという組み合わせである。この場合、正極、負極容量が最も大きく、高電圧で高容量の電池が作りやすい。TYPE-B は、負極にチタン酸リチウムを使用する。チタン酸リチウム負極の容量は小さく、電位も高いため、エネルギー密度は TYPE-A より小さくなる。一方、0V 付近の低電位領域を利用しないため、TYPE-A よりも長寿命を実現できる。TYPE-C は、正極にオリビン鉄酸化物を使用する。主に中国の EV バスの構成に代表されるものである。オリビン鉄酸化物も容量が小さく、電位が低いため、エネルギー密度は TYPE-A より小さくなる。一方、4.2 V 以上の高電位領域を利用しないため、TYPE-A よりも長寿命を実現できる。また、材料自体の熱的安定性が高いことが特徴であり、中国では EV バス用 LIB として TYPE-C のみが採用された。東芝は TYPE-B のみで、BYD は TYPE-C が中心、その他の一般的なメーカーは TYPE-A である。EV 走行を想定した場合、長距離走行実現のためにはエネルギー密度の大きい TYPE-A が有利であるが、高出力かつ長寿命が要求されるハイブリッド走行を想定した場合は、TYPE-B や TYPE-C の方が、TYPE-A よりも有利になるケースも考えられる。

材料の観点からは、オリビン鉄系の活物質を使っている BYD の電池はエネルギー密度が小さく、一方、 $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ (NCM622) という高容量の材料を使用している LG 化学の電池は、エネルギー密度が 241 Wh/kg になっている (表 2)。日産 LEAF やテスラもエネルギー密度は高く、300 Wh/kg を見込んだ開発を継続している。

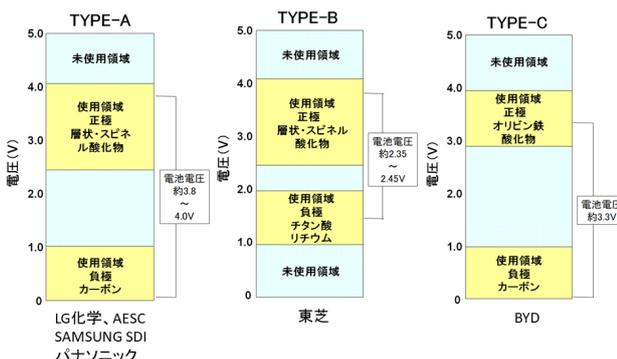


図 5 TYPE 別の車載用 LIB 設計の概念図

自動車メーカー	Tesla	日産	GM	BMW	BYD
採用車種	Model 3 (2017)	LEAF 40kWh (2017)	BOLT (2017)	i3 (2017)	Tang (2015)
種類	BEV	BEV	BEV	BEV	PHEV
蓄電池メーカー	パナソニック	AESC	LG化学	サムスンSDI	BYD
セル形状	円筒型(21700)	ラミネート	ラミネート	角型	角型
正極	NCA	NCM (推定)	NCM622	LMO-NCA-NCM622	LFP
負極	黒鉛	黒鉛	黒鉛	黒鉛	黒鉛
容量 (Ah)	4.75 (推定)	57.1 (計算値)	59	94	24
電圧 (V)	3.6	3.65 (計算値)	3.7	3.7	---
エネルギー密度 (Wh/kg)	260	240 (推定)	241	189	134
エネルギー密度 (Wh/L)	683	454 (推定)	466	357	---

(注) LMO: $\text{Li}(\text{MnAl})_2\text{O}_4$, LNO: $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$, NCM: $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$, LFP: LiFePO_4

表 2 国内外の電動車両用 LIB の単セルの諸元

<出典> NEDO「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

セルをモジュール化して、そのモジュールをさらに電池パックの形に組んだものが現状の車載用 LIB である。セルをモジュール化するとバッテリーマネジメントシステム (BMS) 等が付属し、電池パックになるとさらに外装材等が増加するため、電池パックとしてのエネルギー密度はセルに比べて低下する。日産 LEAF は、元々 24 kWh の電池を搭載していたが、2017 年には 40 kWh の電池を搭載し、10 km/kWh 程度で走行可能である。このエネルギー密度の増加は、材料変更に起因する部分が大きく、スピネルマンガン系の活物質を使用しなくなったことが理由として挙げられる。マンガンスピネルは、熱的な安定性が高く、過充電に対して強いことから初期段階では車載用 LIB に多く使われていたが、遷移金属の高温での溶出が問題になることに加え容量が小さいことから、今ではほとんど使われなくなった。その代替として伸びているのが NCM 系であり、ニッケルの比率を増やし、エネルギー密度を上げる方向に開発が進んでいる。

自動車メーカーは、第 1 世代の電池においては、電池メーカーに規定された公称容量や推奨電圧よりも狭い電圧範囲で運用することで、充電側、放電側ともに電池性能に余裕を持った設計にしていた。現在は、より幅広い電圧範囲を使用しており、これが高エネルギー密度化につながっている。ただ、高容量化は達成できるものの、適切に電池を制御できない場合、短寿命になる危険性があるため、使いこなしのノウハウが必要である。図 6 は各社の電池投入計画であり、より高容量の電池を作り、エネルギー密度も高めていく計画を立てている。



	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
SDI Pr BEV2		357 94	475 125	684 180					
LGC Pouch BEV		482 59		632 90			737		
AESC Pouch BEV	282 42		385 56			619 90			
CATL Pr PHEV2					622				726
Panasonic 21700			661 4.6	719 5.0		791 5.5			

〔注〕 上段はセル当たりの体積エネルギー密度(Wh/L)、下段はセルの容量(Ah)を示している。

図6 主要電池メーカーのPHEV/BEV用LIBセルの投入計画

<出典> TECHNO-FRONTIER 2018 第26回バッテリー技術シンポジウムテクノバ資料

今後の材料供給の動向としては、2025年、2030年と進むにつれて、LIBの需要量が急増し、ニッケルやコバルトの需要が増えることが予測されている。ハイニッケル系酸化物が車載用正極として開発が進むことで、コバルトの使用量が減少し、ニッケルの使用量が増加することになるが、ニッケルの資源量はコバルトほど切迫していない。リチウムの需要もかなり増える予想があり、供給が一時的に不安定になる可能性を指摘する意見もあるが、需要が増えて利益が出るとなると新しい開発プロジェクトが立ち上がるのが予想されることから、楽観的な意見が多い。また、資源循環の観点からは車載用LIBのリユースも重要な課題となる。リユースに期待されるメリットは、リセールバリューを高めつつ初期販売価格を抑えることや電池を廃棄処理しないため環境負荷が小さくなることが挙げられる。一方で、リユース電池の寿命や安全性の保証を誰がするかなど多くの課題がある。10年ほど前に、欧州を中心にリユースに関する議論がされたが、性能保証やコスト等の観点から当時は時期尚早という結論に落ち着いた。ここ最近の急速な電動化の導入拡大に伴い、リユースについて再び議論が始まっている。

3. 全固体LIBの概要

現行のLIBはエネルギー密度の限界が近づいてきており、EVのさらなる航続距離の拡大のため、金属・空気電池や金属負極電池、全固体電池など、LIBより高エネルギー密度を示す可能性のある新しい電池系への期待が高まっている。2013年のNEDOの革新電池技術開発ロードマップでは、金属負極電池やナトリウムイオン電池、リチウム空気電池、リチウム硫黄電池

が注目されていた。一方、最近のNEDOの公開資料では、今後の車載用蓄電池の技術は先進LIBから全固体LIBを経由して革新型蓄電池にシフトすると予測されており、硫化物系全固体LIBの早期実用化を目指したNEDOの先進・革新蓄電池材料評価技術開発(SOLiD-EV)事業が2018年に開始された。しかしながら、新しい電池系を車載用に実用化するためには、安全性を担保した上で、エネルギー密度、入出力密度、寿命並びにコスト要求を満たす必要がある。今後数年で様々な条件を満たした製品を開発するためには、解決すべき課題が山積した状態である。

全固体LIBは安全性と長寿命とが最も期待できる次世代蓄電池の候補である。有機電解液の代わりに、難燃・不燃性のセラミックスを使用していることから、燃えない電池が実現できる。加えて、構成部材が熱的に安定(80~100°Cの温度領域での使用可能)であることから、超急速充電の実現への期待もされている。現在検討されている固体電解質材料は、硫化物系固体電解質、酸化物系固体電解質、水素化物系固体電解質、ポリエチレンオキサ이드(PEO)などの高分子系電解質に分類できる。重要なパラメーターとして、イオン導電率、幅広い電位範囲での安定性、大気下での安定性、柔らかさ(取り扱いやすさ)等が挙げられるが(表3)、これら全てを満たす固体電解質材料は見出されていない。

イオン導電率は全固体電池の性能を決定づける極めて重要なパラメーターであるが、硫化物系固体電解質で最も高いイオン導電率が観測されている。東工大の菅野らがトヨタ自動車と共同で開発を進めたLi-Si-P-S-Cl系固体電解質では、有機電解液に匹敵する 10^{-2} S/cmのイオン導電率を達成している。そのため、国内では車載用をターゲットに硫化物系全固体LIBが

表3 固体電解質のイオン導電率

構成	組成	イオン導電率(S/cm)	金属Li適合性	耐水性	メーカー	
硫化物系	結晶系	$\text{Li}_{0.54}\text{Si}_{1.74}\text{P}_{1.44}\text{S}_{11.7}\text{Cl}_{0.3}$	2.5×10^{-2}	△	×	トヨタ自動車
		$\text{Li}_{10}\text{GePS}_{12}$	1.2×10^{-2}	△	×	トヨタ自動車
		$\text{Li}_{12}\text{P}_2\text{S}_{11}\text{Cl}_{16}$	5.6×10^{-3}	△	×	三井金属鉱業
	ガラス系	$64\text{Li}_2\text{S} \cdot 21\text{P}_2\text{S}_5 \cdot 15\text{LiBr}$	4.2×10^{-3}	△	×	出光興産
酸化物系	結晶系	$\text{La}_{0.5}\text{Li}_{0.34}\text{TiO}_{2.94}$	1.4×10^{-3}	×	○	東邦チタニウム
		$(\text{LiMg})_7(\text{LaSr})_2\text{Zr}_2\text{O}_{12}$	1.4×10^{-3}	○	△	日本特殊陶業
	ガラス系	$\text{Li}_{1+x}\text{Al}_x\text{Ti}_{2-x}(\text{PO}_4)_3$	1.3×10^{-3}	×	○	オハラ
	$\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ge}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$	4×10^{-4}	×	○	村田製作所 太陽誘電 FDK	
水素化物系	結晶系	$\text{LiBH}_4 + \text{LiI}$	2.0×10^{-5}	○	×	三菱ガス化学
		$\text{LiBH}_4 + \text{P}_2\text{S}_5$	$\sim 10^{-3}$	△	×	三菱ガス化学
		$0.7\text{Li}(\text{CB}_9\text{H}_{10}) \cdot 0.3\text{Li}(\text{CB}_{11}\text{H}_{12})$	6.7×10^{-3}	○	×	---
高分子系	PEO	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	○	×	大塚ソーダ Blue Solutions Ionic Materials	

活発に検討されている。国内で硫化物系固体電解質を開発しているメーカーには、出光興産や三井金属鉱業がある。出光興産ではガラス系、三井金属鉱業では結晶系の固体電解質の開発を進めている。固体電解質の特徴である幅広い電位窓及び構成材料が熱的に安定である特徴を活かすことで、電池の高性能化を実現できる可能性がある。電解液系 LIB の場合は添加剤等で高電位での電解液の分解を抑制しているものの、4.1～4.3V 以上の高電位では電解液の分解が生じる。耐酸化性の高い固体電解質を用いて全固体化することで、液系 LIB では利用できなかった高電位正極を活用できる。三井金属鉱業は、5V 級のスピネルニッケルマンガン系活物質を用い、アルジロダイトの固体電解質と組み合わせた全固体 LIB を試作し、優れたサイクル特性を示すことを報告している。

硫化物系固体電解質は室温で加圧成型するだけで高いイオン導電率を示すことから、室温で電池を作り込んでいける点が製造プロセス上で有利であることに加え、電池パックとして高エネルギー密度も期待できる。従来、正極材料と硫化物系固体電解質とを接触させるだけでは、両者の界面抵抗が大きく充放電が難しかった

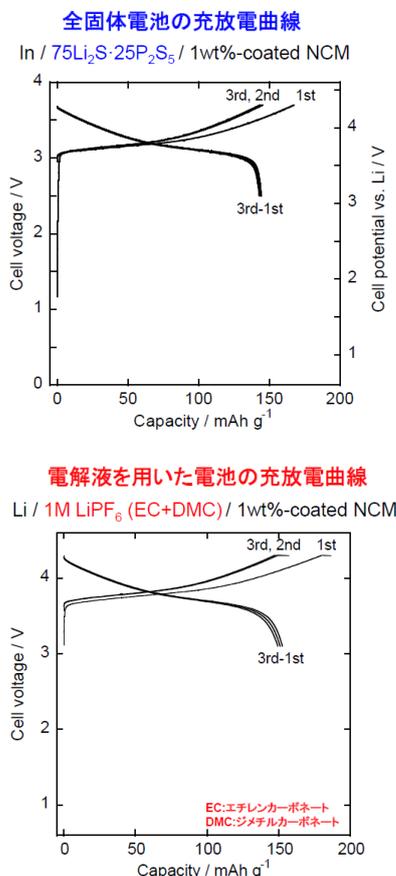


図7 全固体 LIB の性能

たものの、ニオブ系酸化物を正極活物質にコーティングし、界面抵抗を下げることで、電池として作動することを物質・材料研究機構 (NIMS) の高田らが見出したことが、硫化物系固体電解質を用いた全固体 LIB の実用化に向けて非常に大きなブレークスルーになった。また、電解液系 LIB の電池パックの場合、55°C 以上の環境では、電解液と活物質の副反応等により寿命が短くなるため、空冷や水冷など電池温度を一定温度以下に保つための冷却システムが必須となるが、全固体化することで副反応が大幅に抑制できることから、冷却システムフリーにすること等で周辺部材の体積を削減し、省スペース化を達成することで体積当たりのエネルギー密度の大幅向上が期待できる。国内では、トヨタ自動車などが開発に取り組んでいる。

ただし、実用化へ向けては技術課題も多い。電解液と比較して固体電解質の密度は高く、セルレベルでエネルギー密度を上げることは難しい。また、サイクルや出力特性を向上させるためには、セルに対する加圧が必要となるため、セル構造をどのように設計するかが課題となる。加えて、硫化物系全固体 LIB では、水分と反応することで硫化水素が発生する課題が存在するため製造時に固体電解質材料を低露点 (極めて水分の少ない環境) で取り扱う必要があることから、ドライルーム等の設備投資や設備維持のための電気代等がコスト負担増になり低コストが実現できない可能性もある。

一方、酸化物系全固体 LIB は IoT 用途等を目指して開発が進められている。酸化物系固体電解質を利用した薄膜電池は、早くに開発されたものの、用途開発が進まなかった。近年、積層コンデンサメーカーがチツ

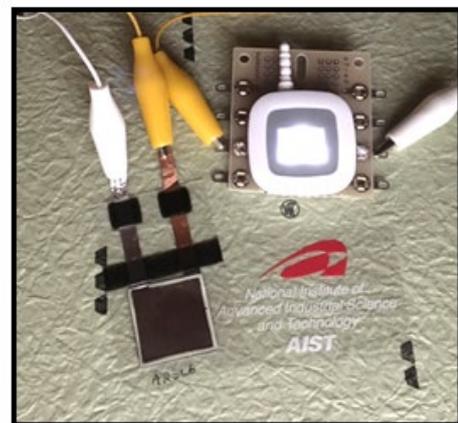


図8 産総研内製のシート型全固体 LIB セル

ブ型電池を開発しており、日本メーカーでは、TDK が 2017 年に、村田製作所が 2019 年に関連技術についてのプレスリリースを行っている。酸化物系固体電解質は、空気中での安定性は比較的高いが、イオン導電率が 10^{-3} S/cm 台に留まっており、当面の重要な課題としてイオン導電率の向上が挙げられる。

産業技術総合研究所の電池技術研究部門では、硫化物系及び酸化物系の全固体 LIB の開発に取り組んでいる。ここでは、先端的低炭素化技術開発一次世代蓄電池 (ALCA-SPRING) での取り組みを簡単に紹介する。硫化物系では、正極、負極、固体電解質のシート電極を作製し積層する技術を開発し、低レートではあるが、電解液を用いた電池と同様の充放電曲線を示すシート型全固体 LIB を開発している (図 7、8)。全固体 LIB は、曲げにも比較的強く、ある程度の変形に対しても機能を維持できることを確認できた。酸化物系では、比較的低温で焼結できる固体電解質を開発し、通電焼結法と組み合わせることで、低レートではあるが室温でも作動する全固体 LIB を開発した。本手法は、活物質と固体電解質界面での副反応を制御するために有効であることを確認できた。今後、更なる高性能化 (高エネルギー密度化・高出力化等) を目指した開発を継続する計画である。

4. おわりに

自動車の電動化に伴い蓄電池の重要性が増してきている。ただ、一概に車載用蓄電池といっても、EV、PHEV 等の車種の違いによって、電池の役割のみならず、運用方法も異なる。現在は第 2 世代であり、今後、第 3 世代が市場に投入されると考えられるが、そこで LIB のエネルギー密度の限界が見えてくる可能性がある。ポスト LIB としては、全固体 LIB が最有力候補であり、電池パックでの体積エネルギー密度の大幅な向上が期待できることから車載用に適していると思われる。

多くの国家プロジェクトで、電池の高エネルギー密度化に向けた新しい蓄電池の開発に取り組んでいるものの、車載用となると非常に多くの性能要件を満たす必要があり、解決すべき課題が山積しているというのが実情である。エネルギー密度の他に、高出力化、長寿命化、低コスト化への要求も高い。どの要素が重要視されるかによって、優先的に解決すべき課題が変化すると考えられ、現時点では高エネルギー密度化と低

コスト化を重視した開発が継続しているが、製造プロセス開発の進捗や社会情勢の変化によっては、違うストーリーが待っているかもしれない。

小林 弘典 (コバヤシ ヒロノリ)

最近の研究テーマ

リチウムイオン二次電池の正極材料の研究開発、
車載用蓄電池の性能評価手法の技術開発及び全
固体型リチウムイオン二次電池の研究開発

略歴

1996 年 (平成 8 年) 神戸大学自然科学研究課博士
課程修了 博士 (理学) 大阪工業技術研究所入所
2008 年 (平成 20 年) 新エネルギー・産業技術総合
開発機構燃料電池・水素技術開発部 主任研究員
2010 年 (平成 22 年) 産業技術総合研究所ユビキタ
スエネルギー研究部門 主任研究員
2015 年 (平成 27 年) 同所電池技術研究部門総括研
究主幹 現在に至る