

MITSUI & CO. GLOBAL STRATEGIC STUDIES INSTITUTE

二次電池の高性能と低コストを両立させるリチウムマンガンリッチ正極

—EV用電池への適用に向けて異なる方向に進む中国と欧米韓—

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部
インダストリーイノベーション室 趙 健

なぜこの技術を取り上げるのか

リチウムイオン電池（LIB）の正極は化学反応を起こし、電気エネルギーを生み出す重要部材である。その低コスト品の主流はリン酸鉄リチウム正極（LFP）だが、これと同等のコストで、エネルギー密度を高められるリチウムマンガンリッチ正極（LMR）¹は、LFPの代替や全固体LIB²への適用に向けて、世界中でその開発と実装が行われている。今後の進展次第で、既存LIBサプライチェーンや全固体LIBの開発競争を変貌させる可能性がある。

Summary

- リチウムマンガンリッチ正極（LMR）はコバルトの使用が微量または不要でありながら高い容量を実現できるため、高性能と低コストを両立する次世代電池材料として、数年以内の実用化のめどがついた。
- 全固体リチウムイオン電池（全固体LIB）の開発が加速する中国では全固体LIB向け正極の有望な候補としてLMRへの期待が高く、主要企業が開発に取り組んでいる。欧米や韓国は電池の安定供給を念頭に、中国が大きなシェアを占めるLFPの代替品として、LMRの開発と実用化を国際連携の下で推進している。
- 2035年のEV乗用車用電池におけるLMRの予想シェアは約3%と低いものの、その将来性を重視する中国が輸出規制対象とした。電池の安定供給と全固体LIBの実用化を図る日本も動向に留意すべきである。

1. リチウムマンガンリッチ正極とは

1-1. リチウムマンガンリッチ正極の概要

リチウムマンガンリッチ正極（LMR）とは、リチウムを豊富に含む金属酸化物正極材料である。多くのリチウムを取り込むことができるため、容量は250mAh/g以上と、現行主流の高性能正極である三元系正極（NMC³）を上回る。LMR正極を使用したLIBはエネルギー密度が500Wh/kgを超える可能性があるため、航続距離の長いEVなど高性能分野への使用が想定される。LMRの材料構成の3～4割を資源の豊富なマンガンが占めており、材料コストは現行の低価格・低性能正極として主流になっているリン酸鉄リチウム正極（LFP）と同等に抑えることが可能である。資源の偏在性や採掘における環境破壊、児童労働などが問題視されるコバルトの使用が微量または不要であるため、電池製造企業の責任ある調達にもつながる。NMCとLFPのそれぞれの長所を兼ね備えたLMRは、高性能と低コストの両立ができる有望な次世代正極材料と見なされている（図表1）。

一方、その実用化には課題がある。充放電の繰り返しに伴い、LMRの一部の金属酸化物が層状構造からスピネル構造⁴に変化するため、電池として使用し続けると駆動電圧が下がってしまい、結果として既に実用化されている各種LIBと比較してサイクル寿命が短くなる。その解決に向けて、世界中の開発企業は金属酸化物による材料粒子表面のコーティング処理、

¹ Lithium Manganese Rich。

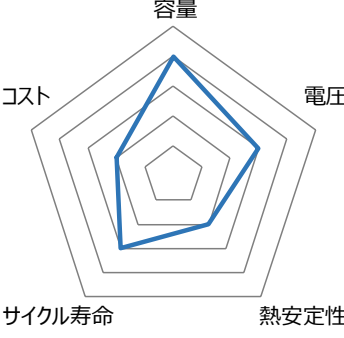
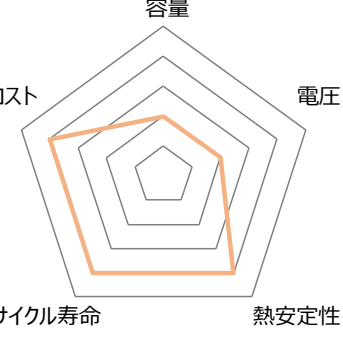
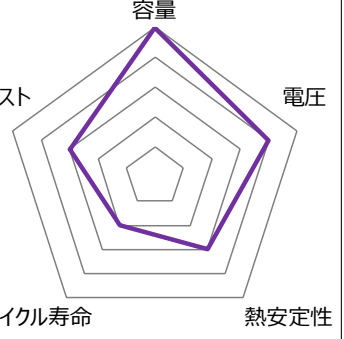
² 正極、負極、電解質など全ての部材が固体の材料でできているリチウムイオン電池。

³ ニッケル・マンガン・コバルトを主成分とする正極材料。

⁴ スピネル構造は一般式AB₂O₄で表され、正四面体（Aサイト）と正八面体（Bサイト）の金属イオンが酸素イオンと結合した結晶構造である。尖晶石（せんしょうせき）構造ともいう。

金属ドーピングや製法の改良などの研究を行ってきた。特に2025年以降、複数の企業から技術のブレークスルーの達成と量産計画の発表があり、LMR正極の実用化のめどがついてきた。

図表1：LMRと代表的な現行正極材料との性能比較

正極材料	ハイニッケル系三元系 NMC811（注）	リン酸鉄リチウム LFP	リチウムマンガニッチ LMR
主成分	$\text{LiNi}_{0.8}\text{Mn}_{0.1}\text{Co}_{0.1}\text{O}_2$	LiFePO_4	$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$ ($\text{M}=\text{Ni, Co, Mn, } 0 < x < 1$)
容量 (mAh/g)	～200	～170	250以上
性能比較	 <p>容量 コスト 電圧 サイクル寿命 熱安定性 軸の外側ほど該当する性能が高い</p>	 <p>容量 コスト 電圧 サイクル寿命 熱安定性</p>	 <p>容量 コスト 電圧 サイクル寿命 熱安定性</p>
メリット	エネルギー密度が高く、コンパクトで大容量用途に向く	・熱安定性が高く、安全性に優れる ・コバルトなど高価金属不使用のため、コストが低い	・容量が高く、作動電圧範囲も広い ・コバルトを微量使用または不使用のため、コストが低い
デメリット	・熱安定性と安全性はLFPに劣る ・コバルトなど高価かつ資源が偏在するレアメタルを使用のため、コストが高く、安定供給の懸念もある	エネルギー密度が低く、同容量では三元系より多くのスペースや重量が必要	充放電の繰り返しの伴う電圧の継続的な低下とサイクル寿命の短縮
主な用途	中～高価格EV乗用車、ドローンなどの電池	低～中価格EV乗用車、電動バス、定置型蓄電などの電池	低～高価格EV乗用車、ドローンなどの電池

注：ハイニッケル系 NMC の一種であり、ニッケル・マンガ・コバルトの比率が 8:1:1

出所：各種公開資料から三井物産戦略研究所作成

1-2. 研究開発の方向と想定用途

低コスト高性能という特長に加え、作動電圧範囲が2～4.8Vと広いLMRは多様な使い道を想定した開発が行われている。

現状の液系LIB向けでは、現行品のLFPと同等の低コストを維持しながら、より高性能の正極材として開発が進められている。既存の正極材の性能を補完する目的での複合使用も想定される。例えばNMC正極材との複合により、サイクル寿命の延長とkWh当たりコストの削減が可能とされる。

高電圧領域では、LMRを高性能の電池への適用に向けた研究開発が行われている。2027～2028年ごろの実用化が見込まれる全固体LIBの初代製品では、作動電圧が3.7VのハイニッケルNMC正極を採用するものが多い。しかし、固体電解質は本来5Vの高電圧性能を持つため、NMC正極ではその性能が生かし切れていない。これを最高作動電圧4.8Vまで対応可能なLMRで代替することで、固体電解質が備える最高5Vの高電圧性能をより生かせる上、コストもNMCより低い。

このため、LMRは次世代全固体LIB向け正極材料の有力候補とされている。

LIB産業で大きなシェアを占める中国企業と電池サプライチェーンの構築途上にある欧米企業は、それぞれが電池産業に置かれている現状、自社の戦略または国の政策から、異なるLMR研究開発と実用化の方向性を見定めている。その詳細を次章で述べる。

2. 注目すべき動向

2-1. 全固体LIBへの使用を目指す中国

世界の液系LIBの大半を生産する中国では、全固体LIBの開発にも力を入れており、その正極材料候補としてLMRの研究開発を行っている。図表2に示す通り、中国ではLMRの開発を進めている電池材料、電池およびEV企業が多数あり、うち半数以上は全固体LIBへの使用を念頭に、高電圧・大容量型のLMRの開発に注力している。一部の企業は、正極にLMR、負極に次世代負極材料であるリチウム金属負極を採用した高性能全固体LIB試作品の開発を行っている。

図表2：中国企業によるLMRの開発と生産動向

業種	企業名	発表時期	LMRの開発と生産動向
電池材料	寧夏漢堯	2023年4月	テスト生産を開始。低・中・高の電圧別に複数製品を開発しており、4.45V高電圧品の容量は220～230mAh/gを達成している。
	容百科技	2024年12月	サンプル品の小規模生産を行っており、電池企業など顧客にテスト目的の出荷を開始している。
	BTR	2025年5月	4.8Vの高電圧で、容量300mAh/gのLMRを使用した硫化物系全固体電池の試作品を発表した。
	寧波富理	2025年7月	容量300mAh/g以上のLMRの開発に成功。エネルギー密度450Wh/kg以上の全固体電池向けLMR正極の開発を行っている。
	創能惠通	2025年9月	低電圧の長寿命品や高電圧の大容量品（4.8V・300mAh/g）の最新製品を複数発表した。
	当昇材料科技	2025年10月	全固体電池におけるテストで280～305mAh/gの容量に達しており、十数トン規模のサンプル出荷を開始している。
電池	太藍新能源	2024年4月	LMR正極を使用した、セルエネルギー密度720Wh/kgの全固体電池試作品を発表。負極はLi金属負極を採用している。
	中汽新能電池科技	2025年7月	366Wh/kg・サイクル寿命2000回のLMR正極電池を発表し、2026年内発売の航続距離1000km超EVへの搭載を予定している。
	Farasis	2025年9月	2026年にLMR採用の第2世代硫化物系全固体電池を発表する予定。エネルギー密度は500Wh/kgを見込んでいる。
EV	広州汽車	2025年2月	長期的にEV用全固体電池にLMR正極の採用を検討すると発表した。
	Chery	2025年9月	LMR正極を使用した、セルエネルギー密度600Wh/kgの全固体電池を発表。2027年に試作車搭載、2030年の量産を目指す。

出所：各社公開発表から三井物産戦略研究所作成

先行する正極材大手の当昇材料科技は、国内および欧州、米国、韓国などの顧客向けにサンプル品のLMRで十数トン規模の出荷実績を積み上げた。また、LMRに適合するハロゲン化物固体電解質の開発も行っている。電池最大手の（中）CATLは試作品の発表こそないものの、LMR正極材関連特許の取得数は世界一とされており、技術の開発を進めている。2023年から、CATLや寧夏漢堯、寧波富理などのスタートアップ企業らが、工業・情報化部（日本の経産省に相当）主導のもとで低コストLMR量産技術の開発事業を官民連携で実施している。

2025年9月、中堅自動車メーカー・奇瑞汽車（Chery）がLMR使用の全固体LIBの試作品を発表した。1,300kmの航続距離を備えた上、内部短絡時電池の発熱や発火への耐性を評価するくぎ刺し実験にも合格し高い安全性が実証された同電池は、2030年に発売するEVに搭載する予定だ。今後、その他中国EV企業が追隨するきっかけになるか注目したい。

2-2. 低コストと安定調達につなげたい欧米韓

電池サプライチェーンの中国依存を懸念する欧米では、材料が低コストかつ調達しやすいLMRを活用すれば、中国への依存度低減につながる点に着目している。特に中国企業が世界生産の9割を占めるLFPの代替を目指して、LMRの開発と実用化を加速している（図表3）。

図表3：欧米韓企業によるLMRの開発と生産動向

業種	企業名	発表時期	LMRの開発と生産動向
電池材料	（ベルギー）Umicore	2023年2月	2026年からEV向けを量産する計画。韓国、ポーランドの既設正極材料工場や計画中のカナダ工場を生産地候補とする。
	（韓）POSCO FUTURE M	2025年5月	2024年にEVメーカーと共に開発と試作を完成させ、量産に向けた実証を開始した。EV分野におけるLFPの代替を狙う。
	（豪）FIREBIRD METALS	2025年7月	LMRの独自開発開始を発表、18カ月以内に完成の予定。高純度硫酸マンガン（HPMSM）のノウハウを活用する。
	（米）Stratus Materials	2025年8月	第2世代製品のサンプル出荷を開始。10月、（仏）ルノーグループのAmpereとの次世代EV向け正極材の共同開発を発表した。
EV	（米）Ford	2025年4月	研究開発にブレークスルーがあり、2030年までに実車搭載を見込む。
	（米）GM	2025年5月	韓国のLG Energy Solutionsとの共同開発に成功し、2028年から両社の合併会社で北米での量産開始を予定している。

出所：各社公開発表から三井物産戦略研究所作成

2025年5月、GMはLG Energy Solutions（LGES）と共に、電動トラックや大型SUV（多目的スポーツ車）といったEV向けにLMR角型電池セルの共同開発と生産計画を発表した。LMR技術について多くの特許を保有する両社は、北米の合併電池会社であるUltium Cellsで、2027年後半までに試作、2028年までに量産を順次始める予定だ。2025年10月デトロイトで開催された第15回The Battery Show North Americaで、GMとLGESのLMRがBattery Innovation of the Yearに選ばれ、北米の電池業界からも高い期待が寄せられている。

欧米は中国のように国内のサプライチェーン構築が完成していないため、当該地域の企業にとっては原料調達、研究開発や生産において、国境をまたぐ連携が重要になる。特に電池製造産業の基盤を有する韓国は、中国以外の研究開発や生産の拠点として注目される。

3. 今後の展望

調査会社（米）BloombergNEF⁵によると、LMRは2027年以降EV乗用車用電池を中心に導入が始まり、2035年までにEV乗用車搭載電池用正極の約3%を占めると予想される。現時点の予想シェアは決して高いもの、今後技術開発の進展によりシェアがさらに伸び、重要な技術になる可能性がある。

中国では2025年11月8日から高性能LFP正極、NMC正極、LMR正極を対象にした材料・技術の輸出規制⁶を実施した。まだ研究開発や小規模テスト生産の段階で輸出規制をかけた対応は異例と言える。既存の電池サプライチェーンを変貌させる可能性のある次世代電池技術として、海外流出を未然に防ごうとする中国政府の意図がうかがえる。

また、LMRの開発の進展は、世界中で繰り上げられる全固体LIBの実用化競争にも影響を与えるかもしれない。全固体LIB普及のネックの一つとされる高いコストの解消と高い性能の両立は、競争力のある製品開発と普及拡大に直結する。日本では中国や米国ほどLMRの研究開発や実用化が盛んになっていないものの、経済安全保障推進法に基づく蓄電池の安定供給の確保と全固体LIBの実用化を進めている現状から、競争環境に変化をもたらすかもしれない世界のLMR開発動向には留意すべきである。

趙 健 Jian Zhao / シニアプロジェクトマネージャー

専門分野：次世代電池、次世代太陽光発電、分散型エネルギー

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できるとされる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

⁵ 出所：BloombergNEF「Lithium-Ion Batteries State of the Industry 2025」

⁶ 出所：商務部、税関総署公告2025年第58号