



中国で再注目されるリン酸マンガン鉄リチウムイオン（LMFP）電池

—ミドルクラスEVを中心に実装が進む予想—

2023/8

三井物産戦略研究所

技術・イノベーション情報部 コンシューマーイノベーション室

趙健

Summary

- LMFP電池とは、リン酸鉄リチウムイオン電池（LFP）をベースに、正極材に使用する鉄の一部をマンガンに置き換えたリチウムイオン電池である。LFPと同等のコストと安全性を維持しながら、より高いエネルギー密度を実現するというメリットがある。
- コストパフォーマンスのよいLFP電池がEV電池市場シェアの6割を占める中国では、有望な後続品となり得るLMFP電池の量産に向けた動きが活発になっている。
- 今後、LMFP電池はミドルクラスEVを中心に実装が進み、現状で主流のLFP電池とNMC電池（三元系リチウムイオン電池）とのすみ分けがなされながら、シェアを拡大していくものと予想される。

1. LMFP電池とは

現在、世界で電気自動車（以下EV）に搭載される電池は、正極材にリン酸鉄リチウム（ LiFePO_4 、以下LFP）を使用するリン酸鉄リチウムイオン電池（以下、LFP電池）と、ニッケル、マンガン、コバルトが主成分となる化合物（以下、NMC）を使用する三元系リチウムイオン電池（以下、NMC電池）の2種類が主流になっている。LFP電池は、コバルトなどのレアアースの使用が少ないためコストが安く、安全性も高いが、エネルギー密度¹が低いため、EVの航続距離が短くなるという欠点がある。一方、NMC電池は、エネルギー密度は高いものの、LFP電池と比べると安全性が低く、コバルトなどのレアアースを使用するためにコストも高くなる。LFP電池とNMC電池はそれぞれの特性から一般的に、前者は航続距離が300km～500kmの低価格なEV車種向け、後者は航続距離が400km～700kmのミドルクラス以上の高価格なEV車種向けとすみ分けがなされてきた。現状、NMC電池は世界シェアの大半を占めているが、近年はコストパフォーマンスのよいLFP電池が性能の向上に伴い、特に中国を中心にシェアを拡大しつつある。

本稿で取り上げるLMFP電池とは、LFPをベースに、鉄の一部をマンガンに置き換えたリン酸マンガン鉄リチウム（以下、LMFP）を正極材に使用するリチウムイオン電池である。LFP電池とほぼ同等のコストと安全性を維持しながら、エネルギー密度が約15～20%ほど高いというメリットがあるため、LFP電池の有望な後続品として注目されている。特にLFP電池が国内市場シェアの6割を占める中国を中心に、LMFP電池の量産に向けた動きが加速している。その背景、最新動向と今後の展望について考察する。

¹ 電池の単位質量、または単位容積当たりに取り出せるエネルギーの量。Wh/kg、Wh/Lなどの単位で示される。

2. LMFP電池の特徴

LMFPは、結晶構造がLFPと同様、安定性の高いオリビン型構造²になっているため、充放電プロセスにおける変形が少なく、同等の安全性を備える。層状岩塩型構造³のNMCと比べると、特に熱安定性やサイクル寿命に優れる。LMFPの理論容量はLFPと同様となるものの、作動電圧は約3.2VのLFPより約0.5V高いため、エネルギー密度は約15～20%高くなる。コスト面では、そのエネルギー密度の高さに加えてコバルトなどのレアメタルを使わないことから、量産後のWh当たりコストはLFP電池と同等または下回ると予想される。

また、電気伝導率の低さや充放電の繰り返しに伴ってマンガンが溶出しやすいなどの技術的課題はあるが、近年、正極材をナノサイズに加工する技術や粒子をカーボン被覆する技術の進展によって改善されており、サイクル寿命は2,000回を超えるなど、実用化に向けてめどがたった状況といえる。

LFP電池、LMFP電池、NMC電池の主要性能は図表1に示す。

図表1 LFP電池、LMFP電池、NMC電池の主要性能比較

主要性能	LFP電池	LMFP電池	NMC電池	主要性能比較
正極活物質分子式	LiFePO ₄	LiMn _x Fe _(1-x) PO ₄	Li(Ni _x Mn _y Co _z)O ₂ (x+y+z=1)	<p> ■ LMFP電池 ■ LFP電池 ■ NMC電池 </p> <p>軸の外側ほど該当指標の評価が高い</p>
正極結晶構造	オリビン型	オリビン型	層状岩塩型	
正極理論容量 (mAh/g)	170	170	280	
最大セルエネルギー密度 (Wh/kg)	170	230	350	
作動電圧 (V)	3.2	3.7	3.7	
サイクル寿命 (回)	2,000～6,000	2,000～3,000	800～2,000	
電気伝導率 (S/cm) (注)	10 ⁻⁹	10 ⁻¹³	10 ⁻³	
安全性	高い	高い	普通	
コスト	低い	低い	高い	

注：電気伝導率とは、物質中における電気伝導のしやすさを表す物性量である。単位はジーメンス毎メートル (S/m)

出所：IDTechEx (<https://www.idtechex.com/ja/research-article/volkswagens-long-term-high-manganese-cathode-strategy/23431>)、HCM

(<https://www.hcmaterial.com.tw/en/lmfp>)、TYCORUN ENERGY "LMFP industry special report in 2022"

(<https://www.takomabattery.com/lmfp-industry-special-report-in-2022/>)、Battery Design (<https://www.batterydesign.net/lithium-ion/>)

(最終アクセス2023年7月27日) から三井物産戦略研究所作成

LMFPの製造方法は、LFPと同様、固相合成法と液相合成法に分類される。固体を細かく砕いて合成する固相合成法より、材料の溶液混合から合成する液相合成法はプロセスが複雑となるものの、より均一な材料合成ができるため、高性能なLMFPの製造に向いている。

² オリビン型構造とは、酸素の六方最密充填に、四面体サイトとしてリンが、八面体サイトにリチウムと鉄やマンガンが位置する結晶構造のこと。リン酸 (PO₄) が骨格構造を形成するため、熱安定性に優れている。天然のカンラン石 (英名：Olivine) がこの構造をもつことからオリビンと呼ばれる。(出典：日経クロステック「[開発競争始まるLiイオン電池 第2回：正極材料の候補を探る](#)」最終アクセス2023年8月1日)、住友大阪セメント社ウェブサイト)

³ 層状岩塩型構造とは、リチウム層と金属酸化物がそれぞれ規則配列して2次元平面を形成し、積層したようになる結晶構造のこと。(出典：日経クロステック「[開発競争始まるLiイオン電池 第2回：正極材料の候補を探る](#)」最終アクセス2023年8月1日)

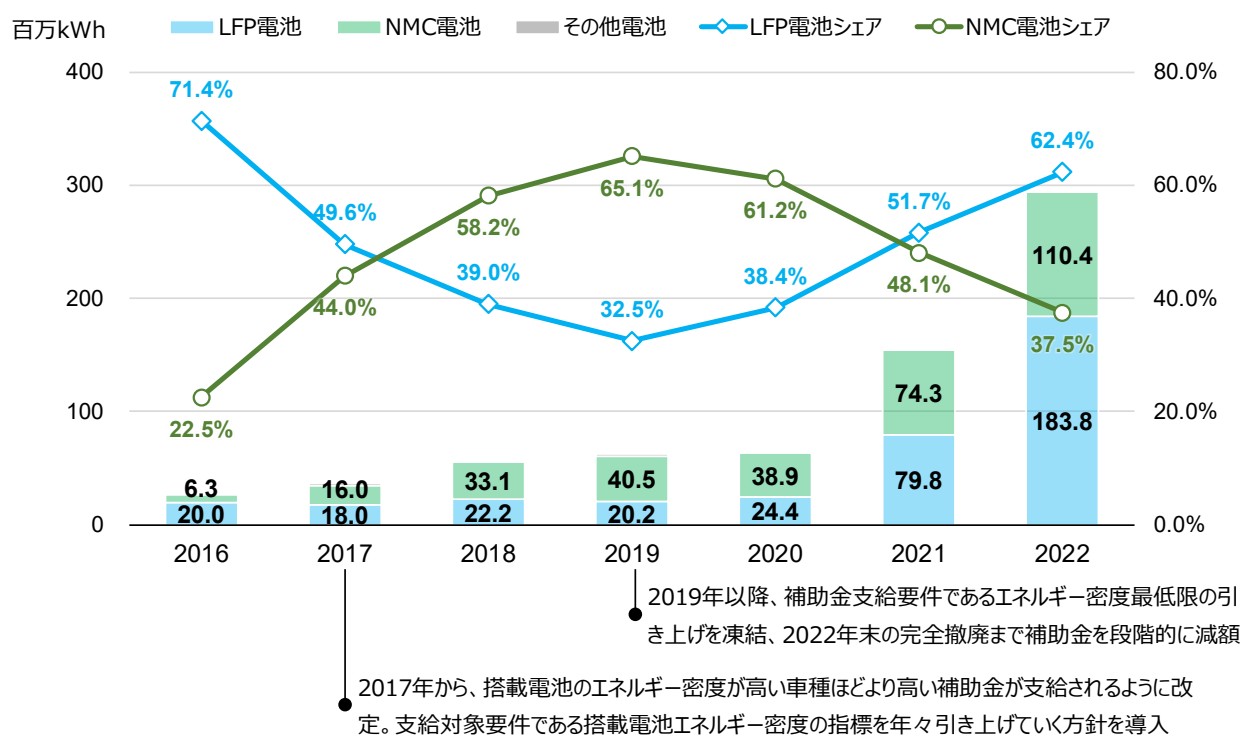
LMFP電池はコストパフォーマンスが高いため、今後LFP電池に取って代わる可能性があるほか、NMC電池のシェアを一部獲得する可能性も秘めている。また、LMFP正極材を作動電圧がほぼ同じNMC正極材と混合して使用する場合は、NMC電池の安全性を高める効果が望めるため、混合使用も用途の一つになると見られる。

3. 中国でのLFP電池のシェア回復がLMFP電池再注目の契機に

そもそもLMFP電池は新しい技術ではない。2014年、中国EV最大手BYDの創業者である王伝福は、次世代のLFP電池としてLMFP電池を開発していることを明らかにした。しかし、前述した技術的課題があったほか、2017年以降は中国政府がEV向け補助金制度でエネルギー密度の高い電池を優遇してきたため、制度上、不利になったLFP電池のシェアは年々下がり、LMFP電池も実装に至らなかった。

その後、2020年以降の同制度の高エネルギー密度電池に対する優遇是正や2023年の完全撤廃にともない、コストパフォーマンスの高い電池への需要が再び高まり、EV向け電池市場におけるLFP電池のシェアは大幅に回復し、2022年国内EV搭載分の62.4%を占めるようになった（図表2）。

図表2 中国国内のLFP電池、NMC電池のEV搭載量推移（2016～2022）



出所：中国自動車動力電池産業創新聯盟公開資料、中国政府発表資料から三井物産戦略研究所作成

IEA⁴によると、中国国内市場での躍進により、2022年の世界のEV向け電池市場に占めるLFP電池のシェアは過去10年間で最高の30%に達した。テスラが販売したEVに搭載される電池の約3割はLFP電池であり、フォードも2026年から米国内で生産を予定するなど、世界的にも導入が進む。

このように、中国を中心として順調にシェアを拡大し、欠点とされるエネルギー密度の低さも年々改善されてきているLFP電池だが、材料の化学的性質から限界も近付いている。こうした背景の下、実用化を阻む技術的課題の解決に大きな進展を見せたLMFP電池が再び注目されるようになった。

4. 中国企業によるLMFP電池量産に向けた動きが加速

LFP電池世界生産の9割を占める中国企業にとって、LMFP電池の先行実用化は今後の競争力維持につながるため、2022年以降、電池メーカーや電池正極材メーカーが量産に向けた動きを加速している。

図表3は、中国電池メーカー各社が開発するEV向けLMFP電池の性能指標を示している。2022年8月、車載電池大手の中創新航がパッケージエネルギー密度180Wh/kgのLMFP電池を発表したのち、複数の電池メーカーが相次いで試作品を発表した。各社で開発中のLMFP電池が搭載されるEVの想定航続距離は500km～1,000kmであるため、ターゲットはミドルクラスもしくはそれ以上の車種に設定していることがうかがえる。直近の2023年5月には、出荷量国内4位の国軒高科は1,000kmの航続が可能なLMFP電池を発表し、2024年の量産を予定しているが、多くの試作品は開発中またはEVメーカーで性能テストを行う段階にあり、量産時期を未定としている。

図表3 中国電池メーカー各社が開発中のEV向けLMFP電池

電池メーカー	発表時期	セルエネルギー密度		セル形状	想定航続距離 km	量産予定やその他性能指標など
		Wh/kg	Wh/L			
CALB 中創新航	2022年8月	200	n/a	角型	700	量産時期不明。循環寿命2,500回、電池パッケージエネルギー密度180Wh/kg、充電式と電池交換式両方に対応の予定
Frasis Energy 孚能科技	2022年9月	240	n/a	パウチ型	500	2023年内第1世代製品を発表する予定
SVOLT 蜂巢能源	2022年12月	220	503	角型	900	NMC正極材と混用、2.2C（注）の急速充電能力、LFPより優れた低温性能を有する。2024年量産予定
REPT BATTERO 瑞浦蘭鈞	2023年3月	n/a	500	角型	800	2023～2024年発表の予定
JEVE 捷威動力	2023年4月	220	555	角型	500～600	量産時期不明。循環寿命2,000回以上（25℃）
Gotion High-Tech 国軒高科	2023年5月	240	525	角型	1,000	2024年量産予定、電池パッケージエネルギー密度190Wh/kg、循環回数2,000回（25℃、0.5C）

注：Cレートとは、充電及び放電のスピードのことである。定電流充放電測定の場合、電池の理論容量を1時間で完全充電（または放電）させる電流の大きさを1Cと定義する。その数値が高いほどより大きな電流を出力でき、より迅速に充電できる。

出所：高工業研究院、各社公開情報から三井物産戦略研究所作成

⁴ International Energy Agency：国際エネルギー機関

中国電池正極材メーカー各社は、将来需要の取り込みにおいて先行すべく、LMFP正極材の量産に向けた生産能力の確保や拡大を急ぐ。ナノサイズの加工技術を得意とする徳方納米は、年間11万トンという現状で中国最大級の生産能力を、2025年までに44万トンへ拡大する予定である。正極材大手の容百科技は2022年7月、年間生産能力5,000トンのベンチャー・天津斯科蘭徳の株式68.25%を取得し、2025年までに年間30万トンの生産体制に拡大すると発表した。電池最大手のCATLも、年間2,000トンの製造能力を有するベンチャー・力泰鋰能を100%子会社化し、年間3,000トンの生産を計画している。図表4に示すように、稼働中・計画中の正極材メーカー各社の生産能力は合計で年間数十万トン規模に達する。しかし現時点では、稼働中の工場でもサンプル品の出荷など、小規模の生産にとどまっている。また、徳方納米などの一部を除いて、大半の企業はLFP正極材の製造で培ってきた固相合成法を採用すると見られるため、量産品の性能は見極める必要がある。

図表4 中国電池正極材メーカーによるLMFP正極材の生産能力と今後の計画

正極材メーカー	生産能力		今後の計画など
	トン/年	稼働状況	
徳方納米 (Dyananonic)	110,000	稼働中	2025年までに44万トン/年まで拡大する予定
中貝新材料 (Zhongbei New Material)	10,000	稼働中	今後10万トン/年まで拡大する計画あり
容百科技 (Ronbay New Energy Technology)	5,000	稼働中	1万トン/年までの拡大進行中、2025年までに30万トン/年に拡大する予定
珩創納米 (HENGTRON Nanotech)	5,000	稼働中	長期的に15万トン/年に生産能力を拡大する予定
力泰鋰能 (Lithitech)	2,000	稼働中	電池最大手CATL傘下企業、3千トン/年生産能力の新設を計画中
湖北融通高科先進材料 (Hubei RT Hi-Tech Advanced Materials)	40,000	建設中	2023年内稼働開始予定
当昇科技 (EASPRING)	120,000	計画中	前記はフェーズ1の生産能力であり、2028年までに合計30万トン/年に拡大
青島乾運 (Qianyun Tech)	100,000	計画中	長期的に20万トン/年まで拡大の予定
光華科技 (GHTECH)	36,000	計画中	前記生産能力はLFPとLMFP正極材合計のもの
湖北金泉新材料 (Jinquan New Material)	25,000	計画中	電池大手億緯鋰能 (EVE) 傘下企業
江蘇天奈 (Cnano Technology)	20,000	計画中	前記はフェーズ1の生産能力。最終的に合計10万トン/年に拡大

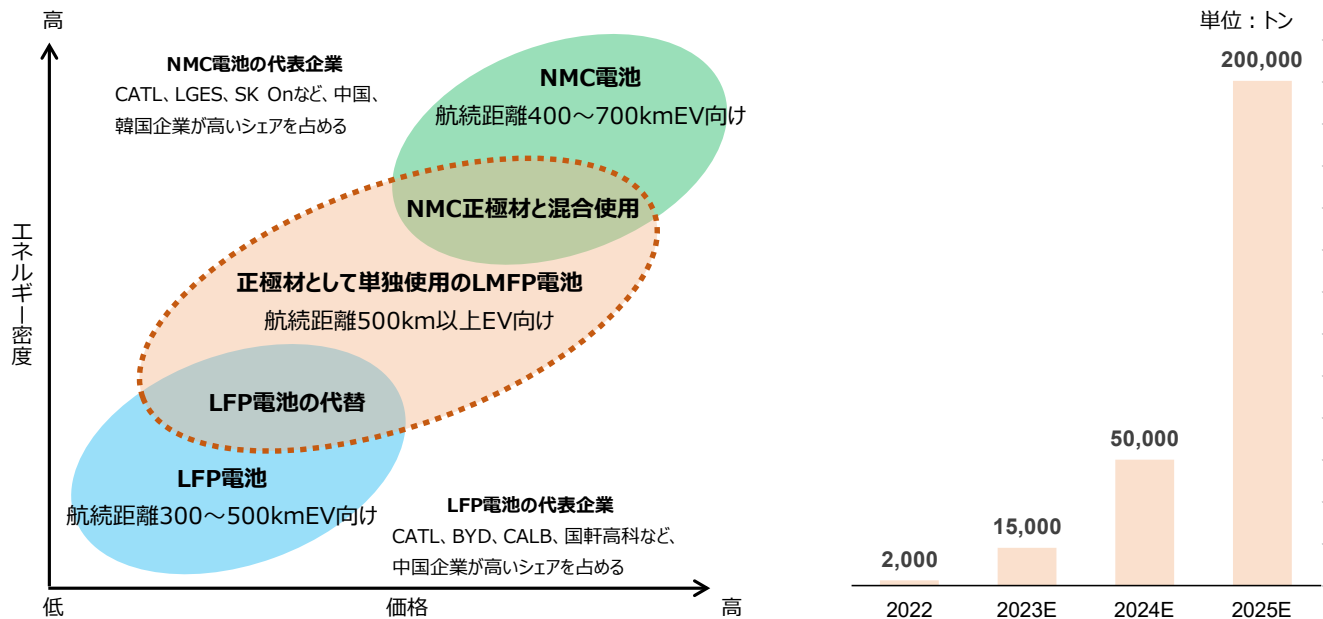
出所：各社公開情報、高工産業研究院記事から三井物産戦略研究所作成

5. 今後の展望

LMFP電池は、図表5左図に示すとおり、エネルギー密度や価格においてLFP電池とNMC電池の間に位置している。想定される用途は、EV向けに導入する初期段階では、LFP電池の代替品とするほか、NMC正極材との混合使用が主流になると予想される。中長期的には技術の成熟に伴って、正極材として単独使用の形でミドルクラスEVを中心に実装が拡大し、現状で主流となっているLFP電池とNMC電池とのすみ分けがなされていくものと考えられる。中国の調査会社・高工産業研究院が2023年5月に発表した予想では、2022年に2,000トンだった中国国内のLMFP正極材の出荷量は、2025年までに20万トン（電池容量換算で約100GWh⁵相当）に拡大し、金額ベースで約100億元（約2,000億円）規模に到達するという（図表5右図）。

⁵ 1GWh=100万kWh

図表5 LMFP電池の想定用途（左）と中国国内のLMFP正極材出荷量予想（右）



出所：高工産業研究院発表（https://mp.weixin.qq.com/s/xuiLjyW0UIWw4A_j5F1R2g 2023年8月1日最終アクセス）から三井物産戦略研究所作成

LMFP電池のコストについては、英国の産学連携コンソーシアムAPC⁶の分析によると、2030年頃に100ドル/kWh以下となり、例えば電池容量150kWh・航続距離800km以上の大型SUVに搭載する場合、NMC電池や燃料電池よりもコストパフォーマンスがよくなる。

中国以外にもLMFP正極材に強みを持つ企業が存在する。日本の太平洋セメントは、独自の水熱合成技術によって、ナノサイズレベルの均一な粒子の合成・造粒とカーボン被覆による高性能LMFP正極材「ナノリチア」の開発に成功し、2025年の量産を目指している。豪州のVSPC⁷は独自のナノテクノロジーを生かした製造方法で、エネルギー密度約236Wh/kgのセル試作に成功し、2027年以降の商業化を計画している。こうした中でも中国は、固相合成法が主流の製造技術が海外勢に劣る可能性があるとの指摘もあるが、巨大な国内EV市場による需要と、積極的な開発に取り組む多くの電池メーカーの存在により、LMFP電池の量産において先行する可能性が高い。

世界最大規模のLFP電池製造基盤を持ち、LMFP電池の量産が見込まれる中国とは対照的に、日本や欧米などは国内EV市場がまだ小規模であることに加え、既存の電池製造基盤もNMC電池向けが主流であるという需要と供給の両サイドの現状から、量産のハードルが高いと考えられる。そうした状況下、中国電池メーカーはEV用電池の輸出と欧州や米国などへの海外進出を拡大しており、今後、LMFP電池の輸出や現地生産を展開する可能性がある。電池産業のグローバル競争にもたらす影響という観点で、その先行きに注視したい。

⁶ Advanced Propulsion Centre：先端推進システム技術センター

⁷ VSPC Pty Ltd：豪州上場の電池材料企業Lithium Australiaの100%子会社

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思わ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。

