

重要性が高まるリン酸鉄リチウムイオン電池リサイクル



MITSUI & CO.
GLOBAL STRATEGIC
STUDIES INSTITUTE

—採算性確保に向けて技術開発が加速—

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

Summary

- 世界で導入が拡大するリン酸鉄リチウムイオン電池（LFP）¹の将来の大量排出に備え、リサイクルの推進は不可欠である。しかし、LFP電池は材料価値が低いため、リサイクル事業の採算性確保が難しい。
- 採算性確保に向けて、中国企業はスケールメリットを追求し電池材料製造との一体化を進めている。一方、欧州などでは、ダイレクトリサイクルなど高効率・高純度の回収技術開発に注力している。
- 一貫したサプライチェーンを有する中国はLFP電池リサイクル産業の育成と新規技術開発に有利な条件をそろえており、今後リサイクル事業の海外進出も想定される。一方、LFP電池産業が確立していない欧米日などにとって、リサイクル体制の構築には地域間・企業間の横の連携が求められる。

1. LFP電池リサイクルの必要性

1-1. 導入が拡大し続けるLFP電池

リチウムイオン電池（LIB）は正極材料によって、主に三元系（NMC）²とLFPの2種類に分けられる。NMC電池はエネルギー密度³が高いものの、コバルト、ニッケルを使用するためコストが高い。LFP電池はエネルギー密度がNMC電池に及ばないが、主要材料に鉄やリンを使用するため、コストが低いというメリットがある。

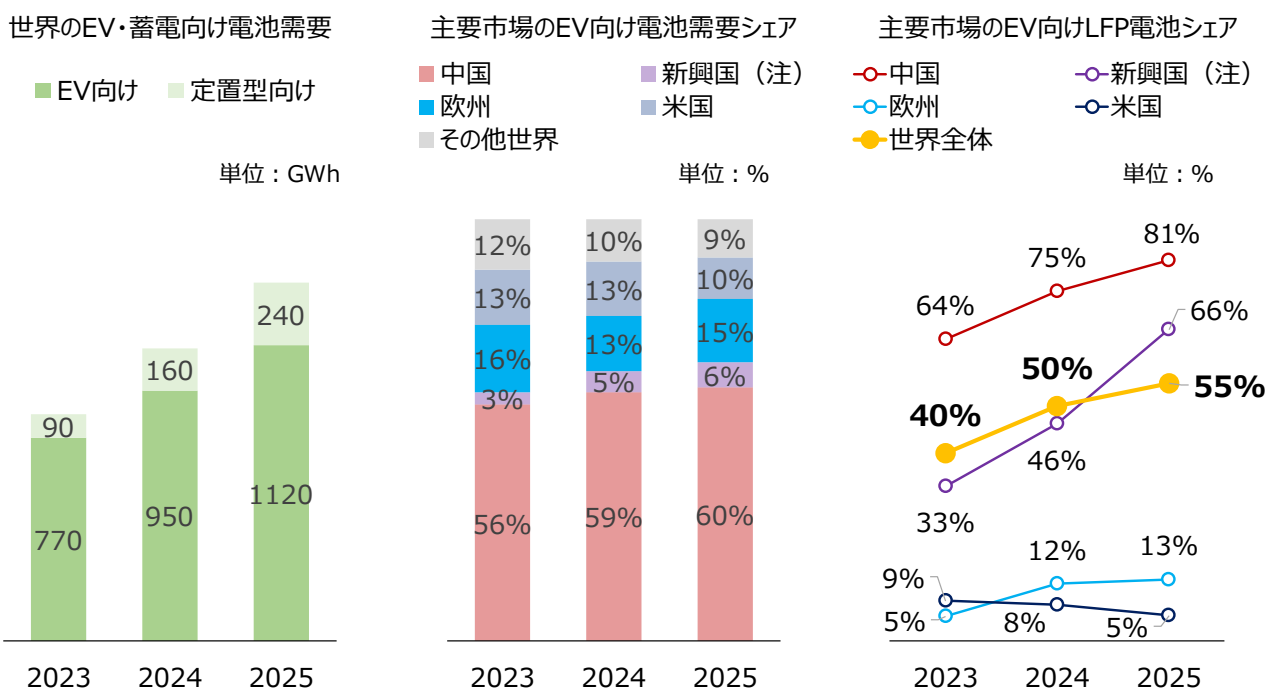
図表1に示す通り、世界でEV・蓄電向けの電池需要が成長している。コスト重視の蓄電用途ではLFP電池がすでに約9割のシェアを占めている。EV向けでは、コストパフォーマンス重視の中国と新興国を中心にLFP電池の導入量が年々増えており、2025年の世界市場シェアは55%と半分を超えた。

¹ リン酸鉄リチウム（LiFePO₄）を正極材料とするリチウムイオン電池。

² ニッケル、マンガン、コバルトを主成分とする化合物を正極材料とするリチウムイオン電池。

³ 単位質量または単位体積あたりに蓄えられているエネルギーの量。

図表1 世界と主要市場のLFP電池導入状況



注 中国以外の新興国・途上国 (EMDEs、Emerging Markets and Developing Economies)

出所 IEA 各年度「Global EV Outlook」から、三井物産戦略研究所作成

1-2. 将来の大量排出に備える必要性

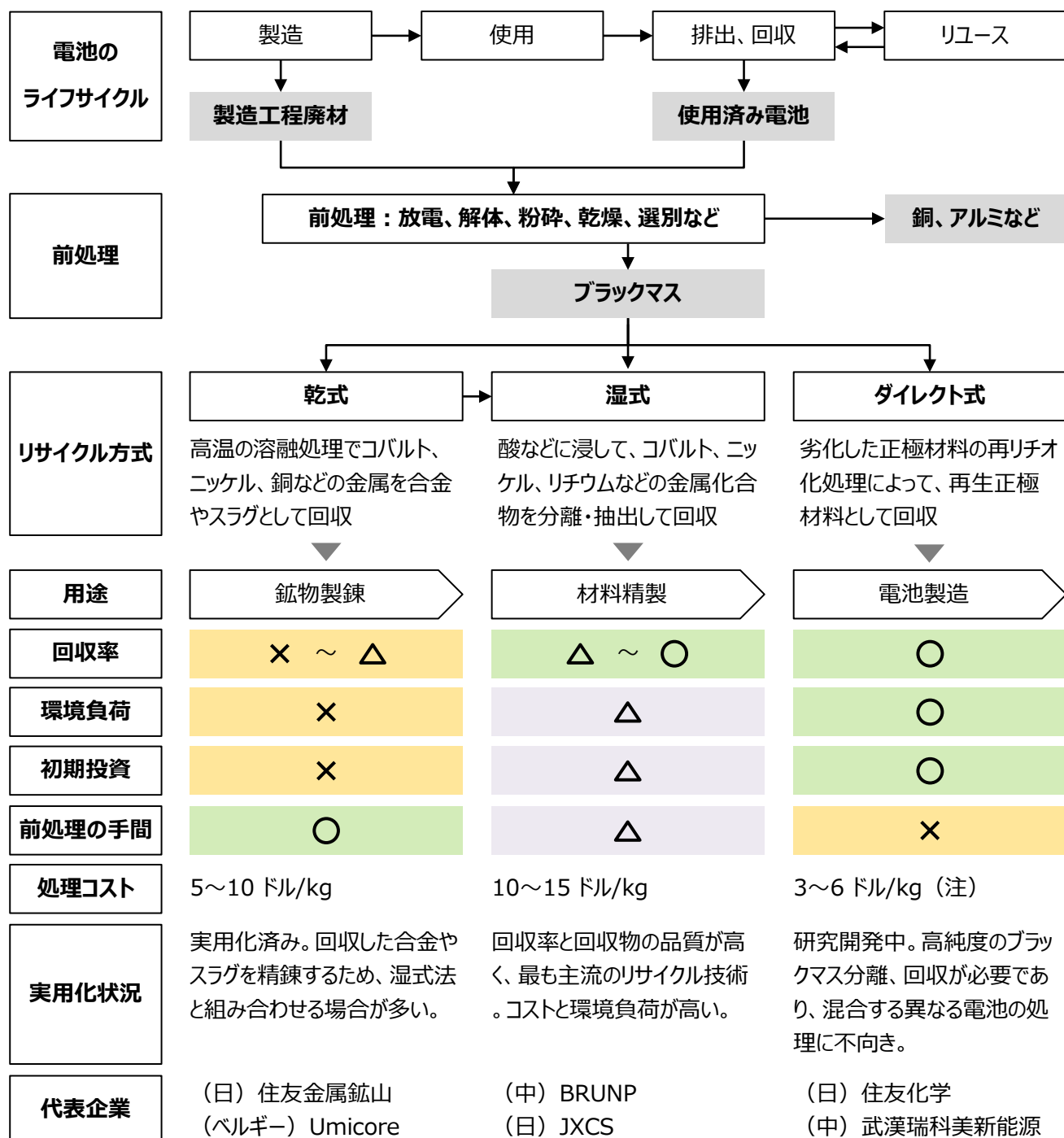
導入が進むLFP電池は最終的に使用済み電池として排出される。特に先行してEVの導入を拡大してきた中国では、その排出ピークが世界で最も早く到来するとみられる。中国自動車技術研究センター (CATARC) によると2025年に排出された使用済みEV電池は78.2万トンであり、その7割以上がLFP由来である。2030年には年間300万トンに増加すると見込まれる。環境保護と資源確保の観点から、今後の大量廃棄に備えてLFP電池のリサイクル体制の構築が必要である。

2. LFP電池リサイクルの現状

2-1. 主流の電池リサイクル技術

使用済みLIB電池のリサイクルは、一般的に前処理から得られたブラックマス (正極材・負極材を含む黒色粉末) を精錬して金属など電池材料を回収するという流れになる (図表2)。

図表2 リチウムイオン電池リサイクルの流れと主流技術



注 将来量産実現後の予想値

出所 CAS & Deloitte「[Lithium-Ion Battery Recycling: Market & Innovation Trends for A Green Future](#)」、
「EV Battery Recycling Cost, Challenges, and Future Trends」(<https://evbattery.us/ev-battery-recycling-cost/#h-the-future-of-ev-battery-recycling-costs>、最終アクセス2026年6月23日12時)、各種公開情報から三井物産戦略研究所作成

リサイクル方法は主に、高温溶融処理による金属回収を行う乾式、酸浸出による元素回収を行う湿式と、修復などの処理を経て電池正極材料に直接再生するダイレクト式という手法に大別される。乾式は処理安

定性が高く、大規模対応も可能だが、初期投資額が高く、エネルギー消費量とCO₂排出量が大きい。一方、湿式はプロセスが煩雑で、コストと環境負荷が高いものの、資源回収率の高さから、最も広く採用されている。まだ研究開発段階にあるダイレクトリサイクルは、使用済みLIB電池の正極活物質の結晶構造を維持したまま回収し、失われたリチウムを補充・再活性化する再リチオ化によって性能を回復させたうえで、新規の電池製造に直接使用可能な材料に再生する技術である。環境負荷と処理コストが現行主流方式を大きく下回るポテンシャルがあるため有望な技術とされるが、高度な前処理や再生材の品質の均一性確保などの課題を解決する必要がある。

2-2. 課題である採算性確保

LIB電池リサイクル事業の採算性は正極材料の種類に大きく左右される。NMC電池はニッケル、コバルトなど価値の高い資源が多く含まれるため、利益を確保しやすい。しかし、LFP電池の場合は、原材料が低コストである点が、かえって採算性確保の妨げとなる。重量ベースの半分以上は資源価値の低い鉄とリンであるため、回収したリチウムの売却益に依存する収益構造は脆弱である。

スウェーデンの産業用電池大手Micropower Groupの試算によると、欧州で1トン当たりの使用済みLIB電池の湿式リサイクルから得られた収益は、NMC電池の955ユーロ（1ユーロ＝約182円）の黒字に対して、LFP電池は545ユーロの赤字になるという。欧州より処理コストの低い中国でも、NMC電池リサイクルの平均利益率は10%であるのに対して、LFP電池はわずか4%程度にとどまり、リチウムの市況変動次第で赤字もあり得るとの調査結果が出ている。

3. LFP電池リサイクルの採算性向上に向けた取り組み

3-1. 電池材料製造との一体化を図る中国企業

中国では世界のLFP電池の9割を製造している。LFP電池リサイクルの採算性向上にこのスケールメリットを生かすべく、大手企業を中心に川上の材料製造と一体化して進める事例が増えている（図表3）。

電池最大手CATL傘下の広東邦普循環科技は、リン鉱石の埋蔵量が豊富な湖北省・宜昌市で世界最大規模のLFP電池産業パークを稼働させている。リン酸鉄などの材料から最新世代のLFP正極材料の生産までをカバーする産業パークに、リサイクル事業を内製化することで、クローズドループ型の生産拠点に仕上げた。各地から回収してきた使用済み電池やブラックマスから再生した材料を自社隣接工場へ提供することにより、リサイクルおよび輸送コストの削減効果が期待される。このような電池材料製造との一体化を図る動きは、リチウムや電解液の大手企業にも広がっている。

図表3 中国電池材料大手によるLFP電池リサイクルと新規材料生産との一体化の代表事例

再生品用途	企業と取り組み概要
正極材料	広東邦普循環科技：電池最大手CATL傘下のLIB電池リサイクル大手 - 湖北省・宜昌市で、世界最大規模のLFP材料生産からリサイクルまでを含むクローズドループ型LFP電池産業パークを2025年末から稼働させている。 - 現状のリサイクル能力は15万トン/年であり、2027年後半まで50万トン/年への拡大計画がある。
正極材料	湖北睿派新能源科技：自動車大手東風汽車とLIBリサイクル大手広東金晟新能集団との合併事業 2026年4月、湖北省・襄陽市で湿式リサイクルとLFP正極材料製造の一体型工場が稼働を開始した。 - LFP正極材料の製造能力が2.5万トン/年であり、将来5万トン/年に拡大する予定である。
正極材料	湖南裕能循環科技：LFP正極材料大手の湖南裕能新能源電池材料の子会社 - 湖南省・湘潭市内の7万トン/年の炭酸リチウム生産にLFP電池から回収した原料を一部使用している。 - リサイクル由来原料の供給拡大に向けて、同工場内で2万トン/年のLFP電池解体・リサイクル工場の建設を進めている。
正極材料	江西贛鋒循環科技：リチウム大手江西贛鋒鋳業の子会社 2026年4月、江西省・新余市でLFP電池のリサイクルから回収した材料を原料とする炭酸リチウム（2万トン/年）とリン酸鉄（4万トン/年）の生産工場が竣工した。 - グリーンボンドの発行による資金調達など、リン酸鉄の生産能力拡大（8万トン/年）計画を進めている。
電解質材料 正極材料	広州天賜高新材料：電解液最大手 - 江西省・九江市の電解液工場内で4万トン/年のLFP電池リサイクル工場を稼働させている。 2025年の技術改良後、回収したリチウムやフッ素を電解質の原料に再生、利用しており、中国初となるリチウム、鉄、リン、フッ素を含むLFP電池全元素回収工場と発表した。

出所 各種公開情報から三井物産戦略研究所作成

3-2. 各国が開発を競う次世代のLFP電池リサイクル技術

ダイレクトリサイクルや、新規溶媒やプロセスでリチウムなど特定の材料を選択的かつ高純度で分離・回収する技術は、処理プロセスの短縮、処理コストの抑制と高純度回収物の高い付加価値など採算性確保につながるため、各国が研究開発に取り組んでいる（図表4）。

図表4 新規のLFP電池リサイクル技術の開発状況

技術	企業や研究機関	取り組み内容
選択的分離回収など	(韓) SK Innovation	開発中の前処理と選択的浸出を一体化したリサイクルプロセスでは、91%の炭酸リチウム回収率を達成。水と二酸化炭素、過酸化水素だけを利用するため、廃水処理などの環境負荷とコストを大きく抑制できる。
	(シンガポール) NEU BATTERY MATERIALS	2020年設立のスタートアップ。世界初のLFP電池リサイクルに特化した電気化学酸化還元プロセス（レドックス）を開発している。ブラックマスから回収した高純度の水酸化リチウムは電池の製造に再利用できる。
	(ドイツ) CYLIB	2022年設立のスタートアップ。独自の水性溶媒を利用したリサイクル技術で90%以上のリチウム回収率を実現した。鉱石製錬と比べると温室効果ガスの排出量を80%以上削減できる。
ダイレクトリサイクル	液相法 (注1)	(米) OnTo Technology 2004年設立の電池技術スタートアップ。独自で開発した正極材料の修復技術「Cathode Healing™」を生かして、低コストのLFP電池リサイクルプロセスの実証を行っている。
	(中) 湖北万潤新能源科技	2025年12月、使用済みLFP電池から高純度の正極材料剥離と、低温（100～150℃）環境の水熱合成による再リチオ化でLFP正極材料に再生させる技術を出願した。
	固相法 (注2)	(中) 広州優美再生技術 広州汽車集団と電池リサイクル大手格林美との合併事業。電解液未注入の廃棄電池セルを原料として、LFP正極材料に再生する。2025年12月から出荷を開始した。年間7200トンの処理が可能。
	(中) 武漢瑞科美新能源	2018年に設立したスタートアップ。2021年に広東省佛山市で中国初のLFP正極材料固相修復プラントの商業化運転を開始した。全国各地で複数のLFP電池リサイクル、電池材料と電池製造事業を展開している。
	その他	(ドイツ) Fraunhofer ISC など欧州8カ国の計13の企業と研究機関 EUとスイス政府からの資金支援を受けた「ReUse」事業において、2026年末まで使用済みLFP電池の前処理、自動解体、各種材料の選別回収と修復再生を含むダイレクトリサイクルプロセスの開発を行う。
	(仏) フランス国立研究機構 (ANR)	2023年から、仏国内4つの研究機関が参加する「LEOREC」事業に60万ユーロの資金を提供し、常温と高温高圧それぞれの条件下において、再リチオ化によるダイレクトリサイクル技術の開発を行っている。
	(米) PRINCETON NUENERGY	2019年設立のダイレクトリサイクルスタートアップ。独自開発した低温プラズマプロセスによる使用済みLIB電池から正極材料の高純度回収と修復技術がLFP電池のダイレクトリサイクルに活用可能。
	(韓) 蔚山科学技術院 (UNIST) とスタートアップ企業4社	2026年5月、国から使用済み電池から新規電池製造までをつなげる「Full-Cycle Platform」の構築事業（予算440万ドル）を受託した。官民一体で正極材料の回収とダイレクト修復技術の開発を行う。

注1 液体（溶液）に原料を溶かし、化学反応や温度変化などを利用して目的物を合成する方法

注2 原料粉末同士を混合し、高温の熱によって拡散させて目的物を合成する方法

出所 各種公開資料から三井物産戦略研究所作成

中国各地で計画または稼働中の固相焼結方式のダイレクトリサイクルプラントは数万トン規模に上る。

ただし、焼結方式で再生した正極材料の性能は、処理する廃材の成分に大きく左右される。現状のリサイクル原料は、LFP電池工場から排出された、品質が均一な電池製造廃材である場合が多い。また、アルミニウムなど不純物が残りやすく、性能が新品に及ばないという課題がある。そのため、用途は二輪車、バックアップ電源向けなどの電池に制限されており、新品の約8割の価格で取引されている。固相焼結方式の代表格である武漢瑞科美新能源が再生した正極の性能は新品の95%に達しており、EV向け電池の性能を満たすよう、第二世代技術の開発を行っている。

大規模なLFP電池産業を構築していない欧米韓では、直接正極材料を再生できれば、中国主導のLFP電池サプライチェーンへの依存を軽減する効果があるため、ダイレクトリサイクルなど高度な技術の開発に注力している。また、最新技術を採用するLFP電池リサイクル工場の整備も進めている。

NMC電池を中心としてきた韓国企業は、シェア縮小を食い止めるため、軒並みLFP電池の量産を計画している。ダイレクトリサイクルを含むLFP電池リサイクル技術全般の研究開発も官民一体で進めている。将来のリサイクル需要を見据えて、電池リサイクル大手のSungEel HiTech社は2026年末までに、500トン/年のLFP電池リサイクルのパイロットプラントを設置する予定と報道されている。

欧州は「ReUse」事業において、多国間連合でマイクロ波、液相法と固相法を含む多様なダイレクトリサイクル技術を研究開発している。水性溶媒を使用した高回収率技術を開発したドイツのCYLIB社はドイツ政府から6340万ユーロ（約100億円）の助成金を受け、年間処理能力3万トンのLFP電池専用のリサイクル工場の建設を開始しており、2027年内の稼働開始を予定している。

4. 展望とサプライチェーンへの影響

4-1. 今後の展望

湿式リサイクルは当面の間、主流技術であり続けるだろう。一部企業に取り組んでいる新規抽出溶媒の開発、選択的な分離・回収技術や処理プロセスの短縮などの改良により、さらなる回収率の向上と環境負荷の低減が期待できる。特に欧州や韓国などLFP電池産業の後発国はこれら最新の技術を迅速に実装できる点で有利である。一方、中国企業を中心に進められているLFP電池のリサイクルと新規材料製造の一体型工場は、再生材品質とコスト管理の最適化ができるため、今後も増えるだろう。

各国ともダイレクトリサイクル技術の研究開発を加速させているが、実用化にはまだ時間がかかる。中国で小規模ながら実装が始まっている固相焼結方式は、扱える材料と再生品の用途が限られており、さらなる技術開発が必要である。また、ダイレクトリサイクルにとって、ブラックマスの純度と成分の均一性が再生品の性能に大きく影響するため、使用済み電池からブラックマスを効率的かつ高純度で分離・回収する技術の開発は重要な差別化ポイントになる。

4-2. LFP電池サプライチェーンへの影響

LFP電池リサイクルの本質は資源回収の問題ではなく、一貫した電池サプライチェーンの主導権争いである。図表5に示す通り、中国では電池工場からの廃材排出、使用済み電池の回収、リサイクルおよび再生材を使用した新規電池製造は国内で完結しており、LFP電池リサイクル産業の育成と新技術の開発に有利な条件をそろえている。また、欧州や新興国でLFP電池の現地生産を拡大している中国企業によるリサイクル事業への進出も想定される。

図表5 主要国・地域のLFP電池リサイクルの取り組み現状の比較

○ △ ×				
国・地域	関連政策・規制	生産廃材・使用済み電池の確保	リサイクル技術の開発と実用化状況	再生材の受け取り手
中国	不適正処理への流出の取り締まりを強化している。一方、再生材使用比率の強制はしていない。	世界最大のLFP電池の生産、導入国である。	湿式法など成熟技術の規模拡大と、ダイレクトリサイクルなど最新技術の研究開発を同時に進めている。	世界最大のLFP生産国として、電池材料企業など再生材の受け取り手が多い。
欧州	新規電池製造の再生材使用比率やブラックマスの域外流出制限などの規制を導入している。	EV・蓄エネ向けのLFP電池導入が増加しており、現地生産も徐々に拡大する見通し。	厳しい環境規制に適合する高度なリサイクル技術に照準。LFP電池専用リサイクル工場を建設中。	LFP電池の現地生産の拡大に伴って、サプライチェーンを構築中。
韓国	電池リサイクル産業の育成策において、リサイクルシステムと再生材認定手法の構築を盛り込んでいる。	NMC電池が主流技術になっており、現状ではLFP電池の大規模量産を行っていない。	選択的抽出など研究開発を加速させており、一部企業はパイロットラインを設置する予定。	主要メーカーは2026年以降、国内・海外でのLFP正極材料や電池の生産を順次開始する予定。
米国	ダイレクトリサイクルなど一部のスタートアップに助成金を提供している。	EV向けの割合が低く、蓄エネ用途の導入量は増加中。現地工場の整備と量産は政策に左右される。	ダイレクトリサイクルなど最先端技術のスタートアップは多数ある。	LFP電池のサプライチェーンを構築中であり、先行きは不透明である。
日本	「蓄電池・電源産業戦略」では、電池リサイクルシステムの確立と関連技術の開発を支援する。	EV・蓄エネルギー向けの導入は緩やかに増加しているが、他の国・地域と比べると規模が小さい。	ダイレクトリサイクルなどの研究開発を行っているが、主に資源価値の高いNMC電池に向けられている。	LFP電池のサプライチェーンは構築されていない。

出所 各種公開資料から三井物産戦略研究所作成

欧州では経済安全保障上の理由で使用済み電池の域外流出を規制する動きがあるが、現地で完結する循環体制の構築が成功の鍵を握る。特にリサイクル産業の育成初期は電池製造廃材の囲い込みが重要なため、域内外の材料メーカー・電池メーカー・リサイクル企業・自動車製造企業間の横断的な連携は不可欠だ。

日本企業は多くの高度なLIB電池リサイクル技術を保有または開発している。そのほとんどはNMC電池向けのものであるが、例えば高純度のブラックマスの分離・回収技術、ブラックマスの酸浸出液から高回収率でリチウムを抽出できる分離膜技術など、LFP電池のリサイクルに活用できる技術も多い。足もとのLFP電池導入拡大に鑑み、欧州などで進められているLFP電池リサイクルの技術開発や規模拡大への積極的な関与は、これら技術に事業化機会をもたらすほか、蚊帳の外に置かれてしまう事態の回避にも有益だ。

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的な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。