

米国における EV 用バッテリーの
リサイクル事業の現状と見通し調査

2023 年 6 月

日本貿易振興機構（ジェトロ）

調査部

ニューヨーク事務所

【免責条項】

本レポートで提供している情報は、ご利用される方のご判断・責任においてご使用下さい。ジェトロでは、できるだけ正確な情報の提供を心掛けておりますが、本レポートで提供した内容に関連して、ご利用される方が不利益等を被る事態が生じたとしても、ジェトロおよび執筆者は一切の責任を負いかねますので、ご了承下さい。

<目次>

エグゼクティブサマリー	2
用語および略語	4
1 米国における EV リサイクル市場の概要	8
1.1 EV 用バッテリーのリサイクルに関するバリューチェーンの概要.....	9
1.2 米国における EV 用バッテリーのリサイクル市場の規模と見通し.....	10
1.3 主要な自動車メーカーによる EV 用バッテリーの国内生産網強化の動き	12
1.4 業界団体による取り組み	14
2 連邦政府および州政府による推進策	16
2.1 連邦政府による推進策.....	16
2.1.1 インフラ投資雇用法（Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA）	16
2.1.2 インフレ削減法（IRA）	19
2.1.3 その他連邦政府の取り組み.....	20
2.2 州政府による支援策	22
2.2.1 カリフォルニア州	22
2.2.2 その他の州政府	24
3 EV 用バッテリーのリサイクル、再利用、転用の現状と見通し	26
3.1 サプライチェーンを形成する主要リサイクル企業の取り組み.....	26
3.2 ライ・サイクル.....	27
3.3 レッドウッド・マテリアルズ.....	29
3.4 サーバ・ソリューションズ（旧：リトリブ・テクノロジーズ）	32
3.5 ABTC.....	33
4 米国における EV 用バッテリーの材料に関する近年の取り組み	35
4.1 米国における EV 用バッテリーに関する調達課題	35
4.2 材料の主な生産地と輸出入状況	35
4.3 EV 用バッテリーの材料となる重要鉱物の国内生産支援策.....	37
4.3.1 国防生産法（DPA）による国内生産の促進	37
4.3.2 米国バッテリー材料イニシアチブ（American Battery Materials Initiative） ...	38
4.3.3 バッテリー材料加工と製造に対する助成.....	39
4.3.4 企業による取り組み事例.....	44

<図表>

図表 1：リチウムイオン電池のサプライチェーン	8
図表 2：EV 用バッテリーのリサイクルに関する主なバリューチェーンの区分と概要	10
図表 3：米国とカナダの EV 用バッテリーリサイクルの市場規模（単位：100 万ドル）	11
図表 4：大手自動車メーカーによる EV 用バッテリー関連の投資の動き	13
図表 5：EV 用バッテリーのリサイクル・二次利用プロジェクト一覧（単位：ドル）	17
図表 6：リチウムイオン電池リサイクルプライズの 3 段階構成	18
図表 7：リチウムイオン電池リサイクルプライズの第 3 段階まで進んだ企業と技術の概要	19
図表 8：IRA に含まれた税額控除プログラム一覧	19
図表 9：クローズドループ・リサイクルの概念図	21
図表 10：USABC のバッテリーリサイクル技術研究開発プロジェクトの提携先	22
図表 11：米国における主要リサイクル会社の概要	26
図表 12：ライ・サイクルが所有・稼働する北米施設の概要	28
図表 13：レッドウッド・マテリアルズの現施設と将来計画	30
図表 14：レッドウッド・マテリアルズのリサイクルプロセスの概観	31
図表 15：EV 用バッテリーに利用される重要鉱物	36
図表 16：バッテリー材料加工と製造に対する助成金の対象領域	40
図表 17：第 1 回助成金採択プロジェクトの対象企業と立地場所	41
図表 18：採択プロジェクトの概要一覧	41
図表 19：従来方法とライラック・ソリューションズ技術との比較	47

はじめに

米国のバイデン政権は、2030年までに新車の50%以上をクリーンビークル(バッテリー式EV、プラグインハイブリッド車、燃料電池車)とする目標を掲げ、インフラ投資雇用法やインフレ削減法などを通して幅広い支援策を打ち出している。これらは一定の成果を上げており、2023年第1四半期の新車販売台数に占めるクリーンビークルの割合は、2021年の4.1%、2022年の6.7%を上回る8.6% (注) となった。

EV用バッテリーの生産計画も相次いで発表され、国内の生産容量は今後数年で大幅に拡大するとみられる。こうした中、バッテリーの材料、特に中国など海外からの輸入に頼る重要鉱物を安定的に確保することは、自動車メーカーやバッテリー関連企業にとって喫緊の課題である。

本レポートでは、米国で今後の事業拡大が見込まれるEV用バッテリーのリサイクルビジネスに焦点を当て、米国政府の取り組みや企業動向を紹介する。米国のリサイクル事業への理解と、日系企業のビジネス機会の拡大に資する情報となれば幸いである。

なお、本レポートは、米国の調査会社 Washington CORE, L.L.C.の協力を得て作成した。

(注) モーターインテリジェンスの発表データ

2023年6月
日本貿易振興機構 (ジェトロ)
調査部 米州課
ニューヨーク事務所

エグゼクティブサマリー

米国政府は近年、自国産業の競争力向上と国家安全保障の確保のため、主に通商を中心とした経済面で中国への過度な依存を軽減する姿勢を強めてきた。2020年初頭に発生した新型コロナウイルスの感染拡大が半導体やバッテリーの物流の寸断を招いたことにより、バイデン政権は、米国内サプライチェーンの整備と強化に舵を切った。特に、脱炭素化の鍵となる電気自動車(EV)や大容量のエネルギー貯蔵システムの主要部品であるバッテリー(EV用バッテリー)の製造・加工は、現在、中国がグローバル市場で優勢だ。バイデン政権は、EV用バッテリーおよびその材料となる重要鉱物について、半導体や医薬品・医薬品有効成分と並ぶ重要製品と位置づけ、サプライチェーンを強靱化する政策を積極的に進めている。

米国では、インフラ投資雇用法(Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA)などに基づき、クリーンエネルギー社会への移行に向け、EVインフラ整備に多額の政府予算の投入が見込まれる。大手自動車メーカーもこうした流れを受けて、米国でのEV生産への投資を拡大しつつある。今後、急速な成長が見込まれるEV需要に対応するためには、バッテリーおよびその材料となる重要鉱物の確保が必須となる。しかし現時点で、EV用バッテリーや材料の国内サプライチェーンは脆弱だ。米国政府はその強化策として、製造施設の増強のほか、使用済みEV用バッテリーのリサイクル、二次利用による循環経済の確立が重要と捉え、バッテリー材料の回収や再利用に関する事業の推進に取り組んでいる。また大手自動車メーカーも、EVや同部品の製造能力の拡大に加え、使用済みEV用バッテリーのリサイクルに着手し始めた。こうした中、米国の自動車業界団体が、EV用バッテリーのリサイクルに関する任意の基準を作成するなど、環境整備が進みつつある。米国におけるEV用バッテリーのリサイクル市場は、2028年に2021年比で約4倍に成長する見通しとなっている。

現在、立ち上がりつつある米国のEV用バッテリーのリサイクル市場では、カナダのライ・サイクル、米国のレッドウッド・マテリアルズ、サーバ・ソリューションズ、ABTCなど数社が、包括的なバリューチェーンを形成しつつある。これらの企業は、M&Aや投資を通じて事業を拡大しており、早期のシェア獲得を通じた先行者利益の確保を狙っている。また、EV用バッテリーのリサイクルで先進する欧州のプレイヤーも、相次いで米国市場に参入している。実績やノウハウを有する企業の参入は、今後、米国市場の拡大に向けた機動力になると期待されている。また連邦政府も、この分野の研究開発やイニシアチブを積極的に推進し、市場の発展を後押ししている。中でも、IIJAやインフレ削減法(Inflation Reduction Act : IRA)では、EV用バッテリーのリサイクル事業に投じる予算が盛り込まれた。これら公的資金の投資が、米国市場の成長を牽引する一助になるとみられる。

一方、バッテリーの材料となる重要鉱物に関しては、リチウム、コバルト、マンガン、ニッケル、黒鉛などの確保が重要となる。特に、マンガンと黒鉛は米国で生産されておらず、100%輸入

に依存している。またリチウム、コバルト、ニッケルについては、米国内で採掘事業は行われているが、規模は小さく、輸入に大きく頼っている。このような現状を解決し、中国をはじめとする諸外国から輸入依存を低減させるためには、重要鉱物の生産力の向上に加え、EV 用バッテリーのリサイクル、再利用、転用の推進が重要な役割を担うとみられる。バイデン政権は現在、重要鉱物の強靱なサプライチェーンの構築に向けて、国防生産法（DPA）の発動による国内生産の推進、鉱業法の改正を通じた許認可プロセスの迅速化、公正で責任のある採掘を重視した基準の策定と実践、海外での採掘を行う企業への投資支援などを進めている。しかし、重要鉱物の探査から採掘に至るまでに長い年月を要することが、最大の課題となっている。また、長年にわたり投資した後でも、事業化にたどり着く企業が多くないのが現状だ。そのため、EV 用バッテリーのリサイクルを含め、いかに短期間で包括的なサプライチェーンを構築できるかが鍵となる。

政策による支援などを背景に、米国では EV 用バッテリーのリサイクル事業を手掛けるスタートアップ企業が多数登場している。今後のリサイクル市場がいかに成長するか注目される。

用語および略語

- EV (Electric Vehicle : 電気自動車)

電気エネルギーを動力源とする自動車。電気エネルギーを使用する車両を全て含む概念であるため、搭載したバッテリーのみを動力源とするバッテリー式電気自動車 (BEV) のほか、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、ハイブリッド車 (HEV) や燃料電池車 (FCV) も含む。

- EV 用バッテリー再利用・リサイクル諮問委員会 (EV Battery Reuse & Recycling Advisory Group)

テキサス州環境品質委員会 (Texas Commission on Environmental Quality : TCEQ) が、2022 年 5 月に、リチウムイオン電池を主体とする EV 用バッテリーの再利用やリサイクルを奨励するための法規制の整備などに向けて提言を行うことを目的に設置した諮問委員会。

- アイダホ国立研究所 (Idaho National Laboratory)

エネルギー省 (DOE) 傘下の国立研究所で、原子炉、核燃料サイクル、エネルギー関連技術の研究開発、実証実験を行う。1949 年設立。所在地はアイダホ州アイダホフォール。

- アノード (Anode)

電子を受け取る電極を意味し、バッテリーに使用する場合「負極」を意味する。リチウムイオン電池では、炭素系材料 (主として黒鉛) またはスピネル型チタン酸リチウム (Li₄Ti₅O₁₂) などの酸化物系材料が使用される。

- アルゴンヌ国立研究所 (Argonne National Laboratory : ANL)

DOE 傘下の国立研究所で、理学・工学分野を中心に広範な科学技術の研究を行う。1946 年設立。所在地はイリノイ州アルゴンヌ。

- インフラ投資雇用法 (Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA)

2021 年 11 月 15 日、バイデン大統領の署名により成立した超党派の法律。超党派インフラ法 (Bipartisan Infrastructure Law : BIL) ともいう。インフラの拡充と競争力の向上を目的に、1 兆 2,000 億ドル規模の超大型投資を行う。主な投資分野は、浄水と高速インターネットへのアクセス拡大、道路・橋梁の強化、気候レジリエンス向上、輸送インフラ強化、EV 充電器の拡充、ゼロエミッションを達成するためのエネルギーの拡充など。

- インフレ削減法 (Inflation Reduction Act : IRA)

2022 年 8 月 16 日、バイデン大統領の署名により成立。再生可能エネルギーの拡大や、EV 技術の促進、エネルギー効率の向上を主とする気候変動・エネルギー関連施策に 3,690 億ドルという前例のない大型投資を行う。EV 関連施策は、本文を参照。

- エネルギー省エネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy : EERE)

DOE 内の部局で、再生可能エネルギー・エネルギー効率技術の開発・普及を行う。2050 年までに温室効果ガス (GHG) 排出量のネットゼロを実現するため、電力・輸送・産業・建物・農業といった各部門の脱炭素化に関する技術の研究・開発を実施する。

- エネルギー省自動車技術室 (Vehicle Technologies Office : VTO)

EERE 内の部門で、EV の駆動技術、バッテリー、軽量素材など効率的な輸送技術の研究、開発、展開の支援を行う。

- エネルギー省製造・エネルギーサプライチェーン局 (Office of Manufacturing and Energy Supply Chains : MESC)

DOE 内の部局で、国内のエネルギーインフラの現代化や、クリーンで公平なエネルギーへの移行に必要な、クリーンエネルギーの製造とエネルギーサプライチェーンの強化を支援する。

- エネルギー省先進製造室 (Advanced Manufacturing Office : AMO)

EERE 内の部門で、産業界や大学と協力し、エネルギー効率の高い技術研究を支援する。

- オークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Lab : ORNL)

DOE の管轄の下、テネシー大学とバテル記念研究所が運営する研究所で、基礎研究から応用の研究開発まで、多様な研究開発を行う。1943 年設立。所在地はテネシー州オークリッジ。

- カソード (Cathode)

電子を放出する電極を意味し、電池に使用する場合「正極」を意味する。リチウムイオン電池では、カソードにコバルト酸リチウム (LiCoO_2) などリチウム系化合物が使用される。

- 金属資源 (Metal Resource)

一般的に鉱物 (鉱石) から抽出される有用元素・成分を指す。金属資源は主に、鉄 (合金を含む) と非鉄金属に分けられる。さらに、非鉄金属は銅、鉛、アルミニウム、ニッケルなど生産量が多いベースメタルと、量が少なく希少なレアメタルに区分される。レアアースは、レアメタルに属している。但し、本レポートでは、重要鉱物を含んだ鉱物 (鉱石) 全般を総称する。

- クリーンビークル

BEV、PHEV、FCV の総称。

- クローズドループ・リサイクル (Closed-loop Recycling)

生産時に発生した廃棄物、スクラップ、回収した使用済み製品を同じ品質の部品の材料として

再生し、再び同種製品に採用する手法。

- 国防生産法 (Defense Production Act : DPA)

1950年制定。国防上の利益を確保するために、国内産業に影響を与える幅広い権限を大統領に付与する法律。大統領は本法に基づき、連邦政府全体で国防に必要な重要材料・商品を提供できるように、国内企業に命令することができる。

- 国立再生可能エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory : NREL)

再生可能エネルギーとエネルギー効率に関する研究開発を行う。1974年に設立され、1991年にDOE傘下の国立研究所になった。所在地はコロラド州、デンバー郊外のゴールデン。

- 自動車イノベーション協会 (Alliance for Automotive Innovation : AAI)

米国最大の自動車業界団体で、2020年1月、ゼネラルモーターズ (GM) など米国系メーカーとトヨタなどをメンバーとする米国自動車工業会 (Alliance of Automobile Manufacturers : AAM) および、ホンダや現代自動車など外資系メーカーをメンバーとするグローバル・オートメーカーズ (Association of Global Automotive Innovation) が統合して設立された。加盟メーカーは、全米の自動車生産台数の99%を占める。

- 重要鉱物 (Critical Mineral)

金属資源のうち、米国経済あるいは安全保障上必要不可欠な非燃料鉱物または鉱物材料で、サプライチェーンが脆弱なものを指す。米国地質調査所 (USGS) が重要鉱物のリストを作成・更新・公開している。本レポートでは、主にリチウム、コバルト、マグネシウム、ニッケル、黒鉛の5種類の鉱物に焦点を当てるが、それ以外も含む広義の重要鉱物とする。

- 米国国際開発金融公社 (US Development Finance Corporation : USDFC)

米国政府の独立機関として、エネルギー、ヘルスケア、重要インフラ、テクノロジーなどの民間開発プロジェクトに資金提供を行う。2019年設立。本部はワシントンDC。

- 米国先進バッテリーコンソーシアム (United States Advanced Battery Consortium : USABC)

米国大手自動車メーカーのフォード、GM、ステランティスが加盟する米国自動車研究評議会 (United States Council for Automotive Research : USCAR) の傘下であり、DOEと協調合意の提携を通じて、次世代EVの商業化を促進する電気科学的エネルギー貯蔵技術の開発を目的として設立。EVの性能向上とコスト削減を満たすバッテリーセルやシステム技術の開発、先端バッテリーシステムを支援する材料や製造・リサイクル技術の開発、最先端バッテリーやウルトラキャパシタのベンチマークの実施などを行う。1992年設立。

- 米国地質調査所 (United States Geological Survey : USGS)

米国内務省（DOI）が所管する、同省で唯一の科学的研究機関。米国の景観、天然資源、自然災害を対象に調査研究を行う。米国の地形図や地質図も作成している。1879年設立。本部はバージニア州レストン。

- 米国電機工業会（National Electric Manufacturers Association：NEMA）

米国の電気機器メーカーの業界団体で、業界のリーダー、電気の専門家、エンジニア、科学者、技術者で構成されている、工業規格の標準化を行う米国規格協会（American National Standards Institute：ANSI）公認の規格策定機関。1926年設立。本部はバージニア州ロズリン。

- リサイクル、再利用、転用

- リサイクル（Recycle）：使用済みのバッテリーを処理して最大量の材料を回収し、同一の産業または異なる産業で再び利用すること。
- 再利用（リユース／Reuse）：磨耗または劣化したコンポーネントを交換するなどし、新製品と同等以上の品質およびパフォーマンスレベルに再生して利用すること。
- 転用（リパーパス／Repurpose）：バッテリーコンポーネントやパックを改修して、当初の目的とは異なる用途に使用すること

- リセル・センター（ReCell Center）

DOE傘下のANLが2019年2月に設置した研究開発拠点。ANL、NREL、オークリッジ国立研究所のほか、ウースター工科大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校、ミシガン工科大学との共同事業が行われている。製造業者、自動車メーカー、資源再生業者、バッテリーのライフサイクル管理サービス業者、材料サプライヤーなどの企業がパートナーとなり、リセル・センターの研究開発に協力する。

- リチウムイオン自動車搭載バッテリーリサイクル諮問委員会（Lithium-Ion Car Battery Recycling Advisory Group）

カリフォルニア州環境保護局が2019年11月に、EV用バッテリーの管理に関する調査と課題解決に向けて召集した諮問委員会。カリフォルニア州政府機関をはじめ、自動車・バッテリー産業と廃棄物業界の民間企業、NPO団体など19団体・組織が加盟している。バッテリーリサイクル分野に関わる大学や研究機関との意見交換を踏まえて、2022年5月に最終提案を発表。

- リチウムイオン電池

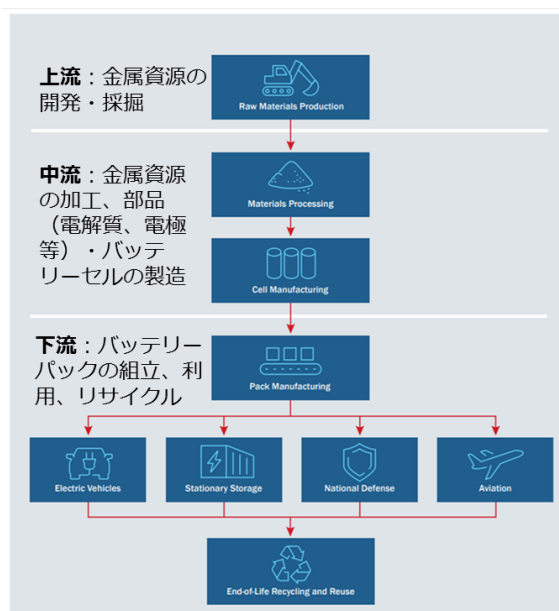
正極（カソード）と負極（アノード）の間をリチウムイオンが移動することで、充電や放電を行う二次電池。エネルギー密度が高く、高電圧かつ大容量かつ寿命が長いという特徴を持つため、車載用バッテリーのほかにも、PCやスマートフォンなど高い性能が求められる多くの機器に採用されている。

1 米国における EV リサイクル市場の概要

米国連邦政府は、「2030 年までに GHG の排出量を 2005 年比で 50～52%削減する」という目標を掲げている。また、2050 年までに経済全体の GHG 排出量実質ゼロの達成に向け、輸送部門では電気自動車（EV）の普及を推進している。連邦政府は同時に、EV シフトによる自動車産業の空洞化を回避し、雇用の安定を図るため、車両のライフサイクル全体を通して、国内や同盟国におけるサプライチェーン強靱化を目指している。中でも、バッテリーは EV の要であり、価格全体の約 3 分の 1 を占めるといわれる。バッテリーの材料や部品の大部分は現在、中国をはじめとする海外からの調達に依存している。そのためバイデン政権は、バッテリーやその材料となる重要鉱物の国内サプライチェーンの構築・強化を重視している。EV 用バッテリーに使用される重要鉱物には、主にリチウム、コバルト、ニッケル、マグネシウム、黒鉛などがある。このうちリチウム、コバルト、ニッケルは米国内で一部生産されているが、マグネシウムと黒鉛に関しては、現時点で国内での生産は認められない¹。

EV 用バッテリーの主流であるリチウムイオン電池のサプライチェーンは、工程ごとに①重要鉱物を含む金属資源の開発や採掘を行う上流、②金属資源の加工、部品やバッテリーセルの製造を担う中流、③バッテリーパックの組み立て、利用、リサイクルを行う下流で構成されている（図表 1 参照）。

図表 1：リチウムイオン電池のサプライチェーン



出所：DOE²に基づき作成

¹ <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-graphite.pdf>、
<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-magnesium-metal.pdf>

² https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-06/FCAB%20National%20Blueprint%20Lithium%20Batteries%200621_0.pdf

このうち、下流に含まれるリサイクルは、使用済み EV 用バッテリーを回収し、材料と部品を分離し、それぞれを再利用する工程だ。特に、重要鉱物の埋蔵量は限られており、海外に大きく依存していることから、使用済み EV 用バッテリーから材料を抽出、製錬し、再利用することが注目されている。重要鉱物の再利用は、EV の製造コストの低減につながるほか、安定供給のリスクを軽減することもできる。そのため米国では今後、バッテリー材料や部品の確保に向け、リサイクル事業が拡大するとみられている。

1.1 EV 用バッテリーのリサイクルに関するバリューチェーンの概要

米国では、EV 用バッテリーのリサイクルに関する連邦法は整備されていない。連邦政府の取り組みは、技術研究タスクフォースや国立研究所による研究開発への支援が主体となっている（詳細は後述参照）。使用済みの自動車の多くは、有償での引き取りとなるため、市場原理に基づきリサイクルされる場合が多い。他方、自動車に搭載された使用済み EV 用バッテリーは、主に①損傷している場合、そのまま廃棄、②定置型蓄電システムなどに転用する場合、修理・調整・新品に準じる形に改修（リファービッシュ）、③リサイクル、が行われる。リサイクルのバリューチェーンは主に、(a)回収・輸送、(b)解体、(c)前処理（破碎・選別）、(d)分離・製錬といった一連の過程で構成される。

以前は、こうしたバリューチェーンを構成する各段階に特化した企業が、それぞれ事業を展開していた。しかし近年は、大手企業による買収などにより、回収から製錬、またはバッテリー材料の製造まで一貫して手掛ける企業が増えており、垂直統合が進んでいる。業界の代表的な企業に、カナダのライ・サイクル (Li-Cycle)、米国のレッドウッド・マテリアルズ (Redwood Materials) およびサーバ・ソリューションズ (Cirba Solutions) が挙げられ、3 大企業と位置付けられている。また、米国のアメリカン・バッテリー・テクノロジー・カンパニー (American Battery Technology Company、以下、ABTC) は現在、一貫したバリューチェーンの事業整備を進めている。このほか、ベルギーを本拠とする非鉄金属の精錬・加工・リサイクルを行うユミコア (Umicore)、スイスの資源会社グレンコア (Glencore) なども米国市場へ参入。現時点での活動範囲は限定的だが、今後事業を拡大する見通しだ。例えば、ユミコアは現在、ノースカロライナ州ローリーに米国本社を構え、国内に 4 カ所の使用済みバッテリーの収集所を有している。回収したバッテリーの処理や再生は実施していないが³、カナダのオンタリオ州でリサイクル工場を建設する計画であり、北米市場での事業拡大が見込まれる⁴。他方、グレンコアは、カナダや米国に鉄スクラップの回収やリサイクルを実施する施設を数カ所所有しているが、EV 用バッテリーは現時点での対象ではない⁵。しかし同社は 2022 年 5 月にライ・サイクルと提携を結び、収集した使用済み EV 用バッテリーを同社に供給するほか、同社施設から発生したブラックマスと呼ばれる粉やバッテリーグレードの金属資源の提供を受けている（詳細は後述参照）。また、ネバダ州リノに本社を置く ABTC は、同州フェーンリーにリチウムイオン電池のリサイクル向けパイロット工場を建設して

³ https://naatbatt.org/wp-content/uploads/2019/03/R1_MUP_Umicore.pdf

⁴ <https://www.electrive.com/2022/07/14/umicore-invests-1-2-in-battery-materials-plant-in-ontario/>

⁵ <https://www.glencore.com/what-we-do/recycling>

おり、竣工後は使用済みのバッテリーから金属資源を分離・抽出、正極材に再生する一貫したりサイクルプロセスの商業化を進めている。各区分の主な概要やプレイヤーは、図表2の通り。

図表2：EV用バッテリーのリサイクルに関する主なバリューチェーンの区分と概要

区分	主な概要	主なプレイヤー
(a) 回収・輸送	使用済み自動車を回収、解体施設まで輸送。ユーザーからの解体業者への持ち込みが多く、ディーラーでの回収は少ないとされる。	バッテリー・ソリューションズ (Battery Solutions)、コール・トゥー・リサイクル (Call2Recycle)、グレンコア、ユミコアなど
(b) 解体	収集・輸送された使用済み自動車を解体業者の施設などで解体。使用済みバッテリーを取り出すほか、再利用可能なバッテリーはその後、再利用される。	自動車リサイクル協会 (Automotive Recycler Association) 認定の解体業者
(c) 前処理 (破碎・選別)	解体されたバッテリーを破碎、プラスチック、銅、鉄、アルミニウム、ブラックマス (黒い粉状の粉末) などに選別。	ライ・サイクル、レッドウッド・マテリアルズ、サーバ・ソリューションズ
(d) 分離・製錬	製錬所でブラックマスからリチウム、コバルト、ニッケル、マンガンなどの金属資源 (原料) に分離、精製。その後、リチウムイオン電池の正極材として使用。	ライ・サイクル、レッドウッド・マテリアルズ、サーバ・ソリューションズ

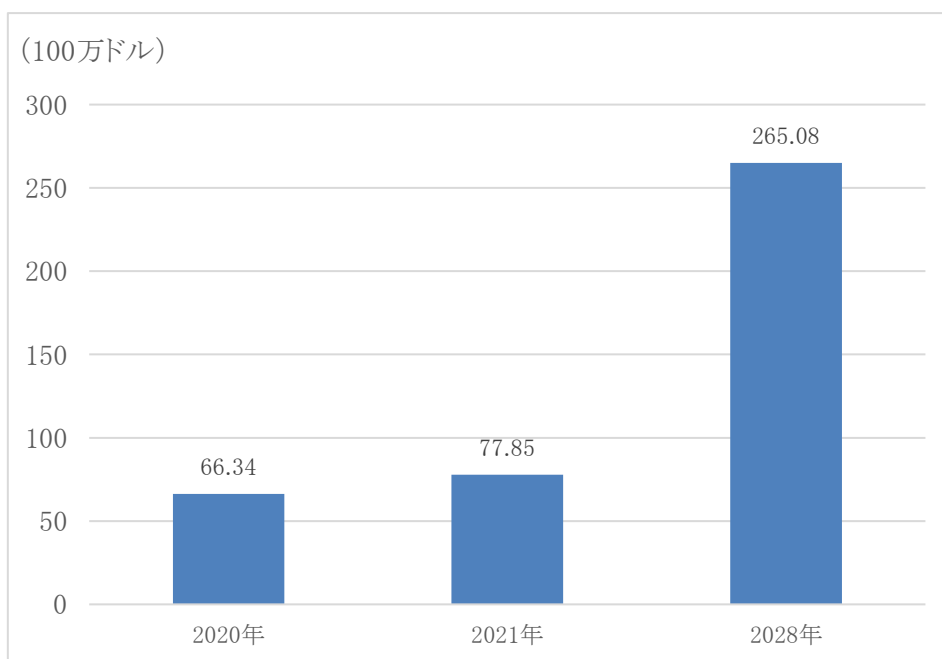
出所：各種情報に基づき作成

1.2 米国におけるEV用バッテリーのリサイクル市場の規模と見通し

米国では今後、EV用バッテリーのリサイクル市場が、成長すると見込まれている。インドの市場調査会社フォーチュン・ビジネス・インサイツによると、米国とカナダにおけるEV用バッテリーのリサイクル市場は、合わせて2020年に6,634万ドル、2021年には7,785万ドルに達した (図表3参照)。同市場は2028年に2億6,508万ドルに到達すると予測されており、2021年から2028年までの年平均成長率 (CAGR) は19.1%になる見込みだ⁶。

⁶ <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/02/14/2384207/0/en/North-America-Lithium-ion-Battery-Recycling-Market-to-Hit-USD-265-08-Million-by-2028-Stringent-Rules-Passed-by-Government-to-Augment-Market-Growth-Fortune-Business-Insights.html>

図表 3：米国とカナダの EV 用バッテリーリサイクルの市場規模（単位：100 万ドル）



出所：フォーチュン・ビジネス・インサイツに基づき作成

このように、EV 用バッテリーのリサイクル市場が成長する背景について、DOE 傘下の NREL は以下の要因を挙げている⁷。

- EV の普及促進策：バイデン政権は、2030 年までに全ての新車販売台数の半数を BEV、PHEV、FCV を合わせたクリーンビークルとする目標を掲げた⁸。2021 年 11 月に成立した IIJA などの下で、全米での EV 用充電システムの整備を進めている。また 2022 年 8 月に成立した IRA ではクリーンビークルを購入した消費者に対して最大 7,500 ドルの税控除が付与される。ブルームバーグによると、米国における BEV と PHEV の乗用自動車（商用車は除く）の合計新車販売台数は 2011 年から 2020 年までの累積で約 140 万台であるものの、このような政府の一連の施策により 2030 年までに 1,600 万台、さらに 2035 年までには 4,600 万台へと到達すると予想されている。EV 用バッテリーの寿命を 10 年と想定した場合、2040 年までに使用済み EV 用バッテリー台数は年間 200 万台に達すると見られている。
- 蓄電システムの需要拡大：バイデン政権は 2035 年までに、発電部門における二酸化炭素の排出量実質ゼロへの移行を目標に掲げている。このため、分散型クリーンエネルギー源として、リチウムイオン電池を主体とした蓄電システム（定置型蓄電システム）の需要の拡大が見込まれている。2013～2020 年に米国内で導入された蓄電システムの累積発電量は、約 1,600MW に達している。さらに今後の増加が予想され、2025 年単年だけで 7.3GW の蓄電システムの導入が見込まれている。蓄電システムに搭載されたバッテリーは、EV 用バッテリーと同様のリサイクルプロセスを経る。

⁷ <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>

⁸ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/08/05/fact-sheet-president-biden-announces-steps-to-drive-american-leadership-forward-on-clean-cars-and-trucks/>

- 経済的メリット：EV 用バッテリーは使用済みになっても、充電容量の 80%程度は残っていることが多い。このため、蓄電システムなどほかの用途に転用が可能のため、EV 所有者およびその後のユーザーにも経済的なメリットをもたらす。さらに、使用済み EV 用バッテリーから重要鉱物を回収し、新たなバッテリーの製造に使用することで、製造コストの低減にもつながるなど、メーカーもメリットを享受できる。
- 重要鉱物の再利用：米国では、クリーンビークルの販売目標が掲げられている一方、リチウムイオン電池の製造に必要な重要鉱物のサプライチェーンの確保に懸念が見られる。トランプ前大統領が 2017 年 12 月に発令した大統領令第 13817 号の中で、コバルトとリチウムは重要鉱物と認められている。これら鉱物に関する海外依存の軽減、新たなサプライチェーンの開拓、リサイクルの推進が重要課題に挙げられている⁹。今後 EV の普及に伴い、使用済みバッテリーのリサイクルは、さらに重要性を増すと考えられる。
- 環境への影響：米国では、製品の循環経済に対する注目が集まっている。現時点で使用済み EV 用バッテリーの回収や再利用を義務付ける規制は存在しないが、ニッケルなど一部の重要鉱物で、既に使用済み製品からの回収や再利用が進みつつある。2019 年時点で、米国全体で使用されるニッケルの 47%は、鉄スクラップや使用済みニッケル製品から回収した、再生ニッケルにより賄われている。

1.3 主要な自動車メーカーによる EV 用バッテリーの国内生産網強化の動き

米国で、使用済み EV 用バッテリーのリサイクル市場を牽引する動きの 1 つに、主要な自動車メーカーによる EV 用バッテリーの国内調達強化がある。EV 用バッテリーは、自動車メーカーの内製に頼らず、電池メーカーが製造したバッテリーを自動車メーカーへ供給するというサプライチェーンが確立されつつある。EV の普及に伴い、EV 用バッテリーの主流であるリチウムイオン電池の生産量が年々増加している。現時点で、中国、日本、韓国といったアジアを拠点とする電池メーカーがシェアの多くを占めている。特に、中国勢の台頭が顕著であり、世界のリチウムイオン電池の生産量の約 7 割を占める¹⁰。主要自動車メーカーは、今後の EV 用バッテリーの需要拡大、国内サプライチェーンの強化、中国依存の軽減を目的に、米国内における EV 用バッテリーの生産拠点への投資やサプライチェーンの多様化に取り組んでいる。また、これらの自動車メーカーは、使用済み EV 用バッテリーのリサイクルに対する取り組みも進めつつある。図表 4 では、ゼネラルモーターズ (GM)、フォード、フォルクスワーゲン (VW)、テスラによる最近の動向をまとめている。

⁹ <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/112306-battery-recycling-brochure-June-2019%202-web150.pdf>

¹⁰ https://www.wsj.com/articles/u-s-mounts-a-charge-to-take-on-china-the-king-of-electric-vehicle-batteries-11611658235?mod=hp_lead_pos11

図表 4：大手自動車メーカーによる EV 用バッテリー関連の投資の動き

自動車メーカー	概要
GM	<ul style="list-style-type: none"> 2020年11月、2025年までに世界で新たにEV 30車種を販売すると発表。2021年1月には、2035年までに全ての新車をEVに転換する計画を発表済み。 2019年、韓国のLG エナジーソリューション（LG Energy Solution）と合弁会社アルティウム・セルズ（Ultium Cells）を設立した。EV用バッテリーセルの組み立て工場の建設（オハイオ州ウォーレン）に23億ドルを投資すると発表。同工場は、2022年秋から本格稼働¹¹。 アルティウム・セルズは2021年5月、ライ・サイクルと提携。顧客から使用済みEV用バッテリーの回収、リサイクルに取り組む。バッテリーセル工場から排出される鉄スクラップを最大で100%回収、リチウム、コバルト、ニッケルなどの重要鉱物を95%再利用すると発表¹²。 2022年9月、GMの傘下のベンチャーキャピタルであるGM ベンチャーズ（GM Ventures）が、先端バッテリーリサイクル技術を開発するリチオン・リサイクリング（Lithion Recycling）に投資すると発表。同社が回収した材料を新たなバッテリー製造に活用できるか実証するほか、リサイクルを前提としたバッテリーの研究開発を共同で実施¹³。 2022年11月、サーバ・ソリューションズとの既存契約の延長を発表。EV用バッテリーとセルのスクラップのリサイクルを2024年まで実施する。GMはEV車種を拡大しており、さらに材料を回収、処理するとしている¹⁴。
フォード	<ul style="list-style-type: none"> 2021年5月、2030年までに世界での新車販売台数の40%をEVとする方針を発表。2022年3月に、同目標を50%に引き上げた¹⁵。 2021年5月には韓国のSKI イノベーション（SKI Innovation）と合弁会社ブルーオーバルSK（BlueOval SK）を設立。同年9月には、ケンタッキー州とテネシー州で大規模バッテリー生産工場を建設すると発表¹⁶。 2021年9月、レッドウッド・マテリアルズと共同で、EV用バッテリーのリサイクルのサプライチェーン構築に取り組むと発表¹⁷。同社は2022年2月、カリフォルニア州を皮切りに、EV用バッテリーのリサイクルプログラムの上昇を発表。フォードも参画（詳細は後述参照）¹⁸。 2022年10月、IT製品販売会社のエバーレッジ（Everledge）と共同で、使用済みEV用バッテリーが適切にリサイクルされているかを追跡

¹¹ <https://insideevs.com/news/607745/ultium-cells-begins-battery-production-ohio/>

¹² <https://news.gm.com/newsroom.detail.html/Pages/news/us/en/2021/may/0511-ultium.html>

¹³ <https://news.gm.com/newsroom.detail.html/Pages/news/us/en/2022/sep/0922-lithion.html>

¹⁴ <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/11/02/2546739/0/en/Cirba-Solutions-and-General-Motors-Extend-Collaboration-on-EV-Battery-Recycling-to-Help-Support-Sustainable-Battery-Supply-Chain.html>

¹⁵ https://techcrunch.com/2022/03/02/ford-increases-electrification-spend-to-50b-in-attempt-to-catch-up-to-tesla/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAH68VunFH_7KV-tH34gKLB1N0fFhgHcrs9M9xSmDRpj1SH2s-S1RV4fe9NGCo2dDoChk8Bu9aOWdwGfQb09ozpKAoSgGW76g-sJv6cfh4cCN9HPs6vo93pliP9gw5Xx7N4KxPgZDZd7RdS4XmFQATwTYv0T9jwagiTJKAaEiM_U

¹⁶ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/27/ford-to-lead-americas-shift-to-electric-vehicles.html>

¹⁷ <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2021/09/22/ford-redwood-materials-battery-recycling.html>

¹⁸ <https://www.redwoodmaterials.com/news/electric-vehicle-and-hybrid-battery-recycling-california/>

	<p>する世界初パイロットプログラムを立ち上げた¹⁹。</p>
VW	<ul style="list-style-type: none"> • フォルクスワーゲン・グループ・オブ・アメリカは2022年3月、2030年までに米国内で販売する新車の55%をEVにするとの目標を発表。北米市場におけるEVの生産拡大や研究開発に71億ドルを投資するほか、2030年までに25車種以上のEVを販売する²⁰。 • 2022年10月、テネシー州チャタヌーガの生産工場にて、BEVの小型SUV「ID.4」の製造を開始。今後も、製造車種を増やす方針²¹。IRAの税控除措置を踏まえ、国内2カ所目となるEV用バッテリーを含むEV生産拠点の建設を検討中²²。 • 2022年7月、レッドウッド・マテリアルズと共同で、VWが米国内で製造するEV用バッテリーをリサイクルするサプライチェーンの構築を発表（詳細は後述参照）²³。
テスラ	<ul style="list-style-type: none"> • パナソニック（Panasonic）、LG化学（LG Chem）、CATLなどのバッテリーメーカーからの購入に加え、一部を内製する動きを見せている。 • 米国では、カリフォルニア州フレモント工場をはじめ、ギガファクトリー3カ所（ネバダ州、ニューヨーク州、テキサス州）を操業中。フレモント工場では、EVのほかバッテリーパックを製造、ネバダ州ギガファクトリーでは、フレモント工場へ供給するバッテリーセルやパックを製造²⁴。 • 2023年1月、テキサス州ギガファクトリーを拡張し、さらなるEVの製造に加え、バッテリーセルやカソードの製造、バッテリーセルの試験施設の建設に7億7,000万ドルを投資すると発表²⁵。ネバダ州ギガファクトリーの拡張計画も発表し、バッテリーセル工場の新設と大型EVトラック「テスラ・セミ」の初の量産拠点として、36億ドルを投資する。 • EV用バッテリーのリサイクル化では、回収した使用済みバッテリーから最大92%に上る金属資源を再利用していると明らかにした（2021年環境影響報告書）²⁶。同社の元共同創業者が設立したレッドウッド・マテリアルズを通じて、社内でクローズドループ・リサイクルプロセスを構築²⁷。

出所：各種情報に基づき作成

1.4 業界団体による取り組み

米国の自動車業界全体でも、EV用バッテリーのリサイクルへの機運が高まりつつある。米国最大自動車業界団体であるAAIは2022年5月、米国内での使用済みEV用バッテリーのリサイクル、再利用、転用を推進する業界の指針「EV用リチウムイオンバッテリーのリサイクルに関

¹⁹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/everledger-launches-battery-passport-pilot-with-ford-301658067.html>

²⁰ <https://insideevs.com/news/574853/vw-group-bevs-make-up-55percent-us-sales-2030/#:~:text=As%20part%20of%20this%20strategy,sales%20fully%20electric%20by%202030.>

²¹ <https://www.forbes.com/sites/jimhenry/2022/10/21/vw-starts-building-electric-vehicles-in-us-plant-just-in-time-production/?sh=2827f75a37ee>

²² <https://electrek.co/2022/04/29/volkswagen-reportedly-considering-a-second-us-production-site-plus-new-battery-cell-plant/>

²³ <https://media.vw.com/en-us/releases/1695>

²⁴ <https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/what-you-need-to-know-about-teslas-gigafactories/1810>

²⁵ <https://www.theverge.com/2023/1/11/23549895/tesla-texas-factory-expansion-gigafactory>

²⁶ <https://cleantechnica.com/2022/05/08/teslas-recycled-batteries-almost-92-reuse-of-raw-materials/>

²⁷ <https://eridirect.com/blog/2022/05/how-are-tesla-batteries-recycled/>

する政策的枠組み（Lithium-Ion EV Battery Recycling Policy Framework）」を発表した²⁸。EV用バッテリーの一部の材料は、米国で実質採掘できず、中国などの海外に依存しているため、バッテリーのリサイクルを推進する循環経済を確立することで、海外依存を軽減し国内のエネルギーセキュリティの向上を目指そうとしている。今回発表された指針は、産業界の自主的な取り組みの向上を図るもの。リサイクルにおける責任の所在や実施方法などについて以下のような指針を示しており、EV用バッテリーのリサイクルが本格化する基盤として期待されている。

- EVが現在使用中で、バッテリーが保証期間内である場合：EVメーカーが適切に再生、再利用またはリサイクルされていることを確認する責務を負う。
- EVが現在使用中で、バッテリーが保証期間外である場合：EV用バッテリーのサプライヤーがバッテリーパック、モジュール、セルが寿命に到達する前に交換を行う。
- 使用済みEVの場合：使用済みEVを所有する解体業者が、バッテリーが適切に再生、再利用またはリサイクルされていることを確認する責務を負う。解体業者が使用済みEV用バッテリーの解体を行わない場合は、EVメーカーが該当車両を引き取り、適切に解体し、リチウムイオン電池が適切に再生、再利用またはリサイクルされることを確認する。

²⁸ <https://www.autosinnovate.org/posts/press-release/ev-battery-recycling-policy-framework#:~:text=WASHINGTON%2C%20DC%20%E2%80%93%20The%20Alliance%20for,vehicle%20batteries%20and%20ensure%20batteries>

2 連邦政府および州政府による推進策

バイデン政権は、国内のEV普及目標の達成に向けて、バッテリーの安定供給を目的に、生産体制を確立するための施策を相次いで打ち出している。その一環として、バッテリーのリサイクルを推進する政策も掲げられた。IIJA や IRA に基づき、DOE などの連邦政府機関に多額の予算が拠出されているほか、一部の州政府も関連施策を進めている。本章では、連邦政府や一部の州政府による取り組みを紹介する。

2.1 連邦政府による推進策

2.1.1 インフラ投資雇用法（Infrastructure Investment and Jobs Act : IIJA）

2021年11月に成立したIIJAでは、バッテリーの製造、リサイクルの拡大、バッテリー生産に不可欠な材料の持続可能な調達と加工を促進するため、2022～2026年の5年間で、国内のEV用バッテリーのサプライチェーン強化に70億ドル以上の予算が盛り込まれた。特に、リチウムイオン電池のリサイクル支援を目的に設計されたDOEプログラム²⁹が対象となっている。同プログラムの概要は以下の通り（バッテリー材料加工とバッテリー製造は第4章を参照）。

<EV用バッテリーのリサイクルと二次利用プログラム>

DOEの「EV用バッテリーのリサイクルと二次利用プログラム」は、バッテリーのリサイクルや二次利用の研究開発および実証を対象にしており、IIJAに基づき2億ドルの予算が割り当てられた。DOEはこれを踏まえ、2022年11月16日、使用済みEV用バッテリーの二次利用を実証する関連プロジェクト10件に、総額7,390万ドルの助成金を付与すると発表した³⁰。対象プロジェクトの概要は、図表5の通り。

²⁹ <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/05/BUILDING-A-BETTER-AMERICA-V2.pdf>

³⁰ <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/bipartisan-infrastructure-law-battery-recycling-and-second-life-applications>

図表 5 : EV 用バッテリーのリサイクル・二次利用プロジェクト一覧 (単位 : ドル)

企業名	概要	連邦助成金	民間出資額
ABTC	リチウムイオン電池の製品回収の拡大、水利用の改善、コスト削減、環境影響に向けた先端分離加工技術の開発、試験	\$9,999,378	\$10,000,622
サーバ・ソリューションズ	新たな電池の再製造に向けた、使用済み EV の新型統合的加工プロセスの開発	\$7,424,242	\$10,878,427
エレメント・エナジー (Element Energy)	費用対効果を最大化する、交換可能かつ再利用可能なメガワット級二次利用 EV 用バッテリーエネルギー貯蔵用ユニットの開発	\$7,888,476	\$7,885,438
ミシガン工科大学	リチウムイオン電池のリサイクルと鉱山廃棄物の再生の相乗効果を生かし、米国の EV 用バッテリーサプライチェーンに精製されたバッテリー材料を供給	\$8,137,783	\$2,034,483
プリンストン・ニューエナジー (Princeton NuEnergy)	リチウムイオン電池の部品を完全にリサイクルしアップサイクルする持続可能なソリューションを開発	\$10,000,000	\$2,000,000
リパーパス・エナジー (RePurpose Energy)	使用済みバッテリーを二次利用する上で重要なバッテリーの状態を把握する追跡技術を実証	\$6,000,000	\$6,000,000
スマートビル (Smartville)	カリフォルニア州中央部での製造と雇用拡大を目的に、低コストでスケーラブルな二次利用バッテリーの実証を実施	\$5,999,525	\$6,019,955
テネシー工科大学	地方交通のための移動型 EV 充電アプリケーションを対象とした二次利用バッテリー (SMART) の開発	\$4,531,642	\$4,532,323
カリフォルニア大学サンディエゴ校	陰極直接リサイクルとアップサイクルに向けた、精製と再生の統合的材料工学 (PRIME) プロセスの開発と規模拡大	\$10,000,000	\$2,500,000
アラバマ大学	EV 充電ステーションと電力網の支援や、強靱性の向上を目的とした、異なる劣化レベルの使用済みバッテリーの二次利用開発	\$4,000,000	\$4,000,000

出所 : DOE³¹

<バッテリーと重要鉱物のリサイクル>

DOE は IIJA に基づき、使用済みバッテリーの再利用・リサイクルを促進するため、革新的かつ実践的なアプローチを生み出す研究開発・実証プロジェクトに、総額 1 億 2,500 万ドルの助成金を拠出する。同プログラムは、①リサイクル事業、②バッテリー部品や材料の解体・再利用・リサイクルも考慮したバッテリーの設計と生産を促す新たな手法、③リサイクルされたバッテリーからの重要鉱物の回収を対象にしている。助成金の募集は 2023 年 1 月時点で開始されていないが、2022 年 8 月に出された情報提供依頼書 (RFI) によると、対象分野は以下の通り³²。

³¹ <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-11/Recycling%20and%20Second-Use%20Selections%20Factsheets%2011-16.pdf>

³² <https://www.energy.gov/mesc/battery-and-critical-mineral-recycling>

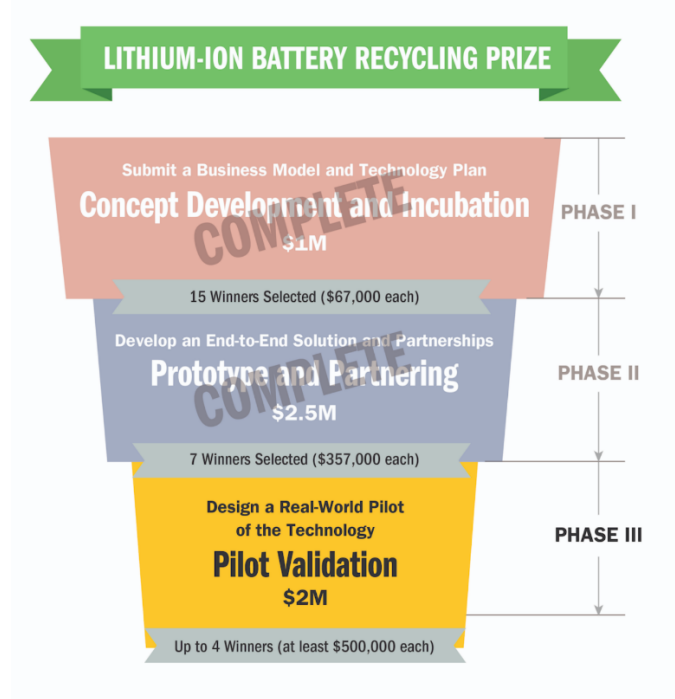
- バッテリーリサイクルの研究開発と実証に、6,000 万ドルを支給
- 州や地域主導のプログラムに、5,000 万ドルを支給
- リサイクル業者に、1,500 万ドルを支給

<リチウムイオン電池リサイクルプライズ (Lithium-Ion Battery Recycling Prize) >

使用済みバッテリーの材料の 90%回収・再利用のための、国内バッテリーサプライチェーンの強化を目的とした助成金 (プライズ)。総額 1,000 万ドルの予算が割り当てられている。本プログラムは、DOE の自動車技術室 (Vehicle Technologies Office : VTO) と先進製造室 (Advanced Manufacturing Office : AMO) が、NREL とのパートナーシップを通じて、EV 用や定置用蓄電池などから使用済みリチウムイオン電池を収集・選別し、バッテリー材料を抽出する革新的なソリューションを開発促進するため、2019 年に立ち上げられた。

本プログラムは、①コンセプトの開発とインキューベーション、②プロトタイプ作成とパートナーとの提携、③パイロットの実証の 3 段階で構成されている。コンペは勝ち抜き戦で、第 1 段階のコンペで最大 15 社が選定され、6 万 7,000 ドルが各社へ支給される (総額 100 万ドル)。これらの企業は第 2 段階へ進むことができ、第 2 段階のコンペで最大 10 社が選出、各社最低 25 万ドルが支給されるほか (総額 250 万ドル)、国立研究所などの施設を無料で使用できる 10 万ドル相当のバウチャーが提供される。また、これらの企業は第 3 段階のコンペに出場でき、最終選考に残った最大 4 社に最低 50 万ドルずつ提供される (総額 200 万ドル) (図表 6 参照)。

図表 6 : リチウムイオン電池リサイクルプライズの 3 段階構成



出所 : American Made Challenges³³

³³ <https://americanmadechallenges.org/challenges/batteryrecycling/index.html>

リチウムイオン電池リサイクルプライズは 2023 年 4 月現在、第 3 段階のパイロット実証まで進んでいる。DOE は 2022 年 6 月 21 日、第 2 段階まで進んだ 14 社の中から第 3 段階に進んだ 4 社を発表した（図表 7 参照）。これらの企業は、第 2 段階で設計・開発した技術のパイロット実証を行う。

図表 7：リチウムイオン電池サイクルプライズの第 3 段階まで進んだ企業と技術の概要

受賞企業	概要
ライ・インダストリーズ (Li Industries)	化学組成、サイズ、重量、パッケージタイプなど複数の特性でバッテリーを選別し、仕分け機能を持つマシンラーニングを用いた、自動化スマートバッテリーソーティングシステムの開発に取り組んでいる。同システムを用いれば、使用済みのリチウムイオン電池を選別し、リサイクルを行い、低価格かつ効率的にバッテリー材料を再生、生産することが可能となる。
リニューワンス (Renewance)	同社が開発するデジタルプラットフォーム「リニューワンス・コネクト」は、ライフサイクル全体を通してリチウムイオン電池の追跡や管理を行う。同プラットフォームは、解体、回収、倉庫保管、選定、輸送、リサイクルサービスといった既存のインフラへのアクセスを改善し、リバースロジスティクスとリサイクル活動を最適化する。
スマートビル	リバースロジスティクスにおけるサプライチェーンでコストを削減し、価値を創出するために、分散型異種統合バッテリー (HUB) 施設を展開。リチウムイオン電池は、スマートビル HUB の施設内で完全に調整、認定されてから、二次利用のために再利用されるか、リサイクル業者に出荷される。
タイタン・アドバンスト・エナジー・ソリューションズ	バッテリーデータを生成・集約し、アクセスするためのバッテリー用インテリジェンスプラットフォーム「Battago」を開発。バッテリー所有者やインテグレーター、リサイクル会社間でバッテリーデータの共有を促進する。同プラットフォームはハードとソフトの機能を統合し、画像認識や診断、高速超音波試験を通じて、バッテリーの識別を行う。

出所：American Made Challenges³⁴

2.1.2 インフレ削減法 (IRA)

2022 年 8 月に成立した IRA では、気候変動対策に焦点を当て、さまざまなクリーンエネルギー技術の開発や導入に対し、税額控除措置を通じて財政支援を行う。図表 8 の通り、使用済み EV や定置型蓄電システムのリサイクルを推進するための税額控除も含まれている。

図表 8：IRA に含まれた税額控除プログラム一覧

合衆国法典 タイトル 26 内セク ション番号	名称	提供される税額控除の内容
セクション 48C	先進エネルギープロジェクトに対する投資税額控除	<ul style="list-style-type: none"> 特定の製造施設を更新、拡張、建設する先端エネルギープロジェクトに対する投資税額控除。総額 100 億ドルまで利用可。 EV などのクリーン車の製造やリサイクル、同自動車の

³⁴ <https://www.herox.com/BatteryRecyclingPrize>

合衆国法典 タイトル 26 内セク ション番号	名称	提供される税額控除の内容
		技術要素や材料を支援するプロジェクトに対する投資税額控除。控除割合は最大 30%。
セクション 45X	先進製造に対する税額控除	バッテリー生産者に対する税額控除。米国内でリサイクルを行った特定部品を対象に先端製造税額控除プログラムを新設。重要鉱物やバッテリーも対象に含まれる。
セクション 30D	クリーンビークルに対する税額控除	クリーンビークル購入者に対する最大 7,500 ドルの税額控除。対象として、バッテリーに含まれる重要鉱物が一定割合、北米でリサイクルされていることが要件となっている。使用済みバッテリーから金属資源を回収し、国内で重要鉱物の生産・加工を行う動きを推進する効果がある。

出所：各種情報に基づき作成

2.1.3 その他連邦政府の取り組み

連邦政府による EV 用バッテリーのリサイクル推進に向けた取り組みとして、DOE が支援する研究開発や商用化に向けた取り組みがある。

<リセル・センター (ReCell Center) >

DOE による研究開発の取り組みは、同省傘下の ANL が 2019 年 2 月に設置した研究拠点のリセル・センターを中心に行われている。産官学の研究者が国家レベルで協働することで、バッテリーのリサイクルに関連する技術を促進させている。同センターでは、リチウムイオン電池を主軸に、コスト効率の良いリサイクル技術の研究開発に対する支援を通じて、重要鉱物の海外依存度を軽減し、サプライチェーンの安定化を図っている。使用済み EV 用リチウムイオン電池から材料をリサイクルし、電池の製造に活用するクローズドループ・リサイクル (図表 9 参照) の研究を行う。DOE は再生された材料を使用することで、リチウムイオン電池の生産コストを 10～30%低減できるとしている。

リセル・センターの参画組織には、ANL のほか、DOE 傘下の NREL、オークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Lab : ORNL) といった政府系研究機関、ミシガン工科大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校、マサチューセッツ州のウースター工科大学といった学術機関、24M テクノロジーズや GM、USABC や NEMA といった業界団体のほか、バッテリー製造業者、自動車メーカー、リサイクル会社、材料供給事業者などが含まれている³⁵。リセル・センターの運営資金は、DOE 傘下のエネルギー効率・再生可能エネルギー局 (Office of Energy Efficiency and Renewable Energy : EERE) 内の VTO から拠出されている。DOE は 2019 年の設立当初、リセル・センターの運営資金として、今後 3 年間で 1,500 万ドルの補助金を支出すると発表した³⁶。

³⁵ <https://recellcenter.org/collaborations/>

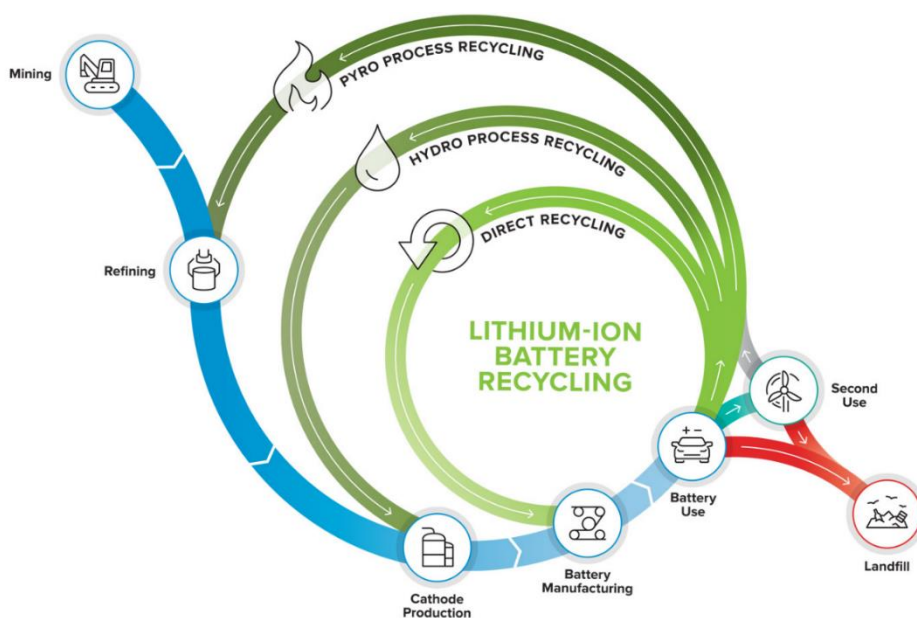
³⁶ <https://recellcenter.org/collaborations/>

リセル・センターの研究分野は、以下の通り。

- 高額なコストを要する再処理工程を踏まない「直接リサイクル法」の開発
- 費用対効果の高いリサイクル方法の確立
- リサイクルを容易に行うための電池設計の最適化
- リセル・センターでの研究検証に役立つモデリングと分析ツールの実用化

使用済み EV 用バッテリーのリサイクル方法には、主に①使用済みバッテリーを高温で熱し、金属資源を回収する「高温冶金法」、②使用済みバッテリーの破砕後に発生するブラックマスから金属資源を回収する「乾式精製法」、③破砕後に分離した正極材を金属に戻さず、構造を修復して再生する「直接リサイクル法」の3種類がある。現時点での①と②が主流だが、リセル・センターでは、コスト削減や環境負荷軽減の観点から、③の研究開発に焦点を当てている。

図表 9：クローズドループ・リサイクルの概念図



出所：リセル・センター³⁷

リセル・センターが発行した研究報告書では、2022年第4四半期時点で、使用済み EV 用バッテリーやセルの製造時に発生したスクラップから回収した正極材の性能評価などが行われたことが示されている。2023年も引き続き研究開発を継続する方針で、「直接リサイクル法」の商用化を目指すほか、研究所レベルのテストから、パイロットテストに向けて段階を進める計画だ³⁸。

<その他の取り組み>

リセル・センターに加盟する ORNL や、フォードや GM といった大手自動車メーカーなどが加盟する USABC でも、使用済み EV 用バッテリーのリサイクルの推進に向けた研究開発が行わ

³⁷ <https://recellcenter.org/research/>

³⁸ <https://anl.app.box.com/s/2cxu4w2jct79uq18f9caf01q4zveh9dg>

れている。ORNLは、使用済みリチウムイオン電池から材料を回収するプロセスで、環境に配慮した新たな溶媒の開発に成功した。同プロセスに採用した湿式化学処理に、リン酸トリエチルを使用し、リチウムイオン電池内の金属箔集電体を陰極に付着させるバインダー材を分解する。これにより、コバルト由来の陰極、黒鉛、銅箔などの金属資源を効果的に回収し、新品のバッテリー製造に活用することができる³⁹。また同研究所は2021年8月、有害廃棄物を削減しつつ、使用済みEV用バッテリーのリサイクルや再利用において、自動分解システムの開発に成功した⁴⁰。

一方、USABCは、フォード、GM、ステランティスが加盟する研究開発部門USCAR⁴¹の傘下であり、DOEとの提携を通じて、次世代EVの商業化を促進する電気科学的エネルギー貯蔵技術の開発を目的に1992年に設立された。特に、EVの性能向上とコスト削減に資するバッテリーセルやシステム技術の開発、先端バッテリーシステムを支援する材料や製造・リサイクル技術の開発、最先端バッテリーやウルトラキャパシタのベンチマークの実施などに焦点を当てている⁴²。バッテリーリサイクル技術も、研究開発の1つに掲げられており、USABCは2021年、同技術の研究開発に向けて大学や民間企業と提携した（図表10参照）。

図表 10 : USABC のバッテリーリサイクル技術研究開発プロジェクトの提携先

提携先	概要	提携に伴う契約金額
ウースター工科大学	コストを削減し、商業的に調達した材料と同等レベルとなる、リサイクルしたバッテリー陰極材料の性能を改善	\$2,000,000
ABTC	大型リチウムイオン電池のリサイクルに向けた自立型モデル開発の戦略的協業	\$2,000,000

出所：USCAR⁴³

2.2 州政府による支援策

一部の州では、使用済みバッテリーのリサイクルに関連する政策の整備が進みつつある。カリフォルニア州、ノースカロライナ州、テキサス州は、EV用や定置型電池システムを対象とした使用済みバッテリーのリサイクル関連政策の整備に向けた提言内容の取りまとめなどを実施している⁴⁴。これらの州政府による取り組みは、以下の通り。

2.2.1 カリフォルニア州

カリフォルニア州では2018年、使用済みEV用バッテリーのリサイクルと再利用に関する調査を実施し、それを推進する政策の策定を提唱した州法 Assembly Bill 2832 が成立した。同州法

³⁹ <https://www.ornl.gov/news/recycling-batteries-unbound>

⁴⁰ <https://www.ornl.gov/news/automated-disassembly-line-aims-make-battery-recycling-safer-faster>

⁴¹ <https://uscar.org/about/https://uscar.org/usabc/>

⁴² <https://uscar.org/usabc/>

⁴³ <https://uscar.org/news/usabc-awards-2-million-battery-recycling-technology-development-contract-to-wpi/>

<https://uscar.org/tag/recycling/>

⁴⁴ <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>

は、同州環境保護庁（CalEPA）に対して、諮問委員会の開催を指示するとともに、関連政策の策定にあたり以下の要因の考慮を義務付けた。

- EV用バッテリー（リチウムイオン電池）のライフサイクル
- EV用バッテリーの定置型蓄電システムへの転用に関する機会と障壁
- 使用済みEV用バッテリーの最適管理
- 環境面での異なる管理実践の全体効果
- リサイクルしたEV用バッテリーの州内外での再利用

CalEPAはこれに基づき、2019年11月、EV用バッテリー管理に関する調査と課題解決に向けて、EV用リチウムイオン電池リサイクル諮問委員会（Lithium-Ion Car Battery Recycling Advisory Group）を招集した。同委員会には、カリフォルニア州政府をはじめ、自動車、バッテリー、廃棄物業界の民間企業、NPO団体など19団体・組織が加盟している⁴⁵。同諮問委員会は定期的に開催され、バッテリーのリサイクルに関わる大学や研究機関との意見交換を踏まえて、2022年5月に最終提案を発表した⁴⁶。最終提案は、州内の使用済みEV用バッテリーを可能な限り100%リサイクルまたは再利用するという、Assembly Bill 2832に掲げられた目標を達成するための提言となっている。提言内容は以下の通り、主に使用済みEV用バッテリーの管理責任の所在とその役割に焦点を当てている。

- EV用バッテリーが現在使用中の場合：バッテリーが使用済みになる前に、バッテリーパック、モジュールまたはセルを交換する場合、バッテリーサプライヤーがそれを管理・適切に追跡する責務を負う。
- EV用バッテリーが使用済みとなった場合：使用済みバッテリーの所有権は解体業者にあり、リサイクル・再利用、改修（リファービッシュ）が適切に実施されているかを管理する責務を負う。改修される場合は、それを行う業者へ所有権が譲渡される。
- 自動車メーカーが認定する使用済みのバッテリーを解体業者が所有していない場合：EVメーカーが、使用済みEV用バッテリーが適切に解体、リサイクル、再利用、改修（リファービッシュ）されることを確認する責務を負う。

また上記以外に、使用済みEV用バッテリーの所有者がリサイクルや再利用を希望しない場合、自動車メーカーが自社施設でこれを行う責務を負うことが提唱された。また、自動車メーカーはこれを促すため、消費者と修理業者向けにリサイクルや再利用を推奨する資料を配布し、オンラインでも情報を発信する。さらに、自動車メーカーやバッテリーのサプライヤーが容易に該当するバッテリーを識別・選別できるように、リサイクルや再利用を念頭に置いた製品のラベル表示を義務付け、バッテリーの回収・解体の際に安全性を高めるためのデジタル追跡技術の導入、な

⁴⁵ <https://calepa.ca.gov/lithium-ion-car-battery-recycling-advisory-group/>

⁴⁶ https://calepa.ca.gov/wp-content/uploads/sites/6/2022/05/2022_AB-2832_Lithium-Ion-Car-Battery-Recycling-Advisory-Goup-Final-Report.pdf

ども提言された⁴⁷。

カリフォルニア州政府は、これらの最終提言を踏まえ、使用済み EV 用バッテリーのリサイクルや再利用に関する法規制の整備を進めるとしており、今後の動きが注目される。

2.2.2 その他の州政府

ノースカロライナ州やテキサス州などでも、使用済み EV 用や蓄電システム用バッテリーのリサイクル・回収を促す関連政策を整備するための調査などが実施されている。また、ハワイ州でも関連州法が提出された⁴⁸。ノースカロライナ州では、2019 年成立の州法により、定置型蓄電システムのバッテリーのリサイクル、再利用、処分に関する課題に向けた調査とそれに基づく関連規制の整備が州政府の関連部局に指示され、以下の要因を検討することが提唱された。

- 蓄電システムに搭載されたバッテリーは、連邦法および州法の下、固形廃棄物として定義付けることが適切か否かを検討
- 蓄電システムに搭載されたバッテリーは、有害固形廃棄物と定義されるか否かを検討
- 使用済みバッテリーのリサイクル、再利用、改修（リファービッシュ）、処分などのそれぞれの措置における経済面・環境面でのメリットとコストを比較
- 蓄電システムに搭載されたバッテリーの経済的なライフサイクルを分析
- 州内に存在する使用済みバッテリーの数と将来の増加量、および埋立地への処分が許可された場合の、州の埋立地への影響を分析
- 蓄電システム用バッテリーの管理や処分、財政支援に関する他国・連邦・他州の規定要件を調査
- リサイクル、再利用、改修（リファービッシュ）に向けた蓄電システムの回収、輸送に必要なとなるインフラを調査など

州法に基づき、検討委員会が召集され、最終調査報告書⁴⁹が 2021 年 1 月に州議会に提出された。その結果、蓄電システムに搭載された一部のバッテリーは有害性があり、有害廃棄物を対象とした既存関連法規制が適用対象になると結論付けられた。また州政府は、蓄電システム用バッテリーのみを対象とした、新たな規制の整備は不要であるとした。

また、テキサス州では、州環境品質委員会（Texas Commission on Environmental Quality : TCEQ）が 2022 年 5 月、リチウムイオン電池を主体とする EV 用バッテリーの再利用やリサイクルを奨励するための規制の整備などに向けて提言を行うため、EV 用バッテリー再利用・リサ

⁴⁷ https://calepa.ca.gov/wp-content/uploads/sites/6/2022/05/2022_AB-2832_Lithium-Ion-Car-Battery-Recycling-Advisory-Group-Final-Report.pdf https://calepa.ca.gov/wp-content/uploads/sites/6/2022/05/2022_AB-2832_Lithium-Ion-Car-Battery-Recycling-Advisory-Group-Final-Report.pdf?emrc=f8d26b

⁴⁸ <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>

⁴⁹

<https://files.nc.gov/ncdeq/Environmental%20Management%20Commission/EMC%20Meetings/2021/jan2021/attachments/AttachA-21-05-H329---FINAL-REPORT-Ellen--1-.pdf>

イクル諮問委員会（EV Battery Reuse & Recycling Advisory Group）の設置を発表した。今後、諮問委員会での検討が行われる見込み⁵⁰。

ハワイ州では 2021 年 6 月、バッテリーを含めた使用済みクリーンエネルギー部品の処分やリサイクルを推進するためにベストプラクティスの作成のための調査を州政府に義務付けた法案 House Bill 1333 が制定された⁵¹。

⁵⁰ <https://www.ecos.org/news-and-updates/texas-to-form-advisory-group-on-ev-battery-reuse-recycling/>

⁵¹ <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/77035.pdf>
<https://fastdemocracy.com/bill-search/hi/2021/bills/HIB00040130/>

3 EV用バッテリーのリサイクル、再利用、転用の現状と見通し

3.1 サプライチェーンを形成する主要リサイクル企業の取り組み

米国のEV用バッテリーのリサイクル市場は、現時点で未熟であり、商業化しているリサイクル企業は限定的だ。DOEは現在、バッテリーのリサイクル技術などを研究開発するスタートアップなどを支援しており、商業化に向けて関連企業を育成している段階にある。

EV用バッテリーのリサイクルは、主に使用済みEV用バッテリーの収集、破碎・選別といったリサイクル工程と、選別後に重要鉱物を抽出する製錬工程に区分されている。現在商業展開をしているリサイクル企業の多くは、リサイクル工程に焦点を当てているが、製錬工程の整備も積極的に進めている。米国では、EVの普及や連邦政府の推進策が追い風となり、EV用バッテリーのリサイクル企業によるM&Aを通じた事業拡大や、外資系企業の米国進出、スタートアップによる事業展開などが見受けられる（スタートアップの取り組みは第4章を参照）。本章では、第1章で整理したEV用バッテリーのサプライチェーンに基づき、大手関連企業の取り組みを整理する。特に、大手リサイクル会社のライ・サイクル、レッドウッド・マテリアルズ、サーバ・ソリューションズ、ABTCを中心に、各社の事業内容や最近の動向をまとめた（図表11参照）。

図表 11：米国における主要リサイクル会社の概要

企業名（本社）	概要
ライ・サイクル （本社：カナダ・トロント）	リサイクル工程と製錬工程の双方で特許技術を保有。現在リサイクル工程の自社施設を稼働しており、2022年10月には4拠点目となるアラバマ州のリサイクル工場の商業運用を開始。現在、ニューヨーク州ロチェスターで製錬工程を行う北米ハブ施設を建設中。2023年以降の操業開始を見込む。
レッドウッド・マテリアルズ（本社：ネバダ州カーソンシティ）	JB・ストローベル氏（テスラの元最高技術責任者）が2017年に創業。使用済みEV用バッテリーの収集、解体、前処理、精製、再製造など一貫したリサイクルプロセスの確立を進める。複数の大手自動車メーカーや電池メーカーと提携しており、回収したバッテリーからコバルトやリチウムなどの材料を提供。現在、ネバダ州に製錬・材料製造施設を建設中で、稼働開始後は、回収した金属資源を用いてバッテリー材料（正極材、負極材）を製造する。
サーバ・ソリューションズ（本社：オハイオ州ランカスター）	一連の買収を経て、2022年6月に設立された。リチウムイオン電池を中心にさまざまな種類のバッテリーを扱う。使用済みバッテリーの収集、解体、選別のほか、金属資源を抽出する。パートナー企業とともに、重要鉱物からバッテリー材料の製造も行う。
ATBC（本社：ネバダ州リノ）	設立当初は重要鉱物の採掘企業だったが、現在では、使用済みバッテリーを収集、電池の正極材を回収し、重要鉱物を抽出するというクローズドループ・リサイクルプロセスの構築を目指している。

出所：各種情報に基づき作成

3.2 ライ・サイクル

<企業・事業概要>

2016年にカナダ・トロントで設立されたライ・サイクルは、リチウムイオン電池の収集や選別、金属資源の抽出を手掛ける大手リサイクル会社⁵²。同社は 2022 年末時点で、北米に 4 カ所のリサイクル施設を有するほか、5 カ所目の新設を計画するなど、最も成長が目覚ましい北米リサイクル会社の 1 つ。2021 年 8 月には、ニューヨーク証券取引所への上場を果たした。

ライ・サイクルは現在、カナダ・オンタリオ州キングストン、ニューヨーク州ロチェスター、アリゾナ州ギルバート、アラバマ州タスカルーサの 4 カ所で、使用済み EV 用バッテリーの破碎や選別を行う「スポーク」施設を稼働している。また 2022 年初頭には、オハイオ州ウォーレンで新たなスポーク施設の建設に着工したほか、現在ニューヨーク州ロチェスターで既存リサイクル施設を拡張し、製錬施設を建設中だ。これら建設段階にある施設は、2023 年内の稼働を目指している。また同社は、欧州初となるノルウェーとドイツへの進出も発表しており、今後 5 年間で全世界に 20 カ所のスポーク施設の建設を計画している⁵³。

<技術>

ライ・サイクルは、収集したリチウムイオン電池を破碎する技術（スポーク工程）とその後、金属資源を抽出する湿式製錬技術（ハブ工程）を組み合わせた特許技術「スポーク&ハブ」工程を有している。同社はスポーク工程施設で、収集したリチウムイオン電池をプラスチックと金属に分離し、それぞれパートナー企業へ販売している。また、スポーク工程では、正極材と負極材に含まれるブラックマスが生成されるため、これを回収し販売している。しかし、同社がロチェスターに建設中の製錬施設（北米ハブ施設）の竣工、操業後は、自社が有する複数のスポーク施設から発生するブラックマスを製錬するとしている。クローズドループ工程を通じて、ブラックマスからアルミニウム、硫化銅、黒鉛、鉄、マンガン、硫酸ナトリウムなどを回収するほか、湿式製錬技術を用いて、リチウム、コバルト、ニッケルといった、新しいリチウムイオン電池の材料になる金属資源を抽出する。ライ・サイクルの技術は低コストで、GHG の排出量が 30%削減され、資源回収率は最大 95%に達するという特徴がある⁵⁴。

<最近の取り組み>

スポーク施設 4 カ所のバッテリー処理能力は、年間 3 万トンで、EV 約 6 万台のバッテリーに匹敵する。また、前述の新たなスポーク施設 1 カ所と北米ハブ施設の稼働により、スポーク施設全体の処理能力は年間最大 4 万 5,000 トン、北米ハブ施設は最大 9 万トンとなる。さらに 2025 年までに、スポーク施設と北米ハブ施設の年間処理能力を世界全体でそれぞれ 10 万トン以上、

⁵² <https://www.bincanada.ca/li-cycle-success-story>

⁵³ <https://www.recyclingtoday.com/article/li-cycle-recycling-gm-lg-ultium-ev-battery-scrap/>

⁵⁴ <https://li-cycle.com/technology/>

<https://li-cycle.com/services/#closed-loop-battery-resource-recovery>

<https://investors.li-cycle.com/overview/default.aspx>

<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1261>

22 万トン以上に引き上げることを目指している⁵⁵。ライ・サイクルが所有するリサイクル施設の種類と所在地、処理能力は図表 12 の通りである。

図表 12：ライ・サイクルが所有・稼働する北米施設の概要

施設名	所在地	処理能力 (トン)	現状
スポーク 1	オンタリオ州キングストン	5,000	2019 年稼働
スポーク 2	ニューヨーク州ロチェスター	5,000	2020 年稼働
スポーク 3	アリゾナ州ギルバート	18,000	2022 年 5 月稼働
スポーク 4	アラバマ州タスカルーサ	10,000	2022 年 10 月稼働
スポーク 5	オハイオ州ウォーレン	15,000	建設中、2023 年に稼働開始予定
北米ハブ施設	ニューヨーク州ロチェスター	35,000	建設中、2023 年に稼働開始予定

出所：ライ・サイクルに基づき作成

また、2022 年 5 月に稼働を開始した「スポーク 3」では、回収した EV 用バッテリーパックを自動で解体・処理する独自技術が初めて採用されている。現場作業員が解体作業に従事しないことから、工場の安全性や労働効率の向上が期待されている⁵⁶。さらに、ライ・サイクルは最近、EV 用バッテリーメーカーや材料メーカーとの提携を通じて、事業を拡大しつつある。特に 2023 年に稼働を開始する北米ハブ施設では、バッテリー製造工場から発生するスクラップなどを受け入れ、リサイクル事業を展開する。

- 2021 年 5 月、GM と LG の合弁会社アルティウム・セルズとの契約締結を発表。ライ・サイクルはこれに基づき、ニューヨーク州ウォーレンにあるアルティウム・セルズのバッテリーメガファクトリーの敷地内に 5 カ所目となるスポーク施設を建設中。スポーク施設の併設は、物流コストの削減に寄与する。ライ・サイクルは、アルティウム・セルズのバッテリー製造工場から発生するスクラップを最大 100%リサイクルする。GM によると、回収した材料のうち 95%は、新たなバッテリーの製造やほかの用途に再利用される⁵⁷。
- 2022 年 4 月、韓国の LG 化学および LG エナジーソリューションとの間で、契約を締結。ライ・サイクルの北米ハブ施設で今後、バッテリースクラップからニッケルを抽出する。今後 10 年間で合計 2 万トンのニッケルが、LG 化学と LG エナジーソリューションに供給される予定。両社は、ライ・サイクルを北米市場におけるリチウムイオン電池のリサイクルパートナーと位置付けており、同社に約 5,000 万ドルを出資。ライ・サイクル、LG 化学、LG エナジーソリューションの 3 社で、世界市場の拡大を目指す⁵⁸。

⁵⁵ <https://investors.li-cycle.com/news/news-details/2022/Li-Cycle-Holdings-Corp.-Reports-Financial-Results-for-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2021-Significant-Progress-in-Advancing-Spoke-and-Hub-Network-Strategy/default.aspx>

⁵⁶ <https://www.recyclingtoday.com/article/li-cycle-opens-alabama-spoke-lithium-ion-battery-recycling/>

⁵⁷ <https://www.recyclingtoday.com/news/li-cycle-recycling-gm-lg-ultium-ev-battery-scrap/>
<https://www.recyclingtoday.com/article/li-cycle-to-operate-largest-battery-recycling-facility/>

⁵⁸ <https://investors.li-cycle.com/news/news-details/2022/Li-Cycle-Completes-Commercial-Agreements-with-LG-Chem-and-LG-Energy-Solution-who-have-Recognized-Li-Cycle-as-their-Preferred-Lithium-ion-Battery-Recycling-Partner-in-North-America/default.aspx>

- 2022年5月、スイスの資源会社グレンコアと戦略的パートナーシップを提携。グレンコアは、ライ・サイクルをリチウムイオン電池の世界的なリサイクルパートナーと位置づけており、あらゆる種類のバッテリースクラップや使用済みEV用リチウムイオン電池を同社に供給し、同社施設から発生したブラックマスやバッテリーグレードの金属資源の提供を受ける。また、グレンコアは同社に2億ドルを出資するほか、リサイクル部門長のクナール・シンハ氏がライ・サイクルの取締役役に就任している⁵⁹。

このようなライ・サイクルの取り組みは、異業種のプレイヤーからも注目されている。同社は2021年10月、石油・エネルギー大手コーク・インダストリーズ（Koch Industries）の子会社コーク・インベストメンツ・グループ（Koch Investments Group）から1億ドルの投資を受けた。同グループは、循環経済などの新産業に約30億ドルを投資する方針を示しており、この出資はその投資戦略の一環としている⁶⁰。

3.3 レッドウッド・マテリアルズ

<企業・事業内容>

ネバダ州カーソンシティを拠点とするレッドウッド・マテリアルズは、テスラの元共同創業者兼CTOのJB・ストローベル氏により設立された。同社は、使用済みのEV用リチウムイオン電池の回収、解体、前処理、精製、再製造といった一貫したリサイクルプロセスの確立を進めている。資源回収率は、95%以上。さらに、同社は回収した資源を用いて、新たなバッテリーの製造に必要なバッテリー材料（正極材、負極材）を製造・販売することも計画している。テスラ、フォード、トヨタ、VWといった大手自動車メーカーとすでに提携済みで、使用済みのEV用バッテリーの収集を進めている。また、パナソニックやエンビジョンAESCとも提携している⁶¹。

2022年6月時点で、年間6GWh以上の使用済みバッテリーの回収・処理を行っている。同社は現在、既存施設の容量拡大を進めており、2025年までに年間でEV100万台に相当する100GWh〔2030年までに500GWh（同500万台に相当）〕に拡張する予定だ⁶²。また同社は現在、ネバダ州リノで北ネバダバッテリー・マテリアル・キャンパス1を建設中で、2022年末に予定されている操業開始後は、回収した銅から負極銅箔を製造する予定となっている。一方、回収したリチウムやコバルト、ニッケルなどを用いて、正極活性物質を生産する計画もあり、2024年後半に生産開始、2025年の本格生産を見込んでいる⁶³。また、サウスカロライナ州チャールストンで、サウスカロライナ・バッテリー・マテリアルズ・キャンパスの建設を計画しており、2023年第1四半期に着工、同年末の操業開始を目指している。同社の現施設と将来計画は図表13の通り。

⁵⁹ <https://investors.li-cycle.com/news/news-details/2022/Li-Cycle-and-Glencore-Announce-Global-Strategic-Partnership-Glencore-to-Make-a-200-Million-Investment-in-Li-Cycle/default.aspx>

⁶⁰ <https://www.wastedive.com/news/battery-recycling-firm-li-cycle-nets-100m-investment/608154/>

⁶¹ <https://www.redwoodmaterials.com/about/>

<https://www.redwoodmaterials.com/news/redwood-high-nickel-cathode-panasonic/>

⁶² <https://www.recyclingtoday.com/news/toyota-redwood-materials-collaborate-recycled-batteries/>

⁶³ <https://www.mining.com/web/redwood-aims-to-start-anode-copper-foil-production-by-end-of-2022/>

図表 13：レッドウッド・マテリアルズの現施設と将来計画

施設	所在地	建物面積	容量	現状
リサイクルセンター・研究施設など	ネバダ州カーソンシティ	15 万平方フィート	不明	稼働中
北ネバダバッテリー・マテリアル・キャンパス 1	ネバダ州リノ（タホ・リノ・インダストリアル・センター）	敷地面積：175 エーカー	負極銅箔：年間 3 万 6,000 メートルトン。正極活性物質：同 10 万メートルトン	建設中（負極銅箔：2023 年末操業開始、正極活性物質：2024 年末操業開始予定）
サウスカロライナバッテリーマテリアルズキャンパス	サウスカロライナ州チャールストン	敷地面積：600 エーカー	正極材と負極材を生産。年間 100GWh	計画中（2023 年第 1 四半期に着工、同年末に操業開始予定）
ファーンリー倉庫・ロジ施設	ネバダ州ファーンリー	81 万 5,000 平方フィート	不明	計画中

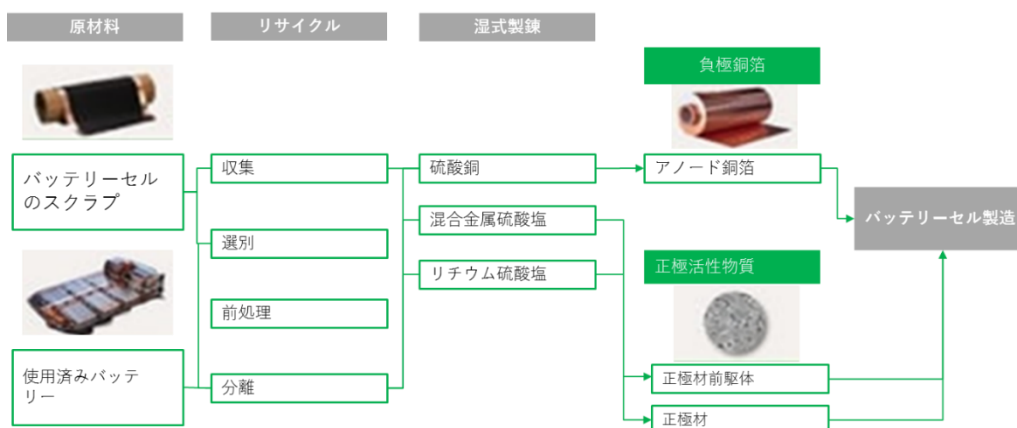
出所：各種情報に基づき作成⁶⁴

<技術>

レッドウッド・マテリアルズは、クローズドループ・リサイクルプロセスの確立を進めており、同プロセスはリサイクル工程と湿式製錬工程にて構成されている（図表 14 参照）。リサイクル工程では、使用済みの EV 用バッテリーやバッテリーセルのスクラップを収集し、バッテリーの放電や電解液・フッ素化合物などの有害化合物を除去する。その後、スクラップの選別、前処理（機械による破碎）、分離が行われ、硫酸銅、ニッケル、コバルトが含まれた混合金属硫酸塩やリチウム硫酸塩を生成する。その後の湿式製錬工程では、硫酸銅がアノード銅箔へ、混合金属硫酸塩とリチウム硫酸塩が正極活物質（CAM）に転換され、バッテリーセルの製造に必要なバッテリー材料（正極活性物質と負極銅箔）を生産する。

⁶⁴ <https://www.nnbw.com/news/2021/dec/28/reno-carson-next-lithium-capital-companies-looking/>
<https://goed.nv.gov/wp-content/uploads/2022/11/9A.-Redwood-Materials-Inc.-Board-Packet-1.pdf>
<https://www.reuters.com/article/autos-conference-redwood-idUSKCN2MW1WP>
<https://www.nnbw.com/news/2022/apr/29/redwood-materials-expands-footprint-region/>
<https://www.redwoodmaterials.com/news/announcing-redwood-south-carolina/>

図表 14：レッドウッド・マテリアルズのリサイクルプロセスの概観



出所：レッドウッド・マテリアルズに基づき作成

<最近の取り組み>

レッドウッド・マテリアルズは現在、既存のリサイクル施設で、リサイクル工程のみを実施している。しかし、北ネバダバッテリー・マテリアル・キャンパス 1 が操業を開始すれば、湿式製錬工程を用いたバッテリー材料（負極銅箔、正極活性物質）の生産も開始する。これを受け、電池メーカーとの販売契約も進みつつある。同社は 2021 年 6 月にパナソニックと提携し、パナソニックとテスラがネバダ州スパークスに稼働するギガファクトリーの隣接地に、100 エーカーの土地を購入し施設を拡張しようと計画している。また、両社は 2022 年 11 月、北ネバダバッテリー・マテリアル・キャンパス 1 で製造されるバッテリー材料をパナソニックに販売する契約を締結した。負極銅箔は、2024 年を目途にネバダ州スパークスのギガファクトリーへ、正極活性物質は 2025 年を目途にパナソニックがカンザス州デソトで建設中の新工場へ供給される予定だ。デソトの新工場では、リチウムとニッケルの約 30%、コバルトの 100%を同社から賄い、2025 年 3 月までにリチウムイオン電池の量産化を目指す⁶⁵。

さらに、レッドウッド・マテリアルズは、自動車メーカーとのパートナー提携を通じて、EV 用バッテリーのリサイクル事業も展開しつつある。同社は 2022 年 2 月、フォードおよびボルボ（Volvo）と共同で、カリフォルニア州に EV 用バッテリーのサイクルプログラムを立ち上げ、使用済み EV 用バッテリーなどの回収を開始したと発表した⁶⁶。同社は州内のディーラーや解体業者とのパートナーシップを通じて、使用済み EV 用バッテリーパックを収集し、北ネバダの施設に輸送した後、解体してバッテリー材料を製造する。今後は、ほかの自動車メーカーの参加も受け入れるほか、州内のリチウムイオン電池やニッケル水素電池も回収し、リサイクルの対象を拡大していく。また、2022 年 6 月にはトヨタ、同年 7 月にはアウディ（Audi）と提携するなど、使用済み EV 用バッテリーのリサイクル事業を推進している。

⁶⁵ <https://techcrunch.com/2022/11/15/redwood-materials-to-supply-panasonic-with-cathode-material-in-multi-billion-dollar-deal/>

⁶⁶ <https://www.redwoodmaterials.com/news/electric-vehicle-and-hybrid-battery-recycling-california/>

3.4 サーバ・ソリューションズ（旧：リトリブ・テクノロジーズ）

<企業・事業内容>

ノースカロライナ州シャーロットに拠点を構えるサーバ・ソリューションズは、一連の M&A を通じて、EV 用バッテリーの収集から、輸送、処理、金属資源の抽出、バッテリー材料の製造までを一貫して行うリサイクル企業。同社の前身は、製錬技術を活かして金属資源を生産するリトリブ・テクノロジーズ (Retriev Technologies)。サーバ・ソリューションズは、2021 年 10 月にインディアナ州のヘリテージ・バッテリー・リサイクリング (Heritage Battery Recycling)、2022 年 3 月にミシガン州のバッテリー・ソリューションズの買収を経て、2022 年 6 月に設立された。関連各社の概要は、以下の通り。

- リトリブ・テクノロジーズ：北米最大級のリサイクル企業で、回収したバッテリーから重要鉱物を抽出する。これまでに、5,000 万ポンド以上のリチウムイオン電池をリサイクルした実績を有する。
- ヘリテージ・バッテリー・リサイクリング：バッテリーの収集、輸送、処理、リサイクル事業を行う。
- バッテリー・ソリューションズ：使用済みバッテリーの収集、輸送、選別で実績を有する大手企業。年間数千万ポンドのバッテリーを回収し、選別する。

2022 年に発表された 4 年計画によると、サーバ・ソリューションズは今後 4 年間で、使用済みバッテリーからリサイクルした正極物質の製造の 600% 増を目指している。前身のリトリブ・テクノロジーズが、米国とカナダに所有していた 6 施設を稼働させており、既存施設の拡張や新設を通じて、生産能力の大幅拡大を図る予定。

<技術>

サーバ・ソリューションズは、リチウムイオン電池のほか、鉛蓄電池、ニッケル水素電池、ニッケルカドミウム電池などのリサイクル工程を手掛けている。リサイクル工程を通じて発生したブラックマスから、リチウム、ニッケル、カドミウムが抽出される。これらは、バッテリーの再製造に活用される。同社は、リチウムイオン電池のリサイクルを強みとしており、30 年以上の実績を有している⁶⁷。

同社は、ミシガン州ウィクソム、アリゾナ州メサ、カリフォルニア州ブレア、オハイオ州ボルチモア、カナダのブリティッシュコロンビア州トレイルの計 5 カ所で、リサイクル施設を所有・稼働させている⁶⁸。さらに、オハイオ州ランカスターに重要鉱物を抽出する施設を有している。重要鉱物の抽出ニーズの拡大を見込み、ランカスター施設を現在拡張中で、2024 年後半または 2025 年初頭の操業開始を目指している。また、アリゾナ州エロイに、バッテリー材料（正極材）

⁶⁷ <https://www.cirbasolutions.com/leading-battery-materials-company-expanding-operations-globally/>

⁶⁸ <https://www.recyclingtoday.com/news/retrieve-technologies-acquires-battery-solutions/>

の製造に使用される重要鉱物の生産施設を建設中で、2023年中ごろの操業開始を見込んでいる。操業開始後は、年間5万台分のEV用の重要鉱物の生産を目指す⁶⁹。また、ランカスターの施設は、2026年に操業開始後、年間20万台分の当該生産を予定している。同社は2022年10月、ランカスターの施設拡張を目的に、IIJAの予算に基づき、DOEから7,400万ドルの助成金を受領した⁷⁰。

<最近の動向>

サーバ・ソリューションズはこれまで、関連企業とのパートナーシップの締結などに取り組んできた。同社の前身であるリトリブ・テクノロジーズは2021年2月、使用済みリチウムイオン電池のリサイクル事業に関して、革新的なビジネスモデルを開発するために、丸紅と戦略的パートナーシップを締結した。両社は、使用済みリチウムイオン電池から金属資源を抽出する事業を共同で取り組み、EV用バッテリーを対象にクロズドループ・リサイクルを柱とした循環経済モデルを拡充する。これを踏まえて、リトリブ・テクノロジーズは2021年6月、回収した重要鉱物を使用して再生したバッテリー材料を日本に初めて出荷した⁷¹。

また2022年9月には、米国スタートアップ企業の6Kと合弁会社を設立した。マサチューセッツ工科大学が開発したマイクロ波プラズマプロセスを用いて、EV用バッテリー向けの正極材料を製造すると発表した。6Kが有する製造技術は、最新の製造プロセスと比較して、GHGの排出量が大幅に少なく、固形・液体廃棄物を排出しないほか、水使用量が90%削減されるといった環境メリットがある。また、水の使用量が少ないため、世界平均と比較して50%のコスト削減が可能となる。両社は既にも実証実験を行っており、回収した材料からニッケル、マンガン、コバルトの製造に成功している⁷²。2022年11月には、2021年にGMとの間で締結した、製造施設や研究所から廃棄されるEV用リチウムイオン電池およびバッテリーセルのスクラップのリサイクルを行う契約を、2024年まで延長した⁷³。GMはこの契約の延長により、サーバ・ソリューションズが有する収集、解体、処理の技術を活用し、リサイクルの推進を図るとしている⁷⁴。

3.5 ABTC

<企業・事業内容>

ネバダ州リノに本社を置くABTCは、リチウムイオン電池のリサイクル企業。使用済みEV用バッテリーから重要鉱物を抽出することで、国内でバッテリー材料を持続的に調達するための技術開発および商業化を進めている⁷⁵。

⁶⁹ <https://www.recyclingtoday.com/article/heritage-battery-recycling-to-construct-lithium-ion-battery-recycling-facility-in-arizona/>

⁷⁰ <https://www.cirbasolutions.com/cirba-solutions-receives-additional-7-million-from-the-doe/>

⁷¹ <https://www.recyclingtoday.com/news/retriev-technologies-marubeni-corporation/>

⁷² <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2022/09/08/2512897/0/en/Cirba-Solutions-and-6K-Announce-Plan-to-Form-a-Joint-Venture-to-Close-the-Battery-Cathode-Supply-Chain.html>

⁷³ <https://www.cirbasolutions.com/cirba-solutions-and-general-motors-extend-collaboration/>

⁷⁴ <https://www.cirbasolutions.com/cirba-solutions-and-general-motors-extend-collaboration/>

⁷⁵ <https://americanbatterytechnology.com/about-us/>

<技術>

同社は設立当初、ネバダ州でいくつかの採掘権を保有していたが、現在では使用済みバッテリーを収集し、電池の正極材を回収した上で、重要鉱物を抽出するというクローズドループ・リサイクルプロセスの構築を目指している。ネバダ州ファーンリーにリチウムイオン電池のリサイクルパイロットプラントを建設中で、同プラントで使用済みバッテリーから金属資源を分離・抽出、バッテリーグレードの正極材に再生することで、リチウムイオン電池の商業的なクローズドループ・リサイクルの実証を目指している。2023 年前半に第 1 段階の試運転、2024 年前半の第 2 段階の試運転を予定している⁷⁶。

<最近の取り組み>

同社は、DOE から複数の助成金を受領し、バッテリーリサイクルに関する技術開発や商業化に向けて取り組んでいる。同社は 2022 年 10 月、ネバダ州トノパに位置する非従来型のリチウム含有堆積物からバッテリー正極用水酸化リチウムを製造する新規プロセスの実証に向けて、IIJA に基づき、5,700 万ドルの助成金を獲得した。同プロジェクト費用は、総額 1 億 1,500 万ドル。共同研究機関はデュポン・ウォーター・ソリューションズ (DuPont Water Solutions)、ネバダ大学リノ校 (University of Nevada, Reno)、ANL⁷⁷。同社はこれとは別に、同年 11 月に、低コストかつ環境負荷の少ない米国産バッテリー材料を製造するプロジェクトに対して、DOE から 1,000 万ドルの助成金を獲得した。ABTC はこの助成金を用いて、既存のリチウムイオン電池リサイクルパイロットプラントを活用し、3 つの先端分離・処理技術を対象とした検証、試験、実装を行う。同プロジェクトの共同研究機関は、カナダのノボニクス (NOVONIX)、ネバダ大学リノ校、ユタ大学、ノースカロライナ州立大学、NREL、ANL、アイダホ国立研究所⁷⁸。一方、材料の検証については、日系企業のダイネン・マテリアル⁷⁹およびカナダのノボニクス・グループ⁸⁰に依頼する。ABTC とパートナー機関は、さらに 1,000 万ドルの予算を共同負担する。プロジェクトの総投資額は、2,000 万ドルになる見込み⁸¹。

⁷⁶ <https://americanbatterytechnology.com/projects/recycling-plant/>
<https://americanbatterytechnology.com/abtc-onboards-in-house-team-focused-on-translating-our-innovative-design-concepts-into-commercial-scale-systems/>

⁷⁷ <https://www.prnewswire.com/news-releases/american-battery-technology-company-selected-for-us-doe-grant-for-115m-first-of-kind-commercial-scale-lithium-manufacturing-facility-301655912.html>

⁷⁸ <https://americanbatterytechnology.com/abtc-awarded-additional-10m-in-doe-funding-for-ev-battery-recycling/>

⁷⁹ <https://www.dainenmaterial.com/en>

⁸⁰ <https://www.novonixgroup.com/>

⁸¹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/american-battery-technology-company-selected-for-10m-additional-us-doe-grant-to-commercialize-nextgen-battery-recycling-technologies-for-vulnerable-domestic-battery-markets-301681778.html>

4 米国における EV 用バッテリーの材料に関する近年の取り組み

米国は現在、バッテリー材料として用いられる重要鉱物を輸入に依存している。また、EV 用バッテリーのリサイクルを義務付けた法律が存在しないほか、リサイクルにかかるコストが高額なことなどから、EV 用バッテリーのリサイクル・サプライチェーンは未だ整備されていない。EV や蓄電システムの世界的な普及拡大に伴い、今後、サプライチェーンリスクの高まりが予想される。使用済みバッテリーのリサイクルを通じて、材料の回収や再利用を含めたバッテリーサプライチェーンの構築が急がれる。バイデン政権下では、重要鉱物の国内サプライチェーンの強化に向けて、DOE が国内採掘や加工、リサイクル施設の拡充などに対して助成金の拠出を発表するなど、支援が進みつつある。本章では、EV 用バッテリーの材料に関する課題をはじめ、これらの政府施策などについてまとめる。

4.1 米国における EV 用バッテリーに関する調達課題

米国では、EV 用バッテリーの生産量が限られており、リサイクルに関するサプライチェーンも確立されていないため、回収対象となる使用済み EV 用バッテリーの数も少ない。リサイクル業者は、規模の経済を生かすほど十分な分量の電池を入手できず、リサイクルコストが高額となり、収益化が困難な状態だ。また、EV に使用される電池はさまざま、大きさ、電極、構造などが異なる。EV 市場の拡大に伴い、電池の種類が増えることで、使用済みバッテリーの回収はさらに困難になると予想される。さらに、リサイクルされた電池の品質や性能を保証する規格が少なく、用途に合わせた製品の仕様や電池管理システムに関する規格もほとんどないのが現状だ⁸²。リサイクルを容易にするためには、EV 用バッテリーの仕様の標準化や規格の整備が求められるとみられる。

EV 用バッテリーの主流であるリチウムイオン電池には、リチウム、コバルト、マグネシウム、ニッケル、黒鉛という 5 種類の重要鉱物が、材料として使用されている。正極材の材料として利用されるリチウム、コバルト、ニッケルは、米国内で一部採掘されるが、その量は限定的だ。また、マグネシウムと黒鉛は米国内で採掘されておらず、中国やコンゴ民主共和国など海外からの輸入に依存している。したがって、米国では、バッテリーのサプライチェーンは確立されておらず、材料を安定的に確保するためには、早期のサプライチェーンの構築が求められる。

4.2 材料の主な生産地と輸出入状況

USGS の統計によると、米国におけるリチウムの埋蔵量は 75 万メートルトンに達しているが、採掘事業はアルベマール (Albemarle) がネバダ州シルバーピークで実施しているのみ (データ

⁸² <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>

は未公開)。またコバルトの埋蔵量は 6 万 9,000 メートルトンだが、年間採掘量は 700 メートルトンと限定的だ。ニッケルの採掘量は 1 万 8,000 メートルトンで輸出も行われているが、国内生産量の 6 倍以上を輸入に依存している。一方、マンガンや黒鉛については、2021 年時点で国内生産されておらず、埋蔵も確認されていないため（黒鉛は不明）、ほぼ全てを海外に依存している。これら重要鉱物の埋蔵量、採掘量、輸入量、輸出量、海外依存度は、図表 15 の通り。

図表 15 : EV 用バッテリーに利用される重要鉱物

(単位：メートルトン、2021 年時点)

	リチウム	コバルト	マンガン	ニッケル	黒鉛
純輸入依存率 (NIR) ⁸³	25%以上	76%	100%	48%	100%
国内生産量	未公開	700	0	18,000	0
世界生産量	100,000	170,000	20,000,000	2,700,000	1,000,000
米国輸出量	1,900	4,800	1,000	35,000	8,400
米国輸入量	2,500	9,900	460,000	110,024	53,000
米国埋蔵量	750,000	69,000	0	340,000	不明
世界埋蔵量	22,000,000	7,600,000	1,500,000,000	95,000,000	320,000,000

出所：USGS⁸⁴

USGS によると、リチウムに関しては、前出のアルベマールのほか 2 社が加工処理に従事しているが、多くを輸入に依存している。2017 年以降、アルゼンチンが米国最大のリチウム輸入国で、全輸入量の 54% を占める。リチウム需要が今後大幅に拡大することを見込み、カナダのノラム・リチウム (Noram Lithium) やオーストラリアのイオニア (ioneer) が、ネバダ州で採掘を計画している。ノラム・リチウムは今後 40 年間にわたり、年間約 6,000 メートルトンのリチウムを採掘する予定。イオニアは、リチウム鉱山の採掘可能年数である 26 年間で計約 2 万メートルトン (いずれも炭酸リチウムに換算した場合の値) の採掘を見込んでいる。一方、2021 年時点で世界最大のリチウム生産国はオーストラリアであり、年間生産量は 5 万 5,000 メートルトンと推定される (炭酸リチウムに換算した場合の値)。

また、コバルトについては、2021 年時点でルンディン・マイニング (Lundin Mining) が操業するミシガン州イーグル鉱山 (Eagle Mine) での採掘が国内唯一の事業だ。これとは別に、US ストラタジック・メタルズ (US Strategic Metals、旧：Missouri Cobalt <ミズーリ・コバルト>) は、採掘した鉱石を分離した後の残余物として、コバルト濃縮物を生産する事業を展開している。同社は現在、バッテリーグレードのコバルトおよびニッケルの生産に向けて、湿式製錬施設を建設中だ⁸⁵。コバルトの国内生産量は 2021 年時点で 700 メートルトン、輸入量は 9,900 メートル

⁸³ USGS によると、輸入された材料の量 (備蓄の変化を含む) から輸出と政府および産業の在庫の変化を差し引いたものとして計算され、国内消費の割合として表されたもの。

<https://sgp.fas.org/crs/misc/R47227.pdf> p.8

⁸⁴ <https://sgp.fas.org/crs/misc/R47227.pdf>

⁸⁵ <https://www.usstrategicmetals.com/news/mocobalt-ussm>

トン、海外依存率は 76%に達する。米国最大のコバルト輸入国はノルウェーで、輸入量全体の 20%を占める。一方、世界最大のコバルト生産国はコンゴ民主共和国で、世界の生産量 17 万メートルトンのうち 12 万メートルトンと 7 割を占める。

ニッケルは、前出のミシガン州イーグル鉱山で採掘されている。ニッケルが含有されている鉄鉱石は、ハンボルト製錬所にトラック輸送された後、分離され、ニッケルが抽出されるほか、製錬のために輸出されている。イーグル鉱山におけるニッケルの埋蔵量は、推定 17 万 7,900 メートルトンとされる。USGS によると、2021 年時点のニッケル国内生産量は 1 万 8,000 メートルトン、輸入量は 14 万 5,024 メートルトンで、海外依存率は 48%。米国最大のニッケル輸入国はカナダ。また、世界における生産量は 270 万メートルトンに達し、世界最大の生産国はインドネシアで、生産量は 100 万メートルトンとなっている。

一方、マンガンと黒鉛は、2021 年時点で国内生産されておらず、全てを輸入に依存している。2017～2020 年における米国のマンガン輸入国は、ガボン、オーストラリア、ジョージアだ。マンガンの世界生産量は年間 2,000 万メートルトンで、南アフリカが最大の生産国となっている。同国の 2021 年の生産量は 740 万メートルトンだ。黒鉛については、カナダのグラファイト・ワン (Graphite One)⁸⁶がアラスカ州で、米国のウェストウォーター・リソース (Westwater Resources)⁸⁷がアラバマ州で採掘を計画している⁸⁸。

4.3 EV 用バッテリーの材料となる重要鉱物の国内生産支援策

このように米国では、EV 用バッテリーの材料となる重要鉱物の生産量は限定的だ。EV 普及に伴い、需要の拡大が見込まれるため、連邦政府は数々の施策を通じて、国内採掘と加工を積極的に推進している。中でも、DPA による国内生産の促進、米国バッテリー材料イニシアチブ (American Battery Materials Initiative) の立ち上げ、DOE によるバッテリー材料加工およびバッテリー製造助成金プログラム (Battery Processing and Battery Manufacturing Recycling Grants Programs)、を紹介する。

4.3.1 国防生産法 (DPA) による国内生産の促進

バイデン政権は 2022 年 3 月、大容量バッテリーの製造に必要な重要鉱物の国内生産を奨励するため、1950 年 DPA を発動した⁸⁹。クリーンエネルギーへの移行に伴い、重要鉱物の需要は拡大するため、鉱物の採掘や加工で中国への依存軽減を図るため、強固な国内サプライチェーンを構築する必要がある。また、大容量バッテリーは、エネルギー安全保障の観点から、国内の重要

⁸⁶ <https://www.graphiteoneinc.com/>

⁸⁷ <https://westwaterresources.net/>

⁸⁸ <https://sgp.fas.org/crs/misc/R47227.pdf>

⁸⁹ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2022/03/31/memorandum-on-presidential-determination-pursuant-to-section-303-of-the-defense-production-act-of-1950-as-amended/>
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2022/04/b199564a3a966e7b.html>

インフラの開発や維持に必要な不可欠と位置づけられている。DPA の発動により、対象企業は重要鉱物を採掘するプロジェクトの実施可能性調査などを実施する場合、資金援助を受けることが可能となる⁹⁰。

DPA は 1950 年に朝鮮戦争への対応策として成立した。製造業者が必要な材料を調達・増産できる体制を構築し、連邦政府に対して、緊急時に製造業を統轄できる権限を与えたもの。これまでに、50 回以上発動されており、最近では新型コロナ禍に伴い、人工呼吸器（2020 年 3 月）、幼児用粉ミルク（同年 5 月）、太陽光、変圧器、ヒートポンプ、断熱材、電解槽・燃料電池、プラチナ群金属といったクリーンエネルギー技術（同 10 月）などが対象となった。

4.3.2 米国バッテリー材料イニシアチブ（American Battery Materials Initiative）

バイデン政権は 2022 年 10 月、EV 用とエネルギー貯蔵用のバッテリーに使用される重要鉱物について、信頼性のある持続可能な供給を確保するため、「米国バッテリー材料イニシアチブ（American Battery Materials Initiative）」を発表した⁹¹。同イニシアチブでは、ホワイトハウス主導の下、DOE が DOI の支援を受けて、以下の活動を調整・実施する。

- バイデン大統領が掲げる重要鉱物戦略を実施する上で、ホワイトハウスと各省庁の関心事項を共有し、調整する。
- 資源に対する要求に対応し、エネルギー安全保障を強化するため、米国政府全体で実施中の取り組みを最大限活用する。
- 地域社会と産業界の関わりを調整する。
- 環境面で責任ある重要鉱物の採掘、加工、リサイクルを支援する研究、助成金、融資を対象に、ユーザー向けのガイダンスを作成し支援する。
- 信頼性が高く持続可能なグローバルサプライチェーンを構築するため、外交面での取り組みを後押しする。

今回のイニシアチブは、バイデン大統領が 2021 年 2 月に署名した大統領令 14017 条「Executive Order on America's Supply Chains」に基づき発表された。同大統領令は、経済の繁栄と国家安全保障を強化するため、重要な製品やサービスを対象に、信頼性が高く強固かつ多様なサプライチェーンの構築を目的として、米国の製造業を活性化させるためのものだ。半導体および医薬品と並び、重要鉱物と大容量バッテリーが特に重要な製品の 4 つに指定された。同大統領令に基づき 2021 年 6 月に出された 100 日後レビューでは、重要鉱物のサプライチェーン強化に関して⁹²、国内外で持続可能な生産と加工への投資を加速すると明記された。具体的な内容は以下の通り。

⁹⁰ <https://www.cnbc.com/2022/03/31/biden-to-invoke-defense-production-act-for-ev-battery-materials.html>

⁹¹ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/10/19/fact-sheet-biden-harris-administration-driving-u-s-battery-manufacturing-and-good-paying-jobs/>
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/06/08/fact-sheet-biden-harris-administration-announces-supply-chain-disruptions-task-force-to-address-short-term-supply-chain-discontinuities/>

- DOI および他省庁〔ホワイトハウス科学技術政策室（OSTP）、農務省（USDA）、環境保護庁（EPA）〕が共同で作業委員会を設立し、米国内で重要鉱物の採掘・加工が可能となる場所を特定するほか、環境面・労働面・持続可能な高い基準に沿った開発を行う。同作業委員会は、民間企業や州政府、先住民族、脆弱な地域コミュニティ、環境団体のリーダーなど利害関係者と協力し、持続可能で責任のある重要鉱物の採掘・加工を推進する。
- バイデン政権は、DOI、USDA、EPA など、鉱山許認可や環境法に精通した関係省庁から構成される省庁横断的なチームを設立する。同チームは、現行の法規制と今後議会で更新の必要がある法規制のギャップを把握する。特に採掘開始前、採掘時、採掘終了後といった各段階での基準の厳格化、先住民族との意見交換や相談の強化推進、全ての採掘段階での全政府間の調整促進、環境面や事前相談面で妥協することなく、許認可プロセスの期間、コスト、リスクの削減を行う。
- 国防総省（DOD）は、DPA を発動し、重要鉱物の持続可能な生産を支援するため、助成金、融資、ローン保証などの財政支援を行う。中小企業庁（SBA）の中小企業イノベーション研究プログラムなどが実施する研究開発コンセプトや新興技術を開発担当するベンダーなどと調整する。
- DOE の融資プログラム局（LPO）は、鉱物の抽出、加工、再利用、リサイクル技術など、重要鉱物の効率的な最終利用を促す技術を開発・導入支援するために、30 億ドル以上のローン保証を付与する。
- USDFC は、重要鉱物を含む重要製品の製造能力を拡大するプロジェクトに対して、海外投資を行う。これにより、サプライチェーンの強靱性を強化するほか、環境面・社会面での国際基準の遵守を支援する。

4.3.3 バッテリー材料加工と製造に対する助成⁹³

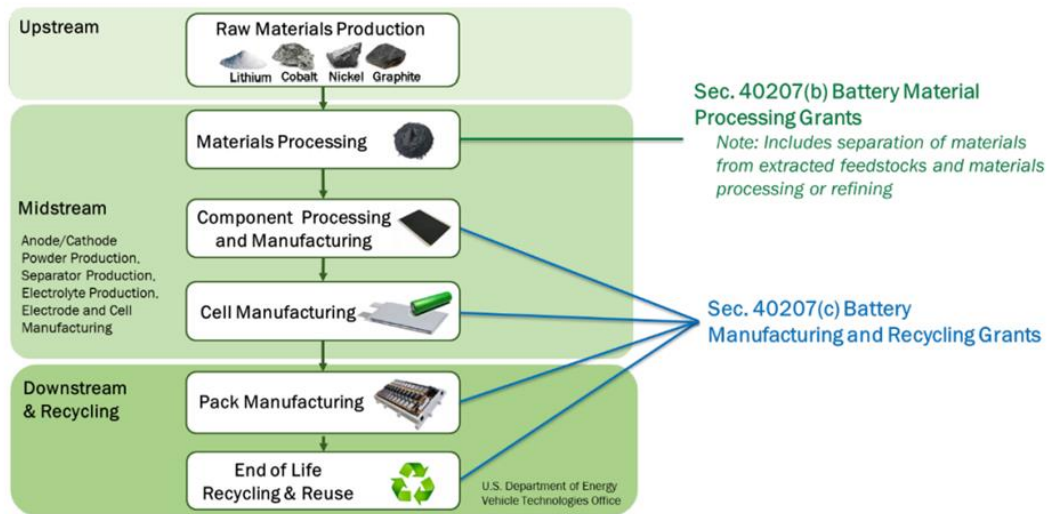
2.1.1 で述べた通り、2021 年 11 月に成立した IIJA では、北米のバッテリーサプライチェーンを強化するため、国内のバッテリー製造とリサイクルを促進するための支援を盛り込んだ。バッテリーの材料加工助成金（Battery Material Processing Grants、IIJA セクション 40207 〈b〉）と、バッテリー製造とリサイクル助成金（Battery Manufacturing and Recycling Grants、同セクション 40207 〈c〉）には、今後 5 年間でそれぞれ 30 億ドルが割り当てられた⁹⁴。DOE の MESC と EERE は 2022 年 5 月、これに基づき、バッテリー部品の製造とリサイクル双方の実証や商業化プロジェクトに対する助成金「バッテリーの材料加工および製造に対する助成金」の公募（FOA）を開始した⁹⁵（図表 16）。

⁹³ <https://www.energy.gov/clean-energy-infrastructure/battery-manufacturing-and-recycling-grants#:~:text=The%20Battery%20Manufacturing%20and%20Recycling, North%20American%20battery%20supply%20chain.>

⁹⁴ <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/05/BUILDING-A-BETTER-AMERICA-V2.pdf>

⁹⁵ <https://eere-exchange.energy.gov/Default.aspx?Search=DE-FOA-0002678&SearchType=>

図表 16 : バッテリー材料加工と製造に対する助成金の対象領域



出所 : DOE⁹⁶

今回の助成金に関して、バッテリーの材料加工については、以下の領域が対象となる⁹⁷。

- 重要なバッテリー正極材を国産材料から分離する商業規模の生産プラント
- 合成と天然原料からバッテリー用黒鉛の商業規模の国内生産
- 商業規模のバッテリー用前駆物質の国内分離・生産
- 非在来型国内資源からのバッテリー用材料の分離・生産のための実証実験
- バッテリー材料の革新的な分離プロセスの実証

バッテリー製造については、以下の領域が対象となる。

- 商業規模のバッテリーセルの国内製造
- 商業規模のバッテリー正極材の国内製造
- 商業規模のバッテリーセパレーターの国内製造
- 商業規模の次世代シリコン負極活性物質と電極の国内生産
- 商業規模の使用済みバッテリーリサイクルの国内インフラ整備
- バッテリーセルと部品の国内製造実証

DOE は 2022 年 10 月 19 日、上記 FOA に基づき、同プログラムの第 1 回採択プロジェクトを発表した⁹⁸ (図表 17 参照)。バッテリー材料の加工や、部品を製造する商業施設の新設・拡張を行う全米 12 州計 20 社⁹⁹に対して、計 28 億ドルが提供されることになった。受給者は、同助成金に加えて一部のコストを負担する必要があり、助成金と自己負担分を併せた投資額の合計は 90

⁹⁶ <https://eere-exchange.energy.gov/Default.aspx?Search=DE-FOA-0002678&SearchType=>

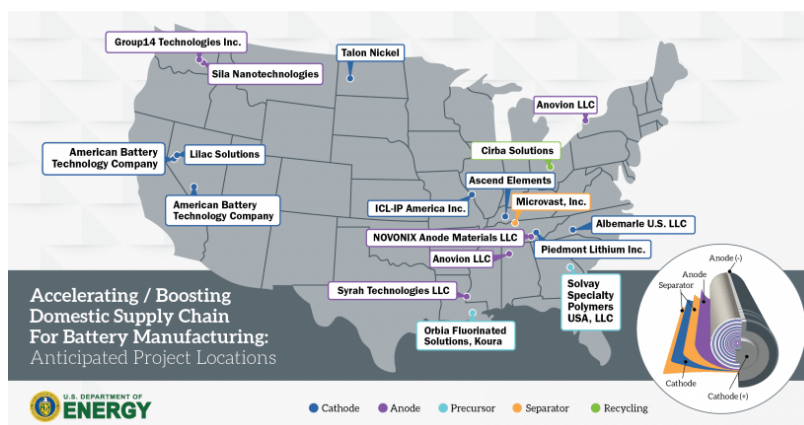
⁹⁷ <https://eere-exchange.energy.gov/Default.aspx?Search=DE-FOA-0002678&SearchType=>

⁹⁸ <https://www.energy.gov/mesc/bipartisan-infrastructure-law-battery-materials-processing-and-battery-manufacturing-recycling>

⁹⁹ 同一企業が複数のプロジェクトを受注しているため、プロジェクト件数は計 21 件。

億ドル以上となった。これにより、EV200万台分のリチウム、同120万台分の黒鉛、同40万台分のニッケルの生産が見込まれている¹⁰⁰。

図表 17：第1回助成金採択プロジェクトの対象企業と立地場所



出所：DOE¹⁰¹

本助成金では、自社技術を有しているが、商業化または量産化に至っていない米国拠点のスタートアップなどが対象に含まれている。政府は同助成金を通じて、サプライチェーンの構築を図るほか、製造業の活性化を推進することで、バッテリーの製造分野で競争力を高める狙いを持つ。助成金の採択企業と対象プロジェクトの概要、助成額・民間拠出額は図表 18 の通り（企業名の欄に国名の記載がない場合、米国企業）。

図表 18：採択プロジェクトの概要一覧

(単位:ドル)

分類	細分類	企業名	概要	助成金額	民間出資額
材料分離・加工	カソード 鋳物	アルベマール (Albemarle U.S.)	ノースカロライナ州キングスマウンテンの自社敷地内のリチウム鋳山から採掘されるリシア輝石を用いて、リチウムの加工工場を新設する。	\$149,658,312	\$225,866,921
		ABTC	ネバダ州トノパにある非従来型リチウム含有堆積物から電池正極用水酸化リチウム (LiOH) を製造する新規プロセスの実証に向けた商業規模の施設を建設・運営する。	\$57,744,831	\$57,744,831
		アセンド・エレメンツ (Ascend)	使用済みリチウムイオン電池から正極材料を分離し、前駆	\$316,186,575	\$316,186,575

¹⁰⁰ <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/10/19/fact-sheet-biden-harris-administration-driving-u-s-battery-manufacturing-and-good-paying-jobs/>
<https://www.energy.gov/mesc/bipartisan-infrastructure-law-battery-materials-processing-and-battery-manufacturing-recycling>

¹⁰¹ <https://www.energy.gov/mesc/bipartisan-infrastructure-law-battery-materials-processing-and-battery-manufacturing-recycling>

分類	細分類	企業名	概要	助成金額	民間出資額
		Elements)	体 CAM と金属塩を製造する商業規模の施設を新設する。		
		ライラック・ソリューションズ (Lilac Solutions)	自社リチウム抽出技術を用いてネバダ州ファーンリーで商業規模のリチウム生産を実証する。	\$50,000,000	\$129,322,049
		ピードモント・リチウム (Piedmont Lithium)	国内バッテリー市場と EV 市場向けに年間 3 万トン生産する世界トップクラスの水酸化リチウム工場を建設する。	\$141,680,442	\$430,356,259
		タロン・ニッケル (Talon Nickel)	国産のバッテリー生産のため、ノースダコタ州マーサー郡に経済性の高いリソースからニッケル鉱石を加工する工場を建設する。	\$114,846,344	\$318,025,927
	アノード 鋳物	アノビオン (Anovion)	EV 用およびエネルギー貯蔵用リチウムイオン電池向けの合成黒鉛負極材を年間 3 万 5000 トン生産する能力を構築する。	\$117,000,000	\$294,000,000
		ノボニクス・アノード・マテリアルズ (NOVONIX Anode Materials) (カナダ)	テネシー州チャタヌーガに EV 向けに年間 3 万トンの黒鉛を生産する工場を新設する。	\$150,000,000	\$877,260,704
		シラー・テクノロジーズ (Syrah Technologies) (オーストラリア)	ルイジアナ州の自社工場で、モザンビーク・バラマ鉱山で生産された天然黒鉛を用いて負極活物質 (AAM) を製造する。破碎から精製、コーティング、表面処理まで一貫して処理を行う。	\$219,820,610	\$224,996,240
	前駆体	オービア・フロオリネイティッド・ソリューションズ / コウラ (Orbia Fluorinated Solutions / Koura)	ルイジアナ州セント・ガブリエルに構える自社フッ素化学品製造拠点の敷地内に、米国初となる六フッ化リン酸リチウム (LiPF6) の製造工場を建設する。	\$100,000,000	\$306,584,087
		ソルベイ・スペシャリティ・ポリマーズ (Solvay Specialty Polymers USA) (ベルギー)	ジョージア州オーガスタにバッテリーグレードのポリフッ化ビニリデン (PVDF) 施設を新設する。同社が製造する次世代 PVDF はほぼ全ての EV 用バッテリーのサプライヤーに採用されている。	\$178,218,568	\$178,218,569
部品	カソード	6k	プラズマを介してバッテリー	\$50,000,000	\$57,395,080

分類	細分類	企業名	概要	助成金額	民間出資額
製造	材料		材料となる CAM NMC811 とリン酸鉄リチウム (LFP) の生産を実証する。2025 年までに年間生産量を 3,000 トン、2026 年に 1 万トンに拡大する。		
		アセンド・エレメンツ (Ascend Elements)	商業規模の CAM 製造施設を建設する。年間 25 万台以上の EV 製造に十分な CAM を製造・供給する。	\$164,395,625	\$164,395,625
		ICL-IP アメリカ (ICL-IP America)	高品質のリン酸鉄リチウムイオン (LFP) 正極材料粉末の自社生産施設を拡張する。	\$197,338,492	\$232,262,211
	アノード材料	グループ 14 テクノロジーズ (Group14 Technologies)	黒鉛の代替となる次世代シリコン「SCC55」を製造する商業用モジュールを 2 基建設する。	\$100,000,000	\$222,936,774
		シラ・ナノテクノロジーズ (Sila Nanotechnologies)	同社開発のシリコンアノード材料の生産施設を建設する。世界最大となる EV20 万台分のアノードを生産する。	\$100,000,000	\$300,000,000
	電極	アンプリウス (Amprius)	同社アノード技術を活用し、エネルギー密度が高いバッテリー部品の材料となるシリコンナノワイヤアノード電極の大規模な製造を実証する。	\$50,000,000	\$140,103,890
		アプライド・マテリアルズ (Applied Materials Inc)	高度なプレリチウム化およびリチウム負極製造施設を建設し、高品質かつ極薄のリチウム薄膜を製造する。	\$100,000,000	\$124,010,435
	セパレーター	メンブレン・ホールディングス (Membrane Holdings)	米国唯一の湿式セパレーター製造工場を拡張する。	\$200,000,000	\$1,240,172,135
		マイクロバスト (Microvast)	国内で調達した材料を用いて、同社と GM が協働開発する高機能セパレーターを製造する。	\$200,000,000	\$304,540,145
	リサイクル回収	サーバ・ソリューションズ	同社が稼働する既存のリチウムイオンリサイクル施設を拡張する。	\$74,999,925	\$107,515,014

出所：DOE¹⁰²

¹⁰² <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-11/DOE%20BIL%20Battery%20FOA-2678%20Selectee%20Fact%20Sheets.pdf>

4.3.4 企業による取り組み事例

前出の通り、米国では、現時点で EV 用バッテリーの材料の生産、加工、リサイクルを商業規模で行う企業は限定的だが、独自技術を開発・実証する一部のスタートアップが事業を開始している。これらの企業は、DOE などの財政支援を受けており、今後米国内のサプライチェーン構築の一角を担う可能性もある。EV 用バッテリーの材料を加工する企業の概要や事業内容、最近の取り組みについて、以下の通り整理する。

<アルベマール>

アルベマール (Albemarle) は、1994 年に創業したノースカロライナ州シャーロットに本社を置く特殊化学品メーカー。リチウム、臭素系特殊化学品、触媒の 3 つの部門を主軸とし、エネルギー、通信、運輸、エレクトロニクス分野の顧客に、リチウムおよびリチウム誘導体、臭素特殊化学品 (防火・油田掘削、医薬品など) のほか、石油精製・石油化学産業向けに高性能触媒と関連サービスを提供している。リチウム部門は採掘から精製、バッテリーグレードの水酸化リチウムや塩化リチウム、リチウム金属粉末などの製造を行う。テスラのほか、複数の大手自動車メーカーにリチウム関連製品を提供している。同社は米国を中心に、中国、インド、ハンガリー、ドイツ、ベルギー、アラブ首長国連邦、オーストラリア、チリなどに採掘・生産拠点を有するなど、グローバルに事業を展開している¹⁰³。

リチウム部門については、金属資源の採掘や精製などを手掛けている。同社は米国、オーストラリア、チリの 3 カ所でリチウムの採掘や精製事業を展開している。特に、かん水 (塩分濃度が高いブライン) からリチウム成分を抽出する資源として、ネバダ州シルバーピーク近郊レイクトン・バレーと、チリのアタカマ砂漠といった 2 カ所を所有している。また、オーストラリアのウエスタンオーストラリア州のグリーンブッシュと米国ノースカロライナ州キングスマウンテンに、ロシア輝石鉱山をそれぞれ保有している¹⁰⁴。同社は現在、シルバーピークとアタカマ砂漠、グリーンブッシュで操業を行っている。一方、キングスマウンテン鉱山は、以前の所有者がコストの安い南米での生産に切り替えたため、1980 年代に操業を停止していた¹⁰⁵。しかし今後のリチウム需要の拡大に伴い、2027 年の操業再開を予定している¹⁰⁶。

一方、オーストラリアのグリーンブッシュでは、保有するロシア輝石鉱山からリチウムを抽出、水酸化リチウムを製造するケメルトン加工プラントを操業している。同プラントは 2019 年に完成し、初期段階の生産能力は水酸化リチウム換算値で約 5 万トンだが、今後 10 万メートルトンまで拡大が可能となっている¹⁰⁷。また、同社はウエスタンオーストラリア州のウージーナ鉱

¹⁰³ <https://www.albemarle.com/locations>

¹⁰⁴ <https://www.albemarle.com/offerings/lithium/resources--recycling/lithium-resources>

¹⁰⁵ <https://albemarlekingsmountain.com/kings-mountain-lithium-mine-could-reopen-to-supply-battery-makers/>

¹⁰⁶ <https://www.albemarle.com/businesses/lithium/resources--recycling/lithium-resources>

<https://cen.acs.org/articles/99/web/2021/01/Albemarle-double-US-lithium-output.html>

¹⁰⁷ <https://www.albemarle.com/locations-category/australia>

山でリチウムの探査、採掘、加工、生産を行う「ウージーナプロジェクト」にも参画している¹⁰⁸。

また最近の動向として、米国内で EV 製造プラントの建設計画が相次ぐ中、リチウムの増産に向けた事業展開を行っている。同社は 3,000 万から 5,000 万ドルを投資し、ネバダ州シルバーピークでの生産量を 2025 年までに倍増することを計画している¹⁰⁹。また 2022 年 6 月には、主要港湾と接続した鉄道アクセスが良い米国南東部に、新たなリチウム加工プラントを建設する計画を発表した¹¹⁰。年間生産量は 10 万トンで、完成すればオーストラリアのケメルトンに新設された加工プラントと同規模になる。さらに 2022 年 10 月には、キングスマウンテン鉱山の 2027 年の再開に合わせ、DOE から約 1 億 5,000 ドルに上る助成金を受け、同鉱山にリチウム濃縮施設を新設することを発表した（図表 18 参照）。同施設では、年間最大 35 万メートルトンのリシア輝石精鉱を生産し、前出のリチウム加工プラントに供給される見込みだ¹¹¹。同社は現在、キングスマウンテンにパイロット施設を有しており、バッテリー用にさまざまなリチウム由来材料を生産している。パイロット施設は 2012 年に完成し、5,000 メートルトンのバッテリーグレードの水酸化リチウムを製造することができる。

<アセンド・エレメンツ>

マサチューセッツ州ウェストボローに本社を置くアセンド・エレメンツ (Ascend Elements) は、使用済みリチウムイオン電池から再生された有価元素を使用して、高度バッテリー材料の製造に従事している。同社はマサチューセッツ州に位置するウースター工科大学のスピンオフとして、2015年に設立した。同社は2022年1月、社名をバッテリー・リソーサーズ (Battery Resources) からアセンド・エレメンツへ変更¹¹²。前身のバッテリー・リソーサーズの共同創設者ヤン・ワン (Yan Wang) 氏は、DOE のリセル・センターの主要メンバーの一人。リチウムイオン電池の需要拡大に伴い、同社は急成長しており、2022年初頭に約 60 人だった従業員数は年末までに約 3 倍の約 170 人にまで増えた¹¹³。

アセンド・エレメンツが特許を有する直接前駆体合成プロセス「Hydro-to-Cathode」では、廃棄バッテリーや鉄スクラップを粉砕し、ブラックマスを抽出して、EV 用バッテリーのリチウムイオン電池の前駆体と CAM を生成する¹¹⁴。従来の「高温冶金法」や「湿式製錬法」と比べて、効率性が良くコストも削減され、環境負荷が低いといったメリットがある。同社によると、回収率は最大 98%に達し、コストは最大で 50%減少、炭素排出量は最大 90%減となる¹¹⁵。また同技術を用いて再生された正極材で電池を製造した場合、電池容量が従来に比べ 88%増大するほか、

¹⁰⁸ <https://www.albemarle.com/western-australia>

¹⁰⁹ <https://www.electrive.com/2021/01/09/albemarle-to-double-lithium-capacity-by-2025/>

¹¹⁰ <https://www.reuters.com/business/energy/albemarle-plans-major-us-lithium-processing-plant-2022-06-27/>

¹¹¹ <https://www.reuters.com/business/energy/albemarle-plans-major-us-lithium-processing-plant-2022-06-27/>

¹¹² <https://ascendelements.com/battery-resources-changes-company-name-to-ascend-elements-with-comprehensive-rebrand/>

¹¹³ https://ascendelements.com/2022_review/

¹¹⁴ <https://ascendelements.com/>

¹¹⁵ <https://ascendelements.com/innovation/>

電池寿命も 50%伸びるとしている¹¹⁶。こうした同社の取り組みは先進的と評価されており、2021 年と 2022 年にはクリーンテック企業クリーンテック・グループ (Cleantech Group) が主催する「グローバルクリーンテック 100 (Global Cleantech 100)」に 2 年連続で選出された¹¹⁷。

アセンド・エレメンツは最近、自動車メーカーなどと提携して自社製品の提供を拡大するとともに、ほかの電池メーカーと共同開発を進め、生産能力の増大に向けた投資を加速させている。2021 年 6 月には、ホンダとの間で契約を締結し、同社に EV 用正極材を供給するほか、同社とアキュラの EV 用バッテリーをリサイクルすることを発表した¹¹⁸。2022 年 2 月には、フッ素製品大手のコウラ (Koura) と提携し、使用済みリチウムイオン電池からバッテリーグレードの黒鉛材料を得る独自のプロセス技術の開発を発表した。コウラはオービア (Orbia) の事業会社で、世界最大級のフッ素製品・技術メーカー。オービアは開発パートナーとして、アセンド・エレメンツの技術を商業生産に向けてスケールアップ支援している。またオービアは、複数の投資ラウンドを通じてアセンド・エレメンツに資金提供を行っている¹¹⁹。さらに、アセンド・エレメントは 2022 年 10 月、韓国系バッテリー材料メーカーのエコプロ (EcoPro) グループとの間で覚書を締結し、同社に再生バッテリー材料を提供することで、北米におけるクローズドループでの EV 用バッテリーの供給体制の構築を行うことを発表した。エコプロは、アセンド・エレメントが再生する材料からバッテリーに適した高性能 CAM を生産し、顧客である電池メーカーに提供する¹²⁰。

アセンド・エレメントは 2022 年 1 月、ジョージア州コビントンに商業規模のリチウムイオン電池リサイクル施設を開設する計画を発表した。同施設は、年間 3 万トンの廃棄リチウムイオン電池とスクラップを処理することができ、北米最大の電池リサイクル施設となる見込みだ¹²¹。また 2022 年 8 月には、ケンタッキー州ホプキンスビルに最大 10 億ドルを投じてリチウムイオン電池の材料施設を建設する計画を発表した。ホプキンスビルのコマース工業団地 II にある 140 エーカー以上の敷地に、「Apex 1」と呼ばれる 50 万平方フィートの世界初の製造施設を建設しており (2022 年 10 月に着工)、2023 年後半に操業開始し、年間 EV 最大 25 万台分の電池用 CAM とその前駆体材料 (pCAM) を生産する予定だ¹²²。同施設の建設に当たり、2022 年 10 月に DOE から計 4 億 8,000 万ドル (2 件) の助成金を獲得した¹²³ (図表 18 参照)。さらに同月は、国際的

¹¹⁶ <https://ascendelements.com/products/>

¹¹⁷ <https://ascendelements.com/2023-global-cleantech-100-list/>

¹¹⁸ <https://ascendelements.com/battery-resourcers-signs-agreement-with-honda-to-recycle-lithium-ion-batteries/>

¹¹⁹ <https://www.orbia.com/this-is-orbia/news-and-stories/Ascend-Elements-and-Koura-Unveil-Innovative-Technology-Yielding-Pure-Graphite-from-Used-Lithium-ion-Batteries/>

¹²⁰ <https://www.recyclingtoday.com/article/ascend-elements-ecopro-group-partner-electric-vehicles-material-recycling/>

¹²¹ <https://ascendelements.com/battery-resourcers-to-open-north-americas-largest-lithium-ion-battery-recycling-facility-by-august/>

¹²² <https://www.prnewswire.com/news-releases/ascend-elements-to-invest-up-to-1-billion-in-southwest-kentucky-ev-battery-materials-manufacturing-facility-301597102.html>

¹²³ <https://ascendelements.com/ascend-elements-awarded-480m-in-grants-from-u-s-department-of-energy-to-manufacture-sustainable-battery-cathode-active-materials/>
<https://ascendelements.com/ascend-elements-begins-construction-of-apex-1-in-southwestern-kentucky/>

な戦略・金融投資家グループからシリーズCの2億ドルの株式投資を含む3億ドルの株式、債券による資金調達に成功した。この資金調達により、北米でクローズドループのEV用バッテリー材料サプライチェーンを確立する「Hydro-to-Cathode」プロセスの商業化を加速させる¹²⁴。

<ライラック・ソリューションズ>

2016年に設立されたライラック・ソリューションズ (Lilac Solutions) は、カリフォルニア州オークランドに拠点を置き、リチウムの抽出を主軸とするスタートアップ。社員数は35人。高効率かつ低コストで環境負荷が低いかん水からリチウムを抽出し、従来技術と比べて生産量が増大する自社特許の新規イオン交換技術「直接リチウム抽出 (Direct Lithium Extraction (DLE))」を開発し、同技術を主軸としたリチウム抽出システムの設計、構築、運用といったフルサービスを資源採掘事業者へ提供している。イオン交換技術は一般的に、廃水処理施設や金属加工施設など多様な用途で導入されているが、同技術を用いてリチウムを抽出する試みは初めてとなる。同技術は2021年末時点で現地パイロット段階にあり、今後の商業化を目指している。

かん水からリチウムを抽出する場合、従来の手法では、リチウムを濃縮するために大規模な蒸発池の建設が必要であり、プロジェクト開始までに約18カ月を要した。また、さらにコストが高く、環境や地域への影響が大きかった。しかし、ライラック・ソリューションズが開発したDLEは、独自のイオン交換ビーズを詰めたモジュールを用いて生のかん水から直接リチウムを抽出でき、回収量が増大するほか、高品質のリチウムを抽出することができる。また、抽出後のかん水は地下に戻せるため、環境負荷を大幅に低減することができる¹²⁵ (図表19参照)。

図表19：従来方法とライラック・ソリューションズ技術との比較

	従来のプロセス	ライラック・ソリューションズのプロセス
必要となる面積の広さ	10,000 エーカー	10 エーカー
リチウム回収率	40%	80%
抽出可能なかん水のエリア	エリアは限定的	エリアの拡張が可

出所：ライラック・ソリューションズ¹²⁶

ライラック・ソリューションズは最近、DLEの商業化・事業拡大に向け、投資家からの資金調達やDOEからの助成金を受領している。同社は2021年10月、シリーズB投資ラウンド¹²⁷で1

¹²⁴ <https://www.prnewswire.com/news-releases/ascend-elements-secures-300-million-in-funding-301660175.html>

¹²⁵ <https://www.prnewswire.com/news-releases/lilac-solutions-achieves-99-lithium-recovery-with-ion-exchange-process-301267282.html>

<https://lilacsolutions.com/2021/10/strategic-investors-join-final-closing-of-lilac-solutions-150-million-series-b-for-lithium-extraction-technology/>

¹²⁶ <https://lilacsolutions.com/technology/>

¹²⁷ スタートアップ向けの投資のフェーズ。事業が軌道に乗り始めた段階での資金調達として位置付けられる。

億 5,000 万ドルの調達に成功したことを発表した¹²⁸。出資者には、SK マテリアル、BMW i ベンチャーズ、住友商事のベンチャーキャピタルであるプレシディオ・ベンチャーズ (Presidio Ventures)、MCJ コレクティブ (MCJ Collective)、アースショット・ベンチャーズ (Earthshot Ventures) が含まれる。ライラック・ソリューションズはこの資金を用いて従業員数を倍増させるほか、米国でのリチウム抽出のパイロットプロジェクトを補完するため、アルゼンチンとチリでもパイロットプロジェクトを開発するとともに、電池メーカーや自動車メーカーへのリチウムサンプルの送付も継続するとしている¹²⁹。

また前出の通り、ライラック・ソリューションズは 2022 年 10 月、国産リチウムの増産を目指す DOE の事業に採択され、5,000 万ドルの助成金を受けることとなった (図表 18 参照)。同補助金は、DLE 技術を用いたリチウム材料の国内製造能力の増強、および米国内でのリチウムプロジェクトの開発に利用される見込みだ¹³⁰。

<ピードモント・リチウム>

ノースカロライナ州ベルモントに本社を置くピードモント・リチウムは、米国で拡大する EV 用バッテリー市場向けのリチウムサプライヤーになることを目指し、採掘と精製による水酸化リチウムの製造に特化した事業を行う¹³¹。同社は現在、ノースカロライナ州に所有するリシア輝石鉱山での採掘事業と水酸化リチウムの製造事業を進めている。これにより、今後 20 年間にわたって、年間 3 万トンの水酸化リチウムを生産する予定だ。

同社は 2020 年 9 月、ノースカロライナ州リシア輝石精鉱について、テスラと販売契約を締結した。同社はこの契約に基づき、2022 年 7 月から 2023 年 7 月の間にテスラへの供給を開始するとしていたが、採掘許可の手続きが障壁となり、供給開始は延期されている¹³²。

ピーモンド・リチウムは、米国内のリチウム需要の拡大に伴い、米国とカナダで事業を拡大する方針を示している。同社は 2022 年 9 月、5 億 8,200 万ドルを投じて、テネシー州南東部マックミン郡で水酸化リチウムの加工・精製・製造施設を新設すると発表した¹³³。同施設では、国内バッテリーおよび EV 市場向けに年間 3 万トンの水酸化リチウムを生産し、米国での生産能力を倍増する。今後の資金調達や許認可手続き次第では、2023 年に建設着工、2025 年に生産開始可能となる計画だ。前出の通り、同施設の建設に向けて、2022 年 10 月に DOE から約 1 億 4,000

¹²⁸ <https://lilacsolutions.com/2021/10/strategic-investors-join-final-closing-of-lilac-solutions-150-million-series-b-for-lithium-extraction-technology/>

¹²⁹ <https://www.cnbc.com/2021/09/22/lilac-raised-150-million-for-sustainable-lithium-extraction-tech.html>

¹³⁰ <https://lilacsolutions.com/2022/10/lilac-solutions-selected-by-u-s-department-of-energy-for-50-million-award-to-unlock-u-s-lithium-production/>

¹³¹ <https://piedmontlithium.com/investors/>

¹³² <https://www.electrive.com/2021/08/03/piedmonts-lithium-deliveries-postponed-indefinitely/>

¹³³ <https://www.tn.gov/ecd/news/2022/9/1/governor-lee--commissioner-mcwhorter-announce-piedmont-lithium-inc--to-establish-operations-in-mcminn-county.html>

万ドルの助成金を受けることが決定した¹³⁴（図表 18 参照）。また 2022 年 10 月には、ピーモン
ド・リチウムとの合弁パートナーのサヨナ・マイニング（Sayona Mining）が、カナダ・ケベッ
ク州で炭酸リチウムの製造に関する実現可能性調査を開始した。同スタディでは、NAL で生産さ
れるリシア輝石から炭酸リチウムを生成できるかを検証する¹³⁵。

<タロン・メタルズ（タロン・ニッケル）>

ミネソタ州タマラックに 2015 年に設立されたタロン・メタルズ（Talon Metals）は、ニッケ
ルの採掘に特化した企業。同社は、英国鉱業関連企業のリオ・ティント（Rio Tinto）との合弁会
社を通じて、ミネソタ州タマラック（Tamarack）鉱山でニッケルをはじめ銅、コバルトを採掘す
る「タマラックプロジェクト」を進めている。同社は現在、「タマラックプロジェクト」の 51%の
株式を保有しており、2026 年 3 月までに最大 60%を取得予定¹³⁶。また 2022 年 1 月には、タマ
ラックプロジェクトから採掘されるニッケル濃縮物の供給と販売に向けて、テスラと契約を締結
した。テスラは本契約に基づき、同プロジェクトから 7 万 5,000 トンのニッケル鉱石のほか、コ
バルトや鉄などの副産物を、商業生産開始から約 6 年間にわたり購入することを約束した。なお、
商業生産の開始時期は 2026 年 1 月の予定¹³⁷。

また同子会社であるタロン・ニッケルは、ノースダコタ州マーサー郡でニッケル加工施設の
建設を計画している。同施設では、バッテリー製造に必要なニッケル鉱石を生産する。前出の通
り、同社はテスラと契約を締結しており、同施設で生産されたニッケル鉱石はテスラに供給され
るとみられる。同社は 2022 年 10 月、同施設の建設に向けて DOE から約 1 億 1,400 万ドルの助
成金を獲得した¹³⁸（図表 18 参照）。

<アノビオン>

イリノイ州シカゴに本社を置くアノビオン・バッテリー・マテリアルズ（Anovion Battery
Materials）は、北米で初めて合成黒鉛負極材（synthetic graphite anode）の商業生産を実現し、
北米製として初めて EV 用の認定を取得した先端材料メーカー。同社は 140 年以上、合成黒鉛を
生産しており、リチウムイオン黒鉛負極材の製造において先駆的な企業だ。同社は現在、商業的
に製品を出荷している米国内唯一のバッテリー用合成黒鉛負極材料のサプライヤーとなってい
る。同社が生産する負極材は、自動車のみならず、航空宇宙や軍事産業など北米に位置する多様
な産業顧客へ供給されている¹³⁹。同社は 2021 年初頭に商業生産を開始し、2030 年までに最終製

¹³⁴ <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-11/DOE%20BIL%20Battery%20FOA-2678%20Selectee%20Fact%20Sheets.pdf>

¹³⁵ <https://smallcaps.com.au/piedmont-lithium-sayona-mining-feasibility-study-lithium-carbonate-production/>

¹³⁶ <https://www.nsenergybusiness.com/news/talon-metals-tesla-tamarack-nickel-project/>

¹³⁷ <https://talonmetals.com/tesla-and-talon-metals-enter-into-supply-agreement-for-nickel/>
<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/topics/coronavirus-impacts-commodity-markets>

¹³⁸ <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-11/DOE%20BIL%20Battery%20FOA-2678%20Selectee%20Fact%20Sheets.pdf>

¹³⁹ <https://www.prnewswire.com/news-releases/anovion-launches-as-a-leader-in-the-north-american->

品の年間生産量を 15 万トンへ引き上げることを目指し、生産能力の拡大を進めつつある。

アノビオンは自社の生産能力の拡充を目指して、ほかの事業者との協業を始めている。同社は 2022 年 6 月、米国バッテリー材料トップメーカーのフォージ・ナノ (Forge Nano) と、リチウムイオン電池向けの高度な黒鉛負極材製造技術の供給で協業することを発表した¹⁴⁰。アノビオンが有する合成黒鉛負極材製造プロセスとフォージ・ナノが持つ独自の粒子コーティング技術とを組み合わせ、合成黒鉛負極材の大量生産を目指す。両社は既に別の分野で協業しており、アノビオンの前身であるパイロテック (Pyroteck) とフォージ・ナノは 2021 年 6 月、衛星向けバッテリープログラムを共同で手掛けることを発表。衛星軌道の打ち上げに使用されるバッテリーの開発を進めており、パイロテックが開発した先端負極材料と電極を用いて、電池容量の損失をゼロに維持したまま、1,700 回を超える充放電が可能であることを実証した。

また、アノビオンは 2022 年 10 月、アラバマ州北部にリチウムイオン電池用の合成黒鉛負極材料を年間 3 万 5,000 トン製造する大規模工場を新設するため、DOE から 1 億 1,700 万ドルの助成金を獲得した (図表 18 参照)。新工場で製造される負極材は EV、エネルギー貯蔵システム、個人用イーモビリティ、医療機器、軍事・航空宇宙などさまざまな分野で使用される。同工場の建設を通じて、ニューヨーク州ナイアガラフォールズ近郊での製造施設の生産能力を拡充する¹⁴¹。

<ノボニクス・アノード・マテリアルズ>

カナダ・ノバスコシア州に本拠を構えるノボニクスは、2017 年に同州ダルハウジー大学 (Dalhousie University) からスピノフして設立されたスタートアップ。同社の創業者兼最高経営責任者 (CEO) であるクリス・バーン博士は 2009 年以降、同大学でリチウムイオン電池の長期利用などの研究に取り組んでいた。ノボニクスは当初、同氏の専門分野である電池技術の長寿化を支援する研究開発やこれに付随する試験機器の提供に従事していた。同社が有する超高精度クーロメトリー (Ultra-High Precision Coulometry) 技術は、従来何カ月もの年月を要してきた電池の寿命の計測が短縮化、簡素化されるといったメリットがある¹⁴²。

リチウムイオン電池の世界的な需要拡大に伴い、同社は正極材と負極材の開発と量産化にも力を入れつつある。2017 年にテネシー州チャタヌーガに負極材の開発や製造を行うノボニクス・アノード・マテリアルズを開設し、2019 年に製造工場の操業が開始した。同工場では、EV や蓄電システム用のリチウムイオン電池に使用される高容量かつ長寿命の合成黒鉛負極材が製造されており、電池メーカーのサムソン SDI (Samsung SDI) やサンヨー (SANYO) などに供給されている。ノボニクスはその後、さらなる生産能力の拡大に向け以下の方針を掲げている。

[battery-materials-supply-chain-bringing-proven-anode-technologies-and-over-140-years-of-history-in-synthetic-graphite-production-301510587.html](https://www.prnewswire.com/news-releases/anovion-and-forge-nano-sign-strategic-partnership-to-strengthen-the-us-domestic-graphite-anode-battery-materials-supply-chain-301575804.html)

¹⁴⁰ <https://www.prnewswire.com/news-releases/anovion-and-forge-nano-sign-strategic-partnership-to-strengthen-the-us-domestic-graphite-anode-battery-materials-supply-chain-301575804.html>

¹⁴¹ <https://www.anovion-anode.com/news/anovion-battery-materials-selected-to-receive-117-million-grant-under-the-bipartisan-infrastructure-law-for-battery-materials-processing-and-manufacturing/>

¹⁴² <https://www.novonixgroup.com/about-us/>

- 2021年7月、1億6,000万ドルを投じ、チャタヌーガのフランスの鉄道関連会社アルストムの既存工場を買収し、第二の負極材製造工場を建設すると発表した¹⁴³。同年12月に改修工事に着工し、2022年に竣工予定であると発表。合成黒鉛負極材を生産し、年間生産量は2023年時点で1万メートルトンを目指す¹⁴⁴。
- 2022年10月、国内での増産を目的に、DOEから1億5,000万ドルの助成金を受領した（図表18参照）。将来の拡張が可能となるよう、新規プラントの立地選定、プラントの配置、エンジニア設計を行う。新設される工場の年間生産能力は3万トン¹⁴⁵。

ノボニクス・アノード・マテリアルズは一連の投資を通じて、年間生産能力を1万メートルトンから、2025年までに4万メートルトン、2030年には15万メートルトンに引き上げることを目指している。合成黒鉛負極材の生産量は現在、中国が98%を占めており、DOEの支援の下、積極的に国内生産能力の引き上げに取り組んでいる。また、同社が製造する合成黒鉛負極材はコスト効率が良く、環境負荷が低いことが特徴であり、従来の中国製製品と比べて、地球温暖化係数が最大60%で減少すると分かっている。

<シラー・テクノロジーズ>

ルイジアナ州ヴィダリアに本社を置くシラー・テクノロジーズ (Syrah Technologies) は、オーストラリアに本拠を構える鉱物企業シラー・リソースズ (Syrah Resources) の米国子会社。同社はモザンビークに所有する鉱山から天然黒鉛を採掘した後、米国ルイジアナ州ヴィダリア工場では負極活物質を製造し、自動車メーカーやバッテリーセルメーカーなどに販売している。黒鉛の採掘から加工、販売に至るまでを一貫して行う垂直統合型の企業だ¹⁴⁶。

2022年7月には、DOEから1億210万ドルの融資を受けることが決定した。同社はこの資金を活用して、ヴィダリア工場を拡張し、2040年までにEV約250万台分のバッテリーに利用される黒鉛負極材を製造する。同工場は、米国初かつ中国以外では唯一、垂直統合型の大規模な黒鉛負極材の製造施設となる¹⁴⁷。シラー・テクノロジーズは2023年2月時点で、既存の工場の拡張工事を行っており、2023年第3四半期に生産を開始し、年間生産能力を1万1,250メートルトンに増強することを目指す。さらに、同社は、同施設の年間生産能力を少なくとも4万5,000メートルトンに引き上げるために、新たな拡張も計画している。2022年10月には、DOEから約2億2,000万ドルの助成金を受領した（図表18参照）。

¹⁴³ <https://www.areadevelopment.com/newsitems/7-2-2021/novonix-chattanooga-tennessee.shtml>

¹⁴⁴ <https://www.industryweek.com/supply-chain/article/21182539/batteryproduction-startup-begins-work-on-first-anodematerial-plant>

¹⁴⁵ <https://www.wrbl.com/business/press-releases/globenewswire/8668416/novonix-selected-for-us150-million-grant-from-u-s-department-of-energy/>

¹⁴⁶ <https://www.syrahresources.com.au/about/our-company>

¹⁴⁷ <https://www.energy.gov/lpo/articles/lpo-offers-first-conditional-commitment-critical-materials-project-syrah-vidalia>

<ソルベイ・スペシャリティ・ポリマーズ>

ソルベイ・スペシャルティ・ポリマーズ (Solvay Specialty Polymers) は、ベルギーに本社を置く、1863年創業のプラスチックと化学品のグローバル企業。高性能熱可塑性樹脂、フッ素エラストマー、フッ素系流体など幅広い特殊ポリマー製品を供給している。1880年代に北米へ進出し、ジョージア州アルファレッタに本拠を構え、米国25州の35拠点のほか、カナダ、メキシコで農業、自動車、航空宇宙、建築、建設、消費財、医療、電気・電子、環境など、幅広い産業に多様な化学品（発泡体、溶剤、殺菌・抗菌剤、洗浄剤、消火剤など）と各種システムを提供している¹⁴⁸。世界63カ国に約2万1,000人の従業員を擁し、2021年の売上高は計約101億ユーロに上る¹⁴⁹。

EV分野では、フッ素化電解質添加剤、塩、バインダー、セパレーターといった材料を生産しているほか、リサイクル事業を展開している。同社は100年以上にわたる鉱山運営の知見を生かし、バッテリーリサイクル事業を最適化、商用登録済みのリチウム用試薬や過酸化水素ベースの溶液などの金属用抽出剤を使用して、溶剤抽出回路をカスケード状に組み立て、使用済みリチウムイオン電池から全ての有価金属を回収している¹⁵⁰。

同社はDOEの約1億7,822万ドルの助成金（図表18参照）を活用し、ジョージア州オーガスタの製造拠点の拡張を予定している。拡張された新拠点では、リチウムイオン電池のセパレーター用のバインダーやコーティングとして使用されるポリマーやポリフッ化ビニリデン (PVDF) の生産ラインが建設される予定。ソルベイによると、EV用バッテリーのトップメーカーの多くが、既に同社の製品を使用しており、新拠点では年間EV500万台分の製品を生産可能としている¹⁵¹。

¹⁴⁸ <https://www.solvay.com/en/usa>

¹⁴⁹ <https://www.pressreleasefinder.com/Solvay/SOLPR067/en/>

¹⁵⁰ <https://www.solvay.com/en/solutions-market/batteries/recycling>

¹⁵¹ <https://www.globalatlanta.com/solvay-gets-178m-grant-to-make-ev-battery-materials-in-augusta/>

レポートをご覧いただいた後、アンケート（所要時間：約1分）にご協力ください。

<https://www.jetro.go.jp/form5/pub/ora2/20230009>



本レポートに関するお問い合わせ先：
日本貿易振興機構（ジェトロ）
調査部 米州課
〒107-6006 東京都港区赤坂 1-12-32
TEL：03-3582-5545
E-mail：ORB@jetro.go.jp