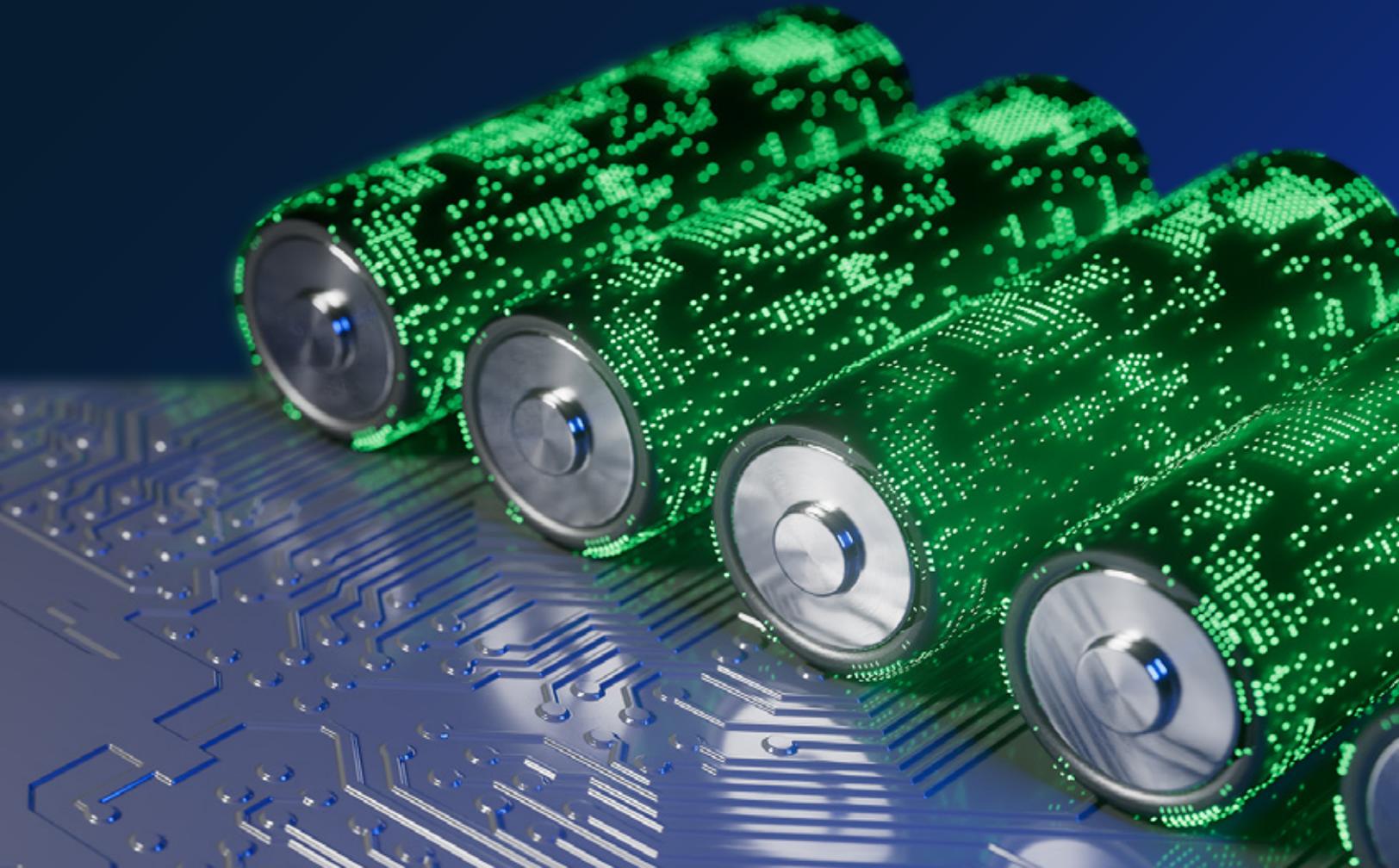


バッテリー 2030: 新たなバリューチェーンの構築

電池需要の拡大に応えるべく、強靱で持続可能な 循環型のバリューチェーンを構築する

本稿は、グローバル・バッテリー・アライアンス (GBA) とそのメンバー各社の協力を得て、マッキンゼーが作成したものである。

ジェイコブ・フライシュマン、ミカエル・ハニッケ、エヴァン・ホレツキ、ディナ・イブヒム、ソレン・ヤウテラト、マーティン・リンダー、パトリック・シャウフス、ルーカス・トルシュト、アレクサンダー・ヴァン・デ・レイが共同で執筆し、住川武人、山科拓也、桂さゆ里、小泉正剛、村木勇也が監訳・監修を行った。



電池に対する需要が世界規模で伸びている。その主な原動力となっているのは、自動車の電動化やエネルギーの転換、そして気候変動対策である。再生可能エネルギーの発電容量予測は時にアナリストから過小評価されることがあるが、それと同じく、電池の需要予測についてもその規模が過小評価されがちとなっている。マッキンゼー、グローバル・バッテリー・アライアンス（以下、「GBA」）、Systemiqが2019年に共同で執筆したレポート「A vision for a sustainable battery value chain in 2030」では、2030年の市場規模を2.6TWh、年間成長率を25%と予測した。しかし、2022年のマッキンゼー・バッテリー・インサイトの分析では、採掘からリサイクルまでを網羅したリチウムイオン（Li-ion）バッテリーチェーン全体で2022～30年に年間成長率が30%以上となり、市場価値は4,000億ドル以上、市場規模は4.7TWhに達すると予測している¹。

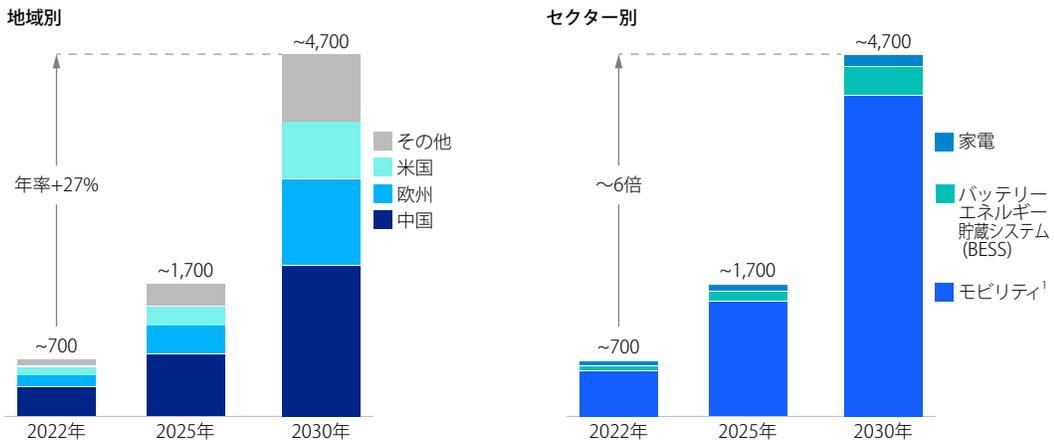
電池需要の伸びは、環境や社会の観点から多様なメリットをもたらすことが予測されるが、一方で先行きには多くの課題が待ち受けている。電池メーカーは供給不足を防ぐために原材料と製造装置の双方で安定供給を維持しなければならず、また、適切な分野への投資や、効率的かつ大規模な量産化を実現していく必要がある。

各企業には環境配慮の旗を掲げた見せかけの取り組みではなく、大規模な脱炭素化と本格的なサステナビリティ（持続可能性）の実現に向けた活動を展開することが求められる。

このような一連の課題を抱えた電池メーカーが、環境への取り組みに着手する際に重要となるのは、守りではなく、攻めの戦術を選ぶことである。本稿では、電池業界が一致団結し、プロセスと規制の標準化やデータの透明性の向上などに連携して取り組むことにより、いかにして強靱（レジリエント）で、持続可能（サステナブル）で循環型（サーキュラー）のバリューチェーンを構築していくかについて解説する。大手電池メーカーは、サステナビリティを重視することにより、競合他社からの差別化や価値創出を実現し、同時に環境保護にも寄与することができる。本稿で取り上げる戦略と目標は、電池のサプライチェーンに関するマッキンゼーのビジョン、およびGBAが定める原則の双方に連動している。

図表 1
リチウムイオン電池需要は年率30%近くで拡大し、2030年までに約4,700GWhに達する見込み

世界のリチウムイオン電池需要 (GWh)



¹乗用車、商用車、二輪および三輪車、オフハイウェイ車、航空機など
資料:マッキンゼー・バッテリー・インサイトによる需要予測モデル

¹ 推定値は、電動モビリティ、バッテリーエネルギー貯蔵システム (BESS)、および消費財向けに使用されるリチウムイオン電池に関する直近のデータに基づく

2030年 世界市場の見通し

リチウムイオン電池の世界需要は今後10年間で更に拡大する見込みで、これに伴い、必要な電力は2022年の約700GWhから、2030年までに4,700GWh前後にまで増加すると予想される(図表1)。

リチウムイオン電池需要をセクター別にみると、電気自動車 (EV)をはじめとするモビリティ向けが2030年の需要の大部分を占め、電力換算では4,300GWhに達する見込みである。これはモビリティ分野が急成長していることを踏まえると、当然の推移といえる。この動向には3つの要因がある:

- 新たなネットゼロ目標やガイドラインをはじめとする、持続可能性に向けた規制の新設・強化 (EUの「Fit for 55」プログラム、米国のインフレ抑制法、EUの2035年以降の内燃機関(ICE)車禁止、インドのハイブリッド車およびEVの導入・製造加速計画など)
- 顧客のグリーンテクノロジー採用率と消費者需要の上昇 (一部の国では、2030年までに乗用車販売台数の最大90%がEVとなる見込み)
- 世界の自動車メーカーの上位15社中、13社によるICE車廃止および新たな排出削減目標の設定

地域別では、中国は2025年にはリチウムイオン電池需要全体の45%を占めるが、2030年には40%に縮小する見込みである。これは中国国内におけるリチウムイオン電池バリューチェーンの大半が既に成熟しているためである。一方、世界で最も電池需要の成長率が高くなると予想される地域は欧州と米国で、これは直近の規制変更に加えて、サプライチェーンの現地化といった全体的なトレンドにけん引されることによるものである。需要増に対応するには、現在から2030年までに電池製造工場を世界で最低でも120~150カ所新設する必要がある。

様々な業界でリチウムイオン電池の需要が急増していることを受け、電池バリューチェーン全体の収益は2022年の約850億ドルから、2030年の4,000億ドル超へと約5倍に拡大すると我々は予想している(図表2)。

このうち最大の収益プールとなるのは、活物質と電池セルの製造過程であろう。かつて電池の原材料調達には採掘が唯一の手段であったが、電池のリサイクルが可能になったことで調達の選択肢が広がっている。リサイクル市場は、2030年時点でも比較的小規模にとどまるものの、それでも寿命切れ電池が増える今後10年間で3倍以上に拡大する見込みである。

図表 2

リチウムイオン電池のバリューチェーン全体で、2030年までに4,000億ドル以上の収益機会が創出されると予想

2022年、2030年の収益構成 (億ドル、括弧内は構成比%)



資料:マッキンゼー・バッテリー・インサイト (2022年)

欧州と米国の企業各社は、高まる電池需要に対応するため、新たな採掘・精製プロジェクトや、電池セル生産用の工場新設・ライン増設計画を次々と発表している。

加えて、リサイクル分野において新たなビジネスモデルの構築を模索している欧米企業も多数存在する。こうした一連の多様な取り組みにより、電池サプライチェーンの現地化が更に進展するとみられる。

及ぼす可能性がある。特に新興国では、労働法違反、児童・強制労働、先住民の権利侵害などの問題が生じやすい。

- ガバナンス:** 電池バリューチェーンに属する企業は、時に利益の相反や、経営管理水準が低い企業とのやりとりを経験する場面がある。そのような場合でも、長期的に倫理的なビジネスを展開するために、各企業は汚職、贈収賄、武力紛争への資金提供、脱税などを厳に回避すべきである。

バリューチェーンにおける現在の課題

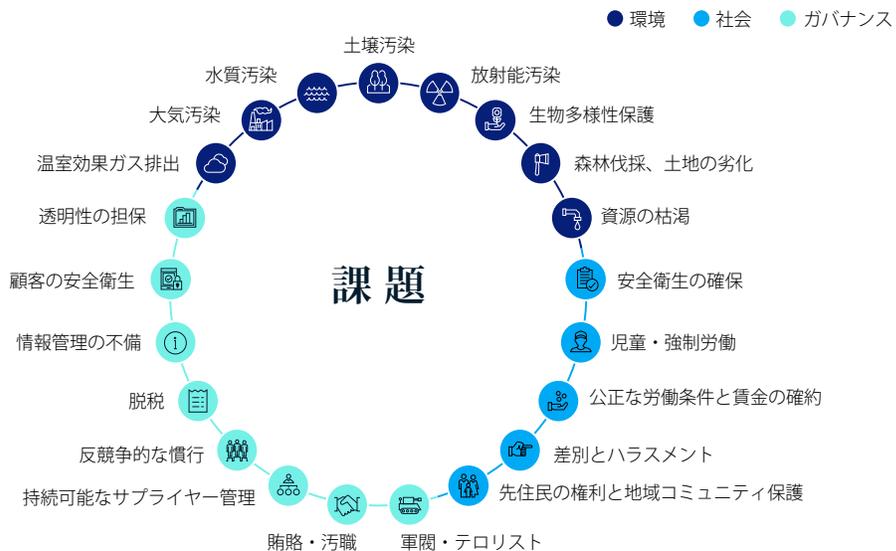
世界の電池バリューチェーンは、製造業の多くがそうであるように、環境・社会・ガバナンス (ESG) をめぐる大きな課題に直面している(図表3)。マッキンゼーは、電池バリューチェーン全体を代表するGBAのメンバーと協働して、ESG領域に関する21のリスク項目を特定した:

- 環境:** 原材料の採掘・精製、セルの製造が環境に深刻な影響を及ぼす可能性がある。具体的には、土地の劣化、生物多様性の損失、有害廃棄物の排出、水・土壌・大気汚染などが挙げられる。不適切あるいは違法なバッテリーの廃棄が、重大な有毒汚染を引き起こすリスクもあり、鉛蓄電池バリューチェーンにおける問題となっている。
- 社会:** 厳密な管理を怠ると、電池バリューチェーン上の多様なオペレーションが地域コミュニティに悪影響を

社会的・環境的に責任ある事業を実践するには、電池バリューチェーンに属する多様なステークホルダーが、ESGをめぐる一連のリスクについて検討し、対応していくことが不可欠である(コラム「持続可能性に関する電池業界の見解」を参照)。企業の取り組みを成功させるには、十分なリソースを投入することに加えて、透明性を強化し、効果的な緩和策を導入することが重要となる。バリューチェーン全体にわたるリスクを軽減するには、規制の順守および早期の計画策定が有効となる。さらに、コンプライアンスとコーポレートリスクの観点では、業務上のリスク管理とプロセスの実践にもESGの課題を織り込み、総合的な対策を実行していく必要がある。多くの企業は、コストなどの負担が大きいとみられることからESGに本格的に取り組むことを敬遠する傾向にあるが、むしろこの課題は今世紀最大のビジネスチャンスであると捉えるべきである。今こそ、守りの戦術から脱して、攻めに転換する好機といえる。

図表 3

電池バリューチェーンが直面する、環境・社会・ガバナンスに関する「21の課題」



コラム：持続可能性に関する電池業界の見解

以下に、持続可能性に関する電池業界のリーダーおよび専門家の見解を紹介する：

「マッキンゼーがグローバル・バッテリー・アライアンス (GBA) と共同で作成した『バッテリー2030』レポートを通じて、世界のバッテリー需要に関する実情に加えて、バリューチェーン全体にわたる透明性と持続可能性を大幅に強化する必要があることが明らかになった。リチウムイオン電池のバリューチェーンは、2022年～30年にかけて年間30%以上の成長を見込んでいるが、これはEVやその他のクリーンエネルギー技術の急速な普及によるところが大きい。バリューチェーンの成長には原料鉱物の生産・精製・リサイクル部門の飛躍的な拡大が必要だが、それ以上に重要なのは、ESGの観点を最優先にしながら拡大することだ。今こそ地球の生物多様性と資源を守り、世界中で人権が尊重され、より循環型かつ持続可能で公正なバリューチェーンへと移行する好機だ。我々が望むサステナブルな未来を実現するには、一致協力した取り組みが不可欠だ」

－ Benedikt Sobotka (ユーラシアン・リソース・グループ CEO)

「電池を搭載した電動化モビリティへの転換にあたって、業界構造や労働者には途方もなく大きな課題に直面するだろう。社会的な成果を実現するためには、公正な移行の概念が欠かせない。具体的には、スキル育成への投資、働きがいのある新たな仕事の創出、社会対話や労使交渉、先進国と発展途上国間のバランスの取れた価値創出を実現する仕組みの構築などが挙げられる」

－ Atle Høie (インダストリアル書記長)

「ユミコアはGBAの名誉ある創設メンバーであり、『バッテリーパスポート』プロジェクトを積極的に支援している。なぜなら、その活動が脱炭素に向けた責任ある電池サプライチェーンを目指す当社の目標と一致するからだ。EV販売の加速は、持続可能な手段で調達・製造・使用・リサイクルされる充電電池市場の成長と密接に連動している。当社は、GBAをはじめとするパートナーシップを通じて、長年にわたり蓄積してきた電池原材料やリサイクルに関する専門知識を広く共有することにより、更に高水準な取り組みを通じて真のクリーンモビリティの実現を目指していく」

－ Mathias Miedreich (ユミコア CEO)

「我々は、マッキンゼーと共同で、2030年に向けた持続可能なバッテリーに関するGBAの見解を示した最初のレポート『A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030』を2019年に発表し、その中で、電池需要や重要鉱物、更に今後求められる持続可能で倫理的な業務慣行の実践義務が劇的に変化していることを示した。しかし、当時はこれほどまでに電池需要の規模拡大と緊急性が驚くほど急激に、歴史上まれに見る速度で進行していくとは想像していなかった。今回のレポートは、今後の必要な取り組みに資する、タイムリーで斬新なデータを取り上げている。一連の変化とその急速なペースを踏まえると、GBAの活動や多様なステークホルダーによる一致協力した取り組みの重要性が、かつてないほど高まっていることが明らかだ」

－ Gillian Davidson (ユーラシアン・リソース・グループ サステナビリティ・アドバイザー、GBA取締役会長)

「GBAのメンバーは、2030年までに持続可能で循環型の、責任ある電池バリューチェーンを確立するために積極的な取り組みを展開している。我々の分析結果は、この取り組みの長期にわたる重要性を明確に示すと同時に、このビジョンを実現するニーズの緊急性も顕在化させている。GBAが推進する『バッテリーパスポート』は、電池バリューチェーンの透明性を向上させ、さらに同バリューチェーンにおける温室効果ガス排出量の段階的な削減など、持続可能性に関する成果を高めるための重要なツールである」

－ Inga Petersen (グローバル・バッテリー・アライアンス エグゼクティブ・ディレクター)

「3年前、マッキンゼーはGBAと連携し、エネルギー転換を推進するには、各社が協働して透明性の高い電池バリューチェーンを構築することが重要であることを示した。今回のレポートでは、こうした取り組みの重要性はもとより、その規模と緊急性も強調されている」

－ Guy Étlier (グローバル・バッテリー・アライアンス元取締役会長)

GBAは、電池バリューチェーンはESGの課題以外にも、大規模な経済的障壁に直面していると指摘している(図表4)。歴史的な価格高騰や極端な変動性に加えて、頻繁に変更される各国の規制により、プロジェクトの経済性に大きな影響が生じる可能性がある。さらに、電池価格の上昇により、一部の環境配慮型製品の魅力が低下してしまうリスクもあり、これにより脱炭素化の加速に必要な様々な取り組みが遅延することも考えられる。経済面での実現可能性は、業界リーダーにとって最重要課題であるが、更に複雑な課題は、電池業界における量産体制の確立と前例のないレベルの規模拡大である。

供給不足への対応

製造設備、建設資材、生産体制の拡大に必要な熟練技術者の不足などにより、多くの電池工場では大幅な生産遅延が生じている。この問題を軽減するには、サプライチェーンの垂直統合や長期契約の締結に加えて、協力体制の更なる強化が必要となる。さらに、地域社会やステークホルダーとの率直な対話や周知活動も、電池業界に対する受容や支援を喚起する原動力になると考えられる。

金属・鉱業業界は、電池を含む環境配慮型のエネルギー源への移行に求められる高品質な原材料の供給を担っている。CO2排出量の少ない持続可能な原材料を提供できる企業があれば、このような製品への需要急増を受けて、グリーンプレミアムを獲得する好機が訪れるかもしれない。ところが、需要を満たせる量の原材料を持続的に供給することが困難になるケースも考えられる。

ここで生産者側と購入者側は、原材料不足のリスクを軽減するため、経済的で透明性があり、持続可能で循環型な戦略とオペレーションを再定義する必要がある。生産者は、経済的な妥当性に基づき、成長計画を構築または再構築する必要がある。さらに、生産性向上とオペレーションの脱炭素化に向けた継続的なイノベーションに取り組むとともに、このような取り組みを川下のサプライチェーンにも浸透させるべく、多様なパートナーシップを模索していくことも重要である。

一方で購入者側は、例えば電池技術や原材料の要件に関する柔軟性を高めて技術導入計画に適応し、製品設計や原材料の活用法に関するイノベーションを加速させる必要がある。また、自社の長期的な需要予測を明確に発信することも求められる。これにより、生産者が数十億ドル規模の採掘・精製プロジェクト(一般的に20~30年スパン)に着手する際の不確実性が低減し、投資を促進することができる。

加えて購入者側は、様々な地域にわたって鉱山や精製所の候補地を特定し、その生産量や品質、環境への影響(温室効果ガスの他、すべてのプラネタリーバウンダリー)を評価することによって、戦略的かつ高水準で環境に配慮した調達を目指していくべきである。

また、十分な供給量を確保する上で、社会的リスクの分析も重要である。最後に、電池バリューチェーン全体を真に循環型なものに転換するには、戦術を改善していく

図表 4

電池業界が直面する真の課題は、導入・産業化フェーズに存在する

	<p>表面的な課題</p> <p>経済性:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 原材料とエネルギー価格の高騰と変動 • 規制対応と標準化 • インセンティブ、補助金、税金
	<p>潜在的な課題</p> <p>産業化:</p> <ul style="list-style-type: none"> • サプライチェーンにおける制約と断絶 • パートナーシップ戦略と知財保護のニーズ • 破壊的新技術の登場と不確実性 • 原材料の不足 • 能力とスキルを備えた熟練技術者のニーズ • 社会的な受容

ことも求められる。ここでは、リサイクルのように広範な循環ではなく、ライフサイクルの延長といった狭い範囲での循環が有効である。

本稿およびその基礎となったデータや分析は、官民双方のステークホルダーや投資家の計画策定に資するものになることが期待される。また、原材料の需給の不均衡に関する信頼性および透明性の高いファクトを、投資リスクの回避に活用いただきたい。

電池の製造には複数の原材料を組み合わせる必要があるが、現在、様々な圧力により十分な原材料を確保することが困難になっている。世界の採掘・精製キャパシティ関連プロジェクトについて綿密な調査を展開しているマッキンゼーのMineSpansチームは、入手可能な情報に基づいて複数の将来シナリオを作成した。2030年時点の原材料の可用性に関する「標準シナリオ」では、既存の生産キャパシティに加えて、早期の利用開始が期待できる開発中の新規供給源についても検討している。更に「最大限シナリオ」では、いまだ開発の初期段階にあるパイプラインプロジェクトの成果に加えて、技術イノベーションの成果や新たな採掘・精製キャパシティによる生産追加分も加味している。

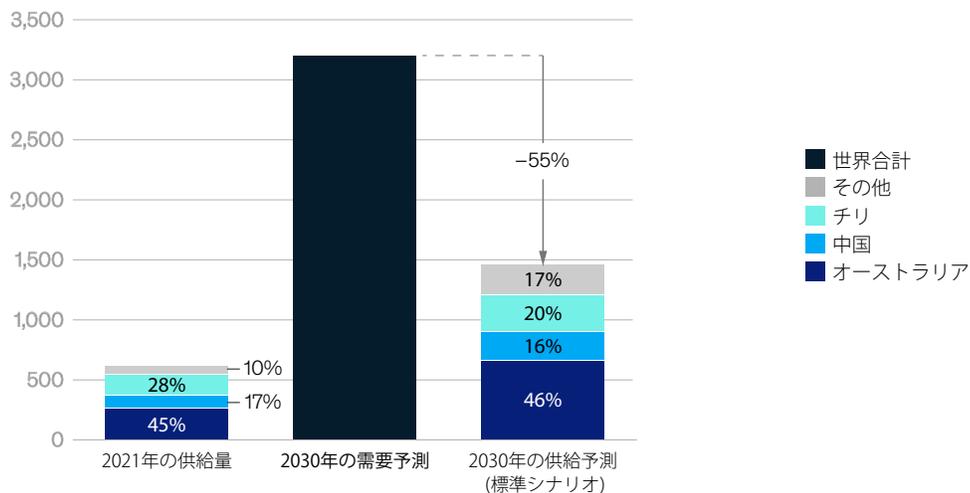
電池の原材料については、一部の原材料で供給不足になるが、他の原材料は供給過多になる可能性があり、これが調達計画の立案を困難にしている。グローバル規模で十分な供給を確保する取り組みとして、需給動向に関する透明性の向上、ボトルネック解消のための新たな採掘・精製能力の開拓、新たなキャパシティへの投資、投資収益とリスク管理の強化などが挙げられる。

リチウム: 現在、採掘されたリチウムの60%近くが電池向けとなっており、この数字が2030年までに95%に達する見込みである。リチウム埋蔵量の分布はバランスが良く、理論上は電池需要に十分対応できるはずであるが、高グレードの鉱床は、主にアルゼンチン、オーストラリア、チリ、中国に限定されている(図表5)。このため、リチウム比率の高い電池への技術シフトに伴い、今後は更にリチウム採掘の規模を拡大していく必要があるとみられる。2030年のリチウム需要を満たすには、各ステークホルダーが最大限シナリオを目指すべきである。このシナリオでは、現在公表されているパイプラインのほぼすべてのプロジェクトを織り込んでおり、その実現には採掘プロジェクトへの多額の追加投資が必要になる。また、この最大限シナリオでは、リチウム金属に代わってシリコンアノードを活用するなど、よりスマートなテクノロジーを選択することが重視されている。

図表 5

新たな生産プロジェクトを開発しない限り、極端なリチウム不足に陥る可能性がある

炭酸リチウムの世界の需要予測(2030年)および国別供給量(2021年、2030年予測) 単位: kt



資料:マッキンゼーMineSpans (<https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/how-we-help-clients/minespans/overview>)

ニッケル: ニッケルの埋蔵量は、インドネシア、フィリピン、ニューカレドニアのほかオーストラリア、カナダ、ロシアなど多くの国に分散している(図表6)。マッキンゼーによる標準シナリオの予測では、近年のリン酸鉄リチウム(LFP)化学への移行、および採掘キャパシティの増強計画を受け、2030年のニッケル不足はごくわずかにとどまる見通しである。また最大限シナリオの予測では、ステークホルダーが計画通りの採掘・精錬能力に到達した場合には、ニッケルが大幅な供給過剰となると予測している。しかし、品質要件(合金でクラス2ではなくクラス1のニッケルが必要になるなど)に加えて、鉱山のある地域に限られているため、各社に十分な供給量が行き渡るようになるまでには依然として困難な状況が続く可能性がある。今後、供給がどのように推移するかに関わりなく、電池業界が向き合うべき重大な課題が一つある。それは「持続可能なニッケルをどのように調達すべきか」ということである。この問いへの答えを模索するにあたっては、企業はアセットごとのCO2排出度合いの差を考慮する必要がある。

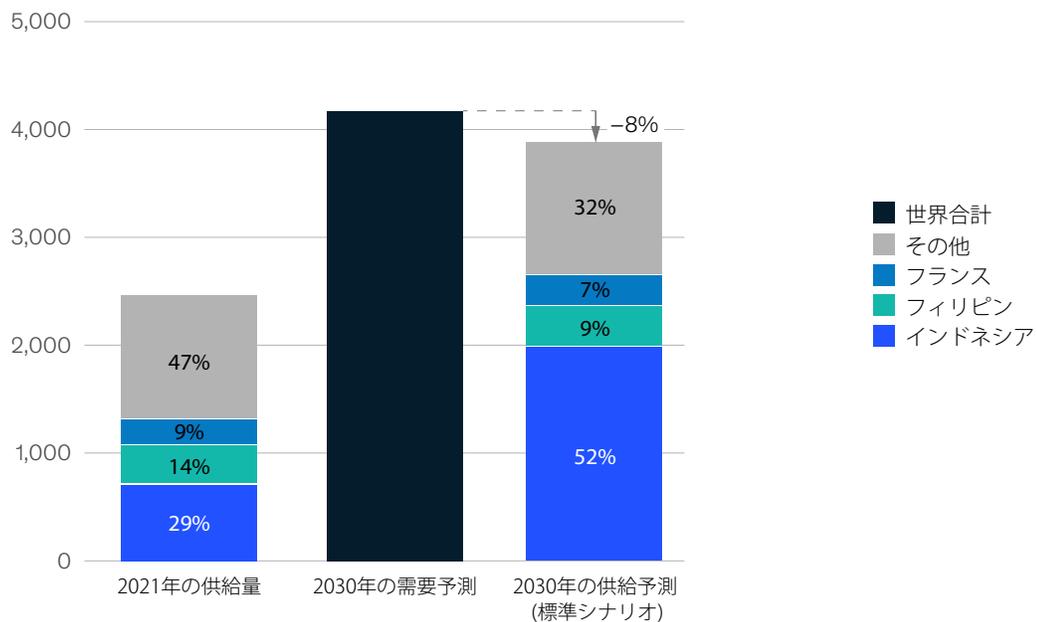
コバルト: 現在採掘されているコバルトの約75%はコンゴ民主共和国(DRC)産で、その大部分が銅生産の際に生じる副産物である(図表7)。残りは主にニッケル生産から得られる副産物である。今後、電池のコバルト含有率が減少することに加え、供給量は増加すると予想される。これは、DRCにおける銅の採掘量と、東南アジアを中心としたニッケル採掘量の増加によるものである。このため、コバルトの供給不足が生じることは考えにくい。あくまでも副産物であるゆえに、その供給量と価格は今後も変動的となる可能性がある。

マンガン: マンガンについては、生産能力増強に関する発表がないため、供給量は2030年まで安定して推移するものとみられる(図表8)。マンガン需要は今後わずかに増加する可能性があり、これを受けて標準シナリオでは若干の供給不足を予測している。リン酸マンガン鉄リチウム(LMFP)電池のカソード材は、特に商用車セグメントで市場シェアの拡大が予測されている。したがって、電池業界は、マンガンの需要予測には一定の不確実性がある点に留意しておくべきである。

図表6

現行のプロジェクトでは、2030年のニッケルの供給不足はわずかにとどまる

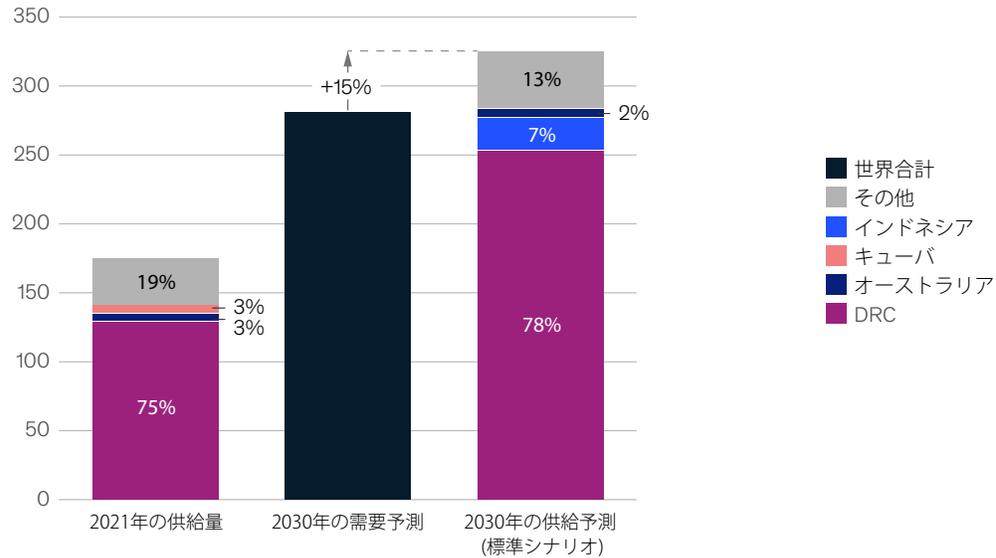
ニッケルの世界の需要予測(2030年)および国別供給量(2021年、2030年予測) 単位: kt



図表 7

市場でのコバルト低含有カソード材のシェア拡大を受け、
コバルトの供給は過剰気味となる

コバルトの世界の需要予測 (2030年)および国別供給量 (2021年、2030年予測) 単位: kt

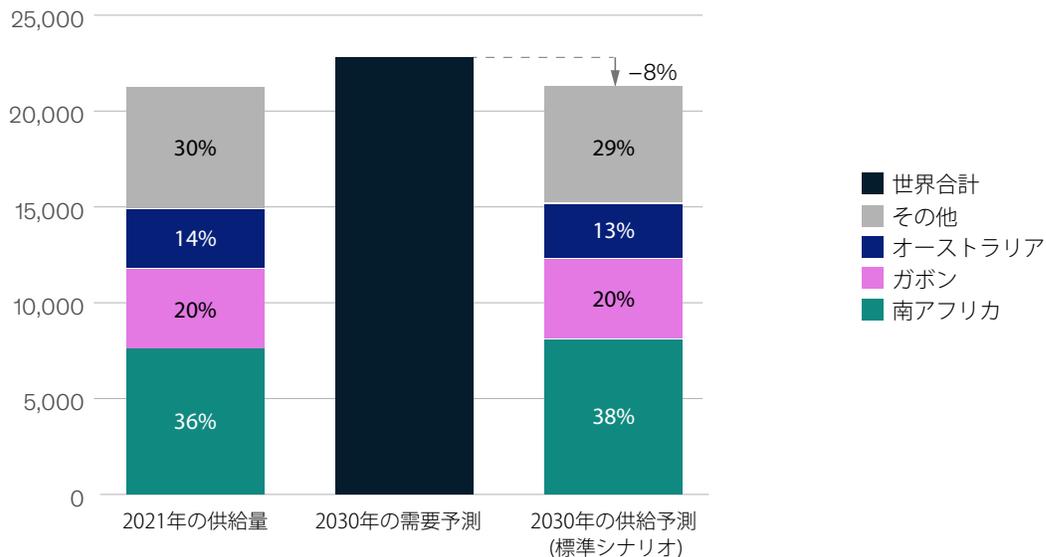


資料:マッキンゼーMineSpans

図表 8

マンガンの需要は、供給をやや上回る見込み

コバルトの世界の需要予測 (2030年)および国別供給量 (2021年、2030年予測) 単位: kt



資料:マッキンゼーMineSpans

温室効果ガス排出量の削減

バッテリー式電気自動車 (BEV) は、ライフサイクル全体を通して温室効果ガス排出量が多いという点で批判の対象になりやすい。ところが、我々のモデルでは、走行距離や生産時および充電に使用する電力網の排出量などの各種要因により結果は大きく異なるものの、BEVが乗用車の中で最も有効な脱炭素化の手段であることが示されている。

我々の試算によると、現在のBEVの生涯排出量はICE車を大幅に下回っている。これは、使用段階(車両が道路上を走行している時)での排出量が少ないためである(図表9)。BEVが低炭素電力を使用しない最悪のシナリオ下でも、BEVの生涯排出量はICE車より欧州で約50%、米国で72%下回る。使用段階にて低炭素電力で充電を行った場合には更に減少し、ICE車より欧州で約77%、米国で88%下回る。このようにBEVはライフサイクル全体の排出量ではICE車より優れているが、一方で、1台当たりの原材料や製造段階での排出量についてはICE車の2倍になる。

使用前段階の温室効果ガス排出量は、充電に使用する電力網にもよるが、BEVの生涯排出量の40~95%を占めている。したがって、主に電池、アルミニウム、鉄鋼など

の製造工程において脱炭素化を図ることは、ICE車よりもBEVにとって重要な要素となる。

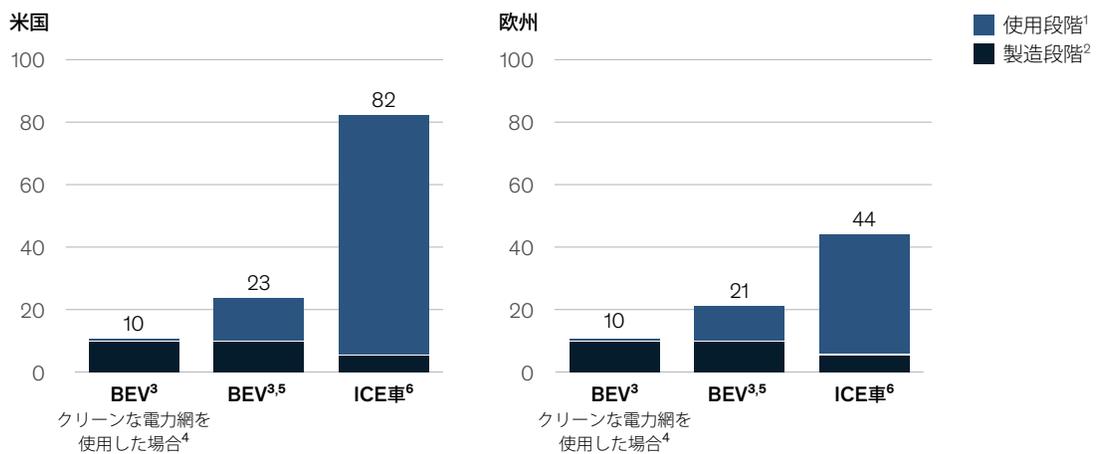
今後5~7年間に、意欲的な企業であれば電池製造から生じるCO2排出量を最大90%まで削減できる可能性がある。しかし、その実現には、バリューチェーン全体を変革する必要がある。

排出削減に寄与する施策は多岐にわたる。我々の「最良シナリオ」では、コスト削減が可能な施策もあれば、大規模な出費を伴うものもあるが、有利な条件下であれば、最小限のコストを上乗せするだけで、排出量の最大80%を脱炭素化できる可能性がある(図表10)。低炭素電池のコスト競争力を見極める際の検討材料として、製造拠点、対象市場、およびその炭素価格や顧客需要、グリーンプレミアム(低炭素製品の追加コスト)に対する支払い意欲などが挙げられる。

最も効果の高い脱炭素化施策は、循環型の素材や低炭素電力を活用することである。しかし、コスト面のメリットについては、主に再生可能電力の固定価格買取制度や各種補助金、利用可能な原材料などにより幅が生じる。

図表9
BEVの生涯排出量はICE車を下回る

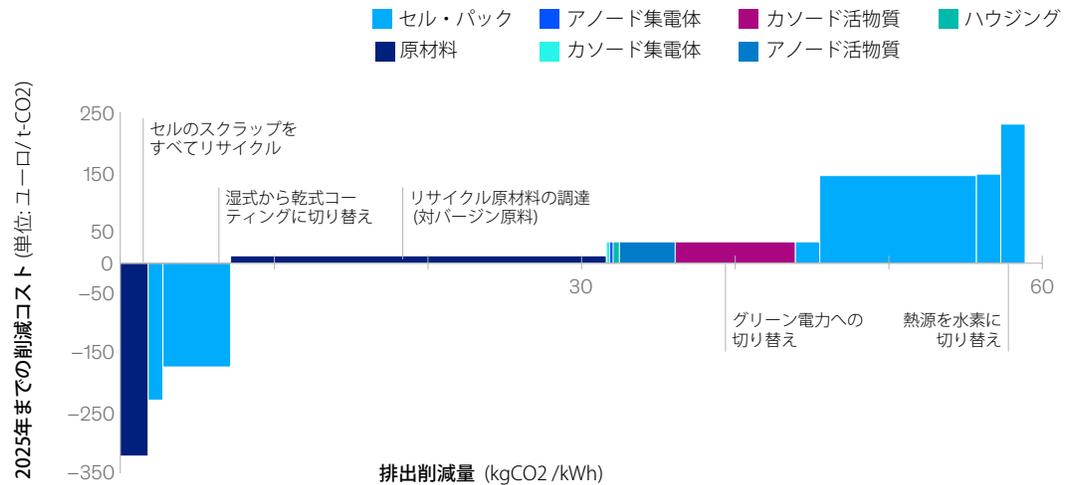
パートレイン別のCO2e生涯排出量 (CO2換算トン)



¹ 使用段階の走行距離は24万3,000kmと推定
² 製造段階の排出量基準はCセグメント車の世界平均に基づく
³ BEVの充電ロス率を10%とする
⁴ 使用段階でクリーンな電力網を使用したと仮定。グリーンスチール、クリーン電池カソードおよびアノード材などによる上乗せ排出削減量を除く
⁵ BEVの平均電力消費量は100km当たり15kWhと仮定、発電量は2021年のEUおよび米国のエネルギー構成に基づく
⁶ 米国の平均的なICE車のCO2e排出量である1マイル当たり509gで算出
 資料:マッキンゼー・センター・フォー・フューチャー・モビリティ、マッキンゼー・サステナビリティ・インサイト

図表10

NMC¹電池の場合、大半のCO₂炭素削減策は tCO₂当たり50ユーロ未満で導入できる



¹正極材にニッケル・マンガン・コバルトを使用

²あるNMC電池メーカーの購買製品の排出量。サプライヤーの拠点はすべて中国と想定。

スコープ3の排出量は、メーカーが直接所有・管理をしない領域での活動によるもので、バリューチェーンに間接的な影響を及ぼす

資料: マッキンゼーCatalyst Zero (2022年)、マッキンゼーMineLens (2022年)、マッキンゼー分析 (2025年の予測)

技術の進歩

最近の電池技術の進歩には、セルのエネルギー密度の向上、全固体電池をはじめとする新たな活物質、電極の乾式コーティングやセル・ツー・パック設計など、電池本体と包装材の製造技術の向上などがある(図表11)。

電池メーカーが投資判断を下す際には、このような先進技術への対応も考慮すべき課題となる。自社のアプリケーションに最適な電池技術を選択した後は、その技術に適した原材料を迅速に川上から確保し、更にその部材に適した装置・機器を川中で調達する必要がある。また、一連のプロジェクトに不可欠な人材も確保しなければならない。

一方で、様々なメーカーが提供するセル技術やフォームファクターに関する不確実性も、電池のアフターセールスや修理、保守に関するコストの複雑性およびリスクを高める要因となっている。自動車メーカーは、車両の保証期間(一般的には8年間)を過ぎてもEV用電池モジュールとパックを低コストで交換できる体制を整えておく必要があるであろう。

このような不確実性を克服するには、電池メーカーは慎重に投資計画を立て、グリーンボンドや補助金など、外部からの資金調達機会を模索していくことが求められる。同時に、製造拠点の計画立案、生産ラインの即応性や順応性の維持に向けた短・長期的なコスト最適化、革新的な新技術への投資など、他の重要な取り組みも遂行すべきである。

図表11

電池業界のイノベーションは、あらゆる電池部品に影響を与える

主な電池部材とフォームファクター

	2010年代		2020年代		2030年代	
1 カソード	LCO ¹	LMO ² LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵	LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵	LFP ³ NMC ⁴ /NCA ⁵ LMFP ⁶ /LMNO ⁷	NMC ⁴ /NCA ⁵ LMFP ⁶ /LMNO ⁷ 硫黄	LMFP ⁶ /LMNO ⁷ 硫黄
2 セパレーター / 電解液	ポリマー / 液体	ポリマー / 液体	ポリマー / 液体	ポリマー / 液体	ポリマー / 液体 次世代電解液 半固体	次世代電解液 半固体 固体
3 アノード	黒鉛	黒鉛	黒鉛	黒鉛 黒鉛+シリコン	黒鉛+シリコン リチウム金属 シリコンアノード	リチウム金属 シリコンアノード
4 筐体	円筒型	円筒型 パウチ	角型 円筒型 パウチ	角型 円筒型 パウチ	円筒型 パウチ 角型	円筒型 パウチ

¹LCO: コバルト酸リチウム

²LMO: マンガン酸リチウム

³LFP: リン酸鉄リチウムイオン

⁴NMC: ニッケル・マンガン・コバルト

⁵NCA: ニッケル・コバルト・アルミニウム

⁶LMFP: リン酸マンガン鉄リチウム

⁷LMNO: ニッケルマンガン酸リチウム

資料:マッキンゼー・バッテリー・インサイト

バッテリー2030：強靱で持続可能な循環型のバリューチェーンの構築

2030年における電池バリューチェーンの見通しは、相互依存的な3つの要素に大きく左右される(図表12):

- サプライチェーンの強靱化:** 電池バリューチェーンは、現地化および多様化することで強靱性を高めることができる。そのためには、各地域の電池需要の90%以上、活物質需要の80%以上、精製材需要の60%以上を域内で調達できることが望ましいと我々は考えている。主な原産地が1カ所に集中する原材料(コバルトなど)については、リサイクルすることで他国への依存を軽減できる。今後は、EU電池規則(2023年8月発効)が定めた主要材料のリサイクル率80%という目標が、2030年に向けて世界共通の目標となる可能性がある。電池業界のバリューチェーンを通じて既存の雇用を維持し、また新たな雇用を創出する

ことにより、2030年には最大で1,800万人の雇用創出に貢献できる。これは我々の2019年時点の推計を80%上回っているが、これは2030年時点の電池需要が前回予測よりも拡大しているためである。

- 持続可能性の実現への注力:** 電池は、モビリティをはじめとするあらゆる産業の脱炭素化に不可欠なツールであり、不可逆的な気候転換点を回避するためには、脱炭素化が急務となっている。電池の革新により、道路交通部門単独でも、2021~50年の温室効果ガス累積排出量を最大70Gt相当のCO2を削減できる可能性がある。しかし、電池業界はその信頼性を維持するため、自らの脱炭素化に優先的に取り組むことが求められる。我々の分析によれば、原材料と製造段階の排出量は、2030年までにセルレベルで1kWh当たり90%の削減が可能である。またパックレベルでの排出削減は、主にアルミニウム、鉄、プラスチックの生産における脱炭素化の成果にかかっている。

図表12

我々の2030年のビジョンは、強靱で持続可能な循環型の電池バリューチェーンを構築することである



社会的な価値を高める
強靱なサプライチェーン

6

国内需要の大半を満たせる
大規模な電池バリューチェーンを持つ
大陸数



持続可能性を推進する
業界の取り組み

-90%

電池生産量1kWh当たりの
カーボンフットプリント削減率
(2030年対2022年)



革新的な技術を醸成する
循環型のバリューチェーン

60億ドル

盤石なリサイクルエコシステムを
通じた収益の拡大幅
(2022~2040年)

グローバル電池バリューチェーンの規模拡大により、
約1,800万人分の雇用(既存および新規)創出に加えて、
2021~50年における道路交通部門の累積排出量を約70GtCO₂e¹削減することができる

¹GtCO₂e = 二酸化炭素換算10億トン
資料: マッキンゼー

また、電池業界はストックホルム・レジリエンス・センター (SRC) が定義・定量化した9つのプラネタリーバウンダリー(「地球の限界」)において、意欲的な改善目標を設定することで、持続可能性を推進し得る。この9つのプラネタリーバウンダリーとは、淡水変化、成層圏オゾン層の破壊、大気エアロゾルの負荷、海洋酸性化、生物地球化学的循環、新規化学物質、土地利用変化、生物圏の一体性、気候変動である。真の持続可能性を実現するには、これらの社会・行政上の課題を大幅に改善していかなければならない。

— **循環型バリューチェーンの構築:** 電池業界は、大量生産・大量消費型の直線的なバリューチェーンから、使用済み原材料を修理・リユース・リサイクルする循環型のバリューチェーンへ移行すべきである。この変革的なアプローチでは、莫大な経済的効果が期待でき、スクラップのリサイクルなどは、既に実用段階にある。ステークホルダーが循環型バリューチェーンの

ポテンシャルを最大限に生かすには、業界を超えた大規模な取り組みと連携が不可欠である。また、持続可能かつコスト面でも実行可能なアプリケーションを模索したり、革新的なテクノロジーを活用したりすることも、循環性の向上が期待できる。

電池業界は、その成長が、少なくとも人・製品・経済の基本的なニーズを満たすことに貢献し得るようなものとしなければならない。そのために重要となるのが、社会福祉、インクルーシブな価値創造、国際法の遵守、人権の尊重、耐久性と性能に優れた製品の開発、事業の経済的な持続可能性などを推進する活動を展開することである。円滑に機能するバリューチェーンを構築するには、このような分野での取り組みを適切に行うことが求められる。電池業界の真の持続可能性は、ストックホルム・レジリエンス・センター (SRC) が定義・定量化した、9つのプラネタリーバウンダリーを超えない場合に限り実現できる。

我々は、世界の電池バリューチェーンに関する豊富な経験に基づき、2030年のビジョンに向けた変革の成功要因として10項目を特定した(図表13)。このビジョンは、電池業界を通じて、強靱で持続可能な循環型の未来を創造する道筋を示すものである。

セカンドライフアプリケーションなどの循環型ビジネスモデルを導入することで、企業は新たな価値を創出できる可能性がある。もしこのような選択肢がない場合は、電池のリサイクルが鍵となる。循環性の実現には、多様な業界を横断した連携とパートナーシップ、ならびにデータの透明性と統一した基準が不可欠である。

バリューチェーンの循環性の確立:

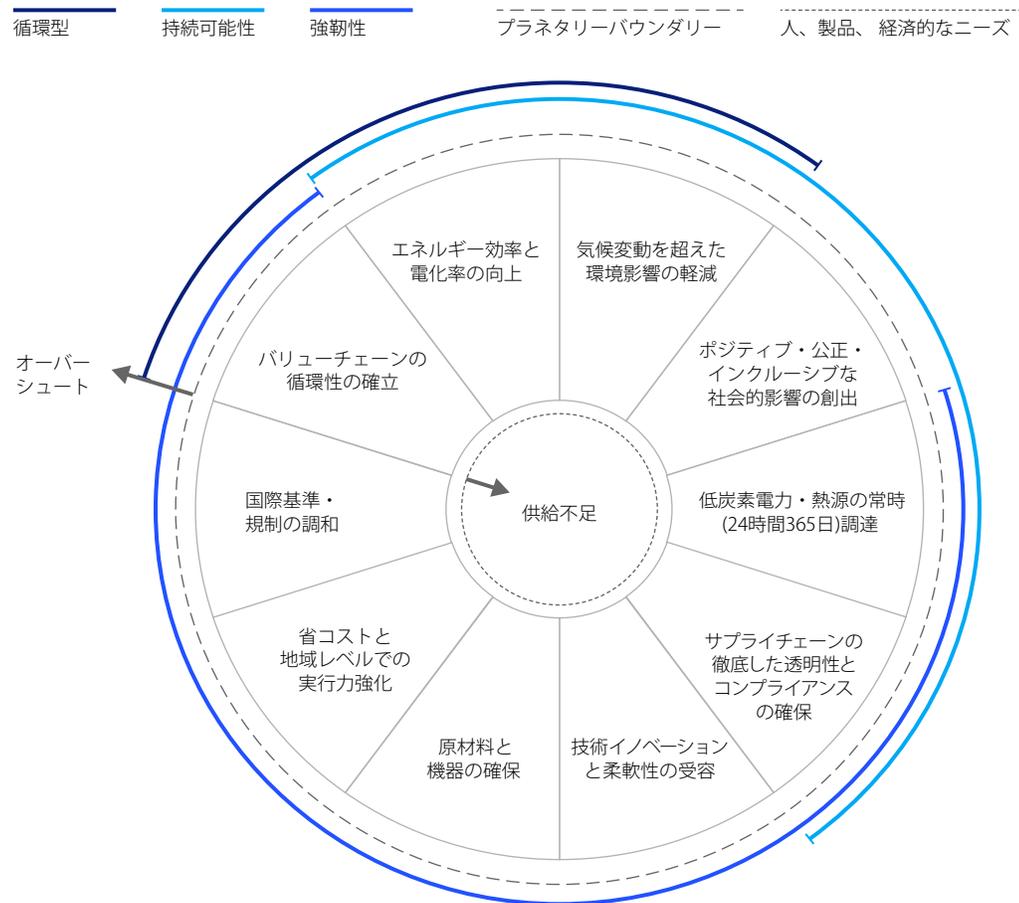
バリューチェーン全体にわたって循環性を確立することにより、供給不足や価格変動に対する強靱性を高めることができる。また同時に、電池の廃棄物処理に関するリスクも軽減できる。「バッテリー・アズ・ア・サービス(BaaS)」や「モビリティ・アズ・ア・サービス(MaaS)」、修理、改修、

エネルギー効率と電化率の向上:

現在建設中の大半の大規模工場は、2030年以降、長期にわたり稼働していくことになる。このため、建物の断熱や熱回収機能などを通じたエネルギー効率の向上が極めて重要となってくる。

図表13

「強靱で持続可能な循環型バリューチェーン」を2030年までに構築するために、10項目の成功要因を特定した



資料: 2015年のScience誌の記事「Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet」(Will Steffen et al)、2018年のNature Sustainability誌の記事「A good life for all within planetary boundaries」(Daniel W. O'Neil et al)を参考に、マッキンゼー・サステナビリティ・インサイトが作成

気候変動を超えた環境影響の軽減:

真に包括的なアプローチとするには、低炭素電池の生産を超えた取り組みでなければならない。業界の各ステークホルダーは、多様なプラネタリーバウンダリーを念頭に置きながら、世界の電池バリューチェーンを通じて真にプラスの環境成果を実現する必要がある。2022年に採択された「昆明・モンリオール生物多様性枠組」(目標として、2030年までに地球上の陸地の30%を保全することなどを設定)は、自然生息地を保護する世界規模の取り組みとして画期的なものである。気候変動との闘いにおいて、パリ協定に匹敵する枠組みとなり、この枠組みを順守することが極めて重要となる。

ポジティブ・公正・インクルーシブな社会的影響の創出:

電池業界は、健全、安全、公正な取引基準、人権、インクルーシブな対話を重視することにより、市場規模の拡大と足並みを揃えて、世界各地の様々な地域社会にプラスの影響をもたらすことができる。この取り組みについては、GBAが様々なルールブックを公表している。

低炭素電力・熱源の常時(24時間365日)調達:

長期エネルギー貯蔵協議会(LDES)とマッキンゼーは、2022年のレポートの中で、従来型のクリーン電力購入契約では購入サイドの消費電力のうち、40~70%の脱炭素化を実現するのが限界であり、再生可能エネルギーの変動性に起因する市場価格のリスクにもさらされると報告している。この課題の克服に期待できるのが、時間的マッチングを行うグリーンエネルギーソリューションである。長期貯蔵テクノロジーにより実現したこのソリューションを活用すれば、1年を通して常時、電力および熱の需要と供給を均衡させることが可能になる。時間的マッチングによりクリーンエネルギーを調達して、すべてのニーズに対応できれば、たとえエネルギー需要が拡大しても電池業界は電力網の脱炭素化を最前線でリードしていくことができる。

サプライチェーンの徹底した透明性とコンプライアンスの確保:

データの可用性と透明性は、電池業界が目指す成長とESG目標を達成する上での基本要件であり、データの整合性や信頼性の高さも不可欠である。このテーマについては、グローバル・バッテリー・アライアンスが推進する「バッテリーパスポート」が参考になる。

技術イノベーションと柔軟性の受容:

セルメーカーや自動車メーカーがテクノロジーやプロセスの最適化、モジュール化の分野をリードするには、市場動向を正確に把握して臨機応変に対応し、有望なイノベーションを積極的に取り入れることが求められる。

原材料と機器の確保:

十分な供給量を確保するには、各社で原材料および設備機器メーカーとの長期契約や共同出資、買収、ストリーミング契約などの選択肢を検討する必要がある。このような契約により、建設資材、熟練労働者、機器の供給不足を回避でき、また、新たな生産施設の建設プロジェクトで現在頻繁に発生している大幅な遅延も軽減できると考えられる。加えて、計画通りにプロジェクトを実行するには、資本調達手段の確保、許認可手続きに向けた計画策定と実行、輸出入に関する様々な規制や手続きへの対応などが求められる。

省コストと地域レベルでの実行力強化:

電池の生産コスト・効率、必要な設備投資額は、過去10年間で大幅に減少した。競争力を維持していくには、今後も更なる改善を目指した取り組みが必要である。

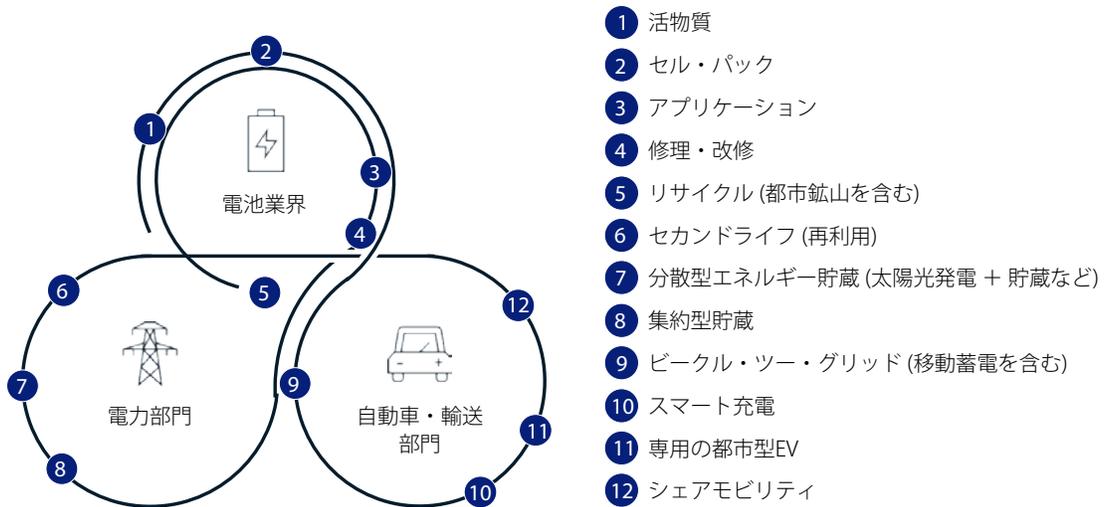
国際基準・規制の調和:

製造基準や現地規制のばらつきが、コストの上昇と早期の事業拡大を阻む障壁となり得る。GBAのメンバーは、グローバル規模の成長を実現する上で、基準・規制の調和が重要な目標の一つと考えている。調和に向けたプロセスにおいては、官民連携や業界内のアライアンスを通じて、多方面のステークホルダー間で対話を活発化させていくことが重要となる。

様々な点で、現在の電池業界のバリューチェーンは、依然として製品が使用後に廃棄されてしまう直線的なものとなっている。それでも、原材料のリユースやリサイクルを重視する循環型のバリューチェーンを構築できれば、温室効果ガスの排出量削減や更なる経済価値を創出できる可能性がある(図表14)。

図表14

電池バリューチェーンは、直線型から循環型へと転換し得る



資料:マッキンゼー・バッテリー・インサイト(2022年)

循環型の電池バリューチェーンであれば、輸送部門と電力部門を効率的に結びつけることができる。また、排出削減を通じて気温の上昇を産業革命前の水準から1.5°C以内に抑制するという環境目標(1.5°C目標)の達成に向けて、2025年以降に控えた代替エネルギー源(水素やパワー・ツー・リキッド[PtL]など)への移行を推進する基盤となる。持続可能性をめぐる議論が新型コロナウイルスのパンデミック期間中に急速に活発化した一方で、2021年と2022年には世界のCO2排出量が過去最高を記録している。また、1.5°C目標の達成に向けて排出が許容される炭素量(カーボンバジェット、炭素予算)があと6年ほどで枯渇するという深刻な状況に鑑みると、排出削減への取り組みが喫緊の課題となる。

各国の現行の規制は循環型経済を奨励しており、このモデルへの移行によるメリットも多い。一例を挙げると、電池メーカーは、原材料の供給不足によるボトルネックが発生する頻度を減少し得る。また、循環性の実現により、企業がバージン原料の採掘・精製を行う頻度が減ることで環境保全にも貢献できる。経済的な観点からみても、使用済み電池に含まれる原材料を再利用することで、新たな価値の獲得も期待できる。

さらに、デジタル技術を活用して、電池や重要な原材料をライフサイクルの終点まで追跡し、効率的なエコシステムの構築に求められる透明性の確保およびデータ管理を可能にすることで、循環性を向上させることができる。

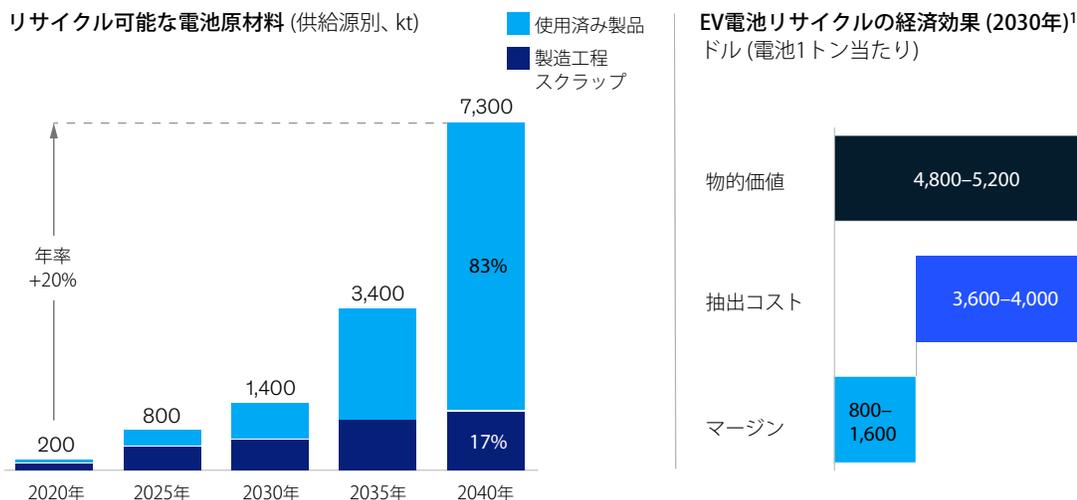
リサイクルの促進

電池市場の成熟に伴い、電池メーカーはリサイクルを通じて新たなビジネス機会を創出し得る。企業がクローズドループの国内サプライチェーンを構築すれば、その中で使用済みリチウムイオン電池の回収、リサイクル、再利用、修理をすべてカバーできるようになる。リサイクル業界単独でも、2040年までに60億ドルの利益プールを生み出せるとみられ、この時点で、2030年時点の収益の3倍以上に相当する400億ドル以上の収益を見込める(図表15)。

現在のリサイクルビジネスのモデルはコストが高く、その成否は電池の設計やプロセス品質、市場における供給や原材料需要の変化など、多様な要因に大きく左右される。加えて、電池原材料の入手可能性の制約や非効率的なプロセス、未熟な技術に起因する歩留まり率の低さなど、

図表15

リサイクルが電池メーカーにもたらす新たな機会の可能性



¹全電池タイプの平均
資料: マッキンゼーバッテリーインサイト

運用上の諸課題もリサイクル分野における根強い障壁となっている。

規制によるインセンティブや、各社が持続可能性に関する目標を自ら設定することがリサイクル強化に向けた取り組みの強力な後押しとなり、電池バリューチェーン全体にわたって、原材料へのアクセスや技術プロセス、戦略的パートナーシップの最適化が推進されることが期待できる。また、鉛蓄電池のリサイクルから得た知識を有効活用することでも、リサイクルの成果を高められると考えられる。

バリューチェーン内の地域格差

電池バリューチェーンの深度と集約度は国・地域によりばらつきがある(図表16)。中国では成熟したセグメントが多い一方で、欧州、米国、その他の主要市場では、セルのサプライヤーが生産能力を拡大し、現地自動車メーカーとの距離を縮めようとしている。直近の規制変更の影響もあり、2030年にはこのような新たな拠点が世界の生産能力の40%前後をカバーすることになるとみられる。現在、世界で公表されているリチウムイオン電池工場の生産能力は我々の市場需要予測を上回っているものの、

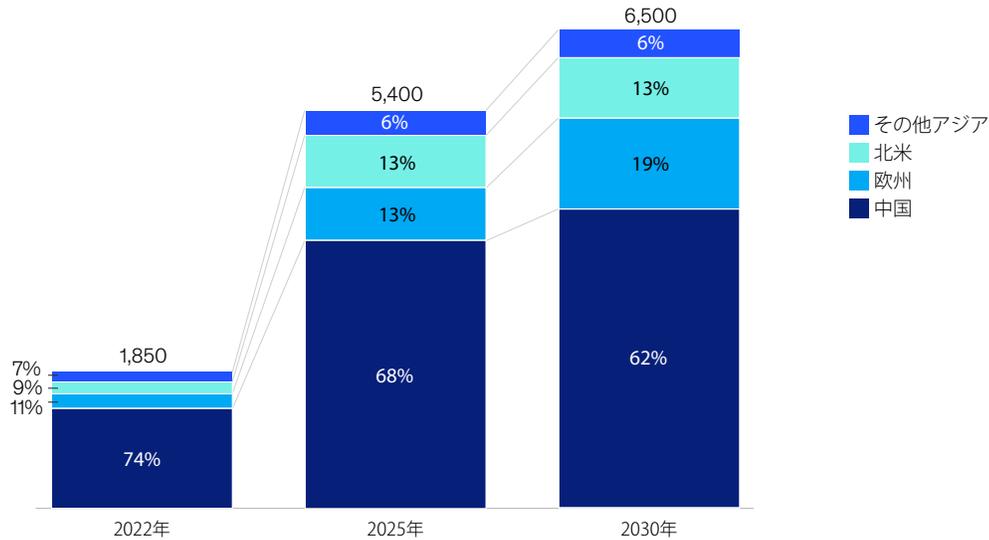
複数の根拠に基づくと、一時的な供給のボトルネックが発生する可能性がある。その要因として、例えば、公表された生産計画がすべて実行されるとは限らないことや、生産ラインがフル稼働しない可能性があること、また計画が遅延するケースが多いことなどが挙げられる。また、電池製品の調達契約は変動型のスポット市場ではなく、長期契約に基づくものが多いため、柔軟な需要変動や単価調整に追従することが困難である。中国では、現地での需要が拡大しているにもかかわらず、今後も生産能力の過剰な状態が続くと予想され、一方で欧州や北米では、域内の電池需要をすべて満たすことが難しくなる局面も訪れるとみられる。

地域を問わず、新たな生産拠点の建設を発表している企業は多いが、域内の市場拡大には様々な課題が伴う。地域ごとの原材料の入手可能性を踏まえると、川上のサプライチェーン管理は引き続き不可欠となる。電池製造に関するサプライチェーンの現地化を望む企業は、リスク軽減策として、垂直統合や川上の現地化、戦略的パートナーシップの締結、製造拡大に向けた厳格な計画策定などに取り組むことが重要となる。

図表16

世界の電池セル生産能力の拡大計画によると、 欧州と北米において現地化が進展していることが示唆される

公表されているリチウムイオン電池の地域別生産能力 (GWh/年)



資料:マッキンゼー・バッテリー・インサイト

電池バリューチェーンは、現在、かつてない規模で急速に成長していることから、大きな機会と課題の両方に直面している。おそらく、この極めて複雑でグローバル規模の電池バリューチェーンがこれまで経験した中で、最も野心的な市場規模拡大への挑戦およびESG変革となるであろう。この挑戦を成功させるには、各施策の厳格な実施、業界横断的な連携、技術革新、官民パートナーシップ、多様な研究活動の推進などが求められる。これらの取り組みが成功すれば、電池業界は2030年までに4,000億ドル以上の

バリューチェーン収益を獲得し、バリューチェーン全体で最大1,800万人分の雇用を創出し、更に2021~50年までの間に道路輸送による累積排出量を約70GtCO₂e削減できると予測されている。

世界中で、強靱で持続可能な循環型の電池バリューチェーンを構築するという目標は、実現可能であるだけでなく、持続可能でインクルーシブな成長を実現する上で、極めて価値の高いものとなる。我々はそう確信している。

著者

ジェイコブ・フライシュマン (パートナー、マッキンゼー・ミュンヘンオフィス)

パトリック・シャウフス (パートナー、同オフィス)

マーティン・リンダー (シニアパートナー、同オフィス)

ミカエル・ハニッケ (シニアパートナー、マッキンゼー・ヨーテボリオフィス)

エヴァン・ホレツキ (パートナー、マッキンゼー・ストックホルムオフィス)

ディナ・イブヒム (コンサルタント、マッキンゼー・ロンドンオフィス)

ソレン・ヤウテラト (パートナー、マッキンゼー・シュトゥットガルトオフィス)

ルーカス・トルシュト (コンサルタント、同オフィス)

アレクサンダー・ヴァン・デ・レイ (アソシエイトパートナー、同オフィス)

監訳・監修

住川武人 (シニアパートナー、マッキンゼー・東京オフィス)

山科拓也 (パートナー、マッキンゼー・関西オフィス)

桂さゆ里 (C&Iスペシャリスト)

小泉正剛 (エンゲージメントマネジャー)

村木勇也 (エンゲージメントマネジャー)

本稿の執筆にあたり、グローバル・バッテリー・アライアンスとそのメンバー各位より、実践的なインサイトおよび専門知識の提供を受けた。著者一同より、ここに深く感謝の意を表する。

マッキンゼーとグローバル・バッテリー・アライアンスは、初の共同レポートとなる「A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation」を2019年に発表して以来、様々な共同活動を展開している。また、以下の各位による本稿への寄与に謝意を表す: Marcelo Azevedo、Nicolò Campagnol、Bernd Heid、Russell Hensley、Patrick Hertzke、Evan Horetsky、Raphael Rettig、Daniel Schmid、Markus Wilthaner、Ting Wu。最後に、マッキンゼーの自動車、持続可能性、グローバルエネルギー、素材に関する各研究グループ、およびマッキンゼーのMineSpans、Battery Insights、Sustainability Insights、McKinsey Platform for Climate Technologies、McKinsey Center for Future Mobilityのメンバーから寄せられた知見や支援にも謝意を表す。

Copyright © 2023 McKinsey & Company. All rights reserved.