



蓄電池によるグリーン

トランスフォーメーション(GX)

アジェンダ4ー車載用蓄電池の市場動向と社会システム変革の方向性

アジェンダ4

ー車載用蓄電池の市場動向と社会システム変革の方向性

1. はじめに	3
2. 2030年までに16倍となる車載用蓄電池市場	3
3. BEV化が抱える3つの不確実性	3
4. 車載用蓄電池に係る「社会システム変革」	4
5. 乗用車と貨物車で異なる蓄電池課題	5
6. 全固体電池を待たずして実現するBEV活用	9
7. 性能競争から蓄電池循環へ	11



1. はじめに

電気自動車(内燃機関を搭載しない電気のみで走行するEV。以下、BEVと記載)の普及が急伸する見通しの中、特にリチウムイオン二次電池の今後を検討する上で、車載用途が与える影響を無視することはできない。さらに、燃料製造時のCO₂排出量低減に向けては再生可能エネルギー由来の電力を用いた充電が求められる他、資源獲得からリユース・リサイクルまでの蓄電池バリューチェーン全体でLCA(Life Cycle Assessment)観点でもCO₂排出量低減が求められるなど、車載用途を起点とした「社会システム変革」が求められる。

本稿では、上記変革の背景となるBEV普及と変革の方向性を論じたい。

なお、本稿は国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業により得られた結果に、一部加筆を行ったものである。

2. 2030年までに16倍となる車載用蓄電池市場

自動車産業では、環境負荷低減や産業振興を大義としてBEV化が進行しており、2030年の主要国における車載用電池市場は、後述のとおり現状の16倍となる見通しである。

BEV化を加速させている要因としては、政策的な追い風が大きい。主に欧州が主導する燃費・排ガス規制、米国・カリフォルニアをはじめとする13州で主要完成車メーカーに一定のBEV販売を課すZEV(Zero emission Vehicle)規制、さらに産業振興の狙いも兼ねて中国国内の主要完成車メーカーに一定のBEV生産を課すNEV(New energy Vehicle)規制が導入されている。併せてBEVに対する補助金が導入されるなど、「アメとムチ」が提供されている。IEAが2023年4月に公表した「Global EV Outlook 2023」に基づく、世界中の政府による全ての気候変動に関する公約が完全かつ期限内に達成されると仮定したAnnounced Pledges Scenario(APSシナリオ)の場合、2030年のBEV販売台数は4,500万台に達すると見られている。

上記のような普及に向けた規制・助成を背景に、経済産業省の蓄電池産業戦略検討官民協議会が2022年8月に公表した蓄電池産業戦略に基づく、車載用蓄電池市場も現状の200GWhから2030年までに3,294GWh規模に達する見通しである。

3. BEV化が抱える3つの不確実性

BEV化は走行時のゼロエミッション化を実現するが、一方で、主に次の3つの不確実な要素を抱えている。

まず、「アメとムチ」が与えられない中でBEVの経済性が成立するか、という点が挙げられる。これまで主に電池価格の低減から、2020年代には主要車両セグメントにおいてはBEVの保有期間中のトータルコストは内燃機関車より優位になると見られていた。一方、2022年には車載用電池需要増によるレアメタルの資源高が生じており、想定ほどのコスト低減が実現しない可能性もある。

続いて、BEV利用時の電力エネルギー・充電インフラの供給が不足する点が挙げられる。電力エネルギーについては、BEV化に伴い、必要な電力エネルギー需要が増えるだけでなく、発電時のCO₂排出量を抑制することが期待される。充電インフラについてはBEVの利用者層の拡大・利用時の不安解消に向けて、集合住宅での充電や経路充電を拡充する必要がある。これらの社会インフラ整備には業際連携が必要であり、調整に時間を要するとそれがボトルネックとなる可能性がある。

最後に、BEVによって、真にカーボンニュートラル化を目指す上で期待される循環経済が形成できるか、という点が挙げられる。主に車載用蓄電池の二次利用・資源循環も見据えた社会システムの形成が必要だが、これらは試行段階にある。

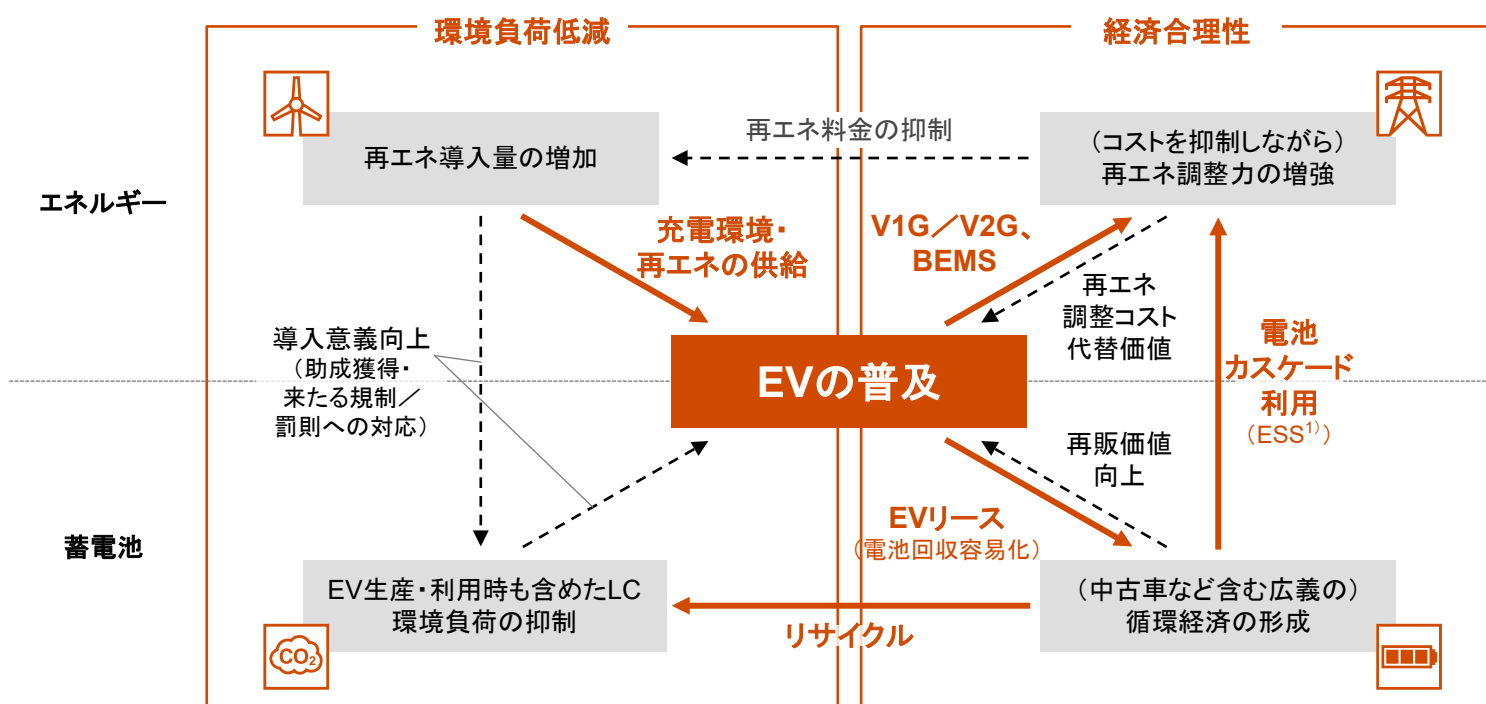
4. 車載用蓄電池に係る「社会システム変革」

前述の不確実性から、そもそもBEV化に適さない国・地域も存在し得るだろう。一方で不確実性を解消し、環境負荷低減と経済合理性を両立した脱炭素社会実現に向けた「社会システム変革」の転機を迎える道筋も想定される。

変革が実現した社会システムの概観は以下のようなものである(図表1参照)。

BEV化による脱炭素効果を最大化すべく、再生可能エネルギー導入量を増加させることで、コストを抑えた再エネ調整力が求められる。その調整力として、駐車・充電設備に接続中のBEVを蓄電池として利用し、車載用蓄電池のカスケード利用を行っていく。これらの利用価値はBEVの保有コストを実質的に抑制する。車載用蓄電池のリサイクルも含む二次利用を見据えた場合、車両・電池の所有権が利用者へ移転しないリースモデルが適する。

図表1: EV普及により実現する社会システム概観



1) ESS: Energy Storage System (電力貯蔵システム)。二次電池と、電力制御システム(PCS)を組み合わせ、電力系統に連結し電力の貯蔵や放出が可能なシステムのこと
出所: Strategy&分析

以降、①車載用蓄電池の循環経済形成、②車載用蓄電池の系統・電力連携に着目し、その実現に向けた課題や今後の方向性について詳述する。

5. 乗用車と貨物車で異なる蓄電池課題

自動車には多様な使用用途があり、用途ごとにBEV適応難易度が異なる。現在BEV向けに使用される液系LiB(リチウムイオンバッテリー)と将来導入が見込まれる全固体電池の性能とコストを用いて(全固体電池は開発目標値を使用)、BEV普及に必要な要素である「航続距離」と「TCO(Total Cost of Ownership)」の充足性について、ICE同等運用を基本要件として図表2に整理した。

現在の液系LiBの場合、乗用車は航続距離の要件は概ね満たすものの、TCOに主な課題がある。商用車はコストに加えて航続距離も基本要件と大きな乖離がある。将来に目を向けて全固体電池の場合を考えると、乗用車は航続距離だけでなくTCOもICE同等の要件を充足できると想定され、一方で商用車は大型の高速道路を利用した幹線輸送などについて航続距離が不十分で、ラストワンマイルであるエリア配送を除きTCOもICE同等には至らず、BEVの適用難易度は乗用と商用で大きく異なる。

後ほど詳述するが、サイクル特性(充放電を繰り返した際の蓄電池劣化具合を示す性能)を現在の液系LiBであるNMC(三元系正極材)の6倍程度まで向上させることができれば、車両生涯での蓄電池取替回数を減らすことができ、商用車でも多くのセグメントでTCOの要件を満たす。全固体電池の開発では、航続距離に影響する「エネルギー密度向上」「コスト低減」に加えて、「サイクル特性の向上」も重要な指標になると言える。

図表2: セグメントごとのBEVの基本要件充足性(ICE同等の運用を基本要件とした場合)

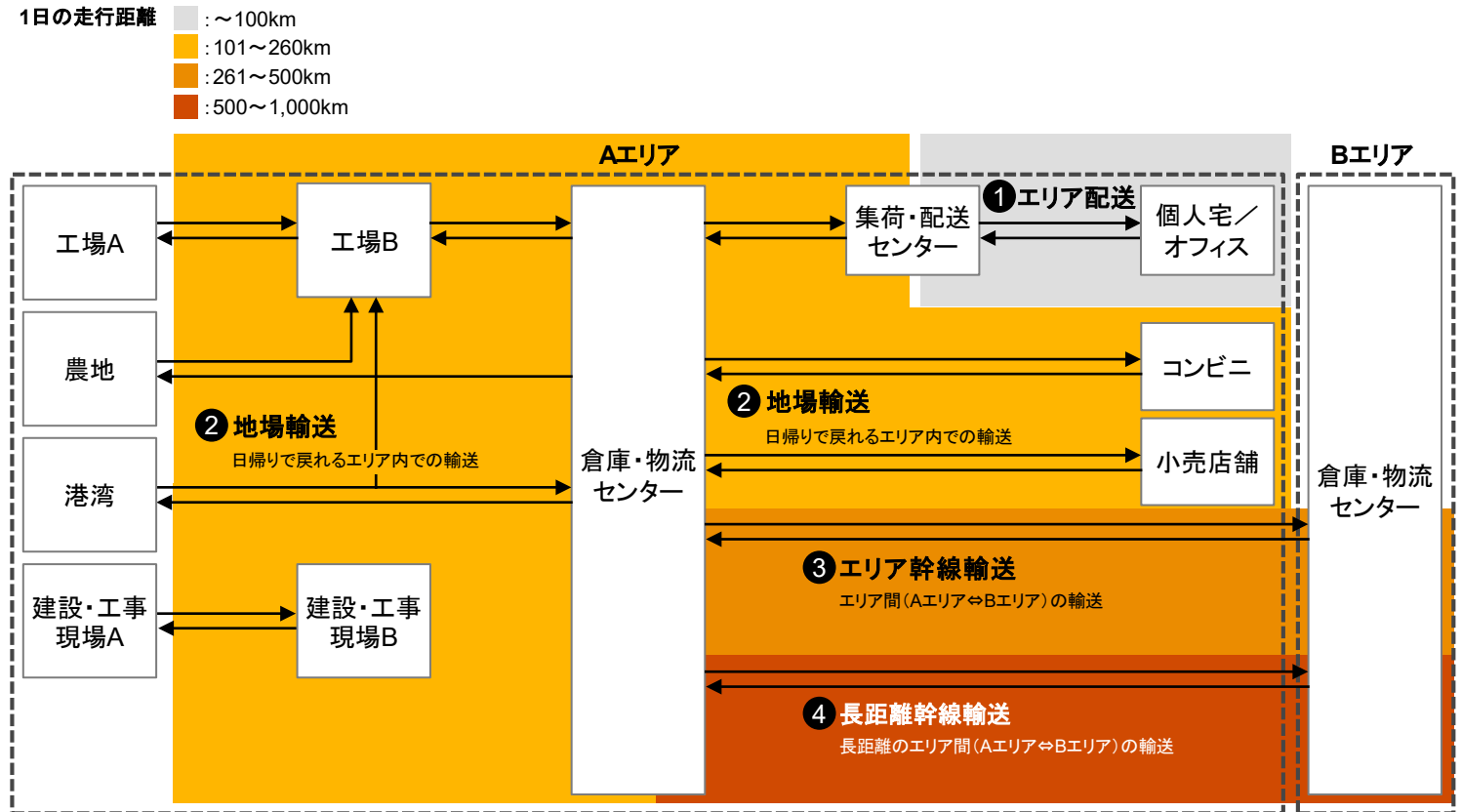
セグメント		現在の蓄電池 (液系LiB)		全固体電池(開発目標ベース ²)			
		航続距離	TCO ¹	航続距離	TCO ¹	TCO	
乗用車	Aセグメント(軽乗用)	基本要件を満たす	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	
	Bセグメント	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たさない	基本要件を満たさない	
	Cセグメント	基本要件を満たす	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	
	D・Eセグメント	基本要件を満たす	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	
商用車	軽トラック	エリア配送(ラストワンマイル)	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	
	小型トラック	エリア配送(ラストワンマイル)	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす	
		地場輸送(広域一般道路)	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす
	中型トラック	地場輸送(広域一般道路)	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす
		エリア幹線輸送(高速+一般道路)	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす
	大型トラック	地場輸送(広域一般道路)	基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たす	基本要件を満たす	基本要件を満たす
幹線輸送(高速道路)		基本要件を大きく満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を満たさない	基本要件を大きく満たさない	

出所: NEDO 先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)ノモビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)

*1 TCO(Total Cost of Ownership): 車体コスト、燃料コスト、整備コストを合算した総保有コスト

*2 グリーンイノベーション基金事業における蓄電池開発目標値

図表3: 商用車セグメントの走行パターン概要



出所: 環境省「物流分野のユースケース整理」を参考にPwC作成

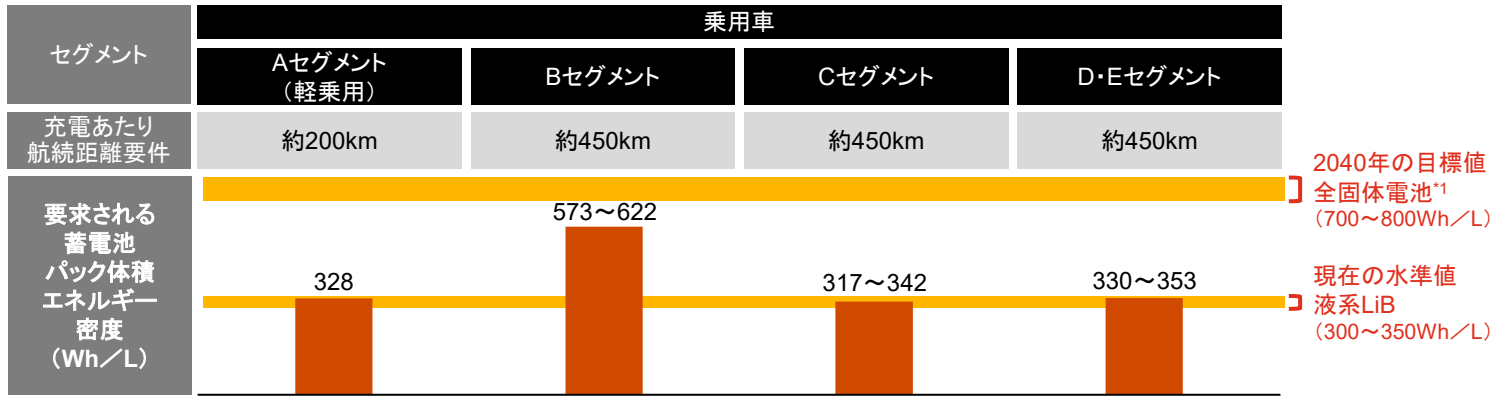
乗用車のセグメントごとの課題をさらに掘り下げるため、セグメントごとに要求される蓄電池のエネルギー密度とセグメントごとのTCOを図表4、5に示す。

Aセグメント(軽乗用)は高速道路を用いた長距離移動が少なく、自宅近郊で使用する前提とすれば航続距離の基本要件を満たし、蓄電池が小さいことでTCOも低く抑えられるため、BEV化を進めやすい。Bセグメント(小型)は蓄電池の搭載スペースが限られるため、航続距離を確保することが難しい。TCOにおいても高級車が中心のD・Eセグメント(大型)に比べコスト優先のBセグメントでは、TCOに占める蓄電池コストが高く、BEV化が最も難しいセグメントと言える。D・Eセグメントは電池搭載スペースが確保しやすく、価格全体に占める蓄電池コストが相対的に小さいため、BEVが普及しやすいセグメントと言える。

蓄電池の重要な性能指標であるエネルギー密度で考えると、現在の液系LiBの300~350Wh/L(パック体積エネルギー密度)でもBセグメント以外は基本要件を満たす。全固体電池のパック体積エネルギー密度は700~800Wh/Lを開発目標(グリーンイノベーション基金事業における蓄電池開発目標値)としており、この数字であれば全てのセグメントで航続距離要件を充足できると考えられる。

TCOを低減するためには、蓄電池コストを下げるのが有効であるが、車両生涯での蓄電池交換回数を下げる、という視点も存在する。図表5に示すとおり、乗用車の各セグメントにおいて車両生涯で劣化に伴う1回程度の蓄電池交換が発生するが、サイクル特性を向上させることで交換回数を0にできれば、生涯の電池使用個数が減り、TCO削減へとつながる。乗用車ではサイクル特性をNMCの2倍程度まで引き上げることができれば、多くの車両で生涯交換が不要となると想定される。

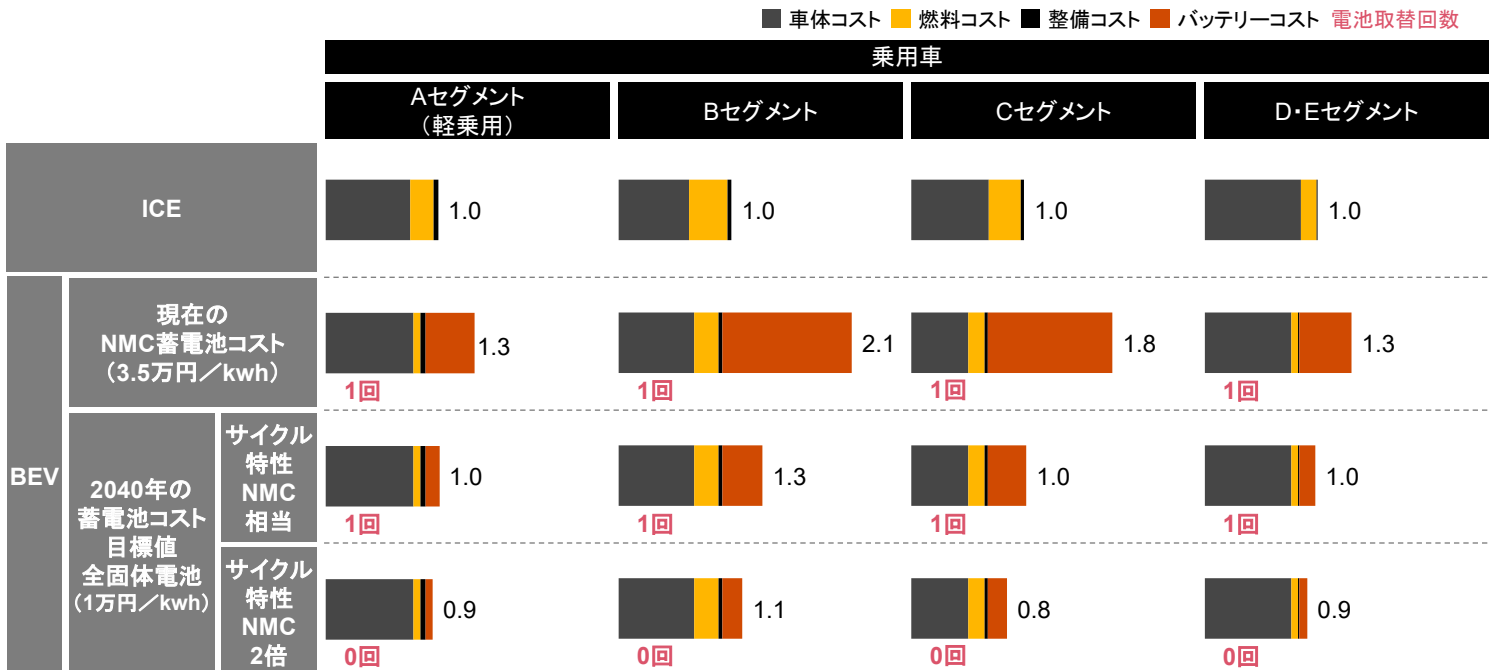
図表4: 蓄電池に要求されるエネルギー密度(乗用車)



出所: NEDO 先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期) / モビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)

- 1) グリーンイノベーション基金事業における蓄電池開発目標値
- 2) Aセグメント以外は自動運転による消費電力増を考慮し、要求されるエネルギー密度に幅を持たせた

図表5: 蓄電池コストとサイクル特性向上がBEVのTCOに与える影響(乗用車)



出所: NEDO 先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期) / モビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)

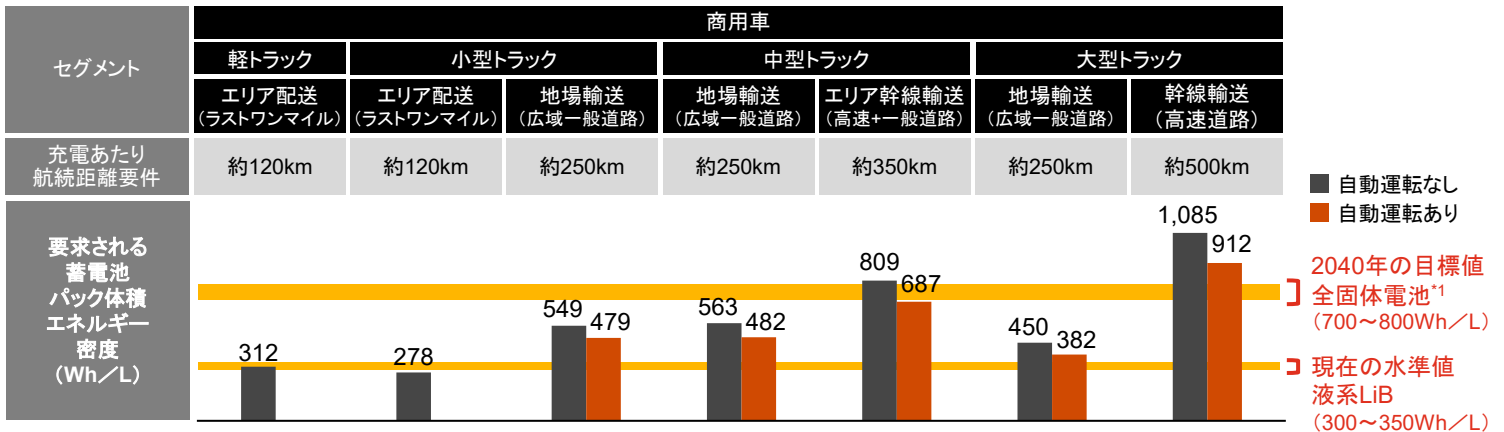
続いて商用車のセグメント別課題にフォーカスし、セグメントごとに要求される蓄電池エネルギー密度とセグメントごとのTCO比較を図表6、7に示す。

1日の航続距離に限られるエリア配送(ラストワンマイル)が最もBEVに向いており、特に軽トラックは現在の液系LiBでも航続距離、TCOの基本要件を満たす。コンビニ店舗配送のような一般道を使用して広域を走行する地場輸送において、現在の液系LiBでは小型、中型、大型ともに航続距離が十分確保できず、TCOでもICE比2倍以上と高コストである。高速道路を走行する中型のエリア幹線輸送(高速道路と一般道により都市を跨いで拠点間をつなぐ輸送)や大型の幹線輸送(高速道路で長距離移動)において、現在の液系LiBでは大きく航続距離が不足し、TCOもICE比で3~4倍と乖離が大きい。将来の自動運転による無人化運転を考慮に入れた航続距離要件も図表6に示しているが(エリア配送は荷捌きが車両に残ることから自動運転を考慮していない)、無人化により電池搭載スペースが拡大しても、大型の幹線輸送は全固体電池で航続距離をカバーすることが難しい。

また図表7からは、商用車では車両の稼働率が高く、急速充電を多用することから、乗用車以上にサイクル特性を向上させ車両ライフサイクルで電池の交換回数を減らすことが、TCO削減に大きく貢献することが分かる。これは商用車が常に高稼働を求められ生涯走行距離(=充電回数)が多いこと、夜間の普通充電だけでは補えず日中の急速充電を多用することで、蓄電池劣化が早いからである。

現在の液系LiBであるNMCでは、多いセグメントで15回程度電池交換が必要と試算された。サイクル特性を現在のNMCから6倍程度まで引き上げることができれば、生涯での電池交換回数を大きく減らすことができ、サイクル特性向上がTCO削減につながる。商用車では、蓄電池のサイクル特性を向上させることが全固体電池等の今後の蓄電池開発の方向性において非常に重要であることが分かる。

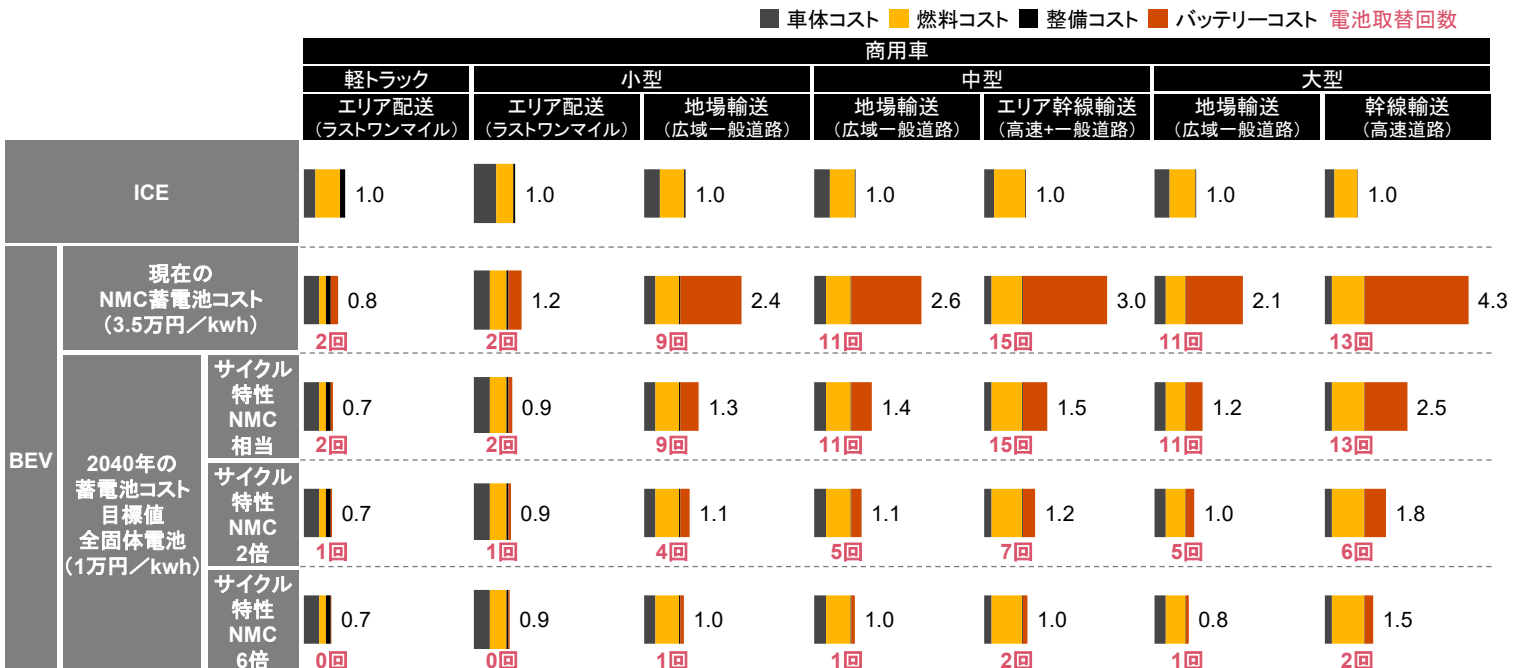
図表6: 蓄電池に要求されるエネルギー密度(商用車)



出所: NEDO先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期) / モビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)

- 1) グリーンイノベーション基金事業における蓄電池開発目標値
- 2) 「自動運転あり」では計算処理による消費電力増、ドライバーレスによる蓄電池体搭載スペース増を考慮

図表7: 蓄電池コストとサイクル特性向上がBEVのTCOに与える影響(商用車)

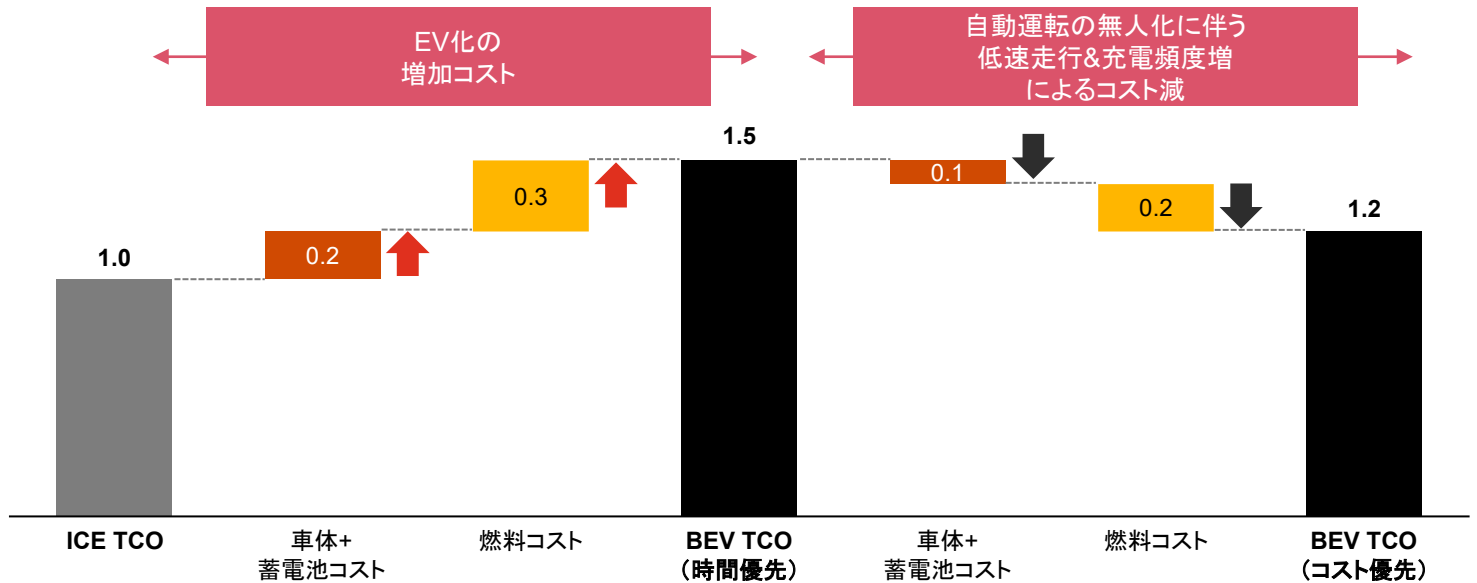


出所: NEDO先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期) / モビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)

商用車の大型幹線輸送は、全固体電池においてサイクル特性を6倍程度に向上させた場合でも、航続距離、TCOともに課題が残り、水素などの多様な選択肢を含めてカーボンニュートラル実現を模索することになる。図表7のTCO内訳を見ると、サイクル特性が向上するとTCOに占める蓄電池コストは低下し、サイクル特性がTCOに与える影響が大きいことが分かる。

大型の幹線輸送でBEVを検討する場合、自動運転によりコストを下げる方法もある。具体的には、無人化することで人の拘束時間を考慮する必要性が下がり、走行速度を例えば60km/h程度まで下げ、搭載する蓄電池容量を小さくすることで、充電のための停車回数は増えるが、電費向上(すなわち燃料コスト削減)させれば、電池小型化による電池コスト削減を見込むことができる(図表8)。図表8には含まれない自動運転により人件費自体が削減できることと組み合わせれば、BEVも商用車大型の幹線輸送をカーボンニュートラル化する選択肢の1つとして考えられる。

図表8: 自動運転と組み合わせた場合の商用大型トラック幹線輸送の将来TCO想定



出所: NEDO先進・革新蓄電池材料評価技術開発(第2期)ノモビリティの電動化と蓄電池開発の課題検討に関する調査(各種情報に基づきPwC分析)
1)蓄電池コストは2040年の目標値(1万円/kwh)、サイクル特性をNMC6倍にてTCOを試算

6. 全固体電池を待たずして実現するBEV活用

全固体電池やバイポーラ型LFP電池(リン酸鉄リチウムイオン電池)など、電池性能向上や電池の原価低減はBEVを拡大する上で非常に重要な要素である。一方、グローバルで自動車のBEV市場が拡大する中、蓄電池のテクノロジー進化を待つだけでなく、今できることから課題を解決し、BEVの市場競争力を高めていくアプローチも存在する。

乗用車の場合、特にTCOが大きな課題となるが、車両コストを下げる以外の方策として、コネクテッド保険などの保有収益の拡大、BEVの蓄電池を系統安定化にも活用するV2Gなどスマート充電の拡大やモビリティサービスによる車両からの収益拡大、車両および部品のリユース拡大、資源リサイクルなどによる車両残価値向上により、車両一台から得られる収益を最大化することで、BEVによる製造コスト(イニシャルコスト)の増加を補うという考え方も有効である。

図表9: 乗用車EV化のコスト増を補うライフタイム収益最大化の考え方

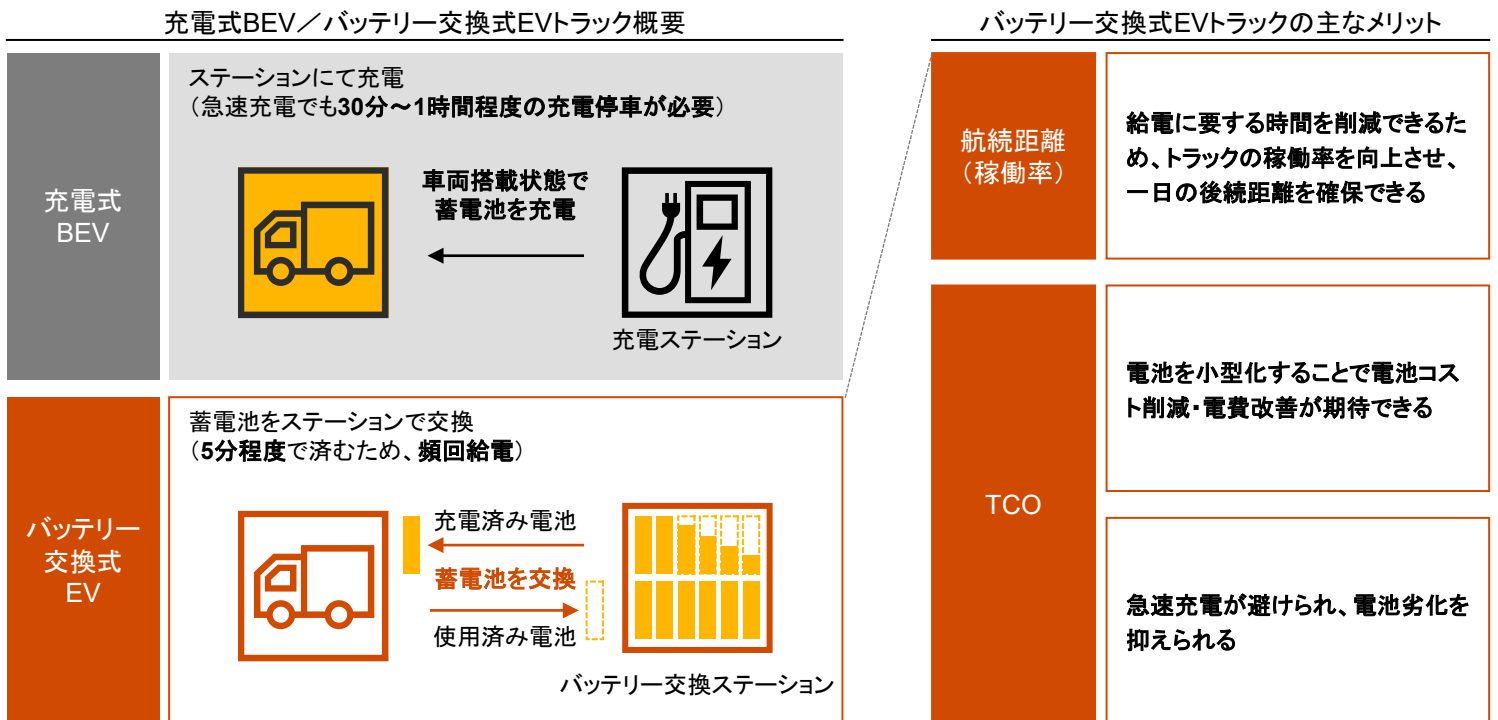
車両ライフタイムで得られる収益の最大化



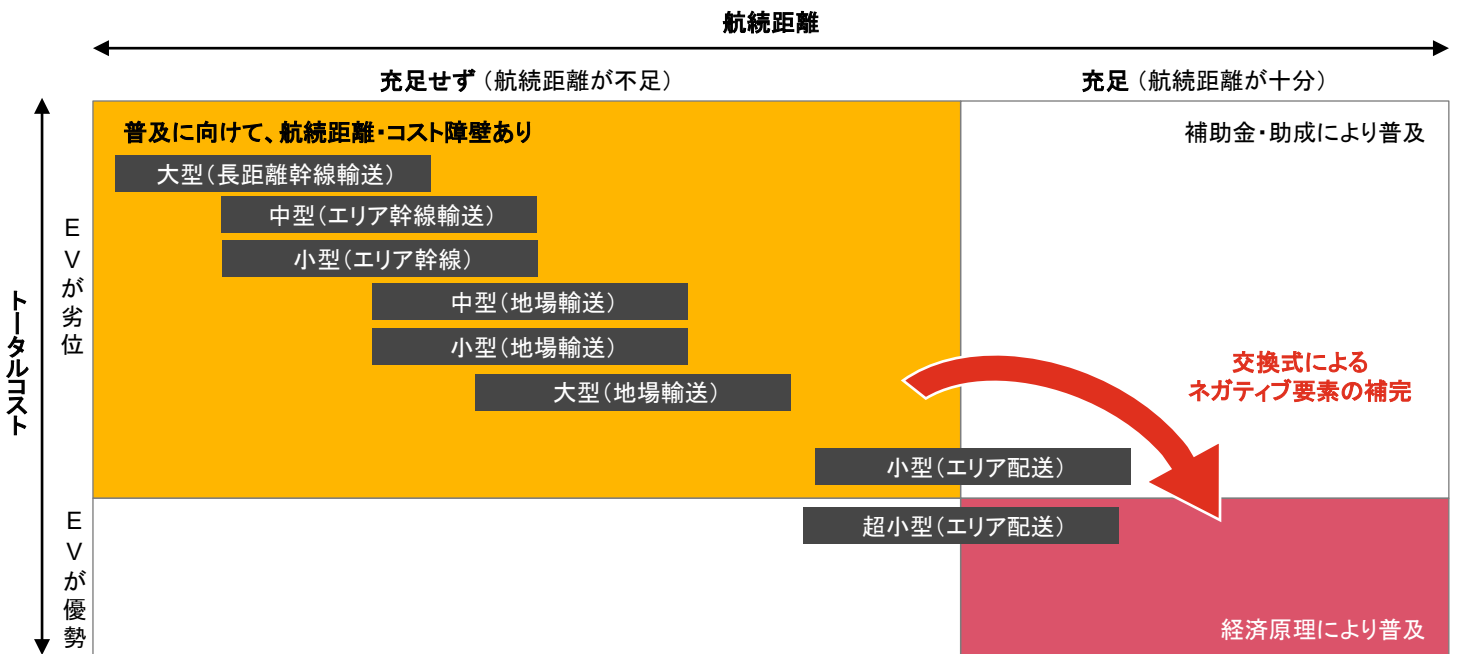
商用車の場合、先に述べたとおりTCOと航続距離の双方に課題があるが、BEV拡大の選択肢としてバッテリー交換式EVが存在する(図表10)。これは通常のBEVが直接車両に充電器を接続して給電するのに対し、バッテリー交換式は交換ステーションであらかじめ電池を充電し、使用済み電池と充電された蓄電池を交換することで車両に給電するものである。通常のBEVで発生する充電による停止時間を削減することで、航続距離(稼働率)を向上させることができる。また、バッテリー交換式の場合は、車両とは切り離されてステーション内で蓄電池を充電するため、急速充電を避けることが可能であり、これは蓄電池の劣化防止(長寿命化)につながり、TCO削減を実現できる(先に述べた蓄電池開発でサイクル特性を向上させることと同様の効果が得られる)。

中国では大型トラックの地場輸送などでバッテリー交換式EV導入が進み、近年では大型トラックの長距離輸送にも適用する試みが進んでいる。国内では、24時間配送が基本のコンビニ向け小型トラックの地場輸送でニーズが高く、実証実験等が進んでいる。蓄電池開発だけでなく、システムパッケージとしてBEVを導入する動きに着目が集まる。

図表10: バッテリー交換式EVトラックの概要



図表11: バッテリー交換式による経済合理性確保のイメージ



7. 性能競争から蓄電池循環へ

これまで蓄電池の性能とコストに着目し、航続距離とTCOからBEVの課題と普及の方向性について述べたが、BEVの拡大に伴いモビリティとして使用済みとなった蓄電池のリサイクルも大きな社会課題となることが想定される。

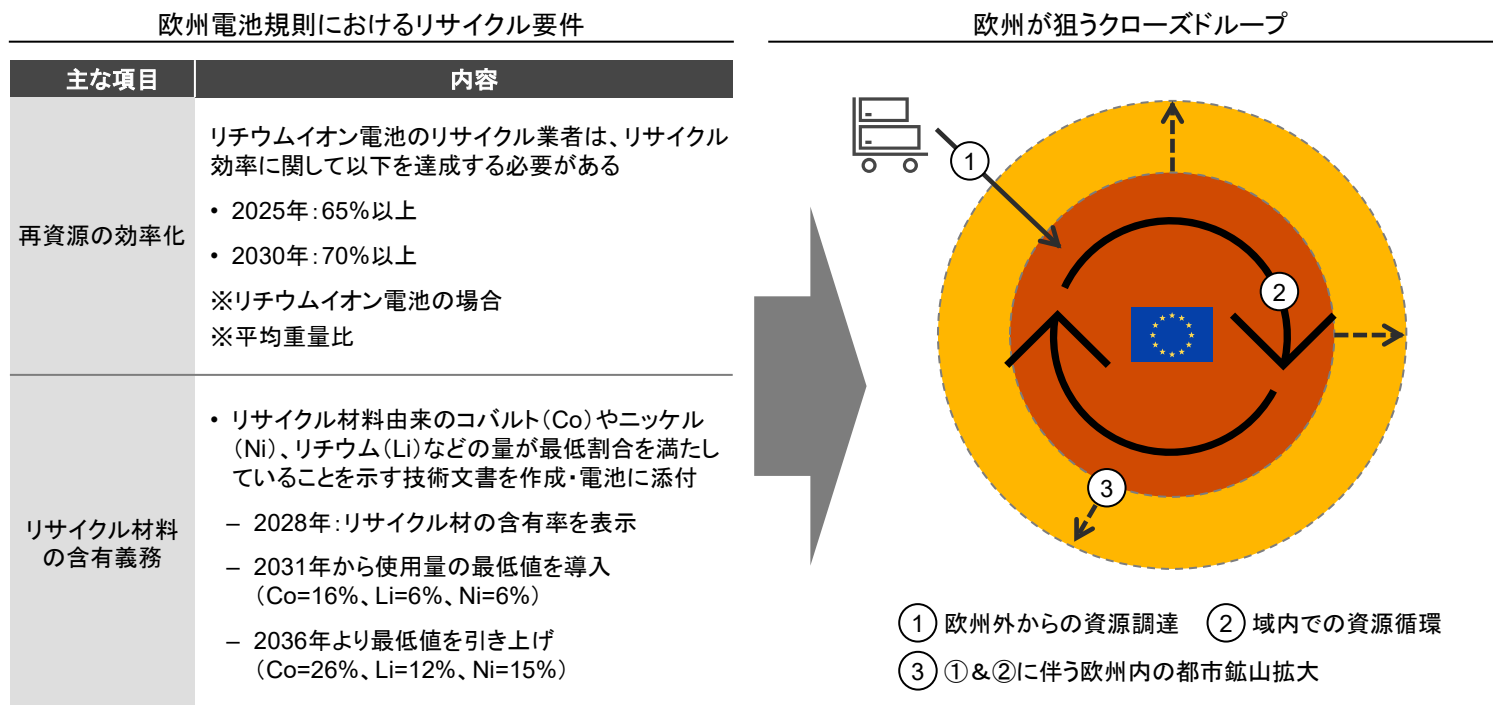
そのような課題を想定して、欧州では蓄電池のリサイクル率向上とリチウム(Li)、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)等のリサイクル資源を電池製造時に使用するルールを電池規則に組み込んでいる。一方、これらの電池資源にはレアメタルも含まれ、蓄電池向け資源の確保という視点から捉えると、欧州はBEVを早期に拡大することで欧州域内に電池資源を取り込み、域内での資源循環を促すことで都市鉱山の構築を進めていると言える(図表12)。

蓄電池の資源採掘や製錬はアジアや中国に多く、バージン資源に乏しいという点は欧州と日本で共通であり、日本でもリサイクルは重要な視点であると考えられる。また、欧州電池規則では、日本で生産したEVを欧州向けに輸出する場合にも適用されるため、計画的にリサイクル資源を調達することが求められる。

日本ではBEV拡大が欧州・中国・北米と比べ緩やかであることから、国内のLiBリサイクルは現在、携帯電話やノートPC等の民生用が中心である。これらのLiBは主にコバルト酸リチウムを正極材としたLCOを用いており、このLCOのリサイクルは熱処理により資源を回収する乾式製錬と言われる手法が用いられる。乾式では現状、Liを回収することはできないが、LCOはLiよりも資源価値の高いCoの資源含有率が高く、LCOの主流リサイクル手法となっている(図表13)。

ここで問題となるのが、欧州電池規則ではLiもリサイクル資源の利用率をルールで定めており、Liのリサイクル資源も調達が必要となる点である。Liを回収するためには溶液を用いて金属を抽出および分離する湿式製錬が必要となるが、一般に乾式に比べて湿式製錬はプラントの採算性を確保するための規模が必要となり、BEVの立ち上がりが緩やかな日本において、いかに湿式プラントを立ち上げていくかという論点が存在する。国の補助金等を活用しながら、産業を醸成するなどの視点が求められる。

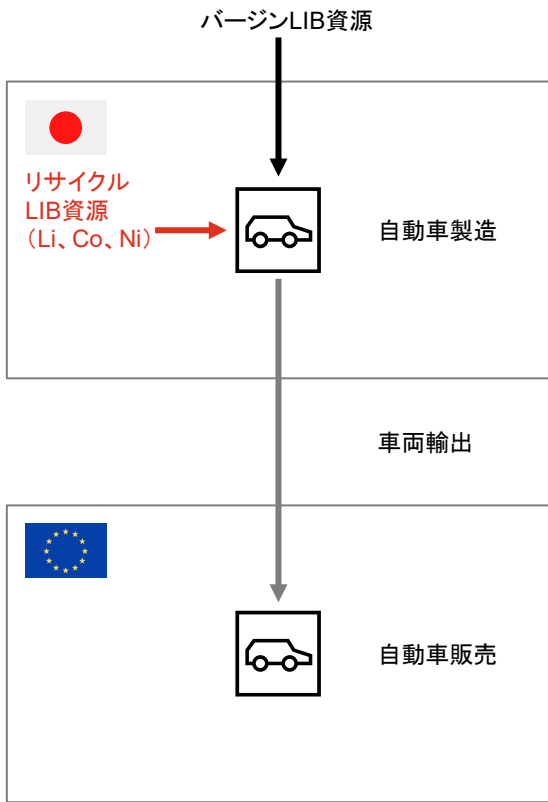
図表12: 欧州電池規則と資源確保の狙い



出所: EU電池規則(2023年8月時点)、PwC分析

図表13: 欧州電池規則が日本のLiBリサイクルに与える影響

欧州電池規則によるLiBリサイクル資源の必要性



国内でも
Li、Co、Niの
リサイクル
ニーズが増える

電池種別ごとの資源含有量と資源回収対象

	用途	資源含有量 (g/kWh)		
		資源含有量		
		Li	Co	Ni
LCO	■	120	990	0
NMC	■	130	90	800
NCA	■	110	140	730
LFP	■ ■	75	0	0

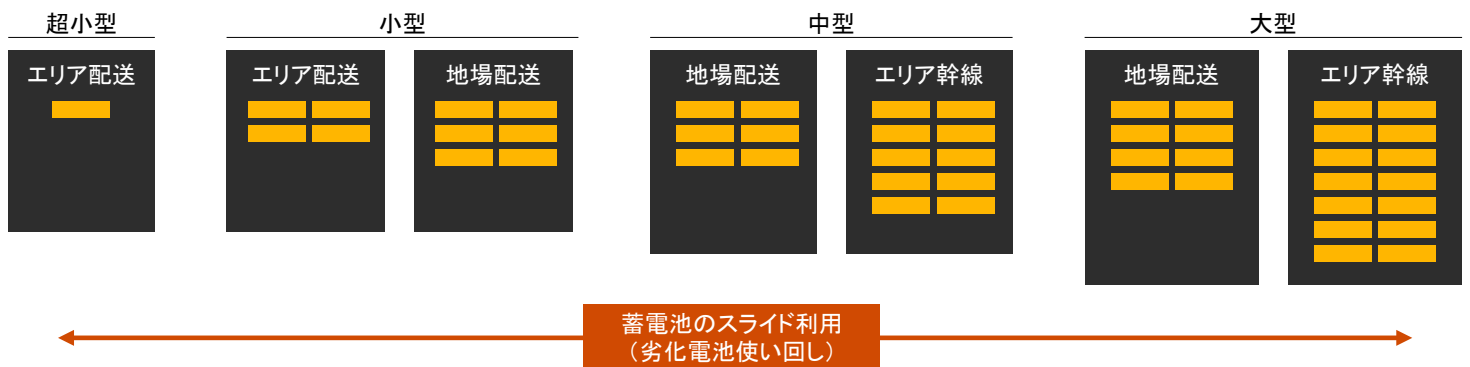
国内の主なりサイクル対象資源
今後回収が望まれるリサイクル対象資源

リサイクル方式ごとの資源回収対象
 ← 湿式 → ← 乾式 →

また、リサイクルだけでなく、「いかに蓄電池を使い切るか」という視点での循環も論点となる。モビリティで使用した蓄電池を定置用蓄電池に二次利用するなどの検討が進むが、モビリティ向け蓄電池は移動時の物理法則から軽さ(蓄電池性能で表すと高いエネルギー密度)が高い次元で要求される高性能・高価格電池であり、可能な限りモビリティ内で使い切ることが望ましい。

先に述べたように、高稼働の商用車を中心に、車両ライフサイクルにおいて電池劣化によって使用済み電池が多く市場に発生する。また商用車は同じ車両でもセグメント(エリア配送や地場輸送、エリア幹線)や車両ごとの走行ルートにより、求められる電池容量が異なる。そのため、劣化した電池を他走行ルート、他セグメントや他車両へのスライド利用する、劣化電池の使い回しも有効だと考えられる(図表13)。これには電池モジュールの標準化などハードルが多く存在するが、ガソリンなどに比べてエネルギー密度が低く、また使用に応じた劣化を完全に避けることが難しいという蓄電池の特性を考えると、有効な社会システム像の1つと考えられる。

図表14: モビリティ内での蓄電池循環イメージ



モビリティのカーボンニュートラルには、水素やe-FuelなどBEV以外にも多様な選択肢があり、さまざまな検討を経てモビリティは姿を変えていくものである。同様にBEV拡大も本稿で述べたようにさまざまな視点であるべき姿を模索し、社会システムとしての完成度を上げていくことが重要だと考える。



阿部 健太郎
PwCコンサルティング合同会社
Strategy& ディレクター



細井 裕介
PwCコンサルティング合同会社
ディレクター



志村 雄一郎
PwCコンサルティング合同会社
ディレクター



秋山 輝幸
PwCコンサルティング合同会社
シニアアソシエイト

お問い合わせ

PwCコンサルティング合同会社

〒100-0004 東京都千代田区大手町1-2-1 Otemachi One タワー

TEL : 03-6257-0700(代表)

<https://www.pwc.com/jp/consulting>

www.pwc.com/jp

PwCコンサルティング合同会社のご紹介

PwCコンサルティング合同会社は、経営戦略の策定から実行まで総合的なコンサルティングサービスを提供しています。PwCグローバルネットワークと連携しながら、クライアントが直面する複雑で困難な経営課題の解決に取り組み、グローバル市場で競争力を高めることを支援します。

PwC Japanグループ

PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwCコンサルティング合同会社を含む）の総称です。各法人は独立して事業を行い、相互に連携をとりながら、監査およびアシュアランス、コンサルティング、ディールアドバイザー、税務、法務のサービスをクライアントに提供しています。

発行年月:2023年11月

© 2023 PwC Consulting LLC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.

02932310