電力貯蔵
ロードマップ2020

解説レポート

2021年2月 | 第1版

DISCLAIMER: Translations of any materials into languages other than English are intended solely as a convenience to the non-English-reading public and are not legally binding. We have attempted to provide an accurate translation of the original material in English, but due to the nuances in translating to a foreign language, slight differences may exist. This translation is supplied to you on the understanding you have accepted this disclaimer and no liability is accepted by the APC for the use of the translation by you or any other party if the translation is found to contain inaccuracies.

免責事項:　本資料の英語以外の言語への翻訳は、英語を読まない方の便宜を図ることのみを目的としており、法的拘束力はありません。APCは、英語の原文を正確に翻訳するよう努めていますが、微妙なニュアンスが含まれるため、外国語へ翻訳する際には若干の違いが生じる場合があります。この翻訳は、お客様がこの免責事項に同意したという前提で提供されており、不正確な部分があることが判明した場合でも、お客様またはその他の関係者による当翻訳の使用について、APCは一切の責任を負わないものとします。

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

概要：電力貯蔵

自動車市場において、リチウムイオン電池が成熟期を迎えようとしている。バッテリーの積極的なコスト削減は、自動車業界の歴史において「変革の10年」を支えた。今、業界専門家の間でも、持続可能かつ倫理的なバッテリーおよび原材料の供給、高コスト効率のバッテリー再利用／リサイクル／廃却手段といったテーマが最優先のトピックになっていることにも、その成熟度が反映されている。

- 業界専門家の8割近くが、バッテリー電気自動車の生産コストは2035年までには、ICE車両の生産コストに追いつくと考えている。その実現に向け、量産車製造メーカーはサプライチェーンに対し、バッテリーパックレベルでのエネルギー密度を維持した上で今まで以上のコスト削減を要求している。バッテリー戦略および技術において最適なものは存在しない。各セグメント毎にエンジニアが様々な特性のバランスをとり、適切な妥協を行わなければならない。将来の輸送への適用において、研究および製造の選択肢を数多く提供することは、極めて重要である。
- ロードマップ2020は、主として量産、コストに敏感な適用カテゴリーに焦点をあてており、バッテリーセル（材料および製造）とバッテリーモジュールおよびパックのふたつに分類した。しかし、ロードマップで取り上げられている特定の技術テーマについては、高出力または高性能アプリケーションにより関連が深いものも含まれている。

セル材料および製造に関するロードマップ

- エネルギー密度の向上に力を入れる中で、グラファイトアノードの更なる開発が加速し、高出力を必要とする適用を対象に、シリコンの使用増加または新材料の開発に繋がることが予測される。
- リン酸鉄リチウム（LFP）は、低コストカソードに適した材質として過去数年で再浮上した。一方で、高ニッケルバッテリー（例：NCA、NMC、eLNO）は、高エネルギー密度および急速充電に適する。
- その他の材料：
  - 電解質が進化を続ける一方で、固体電解質は複合的な製造課題は伴うものの金属リチウムアノードと組み合わせることで、エネルギー密度および安全性を飛躍的に向上させることができる。
  - セル容量の増加に伴い、熱管理の向上に繋がるセパレータの強化が必要となる。
  - 超薄型箔の需要に応えるため、カソードとアノードの機能統合が期待される。
- サステナブルな製造に対する動きは、溶剤並びにバインダーの削減および排除、希少物質および有害物質使用の段階的削減、大量のエネルギーを消費するセルの製造工程削減、廃棄物の最少化および材料の再利用／リサイクルの推進など多数の観点で前進していく。
- 今後の展望として、超低コストのバッテリー化学物質として、ナトリウムイオンが台頭している。ナトリウムは地球上で6番目に豊富な元素であることから、供給面でのメリットが期待される。

用語については本報告書巻末の用語集を参照。

概要：電力貯蔵

バッテリーモジュールおよびパックに関するロードマップ

- リチウムイオンセルの急速な普及に伴い、製造メーカーはセル形式の統合を進めている。円筒型、ラミネート型、角型が主流であるが、それぞれに異なるメリットがあるため、最善形式を特定することは難しい。今後は更に、新たな化学物質に最適なセル形式が現れることが予想される。
- 配電システムにおいて、今後はバッテリー管理システム・ソフトウェアの高度化が進み、その結果、性能および健全性の向上のみならず、バッテリーの再利用に向けた最適判断が可能となる。また、車両のアーキテクチャがより高電圧を採用することに伴い、バスバーおよびコネクタ／コンタクタの改善も必要とされる。
- 高出力アプリケーションおよび急速充電の普及に伴い、熱管理の重要性が高まりを見せる。パッシブおよびアクティブのバッテリー冷却ポリシーの新規開発など、バッテリーの最適温度を維持する新たな方案が必要とされる。
- 軽量化の進化およびセル・トゥ・パック率の上昇に加え、今後は基本的な構造要素として、車両全体を通じて配置される可能性を持ち、集中型熱管理システムを使用するようなバッテリーパックと車両の更なる統合が予測される。
- ライフサイクル全体でのカーボンニュートラルに向けた法規制を遵守する為には、多方面に渡る努力が必要とされる。
  - トレーサビリティの強化、バッテリー健全性のモニタリングおよびバッテリーパスポートの導入は性能を高め、更なる再利用の機会を生み出す。
  - セカンドライフを可能とするバッテリーパックの設計：バッテリー劣化率の理解度向上および自動工具を使用しバッテリーパックからセルを取り外すなど、検討が必要。中でも後者は、バッテリーとシャーシの一体化およびポリマー／混合材の使用が進む中、特に難易度が高い。
  - 脱炭素化製造工程：セルの製造工程と比較し、モジュールおよびパックの組立は比較的低エネルギー工程と言えることから、ネットゼロの候補として期待される。

前書きと謝辞

APCはこのロードマップ作成、出版にあたり産業界、学術界より幅広いご支援を頂きましたことにお礼申し上げます。

また、この度英国自動車協議会（UK Automotive Council）よりプロダクトとテクノロジーロードマップの刷新の委託、また継続的なサポートを頂きましたことにも感謝申し上げます。

さらに、このロードマップの作成にあたりBEIS（英国政府ビジネス、エネルギー、産業戦略省）より多大なご協力を頂きましたことに合わせてお礼申し上げます。

ネヴィル・ジャクソン

英国自動車協議会
（UK Automotive Council）

この度APC(英国先端推進システム技術センター)が自動車業界と密接に協力して策定した「2020年自動車推進力テクノロジーロードマップ」を皆様と共有させていただけることを大変嬉しく思っております。

これらのロードマップの中では自動車を脱炭素でより持続可能なものにするための重要な将来の目標、またその達成に向かって最も有望な道筋をまとめており、今後の技術開発、特に共同開発の焦点を絞る際の重要な手段として役立てて頂けるものと確信しております。

ロードマップは英国自動車協議会（UK Automotive Council）が策定したものを、2017年にAPCがさらに発展させましたが、昨今の英国政府による2050年カーボンニュートラル目標の発表、その達成の緊急性などを鑑み、今回新たに刷新されることとなりました。推進力技術の変化のスピードはこの数年急速に加速しており、電気自動車の適用も増加、電池の価格も以前の予測より早く下がってきています。また、燃料電池のようなゼロエミッション技術が飛躍的ペースで成熟化、水素を含むクリーンな燃料が化石燃料の代替として現れてきています。

しかし、変化のスピードを加速させていくために乗り越えなければならない大きな課題もあります。研究開発と商用化に力を入れ、リーズナブルな価格の商品を市場にだし、消費者にとって魅力的なものとしていかなければなりません。この「2020年テクノロジーロードマップ」は自動車業界専門家へのアンケート・調査から得られた専門家の間でほぼ一致した見解をもとに、将来の自動車推進力目標、テクノロジー、時間軸を提供しています。

本レポートから得られる知見とテクノロジーの方向性をもとに、自動車業界全体が世界レベルのソリューションを加速させ、達成できるようにすることがこのレポートの目的であり、本ロードマップが将来のモビリティの課題に対処するための共同開発、また、運輸、オフ・ハイウェイ車両部門の更なる研究開発を推進するための重要な情報源となることを心より念願しております。

デイヴィッド・グリーンウッド教授

WMG, APC電力貯蔵Spoke担当

バッテリー技術はバッテリー電気自動車にそのまま使われる場合、またはエンジン、燃料電池との組み合わせで利用する場合でも、運輸部門における脱炭素化の鍵を握っています。バッテリーは運輸部門の電動化スピードを決定していくユニークなコンポーネントです。バッテリーコストは過去10年間で大幅に削減し、エネルギー密度は大きく向上しました。その結果、電気自動車は、ほぼ全てのセグメントにおいて、実用的かつ手の届く存在となりました。

同時に、英国はバッテリー開発に対しより積極的に取り組むようになり、サプライチェーンが基幹部品や材料を供給するという、ギガファクトリー規模の生産計画が立案されています。

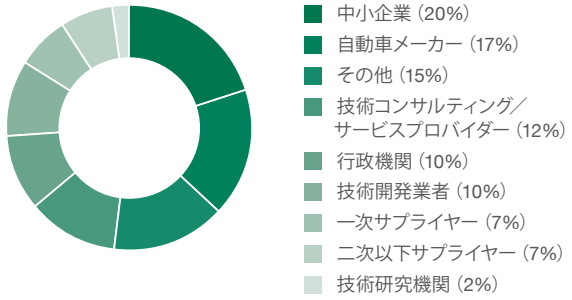
技術、製造イノベーション、スケールメリットが向上し、進化が急速に進む中、取り巻く環境がかつてなく複雑化しています。

その結果、2020電力貯蔵技術ロードマップは2017版と比べ、より詳細なレポートとなりました。輸送部門におけるバッテリー使用増加に伴い、運輸業界ならではの要件が発生するようになります。また目的に適ったコストと性能を達成しつつ、急増する需要に応えられる技術ソリューションも必要になります。これらのことを考慮した結果、以前よりも複雑な将来像が描かれることとなりましたが、より確固たる要素を取り入れた目標重視のロードマップとなりました。このロードマップが意思決定者の方々にとって、より正確な情報源となることを願っています。

業界専門家オンライン調査所見2020

バッテリー需要が急速に高まる中、原料調達におけるアジアへの依存度およびEOLバッテリーの責任ある、かつ環境を考慮した廃棄処理が大きな課題である。

2020年9月にオンラインで実施されたテクノロジー・アンケート調査に、多様な業界スペシャリストが回答した。



専門家が注目する上位3つのトピック

1 サステナブルで倫理的、かつ商業的に競争力のあるバッテリー供給

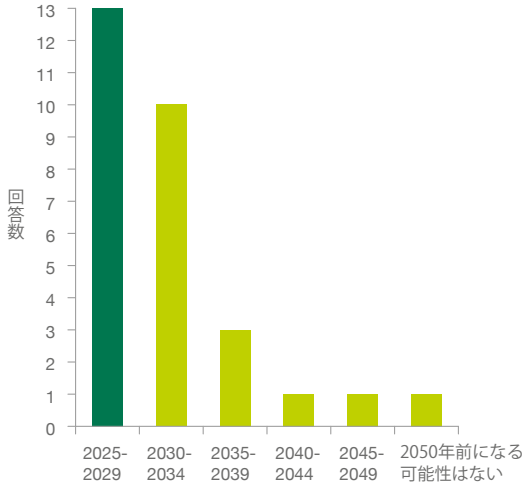
2 バッテリー再利用の拡大、効率のよいバッテリーリサイクル、EOLバッテリーの環境的責任のある廃棄処理

3 環境および LCA を重視した原料の採掘および精製

BEVがICE車両と同等コストを達成するタイミングはいつか。

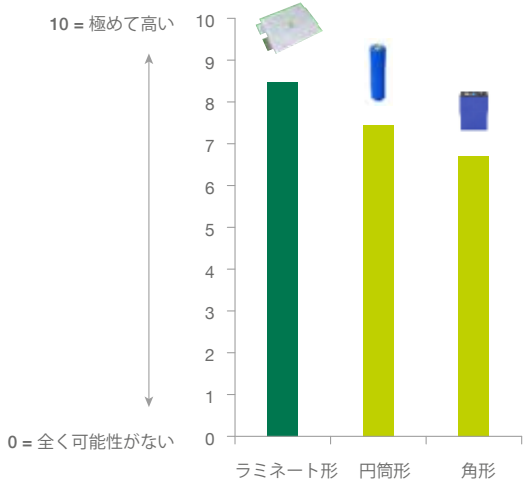
専門家の8割近くが、バッテリー電気自動車（BEV）のコストは2035年までにICE車両レベルに到達すると回答している。

注記：2025年までにバッテリーパックのコストが$100/kWhに到達する予測から、BEVのICE車両コスト達成は、より速いタイミングとなる可能性が高い。



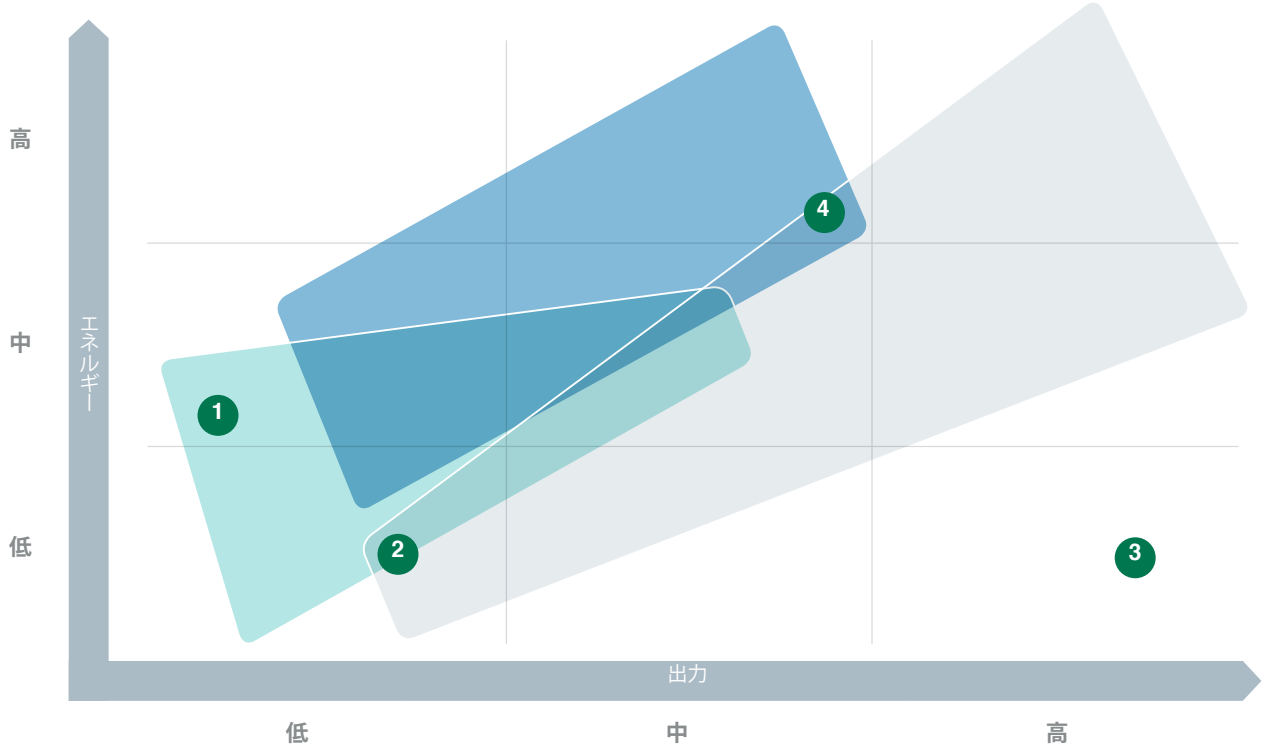
長期的観測から、どのセル形式がEVバッテリー市場を占有すると予測されるか。

セル形式それぞれに特有の優位性とメリットおよびサプライチェーンへの依存性がある為、最善のセル形式を特定することは難しい。



アプリケーション別エネルギー／出力分布図

推進装置は、使用事例およびデューティサイクルに基づいた特定の出力およびエネルギーニーズに合わせて設定されている。
下記グラフは量産市場プロダクトの概要を示している。



3.5T未満の軽量自動車　路線バスおよび長距離バス　3.5Tを超える重量物運搬車およびオフハイウェイ車

ロードマップ2020は（1）エネルギー重視であるか、コスト意識の高さの指標値を示しています。その他の指標値については、KTNクロスセクターバッテリーシステム（CSBS）イノベーションネットワークをご覧ください。

❶エネルギー重視＋コスト意識「高」

本カテゴリーでは、特性要件に応えるため大容量とより急速な充電が必要となる。そのため、エネルギー密度レベルの改善とともに、パックレベルのコスト削減と連続充電への耐久性の向上が主な戦略となる。

❷出力重視＋コスト意識「高」

本カテゴリーでは、低価格で電力シフトをコントロールすることが主な戦略となる。コスト影響なく電力とエネルギー密度を向上させることによって利益がもたらされる。

❸出力重視＋重量意識「高」

本カテゴリーにおける主な戦略は、さまざまなエネルギー密度の要件に合わせて重量影響を最小限に抑えながら電力ハンドリングを行うことである。量産車と比べてコストはそれほど重視されない。

❹エネルギー重視＋重量および出力意識「高」

本カテゴリーにおける主な戦略は、重量エネルギー密度と連続放電時の出力密度を向上させることである。その結果、より長い航続距離での反復運行、あるいは車両軽量化が可能となる。

エネルギー重視＋コスト意識「高」カテゴリーのテクノロジー指標

以下は、競争の激しい量産車市場環境において実現が期待されるテクノロジー指標の一覧。全てのコストおよび性能測定基準は意欲的だが同じテクノロジーに関連している。

		2020	2025	2030	2035
セル指標	過渡放電電力密度（W/kg）	1100	1180	1260	1340
	セル重量エネルギー密度（Wh/kg）	280	300	320	340
	セル体積エネルギー密度（Wh/l）	720	770	850	900
	セルコスト（$/kWh）	85	70	58	48

		2020	2025	2030	2035
パック指標	過渡放電電力密度（W/kg）	715	825	945	1070
	電荷受容性（連続Cレート）	1.5	2.5	3.5	4
	パック重量エネルギー密度（Wh/kg）	185	210	240	275
	パック体積エネルギー密度（Wh/l）	470	540	640	720
	パックコスト（$/kWh）	125	97	77	63

注記：

- セルとパックのイノベーションを均等に重視しながらロードマップを作成した。将来の性能指標を達成する為には、両者における開発が必要であることを意味する。
- 上記の指標は、KTNクロスセクターバッテリーシステム（CSBS）イノベーションネットワークの一環として、ウォーリック・マニュファクチュアリング・グループ（Warwick Manufacturing Group: WMG）とファラデー・バッテリー・チャレンジ（Faraday Battery Challenge）が構築した**❶「エネルギー重視、コスト意識高い」**カテゴリーに当てはまる。
- 本ロードマップには、イノベーションネットワークのコスト目標の中から最低コスト水準を採用した。当該技術において、低コストが優先されることを強調することが目的。
- エネルギーおよび出力密度の想定セル・トゥ・パック率は、それぞれ以下を採用した：65%（2020年）、70%（2025年）、75%（2030年）、80%（2035年）。
- コスト効率の良い化学物質も、今後はより急速な充電に対応することが期待されることから、本年よりCレートを追加した。
- 特定のプロダクトアプリケーションについては、エネルギー／出力マップを参照いただき前ページにあるKTN CSBSイノベーションネットワーク目標の関連指標をご覧ください。

テクノロジー指標

当該技術において、最高クラスの実績達成に向けた方向性およびアプローチを提示する為、目標値に代わり以下の指標を採用した。

以下は、当該技術毎にコストおよび性能指標値を一覧化したもの。

エネルギー重視＋コスト意識「高」カテゴリーのテクノロジー指標

以下は、競争の激しい量産車市場環境において実現が期待されるテクノロジー指標の一覧。全てのコストおよび性能測定基準は意欲的だが同じテクノロジーに関連している。

		2020	2025	2030	2035
セル指標	過渡放電電力密度（W/kg）	1100	1180	1260	1340
	セル重量エネルギー密度（Wh/kg）	280	300	320	340
	セル体積エネルギー密度（Wh/l）	720	770	850	900
	セルコスト（$/kWh）	85	70	58	48

		2020	2025	2030	2035
パック指標	過渡放電電力密度（W/kg）	715	825	945	1070
	電荷受容性（連続Cレート）	1.5	2.5	3.5	4
	パック重量エネルギー密度（Wh/kg）	185	210	240	275
	パック体積エネルギー密度（Wh/l）	470	540	640	720
	パックコスト（$/kWh）	125	97	77	63

過渡電流密度：パックまたはセルが引き出すことのできる最大出力を表す。本ロードマップでは、「過渡」を10秒、25℃および50%SoC未満と定義する。

Cレート：バッテリーパックが充／放電するレートを表す。例）2035年で4Cレートとは、バッテリーパックは15分でフル充電することができるようになる。

エネルギー密度：セルおよびパックが共に対象となり、体積および重量の観点で測定される。エネルギー密度によって、バッテリーパックが必要とするスペースの大きさおよびバッテリーパックの重さが決まる。

コスト：上記の指標設定においては、セルおよびパックのOEM購入価格を参照した。エネルギー重視＋コスト意識「高」アプリケーションにおいて、コストは極めて重要である。

ロードマップ2020
電力貯蔵

セル材料および製造法のロードマップ

2020年~2035年のテクノロジー指標は報告書の初めのページを参照。

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

本ロードマップは、グローバル自動車業界の量産車市場普及向け推進力技術予測を現時点でのスナップショット形式で表現したものである。特定のアプリケーション向けの技術については地域ごとに異なる。

深緑色の矢印:
一般的またはPEM – 当該技術は量産市場アプリケーションとして使われている。この期間中に、著しい技術革新が期待される。

濃い緑に白の矢印:移行期:
「移行」とは市場からフェーズアウト(段階的廃止)されるという意味ではなく、R&Dの焦点の変化を表す。

点線で囲まれた矢印:
市場の成熟期一技術が成熟期に到達。技術のフェーズアウト、代替技術の普及まで市場での適用継続が予想される。

電極	アノード	エネルギー密度強化リチウムイオンアノード(例:グラファイト、Si混合) → エネルギー密度最大化リチウムイオンアノード(例:100% Si)
		出力密度強化リチウムイオンアノード(例:LTO) → 出力密度最大化リチウムイオンアノード(例:酸化ニオブアノード)
		新化学物質に対応した次世代アノード(例:金属リチウムアノード、ナトリウムイオン対応硬質炭素)
	カソード	低コストリチウムイオンカソード(例:LFP) → 超低コストカソード(例:高マンガン、Li-S、ナトリウムイオン)
		エネルギー密度強化Li-ionカソード(例:NCA, NMC, eLNO, NFA, LMNO) → 局所的粒子最適化、カソードのブレンド(例:コロイドカソード)
		高出力リチウムイオンカソード(例:ナノリン酸塩、薄型カソード、粒度の縮小化)
		高エネルギー/高出力密度カソード(例:Li-S、多価化学物質、新規カソード材および構造)
その他のセル材料	電解質材	高圧液状電解質 → 新たな化学物質対応の液状電解質(例:ナトリウムイオン、Li-S、金属空気)
		高イオン電導性ハイブリットバッテリーおよび半固体バッテリー(例:ジェルポリマー、PEO)
		電導性に優れた固体電解質の量産(例:硫化物、酸化物)
	セパレータ	薄型/低コスト、耐酸化性、放熱性に富んだセパレータ → セパレータ機能強化(例:相変化、消火)
		イオン電導性および電流密度を強化したセパレータ材(例:PVDF、アルミナ)
	電流コレクタ	リチウムイオン向け超薄型CuおよびAl箔(例:6ミクロン以下) → 新たな電流コレクタ構造(例:格子、アノードおよびカソードとの機能統合)
		コレクタ表面処理(例:プラズマ、レーザー) → ハイブリッド電流コレクタ(例:金属合金、金属被覆ポリマー)
溶剤、バインダー、添加剤		NMPに代わる溶剤(例:N-アセチル-Pおよび水) → バインダーの新たな機能性(例:ハイブリッド、自然養生)
		ウェット工程の削減および溶剤使用の低減 → ドライ製造工程の導入(溶剤ゼロ) → バインダーゼロの電極および電解質
セル材料のライフサイクル及びEOL		製造工程内のCO_2削減(例:電極、ドライ工程) → エネルギーフットプリントの低減 → CO_2ネットゼロの生産システム
		より安全、かつサステブルなセル材の代替 → 豊富/希少度の低い材料の採用 → LCA重視のバリューチェーン
		セル材のムダ削減および産出量の向上 → セル材の再生および再利用(例:電極の再生および不良材の再製造)
		セル材リサイクルの試験運用 → 大量かつ高効率のセル材回収 → 全セル材を対象とした循環型経済の構築

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | …

主要テクノロジーテーマ

電極
- アノード
- カソード

電極

本パートでは、高エネルギーおよび高出力アプリケーション向けのリチウムイオン**アノード**について説明する。中期的には、新たな化学物質向けアノードおよび高性能遷移金属アノードの市場参入が予想される。

カソードはバッテリーセルの中でも最も高価であり、長く研究開発の対象となってきた。本パートでは、低コスト／高エネルギー／高出力のリチウムイオンカソード実現に向けた、革新の道筋を説明する。合わせて、リチウムイオンに代わる次世代のカソード材について言及する。

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

その他のセル材料

電解質は、リチウムイオンの電極間移動を介助する。液状電解質は改良した化学物質との組み合わせで機能するよう徐々に改善が進んでいる。固体電解質および半固体電解質は、金属リチウムアノードとの併用でエネルギー密度と安全性の向上に繋がるため、大幅な革新が期待される一方で、製造面での複合課題が存在する。

セパレータは、電導性ゼロの為、優れたアイソレータと言える。セパレータが薄膜化し高電流密度化が進む中、セパレータ膜の新材料および新コーティング材が求められる。

電流コレクタには通常、アルミ箔または銅箔が使用される。セル製造メーカーからの薄型箔の要望は高く、製造工程の新規構築および電極と電流コレクタ間の機能統合の可能性が視野に入っている。

溶剤、バインダー、添加剤

溶剤、バインダーおよび添加剤は、活物質の電導性または粘着性を強化する。溶剤、バインダーおよび添加剤の使用は今後削減に向かうことが予想され、バッテリーのコスト効率向上および環境負担の低減に繋がる。

セル材料のライフサイクル及びEOL

ライフサイクルは、炭素強度、環境負荷、資源消費、バッテリーセルのリサイクル性および材料のサプライチェーンを包括する。これらの要素を全て改善してはじめて、電気自動車は真のサステナブル・ソリューションとなる。

電極の開発

セルのエネルギー密度強化には、グラファイトの開発継続の余地が残っているものの、今後はシリコンの活用強化が予想される。また、高出力用途に採用が期待される新たなアノード材が複数現れてきている。

- 電極
  - アノード
  - カソード
- その他のセル材料
  - 電解質材
  - セパレータ
  - 電流コレクタ
- 溶剤、バインダー、添加剤
- セル材料のライフサイクル及びEOL

1. エネルギー密度強化リチウムイオンアノード（例：グラファイト、Si混合） → エネルギー密度最大化リチウムイオンアノード（例：100% Si）
2. 出力密度強化リチウムイオンアノード（例：LTO） → 出力密度最大化リチウムイオンアノード（例：酸化ニオブアノード）
3. 新化学物質に対応した次世代アノード（例：金属リチウムアノード、ナトリウムイオン対応硬質炭素）

2020 2025 2030 2035 2040 …

1 セルのエネルギー密度強化

コスト効率が高く、エネルギー密度の高いセルを得るために、安定性と低コストの観点から、グラファイトが引き続きアノード材の主力として活用されると予想される。昨今の傾向として、人工グラファイトへの天然グラファイトブレンド比率を増加することで、耐用年数と安定性の向上が図られている。この他、粒度の縮小に加え、銅箔へ粒子を均一に吹きかけることでのセル容量が向上するなど、製造イノベーションが見られる。

エネルギー密度強化に向けた別視点として、グラファイトにシリコンを加えた材料の採用があげられる。既に一般化している3~5%のシリコン含有アノードに加え、今後5年以内に30%シリコンアノードの登場が期待される。

長期展望として、既存のリチウムイオンセルのエネルギー密度最大化を目標に、100%シリコンアノードの商品化は可能と考える。シリコンの難点として、充電中に最大3倍まで膨張してしまうことから、バッテリーセルが膨張し容量劣化に繋がることがあげられてきた。業界として対策案が多数試行されている。例えば、シリコン粒子をグラファイトケースで覆う方案があげられるが、シリコンの膨張が抑制できるためサイクル向上に繋がる一方で、コスト増がネックとなる。従って本アプローチは、高エネルギー密度が重視される用途において適していると言える。

2 出力密度の強化

グラファイトの市場占有およびシリコンアノードの台頭が進む中、高出力の用途には未だ、バス／モータースポーツ／高出力ハイブリッド車種での使用で知られるチタン酸リチウム（LTO）を含む多様なアノード材が使用されている。LTOのメリットは、高速充放電、温度性能の高さおよび優れた安全性にある。

この他、中期的に、高出力カテゴリーへの適用が期待されるアノード材にはニオブ系アノードがあるが、大幅なコスト増なく、高圧、高出力密度の実現ができると期待されている。これらは現在開発後期に入っており、商品化を目前に控えた企業も多数存在している。

3 次世代のアノード材

次世代のアノードとして、新規コンセプトに加え、新カソード材および電解質に対応したアノードの開発が進んでいる。これらのアノードは、今後7~10年での市場適用が期待される。

新規アノードの1つである金属リチウムは、容量とセル構造を飛躍的に向上させる一方で、生産コストおよびバッテリー寿命確保に必要となるデンドライトの抑制が大きな課題としてある。

この他にも、新たなセル化学物質の採用を可能とするアノード材が考えられる。例えば、ナトリウムイオンバッテリーが自動車業界で競争力を増すためには、ハードカーボンやアンチモンなど新たなアノード技術が必要となる。

電極

新たなセルの設計は高出力カソードの実現を可能とし、LFPカソードの構造変化や新たなカソード材の採用は、コストダウンに繋がる。

電極

アノード

カソード

1 低コストリチウムイオンカソード（例：LFP） → 超低コストカソード（例：高マンガン、Li-S、ナトリウムイオン）

2 エネルギー密度強化Li-ionカソード（例：NCA, NMC, eLNO, NFA, LMNO） → 局所的粒子最適化、カソードのブレンド（例：コロイドカソード）

高出力リチウムイオンカソード（例：ナノリン酸塩、薄型カソード、粒度の縮小化）

高エネルギー／高出力密度カソード（例：Li-S、多価化学物質、新規カソード材および構造）

その他のセル材料

電解質材

セパレータ

電流コレクタ

溶剤、バインダー、添加剤

セル材料のライフサイクル及びEOL

2020 2025 2030 2035 2040 …

1 低コストカソード

いくつかの量産車への適用においては、高純度ニッケルおよびコバルト廃止によるカソードのコストダウンに期待が寄せられており、当面はLFPに代表されるカソードが採用されている。今後2、3年においては、LFPにマンガンを追加する製造メーカーが出てくると予想されており、コスト増を伴わないエネルギー密度の向上が期待される。

欧州地域を含む複数の市場においては、LFP/LFMPとともに超低コストカソード材の市場導入が期待されている。例として、豊富なマンガンを含有するNMCがあげられ、コバルトの廃止とニッケルの大幅削減が可能となる。

中期展望として、Li-Sやナトリウムイオン系カソードなど、コスト効率が良い新たなカソード材の採用が予想される。中でも、ナトリウムイオンは急速充電を可能とし、ナトリウムはリチウムより低コストであるためコスト削減が実現できること、また、銅箔に代わりアルミ電流コレクタがアノード適用できることから、低コストカソード材として期待される。

しかしながら、コストダウンには性能の妥協が伴う。現時点において、ナトリウムイオンバッテリーの重量はリチウムイオンの3倍であり、サイクル寿命も短い。一方で、定置型電力貯蔵においては、ナトリウムイオンは鉛酸バッテリーに対してすでに競争力を持っている。ナトリウムイオンはまず、航続距離が限定的であり、かつ急速充電が必要とされる、小型アーバンビークルに採用される見通しである。

2 高エネルギーカソード

今日の自動車業界が使用する高エネルギー密度リチウムイオンカソード材は、NMCおよびNCAが主流である。両者とも、ニッケル配合率を増加することでエネルギー密度を強化する傾向にある。

NMCは、NMC811へ、更にNMC9.5.5へ移行する傾向となっており、同様にNCAにおいても、コバルト7%から3%への移行が見られる。パナソニックは、2025年までにコバルトフリーのカソード実現を目指す。この他にも、今後数年での市場投入を目指した高エネルギー密度カソードの開発が進められている。例として、ジョンソン・マッセイ社（Johnson Matthey）はeLNOの供給計画を加速し、日産はNi-Fe-Alカソードの開発を進めている。

高エネルギー密度リチウムイオンカソードの改善を維持していくためには、材料の性能強化に向けた、革新的な構造と製造手法が必要とされる。局所的な粒子最適化および異なるカソード材のブレンド化により、エネルギー密度の飛躍的な向上が期待される。

電極

複数の企業が、ブレンド配合率の見直しや新たな材料の評価などを通して高エネルギー密度カソード材の開発を進めている。リチウム硫黄はエネルギー密度の飛躍的な向上を可能とすることから、長期的には適用の増加が予想される。

電極	アノード	
	カソード	低コストリチウムイオンカソード（例：LFP） → 超低コストカソード（例：高マンガン、Li-S、ナトリウムイオン）
		エネルギー密度強化Li-ionカソード（例：NCA, NMC, eLNO, NFA, LMNO） → 局所的粒子最適化、カソードのブレンド（例：コロイドカソード）
		3 高出力リチウムイオンカソード（例：ナノリン酸塩、薄型カソード、粒度の縮小化）
		4 高エネルギー／高出力密度カソード（例：Li-S、多価化学物質、新規カソード材および構造）
その他のセル材料	電解質材	
	セパレータ	
	電流コレクタ	
溶剤、バインダー、添加剤		
セル材料のライフサイクル及びEOL		

2020 2025 2030 2035 2040 …

3 高出力カソード

高出力密度リチウムイオンカソードは、高エネルギー密度カソードと共通の材料で構成されるが、セル設計をより重視する。出力密度の強化には、コーティング重量の低減、面積容量の削減、活粒子の粒度縮小およびカソード気孔率の増加等により出力密度を強化することができる。高出力カソードはまた、高エネルギー密度カソードと比較し、圧延率が高いことが多い。

ナノリン酸塩で知られる強化形LFPは、温度安定性とバッテリー寿命を向上しながら、最大35Cが達成できるよう設定されている。これらの化学物質は、高Cレートの達成が不可欠であるバスおよびモータースポーツセクターにおいて、市場開拓が進んでいる。

4 次世代カソード

高出力および高エネルギー密度を両立するため、新たなカソード材が必要とされる。Li-Sバッテリーは、コスト削減とエネルギー密度の飛躍的向上の可能性を秘めているが、自動車への適用開始前に、まずはドローンなど航空宇宙産業における小規模な適用から始められる。自動車業界へのLi-S初代適用は、軽量かつ高エネルギー密度が不可欠となる高性能乗用車、二階建てバスおよび重量物運搬車が考えられる。

この他、次世代カソードとして、MgイオンやCaイオンに代表される多価バッテリーに加え、硫黄およびフッ化リン酸塩系カソードに期待が寄せられる。これらの化学物質はエネルギー密度、サイクル寿命および出力密度を劇的に向上する。自動車への適用を目指した商品化の実現は不確定であるが、材料科学の研究開発継続とパイロット製造を正当化するに十分なポテンシャルがある。

その他のセル材料

リチウムイオン物質を対象に従来の電解質が進化を続ける中、その他のセル材向けに新たな電解質が必要とされる。固体および半固体電解質は、エネルギー密度と安定性を飛躍的に向上させる一方で、複合的な製造課題が存在する。

電極
- アノード
- カソード

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

溶剤、バインダー、添加剤

セル材料のライフサイクル及びEOL

1 **液状電解質**

化学成分の漸進的な向上により、カソードおよびアノード材が改善された液状電解質の進化に繋がった。高エネルギー密度電極のための高電圧および急速充電に耐えうる電解質が研究の主要テーマとなってきた。昨今の革新では、リチウム塩、溶剤および添加剤をブレンドし、イオン電導性の向上および電極の固体電解質相間層の薄膜化に焦点があてられている。

NMC系およびNCA系カソードはニッケル配合率が高いこと、また、アノードのシリコン含有率が高いことにより、従来の電解質ソリューションでは劣化が早くおこる可能性がある。可能性のある解決策として、ソルベイ（Solvay）などの企業からは、より高電圧に対応できサイクル寿命の長いフッ素系液状電解質が提案されている。フッ素系電解質は高価であるため、セルコストが問題視されないアプリケーションへの導入が予想される。ナトリウムイオン、Li-S、多価物質および金属空気電池を対象とする新たな電極材はいずれも、それぞれの構成要素に適した電解質を必要とする。

1 高圧液状電解質 → 新たな化学物質対応の液状電解質（例：ナトリウムイオン、Li-S、金属空気）

2 高イオン電導性ハイブリットバッテリーおよび半固体バッテリー（例：ジェルポリマー、PEO）

3 電導性に優れた固体電解質の量産（例：硫化物、酸化物）

2 **ハイブリッド固体電解質**

ハイブリッド固体電解質は、固体材および液状材を含有し、液体電解質と比較しセル性能の向上に優れ、同時にバッテリーの安全性も向上する、実用的な折衷案と言える。一般的なアプローチとして、ポリマーと無機電解質の結合や、固体多孔質ケースで液体電解質を覆う、などがあげられる。

ハイブリッド固体電解質は、バインダーおよびその他の使用量が削減できるだけでなく、ドライ工程、溶剤の回収、圧延および電解質の充填といった、高コストの作業工程を廃止または大幅に削減することができる。

3 **固体電解質**

液体電解質と比較し、固体電解質は安全性の向上、エネルギー密度の強化および急速充電を可能とする。加えて、セパレータを必要とせず、熱暴走の主原因であるデンドライト発生の可能性を抑制できる。

主流の固体電解質は硫化物と酸化物の2種であり、それぞれに固有のメリットとデメリットを持つ。酸化物はより環境に優しく、高電圧下での安定性に優れる一方で、高温焼結やその他の複合的な製造手法を必要とする。硫化物はイオン電導性に優れるが、化学プロセスにおける有害物質が多い。高性能カテゴリーおよび高エネルギー密度カテゴリーへの適用には、両者とも飛躍的な工程改善が必要とされる。

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | …

その他のセル材料

熱管理の進化には、セパレータの機能強化が必要とされる。セパレータが薄膜化し、高電流密度化が進む中、セパレータ膜の新材料および新コーティング材が必要とされる。

電極
- アノード
- カソード

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

溶剤、バインダー、添加剤

セル材料のライフサイクル及びEOL

1 既存セパレータの機能強化

リチウムイオンのセパレータは通常ポリエチレン製である。しかし、ポリエチレン層を2枚のポリプロピレン層がサンドイッチしたPP/PE/PPの3層セパレータを目にすることも多い。セルのAh（アンペア時）が向上する中、内部伝搬の可能性を低減するため、セパレータの耐熱性向上が必要とされる。

中長期的に予測されるセパレータの機能強化として、熱管理の進化（相変化物質）または耐火材の使用に加え、センシング強化による不具合の未然予測、または不具合の自己修復による熱暴走の抑制があげられる。

1 薄型／低コスト、耐酸化性、放熱性に富んだセパレータ → セパレータ機能強化（例：相変化、消火）

2 イオン電導性および電流密度を強化したセパレータ材（例：PVDF、アルミナ）

2 進化版セパレータの新材料

セパレータのコーティングおよび膜の新たな材料開発が進んでいる。中でも、ポリエチレンおよびポリプロピレンと比較して性能が飛躍的に向上するポリフッ化ビニリデン（PVDF）への期待が高まっている。PVDFセパレータは熱性能に優れ、高温下での収縮が最小限に抑制できる。また、電解質によるセパレータ膜の劣化を伴わずイオンの流動を可能とすることで、気孔性が向上できる。

高出力充放電の観点から、セパレータのコーティングにセラミック材が広く活用されている。中でも、高温使用に適した高純度酸化アルミニウムの人気が高まっている。

2020 2025 2030 2035 2040 …

その他のセル材料

セル製造メーカーは、新たな製造工程および電極と電流コレクタの機能統合を念頭に、箔の薄肉化を求めている。

ロードマップ2020
電力貯蔵

セル材料および製造法のロードマップ

電極
- アノード
- カソード

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

溶剤、バインダー、添加剤

セル材料のライフサイクル及びEOL

1 現行電流コレクタの最適化

バッテリーセルメーカーは、軽量化およびコスト削減を進めるため、銅箔およびアルミ箔の薄肉化を求めている。量産に適した、費用対効果の高い箔厚は6–10μmである。

高性能カテゴリーへの適用においては、箔厚を6μm以下に改善することが理想であるが、従来の圧延工程、アニール処理および電着工程により制限される。従って、6μm以下の箔を生産するには、アニール処理の向上または新たな電流コレクタの設計（ナノワイヤー箔など）が必要となる。

長期的には、コーティングするのではなく、カソード材で箔を覆い、カソード材を箔に組み込んだ格子構造の採用によってカソードおよびアノードと電流コレクタの機能統合をすることが可能である。

2 新たな工程および電流コレクタの考え方

カソードおよびアノードスラリーの箔密着性は、異なった表面処理技術（箔の面粗度および表面張力の変更など）を利用することで改善できる。機械的および熱力学的密着工程の補助を行う可能性のある処理技術としてはプラズマ処理、紫外線放射またはレーザー構造化がある。これらはスラリー内のバインダー削減の促進、活物質の増加につながる。

表面処理に加え、新たなマルチマテリアル・ハイブリッド電流コレクタの開発が進行段階にある。電導性および引張強度の向上に適した金属合金の採用はひとつの革新経路である。この他、ポリマーやグラフェンを銅またはアルミで覆った「サンドイッチ」材がある。

1 リチウムイオン向け超薄型CuおよびAl箔（例：6ミクロン以下） → 新たな電流コレクタ構造（例：格子、アノードおよびカソードとの機能統合）

2 コレクタ表面処理（例：プラズマ、レーザー） → ハイブリッド電流コレクタ（例：金属合金、金属被覆ポリマー）

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | …

溶剤、バインダーおよび添加剤

「ウェット」製造工程への依存度を低減することは、性能およびコストの改善のみならず、安全性の向上ならびに環境負荷低減の可能性に繋がる。

電極
- アノード
- カソード

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

1

有害溶剤の代替

有害性および可燃性の高いN-メチル-2-ピロリドン（NMP）が廃止できれば、製造コストの削減および安全性の向上が期待できる。代替材として、N-アセチル-P及び水が候補となる。

バインダーの機能性強化

バインダーは非活性物質として分類されるが、電極スラリーの機能強化を担う物質の使用は可能である。自己修復ポリマーや、シリコンに代表されるアノード材の膨張に耐えられるバインダーに期待したい。

2

溶剤およびバインダーの使用低減ならびに廃止

90年代以降、リチウムイオンバッテリー製造には液体スラリーで電流コレクタ箔をコーティングする「ウェット」工程が採用されてきた。溶剤の使用量を削減し、必要不可欠な場合のみバインダーおよび添加剤を使用することは、活物質比率を向上させ、エネルギー密度および出力密度の強化へと繋げる第一歩となる。

しかしながら長期的には、バッテリーセルの製造手法が根底から変更される可能性がある。現在複数の研究機関が、溶剤およびバインダーを必要としない完全「ドライ」工程の調査を進めており、製造コストの高い有害物質の廃止とセル組立工程の安全性向上が期待できる。この達成のためには、粉体塗装アノード材およびカソード材の箔適用またはフレキシブルな電極フィルムなどの技術革新経路が考えられる。

溶剤、バインダー、添加剤

1. NMPに代わる溶剤（例：N-アセチル-Pおよび水） → バインダーの新たな機能性（例：ハイブリッド、自然養生）
2. ウェット工程の削減および溶剤使用の低減 → ドライ製造工程の導入（溶剤ゼロ） → バインダーゼロの電極および電解質

セル材料のライフサイクル及びEOL

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | …

ライフサイクル

倫理的かつ安全でサステナブルなバッテリーサプライチェーンの構築には、使用材および製造において考えられる全ての観点で改善が必要となる。

ロードマップ2020
電力貯蔵

セル材料および製造法のロードマップ

- 電極
  - アノード
  - カソード
- その他のセル材料
  - 電解質材
  - セパレータ
  - 電流コレクタ
- 溶剤、バインダー、添加剤

1

セル製造および材料物質のCO_2およびLCAへの影響

カーボンニュートラルと車両ライフサイクル規制導入の二重の負担により、セル製造メーカーおよびバリューチェーンへのプレッシャーが増加している。短期施策として、セル組立工程のCO_2排出量削減および、エネルギー効率の高い製造工程または低炭素のエネルギー源を活用したカソード生産があげられる。

長期的には、セルおよび化学物質のサプライチェーンを通しての環境負荷はさらに厳しく監視されることになる。アノード、カソード、電解質およびセパレータ生産のエネルギー原単位に加え、VOCや水の使用量などの環境負荷全てについて監視されることによって、新しいエネルギーおよび資源効率の良いバッテリー化学物質製造法の商用化を促進することが期待される。

2

安全かつよりサステナブルなバッテリー材

バッテリー製造に使用される材料および化学物質は、戦略的重要性が高いだけでなく、人体への有害性を持つことから倫理的な懸念を引き起こしている。

コバルトおよびニッケルは、今後数年で供給不足に陥ると予測されており、化学物質の精製業者は、今後3~5年で高純度ニッケル、コバルト、リチウムの需要が供給を上回ると予想する。マンガン、鉄、アルミニウム、ナトリウムといった、埋蔵量の豊富な材料を活用することで、主要な化学物資への過度な依存により生じるリスクの低減に繋げる。

現行のセル製造は、有害性および発ガン性の高い化学物資を多く使用している。これらの使用量削減は、ハンドリングコストおよび製造コストの削減のみならず、EOLの段階にも効果が期待できる。例として、バッテリーをリサイクルすることで、電解質溶剤から揮発性の高い可燃性化合物が排出され、また、電解質からはフッ化水素（HF）が排出されることがあげられる。

最後に、バッテリー材には倫理的な懸念が取り巻いている。世界のコバルトのほとんどはコンゴ民主共和国で採掘されているが、コンゴでは現在もなお児童労働が使用されている。また、南米のリチウム鉱脈は、水資源の不足する地域に位置する。より安全かつサステナブルなバッテリーサプライチェーンの構築には、これらの課題を理解し、懸念を軽減することが極めて重要である。

セル材料のライフサイクル及びEOL

- 1 製造工程内のCO_2削減（例：電極、ドライ工程）→ エネルギーフットプリントの低減 → CO_2ネットゼロの生産システム
- 2 より安全、かつサステナブルなセル材の代替 → 豊富／希少度の低い材料の採用 → LCA重視のバリューチェーン
- セル材のムダ削減および産出量の向上 → セル材の再生および再利用（例：電極の再生および不良材の再製造）
- セル材リサイクルの試験運用 → 大量かつ高効率のセル材回収 → 全セル材を対象とした循環型経済の構築

2020 2025 2030 2035 2040 …

ライフサイクル

生産量が増加しリサイクルへの規制強化が進む中、歩留まりの改善、より効果的な材料の再利用、そして最終的には、完全な循環型経済の構築をすることが今後ますます重視されていく。

ロードマップ2020
電力貯蔵

セル材料および製造法のロードマップ

電極
- アノード
- カソード

その他のセル材料
- 電解質材
- セパレータ
- 電流コレクタ

溶剤、バインダー、添加剤

3 セル材の最大効率化

ギガファクトリーでの歩留まり率を向上することが第一優先であるものの、セル不具合率削減および工場の廃材管理強化にも対処しなければならない。長期的には、工場内にリサイクルセンターを設置し、セル不良品を原料として再活用することがひとつの可能性として考えられる。

この他、既存バッテリーセルを再生することによる、資源の最大活用の検討もされている。また、アルゴンヌ国立研究所（Argonne National Lab）では、再生電極材の再利用時の性能維持について研究している。

4 リサイクルおよび循環型経済

車両の電動化が急速に進む中、量産用のバッテリーセルおよび材料のリサイクル技術が求められている。例えば欧州法規は今後、欧州域内で製造された、または、欧州域内に輸入されたバッテリーセルに対し、ニッケル、コバルトおよびリチウムのリサイクル率向上を要求するだろう。このような動きは、循環型経済構築を促す第一歩となる。

様々な用途に合わせ、セル化学物質の種類が拡大することで、難易度は更に厳しくなる。現状は、回収率は乏しいがセルの種類を問わず大量にリサイクルできる手法をとるか、または、回収率の高い特殊なリサイクル法（ただし高コスト）をとるか、二者択一の状況である。

現状の湿式／乾式冶金プロセスは、今後5~7年後に予想される需要を考慮しても、比較的数が少ない。これらのプロセスの規模を拡大するときは、環境負荷の最小化（有害物質の廃止、エネルギー消費量の削減）および重要性に拘わらず全ての材料の回収率向上が必要となる。ここでの課題は、これらを経済的に成立する方法で達成することである。

理想的なソリューションは、種類を問わず全てのタイプのセルを受け入れて大量リサイクルし、セル製造メーカーや他の産業界で使用可能な高純度バッテリーグレードの化学物質を産出することである。このようにして主要材料に、ある程度の独立性を持たせることができる完全循環経済を構築することである。

セル材料のライフサイクル及びEOL

- 製造工程内のCO_2削減（例：電極、ドライ工程）→ エネルギーフットプリントの低減 → CO_2ネットゼロの生産システム
- より安全、かつサステテブルなセル材の代替 → 豊富／希少度の低い材料の採用 → LCA重視のバリューチェーン
- 3 セル材のムダ削減および産出量の向上 → セル材の再生および再利用（例：電極の再生および不良材の再製造）
- 4 セル材リサイクルの試験運用 → 大量かつ高効率のセル材回収 → 全セル材を対象とした循環型経済の構築

2020 2025 2030 2035 2040 …

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

2020年~2035年のテクノロジー指標は報告書の初めのページを参照。

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

本ロードマップは、グローバル自動車業界の量産車市場普及向け推進力技術予測を現時点でのスナップショット形式で表現したものである。特定のアプリケーション向けの技術については地域ごとに異なる。

深緑色の矢印：
一般的またはPEM – 当該技術は量産市場アプリケーションとして使われている。この期間中に、著しい技術革新が期待される。

濃い緑に白の矢印：移行期：
「移行」とは市場からフェーズアウト（段階的廃止）されるという意味ではなく、R&Dの焦点の変化を表す。

点線で囲まれた矢印：
市場の成熟期一技術が成熟期に到達。技術のフェーズアウト、代替技術の普及まで市場での適用継続が予想される。

セル形式および設計
- 量産製造を可能とするセル形式の統合
- 新型セル形式および特徴（例：タブレス構造、In-Situ測定機能、熱フロー、接合性の向上）

配電システム（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）
- 400V アーキテクチャ → 800Vアーキテクチャの採用拡大 → 新規1200Vアーキテクチャの登場
- 履歴データを利用したBMSアップグレード → SoHおよびSoCの物理学的トラッキング能力を持つBMS → 自己更新アルゴリズム、In-Situデータを利用するAI使用可能BMS
- BMSアーキテクチャへのテレメトリー採用：車両へのオフラインアップデートおよびライブ・モニタリング
- 次世代コンタクタ／コネクタ（例：固体）
- バスバーのコスト削減および軽量化 → 電導性向上した網目形状および複合材使用のバスバー

熱領域（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）
- アクティブ熱管理（高コスト効率の統合システム） → 量産車向け液浸冷却
- 複合材冷却プレート → 高出力セル向けの新遮熱材およびパッシブ冷却法
- 寒冷地向け省エネ利用方法 → 寒冷地でのバッテリー温度維持のための熱エネルギー貯蔵
- 既存熱伝導材／接合剤の最適化 → 熱材料の合理化および統合
- 火炎伝播の検知／防止／抑制手法／封じ込め

機械／メカニズム（構造）
- 軽量バッテリーキャリア → 軽量かつ複合材を使用したパックの構造（例：ポリマー）
- 高容量セルおよびモジュールの接合方法 → 新規電気接続

パックの統合および製造
- セル・ツー・パックバッテリー（例：モジュールの廃止） → セル・ツー・シャーシバッテリー → 構造バッテリー（例：ボディー構造の一部として）
- 車両熱管理システムへのパック統合
- リアルタイム／インラインテストおよび検証 → 量産市場向け試験と検証加速

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL
- ヘルスパスポート内蔵のセルおよびモジュール（例：RFID） → レジリエントなバッテリーモジュールとパック、不具合の低減
- モジュールおよびパック組立作業のCO_2排出量低減および省エネ生産 → CO2ネットゼロの生産システム
- EOL対応および柔軟なセカンドライフ利用を可能とするパック設計 → LCA重視のモジュール／パックバリューチェーン
- 易解体設計 → 材料回収手法（例：機械的な解体、処理） → モジュールおよびパックの循環型経済構築

重点技術テーマ

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計	**セル形式および設計**は今後、スケールメリットを目指し標準化が進んでいくか、あるいは、各車両要件それぞれを満足する仕様に特化していくことが予想される。
配電システム （BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）	**配電システム**は、バッテリーセルおよびモジュールからの電力をインテリジェント配電することで、電力ロスの最小化を可能とする。達成手法として、バッテリー管理システム、バスバーおよびコネクタ／コンタクタの向上があげられる。
熱領域 （例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）	**熱管理システム**は、バッテリーパックの健全性維持に不可欠である。アクティブ冷却システムの向上および強化改善された材料の採用を通じ、バッテリーセルを加熱／冷却することで熱を管理し、低温による影響を緩和する。
機械／メカニズム（構造）	**機械／メカニズム（構造）**は、モジュールおよびパックの完全性を実現するハウジングおよび接合技術を対象をする。バッテリーケースおよび構造は、軽量化実現への大きな足がかりとなり、新たな接合工程を導入することで、セル間の接触を確実にする。
パックの統合および製造	**パックの統合および製造**においては、新たな手法を検討し、エネルギーの貯蔵および管理機能の車両統合を目指す。より幅広い車両構造エネルギー貯蔵の内蔵、また、熱管理システムの集約化が本セクションの重要トレンドである。
モジュールおよびパックのライフサイクおよびEOL	**ライフサイクル**は、バッテリーモジュール／パックの炭素強度、環境負荷、資源消費およびリサイクル性を包括する。これらの要素を全て改善してはじめて、電気自動車は真にサステナブルなソリューションとなる。

2020 2025 2030 2035 2040 …

セル形式および設計

量産アプリケーションの実現に向け、業界ではセル形式の統合が進んでいるが、新たな形式の採用および追加機能の統合は、長期的な性能強化に繋がる。

セル形式および設計

1. 量産製造を可能とするセル形式の統合
2. 新型セル形式および特徴（例：タブレス構造、In-Situ測定機能、熱フロー、接合性の向上）

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

1 セル形式の統合

自動車のリチウムイオンセルが急速に普及する中、特に大量生産を対象として、OEMは特定のセル形式に集中することが予想される。セルはラミネート型、円筒型、角型の3種類に分類できる。

ラミネート型セルは、3種類の中でも最大のエネルギー密度が達成でき、フォイルケースの採用により、比較的軽量な技術となっている。EV適用にあたっては特有の要件があるため、スケールメリットが重要となる。また、高エネルギー密度であるため、ラミネート型セル全体を均一に冷却することに課題があり、安全上の懸念を引き起こす可能性がある。業界は、VDAのサイズ規格に従ったセル両端へのタブ採用の方向に向かっている。

円筒型セルは、最も開発が進んでいるセルであり、消費者用電子機器分野で幅広く活用されていることから、高水準で標準化されている。結果、円筒型セルはコスト競争力に優れ、自動車業界は21700セルにシフトしている。しかしながら円形のセルは、形状的にモジュール内での座りが悪い。セル・トゥ・パック率は低減するが、セルとセルの間に冷却チャンネルを設置することは容易である。

角型セルは、円筒型セルとラミネート型セルの折衷案と言える。その形状からパッケージ密度が高い一方で、体積／重量エネルギー密度はラミネート型セルに劣る。ラミネート型セル同様、角型セルは自動車専用の仕様となっているため、プレミアム価格を伴う。今後はスケールメリットが重要となる。ラミネート型セルに対し、OEMはVDA発行BEV2およびPHEV2仕様の採用を進めている。

2 新たなセル設計および内蔵機能

セル化学物質の進化に伴い、化学物質の性能強化に向け新たなセル形式の開発が期待される。テスラが発表したタブレス4680セルは、（タブ組付け作業のために生産ラインを停止することが回避できるため）製造効率の向上を実現しており、合わせてエネルギーおよび出力密度の向上そして安全面での改善に繋がっている。この他、ストリングセルやロールドリボンバッテリーといった新たな概念の開発が進められているが、いずれも初期段階にある。

しかし、セル形式はあくまで設計改善のひとつの要素に過ぎない。OEMは機能性の向上も求めており、In-Situ測定およびモニタリングにより、健康状態管理およびBMS開発の飛躍的な前進が期待される。また、設計を最適化してセル全体にかかるストレスへの熱性能を改善すれば、セルの安全性を高め、冷却システムへの負荷を削減することにもなる。

2020 2025 2030 2035 2040 …

配電システム

BMSソフトウェアの高度化が進んでいる。自己最適化、AIの採用、リアルタイムでのモニタリングおよびソフトウェアの更新により、バッテリーの性能、健全性、メンテナンスおよび再利用（リパーパス）の改善が実現する。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

1 400V アーキテクチャ → 800Vアーキテクチャの採用拡大 → 新規1200Vアーキテクチャの登場

2 履歴データを利用したBMSアップグレード → SoHおよびSoCの物理学的トラッキング能力を持つBMS → 自己更新アルゴリズム、In-Situデータを利用するAI使用可能BMS

BMSアーキテクチャへのテレメトリー採用：車両へのオフラインアップデートおよびライブ・モニタリング

次世代コンタクタ／コネクタ（例：固体）

バスバーのコスト削減および軽量化 → 電導性向上した網目形状および複合材使用のバスバー

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

1

高電圧化車両のアーキテクチャ

400VアーキテクチャはBEVに広く適用されており、今後もエネルギー密度が高く、高コスト効率の用途での利用が継続するだろう。一方で、乗用車セクターへの800Vアーキテクチャの導入は、戦略の方向転換を意味する。高電圧化のメリットには、ケーブルの薄肉化および軽量化、モーターの小型化および効率向上、システム軽量化、充電スピードの加速そして出力スループット向上があげられる。

800Vはまず、高性能セクター（例：GM製ハマーEV）に採用され、その後量産車市場に浸透していくと予想される。例として、起亜自動車（キアモータス）は初代EV専用プラットフォームに800V派生を適用すると示唆している。

800Vに加え、更に高電圧の適用普及は、現行700~800Vを採用するHGVやオフハイウェイ機材の電動化により、一層の加速が予想される。また、急速充電の必要性と、テザー／カテナリー車両への採用可能性を考慮すれば、1200Vの可能性も考えられる。

2

BMSソフトウェアの高度化

現行のBMS向上は、充電状況および健全性情報の改善に繋がり、結果としてバッテリー寿命および性能の管理向上に繋がる。高精度のリアルワールド・性能データが次世代機種へ反映されることにより、BMSモデルの短期的なイノベーションが更に前進する。

長期的には、自己最適化機能を備えたマルチフィジックスバッテリー機種の普及が進むと予想される。AI技術により、最新の作動条件（GPS、V2G（EV蓄電池と電力系統間の充放電）、急速充電）に基いたバッテリーの自己更新やパラメータ化の実現が期待できる。

センサー内蔵型セルの可能性により、分散型BMSによるセル単位のモニタリングおよび管理実現のチャンスが広がる。モジュールの劣化状態は、最も劣化したセルで決まることが多い。BMSの進化により、劣化状態に応じて一つのセルを隔離したり、特定のセルから電力を引き出すことが可能になるため、ある程度の自己修復力やセルの延命に繋がる可能性が考えられる。

2020 2025 2030 2035 2040 …

配電システム

車両アーキテクチャ高電圧化のメリット実現に向け、コンタクタ、コネクタおよびバスバーの進化が求められる。

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

- 400V アーキテクチャ → 800Vアーキテクチャの採用拡大 → 新規1200Vアーキテクチャの登場
- 履歴データを利用したBMSアップグレード → SoHおよびSoCの物理学的トラッキング能力を持つBMS → 自己更新アルゴリズム、In-Situデータを利用するAI使用可能BMS
- 3 BMSアーキテクチャへのテレメトリー採用：車両へのオフラインアップデートおよびライブ・モニタリング
- 4 次世代コンタクタ／コネクタ（例：固体）
- 5 バスバーのコスト削減および軽量化 → 電導性向上した網目形状および複合材使用のバスバー

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

3 テレメトリー対応BMS

テレメトリーにより、リアルタイムでのモニタリングおよび運転中のライブソフトウェアアップデートが可能となる。BMSシステムの知識蓄積に伴い、無線データトランスファーは、高度機能性の変更／修正およびBMSパラメーターの調整が可能となる。またバッテリーの作動データがあれば、不良の早期発見および予防保全に繋がる。

双方向通信はビッグデータ解析をサポートし、バッテリー寿命および性能の向上に繋がる。また、新たなアルゴリズムの開発は、バッテリーの劣化状態を改善させ、バッテリーハードウェアの交換タイミングの確定に役立つ可能性がある。

バッテリー健全性データの二次的なメリットとして、バッテリー再利用用途と利用率の増加があげられる。バッテリーの使用履歴、劣化状態、充電状態に関する知識の不足は、バッテリー再利用に至るまでの長期化、高コストにつながる。バッテリー健全性データとともにバッテリーサプライチェーンに依存しない新たなアプリケーションが成長する可能性がある。

4 コンタクタおよびコネクタの進化

コンタクタおよびコネクタは、高圧回路のON／OFFに使用される電気的切替装置である。中でも、高通電容量を必要とするEVへの適用が一般的である。コンタクタが高速に開閉することで高負荷のハンドリングが可能となるが、振動や疲労の影響を受けやすい。コンタクタの品質および信頼性の向上ならびに柔軟な電圧アーキテクチャを可能とするためには、コンタクタの新たな種類と概念が求められる。

5 コスト／スペース効率に優れたバスバー

低インダクタンス・バスバーは、EVバッテリーパックからの電力を電気駆動装置に配電する。短期的イノベーションとして、銅製バスバーのニッケルメッキ最小化、およびカソード材としても使用される高価なニッケルパウダーの使用量削減が進められている。アルミ製バスバーの導入は、軽量化とコストダウンの実現が期待できる一方で、銅と比較し熱伝導と膨張率に劣ることから、高出力を必要とする用途への採用は難しいと言える。ここで銅とアルミのハイブリッドバスバーは、コストと性能が両立できる折衷案となりえる。グラフェンコーティングに代表される最先端材料は、電導性の更なる強化の可能性に期待が寄せられる。

バッテリーの特徴に加え高電流であることから、バスバーの材料および形状の進化が必要とされる。接合の必要性を最小化したネットシェイプ製法の導入でバスバーを製造することにより複雑性を削減することができる。長期的には、電解コンデンサやサーフェスマウント技術部品（例：ノイズ除去用のEMI/RFIフィルター）など、バスバーへの主要パワーエレクトロニクス部品の統合が期待される。

2020 2025 2030 2035 2040 …

熱領域

高出力アプリケーションに対応するため、リサイクル可能かつ多機能を持つ新たな材料およびアクティブ冷却戦略が求められる。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

1 アクティブ熱管理（高コスト効率の統合システム） → 量産車向け液浸冷却

2 複合材冷却プレート → 高出力セル向けの新遮熱材およびパッシブ冷却法

寒冷地向け省エネ利用方法 → 寒冷地でのバッテリー温度維持のための熱エネルギー貯蔵

既存熱伝導材／接合剤の最適化 → 熱材料の合理化および統合

火炎伝播の検知／防止／抑制手法／封じ込め

2020 2025 2030 2035 2040 …

1 アクティブ冷却戦略

強制空冷またはパッシブ冷却は、低Cレートのバッテリーパックには適しているが、高出力車両への適用および急速充電には十分とは言えない。高エネルギーおよび高出力バッテリーパックは、冷却プレートを活用した水／グリコール系クーラントシステムへ移行する傾向にある。最も顕著な熱事象は150kWを超える急速充電であり、排熱によるエネルギーロスが著しい。戦略案として、バッテリーの先行冷却、冷却配管およびファンの追加、または充電速度の低減による、冷却要求の最小化が考えられる。

長期的には、モータースポーツで採用されている液浸冷却の概念が、自動車業界にも普及する可能性が考えられる。液浸（またはイマージョン）冷却は、セルおよびバスバーを直接冷却する誘電体冷却液を使用する。結果、バスバーの薄肉化および軽量化が実現でき、セルを均一に冷却することが可能となる。しかしながら、冷却ループの重量および複雑さ、加えて誘電体材料のコストを考慮すれば、液浸冷却は高性能車両への適用に適していると言える。

2 パッシブ冷却

パッシブ冷却は、ヒートシンク、ヒートスプレッダー、ヒートパイプまたはサーマルインターフェース材を通じて、バッテリーを最適温度で維持できるエネルギー効率のよいソリューションである。強化型金属基複合材は、アルミおよび銅製の冷却プレートと比較し熱伝導率に優れている。高Cレートのバッテリーパックが市場に参入する中、瞬時に熱を逃がせる新たな冷却プレート材が必要とされる。衛星・航空宇宙分野の冷却技術を、高性能アプリケーションへ応用することが考えられるが、それには自動車分野に適した製造手法が必要となる。

熱領域

バッテリーを最適温度で維持するためには、より効率よくバッテリーを加熱し、効果的な熱管理および放熱を可能とする、新たな材料と手法が必要となる。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

3 バッテリーの加熱

寒冷地で使用されるバッテリーは、HVACシステム要件が追加となることから、激しい劣化と著しいストレス（負荷）に晒される。特にBEVバスへの適用において顕著である。更には、バッテリーパックを最適温度に加熱するために必要となるエネルギーは、バッテリー自体から抽出されるため、熱管理システムのエネルギー使用量削減は優先課題の一つである。長期的には、相変化物質を採用することで、バッテリーや他の車両部品の酷使により生じる熱を貯蔵し、バッテリーの加熱やHVACシステムに活用する機会が生まれる。

4 熱材／接着材／接合材の合理化

バッテリーモジュールおよびパックには、一定温度と構造的統合性の維持を目的として、多数の熱材／接着材／シール材が使用されている。接着と熱管理の特性をもった多機能材の採用は、バッテリーパック内のウェット工程削減に効果が期待できる。これらの新たな樹脂や材料は、EOL規制を遵守するため、リサイクル可能でなければならない。

- アクティブ熱管理（高コスト効率の統合システム） → 量産車向け液浸冷却
- 複合材冷却プレート → 高出力セル向けの新遮熱材およびパッシブ冷却法
- 3 寒冷地向け省エネ利用方法 → 寒冷地でのバッテリー温度維持のための熱エネルギー貯蔵
- 4 既存熱伝導材／接合剤の最適化 → 熱材料の合理化および統合
- 5 火炎伝播の検知／防止／抑制手法／封じ込め

5 熱暴走の検知および防止

リチウムイオンおよびその他のバッテリー化学物質が持つ火災の危険性を理解することは、車両内での安全な使用および製造、保管、輸送に不可欠である。熱暴走は、圧力の増加、ガス／微粒子の排出、火災、そして最悪の場合爆発事故に繋がる。迅速なテスト／検証の改善を行うことで、有効な防止／抑制戦略を構築することができる。また、熱暴走の停止や発散を可能とする、新たな材料や設計の研究を進めることが有益だろう。

2020 2025 2030 2035 2040 …

機械／メカニズム領域

ポリマーおよび複合材の使用拡大に加え、構造的統合性の向上がバッテリーパックの軽量化に繋がる。より確実な接合技術の生産適用が求められる。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

1 軽量バッテリーキャリア

バッテリーケースおよび内部支持構造の多くは、金属製である。ポリマーおよび複合材の採用は、部品の集約化および機能／装備の統合を可能とする。しかしながら、ポリマーは、金型コストを抑制するために量産する必要がある。一方で複合材は、大量生産を可能とするプロセス開発が必要である。

長期的には、バッテリーは、例えば一次構造要素として車両への統合が進んでいくと予想される。

2 より安定的なセル接合技術

コスト削減の必要性から、バッテリーパックにおける代替材および混合材の使用が促進されているが、優れた性能と耐久性を確保するには、異種の材料を高速かつ強固に接合することが不可欠となる。また、量産製造を可能とするには、新しい接合技術を、生産検証の手法と同時に開発する必要がある。リアルタイムでの閉ループ生産テストは、高額な廃棄コストを最小限に抑え、最終ライン検査に依存せずに欠陥を発見するのに役立つ。

タクトタイムの削減、精密機器への依存度低減ならびに不具合モード数の削減を可能とする新たな電気接続技術は、バッテリーQA手順に大きく貢献するだろう。新たな接合技術に使用される材料は、再利用（リパーパス）を容易にし、エネルギー効率のよいEOLリサイクルが可能となるよう、解体しやすい材料でなければならない。

1 軽量バッテリーキャリア → 軽量かつ複合材を使用したパックの構造（例：ポリマー）

2 高容量セルおよびモジュールの接合方法 → 新規電気接続

2020 2025 2030 2035 2040 …

パックの統合および製造

バッテリーパックおよび熱管理は今後、全体的な車両構造およびシステムにいっそう統合されていくだろう。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

1 セル・トゥ・パック率の向上

BYD社のブレードバッテリーは、モジュールの廃止およびハウジング構造の一部撤廃により、高いセル・トゥ・パック率を実現した。一方CATL社は更に一歩進み、バッテリーをシャーシに一体化させた、CTC（セル・ツー・シャーシ）を発表した。長期的には、回生ブレーキや、ルーフ／フタ物に設置した太陽電池からの電力を貯蔵する導電構造により、ボディー構造全体でエネルギーを貯蔵できる可能性がある。

2 熱管理システムの統合

バッテリー熱管理システムは、モーターやパワーエレクトロニクスと別体であることが多い。軽量化を目的としたEDUの統合が進めば、単一の冷却ループが車両全体の効率改善を実現するだろう。また、相変化物質を採用することで、半導体および電気モーターからの熱を活用し、寒冷地におけるバッテリーのプレコンディショニングが可能となる。

3 In-Situモジュールとパック検証

セルおよびモジュールの生産ライン検査実施により、製造不良の削減および工数のかかる完成検査の撤廃が期待できる。生産ライン検査はまた、バッテリーの組立完了後には実施が不可能となる領域を検査するチャンスでもある。セルおよびモジュールの健康状態を、高速かつ高精度で検査するためには、検査機器の最適化が必要となる。

1 セル・ツー・パックバッテリー（例：モジュールの廃止） → セル・ツー・シャーシバッテリー → 構造バッテリー（例：ボディー構造の一部として）

2 車両熱管理システムへのパック統合

3 リアルタイム／インラインテストおよび検証 → 量産市場向け試験と検証加速

2020 2025 2030 2035 2040 …

ライフサイクル

長期的にサステナブルなソリューションを実現するには、製造におけるトレーサビリティとモニタリングの強化、および低炭素エネルギーの活用が必要になるだろう。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

1

ライフサイクル全体を通じたトレーサビリティおよびモニタリング

データの信頼性を保証するには、BMS内の健康状態データを補完する、無線周波数識別（RFID）の活用が候補の1つとしてあげられる。BMSとある程度の重複が存在するものの、RFIDは生産や使用地域について追加データを保持できる。また、リサイクル過程でBMSデータに障害が生じる可能性を考慮すれば、RFIDによって冗長性が得られる。

2

炭素強度および環境負荷

CO_2ネットゼロ化と車両ライフサイクル法規導入の圧力から、パックおよびモジュールの組立業者には製造工程の脱炭素化が求められる。バッテリーセルのサプライチェーンと比較しエネルギー消費量は少ないものの、レーザー溶接およびその他のセル接合／硬化技術に代表される高エネルギー消費工程には低炭素エネルギー源が必要となるだろう。パックおよびモジュール組立は、ネットゼロの早期達成候補である。

モジュールおよびパックのライフサイクおよびEOL

- 1 ヘルスパスポート内蔵のセルおよびモジュール（例：RFID） → レジリエントなバッテリーモジュールとパック、不具合の低減
- 2 モジュールおよびパック組立作業のCO_2排出量低減および省エネ生産 → CO2ネットゼロの生産システム
- EOL対応および柔軟なセカンドライフ利用を可能とするパック設計 → LCA重視のモジュール／パックバリューチェーン
- 易解体設計 → 材料回収手法（例：機械的な解体、処理） → モジュールおよびパックの循環型経済構築

2020 2025 2030 2035 2040 …

ライフサイクル

バッテリーのセカンドライフへの移行時期を知るためのアプローチ、そしてその移行を容易に行うことのできる設計が必要である。

ロードマップ2020
電力貯蔵

モジュールおよびパックのロードマップ

セル形式および設計

配電システム
（BMSハードウェアおよびソフトウェアを含む）

熱領域
（例：冷却、暖房、および熱伝播を含む熱材料）

機械／メカニズム（構造）

パックの統合および製造

3

セカンドライフを可能とするバッテリーパックの設計

一般家庭および商業ビルでの使用、また、電力系統の需給調整を目的とした電池貯蔵の需要が高まる中、バッテリーのリサイクルプロセスがまだ初期段階にあることも手伝って、EVバッテリーの再利用（リパーパス）が魅力的な選択肢となっている。

モデリングの向上により、バッテリー劣化についての理解が深まれば、OEMは経時的に劣化率を把握することができる。結果、EVからセカンドライフへの移行タイミングをより正確に判断することができ、設計プロセスにも影響を与えるだろう。バッテリーパックの機械的設計が簡素化されると、再利用可能なモジュールおよびセルを簡単に取り出すことが可能になるため、改修費用の削減および採用率の向上が期待できる。今後は、電圧、電流およびバッテリーの劣化状態を正確に記録でき、合わせて性能データを収集できる、標準化されかつ透明性のある高忠実なBMSデータが必要となる。

EVバッテリーのセカンドライフアプリケーションにおける最大のハードルは、技術よりも商業的な観点からのハードルと言える。当初の製造から7~10年が経過している可能性が高いセカンドライフセルは、今後価格が下がりエネルギー密度も向上する新品のセルと競合することになる。しかし昨今のLCA法制化への動きにより、新しいセルを製造し続けるよりも、セルを再利用することがより魅力的な選択肢となる可能性も出てくるだろう。

4

バッテリーセルの取り外し

使用済みEVバッテリーのセカンドライフアプリケーションの商業化が成功するかどうかにかかわらず、バッテリーはいずれはリサイクルされる必要がある。バッテリーパックは通常、使用段階を主目的に設計される。また、シール材、接着剤および機械的構造は、航続距離、性能および安全性の最大化を目的に製造されている。バッテリーの効果的なリサイクルには、複雑さを低減し、リサイクルのできない接着剤およびシール材を廃止し、（人手ではなく）シンプルな自動工具で解体ができるバッテリーパックの設計が、まず目下の優先項目となる。

短期的には、バッテリーハウジングおよびフタ物のほとんどが、容易にリサイクル可能なアルミ製またはスチール製となるだろう。一方で、軽量化を目的にポリマーおよび混合材の構造が検討されており、航続距離の拡大やバッテリーサイズの縮小を目指し、中でも特に航続距離が重視される軽量の商用車およびバスを対象とした研究が進められている。結果、パックおよびモジュール構造のセンシング、分類および解体の難易度が高くなる。プラスチックと金属にはそれぞれに複雑で特有のリサイクルルートがあるため、解体プロセスをこれらの相違に合わせて構築することは、著しいコスト増加に繋がる。

モジュールおよびパックのライフサイクルおよびEOL

- ヘルスパスポート内蔵のセルおよびモジュール（例：RFID）
- レジリエントなバッテリーモジュールとパック、不具合の低減
- モジュールおよびパック組立作業のCO_2排出量低減および省エネ生産
- CO2ネットゼロの生産システム
- 3 EOL対応および柔軟なセカンドライフ利用を可能とするパック設計
- LCA重視のモジュール／パックバリューチェーン
- 4 易解体設計
- 材料回収手法（例：機械的な解体、処理）
- モジュールおよびパックの循環型経済構築

2020 2025 2030 2035 2040 …

用語集

略語	解説
Ah	アンペア時。1時間にバッテリーが供給できる電流（アンペア数）。
AI	人工知能。通常は人間の知能を必要とするタスクを行うことができるスマートマシンとアルゴリズム。
BMS	バッテリー管理システム。バッテリーの健全性をモニタリングおよび管理し、以下を測定する：電圧、温度、電流、劣化状態、充電率、放電深度など。
CATL	Contemporary Amperex Technology Co., Limited. リチウムイオンバッテリーを開発／製造する中国の企業。
EDU	電気駆動装置。パワーエレクトロニクス、トランスミッションおよび電気モーターで構成される一体型ユニット。
HF	フッ化水素。
HGV	重量物運搬車。
HVAC	冷暖房換気空調設備。
LCA	ライフサイクルアセスメント。プロダクトをライフサイクルの全ての段階での環境負荷を評価すること（例：原料採掘から始まり、加工、製造、使用、そして最終的なリサイクル、廃棄まで）。
LTO, LFP, LFMP, NMC, NCA, LMO, eLNO	自動車アプリケーションに使用されるリチウムイオンカソードおよびアノード材の例。
Li-S	リチウム硫黄バッテリーはリチウムイオンと比較して、優れたエネルギー密度とコスト削減を可能とする。
NMP	N-メチルピロリドンは高価な溶剤であり、バッテリーセルの生産に必要とされるが完成品には含有されない。N-メチルピロリドンはまた、可燃性の蒸気を放出し、毒性が強い。
PE, PP, PVDF	ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリフッ化ビニリデンは熱可塑性ポリマーであり、有用な化学的、熱的、電気的特性を有する。
QA	品質保証。
SOC	充電率とは、バッテリーパックにおける燃料計に相当する。充電率の単位は通常、パーセントで表現される。（0% = 空／100% = フル充電）。
VDA	Verband der Automobilindustrie e.V. ドイツ自動車工業会。ドイツ自動車産業の振興を目指す利益団体であり、リチウムイオンバッテリーシステムに関し、一連の規格と推奨事項を発表している。
VOC	揮発性有機化合物はさまざまな化学物質で、人間の健康に長期的な影響を与えるものもある。

本報告書の作成にあたりSpell Creative社、Mindraft社にはデザイン、執筆への協力、またBMG Research社にはAPCに代わり自動車業界ロードマップアンケート調査の実施、支援を頂きましたことに厚く御礼申し上げます。

APCがまとめた自動車業界のコンセンサスロードマップ

2020ロードマップの刷新参画サマリー

ロードマップ刷新に参画した会社の分布

109の業界組織、団体がワークショップ、インタビューに参加

38の業界組織、団体がオンライン形式によるアンケート調査に参加

合計参画数：147自動車業界組織、団体

世界中の企業の参加によりグローバル観点を提供

イングランド	スウェーデン
ウェールズ	スコットランド
オーストリア	ドイツ
オランダ	ベルギー
シンガポール	日本
スイス	米国