

技術論文

電動化に対応した車載用電池パック高機能化を実現する 要素技術開発

Development of Technologies to Realize High Performance Automotive Battery Packs Adapted for Electrification

白神 聡*
Satoshi SHIRAKAMI

増井 聖弥
Seiya MASHII

西尾 克秀
Katsuhide NISHIO

齋藤 由実
Yumi SAITO

高橋 武寛
Takehiro TAKAHASHI

芦田 肇
Hajime ASHIDA

矢倉 聖也
Masaya YAGURA

山本 正人
Masato YAMAMOTO

吉田 博司
Hiroshi YOSHIDA

田中 康治
Yasuharu TANAKA

山中 晋太郎
Shintaro YAMANAKA

抄 録

電気自動車向け電池パックでは、高い安全性、CO₂排出量低減、コスト削減、小型・省スペース化、軽量化が求められている。日本製鉄(株)では、広い強度レンジと多様な機能を有する鋼板とそれを活かす利用技術(構造設計、成形工法、実験および解析評価手法)の開発を進めている。本稿では、高機能な鋼製電池パックケースを実現する総合的取り組みについて概説を行った。

Abstract

Battery packs for electric vehicles are required to have high safety, low CO₂ emission, cost reduction, space-saving, and weight reduction. Nippon Steel Corporation is developing steel sheets with a wide range of strength and various functions, along with utilization technologies (structural design, forming methods, experimental and analytical evaluation methods) that make use of these properties. This paper provides an overview of the comprehensive efforts to realize high-performance steel battery pack cases.

1. 緒 言

1.1 背景

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、ライフサイクルでのCO₂を含む温室効果ガス(以下、CO₂)排出量の低減が求められており、自動車分野では、電気自動車(以下、EV)の普及が進んでいる^{1,3)}。その中でも、走行用モーターへ電力を供給する電池パックは最重要技術のひとつであり、各メーカーでは生産能力拡大やリユース・リサイクル、次世代電池の開発を推進している⁴⁾。電池パックはその製造プロセスにおいて多くのCO₂を排出するため、その低減が必要である⁵⁾。また、現在の電池素材の主流となっている液系リチウムイオン電池(LIB)は浸水や短絡により発煙・発火するリスクがあり、水密性、耐火性、衝撃や衝突等からの電池保護といった安全性確保は急務である⁶⁾。各自動

車メーカーにおいては、EVの商品性と競争力の向上に向け、上記に加え、高性能(高出力・高エネルギー密度)な電池開発、広い居住空間や無駄のない空間活用を狙った小型・省スペース化やフラット化の開発が進められている。また、電池パック重量は車両重量の20~25%を占めており、航続距離向上や衝突エネルギー低減の観点から軽量化も強く求められている。一方、電池パックはEVのコストの約3割を占めており、これら要求を低コストで成立させることも大きな課題である⁷⁻¹⁴⁾。

本稿では、環境性、安全性、経済性を考慮した鋼製電池パックについて、コンセプトと効果、それらを実現する要素技術について紹介する。

1.2 日本製鉄グループの電池パック向け技術

日本製鉄(株)では、自動車に対する様々なニーズに的確

* 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部 課長 博士(工学) 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

に対応するため、トータルソリューション：NSafe®-Auto Concept を提案している (図 1)。本技術は、材料開発・構造設計・工法開発・性能評価の 4 つの柱から成り立っている。

図 2 に、NSafe®-AutoConcept の根幹となる材料メニューを示す。冷間ハイテンは 1470MPa 級鋼板まで実用化しており、さらなる高強度鋼板の研究開発にも取り組んでいる。加えて、高機能商品として、衝突時のエネルギー吸収性能や耐衝突判断特性に優れた鋼板 (以下、EA 鋼板)、高強度でも極めて高い伸びや穴広げ性を有する鋼板の実用化・開発に取り組んでいる。ホットスタンプ用鋼板 (以下、HS 鋼板) は 0.5~2.0GPa 級までの幅広い強度レンジについて量産中あるいは開発を完了している。0.5GPa, 1.0GPa, 1.3 GPa-HS 材は衝突時の大変形に耐えて高いエネルギー吸収が可能である。めっきは、電池ケースや正負極集電体向けとして高耐薬品性と低表面電気抵抗を有するニッケルめっきスーパーニッケル® を実用化しており、バックケースや上蓋の電着塗装レスや耐火材レスの可能性を有する高耐食

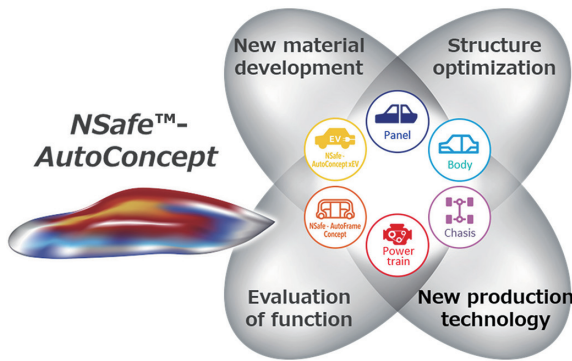


図 1 日本製鉄のトータルソリューション
Nippon Steel's total solution for automobiles

性めっきスーパーダイマ®/ZAM® を提案している。鉄鋼材料は、他素材と比較し優れた環境性 (CO₂ 排出量, リサイクル性), 高強度 (耐荷重) と高融点 (耐火, 耐熱) による高い安全性, 資源の豊かさと洗練された製造技術による高い経済性を有する素材である。日本製鉄グループでは様々な強度レンジおよび機能を備えた豊富な商品メニューを有しており、自動車の多様なニーズに対応することができる。

表 1 に、日本製鉄が提案する電池パック向けソリューション技術を示す。例えば、超高強度鋼板を用いた電池パック構造コンセプトは高い安全性やレイアウト性を有する軽量で低コストな電池パックケースの実現が可能となる。高い耐食性を有するめっき鋼板は、上蓋や電池ケースの工程省略や耐熱・耐火性能確保に寄与することで大幅なコスト削減や安全性向上を可能とする。合わせて、これらの実現性を高める独自の工法や最適な接合法も提案している。また、解析・評価技術は、高まる性能や安全性への要求に対し、試作や実験などの物理的な検証過程を削減し、開発工期とコストを削減することが可能となる。

	Type	Tensile Strength (TS) Grade [MPa]				
		980	1180	1310	1470	1760 2000
Cold rolled	Uncoated Dual Phase, Multi Phase TRIP High Crash Energy Absorption	●	●	●	●	△
	Coated (GA) Dual Phase, Multi Phase TRIP High Crash Energy Absorption	●	●	△	△	
For Hot Stamping	Uncoated				(●)	(●) (●)
	Coated (Al-Si) Coated (Zn)	(○)	(○)	(○)	(○)	(○) (○) (○)

●: In mass production, ○: Developed, △: Under development, (): After hot stamping

図 2 日本製鉄の材料メニュー
Nippon Steel's material lineup

表 1 日本製鉄の電池パック向けソリューション技術
Nippon Steel's solution technologies for the electric vehicle battery packs

	メリット	ソリューション	材料・技術
設計	耐衝突性, レイアウト性	高効率エネルギー吸収部材	高エネルギー吸収型超ハイテン, 波型 EA 部材
	耐荷重性	インナーフレーム構造	超高強度鋼板 (冷間超ハイテン, HS 用鋼板), 材料配置・部品形状・骨格構造の最適化
	耐荷重性, 剛性	HS 連続フランジ	ホットスタンプ用鋼板, HS フランジ連続化工法
	耐荷重性	高強度モジュールケース	超ハイテン, 材料配置・部品形状の最適化
	耐荷重性, 耐熱・耐火性	高耐食性セルケース	スーパーニッケル®, ステンレス鋼板
	耐久性	正負極集電体	スーパーニッケル® 箔, ステンレス箔
	工程省略, 耐熱・耐火性	電着塗装レス上蓋	スーパーダイマ®/ZAM®, ステンレス鋼板
	水密性	一枚物トレイ	高深絞り性鋼板
	セル搭載効率, レイアウト性	アンダーフレーム構造	超高強度鋼板 (冷間超ハイテン, HS 用鋼板), 材料配置・部品形状・骨格構造の最適化
解析	セル搭載効率, レイアウト性	一体ピン角トレイ	ピン角トレイ一体成形工法
	開発工期削減	高精度衝突解析	NSafe®-MAT/SPOT
	開発工期削減	剛性可視化	NSafe®-SV
	開発工期削減	スプリングバック原因応力分析	NSafe®-SD-Analyzer
評価	バックケース向け各種機械試験 (圧壊, 衝突, 衝撃, 突上げ) ※開発用評価		
	Li イオン電池を中心とした電池特性評価・試験, 電池部材・材料の分析・解析までの一貫受託体制		
	LCA 評価		

このように、日本製鉄グループの総合力により、安全性向上、コスト削減、軽量化の実現に向け、くるまづくりの上流（先行開発）から下流（量産化サポート）に至るまでの総合的なソリューション提案を行っている。

2. 電池パッケース・モジュールケース

2.1 コンセプト

図3に、日本製鉄が提案する電池パッケースコンセプトの例として、軽量タイプと高容積タイプを示す。

軽量タイプの特徴は、電池パック内に2.0GPaHS鋼板を適用したクロスメンバーを搭載する点である。HS鋼板の極めて高い強度に加え、優れた成形性によって実現される連続フランジにより、耐荷重性と剛性の向上が見込める。これにより、安全性確保のために搭載していた他部品を削減することができ、軽量化が可能となる。

高容積タイプの特徴は、GA1470といった冷間超ハイテンを適用したクロスメンバーを電池パック裏面に配置する点である。冷間超ハイテンの強度の高さを活かすことで、小断面でも高い耐荷重性が確保できる。これにより、クロスメンバーが設置されていた空間が利用できるため、セルの搭載効率やレイアウト性の向上、電池パックの小型化が可能となる。加えて、衝突安全性は電池パック裏面の構造で設計するため、電池パック内レイアウトの変更等による手戻りを回避でき、工期短縮の効果も期待される。

共通の要素技術として、電着塗装工程省略によりコスト削減が見込める上蓋（電着塗装レス上蓋）や、曲率半径が極めて小さい稜線での一体成形により高いセル搭載効率と水密性の両立が可能なトレイ（一体ピン角トレイ）、EA鋼板と波型形状の適用により省スペースで高い耐衝突性が実現できる衝突エネルギー吸収部材（波型EA部材）がある。

これらの要素技術の詳細については、次節以降で述べる。

2.2 電着塗装レス上蓋

電池パックを構成する部品は多くの場合、ボディーとは別の工程で電着塗装されるため、電着塗装を省略できることは環境性や経済性の観点で極めて有効である。一方で、電池パックは車体下面に設置されることが多いことから、チッピングなどにより表面に損傷を受けることがあり、このような損傷部でも耐食性を有する必要がある。

図4に合金化溶融亜鉛めっきに電着塗装を施した鋼板（以下、GA電着）と日本製鉄が開発した高耐食性めっき鋼板スーパーダイマ®（以下、SD）¹⁵⁾について、チッピングなどによる表面損傷を模擬したクロスカットを入れたサンプルの耐食性評価結果を示す。SDは全面に白錆が発生しているものの、カット部においては赤錆に至っておらず、むしろ車体下面にも広く使用されるGA電着より耐赤錆性は良好である。電池パックには水密性が求められることから、

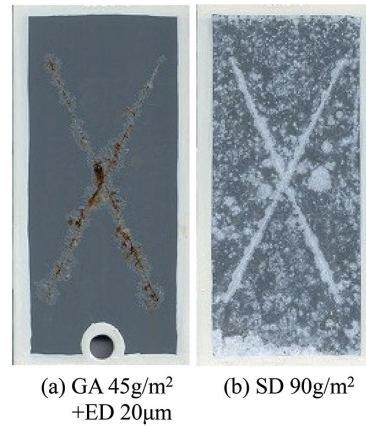


図4 腐食試験結果
Results of corrosion tests (JASO M609-91 400cycles)

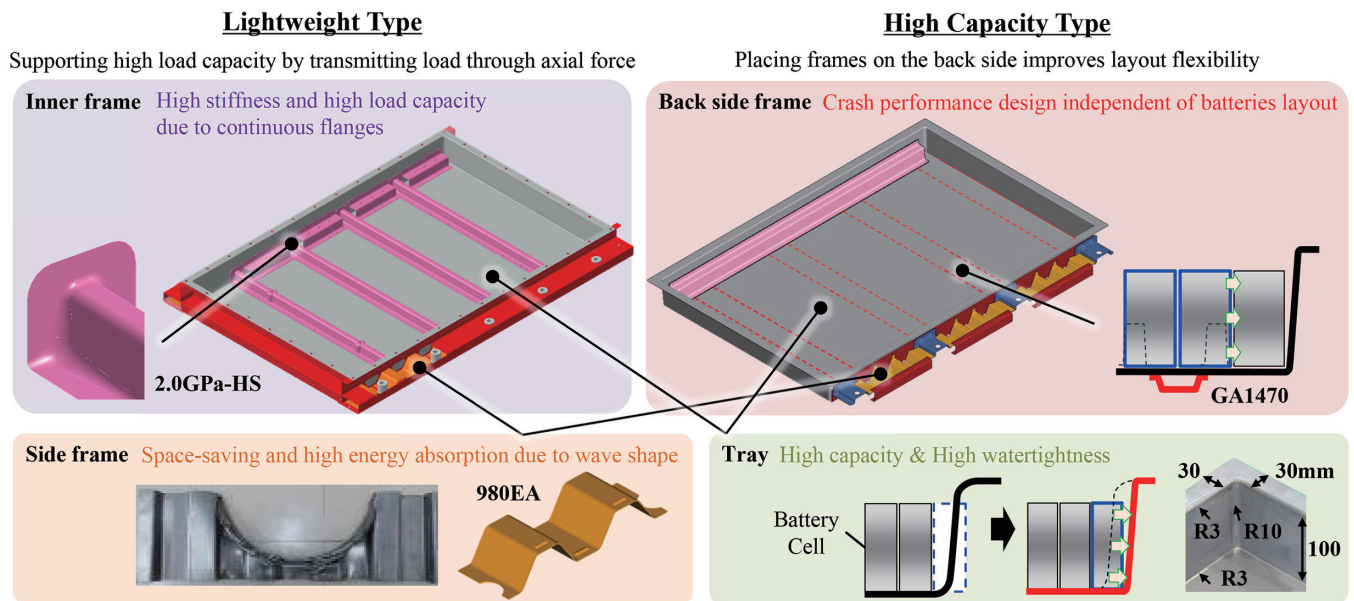


図3 日本製鉄の電池パッケースコンセプト例
Examples of Nippon Steel's electric vehicle battery pack case concepts



図5 電着塗装レス上蓋試作品
Prototype of battery pack top cover

地鉄の穴あき腐食につながる赤錆への移行が遅いことは極めて重要な性能である。SDは、純Zn系のめっきに対して、5倍の耐食性を有し¹⁶⁾、より高い耐食性を求める場合は、厚目付化することも可能である。

また、日本製鉄ではSD向けに潤滑性に優れた化成処理を開発している。潤滑性に優れた化成処理を施したSDを用いることで、図5に示すような電池パック上蓋を無塗油で成形可能である。無塗油成形できれば、脱脂工程が不要となり、環境性と経済性のさらなる向上が期待される。

このように高耐食性めっき鋼板や潤滑型化成処理を施した鋼板を用いることで、電着塗装レスや成形時の塗油レス、脱脂レスといった高い環境性および経済性を有する電池パックが開発可能となった。

2.3 一体ピン角トレイ

トレイは、セル搭載効率の観点で稜線の曲率半径が小さくかつ縦壁の角度がより垂直に近い形状(ピン角形状)であることが求められ、水密性の観点で一枚材料から一体成形され接合部が無いことが望ましい。また他部材との接合やコストを考慮すると、鋼板のプレス成形によって実現することが望まれる。しかし、このような形状はプレス成形時の割れの抑制が極めて難しい。日本製鉄では、一体ピン角トレイを実現するための成形工法を開発した^{17,18)}。

図6に示すように、一体ピン角トレイをプレス成形する場合の課題は、角部頂点での割れと縦壁部での割れである。角部頂点での割れは、局所的な張り出し変形によって生じるため、予加工により角部頂点近傍に十分に材料を流入させ、後工程でピン角に成形する手法を検討した。この場合、予加工で材料流入過多となるとしわが発生してしまうため、割れとしわの両方を抑制できる予加工形状の最適化技術を開発した(図7)。縦壁部での割れは、フランジ部の縮みフランジ変形抵抗による材料流入不足によって生じるため、ブランクの角部を突出させて縮みフランジ変形を抑制し材料流入を改善する手法を開発した(図8)。

これらの技術により、図9に示すような高いセル搭載効率と水密性を有する一体ピン角トレイを実現した。

2.4 波型EA部材

電池パックはフロアの下側に配置されることが多いため、EVの衝突安全性には乗員保護に加えて電池保護が求めら

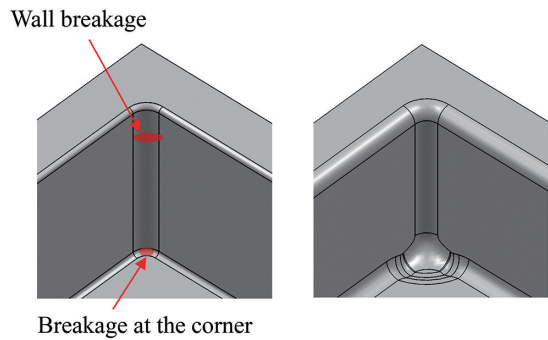


図6 割れ発生懸念箇所 Crack-susceptible regions
図7 最適予加工形状 Optimal pre-processing shape

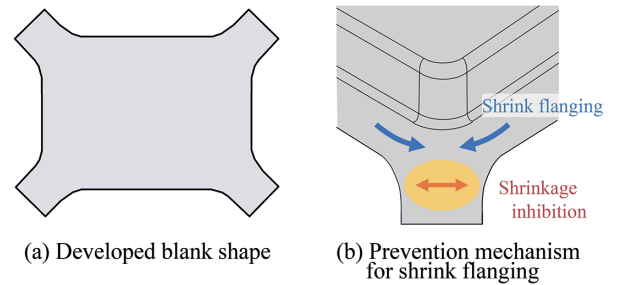


図8 ブランク形状による縮みフランジ抑制
Prevention of shrink flanging by developing blank shape

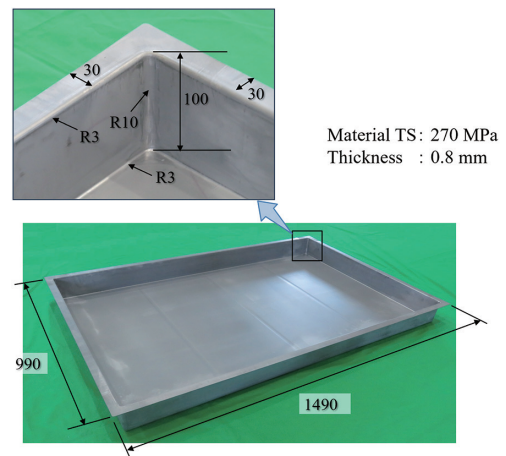


図9 高セル搭載効率・高水密性トレイ試作品
Prototype of high-capacity and high-watertightness tray

れる。そのため、サイドシルや電池パックのサイドフレームは、その内部等に側面衝突時のエネルギーを吸収する構造(衝突エネルギー吸収部材)が適用されている。日本製鉄では、1.2節で述べた優れたエネルギー吸収性能と耐衝突判断特性を有するEA鋼板の性能を最大限引き出すことができる衝突エネルギー吸収部材として波型EA部材を開発した^{19,20)}。

衝撃吸収部材のエネルギー吸収性能の向上には、断面設計と、それによる座屈挙動の制御が重要となる。座屈挙動としては細かい座屈を繰り返し蛇腹状に潰れる軸圧壊がエネルギー吸収性能に優れる。さらに高い性能を得るためには座屈時の反力を高めることが有効であり、隣接する平面部の凹凸が逆向きとなるような座屈挙動を発生させること

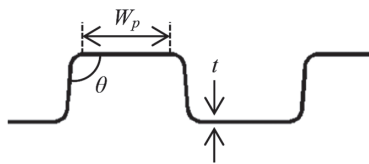


図 10 断面図
Section view

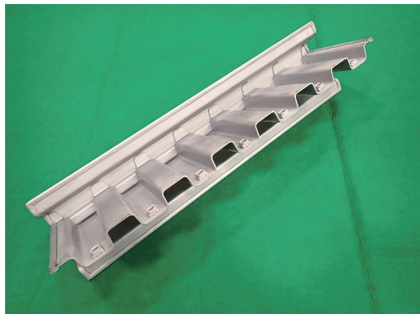


図 11 波型衝突エネルギー吸収部材試作品
Prototype of energy absorption member with wave structure

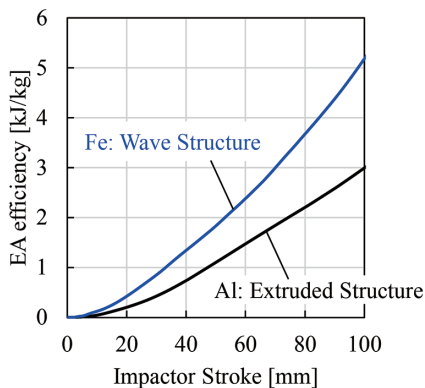


図 12 圧壊時の EA 性能比較
Comparison of energy absorption efficiency

で達成できる。これは座屈波の振幅（圧壊方向に対する面外変形量）が小さくなり、圧壊方向に対する荷重を受けやすくなったためと考えている。このような座屈挙動は、圧壊方向に垂直な断面の板厚 t と曲げ稜線を挟んで隣接する平面部の平面部長さ W_p とはさみ角 θ で制御できることを明らかにしている（図 10）。

図 11 に、上記知見と 980MPa 級 EA 鋼板を用いて断面設計した波型 EA 部材の試作品を示す。

図 12 に、衝撃吸収部材にインパクトを押し当てる圧壊試験における本試作品の単位質量あたりのエネルギー吸収性能を示す。合わせて同図中に、格子断面形状を有するアルミ押出部材の結果も示す。アルミ押出部材と比較して、波型 EA 部材は高いエネルギー吸収性能を示す。すなわち、同じ量の衝突エネルギーを吸収する場合、波型 EA 部材の方が必要なストロークが小さいことがわかった。

以上の結果より、省スペースで高い耐衝突性を有する鉄製衝突エネルギー吸収部材の開発が可能になった。

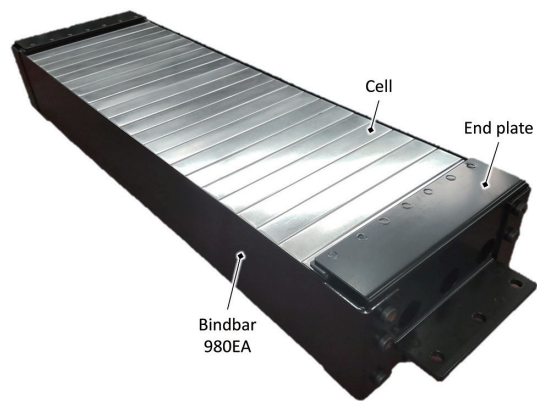


図 13 電動車向け鉄製電池モジュールケース例
Examples of battery module case

2.5 モジュールケース

図 13 に示すように、モジュールケースは複数のセルを束ね拘束する部材であり、バインドバー（側板）とエンドプレート（端板）に大別される。近年は高エネルギー密度化のニーズを受け、バインドバーは長尺化、セルは充放電時の膨張収縮量が増大傾向にある。セル間バスバーの許容寸法変化量や、電池セル劣化防止の観点から、このような膨張収縮によるモジュールケースの寸法変化は小さくすることが望ましいと考えられる。

バインドバーはセルの膨張による荷重を面内の引張荷重として受けるため、バインドバーの許容荷重の向上、すなわち軽量化には素材の高強度化が効果的な手段のひとつである。また、曲げ部を有する場合、その曲率半径が小さいほどセルや他部品との干渉を回避するための空間を削減できるため、板厚が小さく曲げ性の高い素材が望まれる。このように、バインドバーの素材には高強度で高い曲げ性を有し板厚の小さい材料が適しており、そのような材料として、例えば、日本製鉄の高強度 EA 鋼板が挙げられる。

エンドプレートはセルの膨張による荷重を曲げ荷重として受けるため、部品として高い曲げ剛性が必要となる。プレス部品は成形と組立てにより 3 次元的な構造とすることが可能であり、鋼板の強度の高さと組み合わせることで、衝突時の電池保護機能を持たせるなど、最適な部品性能の実現が期待される。

3. セルケース

3.1 セルケースの鋼製化

電池外装材、つまりセルケースはその形状から円筒形、角形、パウチ形に分類され、その素材にはニッケルめっき鋼板やアルミニウムが用いられている。特にニッケルめっき鋼板は Ni の耐薬品性の高さや表面電気抵抗の低さから、従来からアルカリ電池や Ni-Cd 電池、Ni-MH 電池など高濃度アルカリ溶液を電解液とした様々な電池の外装材として採用されている。また、車載向けやノートパソコン、パワーツールなどに広く採用されている円筒形リチウムイオンセ

ルケースにもニッケルめっき鋼板が使われている²¹⁾。一方、角形およびパウチ形セルケースにはアルミニウムが主に用いられている。

セルケースに期待される性能としては、耐熱性（熱暴走時の耐熱焼性等）や繰り返し充放電に伴う膨張収縮に耐える疲労特性、また薄肉化による体積エネルギー密度向上などが挙げられる。アルミニウムよりも融点が高く、同じ板厚での強度に勝る鋼板を角形およびパウチ形セルケースに用いることで、これらの性能を向上できる可能性がある。

3.2 耐熱性

図14は類焼試験後の角形電池の外観である。満充電状態の電池を強制的に短絡させると800℃越えまで発熱し、隣接電池の温度も上昇する。ニッケルめっき鋼板（スーパーニッケル[®]）製のセルケースに損傷は認められなかったが、アルミニウム合金（A3003）製のセルケースには溶融が認められた。また、隣接電池の発火までにニッケルめっき鋼板製電池はアルミニウム合金製電池の約2倍の時間がかかった。これは、ニッケルめっき鋼板製のセルケースでは壁面が溶融せず発火電池からの伝熱が抑制された一方、アルミニウム合金製のセルケースでは壁面が溶融したことにより隣接電池への伝熱量が増加したためであり、アルミニウム合金よりも高融点の鋼製セルケースの耐熱性の優位性が確認された²²⁾。

図15はラミネート鋼板（薄Crめっき鋼板）およびアルミラミネートをパウチ形セルケースに用いた電池の圧壊試験（UL1642準拠）後の外観である。電池内面側にはポリプロピレンフィルム、電池外面側にはPETフィルムがラミネートされている。ラミネート鋼板製の電池ではセルケースは変形したものの、短絡による発煙や熱暴走は認められなかった。一方、アルミラミネートを用いた電池では圧壊部でセルケースは破断しており、圧壊直後においても白煙、熱暴走が認められた。この違いは温度上昇した際の強度低下がアルミニウムよりも鋼が少なかったためと考えられる²³⁾。

3.3 疲労特性

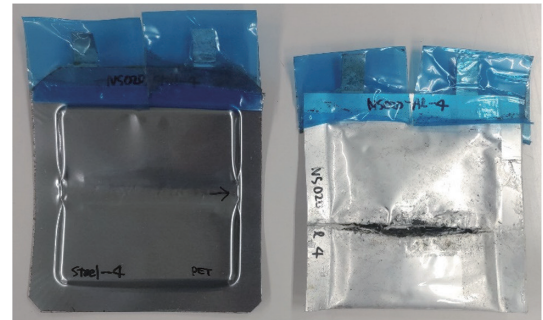
図16は角形セルケースにおける胴と蓋のレーザー溶接部を模擬した試験体を用いた片振り式疲労試験結果である。使用した材料はニッケルめっき鋼板、ステンレス鋼板（SUS430LX）、アルミニウム合金（A3003）である。レーザー溶接部の溶け込み深さは約0.4mmとした。ニッケルめっき鋼板およびステンレス鋼板は板厚が薄いにも関わらず、破断繰り返し数が、アルミニウム合金の10倍以上であり、高い疲労寿命が得られることが確認された。また、アルミニウム合金の破断箇所が溶接金属であったのに対し、ニッケルめっき鋼板およびステンレス鋼板の破断箇所はいずれも母材側であることより、疲労強度が溶接品質に依存しにくいと考えられる。



(a) Ni-coated steel sheet (b) Aluminum sheet

図14 類焼試験後の電池外観

Appearances of lithium-ion batteries after thermal runaway propagation tests



(a) Laminated steel sheet (b) Laminated aluminum

図15 圧壊試験後の電池外観

Appearances of lithium-ion batteries after crash tests

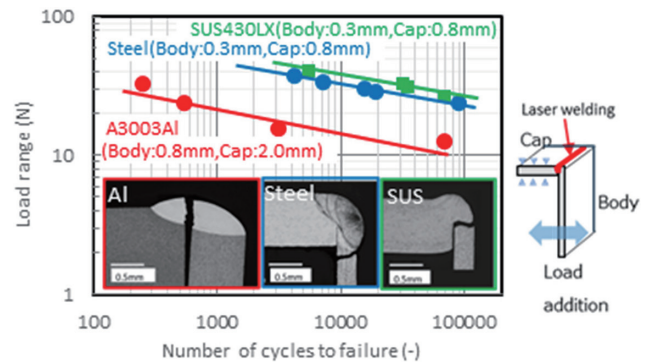


図16 角形電池ケースの接合部を模擬した疲労試験結果
Result of fatigue test

以上の結果から、電池ケースの鋼製化により充放電時における膨張・収縮による接合部の耐疲労特性は向上し、疲労に対する高い信頼性が期待される。

3.4 鋼製セルケース実用化への取り組み

鋼製セルケースの実用化に際しては、蓋や胴の成形、また封止の量産技術開発が必要であり、角形においては絞りや折り曲げ、また封止としては溶接法他、巻締法などにも取り組んでおり、種々セルケースへの鋼の適用が期待される。

4. 今後の展望

電池パッケケースは、部品機能を統合することでさらなる部品点数や生産工程の削減によるコスト削減が可能とな

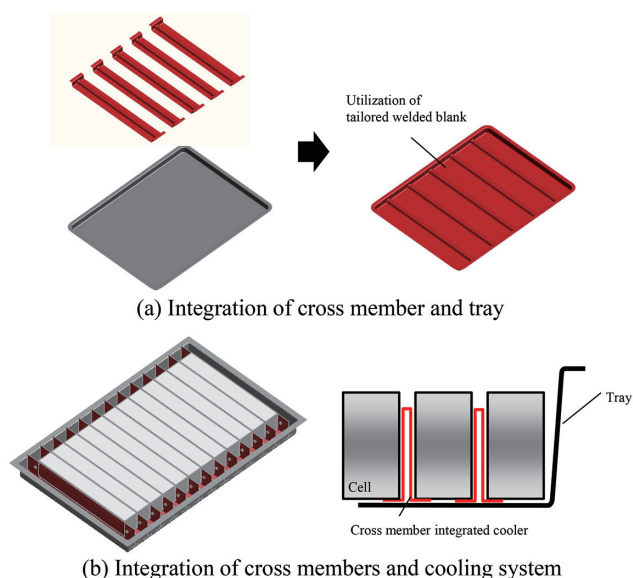


図 17 電池パックケース構成部品の一体化例
Examples of integration of battery pack case components

り、電池パックの競争力向上に貢献できると考えられる。その一例として、図 17(a)に示すようなホットスタンプの優れた成形性やテーラードウェルドブランクの活用によるクロスメンバーとトレイの一体化が挙げられる。他にも、図 17(b)に示すような冷却部品の高強度化によるクロスメンバーとの一体化や、上蓋の高強度化によるフロアとの一体化が考えられる。

モジュールケース、セルケースは、全固体電池の実用化に向けた技術開発が重要である。全固体電池では、セルを構成する固体電解質粒子間同士の界面接触状態の維持と、充放電時の膨張収縮の大きいリチウム金属負極の析出溶解反応に対する追従性を高めるために、リチウムイオン電池よりも大きな圧力をセルにかかる必要があるためである。したがって、高い拘束力を実現できる構造・機構の開発が必要であると考えられる。加圧に対する耐久性を維持するために、各部品にはより強度の高い材料が必要になる。

以上より、1470MPa級冷間ハイテンや2.0GPa級HS鋼板を超える強度や、より高い成形性や耐食性を有する鋼板への期待は大きい。

5. 結 言

日本製鉄が開発した電池パックの高機能化を実現する要素技術について紹介した。コンセプトでは、電池パック内に2.0GPaHS鋼板を適用したクロスメンバーを搭載する軽量化に優れたモデルと、GA1470といった冷間超ハイテンを適用したクロスメンバーを電池パック裏面に配置するセル搭載効率やレイアウト性に優れたモデルを示した。電着塗装レス上蓋では、高耐食性めっき鋼板スーパーダイマ®や化成処理の適用により、電着塗装工程や成形時の塗油・脱脂を省略し、高い環境性および経済性が実現できる可能性を示した。一体化ピン角トレイでは、稜線の曲率半径が

小さくかつ縦壁の角度がより垂直に近い形状を一枚の鋼板でプレス成形可能な工法を開発し、高いセル搭載効率と水密性が実現できる可能性を示した。波型EA部材では、優れたエネルギー吸収性能と耐衝突判断特性を有するEA鋼板と断面設計による座屈挙動の制御により高い衝突エネルギー吸収部材を開発し、省スペース化やさらなる衝突安全性向上の可能性を示したモジュールケースでは、軽量化、省スペース化や電池保護機能付与に高強度EA鋼板が適している可能性を述べた。セルケースでは、スーパーニッケル®鋼板の優れた耐熱性と疲労特性により高い安全性が実現できる可能性を示した。これらを含む日本製鉄グループの先進技術とそれを活用したトータルソリューションにより、電池パックの様々なニーズおよび技術課題に対して有効な解決策を提供し、環境性、安全性、経済性を考慮した鋼製電池パックを実現することができる。今後も、自動車産業の持続可能な発展に寄与していく。

参照文献

- 1) 経済産業省：第1回蓄電池のサステナビリティに関する研究会、3-11、2022年1月21日
- 2) 経済産業省：「トランジション・ファイナンスに関する自動車分野における技術ロードマップ」、4-37、2023年3月30日
- 3) 経済産業省：第4回蓄電池産業戦略推進会議「自動車を取りまく国内外の情勢と自動車政策の方向性」、4-9、2025年3月12日
- 4) 経済産業省：第4回蓄電池産業戦略推進会議「蓄電池産業戦略の推進に向けて」、2-38、2025年3月12日
- 5) 経済産業省：第4回蓄電池のサステナビリティに関する研究会「蓄電池のカーボンフットプリント」、23-24、2023年4月21日
- 6) 経済産業省：第2回蓄電池産業戦略推進会議「蓄電池産業戦略の関連施策の進捗状況及び蓄電池を取り巻く主な環境変化について」、30-31、2024年11月19日
- 7) Accenture：令和3年度高度な自動走行・MaaS等の社会実装に向けた研究開発・実証事業（CASE等による産業構造変化を見据えた国内技術動向調査）、17-24、2022年2月28日
- 8) 人見真央 ほか：TOYOTA Technical Review. 68、7-25 (2023)
- 9) 大矢賢樹 ほか：TOYOTA Technical Review. 69 (1)、3-23 (2023)
- 10) 大西将浩 ほか：日産技報. (90)、19-23 (2024)
- 11) 大間敦史 ほか：日産技報. (90)、25-29 (2024)
- 12) 藁裕貴 ほか：マツダ技報. (39)、96-101 (2022)
- 13) 岡村純也 ほか：SOLTERRAの衝突安全性能. SUBARU技報. (49)、39-43 (2022)
- 14) 藤居拓也 ほか：SUBARU技報. (51)、26-32 (2024)
- 15) 森本康秀 ほか：鉄と鋼. 89 (1)、161-165 (2003)
- 16) 徳田公平 ほか：日本製鉄技報. (419)、65-69 (2022)
- 17) 菅原稔 ほか：第74回塑性加工連合講演会予稿集. 347-348 (2023)

- 18) 菅原稔 ほか：自動車技術会 2023 年春季学術講演会講演予稿集. 文献番号 20235323 (2023)
 19) 中澤嘉明 ほか：日本機械学会論文集. 73 (727), 331-337 (2007)
 20) 増井聖弥 ほか：自動車技術会論文集. 54 (5), 1020-1023 (2023)

- 21) 高橋武寛 ほか：日本製鉄技報. (412), 184-189 (2019)
 22) 川本浩輔 ほか：自動車技術会論文集. 56 (2), 213-218 (2025)
 23) 政次美咲 ほか：自動車技術会論文集. 56 (3), 416-420 (2025)



白神 聡 Satoshi SHIRAKAMI
 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
 課長 博士(工学)
 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



山本正人 Masato YAMAMOTO
 薄板事業部 自動車鋼板営業部
 部長代理



齋藤由実 Yumi SAITO
 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部



山中晋太郎 Shintaro YAMANAKA
 鉄鋼研究所 表面処理研究部
 課長



矢倉聖也 Masaya YAGURA
 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部



西尾克秀 Katsuhide NISHIO
 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
 課長



田中康治 Yasuharu TANAKA
 名古屋製鉄所 品質管理部
 上席主幹 博士(工学)



芦田 肇 Hajime ASHIDA
 鉄鋼研究所 接合研究部
 主任研究員



増井聖弥 Seiya MASHII
 名古屋製鉄所 品質管理部
 主査



吉田博司 Hiroshi YOSHIDA
 鉄鋼研究所 接合研究部長
 博士(工学)



高橋武寛 Takehiro TAKAHASHI
 鉄鋼研究所 表面処理研究部
 室長 博士(工学)