

技術展望

カーボンニュートラル社会の実現に向けた 次世代自動車コンセプト (NSafe[®]-AutoConcept ECO³) の開発

Development of Next-generation Automobile Concept (NSafe[™]-AutoConcept ECO³) for Realizing a Carbon-neutral Society

井口 敬之助* Keinosuke IGUCHI	白神 聡 Satoshi SHIRAKAMI	木本 野樹 Naoki KIMOTO	吉川 伸麻 Nobuo YOSHIKAWA
大塚 研一郎 Kenichiro OHTSUKA	河内 毅 Takeshi KAWACHI	久保 雅寛 Masahiro KUBO	

抄 録

自動車業界においては、環境規制の強化、電動車の普及、車体構造の変化、部品設計・評価のアウトソーシング化、製造技術の革新という大きな変革が生じている。これらの変化に対応するために日本製鉄(株)は、カーボンニュートラル社会の実現に向けた新たなコンセプト NSafe[®]-AutoConcept ECO³ を開発した。新しいコンセプトでは、ECO³ (エコ・ノミー) ~ 経済性, ECO² (エコ・ロジー) ~ 軽量化・環境対応, ECO¹ (エコ・システム) ~ 最適生産システムをコンセプトの軸とし、顧客とともに、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

Abstract

The automotive industry is undergoing major changes, including the strengthening of environmental regulations, the spread of electric vehicles, changes in vehicle body structure, outsourcing of parts design and evaluation, and innovation in manufacturing technology. In response to these changes, Nippon Steel Corporation has developed a new concept, NSafe[™]-AutoConcept ECO³, aimed at realizing a carbon-neutral society. The new concept is centered on the concepts of ECO³ - economic efficiency, ECO² - lightweight and environmentally friendly, and ECO¹ - optimal production system, and we will contribute to the realization of a carbon-neutral society together with our customers.

1. 緒 言

自動車業界は現在、100年に一度の大変革期を迎えている。各国政府はカーボンニュートラルを目指し、厳しいCO₂排出基準を設定しており、例えば、欧州連合(EU)は2030年までに新車のCO₂排出を55%削減する目標を掲げており、2024年からさらに厳しい排出基準が導入されている。加えて、走行時に排出されるCO₂だけでなく原料調達から製造、使用、廃棄までの全ライフサイクルを通じての環境負荷を評価、削減する動きが強まっており、企業活動や、製品製造、開発技術が環境に及ぼす影響の定量化に有効なライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment, 以下LCA)による完成車の評価が行われ、製品設計に応用されるようになってきている。

このような状況下で世界各国ではEVの普及が進んでおり、2023年にはEVの販売台数が前年比35%増加し、1360万台に達した。電動車の普及に伴い車体に求められる要求仕様は大きく変化し自動車の車体構造にも大きな変革が起こっている。衝突規制の強化とバッテリー搭載による重量増、衝突時の電池発火の防止などに対応するため、さらなる車体の軽量化や強度の確保が求められている^{2,4)}。

また電動化は、自動車の設計、評価、製造技術革新にも大きな影響を与えている。部品設計・評価においてはアウトソーシング化やモジュール化が進展しており、これにより開発効率の向上や再利用性の増大、コスト削減などが進められている。部品の設計や評価を外部の専門企業に委託することで、自動車メーカーは自社のコア技術に集中し、競争力を高めている。

* 鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部 室長 博士(エネルギー科学) 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

製造技術の分野では、例えばテスラが世界で初めて採用したギガキャストは、大型アルミニウム部品を一体成形する革新的なダイカスト技術で、テスラはこの技術を活用し、リアアンダーボディで約 70 個の部品を 1 つのギガキャスト部品に統合し、生産効率を向上させた⁹⁾。ギガキャスト部品を製造するためには、新たに大型設備を導入する必要がある。数多くの部品が一部品化されているため、軽衝突時の補修性に劣る、多車種の製造に不向きであるといった課題も指摘されている⁶⁾が、このような動きを受けて自動車メーカー各社では改めて車体製造プロセスの最適化を検討する動きが広がっている。

以上のように自動車業界においては、環境規制の強化、電動車の普及、車体構造の変化、部品設計・評価のアウトソーシング化、製造技術の革新という大きな変革が生じている。これらの変化に対応するために日本製鉄(株)は、カーボンニュートラル社会の実現に向けた新たなコンセプト NSafe®-AutoConcept ECO³ (NSAC-ECO³) を開発した。新しいコンセプトでは、ECONomy (エコ・ノミー) ~ 経済性、ECOlogy (エコ・ロジー) ~ 軽量化・環境対応、ECOSystem (エコ・システム) ~ 最適生産システムをコンセプトの軸とし、顧客とともに、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。本報では、本コンセプトを構成する要素技術について概要を述べるとともに、日本製鉄の次世代自動車に向けた研究開発の取り組みについて紹介する。

2. 車載用電池パックの高機能化

近年、自動車業界では電気自動車 (BEV) の普及が急速に進展しており、低コストで安全性に優れ環境負荷の少ない電池パックの開発が急務となっている。鉄はアルミニウ

ム等の他素材に比べてコストに優れ、温室効果ガス (GHG) 排出量も少ないため、電池パックの素材として好適であり、日本製鉄のもつホットスタンプ・冷間ハイテンの幅広い材料ラインナップを用いることで優れた鉄製電池パックの提案が可能と考えられる。

活用する先進ハイテンの例として、高い強度や優れた成形性を有するホットスタンプ材や、高い耐衝突破断特性および高い穴広げ性を有する衝撃吸収用鋼板 (EA 鋼板) があげられる。これらを電池パックの部品に適用することで、部品の高強度薄肉化や補強部材の削減が可能になる。一例として、図 1 に示すような軽量タイプと高容積タイプの 2 種類の鉄製電池パックのコンセプトを開発した。

軽量タイプは、電池パック内にホットスタンプ材 (2.0 GPa-HS) を適用したクロスメンバを搭載する点に特徴がある。ホットスタンプ材の高い強度や優れた成形性を活かすことで、クロスメンバの高強度化やフランジの連続化が可能となり、剛性や耐荷重の向上が見込める。そのため、安全性確保のために必要となる他部品を削減することができ、電池パックの軽量化が可能となる。

次に、高容積タイプは、電池パックの裏面に先進ハイテン材 (GA1470) を適用したフレームを配置することで、従来電池パックの内部に配置されていた部品を削減し、電池パックの容積を増大できるコンセプトである。先進ハイテン材の強度の高さを活かし、フレームの断面が小さくとも耐荷重が十分確保でき、結果として電池パック裏面のスペースに収まる構造とすることができた。本コンセプトは電池パックの裏面で安全性確保に向けた設計検討ができるため、電池パック内部のバッテリーレイアウトの影響を受け難く柔軟な適用が可能となっている。

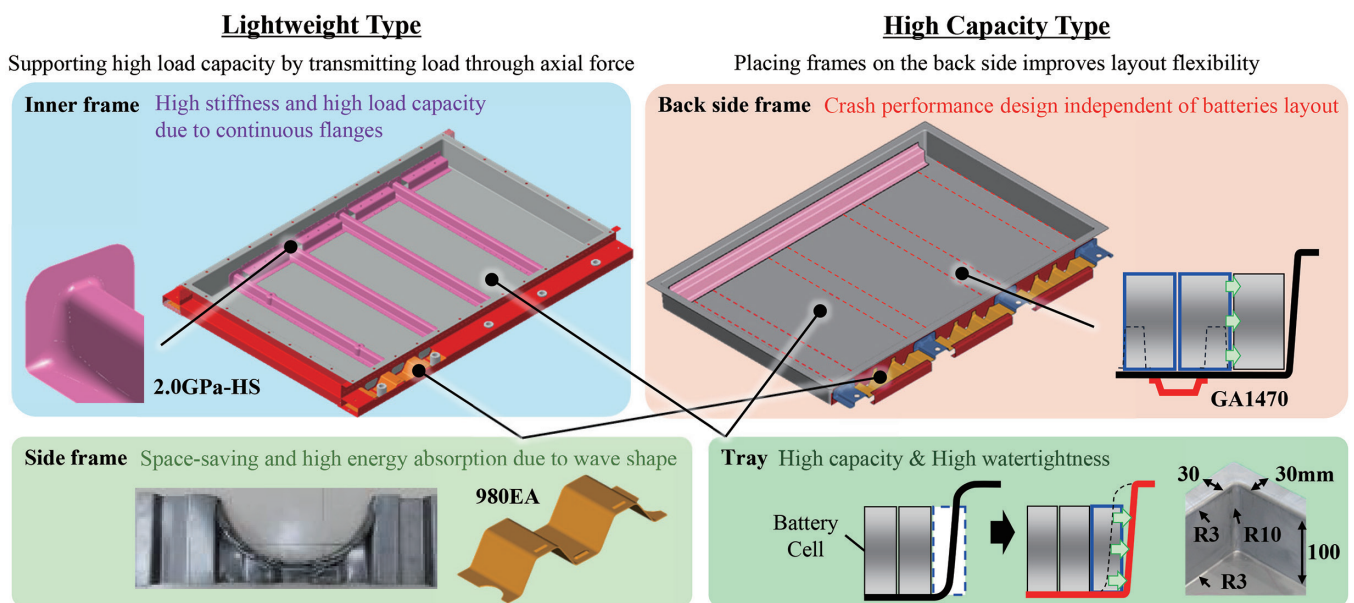
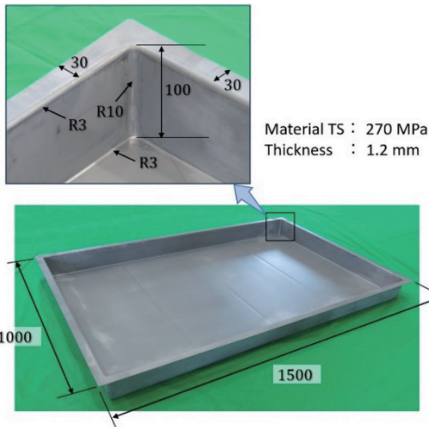


図 1 日本製鉄の電池パッケースコンセプト例
Examples of Nippon Steel's battery pack case concept



Material TS : 270 MPa Thickness : 0.8mm

図2 高耐食めっき鋼板スーパーダイマ[®]製の電池パック上蓋
SuperDyma[™] battery pack top cover prototype



Material TS : 270 MPa
Thickness : 1.2 mm

図3 高容積率・高水密性トレイ試作品
High-capacity and high-watertightness tray prototype

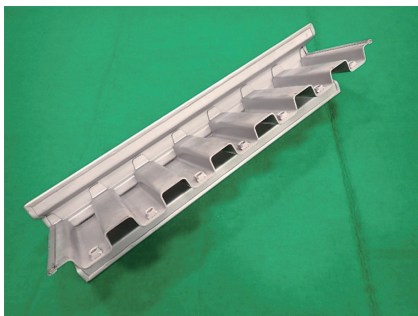


図4 EA 鋼板を用いた波板型衝撃吸収部材
Energy absorption member with wave structure

また、両コンセプトに適用できる要素技術として、日本製鉄が開発した高耐食めっき鋼板スーパーダイマ[®]を用いることで電着塗装が不要となりコスト削減が見込める高耐食性の上蓋(図2)や、稜線サイズの狭小化で高容積が見込めるピン角トレイ(図3)、先進ハイテン材の適用により衝突性能や剛性の担保が見込める波型構造のサイドフレーム(図4)^{7,8)}や高容積・高水密を実現できる一体型モジュールケースなどの開発も行った^{9,10)}。

3. 鋼製部品一体化要素技術

環境規制強化による電動化の進展に加えて自動運転などの高機能化による車両価格の上昇、人口減少による省力化のニーズから、トータルコストや製造工程数の低減に貢献できる車体部品の一体化技術が注目されている。

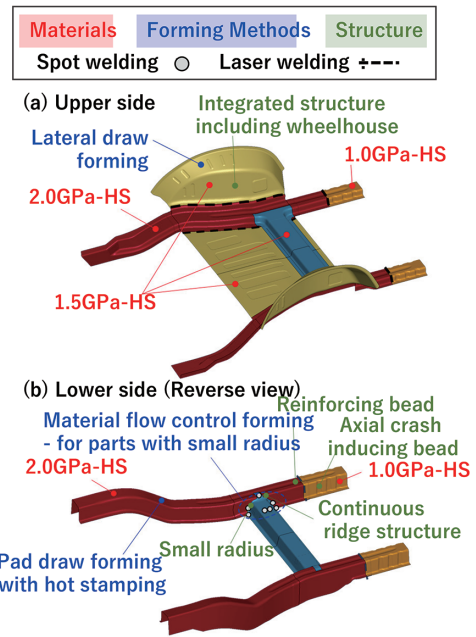


図5 大規模リアアンダーモジュールのコンセプト
Integrated rear under module concept with large-scale hot stamping

自動車部品では部位毎に要求される強度特性・変形能力が異なるが、日本製鉄はホットスタンプ・冷間ハイテンともに幅広い材料ラインナップとそれらを活かす構造・工法・評価技術のトータルソリューションを有しており、様々なニーズ、小中規模から大規模まで一体化規模に対応して高機能な一体化部品を実現する技術を開発した。

ホットスタンプでは高強度化による補強部品の省略やパッチワークによる補強部品の一体成形と低いプレス成形荷重を生かして組み立てライン工程を短縮できるような大規模な部品一体化が可能である。材料面では、2.0GPa級ホットスタンプ鋼板のような高強度な材料や衝突時の変形特性に優れた高変形・高エネルギー吸収材を開発しており、さらにはこれらの各種素材を必要部位毎につなぎ合わせるテラードウェルドブランク技術も開発している。このような技術を総合的に活用することで大幅な軽量化・GHG排出量の低減が可能である¹¹⁻¹³⁾。加えて、衝突時の変形特性を向上させる構造技術、リアアンダーモジュールでホイールハウスまで一体化に取り込み一体化の自由度を高める製造技術、T字状に骨格部材が交わる結合部でコーナー部の上面視曲率半径を小さくし設計自由度を高める成形技術を開発した(図5)。

冷延鋼板では270MPaから1470MPaまで幅広い強度レンジの鋼板を実用化しており、適材適所に強度・板厚を選択することで、既存の生産ラインと設備を生かしつつ、コスト、軽量化、GHG排出量などの様々な観点で最適な構造を実現することができる。超高強度鋼板を用いた冷間プレスによる部品の一体化では、鋼板の高強度化に伴う延性の低下、部品形状の複雑化により成形時の割れ、しわが問

本サブフレームでは NSafe[®]-FORM-SS¹⁴⁾, NSafe[®]-FORM-LT¹⁵⁾ といった日本製鉄独自の成形工法を用いて成形限界を向上させることで, GA980 EA のような高強度鋼板を活用しつつブラケット部などの複数部品を一体化し, 加えてパイプ製クラッシュボックスを採用することで部品点数が少なく, 生産効率のよい軽量化構造を可能としている。

5. 鉄鋼材料の性能を引き出すモデルベース開発技術

電動化は, 自動車の設計, 評価にも大きな影響を与えている。部品設計・評価においてはアウトソーシング化やモジュール化が進展しており, 今まで以上に開発効率の向上や再利用性の増大, コスト削減などが要求されている。このような状況のなかで, 自動車産業ではモデルベース開発 (Model Based Development : MBD) 技術の重要性が急速に高まっている¹⁷⁾。MBD は, 主に CAE (Computer Aided Engineering) 技術を活用した設計, シミュレーション, 検証を統合した開発手法であり, 従来の設計と試作検証を繰り返す試行錯誤的な開発プロセスに比べて, 効率的かつ精度の高い設計を可能にする。

日本製鉄では, 鉄鋼製品の素材性能を最大限活用し, 自動車の性能を向上させることを目的に, 数値解析を用いて走行時の操縦安定性や NV 性能を高めるために必要な車体剛性の弱点を抽出する剛性評価技術 (NSafe[®]-SV)¹⁸⁾ (図 10) を開発した。本技術を用いることで従来のひずみエネルギーを用いた分析手法に比べて部品間の変位が大きくなっている箇所をより明確に検知することができる。また衝突時の部品の変形抵抗や材料・スポット溶接の破断予測技術 (NSafe[®]-MAT, NSafe[®]-SPOT)¹⁹⁾ (図 11) を開発しており, 曲げ破断, スポット破断に加えて近年では穴淵からの破断予測も可能とするなど, 技術の拡充と高精度化を進めている。さらには自動車部品のプレス成形工程における材料の成形限界や部品形状精度を予測する技術²⁰⁾, 鋼板のスポット溶接の過程における材料の相変態を考慮した電場-温度場-応力場の連成解析による高精度スポット溶接 FEM 解析システム²¹⁾ など, 鉄鋼メーカー視点での各種 MBD 技術を開発し, 自動車開発における技術課題に対して有効な支援技術を提供している。

6. 鋼製車体のライフサイクルアセスメント (LCA) による環境性能定量化

従来, 鋼製部品は他の軽量素材製部品よりも重いと想定されていた。鉄鋼材料は製造時の環境負荷が他の金属素材に比べ小さいことを鑑みると, 上記に述べてきたソリューション技術を適用し, 先進ハイテンにより大幅な車体軽量化を図った場合は, ライフサイクルでの GHG 排出量低減性能など環境性能にも優れると想定される。

そこで, 先進ハイテンを活用した軽量車体 (図 12) を対

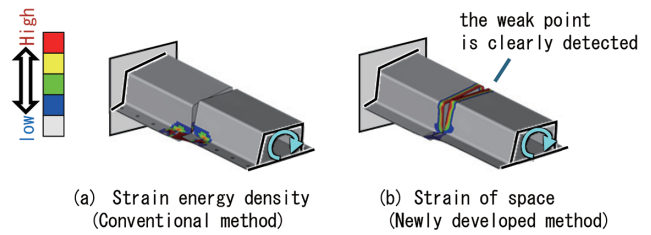


図 10 車体剛性の弱点を抽出する剛性評価技術 (NSafe[®]-SV)

Rigidity evaluation technology to identify weak points in vehicle body rigidity (NSafe[™]-SV)

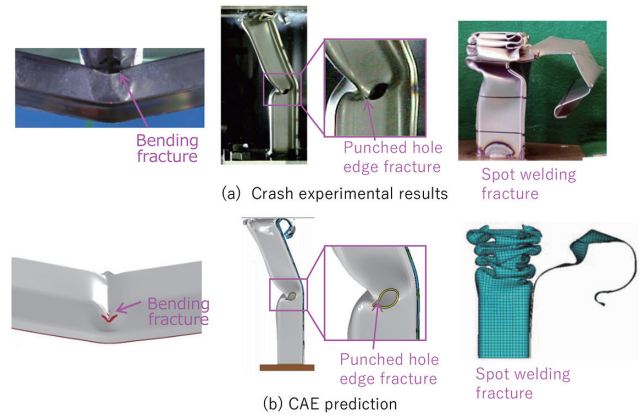


図 11 材料・スポット溶接の破断予測技術 (NSafe[®]-MAT, NSafe[®]-SPOT)

Material and spot weld fracture prediction technology (NSafe[™]-MAT, NSafe[™]-SPOT)

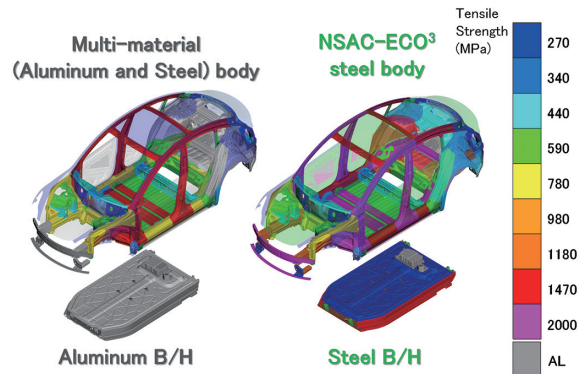


図 12 車体への適用材料分布 (マルチマテリアル車体と NCAS-ECO³ 車体の比較)

Comparison of material distribution between multi-material body and NSAC-ECO³ steel body

象に, ISO 14040/44 における LCA 評価手法に則り, 先進鋼製車体および部品の GHG や関与物質総量 TMR (採鉱時の土砂などの隠れたフローと呼ばれる経済界のフローを含めた天然資源のフロー量²²⁾) を定量化し, カーボンニュートラル・サーキュラーエコノミー (CN-CE) の実現に貢献する自動車軽量化のソリューション技術の環境性能について定量化した。その結果, GHG のみでなく資源の観点でも優位な結果が得られた (図 13)。先進ハイテン材料と板材成形などの利用技術の蓄積を総合することにより, 環境負荷を最大限低減した車体 “NSAC-ECO³” が実現でき, このよう

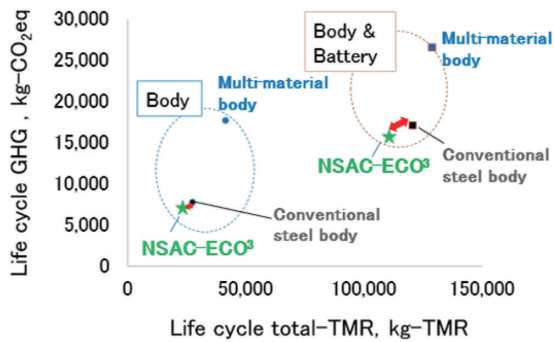


図 13 自動車車体の GHG 排出量と TMR の関係
Result of GHG emission and TMR of car body and battery

な鋼材での自動車軽量化は、CN-CE を両立する最も有効な手段となることが期待できる。

7. 結 言

本報では自動車業界における環境規制の強化、電動車の普及、車体構造の変化などに対応するべく、日本製鉄が新たに構築したコンセプト NSAC-ECO³ を構成する構造・機能設計、工法開発、性能評価の各種ソリューション技術群の概要を紹介した。また最新素材とこれらの技術群を適用した鋼製車体、部品のライフサイクルでの GHG 排出量、関与物質総量 TMR を評価する手法についても紹介し、その削減効果についても述べた。

本報で紹介した各種技術の詳細は、今回の自動車分野特集を構成する各技術論文に詳しく述べられているのでぜひご参照いただきたい。

NSAC-ECO³ は、本報で述べたように最新鋼材だけにとどまらず、構造・機能設計、工法開発、性能評価の各技術領域を含む総合提案であり、ECONomy (エコ・ノミー) ~ 経済性、ECOLogy (エコ・ロジー) ~ 軽量化・環境対応、ECOSystem (エコ・システム) ~ 最適生産システムの実現に寄与できるものと考えている。これらの技術群の活用により、日本製鉄はこれまで以上に深く車づくりに関わりながら、顧客とともに、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

1) トヨタ自動車：The Mirai LCA レポート for communication, 2015年6月, https://global.toyota/pages/global_toyota_sustainability/esg/challenge2050/challenge2/life_cycle_assessment_report_jp.pdf

2) 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, 2022年1月21日

3) 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」, 2023年3月30日

4) 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

5) Visnic, B.: Tesla casts a new strategy for lightweight structures: Automot. Eng. SAE Int. 12-13 (2020)

6) Volk, W.: Gigacasting ist geeignet, den Karosseriebau neu zu denken: Automobilproduktion

7) 中澤, 田村, 日下, 北条: 薄肉多角形部材の塑性座屈挙動に及ぼす断面形状因子の影響. 日本機械学会論文集. 73 (727), 331-337 (2007)

8) 増井, 伊藤: 電気自動車の電池保護に寄与する波板型エネルギー吸収部材の構造検討. 自動車技術会論文集. 54 (5), 1020-1023 (2023)

9) 菅原, 金子, 山本, 田中: 第47回塑性加工連合講演会予稿集. 347-348 (2023)

10) 菅原, 山本, 田中: 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)

11) 日本製鉄(株): プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20220622_100.html

12) 日本製鉄(株): プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20220830_200.html

13) 日本製鉄(株): プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20220328_100.html

14) 田中康治, 宮城隆司, 小川操, 名取純希, 菅原稔: 第69回塑性加工連合講演会講演論文集. 247-248 (2018)

15) Tanaka, Y., Miyagi, T., Ogawa, M., Natori, J., Sugawara, M.: Mater. Trans. 63 (1), 82-87 (2022)

16) 大西将浩 ほか: 日産技報. (91), 22 (2024)

17) 脇谷伸 ほか: 工学教育. 66 (1), 80 (2018)

18) 常見祐介 ほか: 自動車技術会論文集. 51 (5), 789 (2020)

19) 吉田博司 ほか: 自動車技術会学術講演会前刷集. (8-04), 1 (2004)

20) 吉田亨 ほか: 新日鉄技報. (392), 65 (2012)

21) 上田秀樹 ほか: 新日鉄住金技報. (409), 108 (2017)

22) 中島謙一, 原田幸明, 井島清, 長坂徹也: 関与物質総量 (TMR) の算定—エネルギー資源および工業材料の TMR—. J. LCA, Japan. 2 (2), 152-158 (2006)



井口敬之助 Keinosuke IGUCHI
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
室長 博士(エネルギー科学)
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



大塚研一郎 Kenichiro OHTSUKA
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
課長



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)



河内 毅 Takeshi KAWACHI
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
主幹研究員 博士(工学)



木本野樹 Naoki KIMOTO
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
主任研究員



久保雅寛 Masahiro KUBO
鉄鋼研究所 鋼材ソリューション研究第一部
主幹研究員 博士(エネルギー科学)



吉川伸麻 Nobuo YOSHIKAWA
名古屋製鉄所 品質管理部
ソリューション室 利用技術課 主幹