

連携記事

自動車車体軽量化のための先進高強度鋼とその利用技術

Advanced High-strength Steels and Their Application Technologies for Autobody Lightweighting

樋渡俊二 日本製鉄（株）
フェロー

Shunji Hiwatashi

1 車体の素材に影響する外部環境

日本の製造業はGDPの約20%、就業者数の約15%を担っており¹⁾、さらに他産業と相互に依存し合う産業²⁾として、日本の社会を支えている。そして、その国際競争力における強みは品質力・技術力を活かせる部素材にあるといわれている³⁾。中でも、自動車産業は高い国際競争力を発揮して日本を支えている基幹産業の一つであり、これまでに素材や部材の製造業を含む幅広い関連産業とともに成長してきた。この記事で取り上げる自動車車体の場合、先進高強度鋼とそれを用いた軽量衝突安全部材の品質力・技術力が強みとして機能していると考えられる。ここでは、先進的な車体用高強度鋼およびその車体適用のための利用技術の研究開発を紹介したい。

その自動車分野では今、社会や環境の変化に適応すべく、モビリティ革命ともいえる大きな変化が生じている⁴⁾。CASEやMaaSという言葉に代表されるように、自動車産業だけでなく、情報サービスなどの他分野の企業やスタートアップ企業が参入して、モビリティサービスによる様々な新しい価値の創出を進めている。これまでものづくりを基盤としてきた自動車分野が、今後、ことづくりによる新たな価値の提供に向けて大きく変わろうとしている。

この新しい価値創出に向けたモビリティ革命に加えて、SDGs、安心・安全、省資源、気候変動対応など、これまで取り組んできた社会や環境の面での基盤的な価値をいっそう強化する必要もある。車体の分野では、これまで衝突安全と燃費改善のための軽量化の両立が重視され、高強度鋼（ハイテン）やアルミニウム合金などを適用した車体の開発が進められてきた。この流れは、先に述べた変革を取り込みながらも、引き続き強化されるであろう。そして、最近では基盤的な価値の中でも特に気候変動への対応が急激に重要性を増してい

る。そこで、まずは車体の衝突安全、軽量化、気候変動対応の最新動向について以下に述べる。

衝突安全の点では、アセスメントの評価基準の多様化と厳格化により、車体にいっそうの衝突安全性向上が求められている⁵⁾。さらに、先に述べたCASEの内のElectrification（電動化）により、衝突時の高電圧感電保護および電池電解液漏れ防止の対応が求められるとともに、電池質量による衝突エネルギー増加を踏まえた車体の強化が求められている。

一方、車体軽量化は燃費改善や車両運動性能向上だけでなく、走行時の温室効果ガス排出削減（気候変動対応）の点で重要性を増している。例えば、日本ではCO₂排出の約2割を運輸部門が占める⁶⁾。日本だけでなく、世界各国でも自動車の走行時の排出削減が課題であり、そのために各地で削減目標が示され、様々な政策に反映されている。従来の内燃機関車では軽量化がその手段の1つである。一方、より直接的な温室効果ガス排出削減の手段として電動化も加速しているが、走行では温室効果ガスを発生しないとされる電気自動車であっても、航続距離の確保に必要なバッテリーの搭載量を最小にするために車体軽量化が求められる。加えて、CASEのSharing（シェアリング）やMaaSにより用途に応じた多様な自動車を少量生産するニーズが増し、それに応える軽量車体の開発も重要になると考えられる。

このように、車体の衝突安全性と軽量化という基盤的価値は、CASEやMaaSといった新しい価値創出に向けたモビリティの変革に合わせて進化する。さらには急速に高まる気候変動対応への要求が基盤的価値の進化を加速させている。その重要性はすでに経営や投資に不可欠な視点として広く浸透し、産業の国際競争力を左右する重要な政策課題になっている⁷⁾。各国の電動化の波は自動車分野におけるその現れの1つであるが、最近では発電や電池の製造・廃棄を含むライフ

サイクル全体で温室効果ガスの排出を削減することが重視され始めた。気候変動対策が急がれる現在、温室効果ガス排出のライフサイクルアセスメント (LCA) により開発や施策の優先順位を合理的に判断することが求められるのは当然の流れであり、それは車体分野においても例外ではない。

車体の製造と廃棄の段階での温室効果ガス排出削減において素材の果たす役割は大きい。製造時の排出量の計上は、素材の原料となる天然資源の採掘から始まり、素材の製造、その素材を用いた自動車の製造までが対象になる。この内、天然資源を原料とし新しい素材を製造する工程は排出量が比較的多い。そのため、素材製造での排出量原単位を考慮して素材を選定することは重要である。他方、廃車後のマテリアルフローを考えると、鋼材などの場合はスクラップとして回収され、素材として再生される。このようなリサイクル材は天然資源からの新しい素材を代替し、その分の排出量の削減に繋がっていると解釈できる。資源循環のための技術開発と社会システムの構築は資源枯渇や環境破壊を抑制する側面からも取り組まれてきたが、最近では気候変動の側面でも資源循環の重要性が再認識されている。特に、リサイクルが容易でない素材ではサーキュラーエコノミーの構築が気候変動対策としても最重要課題となっている。

このように、環境重視の最新の動向は自動車車体の基盤的価値を左右することになり、素材の選択の考え方に影響をおよぼす可能性がある。そこで、車体用鋼材について、衝突安全と軽量化に関わる特徴をレビューするとともに、製造や廃棄を含めたライフサイクルでの環境負荷の視点でも見直してみる。

2 車体用素材としての鋼材の特徴

2.1 軽量化に対するポテンシャル

車体の質量を左右する主な要件は衝突安全性と剛性であり、それぞれを支配する素材の特性としては強度とヤング率が代表的である。まず、鋼材の強度とヤング率を他素材と比較し、密度との対比から軽量化に対するポテンシャルを評価する⁸⁾。

図1には種々の材料の比強度と伸びの関係を模式的に示した。比強度は強度を密度で除したもので、質量等価の条件で発揮できる強度を示す指標である。自動車の車体には270MPa級から1.8GPa級までの幅広い強度クラスの鋼板がすでに実用されており、高強度の鋼材は比強度でアルミニウム合金を凌駕している。すなわち、鋼材は衝突安全を担う部品の軽量化に対して優れたポテンシャルを有していることがわかる。一方、鋼材の伸びは一般に高強度化とともに低下するが、同じ比強度なら軽量他素材よりも高い伸びを示す。伸びはプレス成形や衝突変形の際の破断までの裕度を示す指標の1つである。伸びを高めた先進高強度鋼は他の軽量他素材よりも破断しにくく使いやすい素材であることがわかる。衝突安全と軽量化の両立に鋼材が好適である主な理由はここにあると理解されている。

車体の実用性能は剛性にも依存するため、比剛性も軽量化には重要である。比剛性はヤング率を密度で除した値である。図2には種々の金属の密度とヤング率を原子番号の順に並べたものである。鉄 (Fe) は密度とヤング率のいずれも比較的高い金属であることがわかる。例えば、アルミニウム

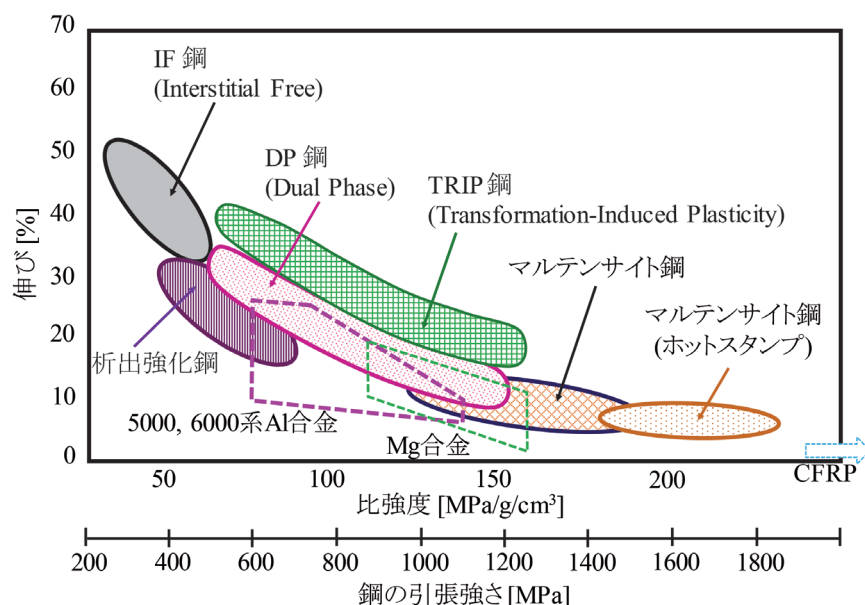


図1 種々の材料の比強度と伸び (Online version in color.)

(Al)と比較すると、いずれも鉄がアルミニウムの約3倍である。自動車車体で用いられる合金の範囲では、密度もヤング率も純金属と大きく変わらない。すなわち、比剛性としては鋼材とアルミニウム合金はほぼ同等である。

車体の衝突安全性や剛性はこれらの素材特性とともに素材となる板材の板厚や構造にも支配される。材料力学から自明のように、平板の場合、板面内の力に対しては板厚に比例した強度や剛性を示すが、面外変形における曲げモーメントに対しては板厚が3乗で効く。そのため、密度が高い鋼材で軽量化するために板厚を下げると、曲げに対しては不利となりやすい。軽量他素材は強度やヤング率が低くても、密度が小さい分、厚肉にして性能を確保すればよい。鋼材の高い比強度や比剛性を活用して軽量化するには、閉断面化や後述するフランジ連続化のように力を板面に沿って受ける構造やそのような構造を可能とする工法がセットで必要になる。これらの工夫を加えることで、比強度や比剛性に見合った衝突安全と軽量化の両立が可能となる。

2.2 温室効果ガス排出削減に関するポテンシャル

先に述べたように自動車では走行時の温室効果ガス排出削減が課題として先行していた。車体は軽量化でこれに貢献する。そのため、先進高強度鋼は前述の軽量化のポテンシャルに基づいて温室効果ガス排出削減に寄与する。ただし、同じ車体質量なら用いる素材の種類は問わない。実際に、一部の高級車を中心にアルミニウム合金や炭素繊維強化樹脂 (CFRP) での軽量化が図られている。それに対し、World Steel Associationの自動車部会である WorldAutoSteel (WAS) は走行時のみの排出量評価が意図せぬ排出量の増加を引き起こすリスクを指摘してきた。軽量化のために鋼材か

らアルミニウム合金や炭素繊維強化樹脂 (CFRP) への置換を優先すると、製造時の排出が増え、ライフサイクル全体では温室効果ガスが増加することを、試算例とともに示している^{9,10)}。この計算は、第三者機関として委託されたカリフォルニア大学が、査読を受けた論文¹¹⁾の方法に基づき行ったもので、素材別排出量原単位のデータを含めて客観性に配慮されている。以下にこのLCAの考え方に沿って鋼材の特徴を示す。

WASは素材の製造時の温室効果ガス排出量原単位の入力データとして図3に示す値を用いた。それぞれ、鉄鉱石を原料としたスラブ、ボーキサイトを原料としたアルミニウム新地金、CFRPについての値である。文献やデータベースにより原単位の値は異なるが、WASが用いた出典はWorld Steel Association, International Aluminium Institute, Plastic Europeなどとされている⁹⁾。

また、リサイクルも鋼材にとっては有効な温室効果ガス削減手段である。再生材製造での排出量が天然資源を原料とする新材製造よりも少なく、リサイクルされる割合と循環のサイクル数が多い素材ほど効果が大きい。鋼材は使用済み製品の90%前後が回収されており¹²⁾、何度でも循環できる素材である¹³⁾。これは、①磁力で選別ができ、②スクラップ再利用

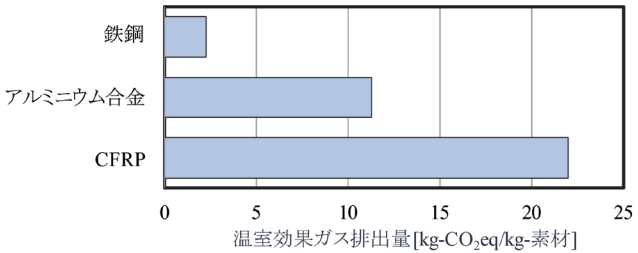


図3 各種材料の温室効果ガス排出量原単位⁹⁾ (Online version in color.)

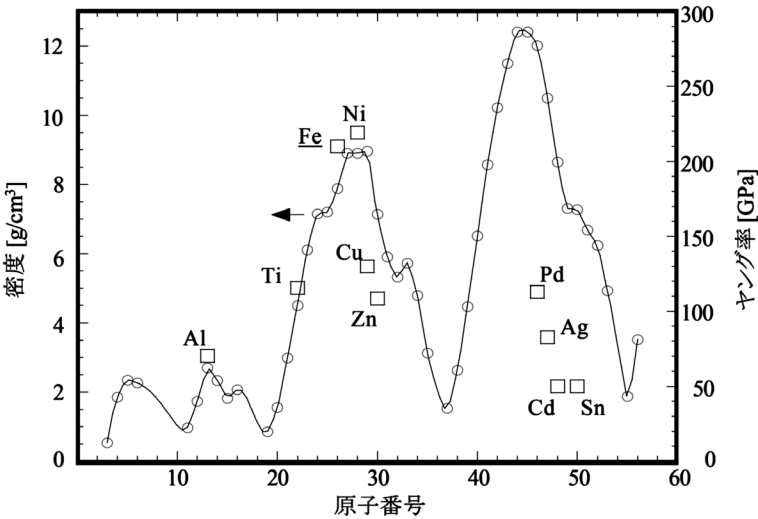


図2 種々の元素の密度とヤング率⁸⁾

時の負荷が小さく、③経済合理性のあるリサイクルシステムが世界中で整っており、④精錬で取り除けない不純物が限られ、⑤様々な製品に再生可能であることによる。この資源循環上の特徴を反映させたLCAの国際標準としてISO 20915が2018年に発行された。カリフォルニア大学の計算¹⁰⁾は自動車としてのLCAであるが、スクラップについては自動車系外でのリサイクルも考慮することで、水平リサイクルに限定しない素材としてのリサイクル効果を反映している。ただし、カスケード・リサイクル、サーマル・リサイクル、または埋め立て廃棄に強く依存している素材の場合は、温室効果ガスだけでなく、省資源や環境汚染の観点も含めた、総合的な環境負荷が課題となり得ることに注意が必要である。

なお、このように素材としての温室効果ガス排出の点で鋼材は優れているが、社会を支える基盤の素材として幅広い分野で大量に使用されているために、日本では鉄鋼業の排出量が全体の約15%を占める⁶⁾。そのため、鉄鋼業はカーボンニュートラルに向けた取り組みを進めている。例えば、日本製鉄は鉄鉱石の水素還元や再生可能エネルギーによる電気炉溶解を主とした製造技術の革新により、2030年に30%削減を目指し、2050年までのカーボンニュートラルにチャレンジする。その効果を図3に示した鋼材の排出量原単位に反映して行くことが日本の将来にとっても極めて重要である。鉄鋼業の温室効果ガス削減は政策を巻き込んだ国際競争となっており、ここでの成否が冒頭に述べた日本社会を支える製造業の国際競争力に影響すると考えられる。

以上を踏まえると、ライフサイクルでの環境負荷が小さい鋼材が車体用素材として選択され、十分な軽量化を通じて走行時の排出量削減も果たすことが、産業部門と運輸部門の両方の温室効果ガスを同時に削減する有力な方法であることがわかる。そのために日本製鉄は先進高強度鋼により走行時の排出量削減にも大きく寄与する軽量化を目指している。次に

その取り組みについて述べる。

3 鋼製軽量車体への取り組み

3.1 コンセプト

日本製鉄は2019年に次世代鋼製自動車コンセプトNSafe[®]-AutoConcept (NSAC)を発表した¹⁴⁾。NSACは、大幅な軽量化や安全性向上を次世代鋼製自動車で実現するために、各部品に求められる性能を想定して開発された先進的な鋼材、その性能を最大限に引き出すための構造・機能設計、その構造を具現化する工法を要素技術として集めたものである。また、これらの技術を用いた開発を合理的・効率的に進めるための評価・解析の技術も重要なNSACの構成要素である。さらに現在では、CASE、MaaS、そしてカーボンニュートラルに対応するためにNSACを進化させるとともに¹⁵⁾、その適用範囲を電動車に対応するNSafe[®]-AutoConcept xEV (NSAC xEV) や小ロット生産に対応するNSafe[®]-AutoFrameConcept (NSAFC) へと拡大している¹⁶⁾。以下にこれらの構造・機能設計、鋼材、工法、評価・解析の技術の例を紹介する。

3.2 構造・機能設計

次世代鋼製車体の軽量化の目標はアルミニウム合金製車体と同等の車体質量である。そのため、車体骨格部品への1470MPa級の冷間成形用超高強度鋼板や2GPa級のホットスタンプ用鋼板の適用、シャシーへの980MPa級の超高強度熱延鋼板の適用を筆頭に、先進高強度鋼を最大限適用し、薄肉化や補強部品削減を可能とするための構造設計技術を開発している。例えば、図4に示すように、2GPa級のホットスタンプを適用し、肉厚の補強部品を削減することで、側面衝突変形下でも乗員のための空間を確保しつつ、センターピラーを980MPa級鋼による従来構造よりも30%近く軽量化すること

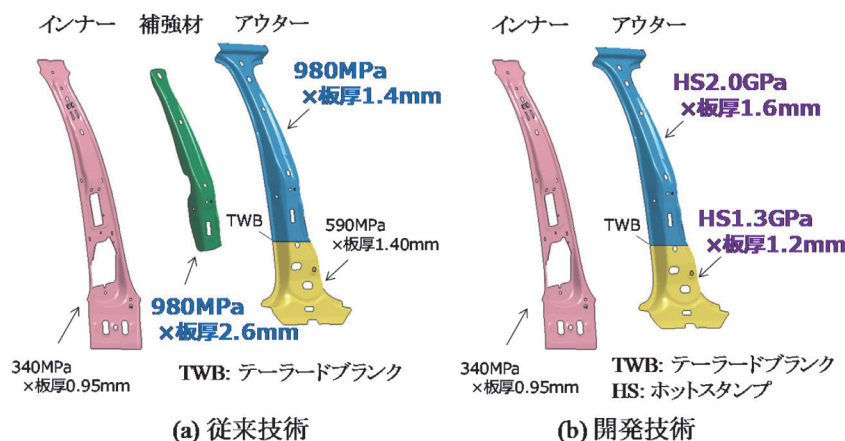


図4 NSACによるセンターピラーの29%軽量化の例¹⁵⁾ (Online version in color.)

ができる。これに代表される客室周りの骨格のほか、前後面衝突時に高耐力が求められるバンパー補強材、前後面衝突時に大きく変形しエネルギーを吸収する車体前方と後方の骨格、走行時の大入力や繰り返し入力に耐えるシャーシ、張り剛性が必要なクローガーなど、部位ごとに異なる機能を満たすために様々な要素技術を蓄積している¹⁷⁻¹⁹⁾。

図5は2015年時点の市販車（ガソリン車）の中で最も先進的とされていた鋼製車体をベースに、これらの要素技術を駆使して軽量化した例である。その等価投影面積当たりの質量を試算した結果、当時の先進的なアルミニウム合金製車体と同等レベルとすることができた。CAEでの評価ではあるが、車体剛性や衝突安全性能はベース車体と同等以上であることも確認している¹⁴⁾。

さらに、ライフサイクルでの温室効果ガス排出をWASが公開しているカリフォルニア大学の自動車LCAモデル（UCSBモデル5）²⁰⁾を用いて試算した。図6では、ベース車としてガソリン車を想定し、車体のみをNSACによる鋼製軽量車体に置換して車両としての排出量を試算し、その結果から車体の寄与だけを抽出している。わかりやすさのためにアルミニウム合金製の同じ質量の車体を想定した試算も行った。NSACによる車体は製造時と走行時の排出量が小さく、リサイクルを考慮した排出も少ないという結果となった。

製造時の排出が少ない要因は、鋼材の排出量原単位が小さいこと、さらにはNSACによる軽量化で素材使用量が減少したことによる。また、走行時の排出量にはNSACによる軽量化が反映されている。リサイクルによる排出量の還元を考慮する場合、その効果は、天然資源からの素材製造負荷とスクラップからの素材再生負荷の差が反映されるため、素材製造時の排出が少ない鋼材はリサイクルでの還元量が必然的に小さい。これも鋼材の長所の現れといえる。なお、このモデ

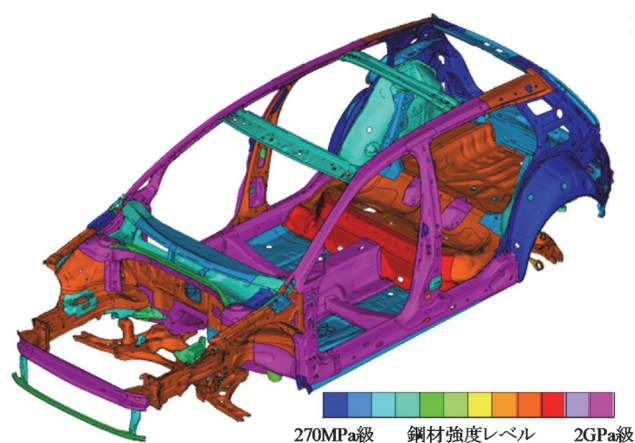


図5 NSACを適用した軽量車体における鋼材配置の例¹⁴⁾ (Online version in color.)

ルは自動車系外での素材のリサイクルの効果を考慮している。実際にその効果を楽しむためには、自動車の系外でも資源循環が高度に機能していることが重要であろう。例えば、精錬工程で除去できない不純物は、廃車の車体から出たスクラップのリサイクルを化学成分に寛容な他の用途に限定する²¹⁾。先の④と⑤は特筆すべき鋼材の長所であり、用途の制約の小さい無限の循環を可能としている。そして、省資源や環境汚染の観点を含めた総合的な環境負荷の低さに繋がっている。

ここまではガソリン車に対するNSACの適用例であるが、電動車向けにNSAC xEVにも取り組んでいる¹⁶⁾。バッテリー保護のためにバッテリーボックスに先進高強度鋼製骨格構造を適用している。また、冷却システムやセルケースも鋼材で開発する。質量はアルミニウム合金製のバッテリーボックスと同等を目指している。電動車は走行時の温室効果ガス排出が少ないため、LCAでは製造時の排出が重みを増す。NSAC xEVは先進高強度鋼での軽量化とそれによる必要バッテリー容量低減により、電動車の環境負荷低減効果を拡大すると期待される。

また、CASEやMaaSの進展で自動車へのニーズが多様化すると考えられる。それに伴い生産ロットが少量となる車体では、生産設備コストを抑制できるソリューションが必要となるであろう。そのような技術としてスペースフレーム構造をベースにしたNSAFCにも取り組んでいる¹⁶⁾。これは高剛性・高強度の閉断面構造を少ない部品数で作ることができる鋼管の特徴を活かすもので、後述する良加工性高強度鋼管とその2次加工技術がキーとなる。

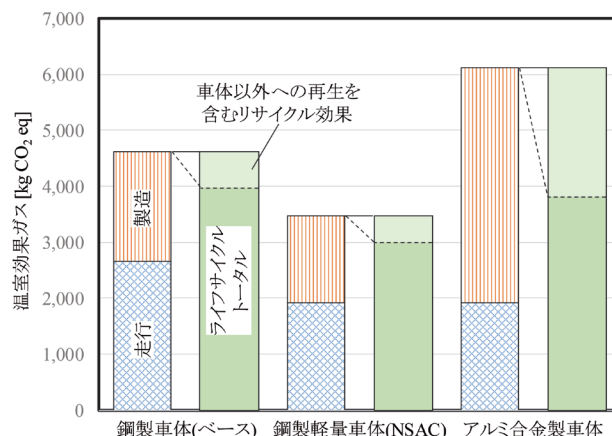


図6 各種車体のライフサイクルでの温室効果ガス排出量の試算例（ベース車を前提に、同じ条件となるよう車体のみを置換し、車両として試算した排出量から車体の寄与分を抽出） (Online version in color.)

3.3 材料

ここまで述べた構造や機能を満足させるためには先進高強度鋼の開発が欠かせない⁸⁾。以下にその概要を車体骨格部品向けとシャシー部品向けに分けて述べる。

車体骨格部品向けの鋼板の進化を強度と変形能の2軸で分類したものが図7である。先に述べたように、鋼板は、衝突安全性と軽量化を両立する上で重要なこの2つの機能を大きく進化させてきた。図に示すように開発鋼は適用部位に要求される機能に応じて3種に大別される。1つ目は衝突時の高耐力が重視されるバンパーであり、最も高強度化が進んでいる。1.8 GPa級ホットスタンプ用鋼板とそれを用いた部品はすでに実用化され、今後に向けて2GPa級以上の鋼板の開発が進んでいる。2つ目は客室周りの骨格部品で、ここでも高強度化が進んでいる。図4に示したセンターピラーは2.0GPa級ホットスタンプ用鋼板を用いる例であるが、冷間成形が必要な場合に向け、1470MPa級冷延超高強度鋼板（合金化溶融亜鉛めっき鋼板を含む）の開発も進めている。3つ目は客室の前後に配置されるエネルギー吸収用部品であり、強度とともに、衝突による大変形でも破断しない十分な変形能が求められる。現在、1180MPa級鋼板の開発が進められており、断面形状の工夫を組み合わせることで、590MPa級鋼板製の角筒形状モデル部材に対し、30%軽量化しつつ、1.6倍のエネルギー吸収能が得られることが分かっている¹⁷⁾。

ロアアームを代表例とするシャシー部品は、実用強度、剛性、疲労耐久性、耐食性などが求められ、重要保安部品としての高い信頼性が担保されなければならない。必要な板厚範囲から熱延鋼板が多く用いられることもその特徴である。一般に、部品への加工には図8に示すように穴広げ性と伸びを

高めた材料が必要であり、両者を高めた980MPa級熱延超高強度鋼が開発されている。

さらに、これらの先進高強度鋼板を素材としてレーザ溶接で閉断面化した鋼管の開発も進めている。先進高強度鋼管は、前述したスペースフレーム構造と後述する各種鋼管技術とともに、NSAFCを構成し、生産設備への投資負担を抑えた小ロット車体への適用が期待される。

3.4 工法

これらの先進高強度鋼を適用した軽量車体を実現するためには工法の開発も不可欠である。以下にNSACを構成する工法として、破断やしわなどの成形不具合を回避できる冷間成形技術、焼入れに必要な冷却時間を短縮できる高生産性ホットスタンプ技術を紹介する。

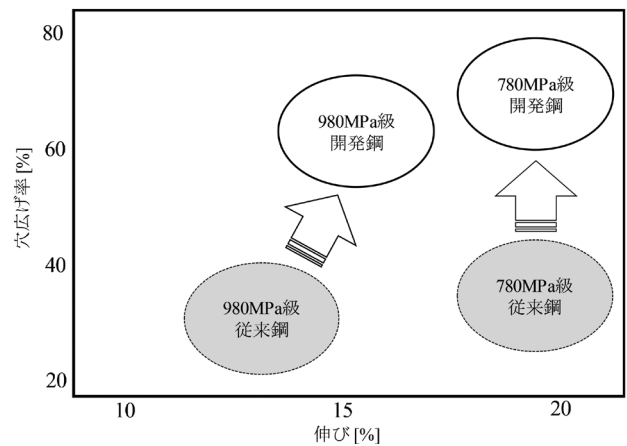


図8 シャシー向け高強度鋼板の進化⁸⁾

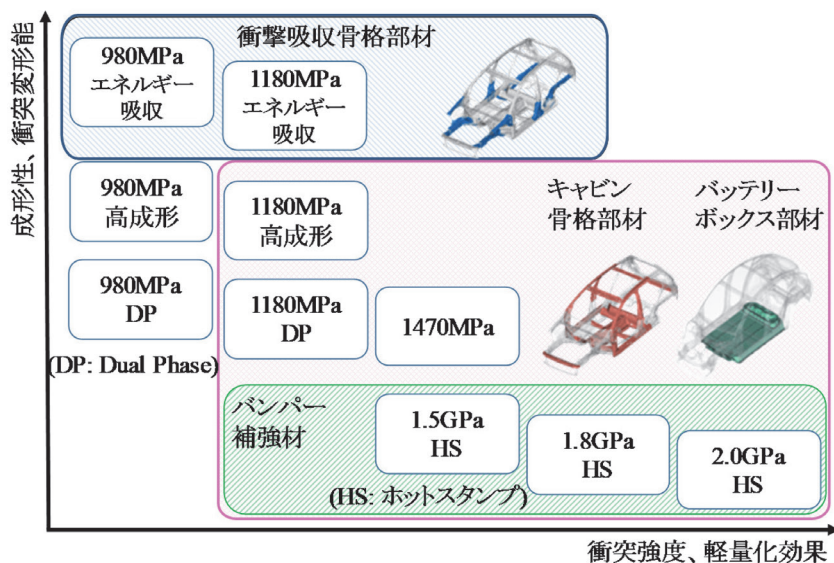


図7 車体骨格向け高強度鋼板の進化 (Online version in color.)

高強度鋼の冷間成形における主な課題はスプリングバックと破断・しわである。この内、スプリングバックは主に評価・解析技術を駆使して解決しているため、後述する。破断やしわが課題となる部品は、例えば、車体の締結部の剛性や強度を高めるために図9に示すようなT字やL時の形状、あるいは曲線状のフランジが付与された部品である。日本製鉄はこれらの部品のための冷間成形技術群を開発し²²⁾、すでに量産部品への適用実績を数多く有する。これにより2021年に公益財団法人市村清新技术財団から市村産業賞貢献賞を受賞した。

一方、ホットスタンプの生産性向上についても、日本製鉄はいち早く水を冷媒とする直水冷技術を開発した²³⁾。従来の金型への伝熱を主とした冷却では、焼入れにより強度を確保するために、プレスの際の成形下死点でしばらく保持しておく必要があった。開発した直水冷技術の金型の概要を図10

に示すが、これを用いると生産性を従来の約3倍に高めることができる。また、めっき材を用いる場合には金型表面へのめっき金属の凝着を抑える効果もある。ホットスタンプ材の適用拡大とともに、この技術の実用化が進んでいる。

これまで鋼板用の工法について述べたが、少ロット車体向けのスペースフレーム構造を成り立たせる上では鋼管の加工技術が重要となる。既存技術としてはハイドロフォームやプレス曲げ、回転引き曲げなどが利用できるが、これらに加え、独自技術として断面変形プレス曲げと3DQを提案している²⁴⁾。前者は鋼管の断面形状の成形と長手方向の曲げを多段の冷間プレスで並行して行う工法である。2つの板製部品を接合して閉断面化する従来の工法では、部品ごとに多工程用の金型を準備し、さらに接合用治具も必要となる。断面変形プレス曲げは多工程であるが、トータルでの設備投資負荷は小さい。

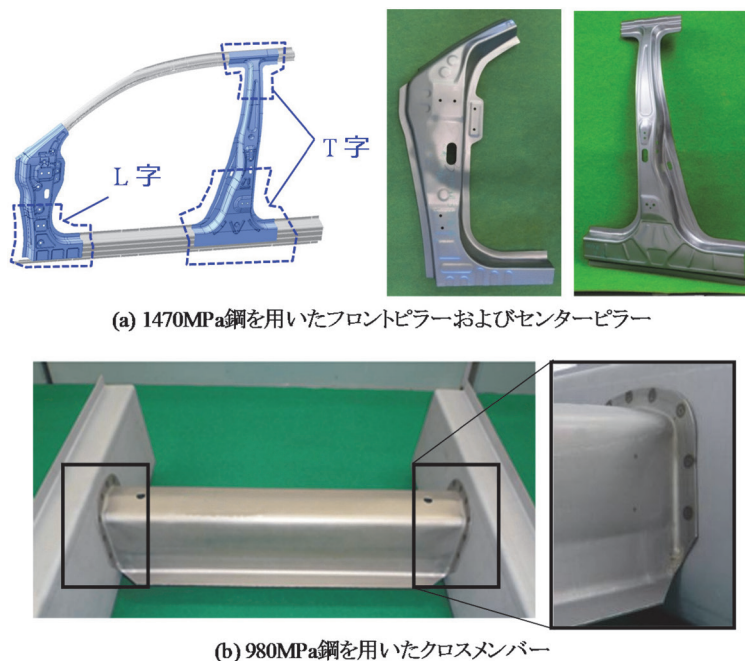


図9 開発した冷間成形工法の適用例²²⁾ (Online version in color.)

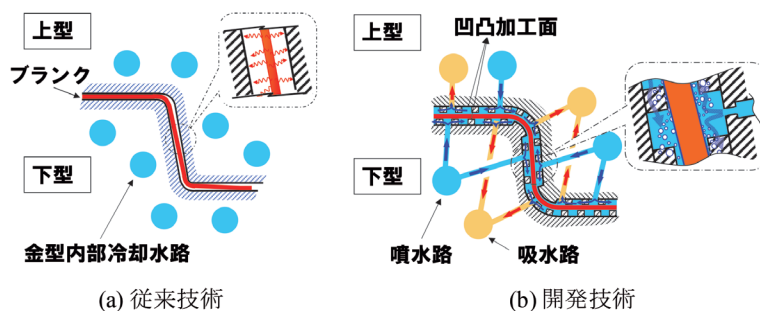


図10 従来のホットスタンプと高生産性ホットスタンプの金型の模式図¹⁶⁾ (Online version in color.)

一方、3DQは鋼管の端部から長手方向に沿って順次、加熱・曲げ・焼入れを進めることで1.5GPa級の強度の曲線状閉断面部品を得る技術である。この場合、加熱部をロボットで曲げ、直後に水冷するだけなので、金型は必要ない。これらの加工技術も小ロット品向けのNSAFCの構成要素である。

誌面の都合で省略するが、その他にせん断加工²⁵⁾や接合^{26,27)}などもNSACを構成する重要な要素技術として開発が進められている。

3.5 評価・解析

材料と組み合わせた構造や工法を検討する際には、実験や計算による評価・解析が不可欠である。特に、難度を増す車体開発の効率化にはMBD (Model Based Development) の進化は欠かせない。日本製鉄は構造や工法の検討の際に実験や計算の独自技術を駆使しており、開発の合理性や効率を高めるこれらの技術をNSACの重要な構成要素に位置付けている。

車両や部品の衝突性能は、有限要素解析のソルバーに材料や溶接部の破断を考慮するための自社開発モジュールを組み合わせ、コンピューター上で評価している²⁸⁾。さらに、高度な実験が可能な独自の衝突試験設備で検証している。なお、衝突解析に入力される材料データの測定には、世界トップの精度が実証され、ISO26203-1の基となった高速引張試験^{29,30)}を利用している。

車体剛性の評価も実験と計算を併用している。特に計算は、評価だけでなく、力学の原理に基づいた分析にも用いている。板材の場合、薄肉化すると、前述のように、曲げモーメントで面外に変形する部位が弱部となる。そこで、図11に示すように板曲げ変形の度合いを可視化するソフトウェアを開

発し、その分析に基づいた合理的な対策で車体剛性の確保を効率化している³¹⁾。

工法開発では、しわや破断の予測とは別に、スプリングバックの評価と分析にも計算を用いている。すなわち、成形品のスプリングバック後の寸法精度の評価に加え、残留応力の分布に基づくスプリングバックの要因分析や対策技術の立案に計算を活用している³²⁾。なお、スプリングバックの計算には材料が反転負荷時に示すバウシinger効果を取り入れる必要がある。鈴木ら³³⁾はその材料データの測定に単純せん断試験が好適であることを見出し、いち早く実用化した。単純せん断試験は長年に渡って多数の車体部品のスプリングバック解析に貢献しており、今後も先進高強度鋼の開発と実用化に寄与し続ける。

4 まとめ

素部材が日本の産業の国際競争力の強みであることを冒頭で述べた。これは今に始まったことではなく、自動車車体用鋼板のこれまでの進化を振り返っても、日本の自動車産業の創成期からその成長を支えてきたことが伺える。高度成長期には自動車の大量生産に応えるために連続焼鈍で製造できる高成形性鋼板が開発された。次に訪れた自動車の輸出の拡大期には北米の融雪塩に対する防錆性能に優れた表面処理鋼板へと進化した。さらに日本の自動車メーカーの世界的地位の高まりとともに安全や環境に対するグローバルな要求に応えるべく高強度鋼板が目覚ましい進化を遂げている。

CASEやMaaSなどの未来に向けてのモビリティの変革は、社会やビジネスの観点からは新しい価値の創出の動きと捉えられる一方で、その深層には安全性向上、省資源、温室効果ガス削減などの基盤的・普遍的な目標があり、その目標を達成するための手段の一部であると理解することもできる。そして、車体用高強度鋼板とその利用技術の最終目標も衝突安全や温室効果ガス排出削減である。特に、自動車の走行時だけでなく、ライフサイクルでの温室効果ガス削減や省資源の達成が求められる中では、先進高強度鋼による車体軽量化が不可欠である。モビリティ変革とともに、NSACなどの技術の進化が安全や環境などの自動車の深層の価値をさらに高めて、今後も持続可能な社会の発展に貢献して行くと期待する。

謝辞

車体の温室効果ガスのLCAでは日本製鉄の久保雅寛博士の協力を得た。

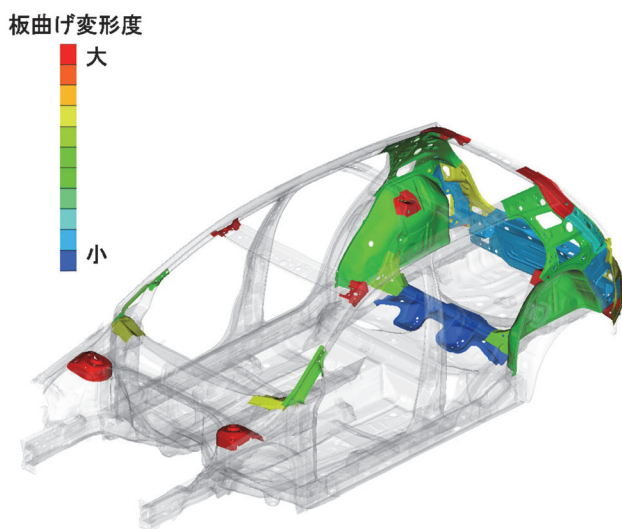


図11 板曲げ変形度を用いた車体剛性の分析例¹⁵⁾ (Online version in color.)

参考文献

- 1) 経済産業省：2020年版ものづくり白書, <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/index.html>
- 2) 総務省：平成27年（2015年）産業連関表—総合解説編一, https://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/015index.html
- 3) 経済産業省：2019年版ものづくり白書, <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2019/index.html>
- 4) 国土交通省：令和元（2019）年版交通政策白書, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_fr_000098.html
- 5) 独立行政法人自動車事故対策機構：衝突安全性能評価の概要, https://www.nasva.go.jp/mamoru/assessment_car/newtest.html
- 6) 環境省：2019年度（令和元年度）温室効果ガス排出量, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/>
- 7) 経済産業省：2021年版ものづくり白書, <https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2021/index.html>
- 8) 上西朗弘：日本製鉄技報, (2019) 412, 8.
- 9) WorldAutoSteel：Life Cycle Assessment：Good for the Planet, Good for the Auto Industry, http://www.worldautosteel.org/download_files/Communication/Communication%20-%20Car%20Manufacturers%205.0_USLTR_20130404.pdf
- 10) WorldAutoSteel：Life Cycle Assessment of Steel vs. Aluminium Body Structures, <https://www.worldautosteel.org/downloads/efficient-body-structure-lca-case-study/>
- 11) Geyer R：Environ. Sci. Technol., 42 (2008), 6973.
- 12) I.Daigo, K.Iwata, I.Ohkata and Y.Goto：Environ. Sci. Technol., 49 (2015), 8691
- 13) 小野透：日本鉄鋼連盟 エコマテリアルフォーラムワークショップ, 東京, https://www.jisf.or.jp/business/lca/reference/pdf/201502_ecomate_minnaeco.pdf, (2015年2月12日).
- 14) 中澤嘉明, 吉田亨, 丹羽俊之, 河内毅, 中田匡浩, 上西朗弘, 樋渡俊二：日本製鉄技報, (2019) 412, 2.
- 15) 日本製鉄プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20210513_100.html, (2021年5月13日).
- 16) 日本製鉄プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20210525_100.html, (2021年5月25日).
- 17) 三日月豊, 中澤嘉明, 中田匡浩：日本製鉄技報, (2019) 412, 52.
- 18) 広瀬智史：日本製鉄技報, (2019) 412, 59.
- 19) 鈴木利哉, 中澤嘉明, 広瀬智史, 吉田亨：日本製鉄技報, (2019) 412, 45.
- 20) WorldAutoSteel：UCSB Energy & GHG Model, <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/ucsb-energy-ghg-model/>
- 21) 青木昇二：軽金属, 63 (2013), 260.
- 22) 西村隆一, 田中康治, 宮城隆司, 小川操, 大塚研一郎, 中澤嘉明：日本製鉄技報, (2019) 412, 14.
- 23) 野村成彦, 久保雅寛, 福地博, 中田匡浩：日本製鉄技報, (2019) 412, 21.
- 24) 水村正昭, 田村翔平, 佐藤雅彦, 河越奈沙, 井口敬之助, 広瀬智史, 相藤孝博, 有田英弘：日本製鉄技報, (2019) 412, 35.
- 25) 安富隆, 西村隆一, 米村繁, 中田匡浩, 吉田亨, 水村正昭：日本製鉄技報, (2019) 412, 28.
- 26) 古迫誠司, 松井翔, 銭谷佑, 若林千智, 岡田徹, 嶋田直明, 富士本博紀：日本製鉄技報, (2019) 412, 67.
- 27) 児玉真二, 富士本博紀, 石田欽也, 松田和貴, 松葉正寛：日本製鉄技報, (2019) 412, 78.
- 28) 相藤孝博, 新田淳, 濱田幸一, 米村繁, 丹羽俊之：日本製鉄技報, (2019) 412, 86.
- 29) 上西朗弘：塑性と加工, 51 (2010), 851.
- 30) 八木隆義：塑性と加工, 54 (2013), 14.
- 31) 河内毅, 木本野樹, 常見祐介：日本製鉄技報, (2019) 412, 97.
- 32) 吉田亨, 上西朗弘, 磯貝栄志, 佐藤浩一, 米村繁：新日鐵技報, (2012) 392, 65.
- 33) 鈴木規之, 樋渡俊二, 上西朗弘, 桑山卓也, 栗山幸久, Xavier LEMOINE, Cristian TEODOSIU：塑性と加工, 46 (2005), 636.

(2021年9月30日受付)