

次世代自動車コンセプト“NSafe<sup>®</sup>-AutoConcept”の開発Development of Future Automobile Design Concept “NSafe<sup>TM</sup>-AutoConcept”中澤嘉明\*  
Yoshiaki NAKAZAWA吉田亨  
Tohru YOSHIDA丹羽俊之  
Toshiyuki NIWA河内毅  
Takeshi KAWACHI中田匡浩  
Masahiro NAKATA上西朗弘  
Akihiro UENISHI樋渡俊二  
Shunji HIWATASHI

## 抄 録

日本製鉄(株)は、次世代のCO<sub>2</sub>排出量の削減目標に対応する次世代自動車コンセプト“NSafe<sup>®</sup>-Auto Concept”の開発に取り組んでいる。NSafe<sup>®</sup>-AutoConceptは、車体構造、モーター、電池、駆動部品の全てを対象としている。車体構造領域では、鉄鋼材料のポテンシャルを最大限に引き出すデザインを適用することで、現行モデルに対し30%軽量化を達成できることを明らかにした。

## Abstract

**Nippon Steel Corporation is developing the future automobile design concept which is named “NSafe<sup>TM</sup>-AutoConcept” for satisfying with the new regulation of reducing CO<sub>2</sub> emission. This concept is for the whole part of future automobile such as body structure, motor, Battery and transmission. Design concept for the body structure was clarified to achieve 30% weight reduction compared with current design by causing maximum steel potential.**

## 1. 緒 言

自動車産業界は、CASE (①Connected:コネクティッド化, ②Autonomous:自動運転化, ③Shared/Service:シェア/サービス化, ④Electric:電動化) や MaaS (Mobility-as-a-Service:移動のサービス化) の言葉に代表されるように大変革期を迎えており、人々の生活の中で身近な移動手段であった自動車の形態が大きく変わろうとしている。電動化は、CO<sub>2</sub>排出量削減を図るために効果的な手段であるため、多くの車両に種々の方式で適用される。国際エネルギー機関 IEA (International Energy Agency) のエネルギー技術展望 2012 レポートでは、電気エネルギーの充電を必要とする BEV (Battery Electric Vehicle) や PHEV (Plug-in-Hybrid Electric Vehicle) の普及台数を 2020 年に 800 万台、2030 年に 3700 万台、2050 年に 1 億 1500 万台と予想している<sup>1)</sup>。

自動車構造は、現行の内燃機関を有する車両から内燃機関とモーター、バッテリーまたはモーターとバッテリーのみが搭載された車両に変化する。その結果、車両重量は重量物のバッテリー搭載によって大幅に増加する。電動機付き自動車においても航続距離を向上させるためには、車両

重量低減への取り組みが必要不可欠である。また、日米欧中の主要市場で今後制定される燃費基準をクリアするには、上述のようなパワートレインの変更のみでは限界がある。これら市場の燃費規制を 2015 年から 2025 年にかけてクリアするためには 62g/km (44%減) もの CO<sub>2</sub> 排出量削減が求められる。その全ての削減量を内燃機関の進化や電動化だけで補うことは難しく、31~45g/km 程度の CO<sub>2</sub> 排出量削減が限界と予想されている。残る 17~31g/km の CO<sub>2</sub> 排出量削減は、パワートレイン以外の軽量化等による取り組みを強化しなければならない。1g/km の CO<sub>2</sub> 排出量削減には約 15kg の軽量化が必要なことから、約 200~300kg の軽量化が必要であることが試算される<sup>2)</sup>。

車両軽量化を目的とした取り組みでは、ボデーやシャーシに適用されている鋼製素材をアルミニウムや CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) 等の軽量素材に置換して軽量化を図る手法が検討されているが、コスト、リサイクル性、修理性や強度要求部品への適用性からその適用範囲は限定されており、例えばオールアルミニウム車、CFRP 車は一部の高級車に限定されている。また自動運転技術は開発途上で、衝突事故を完全に防ぐまでには相当な時間を

\* 技術開発企画部 研究推進室長 博士(工学) 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

要する。一方で、衝突安全性への要求は、衝突試験速度の増加やバッテリーの保護等の新たな条件での衝突安全性が要求されるようになってきており、年々厳しく多様化してきている<sup>3,4)</sup>。

日本製鉄(株)は、上述の状況を踏まえて次世代自動車に対応する設計コンセプトを検討している。モーターや電池の高効率化、車体構造やエンジン駆動部品の小型化や軽量化にむけた技術課題を解決する要素技術を体系化したコンセプトである。本報では、ボデー、シャシーを対象とした軽量化設計の全体像について述べる。また、車体構造やモーター、電池ならびに駆動部品に関連する要素技術については、本技報の中に掲載されているので、一読いただいで日本製鉄の次世代自動車にむけた研究開発の取り組みについて理解いただきたい。

## 2. 次世代自動車コンセプトの検討条件

### 2.1 次世代自動車コンセプト“NSafe<sup>®</sup>-AutoConcept”

日本製鉄の次世代自動車コンセプト NSafe<sup>®</sup>-AutoConcept は、日本製鉄および日本製鉄グループ会社が製造している製品の特性を最大限に引き出して次世代自動車の設計条件にミートさせるコンセプトであり、7つの部品群に分類して技術検討を行った。具体的には、車体を構成するパネル部品群、骨格部品群、シャシー部品群、パワートレインを構成するモーター部品群、電池部品群、エンジン部品群、トランスミッション部品群に対応する。

### 2.2 車体軽量化検討

軽量化検討を実行するにあたり、ベンチマークの題材とする車両は、①汎用的であること、②最軽量であること、③鋼製部品で構成された車体であることの3つの観点から、技術検討を開始した時期の車種の中でフォルクスワーゲン社 Golf VII (2013 モデル) を選択した。

この車両を対象に、オールアルミニウム車と同等以上の軽量化ポテンシャルを実現するための技術検討を行った。まず車体を構成する部品のカテゴリー分類を行った。表1に、代表的な部品に求められる性能と板厚設計因子を示す<sup>5,7)</sup>。自動車部品には、部品毎に求められる性能が異なる。主にドア等のパネル部品には張り剛性が、Bピラー等の骨格部品やサスペンションアームなどのシャシー部品には衝突強度や耐久強度が求められる。その結果、必要性能毎に材料特性や板厚設計条件が異なる。

材料の高強度化によって板厚を低減できる性能は、耐デント性、耐久強度、衝突強度であるが、張り剛性、ねじり剛性および曲げ剛性で支配される部品では材料の高強度化のみでは板厚の低減(薄肉化)は図れない。そこで、各部品をカテゴリー毎に分類して必要機能に応じた軽量化の手法を検討した。表2にその分類を示す。A 外板パネル類は、外板パネルを構成する部品群が含まれ、張り剛性を確保しながら軽量化する方策を考える必要がある。B 内板パネル類は、外板パネルと一体化されていないパネル類を示し、リアフロアなどの難成形部品が含まれ、従来強度部品として活用されていない。C 衝突エネルギー吸収骨格類は、衝突時に衝突エネルギーを吸収する部品群が含まれ、優れた衝突エネルギー吸収性能が要求される。

D キャビン骨格類は、衝突時に極力小さい変形量に制御して客室保護する部品群が含まれる。その他、X はバンパーであり、Y シャシー類には、ロアアーム、サブフレーム等の部品群が含まれ、耐久性が要求される部品群である。Z は、ブラケット等の小物部品を対象とした部品群である。また同表には、分類された部品群に適用されている Golf VII 以外の現行車も含めた一般的な鋼板強度を合わせて示した。鋼板の強度は、D キャビン骨格、X バンパーが最も高く、次いで Y シャシー、C 衝突エネルギー吸収骨格、A 外板パネル、B 内板パネルの順となっている。すなわち必

表1 部品要求性能と板厚決定要因<sup>5-7)</sup>  
Required parts performance and thickness design factor

Category	Example	Thickness design factor				
		Panel stiffness	Dent resistance	Bending, torsion stiffness	Fatigue strength	Crash resistance strength
Outer panel	Door outer Food outer	◎	◎		△	○
Inner panel	Floor panel Dash panel	◎	△	○	○	○
Structural parts	A B pillar Cross member			◎	○	◎
	B Fr./Rr./Side member			○	◎	◎
	C Door beam			○	○	◎
Chassis	A Suspension arm			◎	◎	
	B Wheel				◎	
Dominant mechanical properties		$k \times E \times t^{2-3}$	$k \times YS^2 \times t^{2-2.5}$	$k \times E \times t$	0.5TS	$EA : k \times TS^{0.5} \times t^{1.8}$

◎: Serious important, ○: Important, △: Less than ○  
k: Shape factor, E: Young's modulus, YS: Yield strength, TS: Tensile strength, WH: Work hardening, BH: Bake hardening,  $YS' = YS + WH + BH$


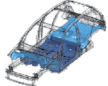
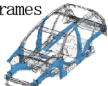


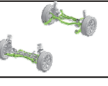
要な部品性能において、材料強度に支配される部品類には高強度材が積極的に適用されていることがわかる。しかし、材料強度に支配されない剛性律則部品類である A、B パネル類では高強度化は進んでいないこともわかる。また C 衝突エネルギー吸収骨格類は、D キャビン骨格類よりも低強度でデザインされていることがわかる。

図 1 に日系自動車の材料デザインを示すが、同様の設計条件に基づいていることがわかる<sup>8)</sup>。

### 2.3 車体軽量化技術視点とその要素技術開発

鉄鋼材料の特徴である比強度と延性を活かして、軽量化を図るためには、表 2 に示すように最も重量が重い A 外板パネル類、低強度材が適用されている B 内板パネル類に関する新たな設計条件が必要となる。また D キャビン骨格類に比べ低強度な C 衝突エネルギー吸収骨格類や Y シャシー類においては、さらなる高強度化を図って効果的な軽量化を図る余地がある。さらに、その設計条件を具現化するた

表 2 軽量化検討のための部品カテゴリー分類  
Categorized parts for weight reduction study

	Categorized name	Required Performance General Material Design	Weight (kg)
A	Outer Panels 	Appearance Designability Panel Stiffness Ex. 340MPa	116.7
B	Inner Panels 	Formability Noise Vibration Control Ex. 270~340MPa	37.8
C	Crash Energy Absorption Frames 	Energy Absorption Deformation Control Ex. 440~590MPaDP	41.7
D	Cabin Structural Members 	Cabin Protection Load Pass Control Ex. 980~1180MPaDP Hot Stamp 1.5GPa	97.6
X	Bumper R/F 	Energy Absorption Deformation Control Ex. 980~1180MPa Hot Stamp 1.5GPa	13.8
Y	Chassis 	Fatigue Strength Corrosion Resistance Ex. 440~780MPa	38.6
Z	Otherwise	Reinforced Pastes Bracket etc.	34.2

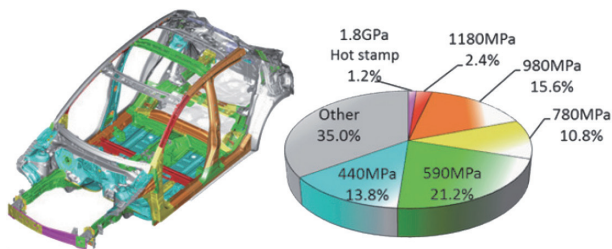


図 1 適用材料の強度レベルと適用部位<sup>8)</sup>

Material design of various steel grades for body in white

めの材料開発、成形加工ならびに接合組立技術に関する研究開発が必要不可欠である。本取り組みでは、これらの要素技術開発も並行して実行しており、本技報に掲載しているので参照いただきたい。

### 3. NSafe®-AutoConcept検討結果

#### 3.1 A 外板パネル類の軽量化の技術視点

張り剛性は、板面の面外変形量を小さく抑える、換言すれば“べこべこしない”特性で厚肉ほど有利であり、従来から外板パネルの薄肉化には限界があった。そのため本部材を軽量化するためには、薄肉材においても面外変形を抑制する新たな構造開発が必要不可欠となる。そこで、発泡樹脂シートや新たに考案した外板パネルを骨組みでサポートする新構造を開発した。図 2 に、骨組みでサポートしたドアモデルを示す。

#### 3.2 B 内板パネル類の軽量化の技術視点

内板パネルのような難成形部品においては、加工技術を進化させて高強度化を図り、C 衝突エネルギー吸収骨格類等の強度負担を低減させることを考えた。図 3 に、リアフロアの高強度化による後面衝突時の変形量への影響を示す。図から、本内板パネル部品においても高強度化は効果的であることがわかる。すなわち、内板パネルに強度部品としての仕事を分担させ、衝突エネルギー吸収や客室保護を図る骨格部品の強度負担を軽減することが可能となることわかる。

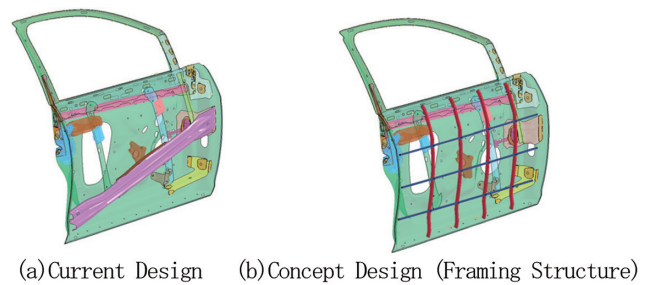


図 2 新構造骨組みドア

Concept design to ensure panel stiffness by framing structure along outer panel

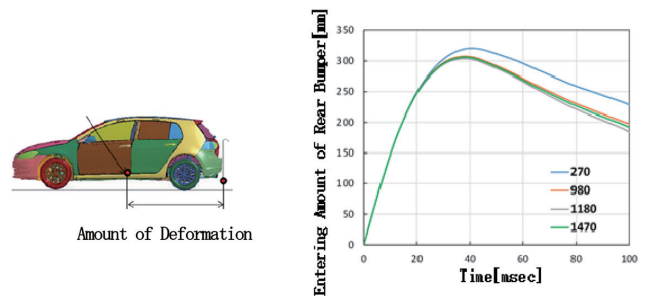


図 3 後面衝突変形量に及ぼすリアフロア強度の影響  
Effect of strength on deformation amount in the rear crash event

### 3.3 C 衝突エネルギー吸収骨格類の軽量化の技術視点

本部品類は、衝突変形中に母材破断や溶接部破断がなく、安定した衝突変形挙動を実現する部材設計条件を実現できれば、さらなる薄肉化と高強度化が可能な部品である。軸圧潰変形の場合、薄肉化により断面を構成する面(辺)の面外変形量が大きく、また高強度化によって弾性変形量が大きくなる。その結果、オイラー座屈を生じて安定した性能が得られなくなる。従って、衝突時に破断しにくい材料と薄肉、高強度材の衝突変形制御技術を開発することが軽量化の鍵をにぎる。

### 3.4 D キャビン骨格類の軽量化の技術視点

本部品類は、さらなる高強度化による薄肉化を追及すること、部材間の継手の荷重伝達効率を向上させて局所剛性を向上させることが重要と考える。そこで、材料特性を最大限に引き出す断面設計や構造を開発するとともに、超高強度化を実現する加工技術と接合技術開発に注力した。Xのバンパーにも本部品と同様の要素技術を適用する予定である。

### 3.5 Y シャシー類の軽量化の技術視点

本部品類は、耐久性を確保しながら軽量化を図るために、さらなる高強度化と耐食性、耐久性を確保する新しい構造開発を行った。部品へ荷重が付与された際の応力分布がより一様に制御可能な部品開発を狙う。

## 4. NSafe®-AutoConceptの軽量化ポテンシャルと性能

### 4.1 コンセプトモデルの材料、板厚デザイン

以上の設計コンセプトに基づいた設計条件を Golf VII の対象部品に適用した。図4に、現行条件とコンセプトモデルの適用材料の強度と板厚の分布を示す。コンセプトモデルは、C 衝突エネルギー吸収骨格類に 1180MPa 級、D キャビン骨格類には 2.0GPa 級の材料を用い、1.0mm 程度の板厚とした。

また、B 内板パネル類のリアフロアは現行と同一の板厚

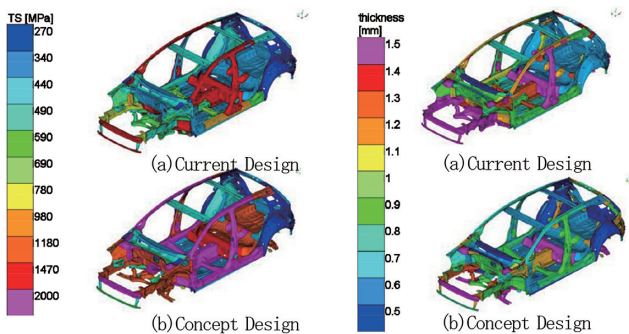


図4 現行とコンセプト条件における強度、板厚の比較  
Comparison of material design between current and concept model

であるが、1180MPaの材料を適用した。図5に、A 外板パネル類の板厚を示す。コンセプトモデルのドアは、図2に示す骨組み構造を適用して必要な剛性を確保させ、0.4mm厚で設計した。

### 4.2 軽量化ポテンシャルとその性能

図6、図7に、前章までに述べた設計条件を適用したコンセプトモデルの軽量化率を部品類毎に整理した結果と、オールアルミニウム車(アウディ社A8)と比較した結果をそれぞれ示す。B内板パネル類は、軽量化率が小さいものの本部品を高強度化することでC 衝突エネルギー吸収骨格

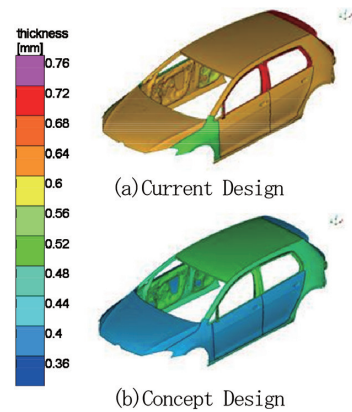


図5 外板パネル類の板厚分布  
Thickness design of outer panel

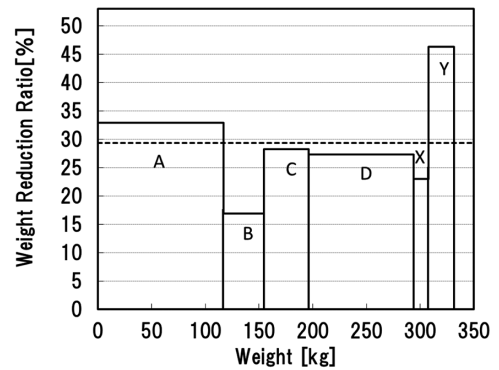


図6 各カテゴリー別の軽量化率  
Analytical results of weight reduction ratio

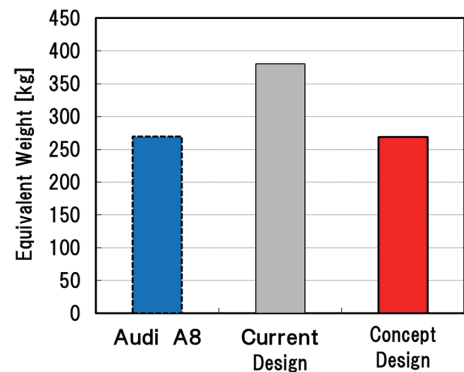


図7 コンセプトデザインの軽量化ポテンシャル  
Weight reduction potential of concept design

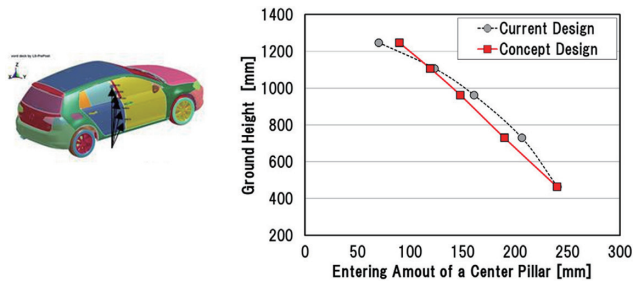


図8 後面衝突変形量に及ぼすリアフロア強度の影響  
Effect of the strength of rear floor on rear crash event

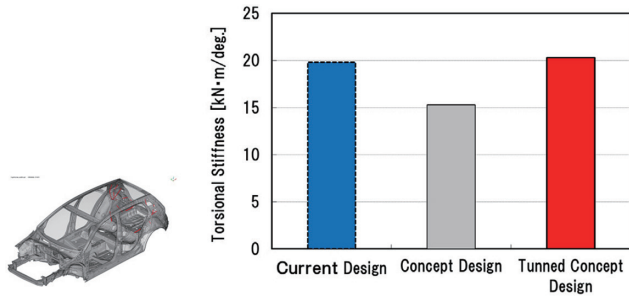


図9 ねじり剛性解析結果  
Analytical result of torsional stiffness of concept model

類の軽量化に貢献している。軽量化コンセプトモデルは、オールアルミニウム車と同等の軽量化ポテンシャルを有していることがわかる。

図8に、コンセプトモデルの側面衝突性能を現行モデルと比較して示す。コンセプトモデルは軽量にも関わらず、現行モデルと同等の侵入量である。また図9に、ねじり剛性の解析結果を示す。コンセプトモデルは、現行モデルよりもねじり剛性は低下するが、リアホイールハウス周り(図中の赤箇所)の結合特性を接着併用等で調整することで現行モデルと同等となる。その際の重量増は5kg程度である。

## 5. 結 言

次世代のCO<sub>2</sub>排出量の削減目標に対応する次世代自動車コンセプト“NSafe®-AutoConcept”の開発に取り組んでい

る。

車体構造領域では、部品必要機能を理解して部品類毎に軽量化コンセプトをまとめ、薄肉化により低下する性能を新構造開発にて補うことで、鉄鋼材料のみで現行設計条件に対し30%の軽量化を達成した。またこの軽量化ポテンシャルは、オールアルミニウム車に匹敵することを明らかにした。

本報では、基本機能となる軽量化に対し、新たな構造、設計思想を適用することによって軽量化の限界を引き上げることが可能であることを実証した。今後も継続して軽量化検討を行うとともに、モーター、電池、駆動部品全てを対象としたNSafe®-AutoConceptの完成にむけた研究開発を継続する。

## 参考文献

- 1) IEA: Energy Technology Perspective 2012
- 2) Goldman Sachs Global Investment Research: Lighter, Faster, Cheaper, Cars 2025. Vol. 5, April 7, 2016
- 3) 国土交通省, 独立行政法人自動車事故対策機構: 自動車アセスメント衝突安全性能評価. 2016年3月, ([www.nasva.go.jp/mamoru/download/JNCAP\\_2016\\_panf.pdf](http://www.nasva.go.jp/mamoru/download/JNCAP_2016_panf.pdf))
- 4) 神本一朗, 元木正紀, 上野正樹: 電気自動車の衝突安全性能開発. マツダ技報. (30), 135-139 (2012)
- 5) 岸田宏司: 自動車軽量化に寄与する高強度鋼板. 新日鉄技報. (371), 13-17 (1999)
- 6) 高橋学: 自動車用高強度鋼板の開発. 新日鉄技報. (378), 2-6 (2003)
- 7) 中澤嘉明, 芳賀純, 勝信一郎: さらなる車両軽量化を可能とする新しい高張力鋼板とその活用. 自動車技術会材料フォーラムテキスト. 2003
- 8) 松岡秀典, 山本裕士, 田代邦芳, 宮本康史, 影山和宏, 山崎忠, 楢原隆志, 西村佳和, 阿部健, 藤谷駿介: 新型デミオ・CX-3の軽量ボデー開発. マツダ技報. (32), 48-55 (2015)



中澤嘉明 Yoshiaki NAKAZAWA  
技術開発企画部 研究推進室長  
博士(工学)  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



中田匡浩 Masahiro NAKATA  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部  
首席主幹研究員



吉田 亨 Tohru YOSHIDA  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部  
首席主幹研究員 博士(情報科学)



上西朗弘 Akihiro UENISHI  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部  
首席主幹研究員 博士



丹羽俊之 Toshiyuki NIWA  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部  
首席主幹研究員



樋渡俊二 Shunji HIWATASHI  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部長  
Ph.D.



河内 毅 Takeshi KAWACHI  
鉄鋼研究所 材料ソリューション研究部  
主幹研究員 博士(工学)