

超高強度鋼板を用いた冷間プレス成形による 車体骨格部品の一体化成形技術開発

Development of Integrated Forming Technology for Automotive Body Structural Components Using Cold Press Forming of Ultra-high Strength Steel Sheets

吉川 伸麻*
Nobuo YOSHIKAWA

田中 康治
Yasuharu TANAKA

宮城 隆司
Takashi MIYAGI

小川 操
Misao OGAWA

麻生 敏光
Toshimitsu ASO

名取 純希
Junki NATORI

菅原 稔
Minoru SUGAWARA

抄 録

自動車車体骨格では、各種性能を確保しつつ軽量化・コスト低減・GHG排出量低減等が求められる。近年、それらの要求を満たす手段の1つとして、部品一体化の進展がみられる。日本製鉄(株)では、多様な強度特性・変形能力を有する超高強度鋼板とそれを活かす利用技術(構造設計、成形工法等)の開発を進めている。本報では、超高強度鋼板を用いた冷間プレス成形による車体骨格部品の一体化成形技術開発として、せん断成形工法、自由曲げ工法とその応用について概説した。

Abstract

In automotive body structure, there is a demand for weight reduction, cost reduction, and reduction of GHG emissions while ensuring various performances. Recently, one of the means to meet these requirements is the advancement of component integration. Nippon Steel Corporation is developing ultra-high-strength steel sheets with various strength characteristics and deformation capabilities, along with utilization technologies (structural design, forming methods, etc.) that make use of these properties. This report outlines the development of automotive body structural component integration forming technology using cold press with ultra-high-strength steel sheets, specifically focusing on “In-plane-shear draw-bending (NSafe™-FORM-SS)”, “In-plane-shear free-bending (NSafe™-FORM-LT)” and their applications.

1. 緒 言

1.1 背景：自動車に求められるニーズ

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温室効果ガス(Life Cycle - Greenhouse gases: LC-GHG)排出量の低減が求められており、自動車分野では、走行時のGHG排出量の少ない電気自動車(Battery Electric Vehicle: BEV)の普及が近年急速に進んでいる。一方、BEVに搭載されるバッテリーは重量が数百kgと重く、車両総重量もそれ相応に増加するため、車体骨格にはこれまで以上に高い衝突性能が求められる。また、バッテリーはその製造コストが高く、車両全体の価格上昇の一因となっている。そのため、自動車車体には、衝突性能の向上に加えてコストの低減もあわせて求められる。また、少子高齢

化による労働人口の減少や職業志向の変化から、自動車分野では省人化可能な技術ニーズも顕在化している。上記の要請に応えるべく、近年では一部の自動車メーカー、特に新興メーカーにおいて、アルミニウム合金を用いたギガキャスト部品が適用されている。これは、フロントおよびリアアンダーモジュールに代表される複数のプラットフォーム部品を大型キャスト部品として一部に集約したものである。しかしながら、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。また、数多くの部品が一部化されているため、軽衝突時の補修性に劣る、多車種の製造に不向きである、といった課題もある。これら課題を解消する手法としては、既存のプレス製造ラインを用いて高強度鋼板を加工し、小中規模の部品一体化をすることが挙げられる。日本製鉄(株)では、こういった動向

* 名古屋製鉄所 品質管理部 主幹 愛知県東海市東海町 5-3 〒476-8686

を見据え、小中規模の部品一体化技術の開発を進めてきた。

本報では、超高強度鋼板を用いた冷間プレス成形による複数部品の一体化成形技術について概説する。

1.2 部品一体化技術の概要

日本製鉄では、自動車に関する様々なニーズに対応すべく、トータルソリューション：NSafe®-AutoConcept を提案している。図1に示すように、本コンセプトは、材料開発・構造設計・工法開発・性能評価の4つの柱から成る。

表1に、NSafe®-AutoConceptの根幹となる材料メニューを示す。冷延鋼板および冷延めっき鋼板については、成形性に優れたDP (Dual Phase) 鋼板およびTRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼板が開発され、冷延鋼板では1470MPa級鋼板、冷延めっき鋼板では1180MPa級鋼板まで、既に車体骨格部材に適用されている。現在は更なる高強度鋼板の研究開発に取り組んでいる。これに加えて、高機能商品として、衝突時のエネルギー吸収性能(EA:Energy Absorption)に優れた鋼板を開発しており、冷延鋼板、冷延めっき鋼板とも980MPa級鋼板まで実用化している。また、ホットスタンプ用鋼板については、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。このように、日本製鉄では様々な強度レンジおよび機能を備えた商品を有しており、自動車車体の多様な機能に対応することが可能である。

一体化成形技術については、NSafe®-AutoConcept中の主に成形技術に基づき、小中規模から大規模まで様々なレベ

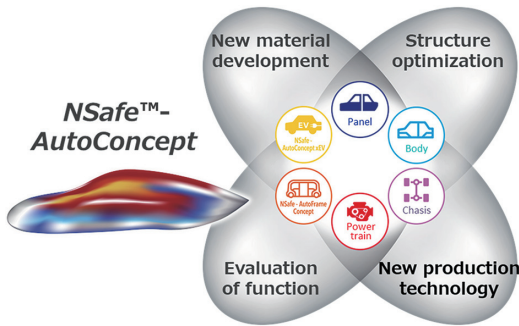


図1 日本製鉄のトータルソリューション
Nippon Steel's total solution for automobiles

表1 日本製鉄の材料ラインナップ
Nippon Steel's material lineup

	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)	Uncoated	Dual Phase, Multi Phase	●	●			
		TRIP	●	●			
		High Crash Energy Absorption	●				
For Hot Stamping	Uncoated				(●)	(●)	(●)
		Coated (Al-Si)	(○)	(●)	(●)	(●)	(●)
		Coated (Zn)	(○)	(○)	(●)	(●)	

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

ルの提案が可能である。小中規模な一体化を実現する手法としては、隣接した部品を一体化するテーラードブランク (Tailor Welded Blank: TWB) 技術や、重なった部品を一体化するパッチワーク技術²⁾が挙げられる。高強度鋼板への置換による補強部品の削減も一体化の一種と言えよう。また、大規模な一体化にはホットスタンプ技術を用いており、その対象部品には、2010年代から実用化されているドアリングや2020年前後から提案されているリアモジュールが挙げられる。

上述のように、NSafe®-AutoConceptでは、様々な鋼種および一体化成形技術を提案している。両者を組み合わせることで、部品機能を考慮した一体化構造の実現が可能となり、軽量化、部品コストの低減、GHG排出量の削減といった様々な課題に対応することができる。

以下では、まず超高強度鋼板を用いた冷間プレス成形による複数部品の一体化について、成形技術に着目して紹介する。次に、車体骨格部材の機能を考慮して、高強度鋼板を適切に配置した一体化構造の実現事例について述べる。なお、ホットスタンプに関する要素技術については前報(目次 No.06)を参照されたい。

2. 部品一体化を実現する成形技術

2.1 超高強度鋼板を用いた部品一体化の課題

本章では、超高強度鋼板を用いた冷間プレスによる一体化成形技術について、成形技術に着目して紹介する。

近年では980~1180MPa級に加えて、1470MPa級の超高強度鋼板が車体骨格部材に適用され始めている。しかしながら、一般に鋼板強度の増加に伴って延性が低下するため、プレス成形時に生じる割れやしわが課題となることに変わりはない。また、複数部品を一体化する場合、対象となる部品の形状が複雑となり成形難易度が高まる。そのため、超高強度鋼板を用いた部品一体化を実現するためには、従来とは異なる成形技術が必要となる。日本製鉄では、鋼板面内でのせん断変形を積極的に活用したせん断成形工法(NSafe®-FORM-SS)^{3,4)}、自由曲げ工法(NSafe®-FORM-LT)^{4,5)}といった新たな成形技術を開発してきた。以下では、これら成形技術の概要について述べる。

2.2 せん断成形工法 (NSafe®-FORM-SS)

湾曲ハット形状を絞り成形する場合、図2(a)に示すように材料がホルダー面に垂直に流入するため、湾曲凸部の天板部で材料が長手方向に延ばされて破断し、湾曲凹部の天板部で材料が圧縮されてしわが発生する。良好に成形するためには、図2(b)に示すように材料を成形方向に平行に流入させればよい。そのような成形を行う工法としてせん断成形工法(NSafe®-FORM-SS)を開発した。せん断成形工法では図3に示す構成の金型を用い、天板部をパッドで押さえて天板部の材料移動を拘束して伸びと圧縮を抑制

し、縦壁部を純粹せん断変形させることにより湾曲ハット形状を成形する。この際、せん断変形の最小主ひずみ方向の圧縮によるしわ(せん断じわ)を抑制するために、縦壁の角度を垂直として成形中の金型間のクリアランスを無くし、材料の面外変形を抑制する。

図4に、1470MPa級鋼板およびせん断成形工法を用いて試作した一体フロントサイドメンバーリアを示す。このような複雑形状を有する湾曲ハット部品の高強度化を実現することで、衝突変形時の座屈抑制のために湾曲部に配置されている補強部品を削減できる。結果として、部品一体

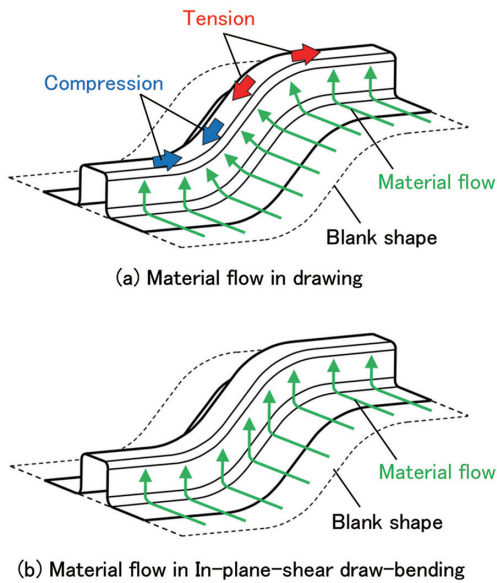


図2 絞り成形とせん断成形工法での材料流入⁴⁾
Material flow in drawing and In-plane-shear draw-bending⁴⁾

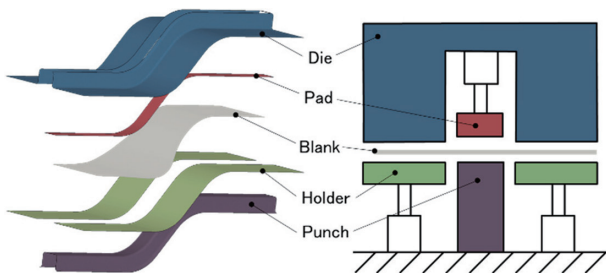


図3 せん断成形工法での金型構成⁴⁾
Die construction in In-plane-shear draw-bending⁴⁾

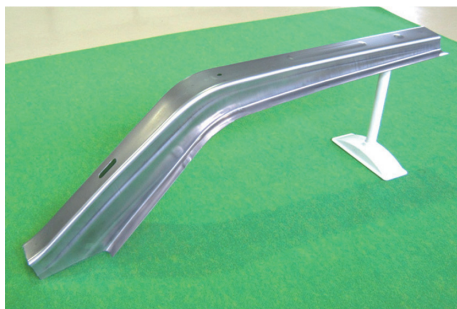


図4 一体フロントサイドメンバーリア試作品⁴⁾
Prototype of front side member rear⁴⁾

化が可能となる。

2.3 自由曲げ工法 (NSafe®-FORM-LT)

湾曲した縦壁とフランジを持つL字およびT字状の形状を絞り成形する場合、部位毎による材料流入差により湾曲部近傍の天板部で顕著なしわが発生し、縦壁部が大きな平面ひずみ変形により破断する。このような複雑形状を有する部品の造形を可能とするために、自由曲げ工法(NSafe®-FORM-LT)を開発した。

図5(a)に、自由曲げ工法での金型構成を示す。本工法では、成形中の張力を低減して破断を防止するために、ブランクホルダーを用いる絞り成形ではなく、曲げ成形を適用している。また、成形初期より天板部をパッドで押さえることでしわを抑制する。また、図5(b)に示すように、成形の進行に伴って、天板部の材料が湾曲部へと流入する。そのため、縦壁部は材料の伸びだけではなく移動も伴って造形されることになる。このことも縦壁部の破断抑制に対して効果的に作用する。

図6に、1470MPa級鋼板および自由曲げ工法を用いて試作した上下部一体センターピラーを示す。センターピラー上部は980~1180MPa級、下部は440~590MPa級の鋼板が適用されることが多いが、本工法を用いることで1470MPa級鋼板を用いての上下部一体化が可能となる。

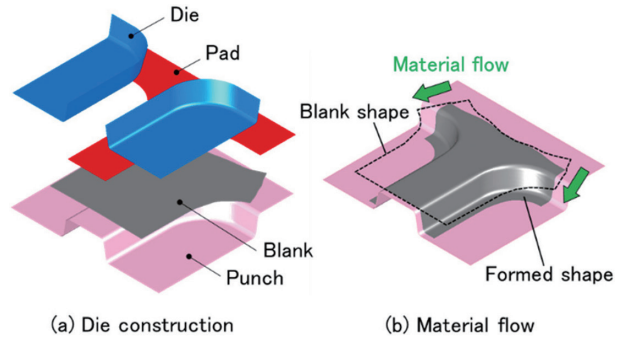


図5 自由曲げ工法での金型構成と材料流入⁴⁾
Die construction and material flow in In-plane-shear free-bending⁴⁾



図6 一体センターピラー試作品⁴⁾
Prototype of center pillar

3. リアサイドメンバーの一体化成形技術開発

3.1 開発コンセプト

本章では、車体骨格部材の機能を考慮し、高強度鋼板を適切に配置した一体化構造の実現事例について述べる。具体的には、前節で紹介した自由曲げ工法を応用することで、リアサイドメンバーフロントおよびリアの2部品を一体化した事例である。

図7に対象となる部品形状を示す。フロント側に変形を抑止する1470MPa級鋼板を、リア側に後面衝突時の大変形に耐えてエネルギーを吸収する980MPa級EA鋼板を用いた。これら超高強度鋼板をTWB技術を用いて一体化することで、軽量化と部品点数の削減が可能となる。

3.2 FEM解析による工法検討

本部品の成形手法については、FEMを用いた数値解析にて検討を実施した。解析には動的陽解法ソルバーLS-dyna (R7.1.2)を用いた。要素はShell要素、要素サイズは2mmとし、板厚方向の積分点を7点、摩擦係数をクーロン摩擦係数で0.1とした。ここで、今回の対象部品の中で破断やしわが懸念されるのはフロント側であるため、フロント側についてのみ検討を実施した。なお、供試材は1470MPa級鋼板である。

まず、図8に示す曲げ成形主体の工程を試行して成形課題を抽出した。1および2工程目はパッド曲げ成形、3工程目はスタンピング成形である。なお、1工程目と2工程目の間、2工程目と3工程目の間、3工程目後に各々トリム工程を設定している。図9に、最終トリム工程後の板厚減少率分布を示す。伸びフランジのエッジ部に10%を超える板厚減少率が生じており、曲げ成形主体の工程では困難であると言える。

次に、自由曲げ工法を活用することで、伸びフランジ部の板厚減少を低減することを試みた。図10に、自由曲げ工法主体の工程を示す。図8に示した曲げ成形主体の工程との違いは、1工程目に自由曲げ工法を適用した点のみである。図11に、最終トリム工程後の板厚減少率分布を示す。1工程目の自由曲げ工法適用時に、天板部から湾曲部への

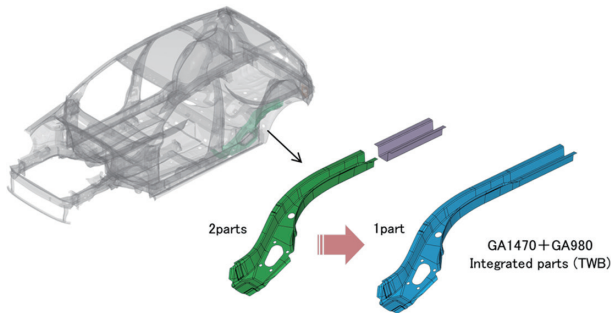


図7 一体リアサイドメンバー
Integrated rear side member

材料流入を促進する目的で流入促進ビード付与することで、伸びフランジ部の板厚減少率も4.8%まで低減している。以上の結果より、1470MPa級鋼板を用いた一体リアサイドメンバーの成形性について目途を得た。

3.3 試作による開発技術の効果検証

前節にて、1470MPa級鋼板を用いた一体リアサイドメンバーの成形性について、自由曲げ工法を応用することで目途を得た。そこで、前述の成形工程にて実際に部品の試作を実施し、開発技術の効果を検証した。図12に、今回試作した成形品の外観を示す。FEM解析の結果と同様に、試作品についても破断や顕著なしわが生じることなく成形できることを確認した。すなわち、自由曲げ工法を応用する

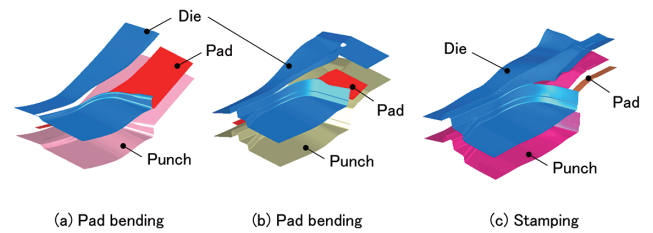


図8 曲げ成形主体の成形工程
Forming process mainly focused on bending

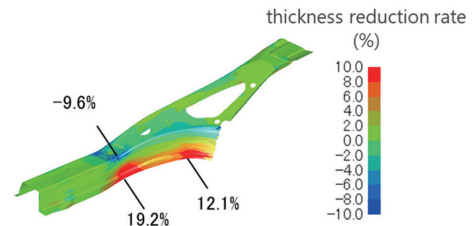


図9 FEM解析での板厚減少率
Thickness reduction rate in FEM analysis

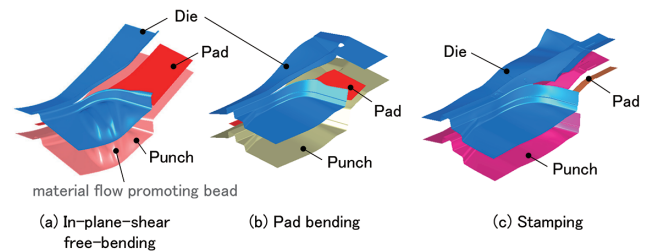


図10 自由曲げ工法主体の成形工程
Forming process mainly focused on In-plane-shear free-bending

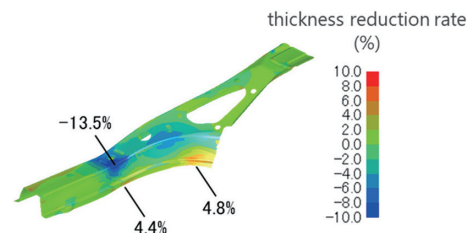


図11 FEM解析での板厚減少率
Thickness reduction rate in FEM analysis



図 12 一体リアサイドメンバー試作品
Prototype integrated rear side member

ことで、一体リアサイドメンバーの成形が可能となる。

4. 結言・今後の展望

超高強度鋼板を用いた冷間プレスによる一体化成形技術開発として、せん断成形工法および自由曲げ工法を紹介した。また、自由曲げ工法を応用した一体リアサイドメンバーの事例を示した。今後、ここで紹介した一体化成形技術を他モジュールにも応用すると共に、新たな一体化成形技術の

開発を推進することで、自動車の軽量化・製造コストの低減・ライフサイクル GHG 排出量低減の高い次元での実現に貢献していく。

参考文献

- 1) 久保雅寛, 井口敬之助, 樋渡俊二: 鋼製軽量車体および部品のライフサイクルでの温室効果ガス排出量評価. 自動車技術会 2022 年春季大会学術講演会講演予稿集. 文献番号 2022 5281 (2022)
- 2) 日本製鉄(株): プレスリリース, https://www.nipponsteel.com/news/20220622_100.html
- 3) 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)
- 4) 田中康治, 小川操, 西村隆一, 伊藤泰弘, 米林亮, 名取純希, 菅原稔: ぶらすとす. 6 (72), 725-729 (2023)
- 5) Tanaka, Y., Miyagi, T., Ogawa, M., Natori, J., Sugawara, M.: Mater. Trans. 63 (1), 82-87 (2022)



吉川伸麻 Nobuo YOSHIKAWA
名古屋製鉄所 品質管理部 主幹
愛知県東海市東海町5-3 〒476-8686



麻生敏光 Toshimitsu ASO
名古屋製鉄所 品質管理部 主幹



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)



名取純希 Junki NATORI
中国支店 主幹



宮城隆司 Takashi MIYAGI
名古屋製鉄所 品質管理部 主幹



菅原 稔 Minoru SUGAWARA
名古屋製鉄所 品質管理部 主査



小川 操 Misao OGAWA
名古屋製鉄所 品質管理部 主幹