

(技術資料)

軽量化とCO₂削減に貢献する薄板超ハイテン製品

福本幸司*1・内藤純也*1(博士(工学))・白木厚寛*2・二村裕一*2(工学博士)・小林 学*3・吉野初美*4

Ultra-High Tensile Steel Sheets Contributing to Lightweighting and CO₂ Emission Reduction

Koji FUKUMOTO・Dr. Junya NAITO・Atsuhiko SHIRAKI・Dr. Yuichi FUTAMURA・Manabu KOBAYASHI・Hatsumi YOSHINO

要旨

地球環境保護の観点で温室効果ガス（GHG：Green House Gas）排出量削減を目的とした自動車の燃費規制が各国で強化されている。自動車の燃費向上には車体軽量化が有効であるが、同時に衝突安全基準対応への要求も高まっており、より超高強度を有する鋼板や部品適用ニーズが高まっている。本稿では、変形抑制部向け冷延1,470 MPa級マルテンサイト鋼板およびエネルギー吸収部材向け合金化溶融亜鉛めっき（GA）980 MPa級鋼板の特徴について紹介する。そして、これら超ハイテン材適用時の車体軽量化はライフサイクルにおけるGHG排出量削減に大きく寄与することを明らかにした。

Abstract

From the perspective of global environmental protection, countries around the world are tightening automobile fuel economy regulations with the aim of reducing greenhouse gas (GHG) emissions. While reducing vehicle body weight is an effective means of improving fuel economy, stricter collision safety standards are also driving increased demand for ultra-high strength steel sheets and components. This paper introduces the features of a cold-rolled 1,470 MPa-class martensite steel sheet for deformation suppression areas and an alloyed hot-dip galvanized (GA) 980 MPa-class steel sheet for energy-absorbing components. It has been demonstrated that vehicle body lightweighting achieved through the application of these ultra-high tensile steel materials contributes significantly to GHG emission reductions over the vehicle's entire lifecycle.

検索用キーワード

超ハイテン材, 自動車軽量化, 衝突安全, CO₂削減, LCA

ま え が き = 地球環境保護の観点で温室効果ガス（Green House Gas：以下、GHGという。）排出量削減を目的とした自動車の燃費規制が各国で強化されている。自動車の燃費向上には車体軽量化が有効であるが、同時に衝突安全基準対応への要求も高まっており、一般的に超ハイテン材と呼ばれる引張強さ780 MPa以上の高強度鋼板やその部品適用ニーズが高まっている。本稿では、自動車部品の高強度かつ軽量化に貢献する薄板超ハイテン材の特徴について紹介する。そして、超ハイテン材適用時の車体軽量化効果とライフサイクルにおけるGHG排出量削減効果について報告する。

1. 特徴ある薄板超ハイテン材の製品紹介

現在、自動車車体の軽量化に向けた種々の超ハイテン材の適用および開発が進んでおり、その機械的特性を図1に示す。従来から適用されているフェライトとマルテンサイトからなる複合組織（Dual Phase：以下、DPという。）鋼板からさらに高強度化や高延性化などの特性を向上させた超ハイテン材の開発が進んでいる。その中でも、車体骨格では、自動車衝突時に①乗員の生存空間確保のため、変形抑制が必要なキャビン周辺部位、および②衝突時のエネルギーを吸収する車体前後部位があり、それぞれ必要性能を考慮し、当社ではそれぞれに

適した超ハイテン材の開発を行っている。以下、代表的な超ハイテン材について紹介する。

1.1 変形抑制部向け冷延1,470 MPa級マルテンサイト鋼板

キャビン周辺など変形抑制部位では、適用材料の高強度化の要望が強く、当社は急速冷却可能な水焼入れ設備を活用した焼入れ・焼戻しを施すことにより、マイクロ組織を硬質なマルテンサイト単一組織（図2）として、1,300 MPa以上の超ハイテン材の製造を実現している。代表例として1,470 MPa級マルテンサイト鋼板の機械特

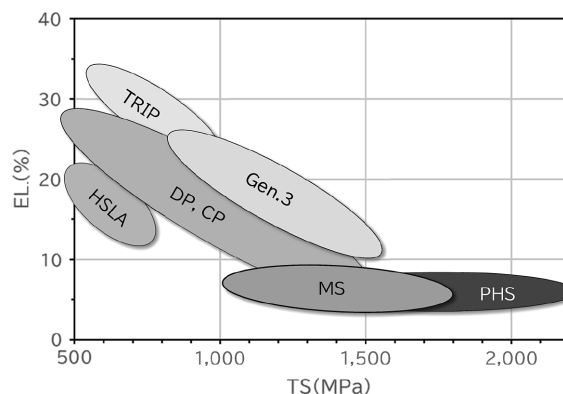


図1 ハイテン材, 超ハイテン材の機械的特性
Fig.1 Mechanical properties of high tensile and ultra-high tensile steel

*1 技術開発本部 ソリューション技術センター *2 鉄鋼アルミ事業部門 技術開発センター 鋼板開発部
*3 技術開発本部 ソリューション技術センター (現 コベルコビジネスパートナーズ株 産業情報部) *4 コベルコビジネスパートナーズ株式会社 産業情報部

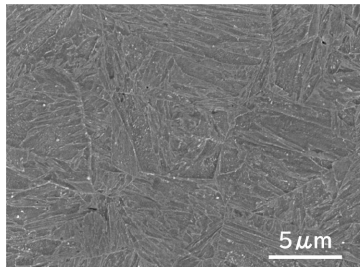


図2 代表組織写真 (1,470 MPa級MS鋼板)

Fig.2 Typical microstructure (1,470 MPa grade martensitic steel sheet)

表1 機械的特性の代表値 (1,470 MPa級MS鋼板)

Table 1 Typical mechanical properties (1,470 MPa grade martensitic steel sheet)

YS (MPa)	TS (MPa)	EL. (%)
1,367	1,528	7

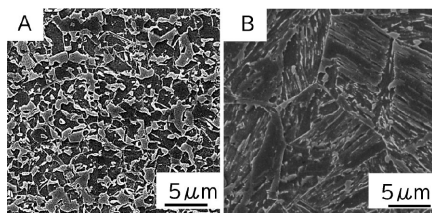


図3 代表組織写真 A) Dual phase鋼, B) 開発鋼

Fig.3 Typical microstructures of A) dual phase steel, B) developed steel

性値を表1に示す。当該鋼種の特長としては、焼入れ性向上元素の添加を必要最小限に抑えているため、遅れ破壊性や溶接性に優れること、軟質組織を含まないため高YSを実現しており、その結果、部品の衝突変形時の荷重を高くでき、衝突性能に有利であることが挙げられる。バンパーを始め、AピラーやBピラーなどのキャビン周辺の骨格部品に適用されており、とくにバンパーやクロスメンバー用途では、さらに高強度な1,700 MPa級マルテンサイト鋼板の開発も行っている¹⁾。

1.2 エネルギー吸収部材向け980 MPa級合金化溶融亜鉛めっき鋼板²⁾

防錆必要部位では、合金化溶融亜鉛めっき（以下、GAという。）鋼板の高強度化による薄肉軽量化が加速している。なかでも、衝突時に変形してエネルギーを吸収する車体前後の部材などに適した材料の開発も行っている。超ハイテン材のGA鋼板としてDP鋼板が一般的であるが、衝突変形の際、両組織間の硬度差が大きくなり、その境界では応力集中によりき裂が発生しやすくなり、エネルギー吸収能は低下する。当社では、軟質なフェライトを含まず硬度差を無くした均一組織化（図3）により、局所変形能とともに、エネルギー吸収能を高めた鋼板（以下、開発鋼板という。）を開発している。開発鋼板と従来鋼板の比較のため、表2に示す機械的特性の供試材を用い、落錘（らくすい）試験を実施した。図4に試験体の断面形状、軸圧壊変形時のエネルギー-変位曲線、および試験後の概観を示す。従来のDP鋼板に比べ、開発鋼板では初期の吸収エネルギーは同等であるが、その後、破断せずに変形するためエネルギー吸収能が高

表2 供試材の機械的特性 (980 MPa級GA鋼板)

Table 2 Mechanical properties of test steels (GA 980 MPa grade steel sheet)

Steel	Thickness (mm)	YP/YS (MPa)	TS (MPa)	EL. (%)	λ (%)
Conventional	1.6	659	1,059	15	17
Developed	1.6	882	1,004	14	86

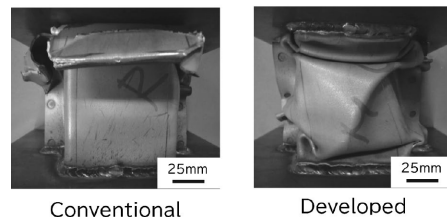
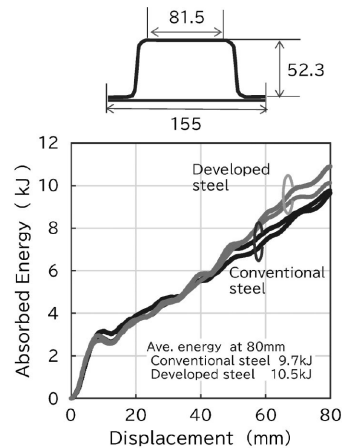


図4 軸圧壊における吸収エネルギー-変位曲線と試験後の外観
Fig.4 Absorbed energy-displacement curves and appearances in axial crush

く、80 mm変位では顕著な差が生じることがわかる。今後、フロントサイドメンバーやリアサイドメンバー等への適用が期待できる。

2. 超ハイテン材適用による軽量効果の試算

当社で独自設計したBEV（Battery Electric Vehicle）車体モデルを用いて、鋼材の高強度化による軽量効果を試算した事例によると、引張強度590 MPa級のハイテン材を約40%、引張強度780 MPa以上の超ハイテン材を約12.5%適用したベースモデルから、引張強度780 MPa以上の超ハイテン材の比率を38.3%とすることで、12%の軽量効果が得られている³⁾。図5に車体諸元とベースモデル、12%軽量化したケースの材料構成を示す。この試算を行った2018年当時から、引張強度1,470 MPa級の冷間プレス用超ハイテン材が実用化されるなど、鋼材の高強度化およびプレス成形技術などの超ハイテン材の利用技術開発はさらに進展しており^{4), 5)}、超ハイテン材適用によりさらなる軽量効果が期待できる。そこで、本稿では自動車軽量化で得られるGHG排出量削減効果について、ライフサイクルの観点で試算した結果を3章で述べる。

3. ライフサイクルを考慮したGHG排出量削減効果

BEV車体モデルを対象に内藤ら³⁾の試算結果の12%

Dimensions & weight (Base model) SUV (E segment)	
Length (mm)	4,826
Width (mm)	1,885
Wheelbase (mm)	2,785
Height (mm)	1,710
Curb weight (kg)	2,150
Weight of BIW (kg)	456.4
Number of parts	243

※excluding hood, fenders and doors



Material constitution		Rate (%)
< TS590MPa Steel		41.4
≥ TS590MPa Steel		40.7
≥ TS780MPa Steel		12.5
Hot Stamping Steel		4.5
Aluminum Extrusion		0.8

Base model

Material constitution		Rate (%)
< TS590MPa Steel		24.1
≥ TS590MPa Steel		32.9
≥ TS780MPa Steel		38.3
Hot Stamping Steel		3.8
Aluminum Extrusion		0.9

12% lightweight model

図5 車体の主要諸元および材料構成

Fig.5 Body in white, main specifications and material constitution of base vehicle

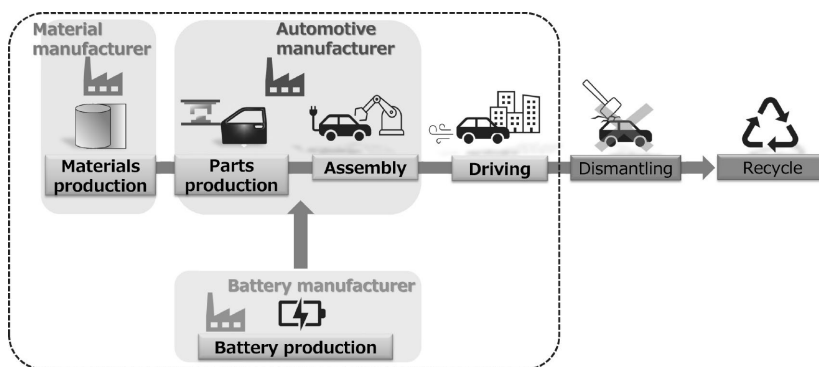


図6 自動車のライフサイクルにおける評価範囲

Fig.6 Scope of assessment during the life cycle of a vehicle

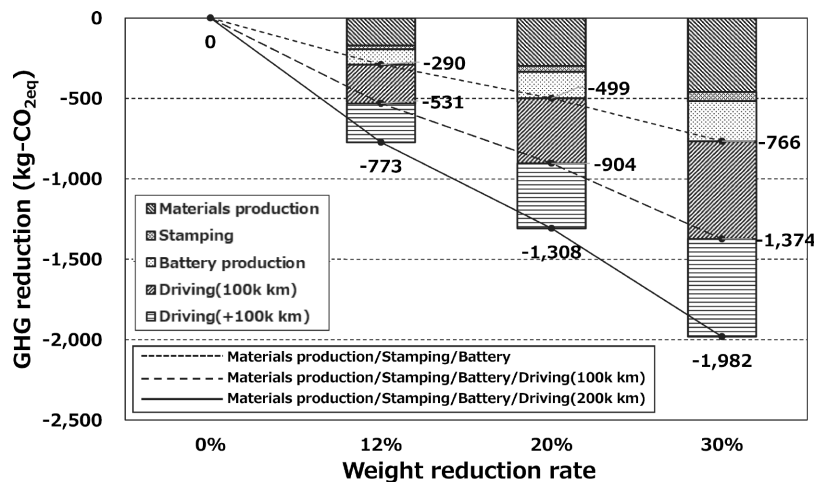


図7 軽量化率とGHG排出量削減効果の関係

Fig.7 Relationship between weight reduction rate and GHG reduction

の軽量化効果に加えて、20%、30%軽量化できたときのライフサイクルにおけるGHG排出量削減効果を試算した。

3.1 ライフサイクルのGHG排出量評価の対象

自動車のライフサイクルにおけるGHG排出量の評価範囲を図6に示す⁶⁾。「材料製造」、「部品製造」、「車体製造」、「電池製造」、「走行」までを考慮し、これらはいずれも日本国内を想定した。ただし、「車体製造」では鋼材の低強度材から高強度材への材料変更による影響は非常に小さく、GHG排出量に差が無いものと仮定した。

3.2 各フェーズにおけるGHG排出量の評価手法^{7), 8)}

材料製造および部品製造時のGHG排出量はLCIデー

タベース AIST-IDEA v3.5.1 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所) を、電池製造時のGHG排出量は World Auto Steel/UCSB Automotive Energy & GHG Model (以下、UCSB Model という。) Version 5.1 を用いて算出した。このとき、車両の航続可能距離を一定とし、車体の軽量化効果は電池容量削減に寄与すると仮定した。そして、走行時のGHG排出量はUCSB Modelを走行部分にのみ適用し、10万kmおよび20万km走行したときのGHG排出量を算出した。

3.3 ライフサイクルにおけるGHG排出量評価結果

軽量化率に対するライフサイクルでのGHG排出量削減効果を図7に示す。グラフの縦軸は現行条件から超

ハイテン材適用に伴う各工程におけるGHG排出量の差分を示す。これより、軽量化率が大きくなるほど各フェーズのGHG排出削減効果は大きくなる。このことから、ライフサイクルでのGHG排出量削減には車体軽量化が非常に有効であることがわかる。

むすび = 自動車の軽量かつ高強度ニーズに対応するため、当社冷延1,470 MPa級マルテンサイト鋼板およびGA980 MPa級鋼板の組織制御の考え方と機械的特性について紹介した。そして、超ハイテン材適用による車体軽量化はライフサイクルにおけるGHG排出量削減に非常に有効であることを明らかにした。

このように当社は自動車車体のさらなる高強度化や環

境負荷低減のニーズに応えるべく、材料開発およびその利用技術開発を進めていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 白木厚寛ほか. R&D神戸製鋼技報. 2024, Vol.73, No.2, p.64-68.
- 2) 中屋道治ほか. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.25-28.
- 3) 内藤純也ほか. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.60-64.
- 4) 山本兼司ほか. R&D神戸製鋼技報. 2019, Vol.69, No.1, p.39-44.
- 5) 林田康宏ほか. R&D神戸製鋼技報. 2024, Vol.73, No.2, p.83-87.
- 6) 加嶋寛子ほか. 自動車技術会 2024年春季大会学術講演会予稿集(春). 公益社団法人自動車技術会. 講演番号293.
- 7) 大久保安剛ほか. R&D神戸製鋼技報. 2024, Vol.73, No.2, p.100-105.
- 8) 江崎澄代ほか. 自動車部品の材料選択・構造設計への環境負荷評価の適用. 第18回日本LCA学会研究発表会 要旨. 2023年3月, No.2-B3-02.