

# 自動車用材料と利用技術

## Materials and Technologies for Automotive Use

関田 貴司	SEKITA Takashi	JFE スチール	薄板セクター部長
金藤 秀司	KANETO Shuji	JFE スチール	薄板セクター部 主任部員(部長)
蓮野 貞夫	HASUNO Sadao	JFE スチール	ステンレスセクター部 主任部員(副部長)
佐藤 昭夫	SATO Akio	JFE スチール	鋼管セクター部 主任部員(課長)
小川 隆生	OGAWA Takao	JFE スチール	棒線セクター部 主任部員(副部長)
小倉 邦明	OGURA Kuniaki	JFE スチール	鉄粉セクター部 主任部員(副部長)

### 要旨

JFE スチールは、自動車に関わる多彩な最新の製品、技術を提供している。本報では、先ず軽量化・衝突安全性向上に寄与する高強度鋼板、長寿命化のための表面処理鋼板、鋼板に関する評価・適用技術の一端を紹介する。さらに、排気系部材用のステンレス鋼板、高周波用の電磁鋼板、液圧成形に適した電縫鋼管、軸受け・駆動系部品用の棒線鋼材、高密度焼結部品用の鉄粉、内装用軽量複合材料などの製品群を紹介する。

### Abstract:

JFE Steel supplies the latest products and technologies for automotive uses. This paper gives first some introduction of high tensile strength steel sheets contributing to weight reduction and crashworthiness, coated steel sheets for life prolongation and technologies of evaluation and application concerning steel sheets. There are explained further, material products such as stainless steel sheets for exhaust manifolds, electromagnetic steel sheets for high frequency use, electro-resistance welded pipes suitable for hydroforming, steel bars and wires for bearings and transmission parts, iron powders for high density sintered parts and light-weight composite materials for interior parts.

## 1. 緒言

近年、自動車に求められる機能は多様化してきており、自動車本来の走行性や快適性はもとより、高燃費化、排ガス規制などの地球環境保全、また人に優しい車造りが必須になっている。

これを達成する主要な課題として車体の軽量化、衝突安全性、長寿命化があげられる。また、開発期間短縮によるコスト削減も大きな課題の一つである。

JFE スチールにおいては、これらの諸課題に対応するために、各種鉄鋼製品の開発はもとより、利用加工技術開発体制を整備強化した。これにより、自動車の各部品にふさわしい鉄鋼材料を加工方法を併せて提案、EVI (early vender involvement) 活動を展開している。

以下に、世界をリードする車造りに貢献する当社の鉄鋼製品群と EVI 技術の一端を紹介する。

## 2. 薄板

### 2.1.1 析出強化型新高強度熱延鋼板 (NANO ハイテン)

熱延鋼板が用いられる足回り部品では張り出し加工とパーリングなどの伸びフランジ加工が複合した成形が多用されるため、鋼板には伸びと穴拡げ率の二つの特性が求められる。これらの課題を解決するため、新たな視点で 780 MPa 級高強度熱延鋼板の開発に取り組み、ユニークな特性を持つ鋼板、NANO (new application of nano obstacles for dislocation movement) ハイテンの開発・商品化に成功した<sup>1)</sup>。

NANO ハイテンの特長は以下の 3 点である。

- (1) 加工性に優れたフェライト単相組織を有する。
- (2) 数ナノメートルサイズまで微細化した析出物で強化されている。

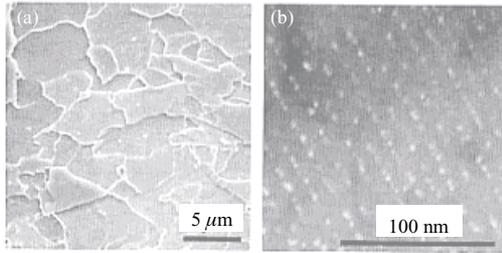


Photo 1 Microstructure (a) and precipitates (b) of NANO Hiten

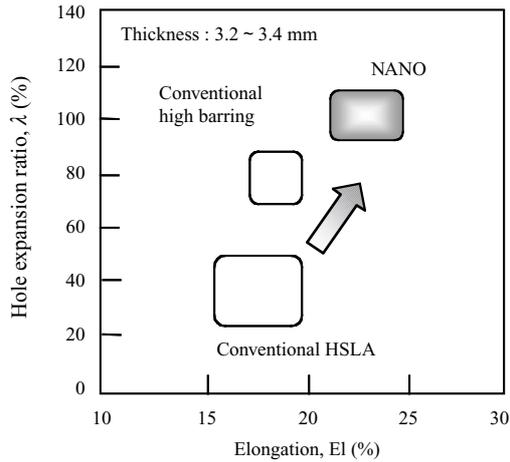


Fig. 1 Comparison of El-λ balance of 780 MPa grade hot rolled steels

### (3) 析出物の熱的安定性が極めて高い。

従来の析出強化鋼における析出物 (NbC や TiC など) の径は数十 nm であるが, NANO ハイテンではこれを数 nm まで微細化し, さらに熱的安定性を高める工夫がなされている。具体的には, X-Y-C の三元系炭化物に着目し, X, Y の組み合わせを検討した結果, C-Mn 鋼をベースに Ti と Mo を適量加えた系において極めて微細な析出物が析出し, 熱的にも非常に安定であることを発見した<sup>2)</sup>。

NANO ハイテンの組織の SEM 観察結果および析出物の TEM 観察結果(暗視野像)を Photo 1 に示す。組織はフェライト単相であり, 3 nm 程度の超微細析出物が列状に多数析出している。このように数 nm 径の超微細析出物を商用鋼中に析出させたのは NANO ハイテンが世界で初めてである。

NANO ハイテンの伸び - 穴拡げ率バランスを従来の析出強化型および高バーリング型高強度熱延鋼板と比較した結果を Fig. 1 に示す。NANO ハイテンは従来鋼と比較して非常に優れた伸び - 穴拡げ率バランスを示す。これはフェライト単相化と析出物の超微細化の効果と考えられる。

780 MPa 級 NANO ハイテンはすでにシャーシ, アーム部品などへの採用が進んでいる。NANO ハイテンは強化元素として Si を添加していないため, 優れた溶融亜鉛めっき適性を有しており, 780, 980 MPa 級の合金化溶融亜鉛

めっき (GA) 鋼板としての適用拡大が期待される。

### 2.1.2 歪み時効活用新高強度熱延鋼板 (BHT 鋼板)

成形時には低強度で加工性に優れ, 塗装焼付け処理後には高い引張強度上昇を示し, かつ耐常温時効性の良好な歪み時効活用新高強度熱延鋼板の開発に成功した<sup>3, 4)</sup>。Fig. 2 に開発鋼板の歪み時効処理前後の応力 - 歪み線図を示す。従来の BH 鋼板との大きな違いは引張強度が上昇することである。本開発鋼は, C に比較して熱間圧延温度域での固溶度の大きい N を利用して高い歪み時効硬化能を実現している。鋼板中の固溶 N を確保するため, 熱間圧延後の冷却条件を制御して AlN の析出を抑制している。さらに N の拡散に起因した室温時効劣化を抑制するため, 熱間圧延直後の急冷により結晶粒径を微細化して粒界面積を増加させ, 固溶 N を安定な存在位置である結晶粒界へ偏析させる。これにより, 高い歪み時効硬化能と室温時効性の両立に成功した。

開発鋼板について, 一軸引張により 0 ~ 15% の予歪みを付与した後, 170 × 20 min の焼付け処理を施したときの焼付け処理による降伏強度の増加量 (BH 量) および引張強度の増加量 (BHT 量) におよぼす予歪み量の影響を従来鋼板と比較して Fig. 3 に示す。従来鋼板に比べて, 開発鋼板の BH 量は 2% の予歪み量で約 100 MPa の高い値を示すことに加え, BHT すなわち TS が顕著に上昇することが大きな特長である。BHT 量は予歪み量の増加とともに上昇し, 予歪み量が 10% のときには約 60 MPa となる。なお, 10% 以上の予歪み量の増加による BHT 量の変化は小さい。

開発鋼板の成形限界や寸法精度などのプレス成形性を調査した結果でも, 開発鋼板は従来鋼板と同等の特性を示すことが確認されている。

従来鋼板では, 加工硬化により高速変形時の吸収エネルギーが上昇するが, 開発鋼板では加工硬化に加え, 歪み時効硬化による引張強度上昇の寄与がある。FEM 解析での検討結果によれば, 開発鋼板の歪み時効硬化の寄与は板厚

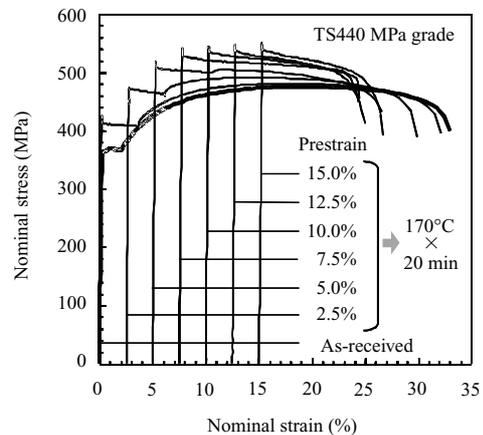


Fig. 2 Stress-strain relationship of newly developed steel after strain aging

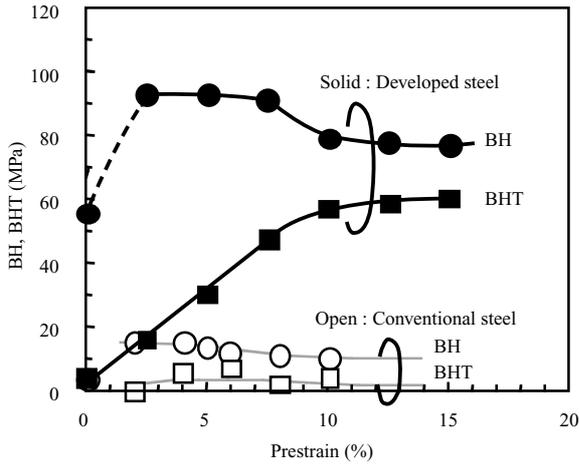


Fig. 3 Effect of prestrain on BH and BHT of newly developed steel after strain aging ( $t = 1.4$  mm)

では熱延鋼板のハーフゲージ (0.1 mm) に、TS では 60 ~ 70 MPa に相当し、板厚低減による軽量化、あるいは難成形部品に対する成形性確保 (強度レベルダウン) などへ寄与することが明らかにされている<sup>5)</sup>。

2.1.3 高強度合金化溶融亜鉛めっき鋼板

(1) SFG ハイテン

自動車外板パネルには、優れた深絞り成形性と均一美しい外観品質が求められる。近年、車体軽量化のために軟鋼に匹敵する高深絞り成形性を具備した外板パネル用高強度合金化溶融亜鉛めっき鋼板の要望が高まっている。

これらの要求に答えるため、従来型の IF 鋼の約 3 倍まで炭素量を増加し、当量以上の Nb 添加により微細 Nb 炭窒化物を分散析出させることで、結晶粒の細粒強化と析出物の分散強化を有効活用した、まったく新しいタイプの深絞り成形性と合金化溶融亜鉛めっき適性に優れた微細粒型高強度鋼板、SFG (super fine grain) ハイテンの開発に成功した<sup>6)</sup>。Si, Mn, P などの固溶強化元素の添加量が低減できたことで、SFG ハイテンは GA 鋼板として外板適性を十分満足する表面品質を可能にした。さらに、Fig. 4 に示すように、従来技術では達成できなかった微細組織における高  $r$  値化の可能性を実証した。

また、高強度鋼板を用いたパネル部品のプレス成形では、形状凍結性の向上によるパネル面精度の確保が大きな課題であり、成形技術の改良だけでなく、鋼板の低降伏比化と加工硬化特性の向上による歪分散能の改善も重要である。SFG ハイテンでは、Photo 2 に示すような粒界近傍部で NbC が枯渇する PFZ (precipitation free zone) が形成される。これによってプレス成形時の変形初期段階に強度の低い粒界近傍からの降伏が始まるため、従来の IF ハイテンに比較し、低降伏比、高加工硬化特性を発揮する。したがって、

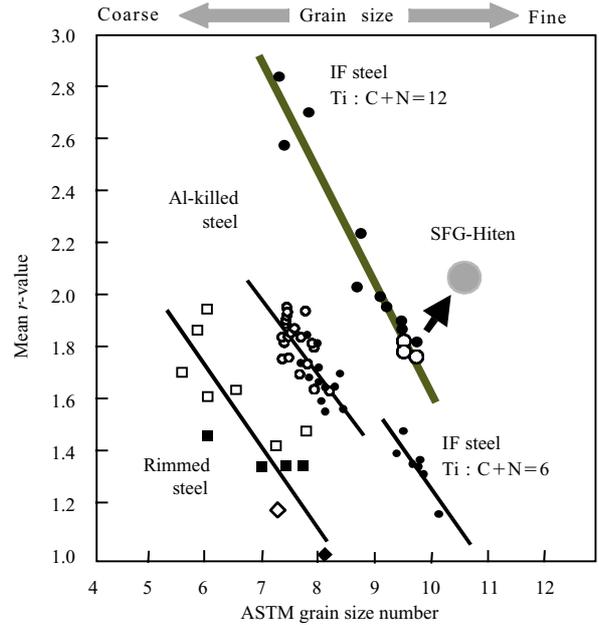


Fig. 4 Correlation between mean  $r$ -value and grain size in both SFG-Hiten and other conventional steels

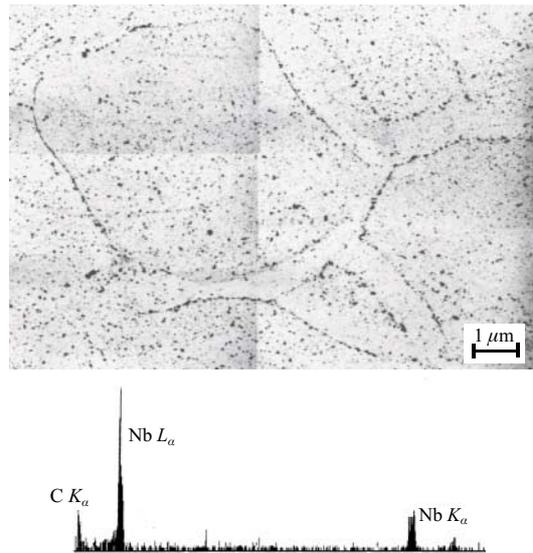


Photo 2 TEM image with replica and EDS spectra of precipitates observed in SFG-Hiten

従来鋼に比べ低クッション力下でもしわが発生しにくく、成形パネルの面歪低減効果も期待できる。また、 $r$  値が高いため高クッション力下でも割れが発生しにくく、従来鋼では成形できない形状についても成形可能範囲が得られている。

(2) 低炭素当量型ハイテン

一般に鋼板を高強度化させるには、C, Si, Mn, P などの比較的成本の安い固溶強化型元素を必要量添加することによって容易に達成することができるが、C, Si, Mn のような焼入れ性を増す元素や P, S のように溶接部ナゲット内の材質を脆化させる元素が多いほどナゲット内破断を起こしやすく、スポット溶接性の観点

から極力低減するのが好ましい。一方めっき性の観点からも、Si, Mn は鋼板表面に酸化物として濃化して Zn との濡れ性を悪化させ品質不良を起こしやすく、P は Fe 原子の粒界拡散を阻害するため、合金化速度を遅延するといった問題があることから低減することが好ましい。

そこで、このような合金化溶融亜鉛めっき鋼板の特性に対して不利な元素を低減しつつ、優れたスポット溶接性を有する TS 590 ~ 980 MPa 級の GA 鋼板を開発した<sup>7)</sup>。

高強度化と同時にめっき性およびスポット溶接性を向上させる観点から下記式 (1) に示す炭素当量： $P_{CM}$ <sup>8)</sup> が 0.24% 以下となるように成分設計を行った。

$$P_{CM}(\text{mass}\%) = C + \text{Si}/30 + \text{Mn}/20 + 2P + 4S \dots (1)$$

TS590 ~ 980 MPa 級の高強度 GA 鋼板を製造する場合、スポット溶接性、めっき性を損ねない Ti, Nb および Mo などの限られた元素とそれらの添加量を組み合わせ、析出強化、結晶粒微細化による強化および組織強化といったさまざまな強化機構を最大限に利用して高強度化を図った。

開発鋼は  $P_{CM}$  を著しく増大させる C, Mn のような合金元素の種類と添加量を最適化し、さらに P, S のような不可避の不純物を極力低減した効果によって、低 YR 型 GA 鋼板は従来の冷延鋼板と同等の EI,  $\lambda$  が得られる。また、析出強化と結晶粒微細化による強化を主に利用した高 YR 型 GA 鋼板においても低 YR 型 GA 鋼板に肉薄するほどの良好な EI が得られる。

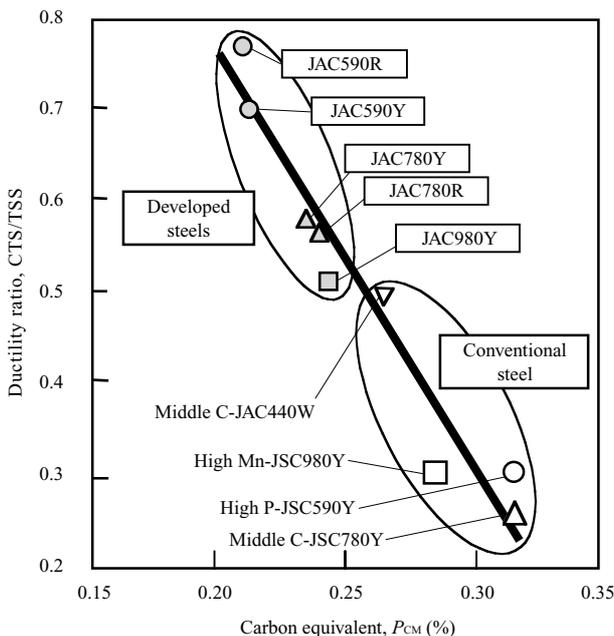


Fig.5 Relationship between ductility ratio, CTS/TSS and carbon equivalent,  $P_{CM}$  at welding current of 7.5 kA

本開発鋼はメンバーやリンフォースメントなどの自動車車体の構造部材におけるスポット溶接部の信頼性確保に応える鋼板として期待されている。

本開発 GA 鋼板は  $P_{CM}$  を低く抑えることによりスポット溶接継ぎ手の破断形態を母材破断とすることが可能であり、良好な溶接強度を確保できる。特に、Fig. 5 に示すように、スポット溶接継ぎ手の十字引張強度 (CTS) と剪断引張強度 (TSS) との比で表される延性比 (CTS/TSS) は 0.5 以上を確保でき、従来鋼と比較して良好なスポット溶接特性が得られる。

#### 2.1.4 高加工性超高強度冷延鋼板

CAL 水冷 (WQ) プロセスを活用することで低合金成分での焼入れ強化の安定化を図り、980 MPa 級から 1470 MPa 級鋼板までの超高強度冷延鋼板 (ウルトラハイテン) の商品化に成功した。ウルトラハイテンは、バンパーリンフォースメント、ドアインパクトビームなどの安全補強部品、ロールフォーミングやパイプ成形部品などに適用される。さらに 1180 MPa 以上のウルトラハイテンで懸念される腐食環境下での耐遅れ破壊特性に関しても、低炭素当量成分設計と焼戻しマルテンサイト組織の炭化物形態制御により克服した<sup>9)</sup>。

さらに近年、ウルトラハイテンを複雑形状の部品に適用するニーズが高まったため、鋼板の延性改善だけでなく、ブランク端面から生じる伸びフランジ割れの抑制が重要となり、延性の高い DP 鋼をベースとしてフェライトとマルテンサイトの強度差を低減し、590 MPa 級高強度冷延鋼板と同程度の伸びフランジ成形性を具備した鋼板を開発した<sup>10)</sup>。また、高強度鋼板のプレス成形時に課題となるスプリングバックにともなう寸法精度不良に対しては、コイル内での強度バラツキを低減するため、WQ プロセスにおける焼入れ性の安定化によるコイル長手、幅方向の強度安定化を図った。また、製鋼段階の成分狭範囲制御と一貫製造プロセスでの強度変動因子のフィードフォワード管理により、590 MPa 級高強度冷延鋼板と同程度の強度変

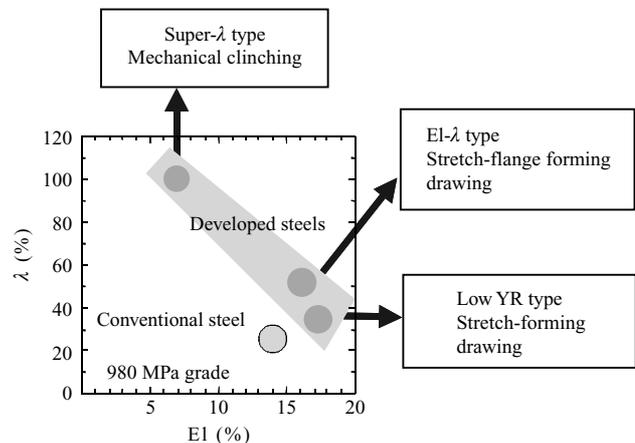


Fig.6 Typical EI- $\lambda$  balance of newly developed 980 MPa grade ultra-high strength steels

動を実現した。

さらに、980 MPa 級ウルトラハイテンでは、張出し成形部品を対象とした高延性低降伏比型 DP 鋼板および敵しい曲げ成形部品を対象とした超高 $\lambda$ 型鋼板を開発した<sup>11)</sup>。特に超高 $\lambda$ 型鋼板は、440 MPa 級鋼板を凌ぐ穴広げ率を達成し、従来、軟鋼やアルミなど低強度材に限定されていた機械かしめにも適しており、自動車用シートフレームの軽量化など、新たな適用分野を開拓した。

Fig. 6 に、980 MPa 級ウルトラハイテンの E1- $\lambda$  バランスをベースとした品種展開を示す。

### 2.1.5 高加工性高炭素鋼板

高炭素鋼板は、機械構造用材料として自動車駆動系部品などを対象として幅広く使用されている。たとえば、リングギア・ドライブプレートなどの自動車部品は、部品製造コスト低減のため、従来の鋳造・鍛造工程から高炭素冷延鋼板をプレス成形後熱処理する方法が開発された。しかし、高い寸法精度が要求されるギア部品では、鋼板の異方性に起因した形状不良の矯正工程が必要となる。そこで、このような難成形・高寸法精度部品への高炭素鋼板の適用に対し、優れた成形性と焼入性に加えて、板面内の異方性が極めて小さい無方向性高炭素冷延鋼板を開発した<sup>12)</sup>。セメントサイトを微細分散化し再結晶集合組織の制御により、Fig. 7 に示すような円筒深絞り成形後の耳の発生が極めて小さく、偏心がなく真円度の優れた回転体部品への適用が可能となった。

一方、オートマチックトランスミッションのクラッチハ

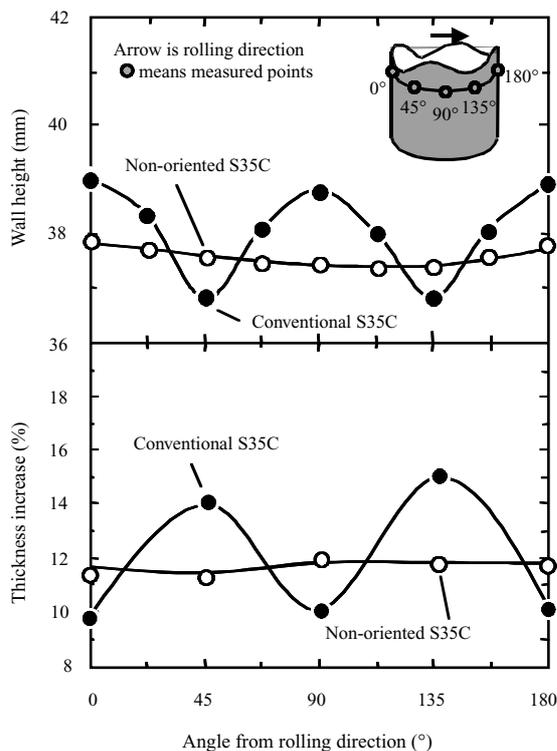


Fig. 7 Change in wall height and wall thickness after cup cylinder deep drawing



Photo 3 Hole expanded test piece (S35C)

ブ・ドラムやプラネタリーキャリア部品の一体成形化では、ボス成形や増肉加工に際して特にパーリング加工性や強加工時の高い変形能（局部延性）が重要となる。このような要求に対して、熱間圧延での高精度制御冷却により組織制御を行い、優れた穴広げ加工性を有する高炭素熱延球状化焼鈍鋼板を開発した<sup>13)</sup>。

開発鋼によるボス成形を模擬した穴広げ試験後の外観を Photo 3 に示す。従来鋼では困難であった高炭素鋼板でのボス成形の可能性が大幅に高まり、一体成形や部分増肉への展開が容易になる。本開発鋼は、セメントサイト炭化物の均一微細分散により高周波加熱において、低温短時間の優れた焼入性と打抜き性や打抜き端面の均一性にも優れている。

## 2.2 表面処理鋼板

### 2.2.1 自動車用高潤滑表面処理鋼板

近年、プレス品形状の複雑化、大型パネルの一体成形化、さらに高強度鋼板の採用加速にともない、鋼板にはより一層の良好なプレス加工性が求められており、表面潤滑技術が大きくクローズアップされている。

このような中、自動車用防錆鋼板の主流である GA に優れた潤滑性を付与する潤滑技術の開発が強く要望されるに至った。JFE スチールでは、この要望に応える 2 タイプの無機系高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板、GA-N<sup>14)</sup>、GA-K<sup>15)</sup> を開発、実用化している。

ここでは、これらの開発品を紹介するとともに、有機系固形潤滑技術についても述べる。

#### (1) 無機系高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板の開発

塗装仕上がり性の改善のため、GA の表面に Fe-Zn 合金電気めっきや Fe-P 電気めっきを施した 2 層型合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (2 層 GA) が開発された<sup>16)</sup>。これは Fe 系電気めっき層の良好な摩擦特性から、プレス性改善策としても採用されるに至った。そこで、無機系高潤滑 GA は 2 層 GA より低コストでありながら、同等の良好な潤滑性を有し、その他の要求特性は GA 同等以上であることをコンセプトに技術開発がなされたものである。

「GA-N」は、GA 上へ独自開発した Ni-Fe-O 複合系無機潤滑層を施した材料である。本開発皮膜は、Fig. 8

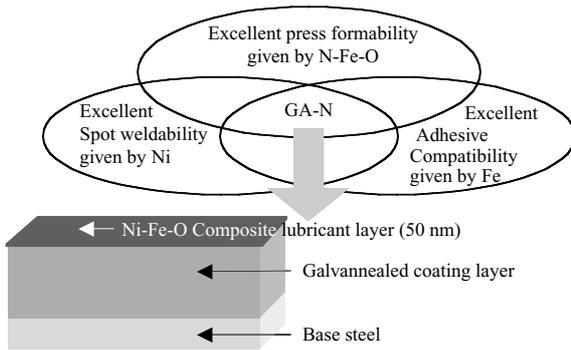


Fig. 8 Basic concept and cross sectional view of GA-N

Table 1 Performances for automotive use of GA-N, GA-K, double layer GA and GA

Products	Press-formability	Weldability	Adhesive compatibility	Phosphatability
GA-N	Excellent	Excellent	Good	Good
GA-K	Excellent	Good	Excellent	Good
Double layer GA	Excellent	Good	Good	Good
GA	Good	Good	Good	Good

に示すようにプレス成形性、溶接性、接着性などの要求特性ごとの有効成分を複合化させることにより、種々の特性を高いレベルで満足させている。本鋼板の特徴としては、50 nm 程度の Ni 系極薄皮膜（2 層 GA の約 1/10）による優れたプレス性、ならびに優れた溶接性があげられる。プレス成形性の向上は、高融点 Ni-Fe-O 複合皮膜による耐凝着性向上（金型と合金化溶融亜鉛めっき層との金属接触の抑制）と Ni によるプレス油との親和性向上により付与されている。また、溶接性は溶接電極チップ表面に形成される脆い Cu-Zn 合金の成長抑制と考えている<sup>17)</sup>。

また、「GA-K」の無機系潤滑皮膜は Zn 化合物とそれを固定するバインダー成分から構成されている。ここで、Zn 化合物は耐凝着性を大きく改善し、優れた摺動性を与え、バインダー成分は単に皮膜を固定するだけでなく、各種の接着剤との濡れ性や相溶性を向上させることにより接着性を改善する作用を有する。このように、本開発鋼板の無機系潤滑処理皮膜は優れた潤滑性と接着性を兼ね備えていることに加えて、処理薬剤をコーターなどで塗布し、ドライヤーで乾燥することにより形成でき、一般的なロールコーター設備を用いて容易に製造することが可能であるという特長も有している。

Table 1 には、GA-N、GA-K の総合特性を 2 層 GA、GA と比較して示す。

### (2) 有機系固形潤滑技術<sup>18)</sup>

GA-N、GA-K はともに 2 層 GA と同等の摺動特性を付与する無機系潤滑技術であるが、さらに高い摺動性を付与する技術の開発にも成功している。これは、よ

り複雑で厳しいプレス加工を可能にすることを狙いとして開発され、有機樹脂のガラス転移温度 ( $T_g$ ) 上昇による皮膜の強硬化、およびリン酸亜鉛とポリエチレンワックス添加により、潤滑性向上と型かじり性向上が達成された有機系固形潤滑処理技術である。これは、GA だけでなく、熱延鋼板のプレス加工に対しても大きな効果を発揮している。

### (3) まとめ

使いやすい材料を提供する観点で、より優れた潤滑技術を開発することは材料開発サイドの重要な役割である。ここで紹介した技術はいずれもユーザーに広く適用され、また、2001 年度日本金属学会技術開発賞を受賞<sup>14)</sup> するなど、完成度の高い技術として評価を得ている。

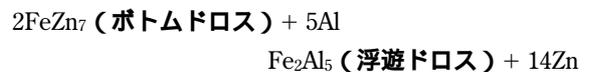
#### 2.2.2 表面外観に優れた溶融亜鉛めっき鋼板

溶融亜鉛めっき鋼板 (GI) は、電気亜鉛めっきに比較し製造コストが安いといった利点がある一方、表面品質の問題や自動車車体を組立てる上での各種品質特性を改善する必要があった。本報告では、これらの問題を解決し、自動車車体外面への適用に成功した GI の製造技術および品質特性について述べる。

#### (1) 表面外観向上

GI の品質問題の一つとして、ドロスが鋼板に付着しプレス成形後に表面欠陥をもたらす問題がある。ドロスは、鋼板から浴中に溶出した Fe が浴中添加 Al や溶融 Zn と反応して形成される Fe-Al 系（浮遊ドロス）および Fe-Zn 系（ボトムドロス）の金属間化合物に分類でき、それらの形成は浴中の Al 濃度や浴温度の影響を大きく受けることが知られている<sup>19-21)</sup>。

1 台のポットで GI と GA を製造する場合、GA 浴から GI 浴へ切り替え時に浴中の Al 濃度が増加するため、下に示す反応が生じ浮遊ドロスが多くの発生する。



西日本製鉄所（倉敷地区）連続式溶融亜鉛めっき設備では、2001 年 11 月より亜鉛ポットを 1 台増設し、GA 浴と GI 浴をそれぞれ専用ポットとして使用できるようにした。浴切り替えをなくし安定した浴条件で製造することによりドロスの発生量を最小限に抑え、Fig. 9 に示すように鋼板に付着するドロス付着個数を大幅に減少することができ、良好な外観の GI の製造が可能となった。

また同設備では、ワイピング条件（ワイピング圧力、ノズル - 鋼板距離、ノズルの浴面の高さ）を適正条件下に制御することにより波形流紋状の模様（湯じわ）発生防止技術を確立した。

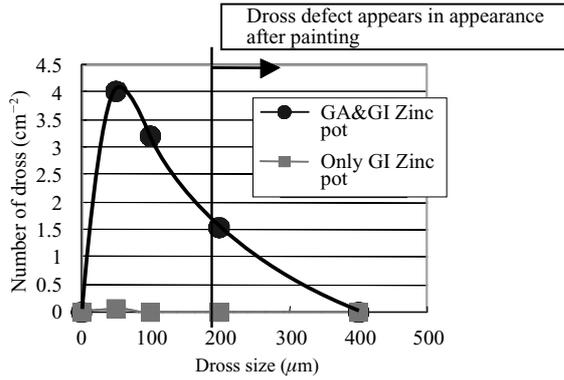


Fig. 9 Number of dross on galvanized steel sheet

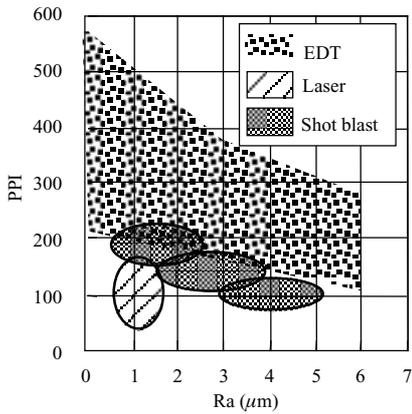


Fig. 10 Influence of skin-pass roll texturing technology on PPI and roughness

さらに、亜鉛浴中のPb量を最小限とし、亜鉛浴上での冷却速度のコントロールを実施することにより、スパンゲルサイズの微細な鋼板の製造を可能とした。

(2) 表面粗度転写技術および擦動特性

表面粗度は、主にスキンパス圧延時のロール表面粗度、スキンパス圧延荷重や張力を変化させることで制御することが可能である。西日本製鉄所(倉敷地区)冷延工場では、ロール加工機としてショットダル加工装置、レーザーダル加工装置に加えて、放電ダル加工機(electro discharge texturing, 以下、EDT)を1999年12月に導入した。Fig. 10に各ロール加工機の表面加工可能範囲を示す。EDTでは、Ra, PPI,  $W_{ca}$ の複数の粗さ指標に対して広い加工範囲を有するとともに、バラツキを小さくすることが可能である。

Fig. 11にGA, 電気亜鉛めっき鋼板(EG), 冷延鋼板(CR)とGIに洗浄油を $1.5 \text{ g/m}^2$ 付着させ、摺動方向20 mm, 幅方向20 mm 材質SKD1金型片を鋼板の表面に1960 Nで押付け20 mm/minで平面摺動させた場合の摩擦係数を示す。GIは、GA, EG, CRに比較して、摩擦係数が小さく摺動特性に優れていることが分かる。

(3) まとめ

GI専用ポットによる浴条件安定化および製造条件の

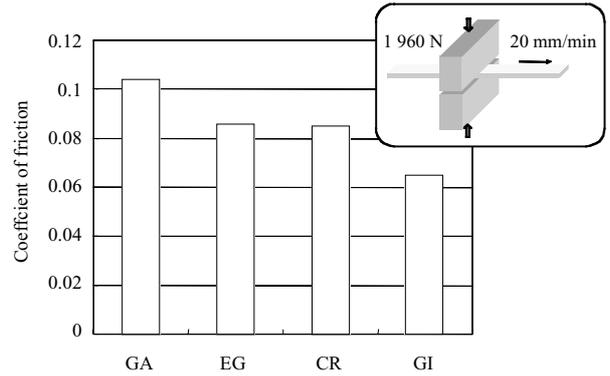


Fig. 11 Influence of coating type on coefficient of friction

最適化によりドロス付着の少ない表面外観の良好なGIが製造できるようになった。また、放電ダル加工機を利用してロール粗度プロフィールを変え、擦動特性に優れた表面粗度の転写が可能となった。

2.3 自動車鋼材の評価・適用技術

2.3.1 テイラードブランク適用技術

テイラードブランク(TWB)はプレス成形前に、レーザ、シーム、プラズマなどの溶接により接合されたブランク材である。TWBの活用により、少ないプレス金型で、材料を最適に配置した部品の製造が可能となるため、自動車の高性能化、軽量化に欠かせない生産技術となっている(Fig. 12)。

TWBの成形性、外観などの観点から、溶接方法としてはレーザ溶接が有利であるが、健全な溶接部を得るためには、溶接素材の突き合わせ端面の精度、レーザ照射位置の精度を0.1 mmオーダーで管理する必要がある。

TWB材の成形挙動は、基本的に溶接線方向に大きなひずみが発生するケースと、溶接線に対して直角方向に大きなひずみが発生するケースに分類できる。溶接線方向に大きなひずみが発生するケースでは、溶接部の延性と素材の延性(ひずみ分散能,  $n$  値)が成形性を支配するため、たとえば、溶接部の硬度と素材の硬度の和をパラメータとしてその成形性は整理される。また、溶接部の延性は素材の成分(C当量)により整理できる。一方、溶接線直交方向

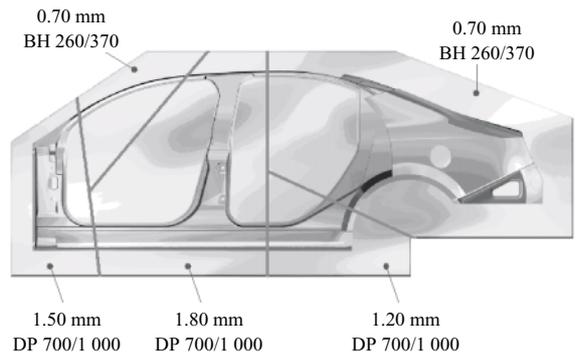


Fig. 12 Application of TWB (ULSAB-AVC project)

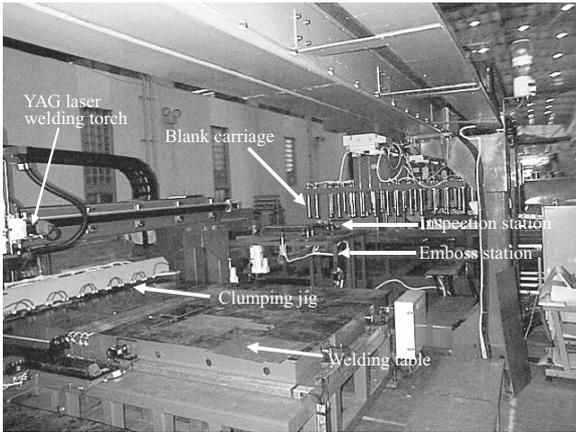


Fig. 13 Appearance of TWB equipment

に大きなひずみが発生するケースでは、素材の強度と板厚のバランスが成形性を決定する。当社では、こうした考え方をベースに、FEM (finite element method) による TWB 材の実部品成形シミュレーションを活用した結合位置の適正化を行っている。以上の溶接、TWB 材の成形に関する知見を基礎として、当社は 2001 年より、事業を開始している (Fig. 13)。同時に、TWB で製造された部品の剛性、高速変形強度などの事前予測技術、素材配置の最適化技術を確立するとともに、当社製造の TWB の溶接部の成形限界線図 (FLD) など、成形シミュレーションに必要な材料データベースを構築している。

### 2.3.2 ハイドロフォーミング適用技術

Fig. 14 に示すように近年のハイドロフォーミング (HF) 技術は鋼管を最終製品形状に類似した形状に曲げ加工、プレスつぶし加工、縮径加工など予成形をした後、金型に装着し管端のシールと高圧水の供給口を兼ねた軸押しヘッドにより軸力を付与しながら内圧をかけて所定の金型形状に馴染ませて成形する加工技術である。板金・溶接法部品に比して一体構造なので部品の強度と剛性が高い、溶接フランジレスと合理的断面設計により軽量化ができる、部品統合・金型費用削減、溶接工数削減などによりコストが

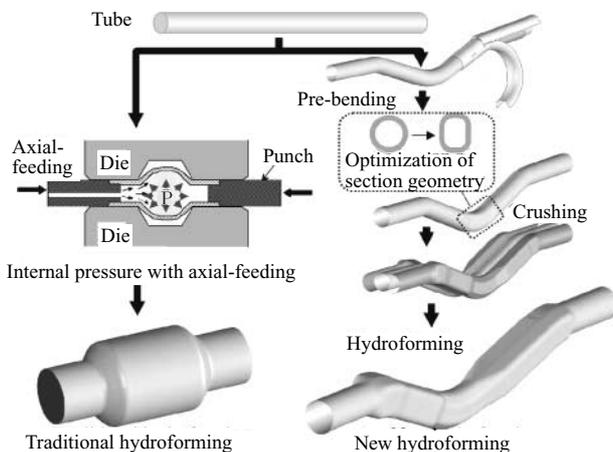


Fig. 14 Manufacturing process of hydroformed tube

削減できるなど多くの利点がある。

本技術が日本で欧米並みに普及するための最大の課題は設備コストの低減とサイクルタイムの大幅な短縮であろう。最近 HF マシンが種々開発され確実な進化が見られ、サイクルタイムとしても 20 s を切るレベルが実現している。HF を技術的に成功させる鍵としては、(1) 予成形 - HF 工程の最適化と成形難易評価システム、(2) loading path の最適化と制御技術、(3) HF 加工性の評価法の確立と加工性に優れた鋼管の開発、(4) 潤滑などが重要な項目として挙げられる。

HF 用に適する鋼管特性の解明と開発も着実に進んでいる。必要強度に対して伸びの大きな材料が望まれるが、横断面の変形の局所化を緩和するために高い  $n$  値が、軸押し強い条件下では  $r$  値の影響度が増し、また予成形曲げ部の円周方向偏肉を緩和するために高い  $r$  値が望まれる。当社が開発した低ひずみ造管 CBR ミルはこの点からも HF 用途に適したプロセスと言える。HISTORY 鋼管は、電縫溶接した管を温間で縮径するものであり、シーム部の硬化がなく、高  $r$  値および高  $n$  値といった特性を持つため、高いハイドロフォーム性が確認されている。

### 2.3.3 プレス成形性における高強度鋼板適用技術

自動車部品を中心に安全性の向上や軽量化のニーズに応えるために使用材料の高強度化が望まれている。しかし、成形性の観点からは、ハイテン化にともない破断、しわ・面ひずみ、寸法精度不良といったプレス成形不良が発生しやすくなる。

破断、しわ・面ひずみに対しては、材料面では鋼板材質の高性能化や成形性の低下を補完する高潤滑材料の開発が続けられている。同時に成形技術面では、対向液圧成形、張力制御成形といった新成形技術や、数値シミュレーションを利用した成形不良事前予測技術の開発が進められている。Fig. 15 は、当社が新成形技術として提案している液圧潤滑成形を示す。この技術は、金型から高圧の液体を供給しながら成形を行う技術で、材料と金型の間の摩擦力が低減し割れが抑制されると同時に、フランジしわも抑制できる技術である。数値シミュレーション技術は、急速な進歩を遂げており、実部品成形においても破断は高い精度で予測が可能である。当社では面ひずみ予測にも取り組んでおり、定量的にはいまだ不十分ではあるが、定性的な予

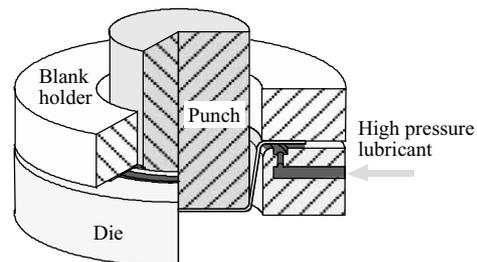


Fig. 15 High pressure liquid lubrication method

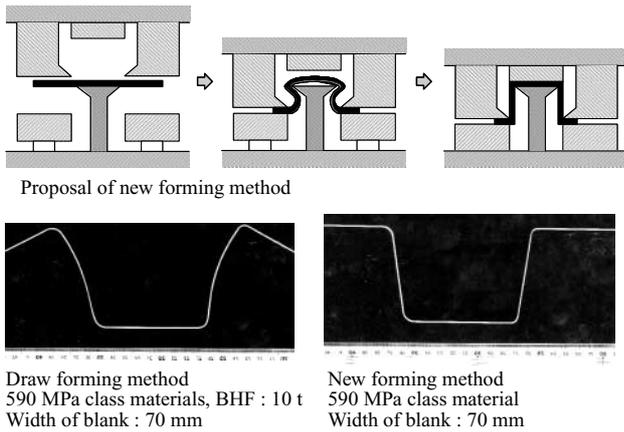


Fig. 16 Proposal of new forming method for improving shape fixability

測は可能なレベルに到達している。

自動車構造用部材の成形における最大の課題は、成形品寸法精度である。この課題に対しては、張力制御成形や成形様式を絞りから曲げに変更しスプリングバックを減少させる方法など、成形技術からの対策や、数値シミュレーションを利用して金型形状を最適化する方法などが検討されている。金型断面形状を適正化した張力制御成形技術の成果例（1997年提案）を Fig. 16 に示す。単純形状であれば 980 MPa 材でも軟質材と同等の寸法精度が得られることが確認されている。現在複雑形状部品への展開を進

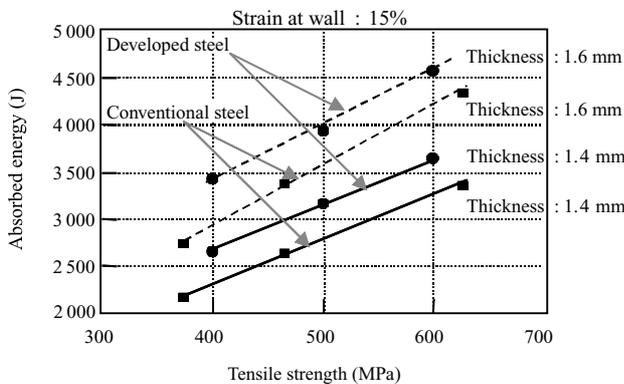


Fig. 17 Improving crashworthiness of hat square column by using new developed material



Fig. 18 Result of numerical crash simulation of hat square column

めている。

### 2.3.4 CAD-CAE システムの活用技術

コンピュータによるシミュレーション技術は有限要素法 (FEM) の高度化とコンピュータの性能向上により、近年飛躍的に発展し、従来難しいとされたプレス成形解析などへの適用が進んでいる。自動車メーカーにおいても自動車車体を開発する過程において部品の機能、プレス成形性を検討するツールとして多用されるようになった。当社においても、自動車車体の初期開発段階からの自動車メーカーへの協力体制を強化すべく、CAD データの加工、FEM による計算、計算前後の処理 (プリ・ポスト処理) を充実させ、自動車メーカーとの共有のデータベースが利用できる環境整備を行ってきた。これにより、車体開発のリードタイム短縮、高強度鋼板の適用拡大などに貢献している。FEM の活用によりプレス成形に関しては割れ、しわの予測はほぼ予測可能になったが、スプリングバックに関しては材料構成式を含め更なる精度向上が求められている。また衝突関係では、高ひずみ速度における応力-ひずみ関係のデータベース化により精度の高い計算が可能になったが、更なる精度向上のため、成形時の変形、およびその後の塗装・焼付けによる応力変化を考慮した衝突解析も行うことが可能である。Fig. 17, 18 は変形後に塗装焼付けを施すと強度が大幅に増加する新開発鋼板と従来鋼板に対し、成形時の変形を考慮した衝突解析を行った事例を示す。一方パネル表面の僅かな凹凸問題 (面ひずみ)、板厚方向の応力をともなうかじり解析などについても検討を進めている。

## 3. これからの自動車用高周波素材「スーパーコア」

ハイブリッドカー、燃料電池車のみならず、一般のガソリン車においても、これからの自動車には、電気・電子部品が、特に、電力変換を行うコンバータ/インバータにかかわるものが、数多く搭載されてくると予想される。

これらの部品は、限られた空間に取り付けられるために、高周波化による小型・軽量化かつ低騒音化が必須である。また、限られたエネルギーの浪費を避けなければならず、さらには、極寒条件から高温での使用にも耐えなければならない。

JFE スーパーコアは、6.5% Si-Fe 合金をベースとした鉄心材料であり、すでに電気・電子業界の高周波製品に、広く使われ始めており、ここでは自動車用部品への適用について紹介する。

### 3.1 JFE スーパーコアの特徴

#### 3.1.1 JNEX

JNEX は、板厚方向に均一に Si を 6.5% 含有する無方向

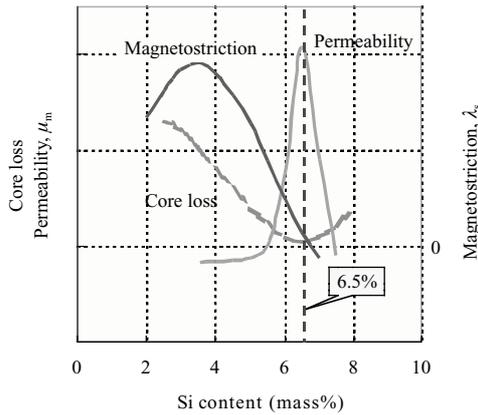


Fig. 19 Variation of magnetic characteristic by Si content of Fe-Si alloy

性電磁鋼板であり、Fig. 19 に示すように、電磁鋼板は、Si 含有量 6.5% で、最も優れた磁気特性を有する。

自動車用途としてみた場合に、JNEX は磁歪がゼロであることが最大の特徴であり、低騒音化に寄与すると同時に、加工歪の影響を受けにくい。また、温度係数が最小で、極低温から 150 の範囲で、磁気特性の変化が少ないという特徴を持つ。

### 3.1.2 JNHF

JNHF は、表層のみ 6.5% Si 鋼板で、板厚内部方向に Si 含有量が減少する傾斜高 Si 鋼板であり、JNEX より 10 kHz の高周波域で、より低鉄損、すなわち鋼板でのエネルギーロスを低減できる。JNEX, JNHF は、高周波鉄心として、フェライトなどのような振動による破損を危惧する必要がない。

## 3.2 自動車への適用について

### 3.2.1 静止機

半導体素子に IGBT を使う電気容量の大きいコンバータ/インバータのフィルター回路に使われるリアクトル用鉄心には、JNEX が最適で、低騒音・高効率を実現している。

とくに、絶縁保護のために、樹脂モールドされる場合など、固化したのちに鉄心に応力がかかるような状況では、磁歪の小さい JNEX は、その影響を受けず、特性が変化するようなことはない。

コア騒音が問題とならない可聴周波数以上の高周波域で使用される場合は、より低鉄損特性を有する JNHF が最適である。

### 3.2.2 回転機

これからの発電機、モータでは、極数増加による高トルク化、思い切った小型軽量化が要請されてくると思われる。

モータの鉄心では、回転の基本周波数成分と、コンバータ/インバータで発生した高周波リップルを受け止めるため、広範囲の周波数成分に対して鉄損が低い必要があ

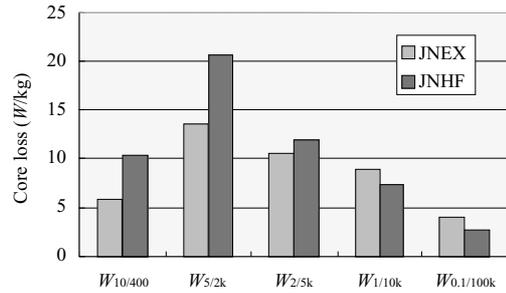


Fig. 20 Core loss comparison data between JNEX and JNHF

り、Fig. 20 に示すように 1 kHz ~ 20 kHz の範囲で損失の少ない JNEX が優れている。マイクロタービン発電機の鉄心には、すでに、0.1 mm 厚 JNEX が使われている。

### 3.2.3 その他

現在、これまでのメカ、あるいは油圧駆動機器が、電磁アクチュエータに取って代わられる勢いである。また、油圧配管が銅配線に代わって行く中で、電流センサ (CT) も必須アイテムである。

電流センサは、過酷な温度条件下で、かつ高周波成分を含んだ直流の電流値を測定しなければならない。JNEX は、電流センサ用鉄心としても、優れた特性が発揮できるものと期待される。

## 3.3 まとめ

自動車の内部には、駆動系から照明・オーディオに至るまで、電気・電子部品の多様化したものが、数多く使われていくものと考えられる。JFE スーパーコアは、その中の高周波機器用鉄心材料として、本来の磁気特性が優れることのみならず、自動車分野特有の使用環境下においても、その優れた特性を発揮することが可能で、この分野で幅広く使用されていくことが期待される。

## 4. 自動車排気系部材用フェライト系ステンレス鋼

フェライト系ステンレス鋼は優れた耐食性と高温特性を有しているとともに、高価な Ni を多量に含有したオーステナイト系ステンレス鋼に比べ安価で、熱膨張率が小さいため、自動車排気系部品に適用されている。排気系では部位により求められる特性が大きく異なることから、当社ではそれぞれの目的に適合させるため、Table 2 に示す各鋼種を開発し、製造・販売している。

### 4.1 マフラー用鋼

マフラーに要求される主な特性は耐食性である。マフラー内面では排出ガス成分に起因して  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , 有機酸などが濃縮した腐食性の強い凝縮水が生成するため腐食環境は厳しい。一方、マフラー外面は道路に散

Table 2 Examples of chemical composition of steels (mass%)

JFE's standard	Cr	Si	Mo	Others
JFE409L	11	0.3	-	Ti/0.21
JFE439L	18	0.1	-	Ti/0.29
JFE432LTM	18	0.1	0.5	Ti/0.29
JFE436LT	18	0.1	1.1	Ti/0.29
JFE429EX	15	0.9	-	Nb/0.44
JFE-MH1	15	0.3	1.6	Nb/0.50
JFE430LNM	17	0.3	0.5	Nb/0.36
JFE434LN2	19	0.3	1.8	Nb/0.34
JFE20-5USR	20	0.2	-	Al/5.8, La, Zr

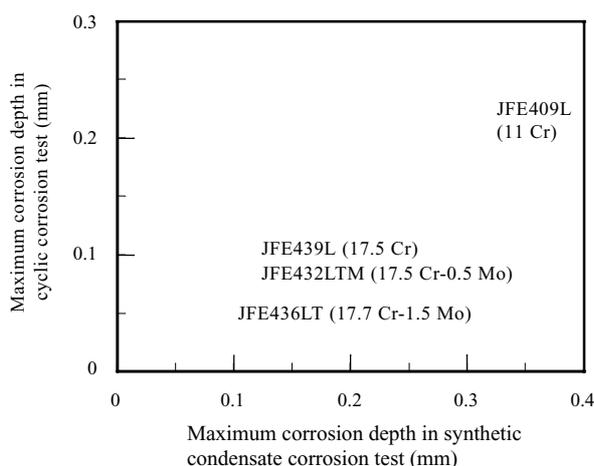
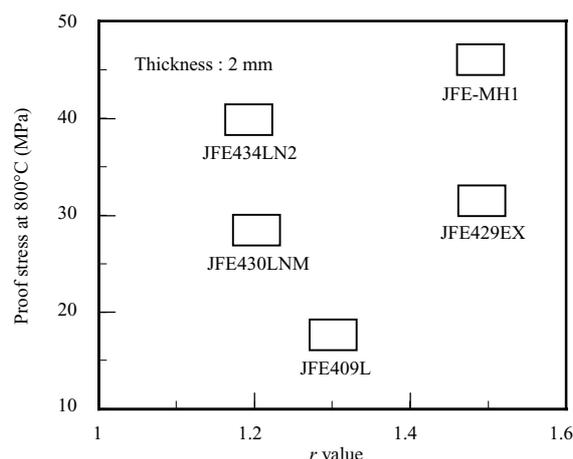


Fig. 21 Comparison of corrosion resistance between steels for muffler

布された融雪塩や海塩粒子が付着することに起因する腐食が問題となる。マフラーに使用されている鋼板の内面腐食を模擬した凝縮水腐食試験<sup>22)</sup>後の最大孔食深さと外面腐食を模擬した塩乾湿複合腐食試験<sup>23)</sup>後の最大侵食深さを測定した結果を Fig. 21 に示す。いずれの腐食に対しても、Cr と Mo は有効である。したがって、耐食性への要求が厳しくない部分には低 Cr の JFE409L が用いられるが、厳しい部分には 17.5% Cr を含有した JFE439L あるいは、Mo を添加して耐食性をさらに向上させた JFE432LTM および JFE436LT が用いられている。

#### 4.2 エキゾーストマニホールド用鋼

エキゾーストマニホールドはエンジンの各気筒から排出される高温の燃焼ガスを集めてフロントパイプに導く部品であり、他の部品に比べてより高温特性が必要とされる。排出ガス浄化特性の向上や燃費の改善が自動車メーカーにおいて強力に推進されている。この目的のためには、エンジン燃焼温度の上昇と軽量化が有効である。このような背景から、エキゾーストマニホールドには従来鋳物製品が用いられていたが、耐熱性の高い薄板のステンレス鋼製パイプあるいはプレス品に代替されつつある<sup>24)</sup>。Fig. 22 にエキゾーストマニホールド用ステンレス鋼の  $r$  値と 800 における耐力の関係を示す。使用温度が低い場合に

Fig. 22 Comparison of  $r$  value and PS at 800 between steels for exhaust manifold

は JFE409L が、使用温度が高い場合には Nb を添加し高温強度を高めた JFE430LNM が使用されている。しかしながら、エキゾーストマニホールドは多くの場合限られた車体空間に納まるように複雑な形状に設計されるため高い加工性も要求される。これに対して、最近、JFE スチールではフェライト系ステンレス鋼の高  $r$  値化技術を確立し、 $r$  値を飛躍的に向上させた JFE429EX を開発するとともに<sup>25, 26)</sup>、JFE429EX をベース成分として Mo 添加と Si 量の最適化により、高温強度をさらに向上させた JFE-MH1 を開発した<sup>27, 28)</sup>。いずれの開発鋼も、自動車メーカーでの採用が開始されている。

また、これらの鋼種はエキゾーストマニホールドのみならず、フロントパイプやコンバーターケースのような高温になる部品にも適している。

#### 4.3 触媒コンバータ担体用鋼

従来、触媒コンバータ担体はセラミックス製が主流であったが、排出ガス規制の強化に対応するため、熱衝撃特性に優れ、かつ熱容量の小さいフェライト系ステンレス鋼箔を用いたメタル担体が使用されるようになってきた。メタル担体は、20 ~ 50  $\mu\text{m}$  厚みの Fe-20%Cr-5%Al 合金箔を用いたハニカム構造になっており、その表面に排出ガスを浄化する触媒を担持させて使用される。排出ガスで高温に加熱されるため、箔素材には優れた耐酸化性が要求される。JFE20-5USR は微量の La と Zr の添加により高温で生成するアルミナ皮膜の成長速度を著しく低減させ<sup>29)</sup>、触媒コンバータの長寿命化を達成している。

### 5. 鋼管

#### 5.1 HISTORY 鋼管

HISTORY 鋼管は、Fig. 23 に示すように従来の電縫鋼管と比較して軸方向の  $r$  値が高いという特長を有する<sup>30)</sup>。そのため、曲げ加工性や、ハイドロフォーミング性に優

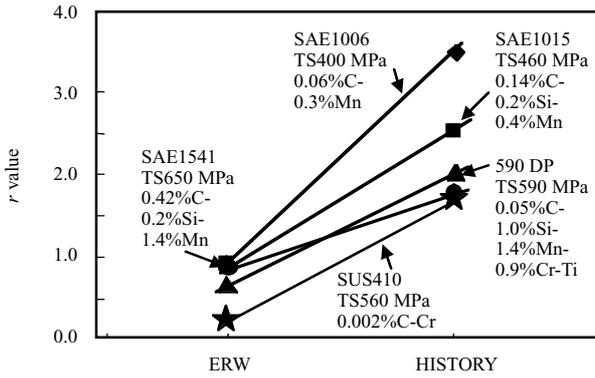


Fig. 23 r value of the HISTORY steel tube

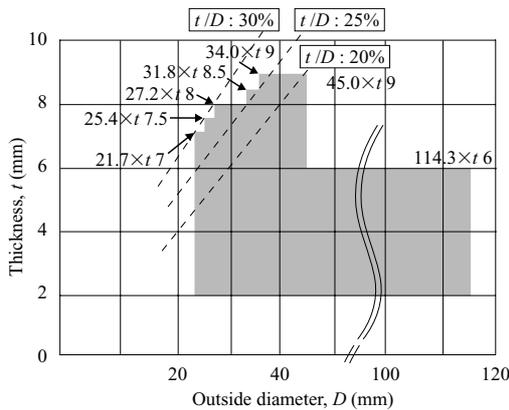


Fig. 24 Available manufacturing size of the HISTORY steel tube

れ<sup>31)</sup>、トレーリングアームなどの部品統合による複雑で厳しい加工が必要な自動車足回り部品などの用途に好適である。また、HISTORY 鋼管は、Fig. 24 に示すように従来の電縫鋼管では製造が困難な細径厚肉サイズを高寸法精度、特に低偏肉率で製造できる<sup>32)</sup>。偏肉率の小さい細径厚肉の HISTORY 鋼管は、ねじりなどの疲労特性に優れ、縮径圧延ままでも、高い疲労強度が必要とされるスタビライザーやドライブシャフトなどの従来、棒鋼が使用されていた部品の軽量化用途として好適である。

このような HISTORY 鋼管の特長は、当社が新しく開発した電縫鋼管の加熱、縮径圧延プロセスにより得られたものである。たとえば、軸方向の高 r 値化は、世界で初めて温間域の縮径圧延を適用したことにより達成された<sup>33)</sup>。従来の再結晶集合組織を利用した薄鋼板では高 r 値化が困難な低炭素鋼や高炭素鋼などにおいても、温間域で鋼管を縮径圧延することにより、特定の圧延集合組織が発達して軸方向の高 r 値化が可能である。また、HISTORY 鋼管の高寸法精度、特に低偏肉率は、新たに開発された 4 ロールレデューサにより得られたものである。この 4 ロールレデューサを用いて比較的製造が容易な大径厚肉の電縫鋼管を細径に圧延することで、従来、製造が困難であった細径厚肉の電縫鋼管を高寸法精度で製造することが可能となった。

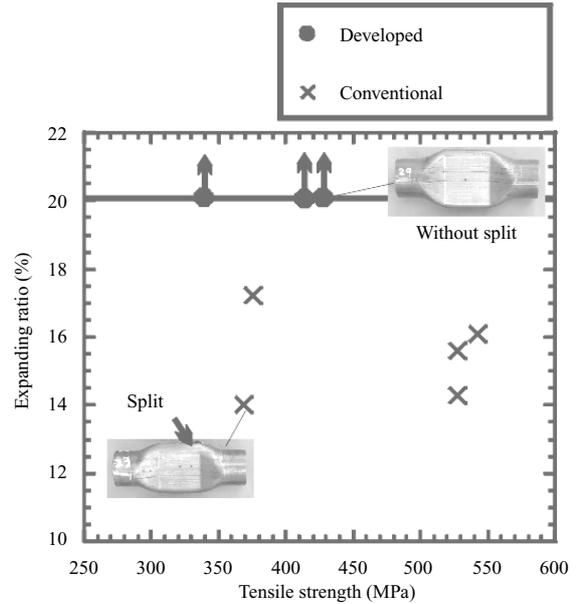


Fig. 25 Relationship between tensile strength and hydroformability of the developed and the conventional tubes in rectangular die cavity (Maximum expanding ratio = 20 %)

## 5.2 自動車用高加工性電縫鋼管

一般に、ハイドロフォーミングなど塑性加工により鋼管から成形される部材は、造管、曲げや金型圧下による予成形、液圧工程など複雑なひずみ履歴を経て部材に成形される。このため、造管前の素材鋼板の加工性を最大化すると同時に、最終成形工程に到るまでのひずみ履歴による加工性の低下を最小限に抑える鋼管特有の材質設計を行うことが重要である。

ここではひずみ履歴による加工性の低下に悪影響を及ぼす固溶 N を、素材鋼帯の成分と熱延条件を制御することで排した当社の高加工性電縫鋼管<sup>34)</sup>の特性例を紹介する。

Fig. 25 に素材鋼帯の固溶 N を排した開発材と、固溶 N の残存した従来材を、周長増加率 20% の矩形型内部で液圧成形した際の TS と最大張出し率の関係を示したものである。開発材はいずれも破断なく周長増加率 20% まで成形され、従来材に比べより高い破断限界を示す。

高加工性電縫鋼管として現在 590 MPa 級を超える高強度材のニーズに対応した製品開発を進めている。高強度材の材質設計・素材選定においては、成形性に加え衝撃特性・疲労強度・化成処理性など製品特性の総合的なバランスを勘案することが重要と考えられる。

## 5.3 高温用排ガス用ステンレス鋼管

近年、地球環境問題の観点から自動車においては排ガス浄化率の向上が、各国で法規制をともなって強く求められている。この対応策として、排ガス温度を高温化し排ガスの浄化反応を促進させる技術が実用化されているが、この

Table 3 Mechanical properties of ERW pipes according to JIS11

	Size	YS(MPa)	TS(MPa)	El(%)
JFE-MH1	φ38.1 × 2.0	513	543	46
JFE429EX	φ38.1 × 2.0	506	529	45
JFE434LN2	φ48.6 × 2.0	547	573	38

ためにはエキゾーストマニホールド用の材料として優れた耐熱性が要求される。また、排ガス浄化のための触媒装置をエンジンの近くへ配置する方法などを採用することによりエンジンルームのスペースは狭くなり、エキゾーストマニホールドはそこに納まるように設計されるため、形状が複雑化し、小R曲げ、高拡管率などの高い加工性も要求される。当社ではこれらの要求に答えるべく、JFE-MH1を開発した。

JFE-MH1の高温特性は、JFE429EXに比べて高い高温強度を有し、JFE434LN2(SUS444)と同等の高温強度を有している。当社では、排ガス用ステンレス鋼管の製造に際して、素材として高r値鋼板を用い、さらに独自に開発した低歪成形方法であるCBRミルを使用することにより、加工性の優れた鋼管を製造することができる。Table 3にパイプの機械的性質を示す。

JFE-MH1は、JFE434LN2(SUS444)に比べて加工性が良好であり、JFE429EXとほぼ同等の加工性能を有している。

高温排ガス用ステンレス鋼管JFE-MH1は、高温の排ガス温度対応が可能で高加工性を有しており、自動車の排出ガス規制の強化にともなってその採用が拡大し、環境の清浄化に貢献するものと思われる。

## 6. 自動車用棒線商品

### 6.1 軸受鋼「NKJ鋼」,「KUJ7鋼」

軸受は、産業機械や自動車の回転駆動部分に使用される重要部品である。近年各種機械部品への小型軽量化、高強度化要求の高まりの中で、軸受も小型化しつつ従来と同等あるいはそれ以上の寿命を要求される。軸受の寿命向上のため、当社では、鋼中の氧化物系非金属介在物の最大径に着目し、これを微細に制御する製鋼プロセスを確立した。

さらに上記の様な従来からのアプローチに加えて、転動環境下のマイクロ組織損傷の発生抑制に及ぼす化学組成の影響を解明し、これまでにない設計手法に基づく中炭素軸受鋼(NKJ鋼)、常中温域での転動疲労寿命に優れた軸受鋼(KUJ7鋼, Fig. 26)などを開発し商品化した。

### 6.2 黒鉛鋼「HFC1鋼」

自動車、OA部品などの製造において、鋼材には高い切削加工性が求められる。鋼に鉛を添加すると切削加工は容

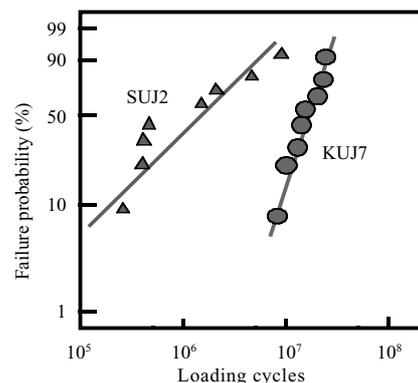


Fig. 26 Rolling contact fatigue life at 180

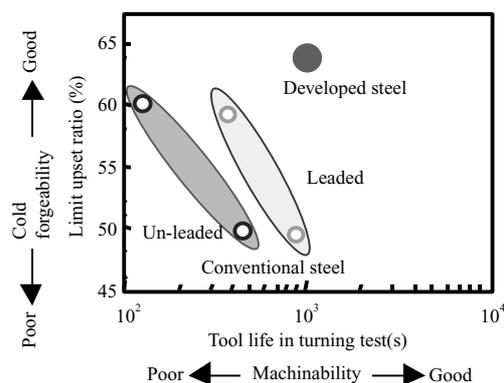


Fig. 27 Relation between machinability and cold forgeability

易になるが、鉛の人体や環境への影響の観点から鉛を使用しない鋼材へのニーズが高まっている。黒鉛鋼は化学組成などの適正化により、亜共析組成を有する機械構造用鋼中への黒鉛析出を可能とし、鋼中の黒鉛析出の活用により、環境に有害なPbを使わずに同等以上の被削性と冷間鍛造性(Fig. 27)、さらには焼入れ焼戻し後の疲労強度とのバランスを達成した。本鋼材は、冷間鍛造 - 切削 - 焼入れ焼戻し用途において特に優れた特性を有する。

### 6.3 BN 快削鋼「CCBN鋼」

BN快削鋼は、鋼中に50ppm以上のBと100ppm以上のNを添加することにより、六方晶のBNを晶出させた鋼であり、低速のドリル加工から超硬工具での高速切削まで広い切削条件の範囲で、鉛添加快削鋼と同等以上の被削性を有する新しいタイプの鉛フリー快削鋼である。Fig. 28に超硬工具による切削時の逃げ面摩耗と切削速度との関係を示す。高速切削時の摩耗特性が良好で高速切削化にも推奨できる。

BNはサイズの的にはMnSと同等であるが、BN快削鋼の機械的性質や疲労特性、冷間鍛造性、熱間鍛造性などはBN無添加のベース鋼とほぼ同等である。

### 6.4 高面圧浸炭二相鋼

Table 4に示すように、JIS肌焼鋼に対し、Si, Crなどの

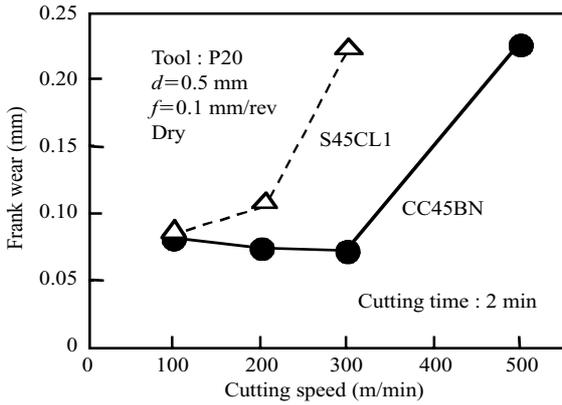


Fig. 28 Comparison of frank wear

Table 4 Example of chemical composition

(mass%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	V	
0.23	1.75	0.42	0.016	0.010	1.52	0.38	Add.	Add.	

添加により焼戻し軟化抵抗性を高めており、そのため、歯車表面での耐ピッチング性が良好である。また、Si, V を添加、Mn を低減することにより  $A_{c3}$  変態点を高め、通常温度での浸炭後の内部組織はフェライト・マルテンサイトの二相組織としている（浸炭部はマルテンサイト単相）よって、浸炭後の焼入れによる変形量を少なくし、低歪化と同時に高面圧化を兼備させたものである。

浸炭方法、ショットピーニング方法の組み合わせにより、現行の歯車に対して 15% 以上の高面圧化が可能である。

本鋼は浸炭ギヤ全般（ミッション、デファレンシャル）に適用可能である。

### 6.5 高靱性非調質鋼

熱間鍛造ままで、現行の調質鋼と同等の性能を有する、高靱性タイプの非調質鋼であり、組織はフェライト・パーライトの二相組織を有している。Ti の最適添加により、熱間加熱時の結晶粒成長を抑制し、また素材の低 C 化・高 Mn 化 (0.3% C-1.45% Mn)、V 添加による析出強化により鍛造ままで強度・靱性を確保している。

本鋼は、足回り部品（ナックルなど）、コンパニオンフランジなどに適用されている。

## 7. 鉄系粉末冶金用温間金型潤滑成形法

自動車用焼結機械部品に要求される疲労強度は年々高くなっているが、焼結部品の疲労強度を高める方法としては、高密度化が最も有効である。

当社では、新高密度成形工法として、粉末潤滑剤を金型に帯電塗布する金型潤滑法と、鉄粉と金型を 100 ~ 150

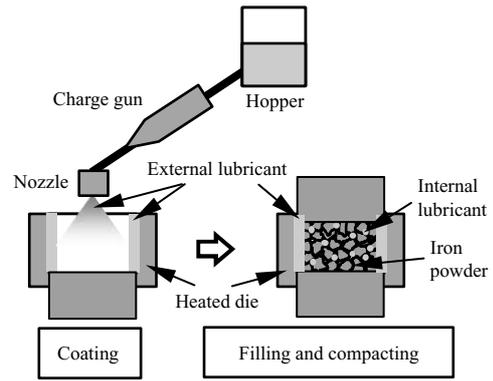


Fig. 29 Schematic diagram of warm compaction method with die wall lubrication

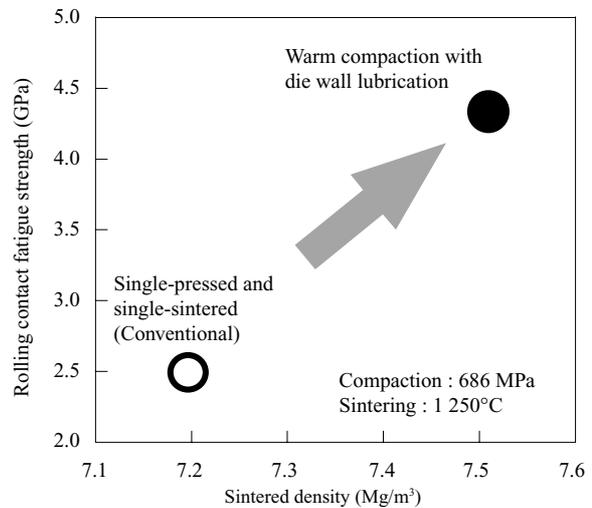


Fig. 30 Relation between sintered density and rolling contact fatigue strength of sintered and carburized steel compacts made of 2Ni-1Mo partially alloyed steel powder

に加熱する温間成形法を組み合わせた温間金型潤滑成形法 (Fig. 29) を開発した。この方法により、比重が 1 程度と低い内部潤滑剤の配合量を低減することが可能となり、従来の成形法（1 回成形 1 回焼結法）に比べ約 0.2 Mg/m<sup>3</sup> の密度向上が可能となった。

シグマロイ 2010 (2Ni-1Mo 部分合金化鋼粉) を用いて、温間金型潤滑法により成形した高密度焼結浸炭材の面圧疲労強度を Fig. 30 に示す。従来の成形法では、焼結密度 7.2 Mg/m<sup>3</sup> で面圧疲労強度は 2.5 GPa であったが、温間金型潤滑法により成形したものは、焼結密度 7.5 Mg/m<sup>3</sup> で面圧疲労強度が 4.4 GPa と著しく向上する。

今後、この成形工法は、自動車分野において粉末冶金法による高疲労強度部品の製造に適用されることが期待される。

## 8. 自動車天井用軽量複合材料「KP シート」

KP シートは、当社グループのケーブラシートが製造販売するガラス繊維 (GF) とポリプロピレン (PP) で構成

されるプレス成形用の複合材料である。軽量性や成形性、形状安定性が注目され、自動車内装部品、特に成形天井用基材として1997年頃から、採用が拡大してきている。

KPシートの特徴はGFとPPの均一な分散性にある。これは抄紙法<sup>35)</sup>と呼ばれる特殊な製造方法に起因する。抄紙法とは泡液中(foam)でGFとPPを分散させた後、連続的に抄く技術で、ウェブと称されるマット状の中間製品が得られる。ウェブ中のGFは2次元平面だけでなく厚み方向にも配向しており、これがKPシートの特徴である高膨張の根源となる。ウェブはいったんプレス工程でシート化(薄肉化)され、さらに剪断・精整を経て、顧客に供給される。

KPシートを遠赤外炉などで加熱してPPを軟化溶解させると、GFのスプリングバックが作用してシート全体が均一に膨張するとともに、成形加工性が発現する。この性質を利用して軽量・高剛性の大型部品を非常に容易に成形することができる。膨張成形により、元のKPシートの2~4倍の厚みの成形品が得られるので、断面2次モーメントを大幅に増加させた高剛性体を成形することができる。

天井基材の剛性を示す弾性勾配は断面2次モーメントと相関する<sup>36)</sup>ため、膨張倍率が大きい材料ほど剛性の向上に有利である。2001年に開発したKPシートUL材は膨張率を30%も高めており、その結果弾性勾配は目付け800g/m<sup>2</sup>で7.2N/mm(成形後厚み4mm)と従来比1.5倍である。同一弾性勾配で比較すると20%の軽量化が可能であり、部品の軽量化または剛性性能向上を図るための優れた材料である。さらに、吸音特性に優れた材料を開発中である。

## 9. 結言

以上、軽量化・衝突安全性向上に寄与する高強度鋼板、長寿命化の為に表面処理鋼板をはじめとし、ステンレス鋼板、電磁鋼板、電縫鋼管、棒線鋼材、鉄粉、軽量複合材料などのJFEスチールの自動車用鉄鋼製品を紹介した。また、EVI活動のベース技術となる自動車用鋼材に関する評価・適用技術について紹介した。

JFEスチールはこれらの鉄鋼製品・技術により、時代の要求する高機能な車造りに貢献していく所存である。

なお、自動車用製品、技術についての詳細をJFE技報No.4にて報告の予定である。是非、一読を御願いたい。

### 参考文献

1) 冨田邦和ほか. ナノサイズ析出物で強化した熱延高張力鋼板780MPa級NANOハイテンの開発. までりあ. vol.42, no.1. 2003, p.70-72.

- 2) Funakawa, Y. Development of high strength hot-rolled steel sheet consisting of ferrite and nanometer-sized precipitates. ISIJ Int. To be published.
- 3) 金子真次郎ほか. 歪み時効硬化により高い衝撃吸収エネルギーを示す440MPa級良加工性熱間圧延鋼板. 川崎製鉄技報. vol.32, no.1, 2000, p.67-68.
- 4) 金子真次郎ほか. 歪み時効硬化を活用した新高強度熱延鋼板の開発(第1報) 開発鋼板の材料特性. 自動車技術会学術講演会前刷集. no.11-01, 20015140, 2001.
- 5) 平本治郎ほか. 歪み時効硬化を活用した新高強度熱延鋼板の開発(第2報) 有限要素法による機能性解析. 自動車技術会学術講演会前刷集. no.11-02, 20015138, 2001.
- 6) Kitano, F. et al. New Type of IF-High Strength Steel with superior Anti-secondary Work Embrittlement. Trans. ISIJ. vol.41, no.11, 2001, p.1402.
- 7) 大澤一典ほか. スポット溶接性に優れた低炭素当量型590~980MPa級合金化溶融亜鉛めっき鋼板. 川崎製鉄技報. vol.34 no.2, 2002, p.59-65.
- 8) 斎藤亨. 高張力鋼の抵抗溶接. 溶接技術. vol.30, no.3, 1982, p.34-38.
- 9) 長滝康伸ほか. 1370および1560MPa級超高強度冷延鋼板の開発. 日本金属学会報. vol.32, no.4, 1993, p.238-240.
- 10) 中村展之ほか. 超高強度冷延鋼板の伸びフランジ成形性に及ぼす組織の影響. CAMP-ISIJ. vol.13, 2000, p.391-394.
- 11) Hasegawa, K. et al. Development of 980N/mm<sup>2</sup> class ultra high strength steel suitable for mechanical joining. ATTCE 2001 Proc. vol.4, 2001, p.175-181.
- 12) 藤田毅ほか. 無方向性高炭素冷延鋼板の開発. までりあ. vol.40, no.3, 2001, p.283-285.
- 13) 藤田毅ほか. 自動車駆動系部品への鋼板の適用と材料開発. 2003年材料フォーラム春季大会, 横浜, 2003-05, 自動車技術会. p.23-28.
- 14) 櫻井理孝, 稲垣淳一, 山崎雄司, 朝長伸一, 小島昌幸. までりあ. vol.40, no.2, 2001, p.190.
- 15) 中島清次, 片桐知克, 加藤千昭. 川崎製鉄技報. vol.34, 2002, p.76.
- 16) 黒川重男, 大和康二, 市田敏郎, 祝式愛和, 沼田充弘, 福井栄. 鉄と鋼. vol.72, 1986, p.1331.
- 17) 松田広志, 妹川透, 櫻井理孝, 小野守章, 稲垣淳一. 材料とプロセス. vol.12, 1999, p.1345.
- 18) 樋貝和彦, 京野一章, 加藤千昭. 川崎製鉄技報. vol.34, 2002, p.71.
- 19) 山口洋, 久松敬弘. 鉄と鋼. vol.60, 1974, p.96.
- 20) 大居利彦. 材料とプロセス. vol.5, 1992, p.1736.
- 21) 高村日出夫. 鉄と鋼. vol.81, 1995, p.43.
- 22) 宇城工ほか. 材料とプロセス. vol.4, 1991, p.1835.
- 23) 矢沢好弘ほか. ステンレス鋼の発錆に及ぼす塩乾湿複合サイクル試験条件の影響, 第16回防錆防食技術発表大会講演予稿集, 1996, p.117-122.
- 24) 本間正幸. 自動車技術. vol.43, no.9, 1989, p.55.
- 25) 宮崎淳ほか. 自動車技術. vol.55, no.10, 2001, p.25.
- 26) 宮崎淳ほか. 川崎製鉄技報. vol.33, no.2, 2001, p.72.
- 27) 宮崎淳ほか. 川崎製鉄技報. vol.34, no.2, 2002, p.81.
- 28) 宮崎淳ほか. までりあ. vol.42, no.2, 2003, p.72.
- 29) 石井和秀ほか. 川崎製鉄技報. vol.30, no.2, 1998, p.104.
- 30) 豊岡高明, 坂谷元晶, 依藤章. 川崎製鉄技報. vol.33 no.4, 2001, p.145.
- 31) 河端良和, 橋本裕二. プレス技術. 2003-06, 日刊工業新聞社. 掲載予定.
- 32) 河端良和, 岡部能知, 小山康衛. 川崎製鉄技報. vol.33, no.4, 2001, p.155.
- 33) 西森正徳, 荒谷昌利, 小高幹雄. 川崎製鉄技報. vol.33, no.4, 2001, p.151.
- 34) 三浦博, 山本定弘. NKK技報. no.179, 2002, p.62.
- 35) 吉武裕幸, 瀧宏一, 西村治, 荒木豊, 久保秀穂. プラスチックス. 1996, vol.42, no.9, p.124-129.
- 36) Y. Araki, S. Takano, S. Hanatani, M. Ito, and H. Kubo. Proc. of the 7th Jpn. Int. SAMPE Symp., Tokyo Big Sight (Japan), 11, 2001, 407.



関田 貴司



金藤 秀司



蓮野 貞夫



佐藤 昭夫



小川 隆生



小倉 邦明