

(技術資料)

# 自動車衝突安全・軽量化に貢献する高成形性冷延980MPa級ハイテン

980MPa Grade Cold Rolled Steel-sheets with Excellent Formability Contributing to Improved Performance of Safety in Impacts and Reduced Body Weight



中屋道治\*  
Michiharu NAKAYA



向井陽一\*\*  
Youichi MUKAI

In recent years, 980MPa grade cold rolled steel-sheets have been applied increasingly to automotive parts in order to improve collision safety (crashworthiness) and to reduce body weight. Kobe Steel has already provided several types of 980MPa steel sheets in response to the demand for improved formability. Both “High EL type” for body structure parts and “EL-balanced type” for seat structure parts show excellent formability compared to Dual-phase steel sheets. This article focuses on the features, including the formability, of the two developed steel sheets.

まえがき = 自動車の衝突安全基準強化および排出ガス削減のための軽量化を目的として、車体構造部材への高強度鋼板の適用が進んでいる。当社はこれまで、部材形状に応じた加工性を有する各種の980MPa級冷延鋼板を提供することにより、ユーザからの高い評価を得ているが<sup>1)</sup>、使用部材の拡大に伴い、さらなる加工性の向上が望まれていた。当社は、これらのニーズに対応すべく、ボデー骨格用に適した全伸び特性を高めた高伸び(EI)タイプおよび、シート骨格部品用に適した伸び(EI)伸びフランジ性( )のバランスを高めたEI-バランスタイプを新たに開発した。本稿では、これら開発鋼の特徴である成形性を中心とした諸特性について紹介する。

## 1. 開発経緯

当社は、フェライト相とマルテンサイト相から構成される複合組織鋼板、いわゆる Dual phase (以下、DP という) 鋼板の加工性向上方策について、従来より精力的に検討を行ってきた。そしてその成果として、水焼入れタイプの連続焼鈍装置を用いてマルテンサイト相の体積率と硬度を独立に制御することにより、EI と のバランスが異なる 980MPa 級冷延鋼板を製造する技術を確立している<sup>1)~4)</sup>。この技術の適用により、多量のフェライトと硬質なマルテンサイトからなる全伸び重視の“絞りタイプ”や、局部変形能が高い焼戻しマルテンサイトを含む、曲げ性と伸びフランジ性を重視した“曲げタイプ”をはじめとした各種の鋼板を部品形状に応じて提供してきた。これによって、ユーザから高い評価を得ているが、これら鋼板の使用部位の拡大に伴い、さらなる成形性の向上が求められている。

当社は、これらのニーズに対応すべく、新たに高 EI タ

イプとEI- バランスタイプの2つの高成形性冷延980MPa級鋼板を開発した<sup>5),6)</sup>。開発鋼と従来型 DP 鋼板の全伸び(EI)と伸びフランジ性( )のバランスを図1に示す。開発鋼高 EI タイプは、従来 DP 鋼板絞りタイプを超える高いEIを有し、開発鋼EI- バランスタイプは、従来 DP 鋼中間タイプ並みのEIと曲げタイプに匹敵する を兼備した特性を有している。

“高 EI タイプ”の開発にあたっては、多量の残留 を確保するだけでなく、その形態を微細に分散した伸長形状とすることで、スポット溶接性を低下させる炭素添加量の適正化と高EIの両立を可能とした。これは、粗大な塊状の残留 に比べ、伸長した微細な残留 の安定度が高く、加工時に変形後期まで TRIP (transformation induced plasticity) 効果を発揮する<sup>7),8)</sup> ことを積極的に活用したものである。

一方、“EI- バランスタイプ”は、母相として高転位密

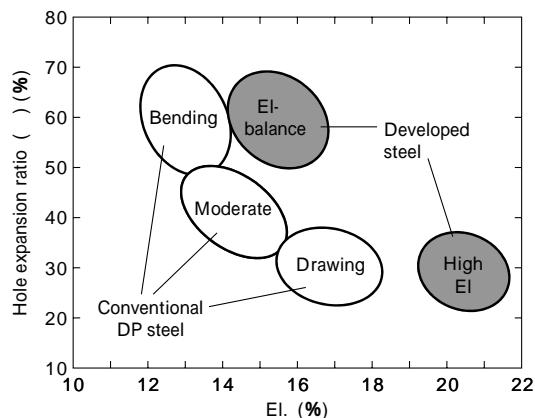


図1 980MPa 級冷延鋼板の EI- 値バランス

Fig. 1 Elongation and -value of 980MPa grade cold rolled sheet steels

\* 鉄鋼部門 加古川製鉄所 技術研究センター \*\* 鉄鋼部門 薄板商品技術部

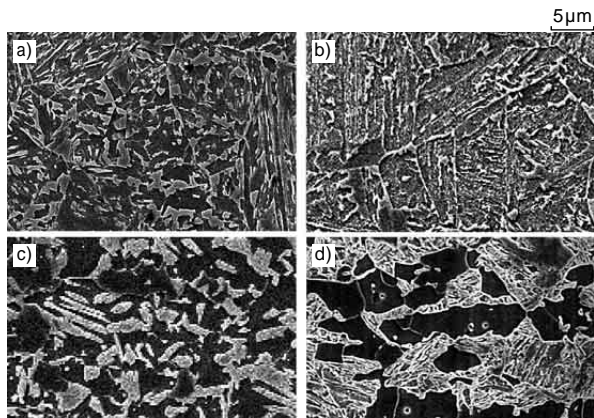


図2 代表的組織写真 (SEM) a) 開発鋼高 EI バランスタイプ, b) 開発鋼 EI- バランスタイプ, c) 従来鋼 DP 絞りタイプ, d) 従来鋼 DP 曲げタイプ

Fig. 2 Microstructure of 980Mpa grade cold rolled sheet steels a) high EI type developed steel, b) EI- balance type developed steel, c) conventional steel (DP-drawing type), d) conventional steel (DP-bending type)

度のベイニティックフェライト (以下, BF という) を採用している。BF は, 高強度でありながら均一微細で局部変形に優れる<sup>9),10)</sup>組織であることから, 高伸びフランジ型鋼板にはしばしば採用されている。短所としては, 必ずしも全伸びが高くない点を挙げることができるが, 当社は, ラス間に微細な残留 を導入することで, 従来型 DP 鋼では実現できなかった EI と の高いバランスの実現に成功している。

開発鋼のマイクロ組織を図2に示す。高 EI 型は, 転位密度の低い母相組織とその内部に微細で伸長した残留 が分散している。また, EI- バランス型は, サブミクロンサイズのラス組織からなる BF を母相としており, また, BF 内のラス内には微細な残留 を含有することを透過型電子顕微鏡観察にて確認している。いずれも DP 鋼と比べると非常に微細で均一な組織となっていることが特徴である。

これらのマイクロ組織の実現にあたっては, 1) 連続焼鈍過程におけるオーステナイト域からの高速冷却による BF 組織制御技術, および 2) 合金元素添加量とオーステンパ温度による残留 の体積率 / 形態制御技術の確立が重要な役割を果たしている。

## 2. 開発鋼の諸特性

### 2.1 成形性

前述した成形様式のうち, 伸びフランジ性の指標である 値については前述した。以下では, 張出し性, 深絞り性および曲げ性について述べる。比較には, 従来型 DP 鋼板絞りタイプ, 曲げタイプおよび 590MPa 級鋼板を用いた。供試材の機械的特性値を表1に示した。

#### 2.1.1 張出し成形性

張出し成形性は 140 × 140mm の試験片をしわ抑え圧 118kN にて保持し, ダイ径 53.4mm, パンチ径 50.0mm の球頭 (R:25mm) 金型を用いて成形した際の破断限界高さにて評価した。比較例として用いた従来型 DP 鋼板の曲げタイプ, 絞りタイプおよび 590MPa 級とともに図3にその結果を示す。開発鋼高 EI タイプでは, 従来

型 DP 鋼板絞りタイプを上回り, 590MPa 級に迫る成形高さが得られた。これは, 高 EI タイプが, 含有する残留 の加工誘起変態により 2 軸変形中の加工硬化率が増加し, ひずみ分散性に優れていることに起因している<sup>6),11)</sup>。開発鋼 EI- バランスタイプは, 高 EI タイプに比べると低位ではあるが, 従来型 DP 鋼板絞りタイプに匹敵する張出し性を示した。バランスタイプの残留 含有量は高 EI タイプほど多くはないが, 同様の効果を発揮しているものと考えられる<sup>9)</sup>。

#### 2.1.2 深絞り成形性

深絞り成形性に関しては, ダイ径 53.4mm, パンチ径 50.0mm の円筒 (肩 R:8mm) 金型を用いて, しわ抑え圧 9.8kN にて 80 ~ 140mm 材を成形し, 限界絞り比を調査した。結果を図4に示す。開発鋼高 EI タイプは, 590MPa 級を超える極めて高い限界絞り比を有し, また 開発鋼 EI- バランスタイプにおいても, 従来型 DP 鋼板絞りタイプと同等以上の深絞り性を有している。

残留 を含有する鋼板は深絞り性に優れるといわれている。これは, 残留 の加工誘起変態が体積膨張を伴うため, 圧縮応力下の縮みフランジ部では変態が抑制されるのに対し, 引張応力下のパンチ肩付近では変態が促進されて, 破断抵抗を増加させるためと考えられている。今回の評価においても, 多くの残留 を含有している高 EI タイプが最も高い深絞り性を発揮していることから,

表1 供試材の機械的性質  
Table 1 Mechanical properties of sample steels (t:1.2mm)

		YS(MPa)	TS(MPa)	EI.(%)	(%)	
a)	Developed steel	High EI	620	1010	20	22
b)		EI-	800	1024	15	60
c)	Convention DP steel	Bending	770	1010	12	65
d)		Drawing	640	1030	16	25
e)		590DP	390	640	25	65

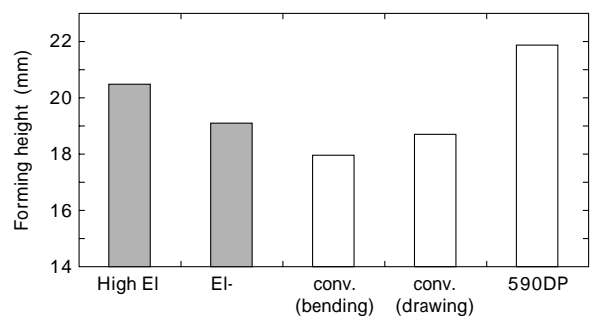


図3 限界成形高さ (張り出し性)  
Fig. 3 Limited forming height of steels (Stretch formability)

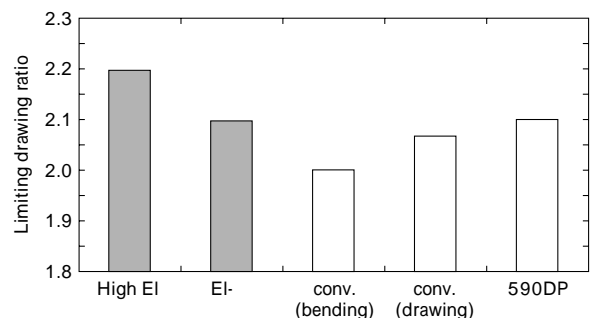


図4 限界絞り比 (深絞り性)  
Fig. 4 Limited drawing ratio of steels (Deep drawability)

このような現象が生じているものと考えられる。

### 2.1.3 開発鋼高EIタイプの実部品成形評価例

前述の通り、開発鋼高EIタイプは、従来型DP鋼板と比較して、張出し、深絞りとも上回る成形性を有していることがわかった。そこで、実部品相当の形状における開発鋼の優位性を確認するため、センタピラーを模擬したモデル金型のストライカを用いて成形性を評価した。プレス成形品形状を図5に、割れ危険部位の断面(図5のA-A'断面)を図6に示す。現在980MPa級が採用されている量産センタピラーに比べ、各肩Rが小さくかつ天板の段差も急峻であり、高い張出し性、深絞り性が要求される形状となっている。なお、比較鋼には従来型DP鋼板絞りタイプを用いた。成形結果を図7に示すが、従来鋼では天板の段差で大きな割れが発生しているのに対し、開発鋼高EIタイプでは割れなく成形可能であることが確認できた。以上のように、開発鋼高EIタイプは、とくに厳しい張出し、深絞り成形が施される成形難易度の高い部品の980MPa化に貢献できるものと考えている。

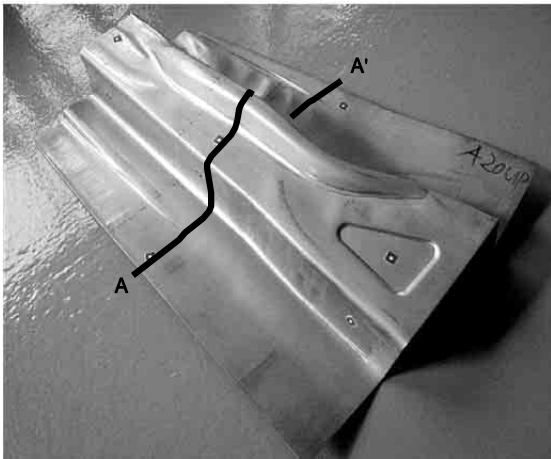


図5 プレス形状

Fig. 5 Shape of test part

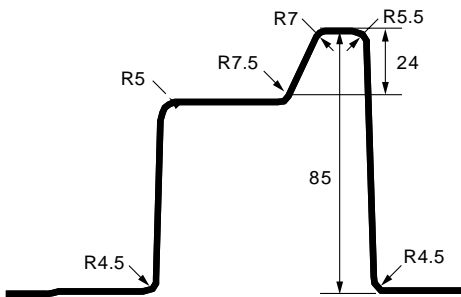


図6 A-A'部断面形状概略

Fig. 6 Schematic illustration of cross section of pressed part (A-A' line)

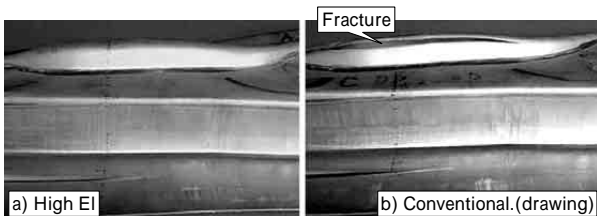


図7 プレス成形結果

Fig. 7 Press test results

### 2.1.4 曲げ性

曲げ性は、図8に示す金型に30×100mm(t=1.2mm)の試料を配置し、先端R0~2.5mmの90°パンチで圧下した際、試料にクラックを生じない最小半径を指標とした。曲げ方向は圧延方向に対して垂直である。結果を図9に示す。開発鋼高EIタイプの最小曲げ半径は従来型DP鋼板絞りタイプと同等である。また、EI-バランスタイプはR0曲げにおいてもクラックを生じず、従来型DP鋼板曲げタイプに比肩する良好な曲げ性を有している。曲げ性能はおおむね値の序列と相関を有し、これは、鋼板の曲げ性と伸びフランジ性がともに局部延性と相関を持つ<sup>3), 13)</sup>ことと符合する。

### 2.2 スポット溶接性、化成処理性

開発鋼のスポット溶接性評価の一例(t=1.2mm)を従来型DP鋼とともに表2に示した。開発鋼は、両タイプともに適正溶接電流範囲として2.0kA以上を確保しているほか、せん断引張強度、十字引張り強度についても従来型DP鋼と同等の値を有している。残留炭素を含有する鋼板は、比較的少量の炭素による溶接強度低下が懸念されるが、本開発鋼については、C量の適正化に加えてSiによる継手強度改善効果<sup>14)</sup>を活用することにより、適切な溶接性を確保している。

開発鋼の化成処理性評価例として、市販の処理液(日

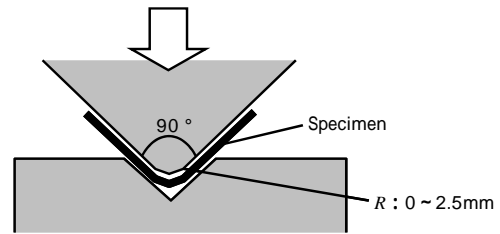


図8 曲げ性試験金型

Fig. 8 Schematic illustration of bendability measurement apparatus

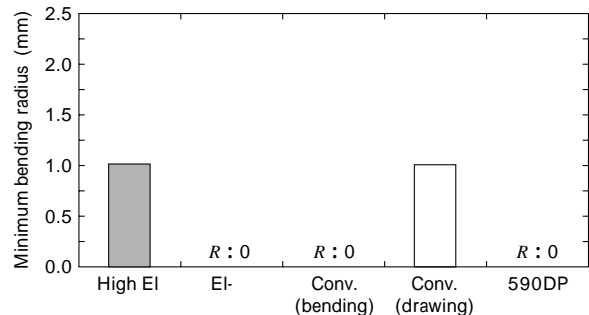


図9 980MPa級冷延鋼板の曲げ性

Fig. 9 Minimum bending radius of steels (Bendability)

表2 スポット溶接性

Table 2 Spot weldability

(t=1.2mm)

		Welding current		Spot welded joint strength		
		4.25 t	Expulsion	TSS (kN)	CTS (kN)	Nugget dia.(mm)
Developed	High EI	5.5kA	7.5kA	18.3	7.4	5.5
	EI-	5.5kA	7.5kA	18.0	7.5	5.6
Conv.DP	Drawing	5.5kA	7.5kA	18.9	7.3	5.5
	Bending	5.5kA	7.5kA	18.4	7.4	5.5

Electrode : Dome type tip diameter:6mm

Electrode force : 3,750N

Welding time : 12cycle (60Hz)



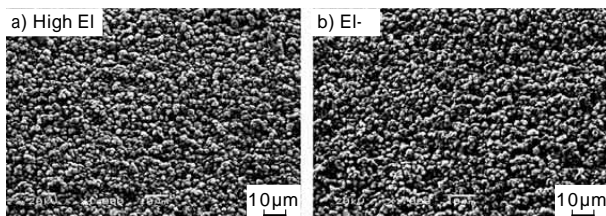


図10 開発鋼のリン酸塩結晶皮膜の例

Fig.10 Micrograph of phosphate crystal on developed steels

本パーカライジング(株製:パルボンド L3020)を用いて浸漬により生成した鋼板表面のリン酸塩皮膜を図10に示した。開発鋼は両タイプともにスケは認められず、リン酸塩結晶のサイズ、形態も良好である。一般に、Siなどの合金元素添加量の増加に伴い化成処理性は劣化する傾向にあるものの、当社では、表層酸化物の適正化技術<sup>15)</sup>により、安定した化成処理性を有する鋼板の製造技術を確立している。

むすび=新たに開発した高EIタイプおよびEI-バランスタイプ 980MPa 級冷延鋼板の特性について述べた。図11に高EIタイプ、図12にEI-バランスタイプの成形性の特徴をまとめて示す。絞り、張出し成形が必要となる部材には高EIタイプが、また伸びフランジ性、曲げ性に加えて張出し成形性も必要となる部材にはEI-バランスタイプが適している。

自動車車体に関しては、今後とも高強度鋼板の適用部位が拡大する傾向にあると考えられる。当社では、本稿にて紹介した 980MPa 級冷延鋼板をはじめとして、これまでに蓄積した技術に基づき、高強度鋼板のさらなる加工性、実用特性の向上に取組み、車体軽量化と衝突安全性向上に寄与してゆく所存である。

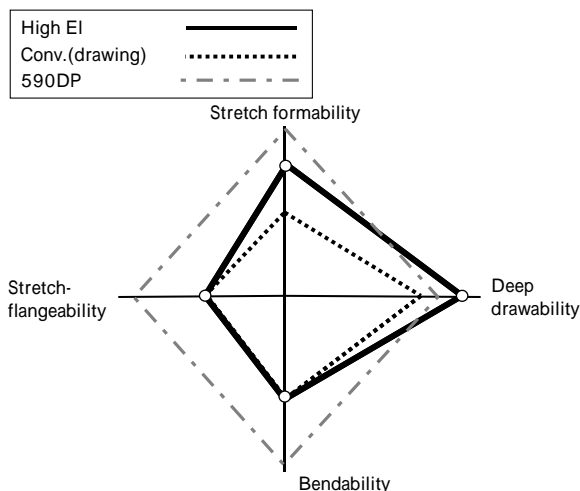


図11 開発鋼高EIタイプの成形性のまとめ

Fig.11 Formability feature of high EI type

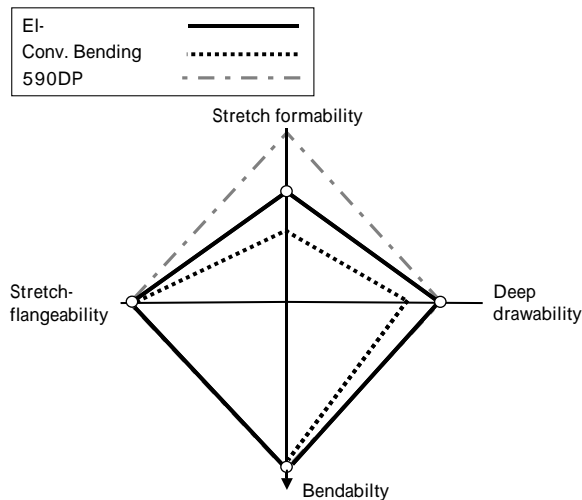


図12 開発鋼EI- バランスタイプの成形性のまとめ

Fig.12 Formability feature of EI- balance type

#### 参考文献

- 1) 大宮良信: R&D 神戸製鋼技報, Vol.50, No.3 (2000) p.20.
- 2) 宮原征行ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.35, No.4(1985) p.92.
- 3) 田中福輝ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.42, No.1 (1992) p.20.
- 4) 田村享昭ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.3(2002) p.6.
- 5) 三浦正明ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.57, No.2(2007) p.15.
- 6) 中屋道治ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.57, No.2(2007) p.19.
- 7) 橋本俊一ほか: 鉄と鋼, Vol.88, No.7 (2002) p.400.
- 8) 鹿島高弘ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.52, No.3(2002) p.19.
- 9) 鹿島高弘ほか: CAMP-ISIJ, Vol.6 (1993) p.1696.
- 10) K. Sugimoto et al.: ISIJ-Int., Vol.40, No.9 (2000) p.920.
- 11) 中屋道治ほか: CAMP-ISIJ, Vol.18 (2005) p.1484.
- 12) 松村 理ほか: 鉄と鋼, Vol.77, No.8 (1991) p.1312.
- 13) 岩谷二郎ほか: 塑性と加工, Vol.35, No.404 (1994) p.1122.
- 14) 田中福輝ほか: 鉄と鋼, Vol.68, No.9 (1982) p.1411.
- 15) 野村正裕ほか: 鉄と鋼, Vol.92, No.6 (2006) p.378.