

11 当社の製品・技術

1. 主要鉄鋼製品一覧

商品分野	製品	主要製品（用途）	代表的な商品・新商品
薄鋼板	熱延鋼板	自動車用高張力熱延鋼板	<ul style="list-style-type: none"> ・高λ型熱延ハイテン（590～980MPa級ハイテン） ・高成形性熱延ハイテン「NANOハイテン[®]」 ・焼付け硬化型ハイテン「BHT[®]ハイテン」
		深絞り用熱延鋼板	・JFE-HDN, JFE-HEN, JFE-HFN
		高張力熱延鋼板	・JFE-HITEN
		耐食熱延鋼板	・JFE-ASA
		耐候性熱延鋼板	・JFE-HCUP
		鋼管用熱延鋼板	・JFE-HP
		縞鋼板	・JFE-HCP
	冷延鋼板	自動車用高張力冷延鋼板	<ul style="list-style-type: none"> ・外板パネル用高張力冷延鋼板「ユニハイテン[®]」 ・高成形性超高張力冷延鋼板「JIFORMA[®]シリーズ」(590～1180MPa級ハイテン) ・1320/1470MPa級超高張力冷延鋼板(WQハイテン) ・ホットスタンプ用鋼板
		軟質冷延鋼板	・超深絞り用冷延鋼板
		耐食冷延鋼板	・JFE-ASA
		耐候性高張力冷延鋼板	・JFE-CCUP
		ほうろう用冷延鋼板	・JFE-CPE
		缶用冷延鋼板	・高強度高延性缶用鋼板「JATT [®] シリーズ」
		電池缶素材用冷延鋼板	・軟質／細粒化特殊鋼板
	溶融亜鉛鍍金鋼板	自動車用表面処理鋼板	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車用高潤滑 GA/GI 鋼板「JAZ[®]（JFE Advanced Zinc）」 ・外板パネル用高張力 GA 鋼板「ユニハイテン[®]」 ・高成形性超高張力 GA 鋼板「JIFORMA[®]シリーズ」（590～1180MPa級ハイテン）
		電機部材・建築部材	<ul style="list-style-type: none"> ・亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板「エコガル Neo[®]」 ・クロメートフリー化成処理鋼板「エコフロンティア[®]シリーズ」
	電気亜鉛鍍金鋼板	家電用品	<ul style="list-style-type: none"> ・クロメートフリー化成処理鋼板「エコフロンティア[®]シリーズ」
	ぶりき・ティンフリー	ぶりき系	・JFE ウェルト（Ni-Sn）
		ティンフリー系	<ul style="list-style-type: none"> ・無研磨溶接用 TFS「BRITE-ACE[®]」 ・エアゾール缶用高成形性ファミネート鋼板
	特殊鋼薄板	機械構造用鋼・工具鋼	<ul style="list-style-type: none"> ・高板厚精度機械構造用鋼板「SUPERHOT[®]シリーズ」

商品分野	製品	主要製品（用途）	代表的な商品・新商品
厚鋼板	厚鋼板	造船	<ul style="list-style-type: none"> ・大型コンテナ船用降伏応力 460N/mm² 級高強度鋼板 ・大型コンテナ船用高アレスト鋼板「ARRESTEX[®]」 ・LPG/アンモニア混載船用低温用鋼板 ・LP 鋼板 ・原油タンカー耐食鋼板「JFE-SIP[®]-OT」 ・バラスタタンク耐食鋼板「JFE-SIP[®]-BT」 ・石炭カーゴホール耐食鋼板「JFE-SIP[®]-CC」 ・クラッド鋼板 ・耐疲労鋼板「AFD[®]」
		橋梁・鉄構	<ul style="list-style-type: none"> ・予熱低減型高張力鋼板 ・980N/mm² 級高張力鋼板（ペンストック用など） ・高耐候性鋼板 ニッケル系「JFE-ACL」 耐食元素複合添加系「LALAC[®]-HS」 ・塗装寿命延長鋼板「EXPAL[®]」 ・耐疲労鋼板「AFD[®]」
		建築	<ul style="list-style-type: none"> ・建築構造用高強度 TMCP 鋼板「HBL[®] 385, HBL[®] 440」 ・大入熱溶接可能な建築構造用 780N/mm² 鋼板「HBL[®] 630」 ・建築用耐火鋼 ・ダンパー用低降伏点鋼板「JFE-LY100, JFE-LY225」
		エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG タンク用 9%Ni 鋼板 ・海洋構造物 / 洋上風力発電用鋼板 ・高耐食性クラッド鋼板 ・チタンクラッド鋼板 ・耐水素誘起割れ鋼板 ・原子力用高張力鋼板
		建機	<ul style="list-style-type: none"> ・産業 / 建設機械用高張力鋼板（高韌性 JFE-HITEN780LE, HYD[®]960LE など） ・スーパー耐摩耗鋼「EVERHARD[®]-SP」 ・高韌性耐摩耗鋼「EVERHARD[®]LE シリーズ」
		その他	<ul style="list-style-type: none"> ・レーザー切断用鋼板 ・JFE EWEL[®]（大入熱溶接熱影響部韌性向上技術） ・カプテンコート[®]アクア（耐候性鋼の高性能さび安定化補助処理剤） ・J-STAR[®]溶接技術
鋼管	鋼管	油井管	<ul style="list-style-type: none"> ・高耐食性ステンレス油井管用鋼管「UHP[®].15CR」, 「UHP[®].17CR」 ・13%Cr 系油井管用鋼管 ・油井管特殊ねじ「JFELION[®]」等
		ラインパイプ（UOE）	<ul style="list-style-type: none"> ・高変形ラインパイプ「HIPER[®]」 ・高強度ラインパイプ「X80-100」 ・深海用極厚ラインパイプ ・厚肉耐サワーラインパイプ ・表層硬さ厳格耐サワーラインパイプ
		ラインパイプ（ERW）	<ul style="list-style-type: none"> ・大口径 26 インチラインパイプ ・厚肉耐サワーラインパイプ ・マイティーシーム[®]
		ラインパイプ（SML）	<ul style="list-style-type: none"> ・ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス鋼管
		自動車用鋼管	<ul style="list-style-type: none"> ・高加工性自動車用鋼管「HISTORY[®]鋼管」

商品分野	製品	主要製品（用途）	代表的な商品・新商品
鋼管	鋼管	土木・建築	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭 ・鋼管矢板 ・高強度鋼管杭 ・HYSC 杭 ・場所打鋼管コンクリート杭（KCTB 杭） ・「つばさ杭[®]」 ・「コン剛パイル[®]」 ・機械式継手「ネジール[®]」, 「ハイメカネジ[®]」, 「カシーン[®]」 ・建材用シームレス角形鋼管「カクホット[®]」 ・高強度極厚鋼管「P-385、P-440」 ・建築構造用厚肉冷間ロール成形角形鋼管「JBCR[®] 295」 ・建築構造用高強度冷間ロール成形角形鋼管「JBCR[®] 385」
		配管	<ul style="list-style-type: none"> ・転造ねじ対応 PFP 鋼管 ・屋内外・埋設用ポリエチレン被覆鋼管 ・防火区画貫通評定適合品「PLS-F」 ・荷油管「マリニコップ[®]」 ・メカニカル継手対応消火用外面被覆垂始めつき鋼管「消火用 VS-M」 ・消火用軽量鋼管「FAST[®] 10」 ・空調用軽量鋼管「FAST[®] 20」
電磁鋼板	電磁鋼板	方向性電磁鋼帯	・JFE G- コア
		無方向性電磁鋼帯	・JFE N- コア
		スーパーコア	・高周波用途電磁鋼帯「スーパーコア [®] 」（6.5%けい素鋼板）
ステンレス鋼板	ステンレス鋼板	高耐食ステンレス鋼	<ul style="list-style-type: none"> ・高耐食性フェライト系ステンレス鋼製品群「JFE443 ファミリー[®]」 「JFE443CT」（SUS443J1）, 「JFE443MT」, 「JFE445NT」（SUS445J1）
		自動車・二輪車用ステンレス鋼	<ul style="list-style-type: none"> ・メタルハニカム用高耐酸化性ステンレス箔「JFE20-5HS」, 「JFE20-5USR」, 「JFE18-3USR」 ・エキゾーストマニフォルド用高耐熱フェライト系ステンレス鋼「JFE-TF1[®]」, 「JFE-MH1」 ・ディスクブレーキ用高耐摩耗性マルテンサイト系ステンレス鋼「JFE410DB-ER」 ・フランジ用極厚フェライト系ステンレス鋼（板厚～13mm）
		刃物用ステンレス鋼	<ul style="list-style-type: none"> ・高 C マルテンサイト系ステンレス鋼「SUS420J1」, 「SUS420J2」, 「EN1.4116」
条鋼	形鋼	鉄道	・高耐摩耗熱処理レール「SP3」
		土木・橋梁	<ul style="list-style-type: none"> ・U 形鋼矢板 ・ハット形鋼矢板 ・熱間圧延コーナー鋼矢板 ・ポケット付遮水鋼製壁「J ポケットパイル[®]」 ・内面突起付き H 形鋼「J グリップ H[®]」 ・外面突起付き H 形鋼「ストライプ H」 ・高剛性壁体「J ドメール[®]」 ・合成構造用鋼矢板「ビートルパイル[®]」
		建築	<ul style="list-style-type: none"> ・建築構造用 520N/mm² TMCPh 形鋼「HBL[®]・H355」 ・広幅、中幅、細幅 H 形鋼 ・外法一定 H 形鋼「スーパーハイスレンド[®] H」 ・極厚 H 形鋼 ・溶接軽量 H 形鋼 ・等辺山形鋼 AB
		造船	<ul style="list-style-type: none"> ・不等辺不等厚山形鋼 NAB ・球形形鋼 BP
		棒鋼	機械構造用炭素鋼

商品分野	製品	主要製品（用途）	代表的な商品・新商品
条鋼	棒鋼	機械構造用合金鋼	・高冷鍛肌焼鋼（JECF [®] ） ・耐衝撃歯車用鋼（SCMB622H）
		窒化鋼	・高強度軟窒化用鋼（JAENS [®] ）
		軸受鋼	・中炭素軸受鋼（NKJ） ・脱炭抑止軸受鋼 ・常中温用軸受鋼（KUJ7）
		非調質鋼	・切削用非調質棒鋼 NH（制御圧延：900MPa、800MPa用） TQF [®] （直接焼入：800MPa、700MPa用） ・熱鍛用非調質棒鋼 TBH（800MPa用）
		快削鋼	・鉛快削鋼 ・非鉛快削鋼（CCC [®] ） ・硫黄快削鋼 ・機械構造用快削鋼
		ばね鋼	・SUP9 ・高強度建機ばね
		その他	・超太丸圧延棒鋼 ・大断面角鋼
	線材	軸受鋼球・コロ用線材	・SUJ2、SUJ3、SAE52100
		高力ボルト用線材	・ポロン鋼（10T用）
		冷間圧造用線材	・炭素鋼、合金鋼、ポロン鋼
		ばね鋼	・SUP9
		快削鋼	・鉛快削鋼 ・非鉛快削鋼（CCC [®] ） ・硫黄快削鋼 ・機械構造用快削鋼
		高強度フープ筋用線材	・RB785 フープ筋
	その他	・四角線材 ・極細径圧延線材	
鉄粉	鉄粉	純鉄粉	・粉末冶金用アトマイズ鉄粉 ・粉末冶金用還元鉄粉 ・カイロ用鉄粉、脱酸素剤用鉄粉、化学反応用鉄粉 ・圧粉磁心用絶縁被覆純鉄粉「電磁郎 [®] 」
		合金鋼粉	・Niフリー高強度部品用合金鋼粉「FMシリーズ」 ・ハイブリッド型モリブデン系合金鋼粉 ・Cr系合金鋼粉 ・耐熱・耐摩耗部品用コバルト・モリブデン合金鋼粉
		偏析防止プレミックス粉	・常温高密度用クリーンミックス [®] 「JIP [®] HDX」 ・低抜出力用クリーンミックス [®] 「JIP [®] LX」 ・銅偏析防止クリーンミックス [®] ・切削性改善クリーンミックス [®] JFM [®] 3、JFM [®] 4、JFM [®] X ・部品重量安定性クリーンミックス [®] ZERO
		農業用鉄粉	・水稲直播種子被覆用「粉美人 [®] 」
		セメント用原料・コンクリート用骨材	・高炉水砕スラグ ・高炉スラグ微粉末 ・高炉スラグ細骨材
鉄鋼副産物	スラグ製品	道路用路盤材	・鉄鋼スラグ路盤材
		土工・地盤改良（サンドコンパクションパイル材）	・土工用水砕スラグ ・地盤改良用製鋼スラグ
		海域・港湾工事	・フェロフォーム [®] ・フロンティアロック [®] ・フロンティアストーン [®] ・カルシア改質材
		海域環境改善	・マリンスターン [®] ・マリンプロック [®]
		ロックウール・肥料用	・ロックウール原料 ・肥料用原料

2. 主な製品・技術

(a) 炭化水素燃料バーナーを利用したクロム鉱石溶融還元プロセス

当社では石炭エネルギーを用いてクロム鉱石に含有する酸化クロムを還元する「転炉型クロム鉱石溶融還元炉」を世界で初めて実用化しており、ステンレス鋼のクロム源の原料選択の自由度の向上を可能としている。しかしながら、酸化クロムの還元反応熱を供給するために炭素源を使用しており、CO₂ 排出量低減のために高効率な熱付与技術のニーズが高まっていた。

上記課題を解決するため、転炉型クロム鉱石溶融還元炉で炭化水素ガスを燃料とする純酸素バーナーを利用したクロム鉱石加熱添加技術を開発し、世界初の実機化に成功した。純酸素バーナーの高温火炎を介して粉粒体のクロム鉱石を供給することで、バーナー火炎内で加熱された粉粒体鉱石がバーナー燃焼熱の伝熱媒体として機能し、バーナー燃焼熱を加熱対象物に効率的に伝熱させることが可能であることを見出した。その知見をもとにJFEスチール東日本製鉄所千葉地区第4製鋼工場の溶融還元炉へ単体バーナーとしては世界最大級のバーナーを導入した。

本開発技術の実用化により、溶融還元炉でのエネルギー供給量を約20%低減することが可能となり、CO₂ 排出量を約10%削減することが可能となった。本技術は平成27年度第42回岩谷直治記念賞、令和2年度文部科学大臣賞 科学技術賞（開発部門）、令和3年度第53回市村産業賞本賞を受賞している。また、さらなるCO₂ 排出量低減に向けて、現在は当社普通鋼転炉への展開を検討している。

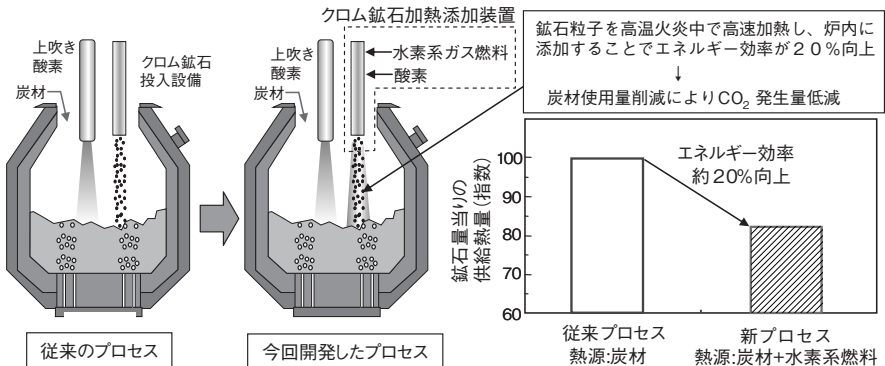


図1 炭化水素燃料バーナーを利用したクロム鉱石溶融還元プロセス

(b) 打ち抜き端面の疲労特性と伸びフランジ性に優れた熱延ハイテン

熱延鋼板組織のベイナイト化により、打ち抜き穴の端面荒れを生じる組織の不均一性を大幅に低減することで、打ち抜き端面の疲労強度を向上させた熱延鋼板を開発した。組織の均一化は、部品のプレス加工時における各種成形性を向上させ、これにより曲げ加工性が必要とされるフレーム部品、大型トラックのバンパー下面に装着される衝突安全部品（アンダーランププロテクション）、張出しやバーリング加工を受ける自動車の足回り部品などの難成形部品への780～980MPa級のハイテンの適用が可能となった。

開発鋼板は、当社独自の熱間圧延時の温度制御技術を適用した均一微細なベイナイト組織を有しているため、写真1に示すように、10mm φポンチ打ち抜き後の端面性状は、従来鋼板では端面に複数のクラックが発生するのにに対し、開発鋼板では端面性状が極めて良好となる。このため、開発鋼は高い疲労強度を有するとともに（図1）、優れた伸びフランジ性を有する。

本開発鋼板の高い端面疲労強度や良加工性（伸びフランジ性、曲げ性）によって、図2に示すトラックフレームのクロスメンバー部品や図3に示したロアアームなどの足回り部品への780MPa級開発鋼板の適用が進んでいる。さらに、より高強度が必要なアンダーランププロテクション部品へは980MPa級開発鋼板の適用が進んでいる。

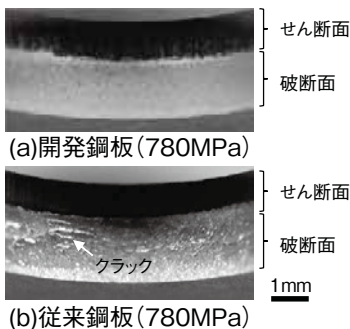


写真1 開発鋼板の打ち抜き端面性状
(打ち抜きクリアランス: 20%)

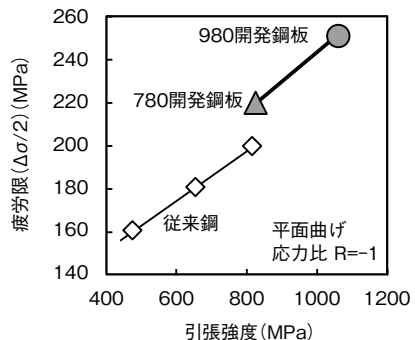


図1 開発鋼板の打ち抜き端面の疲労強度

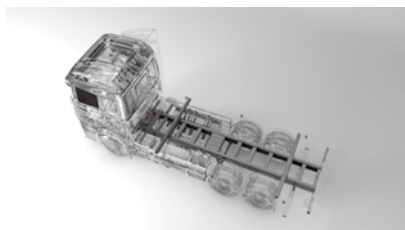


図2 トラックフレーム (適用例)



図3 乗用車用ロアアーム (適用例)

(c) 高板厚精度機械構造用鋼板『SUPERHOT®』シリーズ

機械構造用炭素鋼（SC材：JIS G 4051：2009）に代表される高炭素鋼板は、自動車の駆動系部品をはじめとする種々の構造部品の素材として広く用いられている。これらの部品は増肉部を含む複雑形状のものが多く、従来は熱間鍛造後に切削した部品どうしを接合して製造されていた。近年では、省コストを目的としたプレスによる一体成形化が進められており、この実現には板厚精度や加工性に優れた鋼板が必要となる。さらに部品形状に成形した後、疲労強度や耐摩耗性を付与するための熱処理工程が施されるため、優れた焼入れ性も必要となる。

当社は一般のS35C、S45Cに対して、板厚精度に優れた高炭素鋼板『SUPERHOT®』を開発し、さらにプレス加工性に優れた軟質な高炭素鋼板『SUPERHOT®-F』や『SUPERHOT®-G』（J35CおよびJ48C）を開発した。

図1に『SUPERHOT®』の板厚公差を示す。『SUPERHOT®』の板厚精度は±0.1mmであり、冷延鋼板に匹敵する高板厚精度が得られている。『SUPERHOT®-F』はJIS規格内の成分で、熱延後の制御冷却によって微細なベイナイト組織とし、その後の球状化焼鈍で均一微細な球状化セメントサイトを分散させた組織制御を活用することで加工性を高めた鋼である。さらに『SUPERHOT®-G』は鋼の強化元素であるSiやMnを低減しつつ、B添加による焼入れ性を維持した（図2；JIS材と同等の硬度分布曲線）当社独自成分設計により、更なる高加工性が必要とされる難成形部品用途に適用可能な鋼である（表1）。

写真1に発電機用スタータのロータホルダの形状を模擬したプレス部品を示す。高加工性を有する『SUPERHOT®-G（J48C）』は中空ボスが高い円筒状の部品においても割れることなく成形可能であり、AT（Automatic transmission）のクラッチハブ/ドラム、CVT（Continuously variable transmission）のピストン、シリンダーなどの駆動系部品への適用が期待される。

表1 各鋼の成分値と機械的特性（mass%）

Designation	規格	C	Si	Mn	P	S	Others	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)
SUPERHOT®-G (J35C)	JFE独自	0.35	0.01	0.35	0.017	0.004	B	261	419	40
SUPERHOT®-F (S35C)	JIS	0.32~	0.15~	0.60~	≤0.030	≤0.035	-	312	472	38
SUPERHOT® (S35C)		0.38	0.35	0.90				315	510	35
SUPERHOT®-G (J48C)	JFE独自	0.48	0.01	0.35	0.009	0.003	B	315	455	36
SUPERHOT®-F (S45C)	JIS	0.42~	0.15~	0.60~	≤0.030	≤0.035	-	339	499	34
SUPERHOT® (S45C)		0.48	0.35	0.90				345	532	30

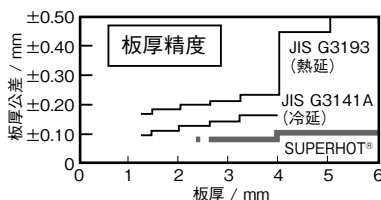


図1 『SUPERHOT®』の板厚精度

Test piece: JIS No.5 Thickness: 40mm
 YP: Yield point TS: Tensile strength El: Elongation

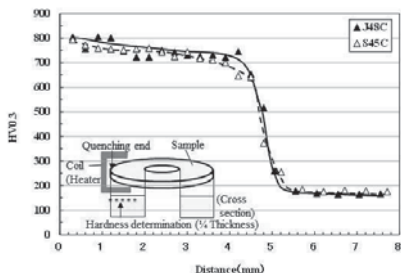


図2 高周波焼入れ材（加熱 1000℃）の硬度分布曲線



写真1 (a) J48Cおよび (b) S35Cによるロータホルダ模擬部品
 (外径：110.6mm, 高さ43.8mm) 試作結果
 (試作：株式会社ニチダイ)

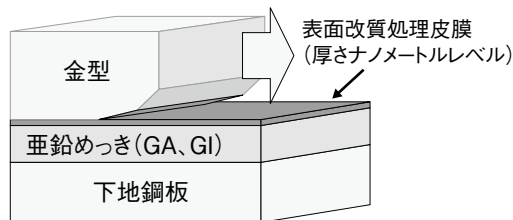
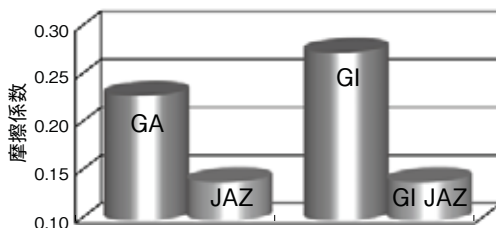
(d) 自動車用高潤滑亜鉛めっき鋼板 『JAZ[®]』 (JFE-Advanced-Zinc)

従来の固形潤滑皮膜を被覆する方法とは全く異なる発想で、亜鉛めっき鋼板の表層にナノスケールレベルの表面改質処理皮膜を設け（図1）、新たに摺動特性に優れた『JAZ[®]』を開発した。『JAZ[®]』は日系自動車メーカーに多数採用されている。これに加え、海外自動車メーカーには溶融亜鉛めっき鋼板（GI）に適用した『GI JAZ[®]』を開発し、量産を開始した。

図2に平板摺動試験法による『JAZ[®]』と従来のGA、GIの摩擦係数を示す。『JAZ[®]』の摩擦係数は低い。これは、1200t プレス試験機を用いたフロントフェンダーの実プレス成形試験でも成形可能範囲が格段に広いことに対応している。

『JAZ[®]』の特長として、表面改質層の厚さがナノメートルレベルであるため、様々な自動車用防錆鋼板と同等の優れた基本性能（溶接性、副資材との適合性（接着性）、化成処理性、塗装性）を有する。また、重金属元素などを含まないため、環境に優しい商品である。主な用途は、成形の難しいサイドパネル、フェンダー、ドア、ホイールハウスなどの外板及び内板である。

当社では、『JAZ[®]』を自動車用高潤滑亜鉛めっき鋼板の主力商品と位置付け、東日本製鉄所（千葉地区）と西日本製鉄所（福山地区、倉敷地区）での量産体制を確立し、国内外の複数の自動車メーカー向けに供給している。また、広州 JFE 鋼板有限公司、JFE スチール・ガルバナイズング（タイランド）・リミテッド、PT. JFE スチール・ガルバナイズング・インドネシアの溶融亜鉛めっきラインでの量産体制も確立し、グローバル調達できる。本技術は自動車製造工程における、プレス成形性の向上、スポット溶接後の外観改善、環境負荷の軽減、海外での汎用設備による製造を可能にした革新的な技術として、平成 21 年度 大河内記念生産賞、平成 23 年度 文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）および平成 24 年度 ものづくり日本大賞 経済産業大臣賞を受賞した。

図1 『JAZ[®]』の皮膜模式図図2 『JAZ[®]』の摩擦係数

(e) 自動車外板パネルの軽量化を実現する 440MPa 級 BH 鋼板『ユニハイテン[®]』

当社は、従来の外板パネル用鋼板に比べて形状凍結性が同等で、耐デント性（凹みにくさ）に優れた高張力鋼板『ユニハイテン[®]』を開発した。図1に『ユニハイテン[®]』の適用可能部品を示す。外板は美しい面品質が求められるため、プレス成形時には軟質で微小なゆがみ（面ひずみ）が発生しない必要がある。一方、パネル部品としては硬質で凹み変形にくい（耐デント性）という相反する特性が求められる。

表1に、『ユニハイテン[®]』の引張特性を、現在自動車外板として広く使われている 340BH と比較して示す。鋼板の段階の降伏強度（YP）は 340BH 並に低いため、成形性に優れ、面ひずみのない美しい外観が得られる。一方、パネル部品の降伏強度（YP）はプレス工程の加工硬化（WH）と塗装焼付け工程の焼付け硬化（BH）によって上昇し、優れた耐デント性を達成できる。図2にドアモデル部品で、同板厚の『ユニハイテン[®]』と 340BH の耐デント性を比較調査した結果を示すが、『ユニハイテン[®]』は大幅に残留へこみ量が軽減されていることがわかる。これにより、『ユニハイテン[®]』は外板部品として、340BH より板厚 0.05mm の薄肉化や補強材の削減が可能で、車体軽量化による CO₂ 排出削減に貢献する。

『ユニハイテン[®]』の代表的なマイクロ組織を図3に示す。『ユニハイテン[®]』は Dual Phase (DP) 鋼の製造技術を追求し、軟質組織（フェライト）の中に硬質組織（マルテンサイト）を極限まで微量に均一分散させたことで、上記の優れた特性（低 YP、高 WH、高 BH）を有する高張力鋼板を実現した。さらに、『ユニハイテン[®]』は DP 鋼特有の極めて時効劣化しにくい性質（遅時効性）のため、高温環境の地域でも安定して使用が可能である。

『ユニハイテン[®]』は自動車産業分野における貢献が高く評価され、2011 年日本金属学会技術開発賞をはじめ、2011 年日経優秀製品サービス賞、2012 年中国地方発明奨励賞、2015 年大谷美術館賞の各賞を受賞している。

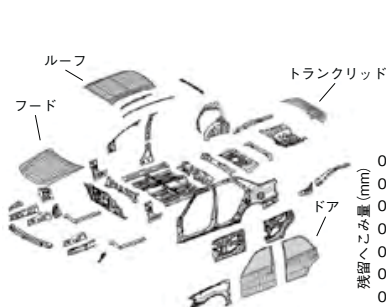


図1 『ユニハイテン[®]』の適用可能部品

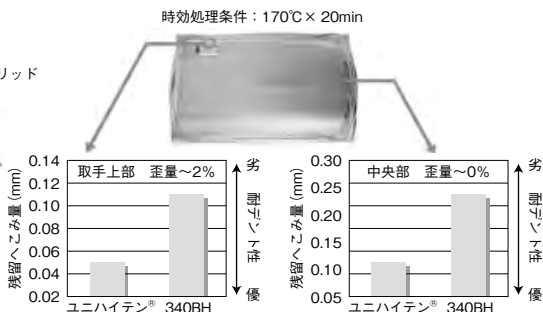


図2 『ユニハイテン[®]』の耐デント性

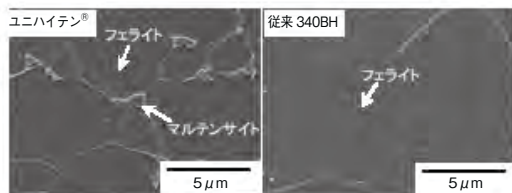


図3 『ユニハイテン[®]』および 340BH のマイクロ組織

表1 ユニハイテン[®]および 340BH の引張特性

鋼種	降伏強度 YP/MPa	引張強度 TS/MPa	伸び ^o El/%	WH /MPa	BH /MPa	YP' /MPa
ユニハイテン	242	442	38	59	51	352
340BH	242	354	41	33	35	310

(YP' =YP+2%WH+2%BH)

(f) 高成形性超高張力鋼板『JEFORMA[®]』シリーズ

自動車の燃費や車体の安全性を向上させるため、高強度化が進んでいる。従来は、DP型やマルテンサイト単相型の汎用ハイテンが、自動車骨格部品に使用されていたが、一般的に伸びや伸びフランジ性などの加工性が不十分であるとの課題があり、適用可能な部品が制限されていた。そこで、適用する部品の形状や加工方法に応じた最適な鋼板を提供するため、冷延鋼板および合金化溶融亜鉛めっき（GA）鋼板の各強度において、それぞれ3種類の特徴ある高成形性鋼板をラインアップし『JEFORMA[®]』としてシリーズ化した。

図1に『JEFORMA[®]』の機械的性質の模式図を示す。汎用鋼板よりも、伸びの高いType1（高EI型）、伸びおよび伸びフランジ性がともに高いType2（高EI－高λ型）、Type1よりさらに伸びが高いType3（超高EI型・TRIP鋼）の3タイプで、590～1180MPa級までラインナップした。図2に適用可能な想定部品の事例を示す。センターピラーの下部は袋形状をしており、張出し成形性が必要である。980GA汎用鋼板ではわれが発生しやすいのに対し、980GA-Type1（高EI型）では、絞り、張り出し複合成形部位でプレス成形が可能となっている（図3）。また、センターピラー側部のフランジでは、厳しい伸びフランジ成形が求められるにも関わらず、590GAのType2（高EI－高λ型）では、割れることなく加工が可能である（図4）。このように、適用される自動車部品の成形方法や部品形状に応じて、最適な鋼板を選択できる。

*JEFORMA：JFE Excellent Formability

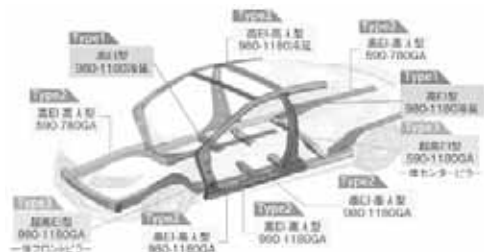
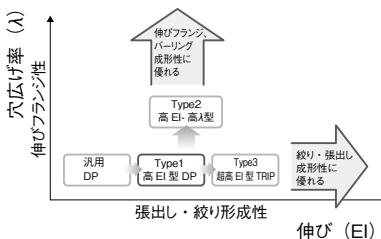


図1 『JEFORMA[®]』のタイプと成形性の特徴

図2 『JEFORMA[®]』シリーズの想定適用可能部品例

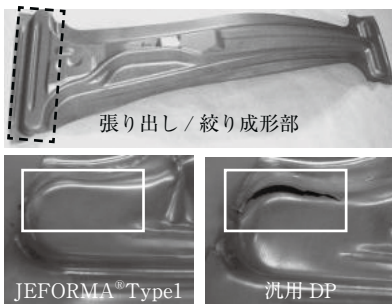


図3 センターピラー実験金型による980 MPa 級 GA Type1 (高EI型)のプレス成形性調査結果

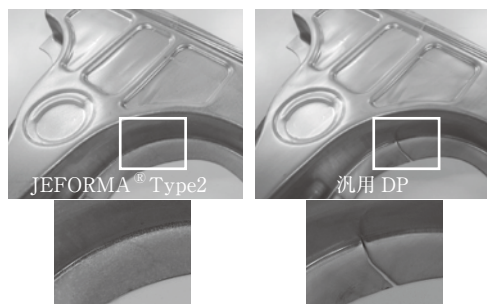


図4 センターピラー実験金型による590 MPa 級 GA Type2 (高EI-λ型)のプレス成形性調査結果

(g) 1320/1470MPa 級超高張力冷延鋼板 (WQ ハイテン)

車体軽量化による燃費向上のため、車体骨格に適用される鋼板の更なる高強度化が進んでいる。しかし、高強度化するほど成形は難しくなり、また遅れ破壊(※1)が発生する懸念も出てくることから、これまでは主に980MPa級までが使用されていた。また、これらを克服する方法として熱間プレス工法が採用された例もあるが、生産性および製造コストに課題がある。

そこで当社は、西日本製鉄所(福山地区)にある独自のWQ方式(※2)連続焼鈍プロセスを活用し、冷間成形用の鋼板としては世界最高クラスの強度を有する1320/1470MPa級冷延ハイテンを開発した。WQ方式の極めて高い冷却速度により、低合金で高強度、優れた耐遅れ破壊特性や加工性を付与することに成功した。

表1に1320/1470MPa級冷延ハイテンの機械的特性を示す。マイクロ組織を均一微細なマルテンサイト組織とすることで高強度でありながら優れた伸びフランジ性と曲げ性を有する。図1に自動車モデル部品を用いた衝突模擬試験の結果を示す。衝突性能(曲げ圧壊時の最大荷重)は素材の降伏強さに依存し、1320/1470MPa級冷延ハイテンは1470MPa級熱間プレス成形品と同等以上の衝突性能を実現する。図2は1470MPa級冷延ハイテンの耐遅れ破壊特性を評価した例である。モデル部品を酸に浸漬する厳しい水素環境下においても割れ発生のない優れた耐遅れ破壊特性を示す。このような特性から、自動車ボディの多くに適用が可能である。図3に1320/1470MPa級冷延ハイテンの適用実績および適用可能部品を示す。今後は適用部品を拡大し、一層の車体衝突性能の向上と、軽量化による燃費向上に貢献することが期待される。

※1) 応力負荷された金属に水素が侵入することで一定時間経過後に破壊する現象。

※2) 水焼入れ。Water Quenchの略。

<主な受賞歴>

- ・第13回 エコプロダクツ大賞 経済産業大臣賞
- ・平成29年度 省エネ大賞 製品・ビジネスモデル部門 資源エネルギー庁長官賞
- ・令和5年度 全国発明表彰 経済産業大臣賞

表1 1320/1470MPa 級冷延ハイテンの機械的特性

鋼種	マイクロ組織※1	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	λ (%)	曲げ性 R/t ※2
1470 開発鋼	MS	1270	1510	7	40	2.5
1320 開発鋼	MS	1160	1350	7	50	2.5
1180 従来鋼	DP	910	1260	12	40	2.0

※1 MS: マルテンサイト単相組織,
DP: フェライト+マルテンサイト複合組織

※2 90度V曲げ試験

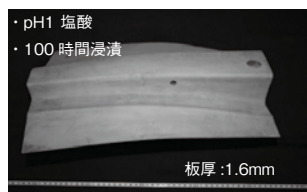


図2 1470MPa 級ハイテンの遅れ破壊評価例

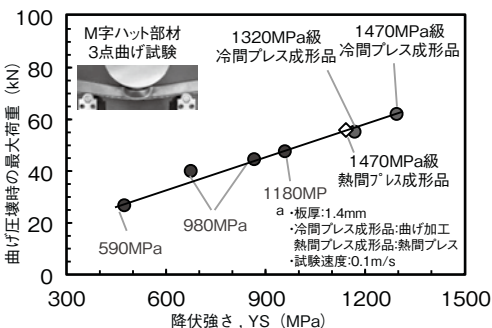


図1 モデル部品を用いた自動車衝突模擬試験

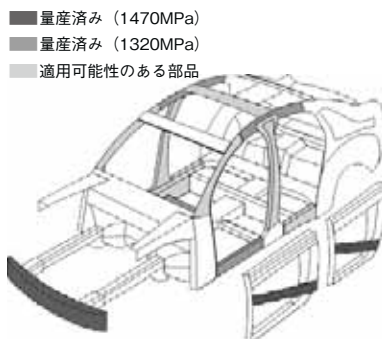


図3 1320/1470MPa 級冷延ハイテンの適用部位

(h) 自動車用鋼板の利用技術 『JESOLVA®』

鋼板から自動車車体を製造するには、複雑なプレス成形や、強固な溶接を行う、高い技術が必要である。しかし近年、車体の軽量化と衝突安全性の両立のため、鋼板のさらなる高強度化が急速に進んでおり、これに伴って成形や溶接も、その難しさを増している。また車体に求められる走行安定性や静粛性の向上を実現するため、車体の設計・評価手法も日々進化が求められている。

当社は鋼板を自動車に適用するための先進的な設計、成形、接合技術を数多く開発し、これらの利用技術全体の総称として JESOLVA® と命名した。そして鋼板と JESOLVA® をセットで提案することで、より早く、より有効に当社の鋼板を量産車に適用できる体制を構築した。

JESOLVA® は (1) 車体の最適設計や性能評価で自動車の設計部門の支援を行う「設計支援技術」(2) プレス成形の生産準備や量産安定性の改善など成形加工部門を支援する「成形技術」(3) 溶接などの車両組立部門をサポートする「接合技術」の3つの技術グループで構成。これらの技術を自動車メーカー様との EVI (Early Vender Involvement / 車体開発の初期段階から参画) 活動を通じて提案し続けており、すでに様々な技術が当社の鋼板とともに多くの量産車に採用されている。



図1 自動車分野の鋼板利用技術 JESOLVA® とその主要技術

(i) 高速溶接缶用 TFS 『BRITE-ACE[®]』

当社は溶接性を高めた高速溶接缶用ティンフリースチール、『BRITE-ACE[®]』を開発した。高速溶接を行う飲料缶向けにティンフリースチールが実用化されたのは、世界で初めてである。

従来溶接缶に用いられてきたぶりきは、冷延鋼板に錫をめっきするのに対し、ティンフリースチールは、表面に極薄のクロムめっきの膜を形成したもので、塗料密着性と美しい外観を合わせ持つと同時に、ぶりきと異なり、溶接工程で錫めっき層の剥離がなく、お客様の製造ラインの清浄性を保ちやすいという特長を有する。しかしながら、クロムめっきの表層に抵抗値の高いクロム水和酸化物が形成されるため、溶接時に過剰な抵抗発熱による溶損（スパッタ）が発生しやすく、溶接缶に不向きという課題があった。当社はこれまでクロム水和酸化物を薄く均一に形成し、溶接性を向上させたティンフリースチール『JFE BRITE[®]』を開発し、主に18リットル缶やペール缶などに使用されてきたが、一分間に数百缶という高速溶接を行う飲料缶へは適用できずにいた。

今回開発した『BRITE-ACE[®]』は、JFE スチール独自の電解技術により、図1に示すよう、表層に無数の微細粒状金属クロムを析出させたもの。接触点でのクロム水和酸化物の絶縁破壊を促進することで、『JFE BRITE[®]』と比べて接触抵抗の大幅な低減が可能となり（図2）、溶接性を向上させた。高速溶接性と従来のティンフリースチールが持つ優位性を合わせ持ち、溶接缶用途として最適な特長を有する。

『BRITE-ACE[®]』、『JFE BRITE[®]』は JFE スチール（株）の登録商標。

『BRITE-ACE[®]』：JFE BRITE by Advanced Chromium coating with Excellent weldability の略。

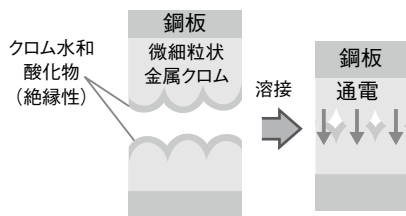


図1 『BRITE-ACE[®]』における粒状クロムによるクロム水和酸化物破壊イメージ

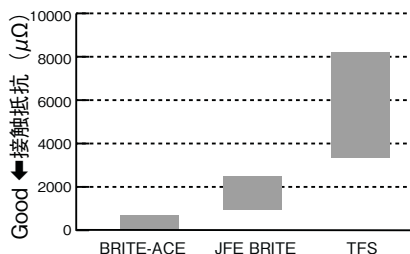


図2 『BRITE-ACE[®]』と他材料の接触抵抗の比較



写真1 『BRITE-ACE[®]』を用いた溶接飲料缶

(j) 橋梁の耐久性向上とライフサイクルコスト低減に寄与する新耐食鋼板（塗装寿命延長鋼板『EXPAL[®]」、高塩分対応型高耐候性鋼板『LALAC[®]-HS』）インフラとして長期間にわたって使用される橋梁などの鋼構造物は、塗装の塗替えを行うことで延命を図る必要があり、ライフサイクルコストの低減が求められている。特に海岸地域や凍結防止剤を散布するなど飛来塩分量の多い地域の構造物は、厳しい腐食環境下におかれることから、腐食による劣化を抑制することが極めて重要である。

塗装寿命延長鋼板『EXPAL[®]』は、鋼に微量の耐食元素を複合的に添加することにより、塗装後の塗膜下での腐食・膨れを抑制し、耐食性が向上することを利用した鋼板である。橋梁で一般的に用いられるC-5塗装系において、大気腐食を模擬する腐食試験（図1、図2(a)）から長期の塗膜膨れ幅を予測した結果（図2(b)）、普通鋼と比較して塗装を2倍以上延命できることが確認された。厳しい腐食環境下において使用した場合、普通鋼が一般的に約30年に1回の塗替えが必要なところ、『EXPAL[®]』では塗装寿命を73年まで延長することが可能となる。

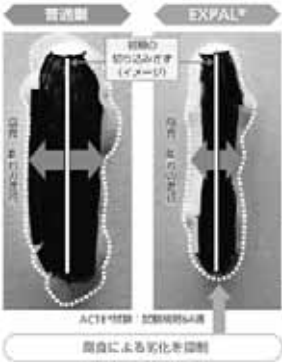
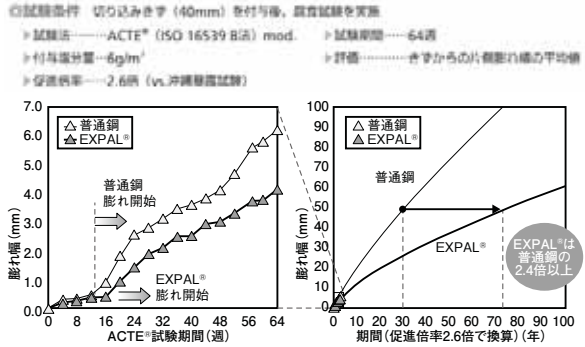


図1 腐食試験結果例
(ACTE[®] 試験後の試験片
外観、C-5 塗装系)



(a) ACTE[®] 試験結果 (b) 膨れ幅長期予測結果
 図2 普通鋼とEXPAL[®]の塗装後腐食量（膨れ幅）比較

一方、高塩分対応型高耐候性鋼板『LALAC[®]-HS』は、飛来塩分量の多い地域でも優れた耐候性を発揮し、無塗装で使用できる鋼板である。従来のニッケル系高耐候性鋼には多量のニッケルが添加されていたが、『LALAC[®]-HS』では、塩分環境での耐食性を低下させるクロムを添加せず、耐食元素であるスズ、ニオブを微量複合添加することにより、ニッケル添加量を抑制しつつ、従来のニッケル系高耐候性鋼 (JFE-ACL-Type1) とほぼ同等の耐候性を得ることに成功した (図3)。

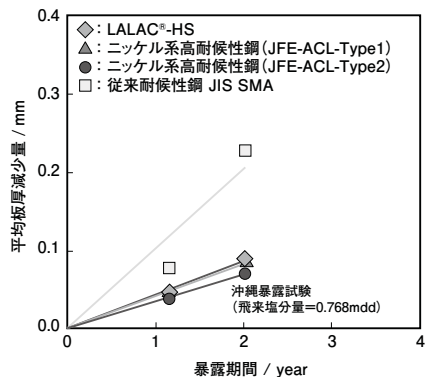


図3 沖縄での暴露試験結果

(k) 大入熱溶接が可能な最高強度の高層建築用厚鋼板（建築構造用低降伏比 780N/mm² 級厚鋼板『HBL[®] 630』）

近年の都心オフィスの再開発案件では、建築空間を有効活用すべく、従来に増して高層化と大規模化が進んでいる。また、大空間で自由度の高い下層エントランス空間を実現すべく柱本数を集約した架構形式（図1）が普及している。そのため、下層柱には、高い荷重が作用する傾向にあり、これまで以上に高い強度の鋼材が求められている。当社は高層建築物の下層部の鉄骨柱に用いられる溶接組立箱形断面柱（ボックス柱）向け高強度化ニーズに対応するため板厚 22～100mm の建築構造用低降伏比 780N/mm² 級厚鋼板『HBL[®] 630』を開発し、国土交通大臣認定を取得した。

HBL シリーズの厚鋼板は、ボックス柱用途の厚鋼板として、高強度かつ高変形性能（低降伏比）を有し、建築物の耐震安全性の確保に寄与する鋼材として広く普及しており、なかでも、今回開発した『HBL[®] 630』は、当社の独自技術による最適な化学成分設計と、新たな熱処理設備（Super-RQ）を活用した高度な冷却制御により、世界最高の強度と低降伏比の両立した厚鋼板で、大入熱溶接が可能な 780N/mm² 級厚鋼板は世界初である。昨今、建設業界では溶接工不足の深刻化と共に省力化のニーズが増しており、『HBL[®] 630』への大入熱溶接（エレクトロスラグ溶接）の適用により、780N/mm² 級厚鋼板によるボックス柱の施工効率化を実現可能とし、適用を進めている（図1、写真1）。

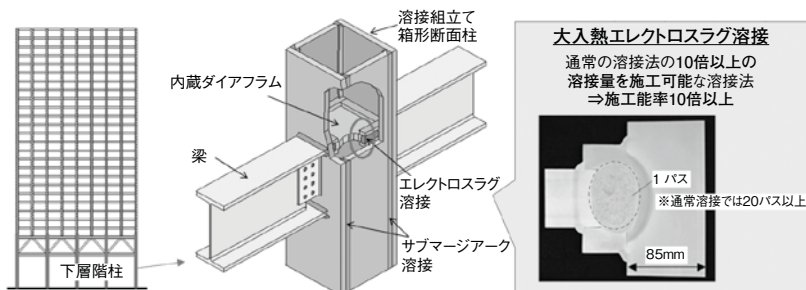


図1 溶接組立箱形断面柱（ボックス柱）



写真1 HBL[®]630 を用いたボックス柱サンプル

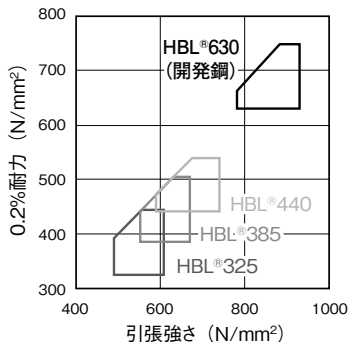


図2 HBL[®] シリーズ性能比較（引張特性）

(I) 『J-STAR[®]溶接』技術 (JFE-Spray-Transfer-Arc-Welding)

炭酸ガスアーク溶接法は、汎用性が高く比較的安価な溶接方法として広く用いられている。しかし、溶接時に発生する溶融金属の飛散物（スパッタ）が多いことが最大の課題であり、加えて施工能率のさらなる向上も要望されていた。

この要望に対し、アークが著しく不安定であることから適用されてこなかった正極性溶接（ワイヤがマイナス極）の課題を、REM（希土類金属）をワイヤに適量添加する制御技術を確認することにより克服した（図1参照）。

『J-STAR[®]溶接』の主な特長は以下の通り。

1. 溶接時の飛散物（スパッタ）低減（従来の約 1/10）
2. 溶接部の開先断面積削減による溶接ワイヤの低減および溶接時間の短縮
3. 溶接アーク音の静粛化、および溶接ヒューム発生量の低減（いずれも従来の約 1/2）による溶接作業環境の改善
4. 溶接表面の酸化物（スラグ）の剥離性向上による除去作業の低減

『J-STAR[®]溶接』はこれらの利点により、超狭開先溶接を可能にしており、大型コンテナ船の板継溶接や熊本城大天守の補修工事に採用されている（図2、図3参照）。更に、既存のガスシールドアーク溶接機で効果が得られるため、新たな設備投資が不要であり、建築・鉄骨・橋梁・造船・建機と幅広い分野での用途拡大を推進している。『J-STAR[®]溶接』はその技術内容と産業上の実績が高く評価され、第58回（平成23年度）大河内記念技術賞を受賞している。

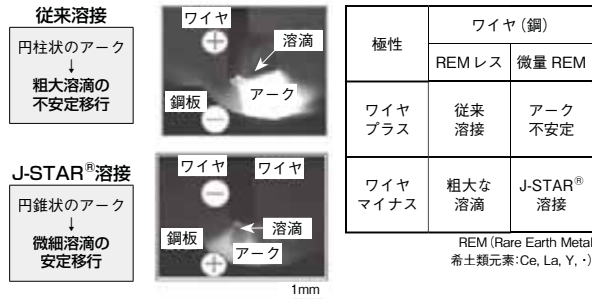


図1 従来溶接と『J-STAR[®]溶接』



図2 熊本城大天守6階鉄骨造の外観

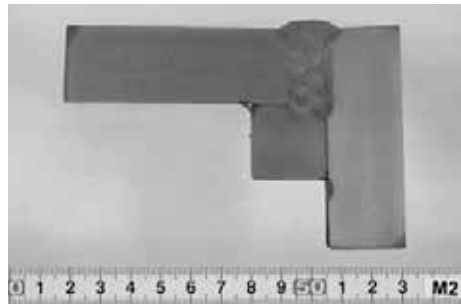


図3 『超狭開先 J-STAR[®]溶接』を用いた角溶接部の断面マクロ

(m) 高耐食クロム系ステンレス鋼 『JFE443CT』

ステンレス鋼の代表鋼種である SUS 304 (18%クロム－8%ニッケル) と同等以上の耐食性を有し、かつニッケルやモリブデンを添加しない「ニッケル・モリブデンフリー高耐食クロム系ステンレス鋼：『JFE443CT』 (21%クロム－0.4%銅－チタン)」を世界に先駆けて開発し量産化した。

ステンレス鋼の代表鋼種である SUS 304 はニッケル原料価格の影響を受けやすい。また、この代替鋼種として、希少金属のモリブデンを1%程度含有した SUS 436L (18%クロム－1%モリブデン－チタン) が検討されるが、モリブデンもニッケルと同様に高騰する原料であるため、価格が原料価格に影響される。

これに対して開発鋼は、ニッケルやモリブデンを含有せず、これら希少元素に比べ比較的安価な代替元素であるクロムを21%まで高め、また高クロム鋼で耐食性を向上させる効果が大きい銅を0.4%添加することにより、SUS 304 と同等以上の耐食性を確保した。さらに、加工性および溶接性を改善するために、不純物元素である炭素や窒素を低減し、さらに安定化元素であるチタンを微量添加した。

高耐食クロム系ステンレス鋼 『JFE443CT』 は、ニッケル・モリブデンを含有しないため省資源に寄与することに加え、以下の特長を持つ。

- 1) 耐食性は SUS 304 と同等以上。また耐候性は SUS 304 以上 (写真1)
- 2) ニッケル・モリブデンを添加しないため、SUS 304 より安価かつ価格が安定
- 3) 加工性は SUS 436L と同程度。深絞り性は SUS 304 よりも優れている
- 4) 磁性があり熱伝導が良い

『JFE443CT』は、現在 SUS 304 が使用されている各種用途、すなわち、建材、産業機械、厨房、家電、自動車に代表される各種産業分野にわたっており、さらに適用範囲が拡大している。

なお、『JFE443CT』は SUS 304 に代わる省資源型ステンレス鋼としてその実力を認められ、2008年に第40回市村産業賞功績賞を受賞した。また、『JFE443CT』は2010年に「SUS443J1」として JIS 規格化されたほか、UNS No. S44330 として ASTM 規格化された。

また建築分野では、2013年までに公共建築工事標準仕様書および建築工事監理指針に材料明記されたほか、SUS 304 と同等の耐食性を持つことを証明する建築技術審査証明書を取得した。

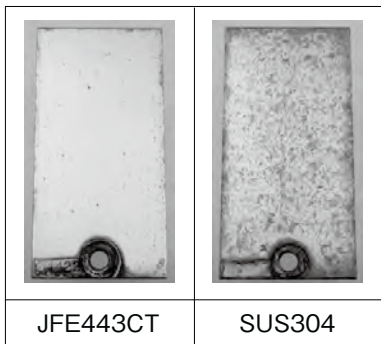


写真1 『JFE443CT』とSUS304の耐食性比較(沖縄5年暴露結果)



写真2 『JFE443CT』の適用事例

(n) 高耐熱フェライト系ステンレス鋼『JFE-TF1[®]』

自動車のエキゾーストマニフォールド等エンジンに近い高温排気系部材は、エンジンからの排ガスにより温度が上昇するため優れた耐熱性が必要とされる。また、昇温と降温が繰り返される際の熱膨張、熱収縮に伴う歪の発生が小さくなるよう、熱膨張係数が比較的小さいフェライト系ステンレス鋼が多く使用されている。

従来から高温排気系部材には、ニオブ添加により耐熱性を高めたフェライト系ステンレス鋼 Type 429 (15%クロム - 0.5%ニオブ) や、ニオブに加えてモリブデンを複合添加することでさらに耐熱性を高めた高耐熱フェライト系ステンレス鋼 SUS 444 (19%クロム - 2%モリブデン - 0.4%ニオブ) が多く使用されている。

これに対し、原料が高価であるほか価格が乱高下しやすい元素であるレアメタルのモリブデンを添加することなく、実使用環境において、鋼の強度を大きく増加させる銅およびアルミを適量添加した、SUS 444 と同等の耐熱性を有する省資源型高耐熱フェライト系ステンレス鋼:『JFE-TF1[®]』(17.5%クロム - 0.45%ニオブ - 1.25%銅 - アルミ)を開発し、量産化した。

高耐熱フェライト系ステンレス鋼『JFE-TF1[®]』は、モリブデンを含有しないため、省資源に寄与するのみならず、以下の特徴を有する。

- 1) 耐熱性は高耐熱フェライト系ステンレス鋼 SUS 444 と同等
- 2) モリブデンを添加しないため、SUS 444 より安価でかつ価格が安定
- 3) ランクフォード値 (r 値) 等、室温における加工性は SUS 444 より優れている
- 4) 汎用耐熱フェライト系ステンレス鋼 Type 429 に比べ耐熱性が優れるため、Type 429 等からの置き換えにより薄肉軽量化が可能

『JFE-TF1[®]』の適用用途としては、主に自動車の高温排気系部材 (エキゾーストマニフォールド、触媒コンバータケース等) が挙げられる。他にも、高温環境で使用される産業機器への適用も期待される。

『JFE-TF1[®]』は新しい省資源型ステンレス鋼であることを高く評価され、米国の2014年 R&D 100 Awards (材料分野)、2015年ものづくり日本大賞 (経済産業大臣賞) を受賞した。

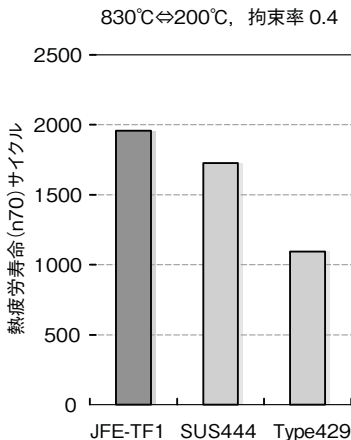


図1 『JFE-TF1[®]』の熱疲労特性

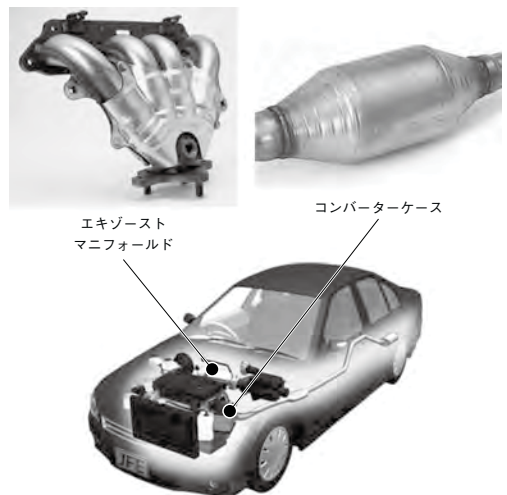


写真1 『JFE-TF1[®]』の適用可能部材

(o) 次世代高耐食性ステンレス油井用鋼管『UHP[®]-15CR/17CR』

石油や石炭に比べて炭酸ガス排出量の少ない天然ガスの需要が増加し、高深度油井・ガス井の開発が活発化している（図1）。腐食性のある井戸では13CR、HP-13CRが主に使用されてきたが、最近はさらに深い井戸が開発されている。地中では深度が増すにつれて高温・高圧になり、炭酸ガスなどの腐食性のガスも増えてくるので、井戸を構成する材料は高温の厳しい腐食環境にさらされる（図2）。深い井戸では2相ステンレス鋼、高Ni合金などの高価な材料を使用する必要があり、安価で高強度、高耐食性を兼ね備えた新材料が求められていた。その要求に応えるため、マルテンサイト系ステンレス鋼（15% Cr 添加）である『UHP[®]-15CR』、マルテンサイトとフェライトの2相鋼（17% Cr 添加）である『UHP[®]-17CR』を開発した。『UHP[®]-15CR』は200℃、『UHP[®]-17CR』は230℃までの炭酸ガス+微量硫化水素環境で使用可能で、且つ高強度を有する鋼管である。従来材と比較して合金元素の削減による省資源化、冷間引抜加工レスによる省工程化、短納期化を達成し、環境に優しい天然ガス開発に大きく貢献している。

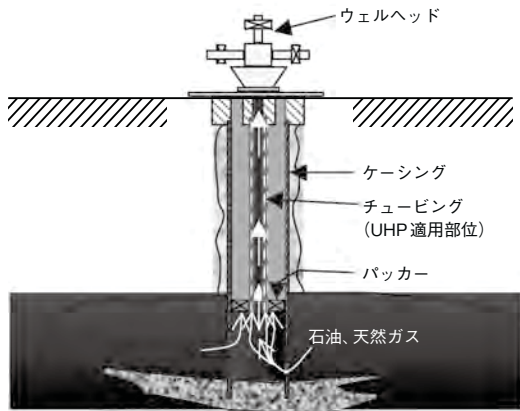


図1 油井・ガス井の構造と高合金油井管の適用

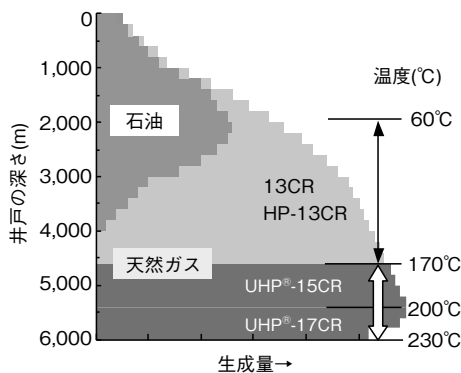


図2 井戸の深さと温度および使用材料の関係

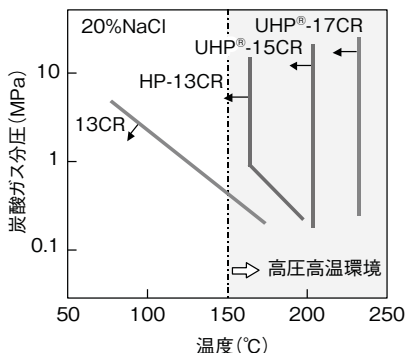


図3 13CR、HP-13CR、
『UHP[®]-15CR/17CR』の耐食性

(p) ラインパイプ用電縫鋼管『マイティーシーム®』

当社は、従来品に比べ溶接部の信頼性を飛躍的に向上させた電縫鋼管『マイティーシーム®』を開発した。『マイティーシーム®』はこれまで主にシームレス鋼管や UOE 鋼管が使用されていた寒冷地などの石油・ガス用のラインパイプに適用される。本技術は京浜地区の 24 インチ電縫鋼管工場と知多地区の 26 インチ電縫鋼管工場に導入済である。

当社では、従来から電縫鋼管の溶接部の性能向上に取り組み、高級ラインパイプ用電縫鋼管を製造してきた（図 1）。しかし極寒冷地の低温下では、溶接時に発生する酸化物の影響で靱性が局部的に著しく低下する可能性があるため、電縫鋼管の使用を避ける傾向があった。そこで酸化物の形態や分布を制御することにより溶接部の特性を改善した電縫溶接技術を開発・商品化した。技術的には以下の特色がある。

① 管全長にわたって良好な低温靱性を確保する製造技術。

電縫溶接部の加熱溶融挙動の解析を行い、電縫溶接中に生成する酸化物の連続的な最適排出条件を見出し、実際に適用した。

② 電縫溶接部に存在する微小酸化物の分布をフェーズドアレイ超音波検査でオンライン測定し、機械的性質を全長評価。

微小酸化物の検出能力の高感度化の結果、低温靱性に相関のある超音波測定値を得ることを可能にし、全長非破壊評価を実現した（図 2）。

※フェーズドアレイ超音波探傷：微小な振動子を多数配列したアレイ探触子を用いる超音波探傷法。各振動子の送受信タイミングにわずかな時間差を加えることで、超音波ビームの方向や集束位置を任意に変えながら探傷することができる（図 3）。

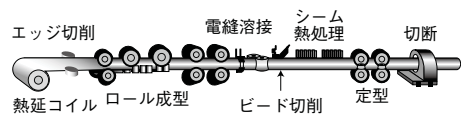


図 1 電縫鋼管の製造工程（例）

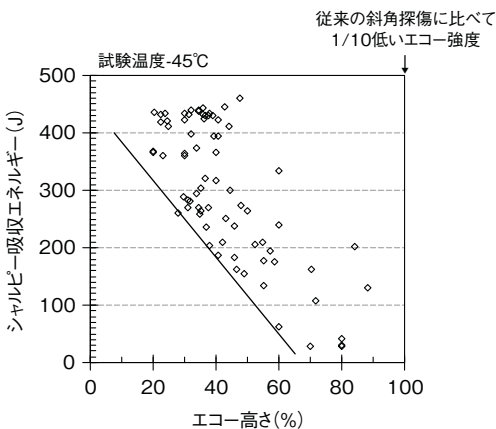


図 2 高感度電縫管溶接部フェーズドアレイ超音波検査技術

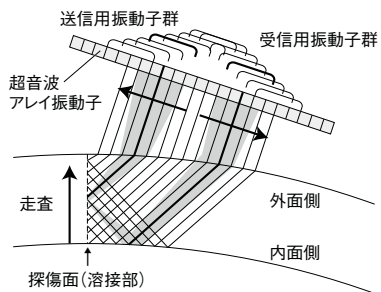


図 3 高感度探傷による低温靱性評価例

(q) 高周波用途電磁鋼帯 『JFE スーパーコア®』

環境保護を目的とした電気機器の省エネ・高効率化の法制化や電源機器の小型化ニーズに伴い駆動周波数の高周波化が進んでいる。ここで使用される高周波リアクトル、トランスや高速モーターの鉄心用途として、高周波低鉄損および低騒音特性を有する 6.5%けい素鋼板を世界で唯一実用化した。鋼板表面よりけい素を浸透させる技術（連続浸けい法）を用い、ゼロ磁歪（低騒音）特性を有する JNEX コア®（6.5%けい素鋼板）、ならびに板厚方向にけい素の濃度勾配を形成させ高周波鉄損を低下させた JNHF コア®（傾斜高いけい素鋼板）などの品種を商品化している。

従来材に比べ鉄損 1/2 以下、騒音 1/10 といった優れた特長を持つため、ハイブリッドカーや太陽光発電、エアコン、電車電源など低騒音や省エネ・高効率化を要求される様々な電機機器に使用されている。

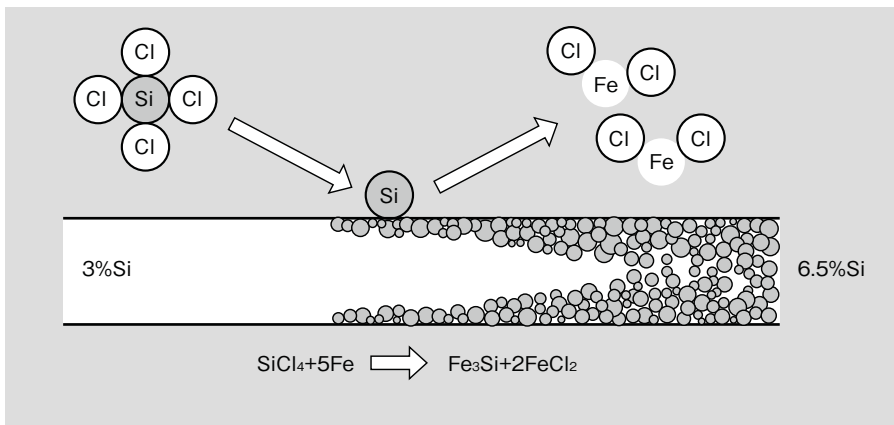
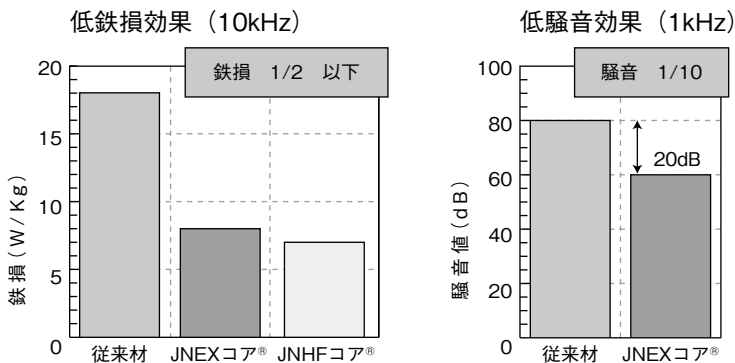


図1 浸けい法による Si 添加の原理



※従来材：方向性電磁鋼板（板厚 0.1mm）

図2 『JFE スーパーコア®』の鉄損・騒音特性

(r) ニッケルフリー合金鋼粉『FM1300S』～高強度と高靱性を兼ね備えた粉末冶金用途向け鉄粉～

ニッケル(以下、「Ni」)の含有無しでありながら、引張強さ1300MPa級の高強度と、Ni含有合金鋼粉と同等以上の靱性および疲労強度を備え、被削性にも優れた粉末冶金用途向けのNiフリー合金鋼粉『FM1300S』を商品化した。お客様工場での焼結部品製造時に、特殊な炉を用いた1200℃を超える高温焼結^{*1}ではなく、普通焼結^{*2}で部品を製造することができるため、大幅なコスト低減だけでなく、エネルギー使用量やCO₂排出量の削減も可能となる。

焼結部品には、Niが4%含まれる合金鋼粉が広く使われているが、焼結後に被削性が悪化して加工費が増加するだけでなく、Niの市況影響を受けやすいという課題がある。当社は、多彩なラインナップを持つNiフリー合金鋼粉『FMシリーズ』を開発・販売し、お客様の製品品質向上およびコスト低減に貢献してきた。一方で、1300MPa級の引張強さが要求される部品には、4%Ni合金鋼粉およびNiフリー合金鋼粉のいずれを用いる場合でも、高温焼結が必要になってしまうことから、部品製造時のさらなるコスト低減が求められていた。

そこで当社は、モリブデン(以下、「Mo」)粉を拡散付着させた高純度純鉄粉に、微細な銅(以下、「Cu」)粉を混合した合金鋼粉『FM1300S』を開発した(図2・3)。微細なCu粉および粒子表面のMo粉が焼結を促進するため、普通焼結でも、引張強さ1300MPaを超える高強度化に成功した(図4)。さらに、高純度純鉄粉により、圧縮成形時の高密度化が可能となるため、4%Ni合金鋼粉と同等以上の高強度、高靱性および高疲労強度を実現した(図5・6)。これにより、従来の高温焼結で製造された引張強さ1300MPa級焼結部品に比べて、大幅なコスト低減だけでなく、エネルギー使用量やCO₂排出量の削減も可能となる。今後は、高強度が要求される自動車部品や、耐摩耗性が要求される建設機械部品などへの適用を目指す。

^{*1}高温焼結:耐熱性の高い特殊なトレーに部品を並べて載せ、1,250℃前後の焼結炉内に、プッシャー装置で1トレーずつ挿入する焼結方法。

^{*2}普通焼結:最も一般的に使用されているメッシュベルト炉(最高温度1,150℃)を用いた焼結。ベルトコンベヤで連続的に部品を挿入できるため、高温焼結に比べて生産性が高い。



図1 『FM1300S』写真

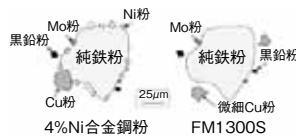


図2 『FM1300S』の粒子構造

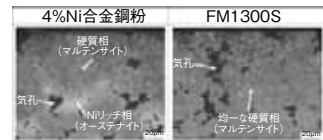


図3 『FM1300S』焼結体の組織構造

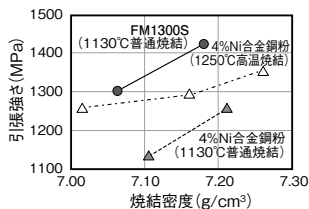


図4 焼結密度と引張強さの関係

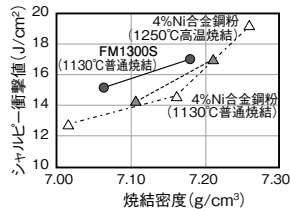


図5 焼結密度と衝撃値(靱性)の関係

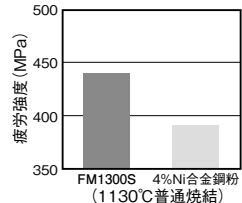


図6 FM1300S焼結体の疲労強度(686MPa成形)

(s) 鉄鋼スラグ製品

鉄鋼スラグは、鉄鋼製品の製造プロセスである高炉、転炉から副産物として発生する。当社は、溶鉄予備処理法の確立、鉄鋼スラグの所内リサイクルの推進により鉄鋼スラグの発生低減に取り組む一方で、スラグ製品の製造・利用技術の開発やJIS規格化を推進している。鉄鋼スラグ製品は、省資源・省エネルギーの観点から環境負荷を低減させるリサイクル材として評価されており、下記一覧に示すような道路・港湾整備等の建設資材や、海域環境改善材等の環境資材として、発生する鉄鋼スラグのほぼ100%を有効利用している。

製品	用途
鉄鋼スラグ路盤材	道路用路盤材
高炉水砕スラグ、高炉スラグ微粉末	セメント原料
高炉スラグ細骨材	コンクリート原料
土工用水砕スラグ	護岸裏込め材、盛土材など
地盤改良用製鋼スラグ	サンドコンパクションパイル材など
鉄鋼スラグ水和固化体	港湾の被覆石、消波ブロックなど
カルシア改質材	港湾の埋立材、浅場・干潟造成材など
マリンストーン [®]	海域の底質・水質改善材、浅場・藻場基盤材
マリンブロック [®]	サンゴ造成礁、藻場造成礁

【鉄鋼スラグ製品の利用事例】

◆鉄鋼スラグ路盤材

高炉スラグまたは製鋼スラグを破碎・粒度調整・エージングして製造しており、「JIS A 5015 道路用鉄鋼スラグ」に準拠している。



鉄鋼スラグ路盤材

施工状況

◆鉄鋼スラグ水和固化体

高炉スラグ微粉末、製鋼スラグと水などを練り混ぜて水和固化させた製品。港湾工事におけるコンクリートブロックや石材の代替材として利用可能であり、天然材採取による環境負荷の低減やセメント使用量の削減によるCO₂抑制に貢献する。



鉄鋼スラグ水和固化体

◆カルシア改質材

製鋼スラグを成分管理・粒度調節した製品。浚渫土とカルシア改質材を混合したカルシア改質土は強度改善が期待できるため、埋立て材、浅場・干潟造成材などに適用可能であり、浚渫土の有効活用に貢献する。



浚渫土

カルシア改質材

カルシア改質土

カルシア改質材とカルシア改質土



カルシア改質土を用いた浅場・干潟造成

(t) 重貨物鉄道用高耐摩耗パーライトレール『SP3』

北米、豪州などの鉱山鉄道では、輸送効率向上のために積載重量が増大しており、レール頭部の摩耗増加や表面損傷の発生促進を招き、結果、レール寿命が低下している。

そこで、耐摩耗性を向上させた重貨物鉄道用高耐摩耗パーライトレール『SP3』を開発した。『SP3』は、適正な化学成分の設計と圧延後のオンライン冷却設備による冷却の最適化を図ることでパーライト組織を極限まで微細化することに成功（図1）し、レール表面硬さだけでなくレール寿命を支配する内部の硬さも向上させた（図2）。

米国の重貨物輸送を主体とする鉄道路線に対して、レール摩耗が多いカーブ区間に『SP3』を敷設し、実使用に伴うレール摩耗ならびに表面疲労損傷の観察を行った（写真1）。その結果、従来熱処理レールの摩耗量を100とすると『SP3』の摩耗量は平均87まで減少し、優れた耐摩耗性を示した（図3）。また、レール表面の転動疲労損傷も軽微となり、レールの耐久性向上にも有効であることが実証された。

今後、『SP3』の使用拡大によりレールの長寿命化を実現させ、鉄道会社でのレールメンテナンスコスト低減に寄与できると期待している。

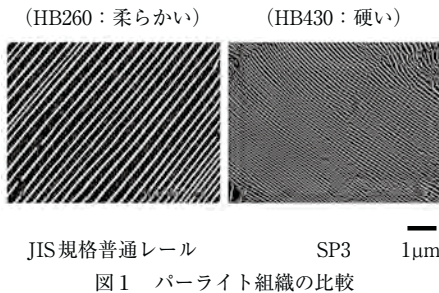


図1 パーライト組織の比較

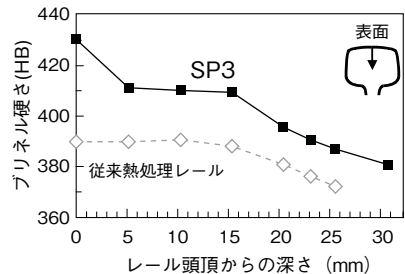


図2 レール頭部の硬度分布



写真1 『SP3』の敷設場所

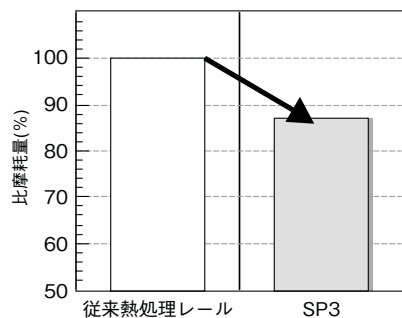


図3 レール耐摩耗性評価結果

(u) 国内最大板厚・最高強度を有する冷間ロール成形角形鋼管『JBCR[®]シリーズ』
 建築構造用冷間ロール成形角形鋼管（ロールコラム）BCR295[※]は、主に中低層の鉄骨造建築物の柱材として広く普及している。昨今、需要旺盛な物流施設など建築物の大型化が進むとともに、南海トラフ地震や首都直下地震といった想定地震動の巨大化により、建築物の柱材にはこれまで以上に高い耐力や耐震性能が求められている。

このような背景のもと、当社は、BCR295の最大板厚25mm（開発当初：22mm）を上回る板厚28mmまで製造可能とした国内最大厚肉のロールコラム『JBCR[®]295』、BCR295の基準強度（F値）295N/mm²を約1.3倍に高めた基準強度385N/mm²の国内最高強度のロールコラム『JBCR[®]385』を開発し、国土交通大臣認定を取得している。これにより、柱をロールコラムのみで設計できる建物の規模が広がり、なおかつ短納期での納入が可能なお客様から高い評価を得ている。

一般的に、鋼材は強度が高くなると靱性が減少して変形性能が低下するが、JBCR[®]385は当社の独自技術である最適な成分設計と製造方法を駆使し、高強度と高靱性の両立を実現した。また、溶接性も高く、溶接接手には汎用的な溶接材料であるYGW18が適用可能となっている（※ただし、溶接入熱・パス間温度、等価炭素当量、銘柄等の条件あり）。さらに、JBCR[®]シリーズは建物の設計法に関する一般財団法人日本建築センターの評定も取得しており、従来のBCR295と同様の設計が認められている。

※「BCR」は、一般社団法人日本鉄鋼連盟の登録商標

寸法 (mm)	板厚 (mm)							
	6	9	12	16	19	22	25	28
200x200	○*	○*	○*					
250x250	●	●	●	●				
300x300	●	●	●	●	●	○*		
350x350		●	●	●	●	●	●	●*
400x400		●	●	●	●	●	●	●*
450x450		●	●	●	●	●	●	●*
500x500		●*	●	●	●	●	●	●*
550x550		●	●	●	●	●	●	●*

※印の製品については事前にご相談下さい
 ●：JBCR[®]385 製造範囲 ○：BCR295 製造範囲 ●：JBCR[®]295 製造範囲
 「JBCR[®]385」「JBCR[®]295」は、建築基準法第37条第2項による国土交通大臣の認定を取得したJFEスチールの独自規格です。

図1 製造範囲

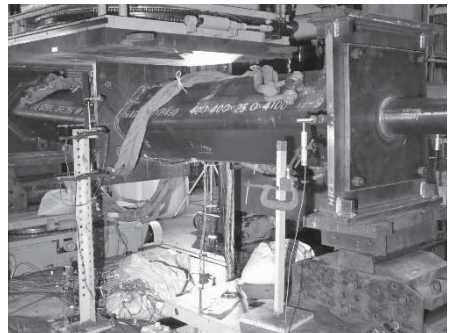


写真1 性能実証実験

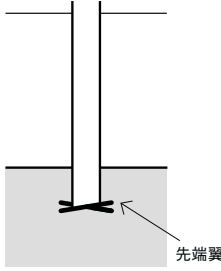
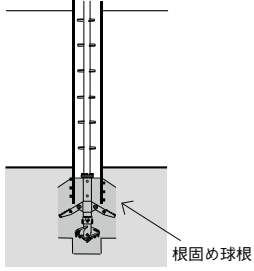


内容	JBCR [®] 385	BCR295、JBCR [®] 295
許容応力度の基準強度 F	385N/mm ²	295N/mm ²
設計ルート1/柱の応力割増係数	材料強度の基準強度は上記数値の1.1倍以下	材料強度の基準強度は上記数値の1.1倍以下 内ダイヤフラム形式:1.2(※1,2)(ダイヤフラムを落とし込む形式としたものを除く。) 上記以外の形式:1.3(※1,2)
設計ルート2,3/柱としての幅厚比規定 (辺長/板厚)	FAランク:33√235/F(※1,2) FBランク:37√235/F(※1,2) FCランク:48√235/F(※1,2)	
設計ルート3/柱耐力低減係数	内ダイヤフラム形式:0.8(※1,2)(ダイヤフラムを落とし込む形式としたものを除く。) 上記以外の形式:0.75(※1,2)	
設計ルート3/保有耐力接合安全率	柱継手・仕口および柱脚:1.2(※1)	柱継手・仕口および柱脚:1.3(※2)

※1：BCJ評定-STO274-01にて評価を取得した項目（JBCR[®]385） ※2：BCJ評定-STO216-02にて評価を取得した項目（JBCR[®]295）

図2 設計指標（第三者評価機関による性能評価）

(v) 環境に配慮した大支持力鋼管杭工法

環境に配慮し、高い支持力性能、優れた施工性を備えた鋼管杭工法を開発し、土木・建築各分野での普及につとめている。

	つばさ杭 [®]		コン剛パイル [®] 工法	
	先端翼付き回転貫入鋼管杭		高支持力先端拡大根固め杭工法	
杭概要図				
杭先端部				
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○先端部に半円形の2枚の交差翼を設け、回転貫入する工法。先端翼により大きな支持力を発現。杭先端に開口部を設けた開端タイプを用いることにより大径杭の施工も可能。 ○先端翼のアンカー効果により、大きな引抜き抵抗を発揮。 ○完全無排土施工が可能。セメントミルク等を使用せず、環境負荷が非常に小さい。 ○最大15°までの斜杭施工が可能。 		<ul style="list-style-type: none"> ○杭先端部に最大で杭径の2倍の根固め球根を築造し、杭材には鋼管杭と既製コンクリート杭の組み合わせが可能である合理的な高支持力杭工法。 ○杭先端に取付けた内外面突起と根固め球根が一体化することで、長期先端許容支持力は最大で24,400kNを発現（鋼管杭工法国内最大級）。これにより杭本数削減が可能となり、施工量が減るため、環境負荷低減に寄与。 ○現場条件に応じて施工法を中掘り、プレローリングから選択可能。 	
建設残土	全く発生しないため、残土処分・搬出作業が不要。		低排土（杭体積の60%程度）により残土処分・搬出作業の削減が可能。	
先端支持力（長期）	最大約12,000kN		最大約24,400kN（鋼管杭工法国内最大）	
適用範囲	杭径	φ114.3mm～φ1600mm	φ400mm～φ1500mm	
	先端地盤	砂質地盤、礫質地盤	砂質地盤、礫質地盤	
	最大施工深さ	87m	76m	
認証	（開端）鉄道支持力評価 土木審査証明 第1013号 国土交通大臣認定 TACP-0413 （閉端）土木審査証明 第0104号 国土交通大臣認定 TACP-0395		国土交通大臣認定 TACP-0582,0583 評定書 CBL FP025-18号	
適用構造	<ul style="list-style-type: none"> ○道路・鉄道橋などの土木構造基礎 ○マンション、オフィスビル、倉庫など中低層建築物の基礎 		<ul style="list-style-type: none"> ○大型物流倉庫、大型建屋、発電所建屋などの基礎 ○狭隘地での中層建築物の基礎 	
その他	現場継手に機械式継手（ハイメカネジ [®] など）を適用することにより、現場作業の省力化、生産性向上、工期短縮に寄与。			

(w) 本仮設兼用合成地下壁 『J-WALL® II 工法』

近年、都市部の各所で再開発が行われており、狭あいな土地に必要な幅の地下空間を確保しなければならないというケースが増加している。従来は、仮設の鋼矢板を土留め壁として打設した後に、鉄筋コンクリート製の地下壁を構築する工法が採用されているが、一定の施工幅が必要となり用地を最大限に有効活用できないという課題があった。さらに、上述のような厳しい施工条件の下での地下壁構築工事には時間がかかることから、全体工期や工費を圧迫しており、工期短縮やコストダウンを実現する工法が望まれていた。

当社は、これらの課題を解決するため、仮設と本設を兼用する合成地下壁『J-WALL® II 工法』を開発した。本工法は、ハット形鋼矢板にC T形鋼および定着用鉄筋をあらかじめ工場で溶接した合成構造用鋼矢板『ビートルパイル®』を土留め壁として利用し、さらに後打ちの鉄筋コンクリートと一体化させることで本設の合成地下壁を構築する工法である。従来工法と比較して地下壁の構築に必要な幅を20～30%以上縮小できるため、限られた用地内で構造物を最大限の広さに築造でき、土地を有効利用することが可能である。また、地下壁構築の施工数量（外足場・型枠組立・解体、鉄筋組立等）が削減できるため、工期短縮と地下壁の構築費の削減が可能である。

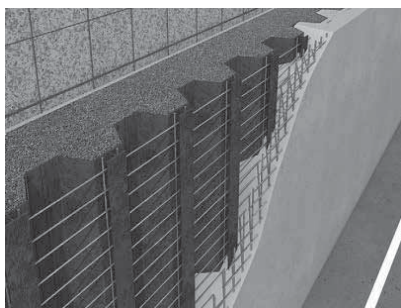


図1 『J-WALL® II 工法』

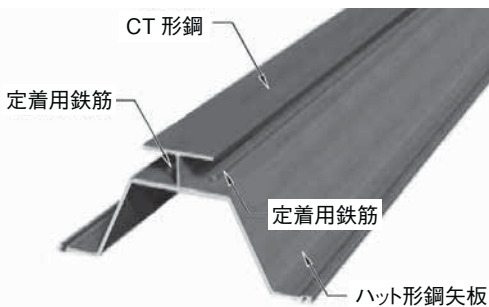


図2 ビートルパイル®

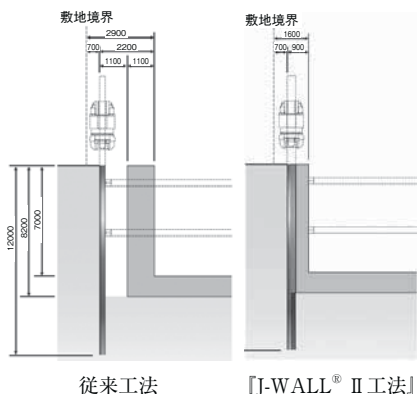


図3 従来工法との施工幅比較



図4 適用事例（建築物の耐震化）

(x) 熱処理省略可能な高冷間鍛造性肌焼鋼『JECF[®]』

自動車や建設機械の歯車・シャフト等に用いられる肌焼鋼は動力伝達部品に用いられるため、優れた強度、疲労特性を求められる。それら部品の一部は冷間鍛造により製造される。冷間鍛造前には鋼材変形抵抗低減を目的とした軟化焼鈍が施される。冷間鍛造後は浸炭時の粗粒化抑止のための焼ならし後、浸炭焼入れ焼戻しが施され、高強度化が図られる。

近年の部品価格競争激化を背景に、冷間鍛造前の焼鈍や浸炭前の焼ならしを省略可能な肌焼鋼のニーズが高まっている（図1にプロセス例を示す）。こうしたニーズから、冷間鍛造前の焼鈍や浸炭前の焼ならしを省略可能な鋼『JECF[®]』を開発した。下記に熱処理省略可能な高冷間鍛造性肌焼鋼『JECF[®]』の特長を示す。

◇冷間鍛造前焼鈍の省略

合金元素の適正化および制御圧延により、冷間鍛造時における変形抵抗低減を達成した。その結果、『JECF[®]』圧延まま材の変形抵抗を、JIS鋼の圧延まま材より17%、JIS鋼の焼鈍材よりも3%低くし、冷間鍛造前の焼鈍省略を可能とした（図2）。

◇浸炭前焼ならしの省略

合金元素および圧延時の加熱温度最適化により、析出粒子によるピン止め効果を応用した微細分散技術を開発した。歯車に冷間鍛造後、焼ならしを施さずに、930℃で3時間保持後に急冷する浸炭模擬処理を行った結果を図3に示す。JIS鋼SCM420において粒径100 μmを越える顕著な結晶粒の粗大化が発生するのに対し、『JECF[®]』においては粗大化が認められない。『JECF[®]』では焼ならしが省略可能である事が示された。

『JECF[®]』は冷間鍛造前の焼鈍と、浸炭前の焼ならしを省略可能とし、浸炭後疲労特性はJIS規格鋼と同等以上である。部品価格競争力を向上させる手段として、また、熱エネルギー消費を抑制し環境にやさしいものづくりを推進する手段としてお客様にご使用頂いている。

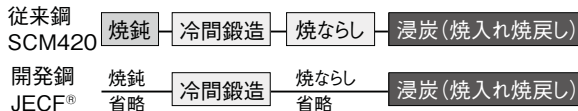
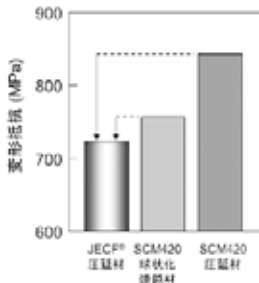
図1 熱処理省略可能な高冷間鍛造性肌焼鋼『JECF[®]』による熱処理省略例

図2 冷間鍛造時の変形抵抗

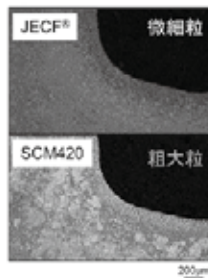


図3 浸炭焼入れ時のオーステナイト粒径挙動

(y) データサイエンス関連技術

◆全高炉にデータサイエンス (DS) 技術を導入

高炉の操業はコスト影響が大きいため、安定かつ高効率な操業が重要である。一方、炉内を直接見ることができないため、熟練オペレーターの経験や操業判断、各高炉それぞれの技術に依存する割合が大きい。そこで、当社では国内に保有・稼働する8基すべての高炉に、サイバーフィジカルシステム（以下、CPS）化を目的としたDS技術の展開を進めた。CPS化とは、実際の製造プロセス（フィジカル）から収集したセンサデータを基に、デジタル空間に高度な仮想プロセス（サイバー）を再現し、実プロセスと仮想プロセスの2つをリアルタイムに繋ぐことである。CPS化により、高炉炉内の重大トラブルの起因となりうる異常の予兆検知や、安定操業において重要な高炉炉内の熱の状態を8～12時間先まで予測が可能となった。さらに、予測結果に対する最適なアクションをオペレーターにガイダンスするシステムを構築し、安定操業および安定生産に活用している。

◆設備異常予兆検知システムの全社展開

当社では、業界に先駆け、DS技術を用いた製鉄所の設備異常予兆を検知するシステム（『J-dscom[®]』）を開発し、全社展開を進めている。本システムは、正常時の基準値に対する外れ度合いを異常度として指標化し、早期に検知するものである。製鉄設備は多種多様な機器や計器から構成され、操業状態を示す変数項目は数百以上と膨大になる。そこで、ビッグデータ解析を導入することで、設備全体の膨大なデータを効率的かつ網羅的に解析することを可能とした。また、異常度の経時変化を大きさに応じてマップ化し、製造現場で容易に閲覧可能とした。正常な状態からの外れ度合いを管理するため、過去に経験したトラブルはもちろん、想定外のトラブルの防止に対しても効果を発揮する。西日本製鉄所（倉敷地区）の熟延工場に導入し効果が確認できたことから、他の製鉄所や他の製造プロセスへも順次全社展開を進めている。

◆DX推進拠点「JFE Digital Transformation Center」(『JDXC[®]』)を開設

DSおよび最新ICTを活用した全社的DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進拠点として『JDXC[®]』を本社に開設した。全製鉄所・製造所の操業データを統合的に活用できる環境を備えた、国内鉄鋼業界初の拠点となる。当社は、操業開始以来、様々な鉄鋼製品の製造・品質管理のノウハウ、設備・操業トラブルの予兆管理など、競争力の源泉となるデータを豊富に蓄積している。これらのデータをより統合的に活用し、グローバルな競争優位性を高めていく。

【『JDXC[®]』の機能・目的】

- ①データを統合的に活用することによる生産性向上およびコスト削減。
- ②製造プロセスCPS化の共通化・標準化を進めることによる操業技術全体のレベルアップ。
- ③全社データサイエンティストの個々人のスキルアップ、および人員拡充。

