

# JFE スチールのステンレス事業

## Outline of Stainless Steel Business in JFE Steel

山下 英明 YAMASHITA Hideaki JFE スチール ステンレスセクター部長  
宇城 工 UJIRO Takumi JFE スチール スチール研究所 ステンレス鋼研究部長・工博  
柳沼 寛 YAGINUMA Hiroshi JFE スチール 東日本製鉄所 商品技術部ステンレス室長

### 要旨

JFE スチールは、西宮工場にてステンレス鋼の製造を開始してから、現在まで46年の歴史を持ち、薄板ステンレス鋼では、フェライト系ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼に特化した世界で唯一のステンレスメーカーである。JFE スチールのステンレス鋼は、Cr 鉱石の溶融還元、SS-VOD（強攪拌真空脱炭炉）、ダスト・スラグリサイクル、タンデム圧延-CAL（連続焼鈍ライン）による高生産性の冷間圧延製品「機能品」の製造など、独自技術を生かした特長ある設備で製造される。JFE スチールのステンレス鋼製品は、高耐酸化性のメタルハニカム用箔材「JFE20-5USR」、超高耐熱エキゾーストマニフォールド材「JFE-WX1」、そして高温での軟化抵抗に優れたブレーキディスク材「JFE410DB-ER」をはじめとした高耐熱ステンレス鋼、チタンに匹敵する耐食性を有する「JFE30-2」やNi、MoフリーでSUS304と同等の耐食性を有する「JFE443CT」をはじめとする高耐食ステンレス鋼、さらにこれらの材料に対し $r$ 値（ランクフォード値）を高め加工性を向上させる高加工性技術を適用した高加工性ステンレス鋼など、幅広いラインアップを誇っている。

### Abstract:

JFE Steel has 46-year history of production of stainless steels that started at Nishinomiya Works and concentrated on ferritic and martensitic stainless steels, as a unique stainless steel maker in the world. JFE Steel stainless steels are produced by distinctive state of the art facilities, such as smelting reduction process of chromium ore, strongly stirred vacuum oxygen decarburization (VOD) system, and recycling process of dust and slug. Tandem cold rolling and continuous annealing line (CAL) annealing process produces cold rolling products efficiently. JFE Steel stainless steels have unique properties and wide variety. "JFE 20-5 USR" has excellent oxidation resistance for metal honeycomb materials. "JFE WX-1" has high heat resistance for automotive exhaust manifold materials. "JFE 410DB-ER" has good resistance to softening at high temperature for disk break materials. "JFE 30-2" shows excellent corrosion resistance comparable to titanium and "JFE443CT" has excellent corrosion resistance equal to that of SUS304 without Ni and Mo addition. Besides, JFE Steel has also high technology to improve the formability of these steels with high  $r$ -value (Lankford value).

特長について述べる。

## 1. はじめに

JFE スチールは、薄板ステンレス鋼を年間約50万トン生産しており、フェライト系ステンレス鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼に特化した世界で唯一のステンレスメーカーである。

以下に、JFE スチールのステンレス事業の歴史と技術開発の概要、製造設備と技術の特長、当社のステンレス鋼の

## 2. ステンレス事業の歴史と技術開発の概要

表1に、JFE スチールのステンレス鋼の歴史を示す。

JFE スチールのステンレス鋼<sup>1,2)</sup>は、1962年に西宮工場にてステンレス鋼の製造を開始してから46年の歴史を有している。

ステンレス鋼の本格的な大規模精錬は1966年の西宮工場での40t電気炉(EF)の設置からで、1971年に真空脱炭炉(VOD)を導入しフェライト系ステンレス鋼のEF-

表1 JFEスチールのステンレス鋼の歴史  
Table 1 Stainless steel history of JFE Steel

Year	Main facility installed	Developed stainless steel	Note
1954			Start of production of stainless steels using facilities for specialty carbon steels (Castings and hot bands)
1955			Start of cold rolled flat products
1956		Tri-ply clad steel	
1962	(N)No. 1 Zr, CB, GR, BAF, No. 1 AP(Cold)		Start of mass production of stainless steels Nishinomiya Plant Start of hot rolling with hot strip mill at Chiba Works
1964	(N)No. 2 AP(Cold)		
1966	(N)No. 1 EF		
1967	(N)No. 3 AP(Hot and cold)		
1968	(N)No. 2 EF, PC, No. 2 CB, No. 1 BA, No. 2 Zr		
1971	(N)VOD, ASEA-SKF		
1972		R430LT(18Cr-Ti)	Registration of trade mark as "River Lite"
1973	(N)No. 3 Zr		Start of stainless steel making at Chiba Works (LD/RH/IC.CC)
1975	(N)No. 4 AP(Hot)		
1976		9 new River Lite series developed	Establishment of SS-VOD technology
1977		R304UD, R301L	
1978		R30-2	
1981	(C) MF, KBOP, VOD (Transferred from Nishinomiya Plant)		Shut down of Nishinomiya EF, and stainless steel making transferred to Chiba Works in full production: (MF)-KBOP-RH (or VOD)-CC
1982		R409L, R410DH	Start of type 409 production by tandem cold mill rolling
1983	(C) HAP (No. 4 AP transferred from Nishinomiya Plant)	R410DB	
1985	(C) Coil box		Commercial production of R409L by tandem cold mill rolling
1986	(N) No. 2 BA	R20-5SR	Start of smelting reduction of Cr-ore pellet: SR-KBOP-RH-CC Start of foil rolling with Zr mill
1988	(C) CAL/Pic		
1990	(C) SCM		
1991	(C) CAP	R315CX	
1992	(C) Finishing facilities	R445MT, R304S	Establishment of production process for bright grade at Chiba Works
1993		R429EX, R20-5USR, R436LT, R432LTM, R439	
1994	(C) No. 4 stainless steel making facilities (SR, DC, VOD, CC) Dust smelting reduction furnace	R430UD, RSX-1, R430XT	Start of smelting reduction of Cr-ore sand Start of dust smelting furnace/STAR Furnace
1995	(C) No. 3 Hot strip mill		
1996			(N) Revamping of No. 1 Zr for foil rolling
1999			(N) Stop of No. 3 AP
2000		RMH-1	(N) Stop of No. 2 AP
2001	(N) NCR mill		
2003			JFE Steel established
2004	(C) Hot metal reservoir		Establishment of scrap melting and hot metal reservoir/J-FIRST
2005		JFE443CT, JFE18-3USR, JFE410RW	
2006		JFE-WX1	Concentrated on ferritic and martensitic stainless steels
2007		JFE445M	Shipment records of JFE443CT as over 50 000 t established

(N): Nishinomiya Plant (C): Chiba Works (Cold): For cold band (Hot): For hot band Zr: Sendzimir mill  
 CB: Coil build-up GR: Coil grinder BAF: Batch annealing furnace AP: Annealing and pickling line EF: Electric arc-furnace  
 PC: Pressure caster BA: Bright annealing VOD: Vacuum oxygen decarburization IC: Ingot casting CC: Continuous caster  
 SS-VOD: Strongly Stirred VOD MF: Electric arc melting furnace KBOP: Kawatetsu blowing oxygen process HAP: Hot band AP  
 CAL/Pic: Continuous annealing line with pickling facility SCM: Stainless cold mill CAP: Continuous annealing and pickling line  
 SR: Smelting reduction DC: De-carburization

VOD-インゴット造塊 (IC) によるプロセスを確立した。1973年に東日本製鉄所千葉地区第1製鋼工場で転炉 (LD)-脱ガス (RH)-連続鋳造 (CC) によるプロセスで連続鋳造化するとともにマルテンサイト系ステンレス鋼の製造を開始、1981年には上底吹転炉 (KBOP)-RH-CCによる製造へと変わった。

さらに1991年に同所内に冷間圧延、仕上げ焼鈍設備を有したステンレス工場を立ち上げて、製鋼から冷間圧延後の仕上げ焼鈍までの一貫製造体制を完成させた。その後も、さらなるステンレス鋼の製造能力増強、品質向上、特性向上を目的に、1994年にクロム鉱石の直接溶融還元をはじめとした多数の最新鋭技術を導入した第4製鋼工場を同所西工場に建設した。また、1995年にはステンレス鋼の高速・強圧下熱間圧延を可能とする世界最大の圧下能力を誇る熱間圧延設備である第3熱間圧延工場を立ち上げ、優れた品質および特性のフェライト系ステンレス鋼を生産する体制が整った。

一方、JFE スチールの冷間圧延ステンレス鋼の特長である、普通鋼との兼用設備であるタンデム冷間圧延、CAL (連即焼鈍ライン) を利用したフェライト系ステンレス鋼機能品は、1980年代前半に技術を確立し製造を開始している。

JFE スチールのステンレス鋼は、上述のような歴史の中で、JFE スチールの独自技術の開発を重ねてきており、製造能力、品質、特性すべてが着実に向上し続けている。

このような技術的背景に加え、図1に示すように、2003年より中国ステンレスメーカーを主体としたステンレス鋼の生産能力が急増しており、需給のバランスが崩れ、能力過剰に陥ることを懸念した「2006年問題」を受け、2003年のJFE スチール発足以前から計画されていたフェライト系・マルテンサイト系ステンレス鋼への特化の方針を実行し、2005年4月には薄板ステンレス鋼のすべてをフェライト系・

マルテンサイト系ステンレス鋼とした。

フェライト系・マルテンサイト系ステンレス鋼に特化した当社は、世界のステンレス鋼使用量の半数近くを占めるSUS304 (18%Cr-8%Ni) に変わるフェライト系ステンレス鋼として「JFE436LT」(SUS436L) を代替提案してきたが、Mo原料価格の高騰により、Ni, Moフリー SUS304代替高耐食フェライト系ステンレス鋼「JFE443CT」を2005年8月に商品化した<sup>3-5)</sup>。「JFE443CT」の販売活動においては、材料のPRのみにとどまらず、同鋼の成形加工や溶接加工などの技術支援を行うことにより、お客様での評価期間短縮および同鋼の最適加工条件の提案を行う戦略販売チームを組織し販売活動を展開した。

この技術支援を行う販売活動に加え、2005~2007年にかけて顕在化したNi, Mo原料高騰によるSUS304価格の高騰を背景に、「JFE443CT」は多大な反響を得、全世界から非常に多くの引き合いをいただいて、2007年には5万トンを超える販売を達成した。

一方、自動車用ステンレス鋼としては、1980年代に排ガスコンバータに使用されるメタルハニカム用高Al高耐熱フェライト系ステンレス箔を国内で初めて製造販売して以来、同鋼の連続鋳造技術、30 $\mu$ m箔の1000mm幅での箔圧延技術、さらには箔の耐熱性を飛躍的に高めた新鋼種「JFE20-5USR」など、多くの関連新技術を開発してきた。そして、現在では大量生産される高Alのフェライト系ステンレス箔では、世界No.1の耐酸化性を誇っている。

また、自動車用ステンレス鋼の技術開発の最先端と位置づけられるエキゾーストマニフォールド用材料の開発に注力してきた結果、それまで最も耐熱温度が高い材料として認められていたSUS444 (19%Cr-2%Mo-Nb) と同等の耐熱性を有し、SUS444より良好な加工性を有するエキゾーストマニフォールド用高耐熱フェライト系ステンレス鋼「JFE-MH1」を、2000年に世界に先駆けて開発、販売した。

これにより、自動車メーカーにおいては、設計当初に15Cr-Nb系のエキゾーストマニフォールド材 (JFE429EX) でエキゾーストマニフォールドの開発を行い、耐久テストで不合格となった場合にも、エキゾーストマニフォールドの設計変更をせずに上位鋼種である「JFE-MH1」に切り替えることができるため、開発スケジュールを大幅変更することなく製造立ち上げをできるというメリットを有している。さらに2006年にはSUS444を遥かに凌ぐ耐熱性を有する自動車エキゾーストマニフォールド用フェライト系ステンレス鋼「JFE-WX1」を世界で初めて開発し販売を開始した。

二輪車ブレーキディスクの分野では、耐摩耗性に優れ、焼入れ時の硬度制御が容易で、焼もどしが不要なマルテンサイト系ステンレス鋼「JFE410DB」、さらに高い耐高温酸化特性を有する「JFE410DB-ER」を開発し販売を開始している。

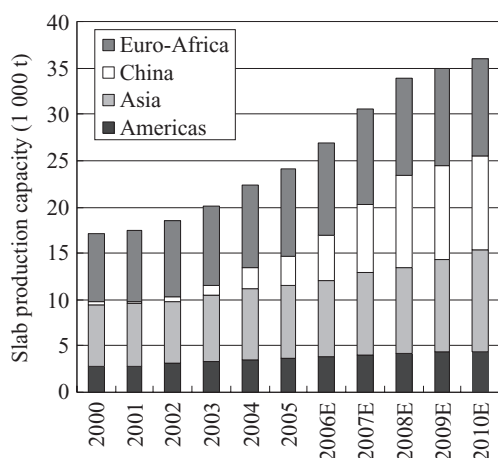


図1 世界のステンレススラブ生産能力

Fig.1 Global stainless steel slab production capacity (E: Estimated, data from International Stainless Steel Forum home page (<http://www.worldstainless.org/>))

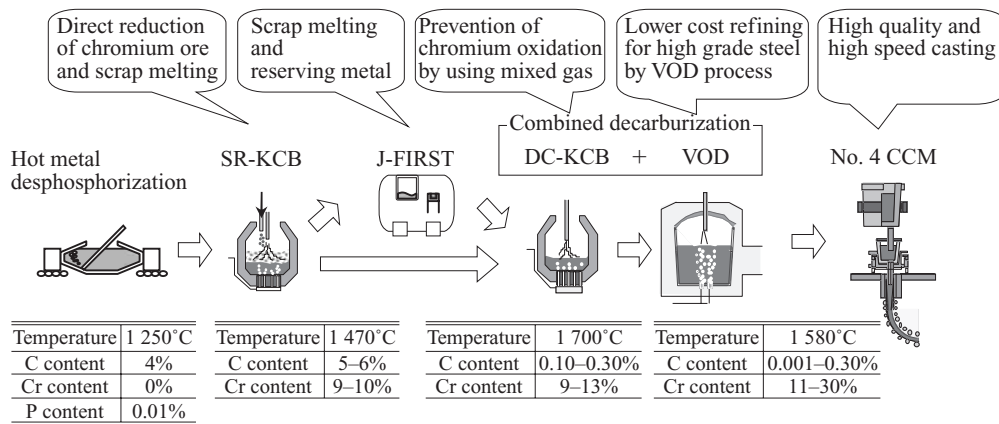


図2 第4製鋼工場概略

Fig.2 The latest outline of stainless steelmaking process

### 3. 製造設備と技術の特長

#### 3.1 製鋼工程

第4製鋼工場<sup>6,7)</sup>の概略を図2に示す。当社のステンレス鋼製造の特長は、高炉溶銑を主原料として、Cr 鉱石を溶融還元炉 (SRF ; smelting reduction furnace) において直接還元する点にある。SRF は大容量炉体により Cr 鉱石のランスからの直接添加を可能にしている。また、この溶融還元炉で精錬された高い Cr 濃度の粗溶鋼の溜め置きとスクラップ溶解を目的とした保持炉 (hot metal reservoir)<sup>8)</sup>を保有しており、保持した溶鋼を続く脱炭炉 (DCF ; decarburization furnace) で Fe-Cr 合金、スクラップを加え希釈吹錬による高速脱炭を行い、さらに VOD により極低 C, N 鋼に仕上げる。溶融還元、脱炭とも上下吹錬の転炉で、いずれも上吹ランスからは酸素を吹き込み、底吹羽口は二重管で内管からアルゴン、窒素で希釈した酸素を、外管よりプロパンガスを吹き込むもので大流量吹き込みによる強攪拌力を実現している。VOD の取鋼容量は 185 t で、大流量スリットプラグによる底吹強攪拌と二段のブラスターと二段の並列エジェクターによる強力な排気能力により脱炭処理中の高真空度制御を行い高速脱炭・脱窒を可能にしている。生産性を高めるため真空処理と大気処理を分離する 2 タンク方式を採用している。

#### 3.2 熱間圧延・焼鈍・酸洗工程

図3に第3熱間圧延工場 (No. 3 Hot)<sup>9)</sup>の概要を示す。

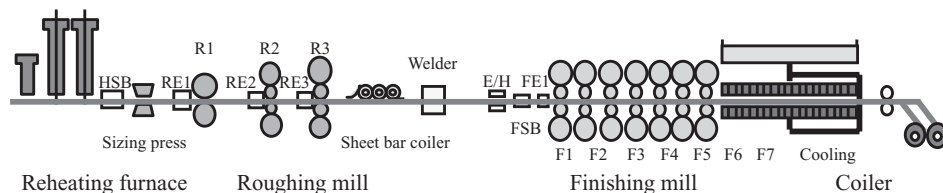


図3 第3熱間圧延工場概略

Fig.3 Layout of No. 3 hot strip mill

No. 3 Hot は 3 基の加熱炉、幅プレス、3 スタンドの粗ミル、7 スタンドの仕上げミル、冷却装置および 2 基の巻き取り装置で構成される。No. 3 Hot の特長はサイジングプレスと油圧圧下式エッジャーによって幅設定の自由度を増し、幅精度を向上したこと、強力モーターにより強圧下を可能にしたこと、また仕上げスタンドをベアクロスロールとして板厚プロファイルを向上させたことにある。

スラブヤードからコイル巻き取りに至る各セクションで徹底的な自動化と無人化を図っており<sup>10)</sup>、総合管制室ではわずか 3 人のオペレーターが操業に関わっているだけである。

スラブ加熱温度、粗、仕上げでの圧下率および巻き取り温度の適正化が容易になり冷間圧延仕上げ後の成形性に優れた母材の材質設計が可能となっている。

熱間圧延鋼帯は焼鈍・酸洗ライン (HAP) で焼鈍 (SUS430 はバッチ焼鈍)・脱スケールされる。この設備は西宮工場の No.4 AP を 1984 年に移設したもので、当初は熱間圧延鋼板と冷間圧延鋼板兼用のコンビネーションラインであったが熱間圧延鋼板専用ラインとし、酸洗槽、スケールブレイカーの増設などの改善を加えて能力を増強してきた。

#### 3.3 冷間圧延・焼鈍・仕上げ工程

図4に冷間圧延・焼鈍プロセスの概略を示す。

##### 3.3.1 光沢品

光沢品 (2B, BA 製品) はゼンジミア (Zr) ミルと 12 段のクラスターミルにより圧延している。

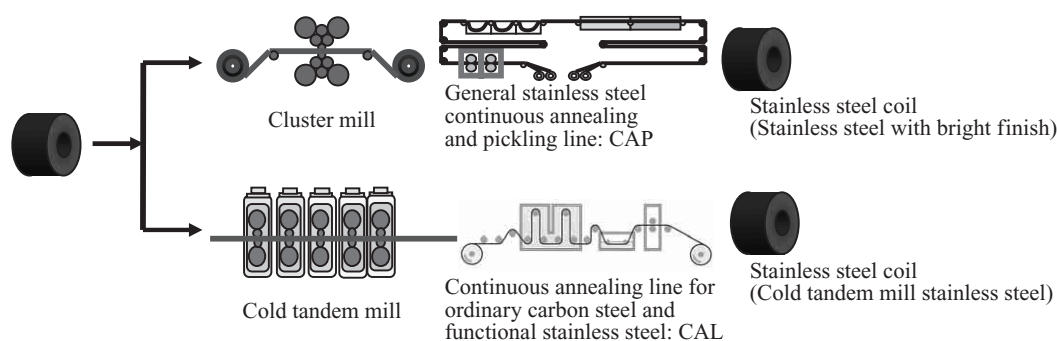


図4 冷間圧延・焼鈍プロセス概略

Fig.4 Layout of cold rolling and annealing process

千葉地区での光沢品の製造は1991年のクラスタタイプ  
のSCM (stainless cold mill) と焼鈍酸洗設備 (CAP) の設  
置<sup>11)</sup> からである。SCMは最大幅1600mmで最高圧延速  
度800m/minの能力を有している。加減速における板厚変  
動を大幅に低減する制御技術と、鋼板の先端部の形状を平  
坦化する最適形状セットアップモデルを開発<sup>12)</sup> し、鋼板全  
長にわたり均一な板厚および形状を得ている。また、片テ  
パ・ワークロールシフト法を用いた複合伸び形状制御<sup>13)</sup> に  
より高圧下・高速圧延を実現している。CAPの脱スケール  
は中性塩電解、硝フッ酸、硝酸電解とし高速操業を可能と  
した。さらに生産性の向上、工程省略を図るためにスキン  
パスミル、テンションレベラー、トリマーをインライン化  
し精整機能を取り込んだ構成となっている。

### 3.3.2 機能品

1982年にType409のタンデム冷間圧延機 (以下、TCM)  
によるステンレス鋼の冷間圧延を開始した。普通鋼の設備  
によるステンレス鋼製造の先駆けである。その後、成分設  
計を進め、1988年には普通鋼のCALを用いたJFE409Lの  
製造へと発展した。CALの焼鈍雰囲気はHNX (nitrogen  
hydrogen mixed gas: 水素5%, 窒素95%) であり、耐熱  
鋼とはいえ11%Cr鋼では酸化皮膜が生じるため酸洗の必  
要がある。そのために、CALでインライン酸洗処理する高  
速脱スケール方法 (CAL/Pic)<sup>14)</sup> を開発した。

TCM圧延-CAL/Pic工程の最大の特長は高い生産性にあ  
る。ZrとTCM圧延、CAPとCAL/Picでの生産性 (t/h)  
の比較<sup>15)</sup> では圧延で8~10倍、焼鈍・酸洗で2~4倍が得  
られている。

### 3.3.3 極薄箔

自動車の排気浄化触媒の担体材料としてのステンレス鋼  
箔<sup>16)</sup> の需要拡大に対応して箔の製造を1986年に開始した。  
圧延中の皺発生と破断を抑えることが最大の技術課題で  
あった。1996年に西宮工場のNo.1 Zrミルを極薄箔用に改  
造し1000mm幅で30 $\mu$ mまでの圧延が可能となった。さら  
に、2001年には500mm幅で15 $\mu$ mまで圧延可能な12  
段クラスタミル (NCR) を設置し箔の極薄化に対応して

いる。

## 4. JFE スチールのステンレス鋼の特長

### 4.1 JFE スチールのステンレス鋼の製品群

JFE スチールのステンレス鋼は、クロム系ステンレス鋼、  
すなわちフェライト系ステンレス鋼とマルテンサイト系ス  
テンレス鋼に特化している。JFE スチールの代表的ステン  
レス鋼を表2に示す。

JFE スチールは、46年に及ぶステンレス鋼製造の長い歴  
史の中で多くの優れた技術を確認してきている。図5に、  
JFE スチールの関連する技術で大別した商品ラインアップ  
の模式図を示す。高純度フェライト系ステンレス鋼の分野  
においては抜きん出た技術を有しており、一般には製造の  
難しい高合金フェライト系ステンレス鋼においても種々の  
特長ある製品を有している。最も合金レベルの高い鋼種と  
しては、高耐食性ステンレス鋼である「JFE30-2」(30%Cr-  
2%Mo-Nb鋼: SUS447J1)<sup>17,18)</sup> や箔材として極めて高い耐酸  
化性を有する「JFE20-5USR」(20%Cr-5%Al-La, Zr鋼)<sup>19)</sup> が  
あり、このような高合金のフェライト系ステンレス鋼を量  
産しているステンレスメーカーは世界においても極めて少  
ない。JFE スチールにおいてこれらの高合金フェライト系  
ステンレス鋼が量産できるのは、3.1節で述べた精錬におけ  
る高速脱炭技術のような最新鋭の製造設備の開発や長年に  
わたる製造ノウハウの蓄積によるものである。

フェライト系ステンレス鋼の機械的性質は化学成分のみ  
ならず製造プロセスに依存する部分が多い。

JFE スチールでは加工性向上のため高速・強圧下熱間圧  
延機による組織制御により特性の向上を行っている。また、  
普通鋼冷間圧延設備をステンレス鋼に活用することにより  
高機能ステンレス鋼の効率的な製造を行っている。これら  
の技術は先の高純度化技術とともに、自動車用ステンレス  
鋼や各種の汎用ステンレス鋼の加工性向上に大きく寄与し  
ている。以下用途と特長別に、JFE スチールのステンレス  
鋼を概説する。

表 2 JFEスチールのステンレス鋼  
Table 2 Cr-based stainless steel of JFE Steel

Classification	JFE Standard	Basic Composition (mass%)	Characteristics	Major Application
Ferritic	SUS430	16Cr	Typical Cr-based stainless steels	Daily-use durable goods, kitchen equipment, architectural trimming, etc.
	JFE430UD	16Cr	Deep drawability, anti-ridging property improved over that of 430.	Daily-use durable goods, kitchen equipment, architectural trimming, etc.
	JFE430XT	16Cr-Ti-ULC	Workability and weldability of 430 are improved.	Household appliance pads, kitchen equipment, architectural trimming, electric appliance, etc.
	JFE430LN	18Cr-Nb-LC, N	Workability and weldability of 430 are improved.	Bicycle rims, electric appliance, etc.
	JFE430CuN	19Cr-0.5Cu-Nb-LC, N	Corrosion resistance improved over that of 430.	Automobile trim, kitchen equipment, electric appliance, etc.
	JFE443CT	21Cr-0.4Cu-Ti-LC, N	Corrosion resistance is equivalent to that of 304.	Kitchen equipment, electric appliance, construction, etc. (Substitution of SUS304)
	JFE430LNM	18Cr-0.5Mo-Nb-LC, N	Good corrosion resistance to water environment	Hot water storage tanks, water boilers, thermopot, etc.
	JFE434LN2	19Cr-2Mo-Nb-ULC, N	Corrosion resistance is equivalent to that of 316.	Hot water tanks, solar heat connector plates, etc.
	JFE445M	22Cr-1Mo-Nb-ULC, N	Good corrosion resistance in the warm water environment	Hot water tanks, exterior parts of buildings, etc.
	JFE30-2	30Cr-2Mo-0.01C-Nb	Corrosion resistance is excellent.	Exterior parts of buildings, roof material, etc.
	JFE409L	11Cr-Ti-LC, N	Good weldability and formability	Automobile mufflers, exhaust pipes, etc.
	JFE409SR	11Cr-1.5Si-Ti-ULC	Good weldability and formability	Burning appliance, catalytic converter, etc.
	SUS410L	12Cr-LC	Good formability	Marine-cargo external container frame etc.
	JFE439L	18Cr-Ti-LC, N	Good weldability, corrosion resistance and formability	Automobile exhaust systems etc.
	JFE432LTM	18Cr-0.5Mo-Ti-LC, N	Good weldability, corrosion resistance and formability	Automobile mufflers etc.
	JFE436LT	18Cr-1.2Mo-Ti-LC, N	Extra-high resistance to automotive exhaust condensate	Automobile mufflers etc.
	JFE429EX	15Cr-0.8Si-0.5Nb-LC, N	Good oxidation resistance, thermal fatigue resistance and formability	Automotive exhaust system parts etc.
	JFE-MH1	15Cr-1.5Mo-0.5Nb-ULC, N	Heat resistance property improved over that of JFE-MH1.	Automotive exhaust system parts etc.
	JFE-WX1	15Cr-1.8Mo-3W-0.5Nb-ULC, N	Oxidation resistance property improved over that of JFE-MH1.	Automotive exhaust system parts etc.
	JFE18-3USR	18Cr-3Al-La, Zr	Excellent oxidation resistance at high temperature	Catalytic converter for diesel car
JFE20-5USR	20Cr-5Al-La, Zr	Excellent oxidation resistance, with no deterioration even in very thin sheets	Catalytic converter for motorcycles and gasoline car	
Martensitic	SUS410S	13Cr-LC	Good formability	Tableware, house ware, etc.
	SUS420J1	13Cr-0.2C	Suitable for tableware	Tableware, house ware, etc.
	SUS420J2	13Cr-0.3C	Suitable for cutlery	Cutlery
	JFE420H	13Cr-0.6C	Far higher quenching hardness than that of SUS420J2	Razor blade etc.
	JFE410DB	12Cr-1.5Mn-0.05C	Wide range of quenching temperatures can be used to obtain required hardness by quenching along.	Disk brakes for motorcycles
	JFE410DB-ER	12Cr-1.5Mn-0.05C-Nb	Heat resistance property improved over that of JFE410DB.	Disk brakes for motorcycles with Excellent heat resistance
	JFE410DH	11Cr-1.5Mn-0.3Cu-LC, N	Good weld joint ductility	Marine-cargo container frame etc, architectural structure etc.
	JFE410RW	11Cr-1.8Mn-Ti-LC, N	Good weld joint performance and corrosion resistance	Coal wagon

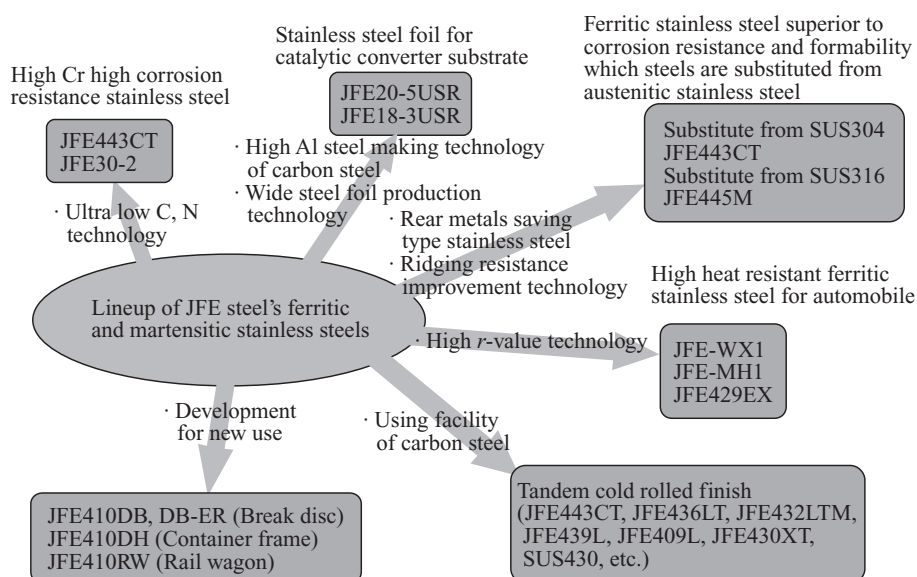


図5 JFE スチールのステンレス鋼ラインアップ

Fig.5 Lineup of JFE Steel's stainless steels

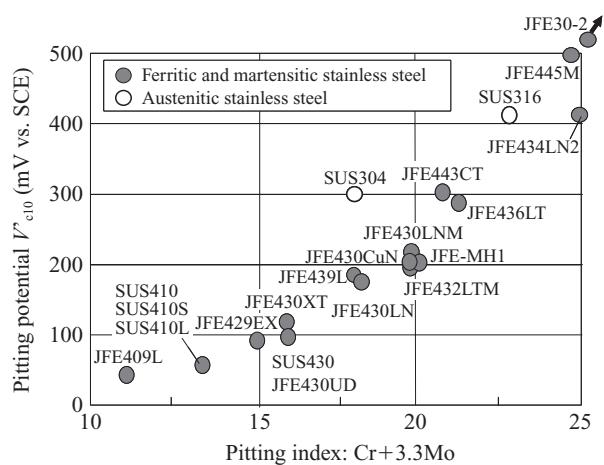


図6 JFE スチールのステンレス鋼の孔食電位

Fig.6 Pitting potentials of JFE Steel's stainless steels

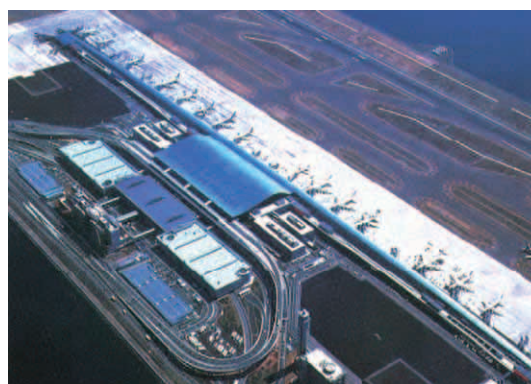


写真1 関西国際空港の屋根に採用された JFE30-2  
Photo 1 Application of JFE 30-2 for the roof of Kansai International Airport Building

#### 4.2 高耐食性ステンレス鋼の特長

ステンレス鋼の耐食性は主に Cr と Mo の含有量に依存する。したがって耐食性の指標として Cr + 3.3Mo 量がよく用いられる。JFE スチールのステンレス鋼を、横軸に Cr + 3.3Mo 量、縦軸に孔食電位 (JISG0577) として整理したものを図6に示す。JFE スチールではお客様での使用環境に応じて種々の耐食性を有するステンレス鋼を揃えている。

チタンに匹敵する耐食性に優れたフェライト系ステンレス鋼として、先に述べた「JFE30-2」を開発している。この材料は非常に優れた耐発錆性を有するため、海浜環境での建築外装材料に最適である。「JFE30-2」は1993年に開港した関西国際空港の屋根材料として採用され(写真1)、厳しい海浜環境においても屋根材および、さらに腐食環境の

厳しい軒材としても十分な耐食性を示している。この実績に基づき種々の海浜環境の建築外装材料に採用されている。

「JFE30-2」に次ぐ高耐食性材料として、SUS316と同等以上の耐食性を有する「JFE445M」を開発した<sup>20)</sup>。この鋼種は溶接テンパーカラー部の耐食性に優れ、応力腐食割れがない合金設計をしているため、電気温水器などの缶体材料に適している。また、耐発錆性にも優れているため、海岸より百メートル程の海浜環境でも建築外装用材料として適用できる。

ステンレス鋼の耐食性を向上させるためには Mo を添加することが有効であるが、最近原料価格の高騰が著しく、中でも Mo, Ni 原料価格は数年前の数倍となっている。そのため市場からは、高価な Mo, Ni を含有せずに SUS304 と同等の耐食性を示すステンレス鋼が求められていた。JFE スチールではこのニーズに対応し「JFE443CT」

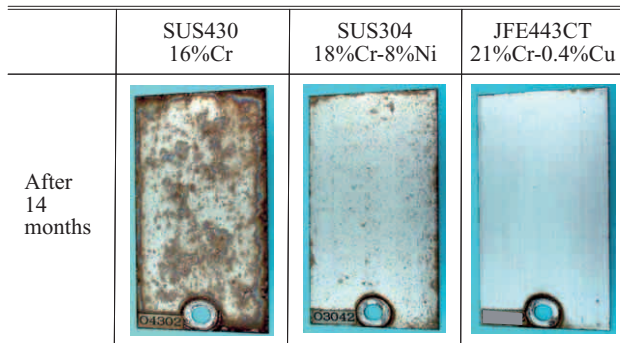


写真2 海浜暴露試験（14ヶ月）後の試験片外観

Photo 2 Appearances of test specimens after 14 months field exposure test in coastal area

(21%Cr-0.4%Cu-Ti 鋼) を世界に先駆けて開発した。写真2に示すように、「JFE443CT」は特に耐発錆性においてSUS304以上の優れた特性を示す。これは、新たに発見した高Cr化とCu添加の相乗作用による不動態皮膜の強化により生じる現象である。「JFE443CT」はSUS304を代替する低コストな材料として厨房、産業機器、電機材料、建築材料、自動車材料などあらゆる用途での適用が進んでいる。

### 4.3 自動車・二輪車用ステンレス鋼の特長

自動車用ステンレス鋼の多くは排気系材料として、その他はモール材やドアスカッフなどの外装用として使用されている。排気系材料はホットエンドと呼ばれるエンジンに近い部位に使用されるものと、コールドエンドと呼ばれるエンジンから離れた部位に使用されるものに大別される。

ホットエンド用途としては、エキゾーストマニフォールド材料、触媒コンバーター用材料などがある。自動車は排ガス規制の関係から排気温度が上昇する傾向にあり、エキゾーストマニフォールド材料の耐熱性向上が求められている。

また、材料の耐熱性向上のためには高合金化する必要がある、それは加工性の低下を招く。したがって、エキゾーストマニフォールド材料においては耐熱性と加工性の両立が重要となる。JFE スチールが開発したエキゾーストマニフォールド材料の耐熱性と加工性の関係を図7に示す。「JFE429EX」<sup>21)</sup>は材料の耐熱温度約750~800℃に対応した鋼種であるが、製造技術により $r$ 値の向上を図っている。「JFE-MH1」はSUS444 (19Cr-2Mo-Nb 鋼) と同等の約800~850℃の耐熱性を有し、加工性に優れ、Mo量を最小限に抑えたコストパフォーマンスに優れた鋼種である。さらに耐熱性を向上させた鋼種として「JFE-WX1」<sup>22)</sup>を開発している。この鋼種は850℃以上の耐熱性を示す。

触媒コンバーターはハニカム形状の担体の表面に貴金属触媒を担持したものである。担体にはセラミック担体とメタル担体があるが、メタル担体は30 $\mu$ m程度の薄い金属箔で構成されるため、排圧抵抗が小さくエンジン特性に有利であること、また熱容量が小さくエンジン始動時の浄化特

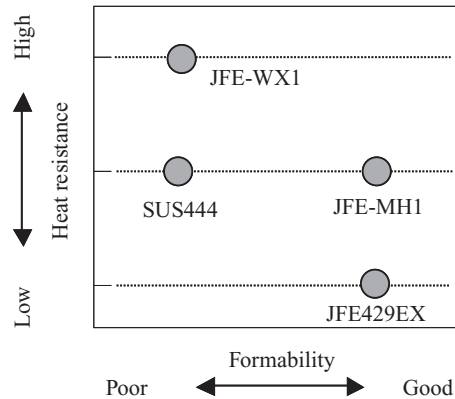


図7 エキマニ材の耐熱性と加工性の関係

Fig.7 Relationship of the heat resistance and formability of the stainless steels for automotive exhaust manifold

性に優れることが特長である。薄い金属箔の状態での耐酸化性が要求されることから、高Cr-高Alの材料が必要となる。JFE スチールではメタル担体材料としてガソリン車用の「JFE20-5USR」(20%Cr-5.5%Al-La, Zr 鋼)とディーゼル車用の「JFE18-3USR」(18%Cr-3%Al-La, Zr 鋼)を開発している。このような高合金の材料を1チャージ150tの規模で出鋼し、1000mmの広幅で30 $\mu$ mの箔を製造できるメーカーは世界でもJFE スチールだけである。

コールドエンド用途としては、マフラー用材料が最も多い。マフラーは排ガス凝縮水による腐食が問題となるため、18%Cr-Tiの成分を基本に、必要な耐食性に応じてMo量を変化させた、「JFE436LT」(1.2%Mo)、「JFE432LTM」(0.5%Mo)、「JFE439L」(Mo無添加)などがある。

これらの自動車排気系材料は表面の美麗さより、加工性や耐熱性などの機能が要求される。そこでJFE スチールでは普通鋼の製造設備であるTCMとCAL-インライン酸洗設備を用いた高能率製造設備によりコストパフォーマンスに優れたステンレス鋼を生産している。特に、CALにおけるステンレス鋼用のインライン酸洗設備はJFE スチールだけが有するものである。

二輪車用のステンレス鋼としてはブレーキディスク材がある。JFE スチールは世界市場において、70%近い非常に高いシェアを誇るトップメーカーであり、その品質の高さ、特性の優秀さは世界の二輪車メーカー、部品メーカーから高い評価を得ている。近年、ブレーキディスク材に対しては、耐高温軟化特性の向上の要求が強まっていることから、JFE スチールでは炭窒化物の析出制御技術により、従来の「JFE410DB」に対し高温での軟化温度を50℃高めた耐高温軟化特性ブレーキディスク用マルテンサイト系ステンレス鋼「JFE410DB-ER」<sup>23)</sup>を開発した。

### 4.4 高加工性ステンレス鋼の特長

フェライト系ステンレス鋼の加工性を向上させるには大きく分けて二つの方法がある。一つは高純度化であり、も



表3 各鋼の機械的特性  
Table 3 Mechanical properties of the steels

Steel	0.2% Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	r-value	Ridging property*
SUS430	320	490	29	1.0	2.0
JFE430UD	320	490	29	1.2	1.5
18%Cr-Ti steel	311	460	34	2.6	1.5
SUS304	260	645	60	1.0	1.0

\*Ridging property: Good 1.0 ←→ Poor 5.0

う一つは組織制御である<sup>24)</sup>。これらにおいて最も重要な元素はC、Nである。C、Nの低減はステンレス鋼の伸び向上に有効なばかりではなく、{111}集合組織の生成を促進してr値(ランクフォード値)を向上させる。JFEスチールは精錬プロセスにおいてSS-VOD設備を有しており、C、Nの低減に関してはトップレベルの技術を持っている。また、高速・強圧下熱間圧延機により熱延再結晶を促進し、r値とリジング特性の向上を図っている。

これらの技術により加工性を向上させた鋼種として「JFE430UD」がある。一般的なSUS430と「JFE430UD」の機械的性質を表3に示すが、「JFE430UD」はr値、リジング特性に優れている。また、JFEスチールでは加工性向上技術を集約することによって18%Cr-Ti鋼において極めて高いr値を実現している。この材料は、普通鋼と比較した場合同じ{111}集積度でもCr%が高い材料においてよりr値が高くなるという新たな知見に基づいて開発された。表3に示すように、18%Cr-Ti鋼のr値は2.6にまで達しており、ステンレス鋼としては最高レベルの特性となっている。

これらの加工性向上技術はJFEスチールのフェライト系ステンレス鋼の多くに適用されており、特に自動車材料や電機、厨房材料において好評を得ている。

## 5. おわりに

JFEスチールは、特長ある製造設備をフルに活用し、高耐食性、高耐熱性、高耐酸化性、高加工性などの優れた特性を有するクロム系ステンレス鋼を製造し、お客様にご提供している。今後もこれまでにない新しいステンレス鋼な

ど、特長あるクロム系ステンレス鋼の開発に注力し、お客様に十分ご満足いただける商品をご提供する所存である。

### 参考文献

- 1) 小野寛, 垣内博之. 川崎製鉄技報. 1985, vol. 17, no. 3, p. 193.
- 2) 川崎龍夫. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 2, p. 69.
- 3) 石井和秀, 石井和洋, 太田裕樹. JFE技報. 2008, no. 20, p. 10.
- 4) 井口貴朗, 尾崎芳宏. JFE技報. 2008, no. 20, p. 16.
- 5) 塩川隆, 矢沢好弘, 岡田修二. JFE技報. 2008, no. 20, p. 22.
- 6) 鍋島祐樹, 小倉滋, 山田純夫. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 4, p. 206.
- 7) 岸本康夫, 田岡啓造, 竹内秀次. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 4, p. 213.
- 8) 金子陽平, 納雅夫. JFE技報. 2008, no. 20, p. 79.
- 9) 今江敏夫, 野村信彰, 三吉貞行. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 4, p. 219.
- 10) 吉村宏之, 川瀬隆志, 前田一郎. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 4, p. 231.
- 11) 山本準一, 岸田 朗, 仲原久直. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 2, p. 119.
- 12) 星野将史, 館野純一, 深谷敏弘. 川崎製鉄技報. 1996, vol. 28, no. 2, p. 114.
- 13) 館野純一, 小廣善丈, 桂重文, 北浜正法, 半谷陽一. 塑性と加工. 2003, vol. 44, no. 513, p. 48.
- 14) Owada, S.; Yasuhara, E.; Hashimoto, O.; Kawasaki, T.; Ishii, K. Proc. of Int. Conf. on Stainless Steels, (1991), Chiba, ISIJ, p. 937.
- 15) Kawasaki, T.; Ujio, T.; Owada, S.; Kakihara, S. Proc. of Int. Conf. on Applications of Stainless Steels. 1992, Stockholm, Jernkontret, p. 725.
- 16) 川崎龍夫, 石井一秀, 松崎実, 三田裕弘, 広橋順一郎. 日本金属学会報. 1993, vol. 32, no. 2, p. 90.
- 17) 岡裕, 佐藤信二, 肥野真行. 川崎製鉄技報. 1993, vol. 25, no. 2, p. 150.
- 18) 岡裕, 栗山則行. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 2, p. 118.
- 19) 清水寛, 河野雅昭, 吉岡啓一. 川崎製鉄技報. 1993, vol. 25, no. 2, p. 119.
- 20) 福田國夫, 石川伸, 笠茂利宏. JFE技報. 2008, no. 20, p. 53.
- 21) 宮崎淳, 郡司牧男, 吉岡啓一. 川崎製鉄技報. 1993, vol. 25, p. 112.
- 22) 加藤康, 宮崎淳, 宇城工. JFE技報. 2008, no. 20, p. 28.
- 23) 山内克久, 尾崎芳宏, 宇城工. JFE技報. 2008, no. 20, p. 47.
- 24) 矢沢好弘, 加藤康, 宇城工. JFE技報. 2008, no. 20, p. 72.



山下 英明



宇城 工



柳沼 寛