

# JFE スチールの棒鋼・線材の製造プロセスと商品の特徴

## Manufacturing Processes and Products of Bar and Wire Rod in JFE Steel

山本 嘉秀 YAMAMOTO Yoshihide JFE スチール 棒線事業部 棒線企画部長  
柚賀 正雄 YUGA Masao JFE スチール スチール研究所 構造材料研究部長

### 要旨

JFE スチールの棒鋼・線材製品の製造プロセスは、高炉製造および電炉製造の両方を有するという特徴を持っている。これにより、特にカーボンニュートラル（CN）の観点においてお客様の多種多様なニーズに対応することが可能である。西日本製鉄所（倉敷地区）および仙台製造所では、それぞれの製造設備の特徴を生かした高品質製品の製造体制を確立している。また、高機能で特徴のある商品を各商品分野で開発しており、CN および EV 化ニーズに寄与する商品を提供している。本稿では、JFE スチールの製造プロセスの特徴および代表的な開発商品を紹介する。

### Abstract:

JFE Steel manufactures bar & wire rod and related products at both blast furnace route and electric furnace route in steel works. These system enables to respond to variety of customers' needs for products, especially from a perspective of carbon neutrality. By taking advantage of these respective processes, JFE Steel West Japan Works (Kurashiki) and JFE Steel Sendai Works established manufacturing system of high quality products. Furthermore, JFE Steel has been engaged in the development of high-function and distinctive products in each product category, providing products that contribute to carbon neutrality and the needs for EV transformation. This paper describes features of these processes and introduces typical examples of newly developed bar & wire rod products in JFE Steel.

## 1. はじめに

JFE スチールの棒線製品は、西日本製鉄所（倉敷地区）と仙台製造所の 2 拠点で生産している。また、倉敷地区は高炉、仙台製造所は電気炉という 2 種類の製造方法を有しており、それぞれの利点を生かしてお客様のニーズにあった商品をお届けしている。

以下に、JFE スチールの 2 拠点の製造プロセスの特徴と棒線商品の特徴について、開発商品の技術的ポイントを踏まえて紹介する。

## 2. 製造プロセスの特徴

### 2.1 JFE 棒線の特徴

西日本製鉄所（倉敷地区）は、主に高炉溶銑を使用し、226 t の大型転炉から、二次精錬・連続铸造でブルーム、造塊設備で大型鋼塊を製造している。仙台製造所は、主にスクラップを原料とし、130 t の環境調和型高効率電気炉（エコーク炉<sup>1)</sup>）から、二次精錬・連続铸造でブルームを製造している。これら設備の特徴を生かして大ロットから小ロット

まで、また低炭素鋼から高炭素鋼、合金鋼、軸受鋼、鉛快削鋼といった広範囲の鋼種、および広範囲のサイズを製造している。表 1 に各工場の製造可能範囲を示す。丸鋼はφ450 mm、角鋼は□750 mm までの世界最大級太径製品を圧延により製造できる。また、高炉材の仙台圧延、電炉材の倉敷圧延も可能で、幅広いお客様ニーズへ対応できる。

### 2.2 西日本製鉄所（倉敷地区）

倉敷地区鋼片工場は、圧延製品や棒線向けビレットのみならず、スラブやブルームを素材とする、鋼管や形鋼向けの丸ビレットやビームブランクも製造している。2020 年に、丸ビレットピーリング設備の能力や探傷精度を向上させ、疵・脱炭のない優れた品質の製品の増産要請に応えている。また 2023 年には、鋼管向け丸ビレットを製造していた京浜ビレット連铸機の休止に伴い、加熱炉リジェネバーナー増設や、冷却床への空冷・水冷設備導入を実施し、需要増に対応した能力増強を図っている。

棒線工場は、工場名のとおりの棒鋼・線材（BIC・ROD）の両品種を高品質で圧延できる、1 スtrand のコンバインドミルである。棒線工場では 4 ロールミル<sup>2)</sup> を活用した、高寸法精度サイズフリー圧延が可能で、四角線材、曲げ加工性

2024 年 8 月 28 日受付

表 1 製造可能範囲

Table 1 Manufacturing facilities and available size of bar and wire rod products

	Products	West Japan Works (Kurashiki)	Sendai Works
Billet mill	Round bars	φ 90-450	—
	Square bars	□ 250-750	—
Steel bar mill	Straight bars	φ 16-90	φ 17-120
	Bars in coil	φ 16-38	φ 16.7-52
Wire rod mill	Square wire rods	□ 12.7-27	—
	Round wire rods	φ 4.2-19	φ 5.5-18

(unit: mm)

に優れた 4 条リブ鉄筋, 最小径 4.2 mm の極細線材なども製造している。

### 2.3 仙台製造所

製鋼工場では, 2018 年に連铸機リフレッシュ工事, 2022 年に LF 能力増強を行いブルームの高品質化を図った。また 2024 年には, お客様の電炉材ニーズに応えるべく電気炉出鋼能力の増強を図っている。鋼片工場では, 2022 年にピレットグラインダーを増強し, 疵の少ない高表面品質製品の生産能力を向上させた。棒鋼工場では, 2019 年に直棒精整ラインを増設している。これら設備投資による効率的な製造を進める一方で, 製鋼・鋼片・棒鋼・線材工場とも, DS・DX 技術を活用して製品の高品質化と低コスト化を図るとともに, 保全にもこれら技術を適用し, 安定製造の実現に寄与している。

## 3. JFE スチールの棒線商品

JFE スチールでは, 倉敷地区と仙台製造所の特徴を活かした幅広い製品をお客様に提供している。表 2 に主要な製造品種を示す。また, JFE スチールではお客様のニーズに対応したさまざまな特徴ある商品を開発しており, 至近の EV 化, CN のニーズにも貢献しうる商品開発も進めている。本章ではそれらの商品のうちのいくつかを紹介する。

### 3.1 肌焼鋼

肌焼鋼は, 浸炭や窒化などの表面硬化処理が適用される鋼材であり, 自動車や建設機械に使用される歯車やシャフトなどの部品に使用されている。これらの部品には疲労強度をはじめとしてさまざまな特性が求められる。JFE スチールは高い疲労強度を達成するとともに, お客様での工程省略などにより CO<sub>2</sub> 削減に寄与する商品を開発している。

歯車等の部品は鍛造によって成形されるが, 鍛造時の荷重低減のために, 軟化焼鈍を施す場合が多い。JFE スチールでは, この軟化焼鈍を省略できる冷間鍛造性に優れた鋼

表 2 主要製造品種

Table 2 Main manufacturing steel types

<b>Carbon steels for machine structural use:</b> S10C-58C, S09CK-20CK
<b>Alloy steels for machine structural use:</b> SMn420-443, SMnC420, 443, SCr415-440, SCM415-822, SNCM220-815, (H)
<b>Spring steels:</b> SUP9, 12, 9A
<b>High carbon chromium bearing steels:</b> SUJ2, SUJ3
<b>Boron steels:</b> 10B21-10B38 KF10T, 15B23-15B41 S35BC, S40BC, S48BC
<b>Free-cutting steels:</b> SUM22-31, 22L, 23L, 24L SAE (AISI) 1117, 1213, 1215, 12L14 1215M, 1215MU, 1215ML
<b>Free-cutting steels for machine structural use:</b> Lead free-cutting steels (symbol...L1, L2) Lead free free-cutting steels (symbol...S0, S1, S2)
<b>Microalloyed steels:</b> NH45MV, NH48MV, S45CVS1, etc.
<b>Chrome-vanadium steels:</b> S32CC5V-55CC4V
<b>Wires for high-strength hoops:</b> SD785
<b>Piano wire rods:</b> SWRS 62A, B-87A, B
<b>Low carbon steel wire rods:</b> SWRM 6K-22K
<b>High carbon steel wire rods:</b> SWRH 27-37, 42A, B-82A, B
<b>Carbon steels for cold heading Part 1: Wire rods:</b> SWRCH 6A-22A, 10K-50K
<b>Rolled steel for general structure:</b> SS330-540
<b>Rolled carbon steel for cold-finished steel bars:</b> SGD A,B,1K-4K,3KM-4KM

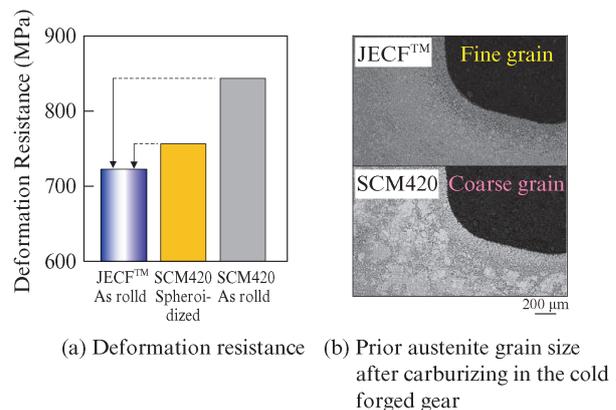


図 1 JECF<sup>®</sup>の変形抵抗および歯車鍛造後の浸炭後旧γ粒径<sup>3)</sup>

Fig. 1 Properties of JECF<sup>TM</sup>

材 JECF<sup>®3)</sup>を開発した(図 1)。また, 浸炭時の異常粒成長抑制メカニズム<sup>4,5)</sup>を明らかにすることで, 浸炭前の焼鈍処理も省略できるようにした。これらにより, お客様の CO<sub>2</sub> 削減および低コスト化ニーズに対応できる鋼材となっている。

歯車に要求される特性の一つに耐衝撃性があげられる。歯車は, 過大で衝撃的な荷重が歯車にかかることで, 歯元

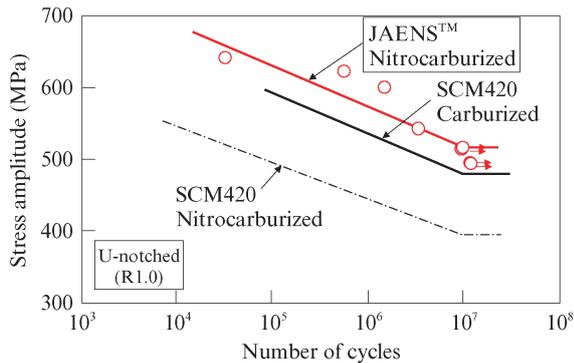


図2 軟窒化したJAENS<sup>®</sup>の回転曲げ疲労試験結果

Fig. 2 S-N curve of nitrocarburized JAENS<sup>™</sup> obtained by rotational bending fatigue test

で破壊を起こす場合がある。この破壊を抑制するには結晶粒界の強化が重要<sup>6)</sup>であり、不純物低減とBの活用がポイントとなる。JFE スチールでは耐衝撃歯車用鋼 SCMB622H を実用化している。

歯車の製造工程においては、浸炭熱処理によって生じる熱処理ひずみの矯正加工が大きな負荷工程になっている。そこで、JFE スチールでは、浸炭焼入れ時に部品内部にある分率のフェライトを生成させることで、マルテンサイト生成量自体の低減と、フェライト相によるひずみ吸収を意図した設計を適用した。これにより熱処理ひずみを低減した浸炭二相鋼<sup>7)</sup>を開発している。

熱処理ひずみの抑制についてのもう一つの方策として、相変態を伴わない軟窒化処理の適用があげられる。軟窒化処理は浸炭処理に比べ、硬化層深さが浅いことが欠点であったが、熱間鍛造後組織や合金元素の最適化<sup>8)</sup>により、浸炭処理と遜色ない疲労強度を有する高強度軟窒化用鋼 JAENS<sup>®9)</sup>を開発している (図2)。

### 3.2 快削鋼

仙台製造所は鉛添加可能な製鋼設備を有しており、これまで鉛含有快削鋼を製造してきたが、環境負荷軽減の観点から、非鉛快削鋼の開発に取り組み、各種鉛代替鋼も開発してきた。低炭素非鉛快削鋼としては、Cr 添加による硫化物形態制御により、被削性を向上させた AISI 12L14 代替 CCC (クリーンカットクロム) 鋼<sup>10)</sup> や、コストパフォーマンスに優れた AISI 1215 系非鉛快削鋼がある。特に CCC 鋼は、ハイスドリルにおいて良好な穴あけ性を有している。

また、微量の鉛添加で通常の鉛快削鋼と同等の被削性を有する、RoHS 対応鋼も開発している。

### 3.3 非調質鋼

機械構造用鋼では、一般に焼入れ焼戻し処理を行うことで、マイクロ組織を焼戻しマルテンサイト組織とし、良好な強度と靱性を有する特性が得られる。しかし、この調質熱処

理は多量の CO<sub>2</sub> 排出を伴うことから、調質処理を省略した非調質鋼が従来から開発されてきた。非調質鋼には大別して、熱鍛非調質鋼と圧延非調質鋼 (直接切削用) がある。

熱鍛非調質鋼は、一般には中炭素 (0.25-0.6 mass% C) をベースとし、マイクロ組織をフェライト-パーライト組織とすることで、添加した V を冷却中に VC として析出させて強度を確保する設計となる。また、ほかにはベイナイト組織型の鋼材やさらに高強度高靱性化に対応した鋼材も開発している。

一方、直接切削用としては、倉敷地区の圧延設備を活用した NH シリーズの太径丸鋼 (φ45-190 mm) を製造している。太径丸鋼の製造には、V 添加と加熱・圧延条件の適正化が重要である。また仙台製造所の棒鋼仕上圧延直後の水冷装置で直接焼入れ、自己焼き戻しを行うことにより、表層部を焼き戻しマルテンサイト、内部を微細なフェライト-パーライト組織としたシャフト用途に適した TQF<sup>11)</sup> 鋼も商品化されている。

### 3.4 電炉材表面制御技術

近年、カーボンニュートラルの観点から、電炉材のニーズが高まっている。JFE スチールは、高炉、電炉の両方の製造設備を有していることを利点として、高炉材とほぼ同等の特性を有する電炉材の開発も行っている。電炉はスクラップを原料とするため、Cu 等のトランプエレメントを含有する。これら元素は精錬溶製段階での除去が非常に困難である。そこで、トランプエレメントの鋼材表面性状への悪影響を軽減する製造方法を開発し、一部商品はすでにお客様でご使用いただいている。棒線が用いられる部品にはさまざまな特性が要求されることから、さらなる品質向上を検討している。

### 3.5 その他

表面硬化処理の一つとして、高周波焼入れ焼戻し熱処理がある。所定の焼入れ硬度が必要であることから通常は中炭素 (0.25-0.6 mass% C) 以上をベースとしており、冷間鍛造性との両立が困難であった。JFE スチールは、冷間鍛造性に及ばず元素、マイクロ組織の影響を最適化し、冷間鍛造可能な中炭素高周波焼入れ焼戻し用鋼を開発している。

建築用に用いられる高強度鉄筋に関しては、JFE テクノワイヤと連携し、溶接閉鎖後の延性に優れた降伏強さ 1275 MPa 級せん断補強筋<sup>12)</sup>、冷却を制御して省合金化した 785 MPa 級せん断補強筋<sup>13)</sup> を商品化している。

また棒線材は機能材料としての使われ方もある。ソレノイドバルブ等に用いられる純鉄系軟磁性材料は優れた磁気特性が求められるが、純鉄系ゆえに極めて軟らかいことから被削性の改善が必要であった。JFE スチールでは介在物、析出物制御により、この点を改善した JAMS<sup>®</sup>を開発している。

## 4. おわりに

JFE スチールは、西日本製鉄所（倉敷地区）および仙台製造所の2箇所の製造拠点の特徴を生かし、お客様ニーズに応えた商品を開発し、提供している。また近年のカーボンニュートラルの観点にも対応した商品開発を今後も進めている。

### 参考文献

- 1) 関隆太郎. 製鉄機械 製鋼用電気炉の排熱回収システム. 産業機械. 2012, no. 2, p. 16-21.
- 2) 桜井智康, 坂本俊夫, 武田了. 4 ロールミルによる高寸法精度細径線材・4角線材の開発. 川崎製鉄技報. 2002, vol. 34, no. 1, p. 7-11.
- 3) 今浪祐太, 岩本隆, 西村公宏. 部品製造工程を革新する冷間鍛造用肌焼鋼 JECF®の開発. まてりあ. 2019, vol. 58, no. 2, p. 108-110.
- 4) 今浪祐太, 山下孝子, 富田邦和, 長谷和邦. 浸炭時の異常粒成長挙動に及ぼす冷間鍛造前焼鈍の影響. 鉄と鋼. 2017, vol. 103, no. 1, p. 36-44.
- 5) 今浪祐太, 岩本隆, 西村公宏. 肌焼鋼のオーステナイト異常粒成長その場観察. 鉄と鋼. 2020, vol. 106, no. 12, p. 924-933.
- 6) 建山恭寛, 福岡和明, 西村公宏. 浸炭材の衝撃疲労特性に及ぼすボロンの影響. 材料とプロセス. 2018, vol. 31, no. 2, p. 757.
- 7) 福岡和明, 富田邦和, 白神哲夫. 二相鋼の表面硬化処理法の検討と歯車特性の向上. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 24-29.
- 8) 井原直哉, 岩本隆, 西村公宏. 軟窒化した JIS SCM420 鋼の回転曲げ疲労試験における破壊挙動. 鉄と鋼. 2022, vol. 108, no. 10, p. 795-802.
- 9) 軟窒化による析出硬化を活用した高強度熱間鍛造ギヤ用鋼. JFE 技報. 2017, no. 39, p. 64-65.
- 10) 村上俊之, 白神哲夫, 三瓶哲也, 及川勝成, 石田清仁. 計算状態図を活用した硫化物形態制御型 AISI12L14 代替鉛フリー低炭素硫黄快削鋼. まてりあ. 2004, vol. 43, no. 2, p. 136-138.
- 11) 直接焼入れ自己焼もどし型高強度非調質鋼. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 57-59.
- 12) 岩本隆, 山内章, 坂下幹雄. 溶接閉鎖後の延性に優れる YS1275MPa 級せん断補強筋の開発. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 36-40.
- 13) 岩本隆, 山内章, 坂下幹雄. 建築物の高強度化に貢献する省資源型 YS785MPa 級せん断補強筋の開発. JFE 技報. 2009, no. 23, p. 41-46.