

JFE スチールの鋼管事業と製造技術の発展

Development of Steel Pipe Business and Manufacturing Technology of JFE Steel

佐藤 秀雄 SATO Hideo JFE スチール 鋼管センター 鋼管企画部長【現 JFE Connections America 社長】

要旨

JFE スチールは継目無鋼管および種々の溶接鋼管の製造設備を有し、幅広いお客様の要望に対応するために、ステンレス油井管、低温靱性に優れたラインパイプ用の大径電縫鋼管マイティークリーム[®]、高強度高機能ラインパイプ用の UOE 鋼管、自動車用部品に使用される高機能高加工性電縫鋼管など特徴ある商品を製造している。本稿では、JFE スチールの製造プロセスの特徴、製造技術の進歩とともに鋼管事業における代表的な製品を紹介する。

Abstract:

JFE Steel has facilities for manufacturing seamless steel pipes and various welded steel pipes, which support wide range of requests from customers. Products with distinctive characteristics are as follows, such as stainless steel OCTG, large diameter HFW pipe with excellent low temperature toughness, Mighty SeamTM, UOE pipe for high strength and high performance linepipes, and a high performance and high workability welded steel pipe for automotive parts. This paper outlines the features of the manufacturing process, improvements of the manufacturing technology and typical pipe and tube products in JFE Steel.

1. はじめに

JFE スチールは、東日本製鉄所（京浜地区）、西日本製鉄所（福山地区）、および鋼管製造に特化した知多製造所の 3 地区で鋼管を製造している。製法別では、継目無鋼管、および溶接鋼管では鍛接鋼管、電縫鋼管、UOE 鋼管のラインを有し、お客様の幅広いニーズに応える鋼管商品を供給する体制を構築している。

2. JFE スチールの鋼管の特徴

2.1 鋼管製造体制

JFE スチールが有する鋼管の製造工程の概要を図 1 に示す。継目無鋼管はマンネスマン・マンドレルミル方式およびマンネスマン・プラグミル方式に、溶接鋼管は溶接方法によってアーク溶接法、電気抵抗溶接法、鍛接法の 3 種類に分かれる。アーク溶接法による鋼管は成形方法の違いによって UOE 鋼管およびベンディングプレス鋼管に分かれる。また、溶接管のうち電気抵抗溶接法による電縫鋼管および鍛接管は熱間圧延鋼板を素材に用い、UOE 鋼管およびベンディングプレス鋼管は厚板を素材として用いる。

継目無鋼管の製造設備は知多製造所に 2 基、UOE 鋼管の製造設備は西日本製鉄所（福山地区）に 1 基、電縫鋼管の

製造設備は東日本製鉄所（京浜地区）に 1 基、知多製造所に 3 基、鍛接管の製造設備は東日本製鉄所（京浜地区）に 1 基を有する。表 1 に JFE スチールが有する鋼管製造設備および製造可能範囲を示す。

各種鋼管の製造可能範囲（外径・厚さ）を模式的に図 2 に示す。素材および加工、成形方法の違いにより製造可能な範囲が異なり、お客様の用途、ニーズにあった商品を適切な方法で製造できる。

JFE スチールの鋼管製造技術の特徴について以下に紹介する。

2.2 継目無鋼管製造設備

継目無鋼管の製造ラインは、知多製造所にマンネスマン・マンドレルミル方式の小径シームレス管工場と、マンネスマン・プラグミル方式の中径シームレス管工場の 2 ラインがある。小径シームレス管工場は外径 25.4 mm（1 インチ）から 177.8 mm（7 インチ）までの鋼管を製造し、中径シームレス管工場は外径 177.8 mm（7 インチ）から 426.0 mm（16-3/4 インチ）までの鋼管を製造している。

継目無鋼管製造に使用する素材のうち炭素鋼、低合金鋼は西日本製鉄所（倉敷地区）で溶解、圧延し知多製造所に供給している。13% Cr 鋼に代表される高合金鋼素材は東日本製鉄所（千葉地区）で溶解しスラブに casting したものを西日本製鉄所（倉敷地区）で分塊圧延し、ピレットとして知多製造所に供給している。

2024 年 2 月 29 日受付

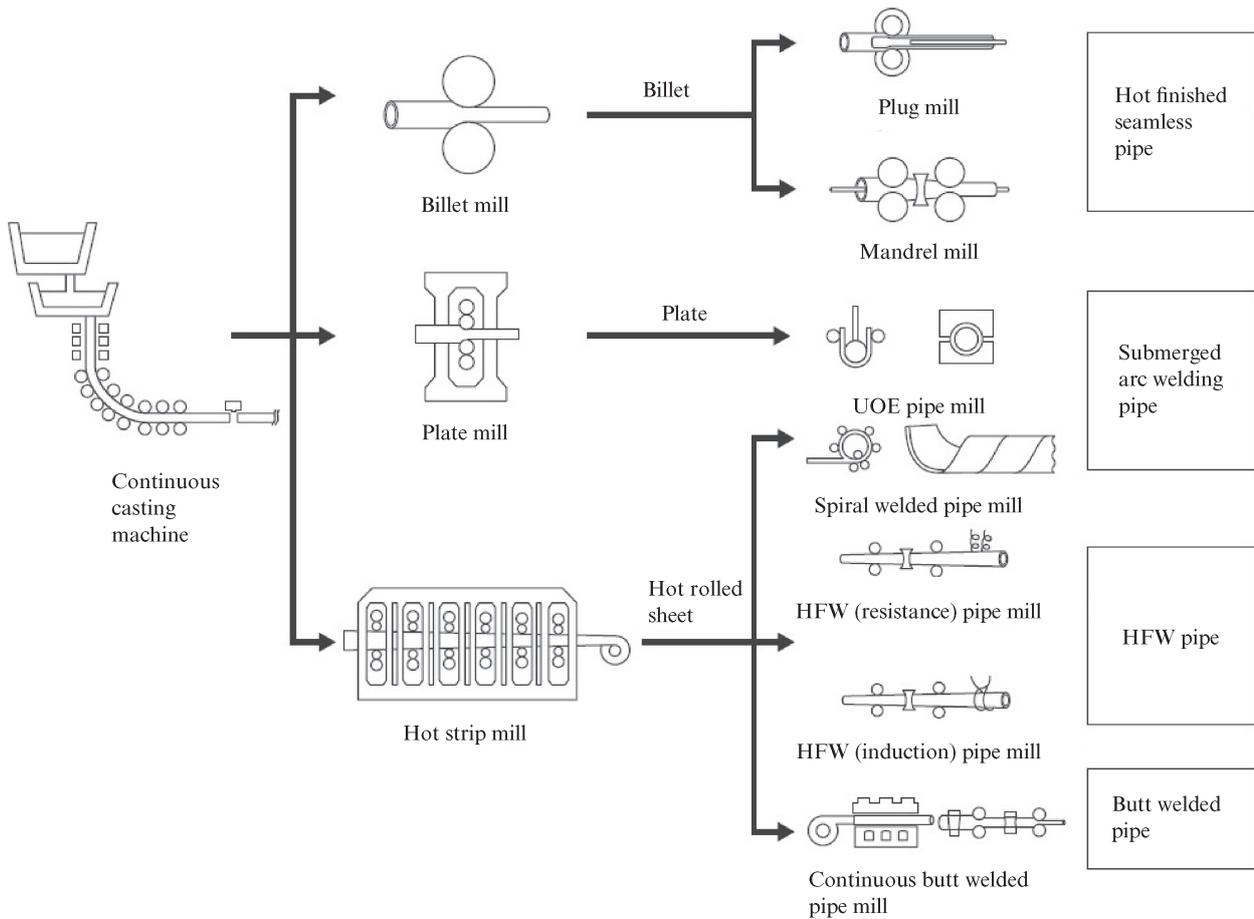


図1 JFE スチールの鋼管製造プロセス

Fig. 1 Manufacturing processes of pipes and tubes in JFE Steel

JFE スチールは、油井管、ボイラー管を中心に使用されている高Cr系継目無鋼管に注力しており、これらの商品群の製造技術に高いノウハウを有している。高Cr合金鋼やステンレス鋼の継目無鋼管は過去には熱間押し出しプロセスにより穿孔した後に圧延することが一般的であったが、JFE スチールは世界に先駆けてこれらの製品をマンネンスマン穿孔プロセスで製造することにより、安定した品質の製品を量産することに成功した。これは、連続鋳造後の段階での大きな加工による素材の特性改善とともに、鋼管圧延時のビレット温度制御技術、穿孔条件の最適化、マンドレル圧延におけるパススケジュールの最適化などの確立により実現されたものである¹⁾。

また、製品の特性を出すための熱処理設備、および精整、検査ラインを有しており、お客様のニーズに即した各種非破壊検査を実施できる。

油井管では鋼管と鋼管を接続する際にねじ継手が適用されるため、ねじ継手を製造する加工設備を有している。

2.3 UOE 鋼管製造設備

UOE ミルは西日本製鉄所（福山地区）に1ミルあり、主に高級ラインパイプを製造している。

高品質のラインパイプを製造するためには素材となる厚板の特性・品質が重要である。JFE スチールのUOE 鋼管の素材は大部分を西日本製鉄所（福山地区）から供給している。福山地区の厚板ミルは最新鋭の加工熱処理設備 *Super-OLAC®-A* と世界で唯一のオンライン熱処理設備 HOP を有している²⁾。また、高強度厚肉化対応を目的に高能率プレスバンド NEO プレス®を有している。

2.4 電縫鋼管製造設備

電縫鋼管の製造設備は知多製造所に3ライン、東日本製鉄所（京浜地区）に1ラインを有している。

これらの製造設備はそれぞれ特徴があり、鋼管の用途に応じて最適なプロセスで製造する体制を整えている。なお、知多製造所の小径電縫管ラインおよび HISTORY®鋼管ラインについては製造を JFE 溶接鋼管に委託している。

2.4.1 中大径電縫鋼管

中大径電縫鋼管は知多製造所の26インチミルと東日本製鉄所（京浜地区）の24インチミルの2ラインで製造される。両ミルともに丸鋼管と角形鋼管の両方を製造できる。

知多製造所の26インチミルは世界で最大級の外径および鋼管厚さを成型できる電縫管ミルであり、この特徴を活かし

表 1 JFE スチールの鋼管製造設備および製造可能範囲
Table 1 Manufacturing facilities for pipe and tube production in JFE Steel

Manufacturing method	Location	Manufacturing facilities	Available size (mm)			Remarks
			Outside diameter	Wall thickness	Max. length	
Hot finished Seamless	Chita Works	Small-diameter seamless steel pipe mill	25.4-177.8	2.3-40.0	28 500	Mandrel mill rolling
	Chita Works	Medium-diameter seamless steel pipe mill	177.8-426.0	5.1-65.0	13 500	Plug mill rolling
SAW	West Japan Works (Fukuyama)	UOE steel pipe mill	406.4-1 422.4	6.0-50.8	18 300	Outside coating, Inside coating
	East Japan Works (Chiba)	Spiral steel pipe mill	500.0-2 600.0	6.0-30.0	25 000	JFE Welded Pipe
HFW	Chita Works	6-inch HFW steel pipe mill	60.5-165.2	2.0-12.7	16 000	JFE Welded Pipe
	Chita Works	4-inch HISTORY™ steel pipe mill	21.7-76.3	2.0-10.0	7 500	JFE Welded Pipe
	Chita Works	26-inch HFW steel pipe mill	318.5-660.4	4.0-25.4	20 000	
			250.0-550.0	6.0-28.0	14 000	Square columns
	East Japan Works (Keihin)	24-inch HFW steel pipe mill	177.8-609.6	3.2-19.1	18 500	Max. 12 000 mm for outside coating
200.0-500.0			4.5-22.0	18 000	Square columns	
Butt welding	East Japan Works (Keihin)	Butt welded steel pipe mill	21.7-114.3	2.8-4.5	7 200	Max. 7 200 mm for outside coating

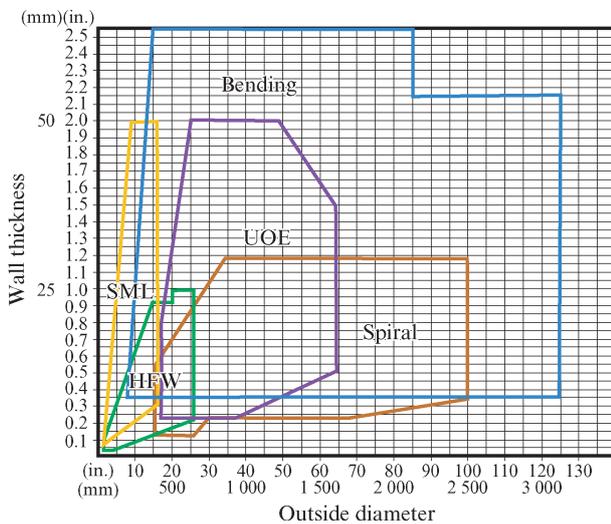


図 2 JFE スチールの鋼管製造可能範囲
Fig. 2 Product size range

て得意とする大径、厚肉の UOE 代替極厚肉ラインパイプ、コンダクターケーシングを商品化している。

東日本製鉄所（京浜地区）の 24 インチミルは比較的小径のラインパイプを得意としており、特に溶接品質に優れたラインパイプをマイティーシーム®として製造している。マイティーシームは JFE 独自の電縫溶接技術および品質保証技術を組み合わせた商品で、低温韌性に優れたラインパイプ

である。

マイティーシームは東日本製鉄所（京浜地区）、および知多製造所の両地区で製造可能である。

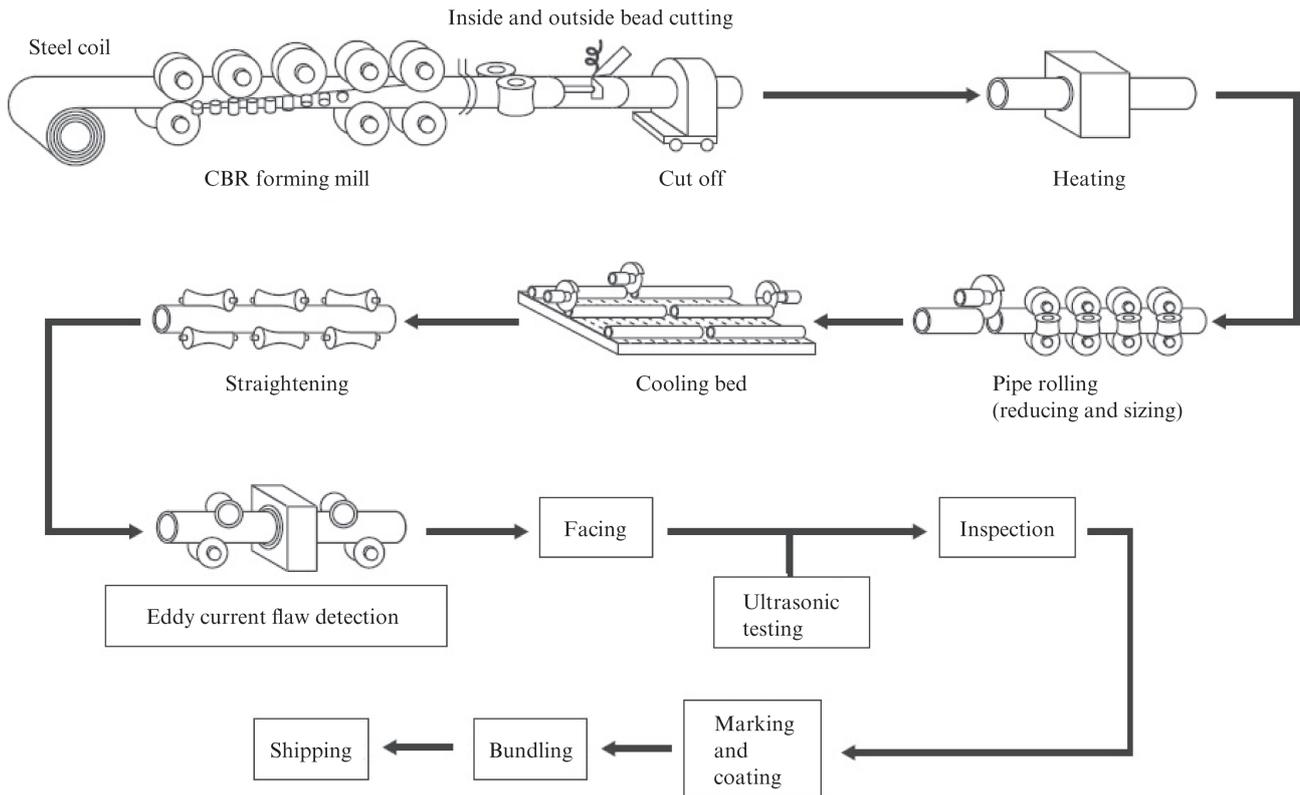
2.4.2 HISTORY®鋼管

知多製造所の 4 インチ HISTORY 鋼管ミルは JFE スチール独自の製造プロセスであり CBR 成型法で成型した鋼帯を高周波電縫溶接し、内外面ビードを切削除去した後にインダクションヒーターで誘導加熱し、縮径圧延を実施することにより高強度、高加工性の材料を製造している。

HISTORY 鋼管は高強度と高加工性を両立させた機械構造用素材として、自動車用足回り部品などの高加工を想定した用途に開発されたものである³⁾。HISTORY 鋼管の製造プロセスを図 3 に示す。通常の電縫溶接の後に加熱して温間縮径圧延を行い、結晶粒微細化、炭化物の微細化と同時に集合組織形成を実現することにより強度、延性を改善し、自動車用部品として 20~30%の軽量化に貢献できる。さらに通常の電縫鋼管では製造が難しい小径、厚肉鋼管の製造が可能である。また熱間で加工することによって溶接部の硬化を解消している。

2.4.3 外面被覆

東日本製鉄所（京浜地区）の 24 インチミルは外面コーティング設備を有しており外面被覆を必要とする鋼管を製造できる。

図3 HISTORY[®]鋼管の製造プロセスFig. 3 Schematic manufacturing procedure of HISTORY[™] pipe

2.5 鍛接鋼管製造設備

東日本製鉄所（京浜地区）の鍛接管工場は JIS に規定された SGP の製造を主に行っており、都市ガス・水道の配管に使われる亜鉛めっき鋼管や樹脂を被覆した防食管を製造している。鋼管製造時の CO₂ 削減、作業性向上を目的に従来の SGP より軽量化した軽量鋼管 FAST[®]10、FAST[®]20 も製造している。軽量鋼管の詳細については本号で紹介する。

3. 鋼管商品

JFE スチールでは広範な用途に種々の鋼管製品を供給している。エネルギー産業用では、石油・天然ガスの掘削および生産に使用される油井管^{4,5)}、輸送に使われるラインパイプ、発電に使われるボイラー用鋼管がある。建築用では角コラムや鋼管杭、自動車用では部品用の材料管などさまざまな用途で使用されている。以下に代表的な商品を紹介する。

3.1 油井管

JFE スチールは、表 2 に示すとおり耐食性を要求される用途で特徴ある製品を製造販売している。ひとつは、CO₂ が存在する環境で使用される高強度高耐食油井管であり、もう一つは H₂S が存在する環境で使用される耐サワー油井管である。また、これらの高強度油井管に適合した特殊ねじ

を販売している。API 規格に規定されているグレードのほか、チュービング・ケーシング用の高機能油井管として、圧潰に耐えるハイコラプス油井管、低温環境で使用される低温用油井管を製造している。

3.1.1 高強度高耐食油井管^{4,5)}

JFE スチールの特徴的な油井管としてマルテンサイト系ステンレス鋼の特性を生かした高強度高耐食油井管のシリーズがある。通常の 13% Cr 鋼に加えて、合金元素を添加することにより強度および耐食性を高めた JFE-HP1-13CR および JFE-HP2-13CR、さらに従来は二相ステンレス鋼が使用されていた環境に適用できる JFE-UHP[®]-15CR および JFE-UHP[®]-17CR など、使用環境に応じて多彩に取り揃えている。

3.1.2 特殊継手（プレミアムジョイント）

高深度の油井・天然ガス井に使用される油井管を繋ぐねじ継手には、高い継手強度と優れたシール性が要求される。JFE スチールは独自のプレミアムジョイント（PJ）として FOX[®]、JFEBEAR[®]、JFETIGER[®]、JFELION[®]、JFECOBRA[®] の 5 種類の商品、セミプレミアムジョイント（セミ PJ）として JFERABBIT[®] を供給している⁶⁾。また、現地で継手を接続する時に使用する潤滑剤に含まれる環境負荷物質が環境に流出する可能性を低減するために、継手の潤滑システム CLEAR RUN[®]を適用している⁶⁾。

表 2 油井管の製造可能グレード
Table 2 Available grades of OCTG (Oil Country Tubular Goods)

Yield strength (ksi)	API seamless	API enhanced				Sour service	For CO ₂ service (JFE's proprietary grades)			
		1%Cr	Controlled yield	High collapse	Mild sour		Pure sweet	Sweet high temp.	Sweet high temp. (+ Slight sour)	Severe sweet high temp. (+ Slight sour)
80	N80 L80 L80-13CR	L80-1Cr				JFE-80S	JFE-13CR-80			
85							JFE-13CR-85			
90	C90					JFE-90S				
95	R95 T95		T95-E	T95-HC/HCX		JFE-95S	JFE-13CR-95	JFE-HP1-13CR-95	JFE-HP2-13CR-95,95M (ISO13680)	
110 /115	P110 C110	P110-1Cr	P110-RY P110-E	P110-HC/HCX C110-HC/HCX	P110-MS	C110-XS		JFE-HP1-13CR-110	JFE-HP2-13CR-110,110M,115 (ISO13680)	JFE-UHP™-17CR-110
125	Q125		Q125-RY	Q125-HC/HCX		JFE-125S				JFE-UHP™-15CR-125

3.2 ラインパイプ

JFE スチールは継目無鋼管，UOE 鋼管⁷⁾，電縫鋼管^{8,9)}の製造プロセスを有しており，用途，サイズレンジに応じて適切な材料を供給している。

中でも長大パイプラインに使用される高強度ラインパイプ，従来の電縫鋼管に対して溶接部品質の高い信頼性を有するマイティーシーム¹⁰⁾，腐食環境で使用されるマルテンサイト系ステンレス鋼ラインパイプ¹¹⁾など特徴ある商品を取り揃えている。

3.2.1 高強度ラインパイプ

X80 に代表される高強度ラインパイプでも，パイプラインの高圧輸送や鋼管の大径化にともない厚肉化が進展している。より厳格化する低温靱性要求に対しては溶接部の靱性をさらに向上できる新溶接プロセスを開発し，高能率・高品質製造体制を確立している。

3.2.2 耐サワーラインパイプ

油井環境と同様にパイプラインにおいても，H₂S が存在する場合，水素誘起割れが生じる可能性がある。水素誘起割れを防止するために不純物，特に鋼中の S の量と形態を制御した耐サワーラインパイプが使用される。X65 の強度まで対応でき，さらに表層硬さ厳格要求に対しても対応可能である。表層硬さ厳格要求対応については本号で紹介する。

3.2.3 マイティーシーム®

石油・天然ガスを生産し輸送する環境はますます厳しくなっている。JFE スチールはラインパイプ用電縫鋼管の溶接技術およびシーム溶接部の非破壊検査技術の開発に注力し，電縫溶接部の信頼性を飛躍的に向上させた新しい電縫鋼管

マイティーシームを開発した。このことにより電縫鋼管の特徴である高寸法精度，高靱性などを生かしたラインパイプの設計が可能となった。

3.2.4 ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス鋼管

ラインパイプ用の耐食材料としてはこれまで二相ステンレス鋼などが用いられてきた。しかし，二相ステンレス鋼は優れた耐食性を持つものの，材料コストが非常に高いこと，溶接入熱の管理が難しいこと，過防食が起ると割れが生じやすいことが指摘されてきた。

マルテンサイト系ステンレス鋼^{11,12)}は，適度な耐 CO₂ 腐食性を示す，二相ステンレス鋼に比べ低コストの材料である。JFE スチールでは，C および N を低減することで溶接性を改善し，さらに添加成分を調整することで，溶接性と耐食性に優れたラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管を製造している。

3.3 特殊管

当社の高 Cr 合金の製造技術を活用して，火力発電ボイラーや石油精製プラントに使用される改良型 9% Cr-1% Mo 鋼管 (T91/P91) や W 添加 9% Cr 鋼管 (T92/P92) を製造している。最大 28.5 m の長さの鋼管を製造可能である。

高 Cr 合金以外でも，水素蓄圧器用厚肉鋼管等特徴ある製品を製造販売している。

3.4 建築用鋼管

土木・建築分野でも，鋼管の特性を活用した材料が多く使用されている。

土木・建築構造物の基礎を支える鋼管杭に加え，施工性

を改善した先端翼付き回転貫入鋼管杭（つばさ杭），および中掘鋼管杭工法（KING 工法）を開発している。

コラム鋼管は鋼管の製造過程でロールによって角形に仕上げるものであり，豊富なラインアップを誇る角形鋼管には電縫鋼管を素材とする JFE コラムと継目無鋼管を素材とするカクホット[®]がある。JFE コラムは最大厚さ 28 mm の JBCR[®]295 や，高強度グレード JBCR[®]385 を製造している。カクホットは JFE スチール独自の商品で，意匠性を要求される建築物に採用されている。

3.5 自動車用鋼管¹³⁾

自動車の軽量化に向けて，足回り部品への鋼管の採用例が増えている。JFE スチールでは素材・商品開発に加えて鋼管 2 次加工技術，性能評価技術を連携した取り組みを行っている。スタビライザーを中心とした自動車用足回り部品の素材として，HISTORY 鋼管が採用されている。

3.6 配管用鋼管

ガス，水道などの配管用材料として樹脂管，ステンレス

表 3 主要な防食管

Table 3 Major products of coated pipes

Product	Feature
Carbon Steel Pipe for Plumbing	This steel pipe, which is galvanized both inside and outside, offers outstanding workability.
Galvanized Steel Pipe for Water Plumbing (SGPW)	This steel pipe, which is thickly galvanized both inside and outside, offers outstanding workability.
Mizonon・MZN (Grooving Corrosion resistant Electric-Resistance Welded Carbon Steel Pipe)	When electric resistance welded pipe is used for seawater, industrial water or water works application, the seam portion may be selectively corroded, and so-called groove corrosion occurs. "Mizonon" is an electric resistance welded carbon steel pipe that is designed to prevent groove corrosion.
PFP (Internal Polyethylene Fusion Bonded Steel Pipe for Water Supplies)	This corrosion-resistant steel pipe for water supplies is coated on the inside with powdered polyethylene. It boasts excellent quality, hygiene, and corrosion-resistance. The fitting combined with rolling thread with excellent seismic resistance and durability. Conformable to JWWA K132.
JLP (Internal Unplasticized PVC-Lined Steel Pipe for Water Supplies)	This corrosion-resistant steel pipe for water supplies is made by lining the inside of steel pipe with PVC pipe using a bonding agent. It is ideal for applications that require a high level of corrosion protection. Conformable to JWWA K116.
JDLP (Internal PVC-Lined Steel Pipe for Building Drainage Services)	This is lightweight steel pipe lined with unplasticized PVC to address the need for more flexible and higher structures as a result of the diversification of drainage services and the increasing height of high-rise buildings. These products are conformable to WSP-042 (PVC-Lined Steel Pipe for Drainage).
PLP-PE2S (External Polyethylene-Coated Steel Pipe)	The outside of this corrosion-resistant steel pipe for underground plumbing is seamlessly coated with polyethylene resin by extrusion, to achieve a high degree of corrosion-resistance. Conformable to JIS G 3477-2 PE2S.
PLP-PE1H (External Single-Layer Bonded Polyethylene-Coated Steel Pipe)	This single-layer bonded polyethylene-coated steel pipe is made by strongly bonding a polyethylene coating onto steel pipe. it is suitable for laying underground and is conformable to JIS G3477-2 PE1H.
PLS (External Small-Diameter Single-Layer Bonded Polyethylene-Coated Steel Pipe)	This small-diameter single-layer bonded polyethylene-coated steel pipe retains the corrosion-resistance of PLP and can be used with is coating for thread cutting and thread rolling. Conformable to JIS G3477-2 PE1H.
PLS-F (Small-Diameter Single-Layer Bonded Polyethylene-Coated Steel Pipe)	Adhesive type polyethylene-coated steel pipe with ivory resin to match the color of building. Conformable to JIS G3477-2 PE1H.
PLV (External Unplasticized PVC-Coated Steel Pipe)	This is an integrally molded product made by strongly bonding PVC to steel pipe. It can be used for cutting and thread cutting without the coating peering off and is also suitable for thread rolling. The use of highly weather-resistant PVC enable use for both underground and exposed plumbing.
Fire-Fighting Pipe VS, VS-M (Galvanized and External unplasticized PVC-Coated Steel Pipe for Fire-Fighting)	It is adopted in the common equipment specification of the machine equipment work of Ministry of land, infrastructure, transport and Tourism. Fire-Fighting Pipe VS conforms to WSP-041 (Exterior PVC-Coated Steel Pipe for Fire Fighting). It is used for buried fire-fighting water pipe and interconnected water piping. Fire-fighting pipe SRPG-VS is a pipe material for connecting water pipe according to revision of Fire Law. VS-M is easy to peel off coating and easy to apply to mechanical coupling.
Cable protection Steel Pipe Insertion Joint Coated Steel Pipe MCPP Coated Steel Pipe AS, ASC, APS	Inner surface is excellent in the cable transmission line with internal coating, and the outer surface is cable protection steel pipe for corrosion prevention according to piping environment. In addition to the thread connection, it is also applicable to the insertion joint with excellent workability.

鋼管などの使用が増えているが、依然として亜鉛めっき鋼管、防食鋼管に代表される鋼管の使用比率は高い。近年では現場施工性向上を目的とした鋼管の軽量化ニーズも高まっており、JFE スチールでは、従来より 20%軽量化した軽量鋼管 FAST10 および FAST20 を開発した。

また、内面あるいは外面に樹脂被覆を行った防食管はガス管、給水管などに広く使用されている。表 3 に JFE スチールの防食管とその特徴を示す。

4. おわりに

JFE スチールは、お客様のさまざまなご要望にこたえられる商品と製造設備を有しており、また、現在もさまざまな技術開発を精力的に実施している。本特集号では最近の技術開発の成果をご紹介します。

参考文献

- 1) 森岡信彦ほか. マンネンスマンプロセスにおける高合金継目無鋼管製造技術の開発. 川崎製鉄技報. 1997, vol. 29, no. 2, p. 57-63.
- 2) 藤林晃夫ほか. JFE スチールの厚板製造プロセスと商品展開. JFE 技報. 2004, no. 5, p. 8-12.
- 3) 豊岡高明ほか. 新機能創製を可能とした次世代電縫鋼管製造プロセス「HISTORY」の開発. 川崎製鉄技報. 2001, vol. 33, no. 4, p. 145-150.
- 4) 木村光男ほか. 耐食性に優れた油井用高強度 Cr 鋼管. JFE 技報. 2005, no. 9, p. 7-12.
- 5) 木村光男ほか. 高深度油井・ガス井における腐食と高耐食油井管. JFE 技報. 2007, no. 17, p. 42-46.
- 6) 高性能特殊ねじ継手付きマルテンサイト系ステンレス油井用鋼管「HP13CR」, 「UHP15CR」, 「JFEBEAR」, 「Clear-Run™」. JFE 技報. 2007, no. 17, p. 59-61.
- 7) 石川信行ほか. ラインパイプ用高性能 UOE 鋼管. JFE 技報. 2005, no. 9, p. 19-24.
- 8) 小出竜男ほか. ラインパイプ用高強度高靱性 ERW 鋼管. JFE 技報. 2005, no. 9, p. 25-29.
- 9) 中田博士ほか. 低温靱性に優れた X80 電縫鋼管ラインパイプ. JFE 技報. 2007, no. 17, p. 37-41.
- 10) 井上智弘ほか. 溶接部品質に優れたラインパイプ用電縫鋼管「マイティーシーム®」の開発. JFE 技報. 2012, no. 29, p. 17-21.
- 11) ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管. JFE 技報. 2007, no. 17, p. 62.
- 12) 宮田由紀夫ほか. ラインパイプ用マルテンサイト系ステンレス鋼継目無鋼管. JFE 技報. 2005, no. 9, p. 13-18.
- 13) 豊田俊介ほか. サスペンション, シャシー部品用高強度鋼管—軽量化ニーズに貢献する高加工性鋼管と加工技術—. JFE 技報. 2004, no. 4, p. 28-32.