

Recent Progress in Pipemaking Technology Developed by Kawasaki Steel Corporation



佐山 泰弘
Yasuhiro Sayama
鉄鋼技術本部 鋼管技
術部長・工博

1 はじめに

当社は1952年に鋼管事業分野に進出して以来、すぐれた品質の鋼管を安定して供給できる体制を築くために懸命の努力を重ねてきた。この間、高レベルでかつ安定した品質を作り込むための各種プロセス開発に積極的に関わり、さらに、用途拡大を含めた新製品開発にも注力してきた。その成果は1982年度大河内記念生産特賞や1985年度会田技術賞受賞などにみられるように高く評価されるまでにいたり、幅広くお客様のニーズに応えうる体制が整備されてきている。今回、鋼管特集号の発刊に当たり、当社における鋼管の製造技術ならびに新製品開発の現状を概説する。

2 生産量の推移

Fig. 1 に当社における鋼管製造の歴史を示す。1952年に西宮工場において電縫鋼管の製造を開始して以来、鋼管の総合メーカーを目指し各種の製管設備を増強してきた。なかでも、知多製造所は世界有数の鋼管総合工場として、また千葉製鉄所は大径管の供給基地として確固たる地位を築くまでに成長した。

過去15年間の当社における鋼管生産量の推移をFig. 2に示す。1981年までは順調に生産量が増加し、全製品に占める鋼管の比率は16%を超えるに至ったが、その後起こった逆オイルショックをはじめ種々の環境の変化を反映し、近年は11~13%を推移している。この間、Fig. 3に示すように、配管、油井管が減少し、逆に機械構造用鋼管が増加するなど、品種構成も大幅に変化した。

3 プロセス開発

当社が製造している各種鋼管の製造プロセスをFig. 4に示す。

要旨

川崎製鉄の鋼管製造は1952年に始まり、現在千葉製鉄所および知多製造所に集約されている。当社における鋼管生産比率は約12%であり、当社の主要製品のひとつである。鋼管技術は国内・海外のエネルギー開発分野、建築・建設分野をはじめあらゆる分野での発展と関係が深い。

このたび、鋼管特集号の発刊に際し、最近の川崎製鉄における鋼管製造技術の進歩について、鋼管工場での製造技術および新製品開発、さらに鋼管関連技術として製品の検査や使用性能評価を試験する技術等について概説した。

Synopsis:

Kawasaki Steel Corp. has been manufacturing pipe and tubes since 1952, and production has been intensively carried out at two plants namely, integrated Chiba Works and Chita Specialty Works. The steel product mix of pipe and tubes is approximately 12 per cent, and constitutes main production item in KSC. Pipe-making technology has been developed along with the progress in all kinds of fields, especially the fields of energy development, architecture and construction. Taking an opportunity of the Special Issue of Steel Pipe, this paper describes the recent progress in tubular products and techniques in KSC such as pipe-making process technology, newly developed products and sophisticated inspection technique of evaluation for practical purposes.

いずれのプロセスにおいても高レベルの品質を安定して製造すべく、①各種センサー類の開発、②制御技術のレベルアップ、③製管設備の改良・開発等に注力してきた。以下に代表的な開発技術を概説する。

3.1 継目無鋼管の製造プロセス

当社は継目無鋼管の製造プロセスとして傾斜圧延方式の小・中径管用ミルを有し、寸法精度、製造品質および生産性の向上を目指しオンライン化、自動化、コンピュータ化に努めてきた。

3.1.1 高精度センサーの開発

ミルの制御精度向上には、圧延途中の形状を精度よく把握することが重要であり、当社では熱間肉厚計、バルジ幅計等の各種センサー類の開発に重点を置いた。γ線を用いた熱間肉厚計の開発は世界初のものであり、特に中径継目無鋼管に採用した3ビーム方式¹⁾は肉厚のみならず偏肉の測定が可能である。また小径継目無鋼管に採用した平行ビーム方式²⁾は非定常圧延部の肉厚変動がリアルタイムに把握できる点で画期的といえる。また、マンドレル圧延時における材料挙動を把握するために開発されたバルジ幅計³⁾も圧延条件を適正に維持するうえで有効なものであった。

* 平成2年8月23日原稿受付

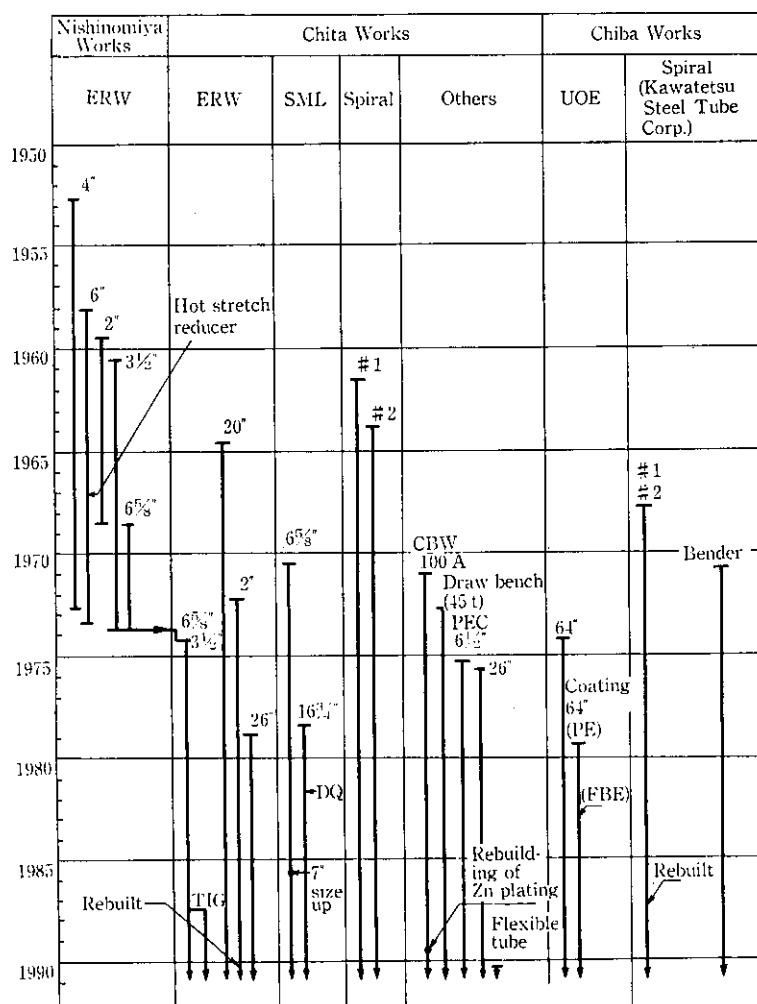


Fig. 1 History of tubular products manufacturing facilities at Kawasaki Steel

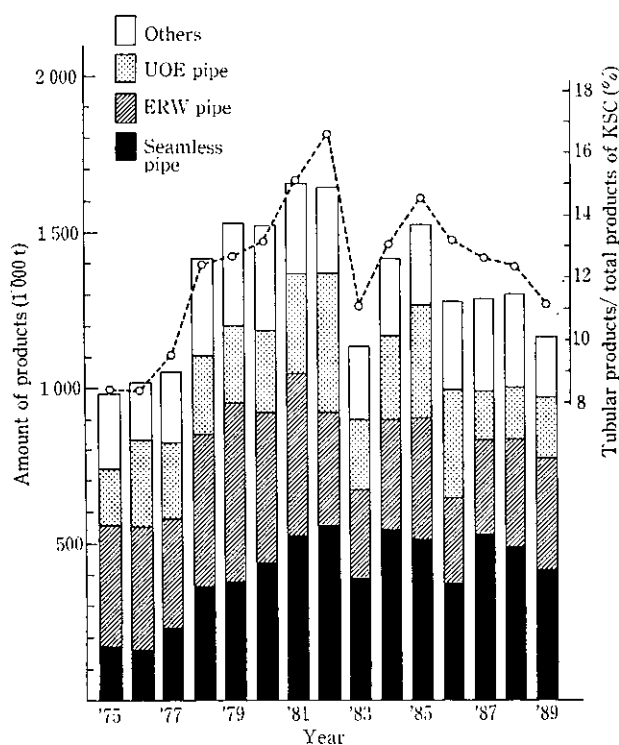


Fig. 2 Amount of tubular products at Kawasaki Steel

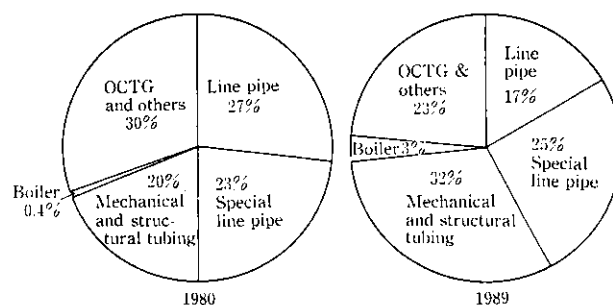


Fig. 3 Comparison of mix ratio of tubular products

3.1.2 圧延制御モデルの開発

穿孔から絞り圧延までのすべてのミルで自動設定可能な制御モデルを開発した⁴⁾。さらに5スタンドモデルミルを用いて基本特性を調査し⁵⁾、マンドレルミル圧延の最適設計法をMAPシステムとして構築し(Fig. 5)、圧延可能サイズ・グレードを大幅に拡大した。これらの技術は海外へ技術供与され好評を博している。また、これらをまとめたシームレス鋼管数値管理圧延技術の開発に対して昭和57年度大河内記念生産特賞を得るという榮譽に浴している⁶⁾。

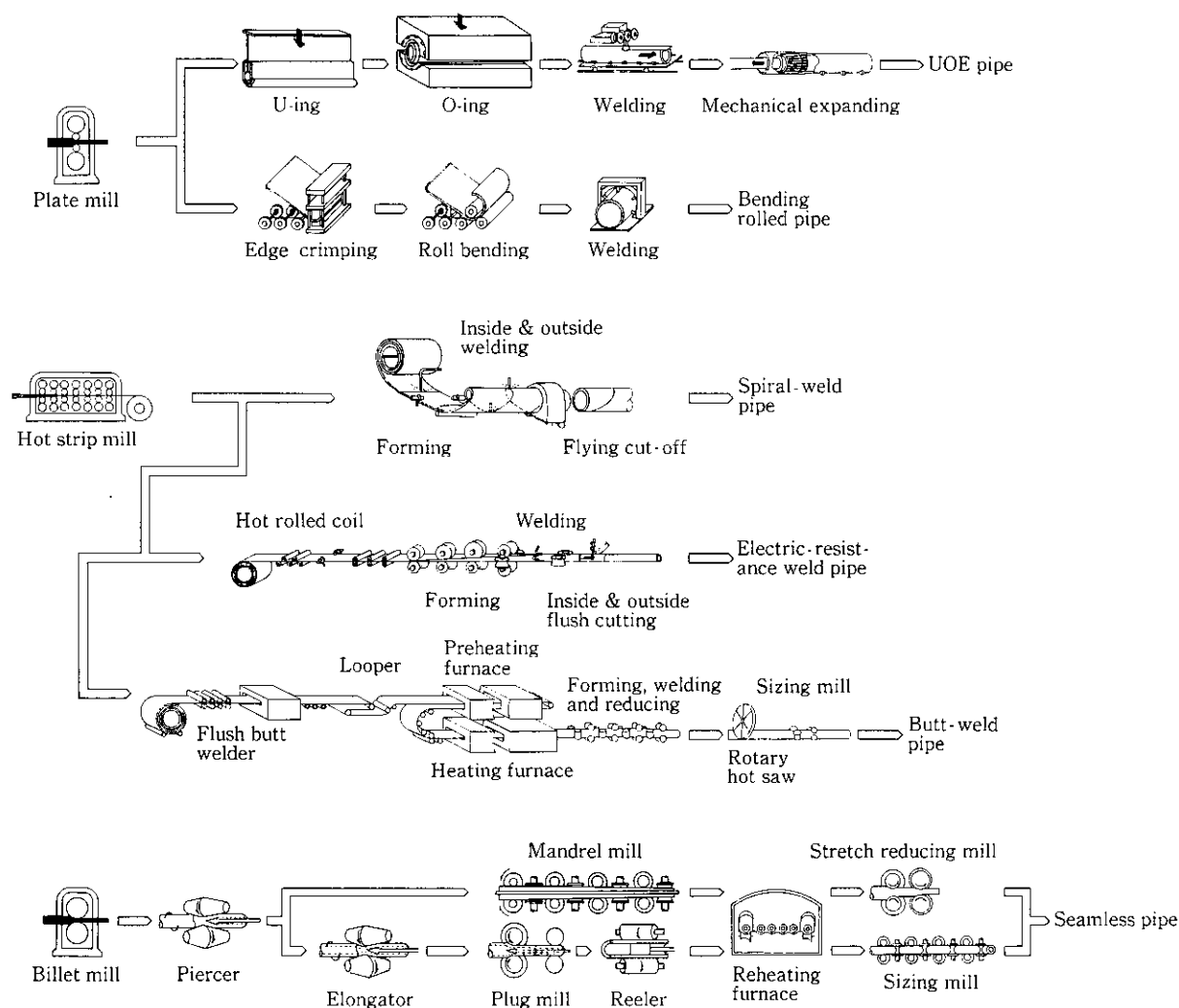


Fig. 4 Manufacturing processes of tubular products at Kawasaki Steel

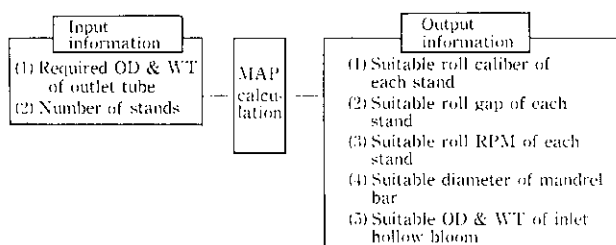


Fig. 5 Outline of map system

3.1.3 高級製品製造技術の開発

直接焼入れ炉 (DQ 炉)⁷⁾ やドライブローラーシュエ (DRS)⁸⁾ を開発した。DQ 炉は省エネルギーを指向し、圧延時に鋼管が持っている顕熱を有効活用すると同時に、全長にわたって均一な焼き入れを確保するために、当社独自の閉管路系内外面軸流方式を開発した。また、DRS (Fig. 6) は、固定シュエが圧延素管と 100% の滑り摩擦で接触するのに対し、シュエをローラー型に変更したもので、大幅に滑り摩擦が軽減され、シュエマークを減少させている。以上述べたような技術開発は、マンネスマン方式での高合金鋼管の製造を可能にし、順調な生産拡大に寄与している。Table 1 はステンレス鋼

管製造上の技術的課題の一例を示したものである。

一方、これらの精整設備対応をも行ってきた。特に、酸洗、冷けんおよび熱処理を要する高級品 (缶材、高 Cr 合金鋼、ステンレス) を対象として、カスタマーニーズに応えるべく多目的 NDI 装置を設置した。これは、磁気探傷装置と超音波探傷装置を組み合わせ、かつ、肉厚測定を可能にしたものである。さらに、塗装、梱包等の新鋭設備をも建設中であり、需要家の要求に十分対応できる体制を着実に整備してきている。

3.2 溶接鋼管の製造プロセス

3.2.1 電縫鋼管

当社は 4 基の電縫鋼管製造設備を有し、小径管から大径管まで (外径 21.7 mm ~ 660.7 mm) の製造を行っている。需要家から電縫鋼管に要求される品質は高強度、高靱性、高耐食性など多様化しており、それらの特性を満足させるために、素材の製造技術 (製鋼技術、圧延技術) や成形ならびに溶接を含めた製管技術の改善開発を行い対処してきた。成形、溶接面で行われた主な開発技術を以下に示す。

(1) 成形

26'' ミルにケージョール方式を採用した結果、帯鋼のエッジ

Table 1 Technical problem & applicable technology on stainless steel tubular goods

Class	Technical problem	13 Cr	22 Cr	SUS 304	Applicable technology
Raw material defects	Shortness of hot workability	●	●	●	Low S, low P steelmaking
			●		Ca/S control
Internal surface defects	Scab by high temperature embrittlement	●		●	Temperature control of billet mill & heating furnace
	Scab by plug dissolution		●		Improvement of material & shape of piercer plug
	Wrinkle			●	Development of rolling schedule at reducing mill
External surface defects	Piercer shoe mark	●	●	●	Installation of disk shoe & drive roller shoe Development of shoe lubricant
	Roll edge mark		●	●	Development of roll lubrication system
	Defect by intergranular oxidation			●	O ₂ potential control of heating furnace
Dimensional problem	Deviation in wall thickness	●	●	●	Improvement of rolling schedule at mandrel mill
Toughness	Embrittlement by σ phase precipitation		●		Temperature control of reheating furnace

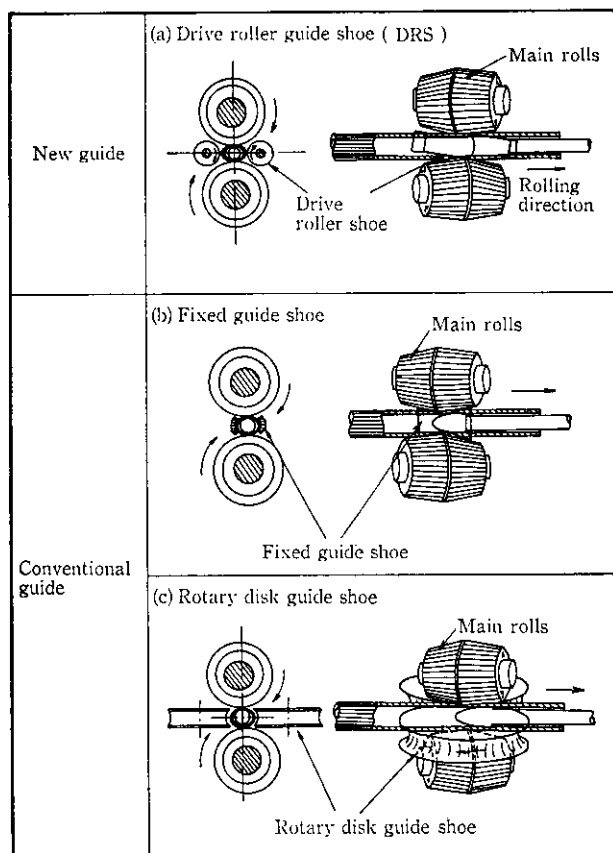


Fig. 6 Schematic diagrams of new roller guide shoes and conventional guides in cross helical rolling mill

ウェーブが減少し、 $t/D \leq 1\%$ の薄肉鋼管まで製造可能になった⁹⁾。Fig. 7 にロール成形過程における材料の変形挙動の計算例を示す。また、広範囲の製品外径に対して、成形ロールを1種類で兼用する技術を開発した¹⁰⁾。さらに変形解析を進展させて、ケージロール成形方式によるチャンスフリー張出しロール成形法 (CBR 成形法)^{11,12)}を開発し、2'' ミルに適用した。

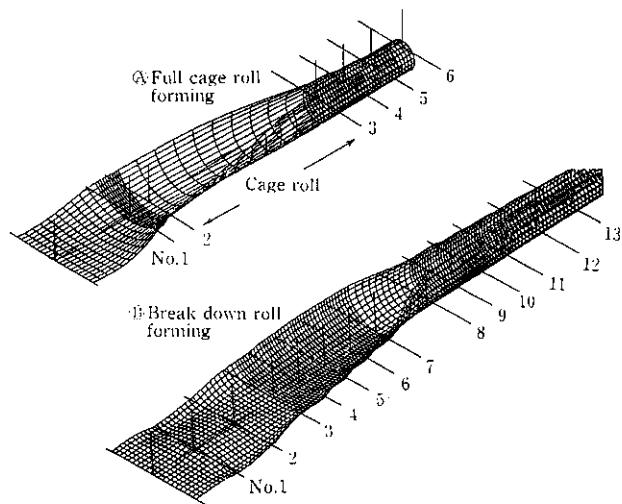


Fig. 7 Schematic view of forming

さらに、2'' ミルはプリセット方式および台車によるクイックチェンジ方式の採用により、小ロット、短納期対応が可能になった。

(2) 溶接

当社独自の自動入熱制御システム (コイル長手方向の板厚変動と溶接速度をフィードフォワードし、溶接温度をフィードバックするシステム)¹³⁾やガスシールド溶接法の適用により、安定した溶接性状が得られ、さらにシームアニーラの増設により高靱性の品質要求に対しても対応可能になった。また、溶接部のビードについても、内面ビード監視装置 (Fig. 8) の開発により、ビード形状が監視できるようになった。

3.2.2 UOE 鋼管

当社の UOE ミルは千葉製鉄所に設置されており、外径64'' の世界最大の鋼管が製造できる。UOE 鋼管の主な用途は原油または天然ガスの輸送に用いるパイプラインであり、これに使用されるパイプに対する品質上の要求は厳しく、また品質保証体制についての要求も厳しい。これらの要求に対し、各種の固有技術および管理システムで対応してきた。主なものについて以下に述べる。

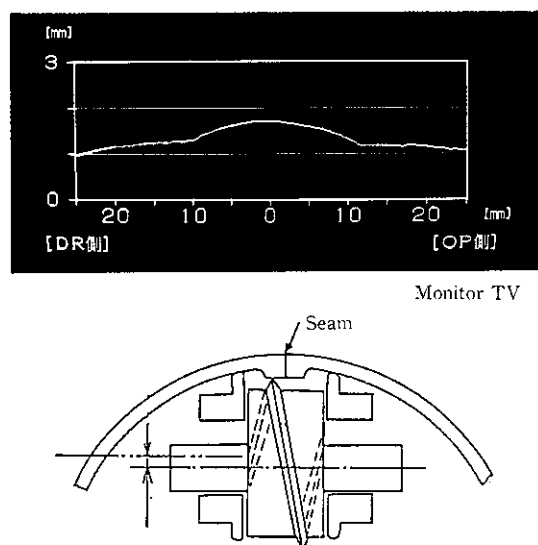


Fig. 8 Measurement of inside bead shape

(1) 溶接

内面溶接および外面溶接に4電極溶接を適用している¹⁴⁾。これにより良好な溶接ビード形状が安定して得られると同時に生産性の向上が図られた。また、管端溶接部に割れの発生しやすい薄肉管に対しては、クランプを用いて管端部を拘束することにより健全な品質を確保している。

(2) 寸法測定

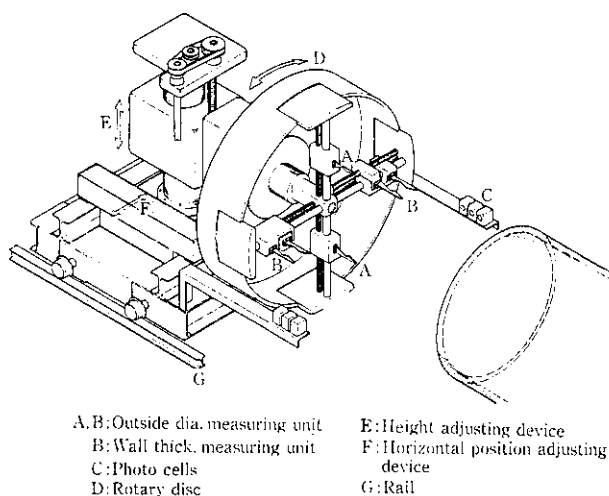
検査工程において、鋼管の外径、厚さ、長さおよび真円度を自動寸法測定機(Fig. 9)により測定している。測定値はコンピュータとの結合により帳票類へアウトプットされる。このようにして迅速かつ正確なデータが提供されることにより、品質管理の面でも大きな効果をあげている。

(3) 管体への表示

ドットスプレー方式により鋼管の内外面に自動的に表示項目を吹き付けている。表示内容はパイプトラッキングシステムから取り出されて、管1本ごとに異なった内容が自動的に指示される¹⁵⁾。

(4) 塗覆装

ポリエチレン被覆鋼管をTダイ方式で製造するとともに、そ



A,B: Outside dia. measuring unit
B: Wall thick. measuring unit
C: Photo cells
D: Rotary disc
E: Height adjusting device
F: Horizontal position adjusting device
G: Rail

Fig. 9 Automatic measuring device for pipe dimension

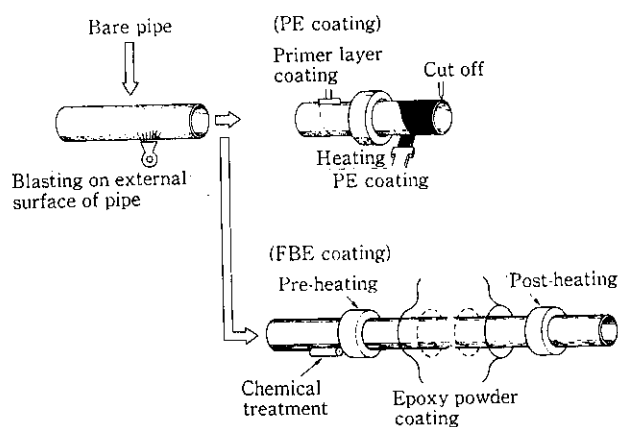


Fig. 10 Schematic illustration of coating equipment for UOE pipe

の後、搬送ライン、加熱のための誘導コイルおよび塗装機を増設しエポキシ粉体塗装鋼管の製造も行っている^{16,17)} (Fig. 10)。

3.2.3 スパイラル鋼管

当社は知多と千葉(川鉄鋼管㈱)にそれぞれ2基ずつスパイラルミルを保有している。スパイラル鋼管の用途としては、配管用として使用される大径の水輸送用鋼管の分野と、構造用として土木、建築特に港湾設備に使用される鋼管杭や鋼管矢板の分野がある。最近、構造用の分野において、建物や工事の大型化に伴い使用される鋼管に厚肉化・大径化の傾向がみられる。これらの需要の変化に対応できるように、新しい成形技術と溶接技術を組み込んだミル改造を1988年に行った¹⁸⁾。これらの改造の結果、ミルの能力は国内で最大となり、外径2650 mmで厚さ30 mmの大径厚肉鋼管が、また、超薄肉大径鋼管として外径2308 mmで厚さ3.2 mmの製造が可能となった。厚肉管は配管や杭用として、また薄肉管は合成杭やサイロ胴体などに主として用いられている。なお、これより大径厚肉の要求に対しては、板巻で対処できる。

一方、製品長さ面においては工場円周溶接により、80 mを超える長尺管の製造も可能である。

3.2.4 鍛接鋼管

鍛接鋼管の中で、特にガス、給排水等に使用する亜鉛めっき鋼管に対し、従来のパッチ方式より連続亜鉛めっき方式に切り換え品質の向上と安定化を図った。

4 システム開発

年ごとに多様化する需要家の要求情報は、販売、生産および物流部門で正確に、かつ迅速に処理されなければならない。

当社は需要家の引合情報をもとに、本社では「販売・生産管理システム」を、また、工場では「鋼管生産管理システム」を構築し対処している。

特に工場では次の処理が行われる。

管理部門： 需要家の仕様付加、造管、精整命令の計画・指示、素材発注など¹⁹⁾

造管部門： 製造に伴う操業条件の設定および情報の収集²⁰⁾、各ミルでの設備監視など

物流部門： 製品の完成に伴う搬出・置場管理、出荷計画など

なお、製造面でのバックアップシステムとして「保全・部品管理システム」も整備されており、鋼管全工場のオンライン情報処理体制が確立されている。

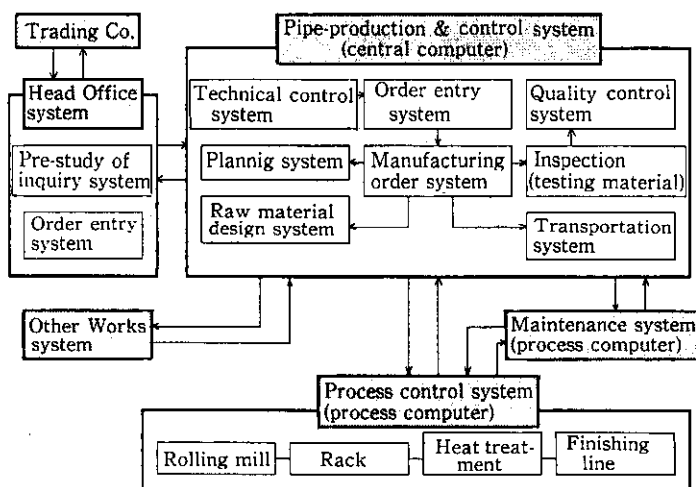


Fig. 11 Pipe-production control system flow

Fig. 11 に当社における鋼管生産管理システムの概要を示す。

5 製品開発

5.1 ラインパイプ

パイプラインの敷設される環境および使用条件が苛酷になるにしたがい、ラインパイプに要求される性能も高度化しつつあり、輸送圧力の上昇のための厚肉化と高強度化、寒冷地のパイプライン用の低温靱性特性、また腐食性原油やガス輸送のための耐食性が要求されるようになってきた。Fig. 12 はその一例として当社の電縫鋼管に要求された衝撃試験温度の推移を示したものである。当社ではこれらの要求に応えるため、ラインパイプ用の素材および製品の開発を行ってきた。例えば、耐食性向上のために極低 S, P, N の超清浄度鋼の製造や介在形態制御などの製鋼技術の開発を、また低温靱性の向上のために厚板圧延における制御圧延と加速冷却を併用した MACS 法の適用やホットストリップ圧延における controlled rolling の適用を行ってきた²¹⁾。さらに溶接部の靱性向上のために UOE 鋼管では溶接材料の開発、また電縫鋼管では溶接部シームアニーラの増強で対処してきている。

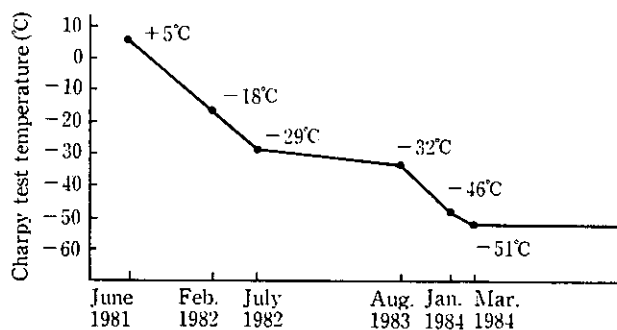


Fig. 12 More severe Charpy test temperature with year

5.2 油井用鋼管

最近の石油・天然ガス井は高深度化、寒冷地化、オフショア比率の増大、さらに H_2S , CO_2 等の腐食性成分の含有など、開発環境は一段と厳しくなっている。このため使用される油井用鋼管には今

までにない優れた性能と品質が要求されている。当社は独自の特徴を盛り込み開発した各種グレードをシリーズ化 (Table 2) するとともに、使用環境に合った材料選択のための技術データをそろえ、適切な材料使用による油井事故の防止や油井の経済的開発に寄与してきている²²⁾。

油井用鋼管の主流は継目無鋼管であるが、使用条件によっては電縫鋼管が多用されるようになってきているのも、近年の傾向である。

製品開発の主なものを以下に示す。

5.2.1 耐腐食性油井管

耐 H_2S , CO_2 腐食鋼管へのニーズが最近一段と高まっている。応力腐食割れ性 (SCC) に優れかつ高深度油井に耐える高強度 KO 110 S (Fig. 13)^{23,24)} はすでに大手石油会社への出荷実績も増えている。また CO_2 ガス井では、 H_2S 腐食とは異なる孔食現象があり、耐 CO_2 腐食として高 Cr 系鋼特に 13 Cr 鋼の使用が増えている^{25,26)}。

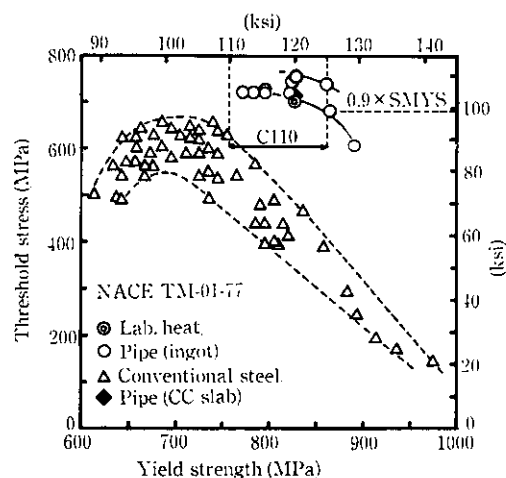


Fig. 13 Comparison of threshold stress of the newly developed 110 ksi yield strength grade steel with conventional Cr-Mo steels

5.2.2 特殊ねじ継手

英国 Hunting 社と独自の特殊ねじ継手 “FOX”²⁷⁾ を共同開発し、API ねじ継手では不十分であった気密性を改善した (Fig. 14)。さらに、ねじ部にピッチチェンジの概念を導入して継手部に加わる応力集中を軽減し、高応力かつ腐食環境下での特性を一段と向上させ

Table 2 List of Kawasaki Steel's special casing and tubing "KO-series"

SMYS level (ksi (Mpa))	Deep well service V	High collapse service T, TT	Sour service			Arctic service L	Wet CO ₂ service
			General S	Special SS	High collapse TS		
55 (379)		KO-80 TT*				KO-55 L*	
75 (517)							KO-13 Cr 75 KO- 9 Cr 75
80 (552)		KO-80 T KO-80 T*	KO-80 S		KO-80 TS	KO-80 L	KO-13 Cr 80 KO- 9 Cr 80
85 (586)			KO-85 S	KO-85 SS			
90 (620)			KO-90 S	KO-90 SS			
95 (655)		KO-95 T KO-95 T* KO-95 TCYS KO-95 TCYS*	KO-95 S	KO-95 SS	KO-95 TS	KO-95 L	KO-13 Cr 95
105 (724)						KO-105 L	
110 (758)		KO-110 T	KO-110 S	KO-110 SS		KO-110 L	
125 (862)	KO-125 V					KO-125 L	
140 (965)	KO-140 V						
150 (1034)	KO-150 V						

* ERW process

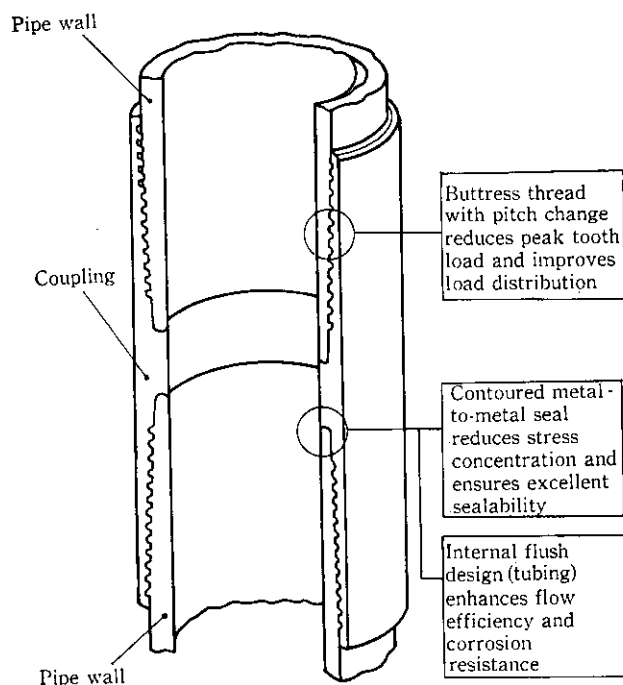


Fig. 14 Basic design of Fox joint

た。これらは有限要素法解析 (FEA) および当社鋼管試験センターでの最新設備を駆使した各種評価試験を経て商品化した信頼性の高いものである^{28,29,30)}。

5.2.3 その他油井用鋼管

油井掘削のため、ドリルパイプ、ドリルカラー、パップジョイント、クロスオーバー等が使用されるが、特殊用途向として、断熱二重管がある。当社の関係会社である米国 KTS 社 (Kawasaki Thermal Systems Inc.) において、高粘性油井の生産あるいは EOR 法として

の蒸気吹き込み用に高断熱特性を持つ二重構造油井管を製造している^{31,32)}。カナダ、中国等での粘度の高い油井の効率的生産だけでなく、極地などの寒冷地開発用として注目されている。

5.3 ボイラおよび化学プラント用鋼管

省エネルギーを目的にボイラの高温・高圧化による発電効率の向上が叫ばれ、各種合金鋼が開発されている。特に注目すべき鋼種として米国 ORNL で開発された Super 9 Cr がある。Super 9 Cr は、12 Cr までのフェライト系合金鋼管では、最も高温許容応力が高くオーステナイト系 SUS 304 相当である。また、溶接性も良いという特徴を有している。

当社では、一般的に熱間押し法で製造されている上記 Super 9 Cr および SUS 321 H に対し、素材成分、造管技術等種々の検討を重ね、マンネスマンプロセスにて製造することに成功し、現在、過熱器および再熱器用として広く利用されている。なお、Super 9 Cr よりさらにクリープ強度の高いフェライト系ボイラチューブを研究開発中である。

最近、カスタマーサイドで、従来冷間仕上品が使用されている過熱器等への熱間仕上品の適用が検討されており、当社も厳密な品質管理により冷間仕上品並の高寸法精度と表面品質を有するボイラチューブを開発し、出荷している。

5.4 機械構造用、構造用鋼管

5.4.1 高圧ガスボンベ用極薄品

継目無高圧ガスボンベは軽量化を目的に、(1) 高強度化 (C-Mn 鋼の焼準タイプ→C-Mn 鋼の調質タイプ→Cr-Mo および Cr-Mo-Ni 鋼の調質タイプへの移行) および(2) 薄肉化が進んでいる。

鋼管メーカーへの極薄化要求は厳しく、当社も小径シームレス・マンドレルミル MAP システムをもとに極薄化に取り組んできた。その結果、肉厚/外径比 2.3% までの製造が可能となった。

5.4.2 冷間引抜用鋼管

継目無鋼管 (KM および KMA シリーズ) では、従来より寸法精度ならびに表面品質が優れているために冷間引抜用として好評を得ているが、造管技術の向上が細径薄肉化および高 t/D 化、内面形状改善を可能にし、お客様での伸管回数減少に寄与している。

電縫鋼管 (STN および SAE シリーズ) では、内表面粗度、内外面疵に対する要求が厳しくなっており、一部では冷間引抜品をそのままシリンダーとして使用するミラー DOM (drawn over mandrel) の要求もある。

5.4.3 送電鉄塔用高張力鋼管

超高電圧 (UHV) 送電鉄塔用高張力鋼管 JIS G 3474, STKT 55 および 60 が 1988 年に JIS 化された。当社は Zr 添加素材を用いた溶接性の良好な ($C_{eq} \leq 0.40$), 耐溶融亜鉛割れ性 ($CEZ \leq 0.28$, $R_{\sigma, t=400} \geq 40\%$) を有する靱性良好な鋼管を製造している³³⁾。

5.4.4 角型鋼管 (K コラム R)

最近の建築ブームに乗り角型鋼管の需要が大幅に伸びている。当社も世界最大級の知多製造所第 2 中径電縫鋼管を素材にして、ロール成形法による最大 $550 \text{ mm} \square \times 22 \text{ mm } t$ までの角型鋼管を 1990 年 11 月より生産開始した。

5.5 防食鋼管

当社の防食鋼管を Table 3 に示す。その中の代表的防食鋼管の一例を以下に示す。

5.5.1 重防食被覆鋼管

ガス、給排水に使用する埋設用ポリエチレン被覆鋼管、海洋構造物に使用するポリウレタン被覆鋼管は、耐久性の観点から、被覆材料の劣化試験および被覆-鋼材面の界面強度の調査を行い、接着性、耐衝撃性、耐海水性および耐候性の面で優れた品質のものを採用している。

5.5.2 耐溝食電縫鋼管

電縫鋼管は工業用水、冷却水、給排水等に使用した場合、電縫部のみが選択的に腐食し、溝食となって漏れを発生することがある。当社が開発した耐溝食電縫鋼管「リバー GR」は溝食の発生原因の究明および防止対策を検討した結果、化学成分の調整 (S の低減、

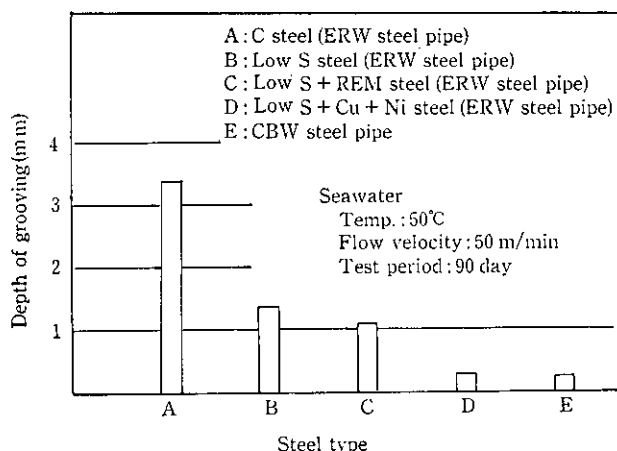


Fig. 15 Effect of alloying elements on grooving corrosion

Cu および Ni の添加) により、耐溝食性を著しく向上させることに成功した³⁴⁾。Fig. 15 に耐溝食試験結果の一例を示す。

5.5.3 ステンレスフレキシブル鋼管

可とう性に優れた当社のステンレスフレキシブル鋼管³⁵⁾は、溶接部の品質を最重要視して製造している。特に成形から検査までの全工程は外部から粉塵の侵入防止を図ったクリーンな工場で製造している。

6 おわりに

以上、各種鋼管の製造技術の歴史と現状を概説した。当社は、現在、以下に述べる三つの大きな柱を設定し、将来に向けて鋼管事業をより実りのあるものに仕上げるべく力を結集している。

(1) 製造体制の整備

ますます強くなる小ロット多品種傾向ならびに短納期要求に対応するためのフレキシブルな製造体制を目指す。

Table 3 Kawasaki Steel's corrosion resistance pipe

Environments	Corrosion resistance pipe	Use
Underground services	① Polyethylene-coated pipe (KPP) ② Polyethylene powder-lined pipe (KFP SGP-PD) ③ Polyvinyl chloride-lined pipe (KLP SGP-VD) ④ External fusion-bonded epoxy-coated pipe	・ Gas ・ Oil ・ Water ・ Drainage ・ Protector of cables ・ Plant services
Ground services	① Polyethylene powder-lined pipe (KFP SGP-PA, PB) ② Polyvinyl chloride-lined pipe (KLP-VA, VB, VC) ③ Galvanized steel pipe ④ Flexible corrugated stainless steel pipe ⑤ Grooving corrosion resistance ERW pipe (River GR)	・ Gas ・ Oil ・ Water ・ Drainage ・ Plant services ・ Air conditioner
Offshore structure services	① Polyethylene-coated pipe (KPP) ② Polyurethane-coated pipe	・ Protective wall services ・ Breakwater services ・ Shore-protection services

(2) 高付加価値化の推進

高合金鋼を主体にした各種鋼管を製造し、顧客のニーズに応える。

(3) 新規分野への進出

従来手がけていなかった分野を積極的に開拓し、ニーズの多

様化に対応する。

今後とも、「顧客から学び、最高の品質、性能、サービスを提供する」をモットーに、さらに前進していくために、一層の努力をしていく所存である。

参 考 文 献

- 1) 船生 豊, 松岡逸雄, 奥村 精, 村上昭一: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 2, 23
- 2) 奥村 精, 紺屋範雄, 岡 弘, 粕谷利昭: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 4, 266-277
- 3) 岡 弘, 村瀬文夫, 紺屋範雄, 船生 豊, 山本健一, 今江敏夫: 鉄と鋼, 72 (1986) 4, S 404
- 4) 佐山泰弘, 江島彬夫, 船生 豊, 間口龍郎, 富樫房夫, 阿部英夫, 桜田和之, 田口芳男: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 1
- 5) 今江敏夫, 山本健一, 佐山泰弘, 高田 庸, 篠倉恒樹, 高橋善生: 川崎製鉄技報, 18 (1986) 3, 256
- 6) 佐山泰弘: 「シームレス鋼管数値管理圧延技術の適用と拡大」, 大河内賞 30 年のあゆみ, (1987), 834, [大河内記念会]
- 7) 上野雄夫, 滝谷敏一郎, 三村幸宏, 大島谷敏夫, 簡野豊治, 増田敏一: 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 334
- 8) K. Takahashi, E. Yokoyama, M. Kodaka, M. Kagawa, T. Kobayashi, and S. Kanari: 31st Mechanical Working & Steel Processing, AIME/ISS, (1989), 565
- 9) 山本 満, 杉江善典, 渡辺修三, 富沢良信, 豊岡高明: 材料とプロセス, 1 (1988) 5, 1564
- 10) 板谷元晶, 豊岡高明, 渡辺修三, 星 清政, 井手 武: 材料とプロセス, 1 (1988) 5, 1565
- 11) 豊岡高明, 志賀 厚, 橋本裕二, 小林邦彦, 小林 章, 小野田義富: 塑性加工連合講演会講演論文集 II, 40 (1989), 357
- 12) 豊岡高明, 志賀 厚, 橋本裕二, 佐山泰弘, 小林邦彦, 小野田義富: 塑性加工春季講演会講演論文集 I, (1990), 155
- 13) S. Minamiya, S. Watanabe, Y. Sugie, M. Shibagaki, F. Ode, and A. Shiga: Mechanical Working & Steel Processing, AIME/ISS, 21 (1984), 529
- 14) K. Miura T. Yamaguchi, and F. Kawabata: "Welding and Allied Process, Energy and Economy", IIW, 1982 annual conference, Yugoslavia, 133-141
- 15) 守井隆史, 安原 勇, 楠 光裕, 富塚敬市, 山外博幸, 梶山政司: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 4, 300-301
- 16) 持館 盛, 美浦一彦, 唐沢順市, 守井隆史, 中沢正敏, 村居直昌: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 142
- 17) 美浦一彦, 小西博典, 田中貞治, 小原昭彦, 小菅昭雄: 川崎製鉄技報, 16 (1984) 1, 25
- 18) 美浦一彦, 福島啓治: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 4, 271-276
- 19) 藤川信司, 土田 豊, 道野安信: 川崎製鉄技報, 20 (1988) 2, 14
- 20) S. Sayama, F. Togashi, A. Ejima, H. Abe, Y. Funyu, K. Sakurada, T. Maguchi, and Y. Taguchi: Kawasaki Steel Technical Report, 4 (1981), 1
- 21) 君嶋英彦: 第 112, 113 回西山記念技術講座, (1986), 201
- 22) 滝谷敏一郎, 蓮野貞夫, 江島彬夫, 川崎博章, 北嶋由一, 西 博: 川崎製鉄技報, 13 (1981) 1, 32
- 23) K. Kobayashi, K. Motoda, T. Kurisu, T. Masuda, T. Kawade, and H. Oka: Kawasaki Steel Technical Report, 19 (1988), 3
- 24) K. Motoda, T. Masuda: Offshore Technology Conference, Houston (USA), April (1987), 5483
- 25) 河手崇男, 片桐忠夫, 増田敏一, 高田 庸, 栗栖孝雄, 大坪 宏: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 291
- 26) 倉橋速生, 曾根雄二, 中井揚一: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 299
- 27) 川崎製鉄(株): 特開昭 60-260792
- 28) K. Ueno, G.C. Dearden, J.K. Duxbury, and T. Maguchi: The 18th Annual OTC, Houston (USA), May (1986), 221
- 29) Y. Hirano, T. Maguchi, K. Yamamoto, K. Ueno, and J. Duxbury: Kawasaki Steel Technical Report, 19 (1988), 23
- 30) 山本健一, 小林邦彦, 間口龍郎, 上野雄夫: 川崎製鉄技報, 21 (1989) 3, 202
- 31) J. Roni, E. O. Stephenson: SPE Seminar, 2nd International Petroleum Equipment and Technology, Beijing (China), March (1986)
- 32) 坑井内同軸熱交換方式研究会: 「坑井内同軸熱交換方式による地熱発電の予備的経済性評価調査報告書」, July (1988), 12
- 33) 小関智也, 杉江英司, 志賀千晃, 上田修三, 松山隼也, 竹内幸正: 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S 1382
- 34) 栗栖孝雄, 久野忠一, 原田俊一, 土居武雄: 川崎製鉄技報, 11 (1979) 3, 14
- 35) H. Kawasaki, J. Karasawa, M. Shibagaki, M. Hino, and K. Tamaki: Kawasaki Steel Technical Report, 19 (1988), 33