
地球環境保全に貢献する高機能鋼管

High Performance Pipe and Tubes Contributing to Earth Environment Preservation

川崎 博章(Hiroaki Kawasaki) 豊岡 高明(Takaaki Toyooka) 木村 光男(Mitsuo Kimura)

要旨：

鋼管は天然ガスの開発に貢献するとともに、自動車部品の軽量化、部品製造の省工程により省エネルギーにも貢献している。高 Cr 鋼管は、耐食性を高めることによって環境汚染の原因となるインヒビターを用いることなく、湿潤 CO₂環境で使用できる。また微量 H₂S を含んだ湿潤 CO₂ 環境の油井管用途には HP13Cr 鋼シリーズを開発した。ラインパイプ用途には予熱、後熱なしで溶接可能な weldable-12Cr 鋼シリーズを開発した。温間域高縮径圧延で超微細組織となる HISTORY 鋼管は高強度と高加工性を備えた高機能鋼管として開発された。HISTORY 鋼管を使用することにより自動車部品の軽量化および熱処理省略により省エネルギーに貢献できる。

Synopsis：

High strength and corrosion resistance steel pipe and tubes contribute to the production and the transportation of natural gas which is recognized as clean energy. High strength and high formability steel pipe and tubes can reduce the weight of automobile parts to save energy consumption. High Cr bearing steel pipe is used under wet CO₂ environment without using any inhibitor that causes environmental pollution. HP13Cr steel pipe can be used under wet CO₂ and slight H₂S environment. For line pipe usage, 12Cr steel that can be welded without preheat and post heat treatment was developed. HISTORY tube with ultra fine microstructure which has the high strength, high formability and uniformity of seam hardness has been developed by the thermo-mechanical controlled processing (TMCP) in the newly developed warm reducing. HISTORY tube can contribute to save energy by reducing the weight of automobile parts and eliminating heat treatment before tube fabrications.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

High Performance Pipe and Tubes Contributing to Earth Environment Preservation



川崎 博章
Hiroaki Kawasaki
鋼管セクター室長



豊岡 高明
Takaaki Toyooka
技術研究所 鋼管・鋳物研究部門長・工博



木村 光男
Mitsuo Kimura
技術研究所 鋼管・鋳物研究部門 主任研究員(課長)

要旨

鋼管は天然ガスの開発に貢献するとともに、自動車部品の軽量化、部品製造の省工程により省エネルギーにも貢献している。高 Cr 鋼管は、耐食性を高めることによって環境汚染の原因となるインヒビターを用いることなく、湿潤 CO₂ 環境で使用できる。また微量 H₂S を含んだ湿潤 CO₂ 環境の油井管用途には HP13Cr 鋼シリーズを開発した。ラインパイプ用途には予熱、後熱なしで溶接可能な weldable-12Cr 鋼シリーズを開発した。温間域高縮径圧延で超微細組織となる HISTORY 鋼管は高強度と高加工性を備えた高機能鋼管として開発された。HISTORY 鋼管を使用することにより自動車部品の軽量化および熱処理省略により省エネルギーに貢献できる。

Synopsis:

High strength and corrosion resistance steel pipe and tubes contribute to the production and the transportation of natural gas which is recognized as clean energy. High strength and high formability steel pipe and tubes can reduce the weight of automobile parts to save energy consumption. High Cr bearing steel pipe is used under wet CO₂ environment without using any inhibitor that causes environmental pollution. HP13Cr steel pipe can be used under wet CO₂ and slight H₂S environment. For line pipe usage, 12Cr steel that can be welded without preheat and post heat treatment was developed. HISTORY tube with ultra fine microstructure which has the high strength, high formability and uniformity of seam hardness has been developed by the thermo-mechanical controlled processing (TMCP) in the newly developed warm reducing. HISTORY tube can contribute to save energy by reducing the weight of automobile parts and eliminating heat treatment before tube fabrications.

1 緒 言

鋼管の用途は、鋼管本来の機能を活かして、管内部に流体を流す用途、管内外でエネルギーを授受する用途、中空軽量化が図れる強度部材としての用途と多岐に渡っている。さらに鉄鋼材料としての機能を活かして高強度化や高加工性のニーズに応え、さまざまな産業分野で使用されている。

主要な用途としては油井用鋼管、配管用鋼管、発電用鋼管、自動車用鋼管、土木建築用鋼管などがあげられる。中でもエネルギー関連分野は主要な需要分野であり、鉄鋼材料として地球環境保全に大きく貢献する製品の開発ニーズが高く、従来からこの分野での開発が進められてきた。

エネルギー産業ではクリーンな天然ガスの開発を支える油井管、油井管継ぎ手、ラインパイプの開発ならびに環境汚染の危険性を有するインヒビターを必要としない高耐食性鋼管、高気密性ネジ継ぎ手の開発が進められた。今後クリーンエネルギーとしての天然ガスの開発が増加するにつれて高耐食性鋼管、高気密性ネジ継ぎ手のニ

ーズはより高くなってくると考えられる。

自動車用鋼管では環境改善のため省エネルギー、軽量化、リサイクル性向上、衝突安全性向上のニーズが高く、高強度化、中空化、ステンレス鋼化が進み、高強度でかつ加工性の優れた鋼管の開発が必要とされてきた。当社ではこのような二律背反する課題を達成するために、新たな材質創成の造管プロセスおよびその鋼管の開発を進めてきた。

本報告では環境保全に貢献する鋼管製品について概観を述べ、特に高耐食性鋼管と当社が最近開発した HISTORY 鋼管を紹介する。

2 鋼管の研究開発

2.1 油井管分野

1990 年までには高強度油井管、耐食性油井管などを開発し、KO シリーズの特殊油井管としてラインアップした。また、ガス田に使用される特殊ネジとして FOX ネジを開発した。

Fig. 1 に石油・ガスの生成量と井戸深さ・温度の関係を示す。最近の 10 年間ではクリーンな天然ガス田の開発が活発になり、開発井の高深度・高圧化、腐食環境の苛酷化がますます進んできている。

* 平成12年6月8日原稿受付

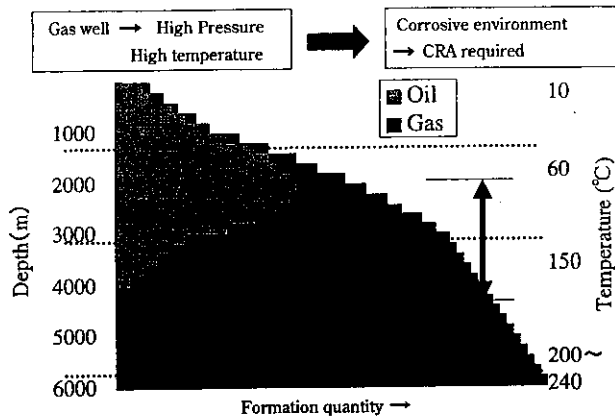


Fig. 1 Well depth, temperature vs. oil and gas formation

また天然ガスは陸上より海洋に多く存在し、環境保全に厳しい規制が求められる海上開発も増加している。

一方、経済性を追求して掘削コストの削減や回収率の向上を目的とした水平掘りや2次・3次回収が増加してきている。このような傾向により油井用鋼管に要求される性能はさらに高度化してきた。Fig. 2に要求性能と当社の開発製品の関係を示す。

最近の10年間では、耐サワー高強度油井管、高耐食性13Cr鋼管が開発され、耐サワー高強度油井管では、耐サワー性能を有した降伏強度110ksi (758MPa)級の製品が開発された。13Cr鋼では微量H₂Sを含む炭酸ガス井用の13Cr鋼管として、Mo、Niを含有したHP (ハイパー) 13Cr鋼のシリーズを開発した。また、特殊な用途に用いられる断熱二重管や油井の採油部に用いられるスクリーンパイプに適した材料開発も行われた。

油井用鋼管はネジ継ぎ手で接続され数千m下の油層まで降ろされる。また、水平掘りでは10km先まで推進されることもある。

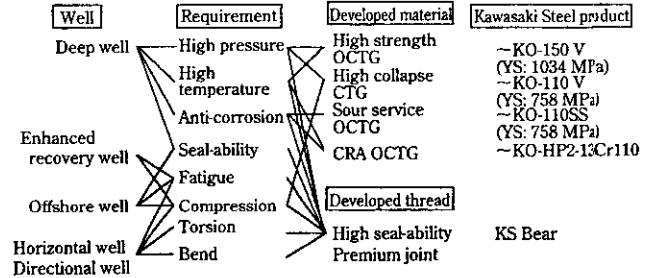


Fig. 2 Well conditions and developed products

このため鋼管をつなぐネジ部への要求も一段と高度となり、母管と同等の性能を持つ特殊ネジのニーズが高くなった。当社ではこれらの特性を満たすことのできる特殊ネジ KSBear ネジを開発した。このネジは母管と同等の性能を持つとともに、重金属を含まない、環境に優しい潤滑材を用いた10回以上の締め付け、締め戻し試験においても、焼き付きの発生がないという優れた性能を有する。またフィールドでの作業においても従来より締め付け作業の生産性が高くなるという特性を備えている。

2.2 配管分野

2.2.1 ラインパイプ

大径溶接鋼管が天然ガスの輸送用として本格的に使用されだしたのは1945年頃でありアメリカが最初である。その後、1960年代には欧州でもガス輸送用のパイプラインが建設された。続いて旧ソビエト連邦のパイプライン建設が活発になった。今後はアジア、中国など、パイプライン網がこれまで整備されていない地域での建設が計画されている。

Fig. 3に鋼管性能の動向を示す¹⁾。要求される鋼管の性能は高強度化し、また耐食性の要求も高くなってきている。

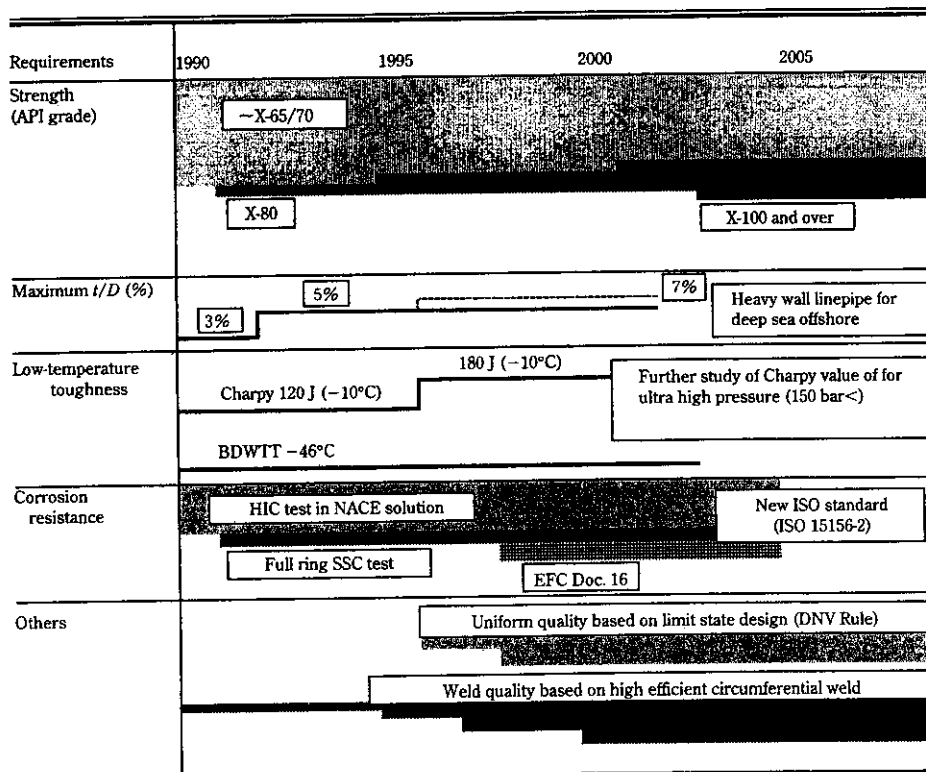


Fig. 3 Trends of requirements for linepipe

今後ともラインパイプとしては X65, X70 が主力グレードであるが、X70 の耐サワー材および X80 のノンサワー材が一般化する傾向にある。要求性能は DNV ルール、ISO など新規格により厳格化の方向にある。特に破壊発生、破壊停止特性の指標となる材料の破壊靱性値の要求値を明確にすることは、今後のパイプライン設計の高圧力化と高強度化の推進のためにも重要な課題となっている。(社)日本鉄鋼協会鋼管部会の HLP 委員会ではこの課題に取り組んでおり、標準化を目指した活動を進めている。

ラインパイプは、用途に応じて gathering line, flow line, trunk line に大別される。gathering line および flow line は井戸元からの未処理の原油・ガスを運ぶパイプに用いられ、未処理の原油・ガスのため、腐食性ガスが存在する場合には、これまでは環境汚染の原因になりうるインヒビターを使用して耐食性を確保していた。しかし昨今の環境保全の観点から、またライフサイクルでのトータルコスト削減の観点から、鋼管そのものにインヒビターを不要とする耐食性を持たせ、かつ円周溶接の可能な高耐食性マルテンサイトステンレス鋼管の開発がなされた。現在は腐食環境条件に合った 3 種類の高耐食性マルテンサイトステンレス鋼管を製品ラインに加えている。

海底の trunk line では、施設時の応力の問題から高強度化よりも大径・厚肉化が進み、厚肉鋼管における靱性の向上が研究開発課題となった。

陸上ラインパイプでは、高強度化による大径・薄肉化が進んでおり、X80 が実用化されてきた。さらに高強度の X100~X120 クラスの開発も視野に入れた研究開発の検討も必要となってきている。高強度化では鋼管の溶接性、溶接部靱性の課題の他、溶接方法も含めた研究が必要になっている。

2.2.2 一般配管

ガス配管や水道配管は、近年、樹脂管やステンレスフレキシブル管などへの置き換えが進んでいる。消火用や水道用の被覆鋼管は、環境を配慮したリサイクルのシステムが整備されてきた。将来的には一次処理した被覆鋼管をそのまま製鉄原料として使用する研究も業界で推進されている。

ステンレスフレキシブル鋼管は、軽量でクリーンなために作業性、現場環境の保全にも優れており、当社もガス会社との共同規格開発を行い、ステンレスフレキシブル鋼管工場を知多製造所内に建設した。当社は素材製造からステンレスフレキシブル鋼管の製造出荷まで、業界で初めて一貫生産を行っており、お客様の高い信頼を得て順調に生産量を増やしてきている。

2.2.3 自動車用鋼管

自動車産業においては地球環境問題から「CO₂削減」、「排ガス浄化」、「省資源」が主要な課題となっており、「燃費向上」、「軽量化」が叫ばれている。このため使用鋼材の鋼管化や高強度・薄肉化が進められ、自動車 1 台当たりの鋼管使用量は近年増加し、30 kg 台に伸びてきている。

要求性能としては、高強度化による加工性の劣化を補うことのできる高強度・高加工性鋼管の開発がクローズアップされてきている。当社は製管時の素材の加工硬化をより少なくする製管プロセスとして、独自に CBR プロセス²³⁾を開発し、加工性・耐食性に優れたフェライト系ステンレス鋼管の開発を行った。

最近では高強度・高加工性のニーズに応えるため超微細組織を有する HISTORY 鋼管を開発⁴⁾し、新製造設備の建設(2000 年秋稼動予定)を進めている。

2.2.4 ボイラ用鋼管

ボイラ用鋼管は地球環境問題から高効率化が課題になっており、

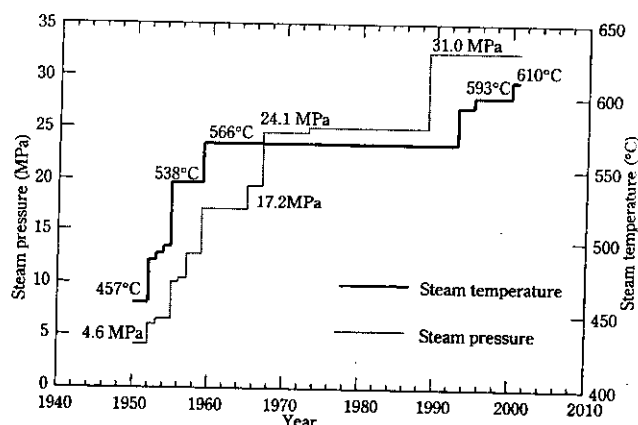


Fig. 4 Transition of steam conditions in Japanese power plant

一層の高温・高圧化が進んできている⁵⁾(Fig. 4)。当社では、Cr 系ステンレス鋼の製造技術の強みを生かして、高強度で溶接性の優れた 2.25Cr 鋼管ならびに 9Cr 鋼管の開発を行ってきた。

最近では、過熱器管、再熱器管においても薄肉化のため ASME Case 2199 T23 のような溶接性に優れた高強度材料が使われており、今後さらに高圧化した場合には火炉壁管にも使用が拡大され、用途が広がるものと考えられる。

さらに、当社は継目無鋼管の製造技術の改良を進めることにより寸法精度の向上を図り、「スーパーホット鋼管」(当社高寸法精度熱間仕上継目無鋼管の名称)として従来冷間仕上継目無鋼管が使用されている用途にも採用が始まっている。最近では規制緩和により、IPP による電力卸供給も始まり、従来の材料においてもコストパフォーマンスの高い、寸法精度の良い鋼管の要求が高まり、スーパーホット鋼管および電気抵抗溶接管のニーズが高くなってきた。

電気抵抗溶接管は、ボイラ用としては電縫部の溝食対策が必要である。このため材料を低 S 化し、さらに管の熱処理を必要とした。しかし、当社が開発した HISTORY 鋼管はその製法上から溝食の原因となる濃化 S を生じさせないため、溝食フリーの鋼管としてボイラ用鋼管分野でも優れた特性を示す。

最近ではごみをエネルギー資源として有効に活用するため、ごみ焼却発電ボイラが注目を浴びている。ごみ焼却発電ボイラは発電効率向上の観点から高温化が進み、過熱器管ではコストパフォーマンスの優れた高耐食性鋼管のニーズが高くなっている。

3 高耐食性 Cr 鋼管の開発

最近開発されるフィールドは環境条件の厳しい場所も多く、多量の CO₂、H₂S などの腐食性ガスが混在している場合が少なくない。そのような環境では、従来多く使用されてきた低合金鋼では激しい腐食を生じ、その腐食速度は最大で数十 mm/y に達する場合もあるため⁶⁾、防食対策としてインヒビターが使用される場合が多い⁷⁾。ところが、石油、天然ガス開発環境で使用されるインヒビターは漏洩時に赤潮の原因となり、海洋汚染、湖の汚染などを引き起こす問題があった。

これに対し、ヨーロッパを中心にインヒビターの使用を制限する動きがある。特に北海油田においてはフィヨルド内汚染防止などのため、高耐食性を有する鋼管を使用することによって、インヒビターの使用を取り止めることが検討されている。

これらの要求に対し当社では CO₂、H₂S を含有する腐食性の厳しいフィールド開発用として、高耐食性を有する高 Cr 系油井管、ラ

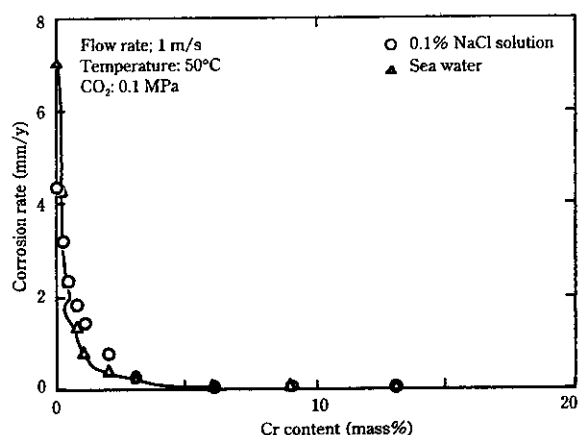
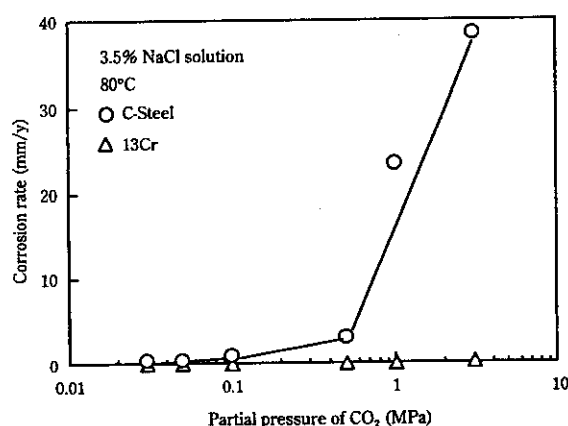


Fig. 5 Effect of Cr content on corrosion rate of steel

Fig. 6 CO₂ corrosion test result

インパイプを開発した。

3.1 高 Cr 油井管の開発

CO₂を含む湿潤環境では、鋼は非常に大きな腐食速度を示すことが知られている。この環境で耐食性を改善するために有効な元素は Cr である。Fig. 5 に腐食速度に及ぼす Cr 量の影響を示す⁹⁾。Cr 添加にともない腐食速度は減少する。湿潤 CO₂ 環境での耐食性に優れ、かつ油井管に必要な高強度が得られる鋼管として、13%Cr マルテンサイト系ステンレス鋼管 (13Cr 鋼管) が油井管として実用化された。13Cr 鋼管、および炭素鋼鋼管の腐食試験結果を Fig. 6 に示す。13Cr 鋼管は炭素鋼鋼管と比較して腐食速度が大幅に低下し、インヒビターなしでも使用可能である。13Cr 鋼管は開発以来、その優れた耐食性から CO₂ を含む環境を中心に急速な勢いで需要が増加している。

一方、13Cr 鋼管は 100°C までの湿潤 CO₂ 環境で優れた耐食性を示すが、高温、高 CO₂ 濃度環境ではその耐食性が劣化し、腐食速度が大きくなる傾向にある。さらに、H₂S が存在する環境では、硫化物応力腐食割れ (sulfide stress cracking; SSC) を起こしやすいという問題があった。そこで、最近より厳しい環境で使用可能な油井用鋼管として、HP13Cr 鋼管が開発された^{10,11)}。開発鋼の化学組成を 13Cr 鋼管と合わせて Table 1 に示す。HP13Cr-1 鋼管は低 C 化し、Ni, Mo を添加することにより、耐食性を改善している。さらに HP13Cr-2 鋼管は Mo 増量によって耐 SSC 性を改善し、サワー環境における適用範囲を拡げている。Fig. 7 に高温、高 CO₂ 環境

Table 1 Chemical composition of 13Cr and HP13Cr (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
13Cr	0.20	0.20	0.40	13	0.1	—
HP13Cr-1	0.025	0.25	0.45	13	4.0	1.0
HP13Cr-2	0.025	0.25	0.45	13	5.0	2.0

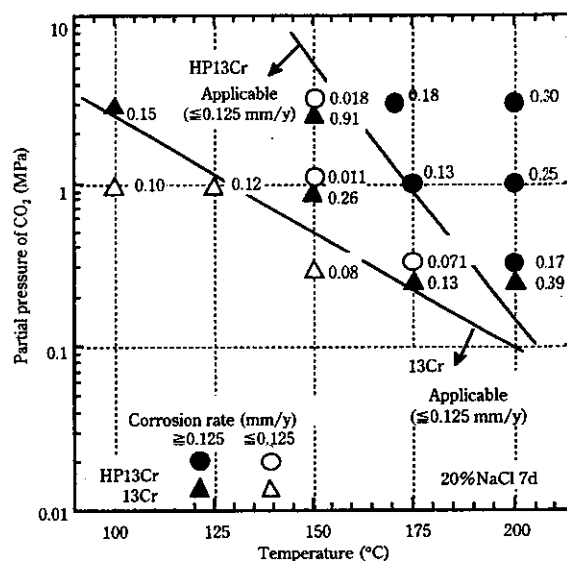
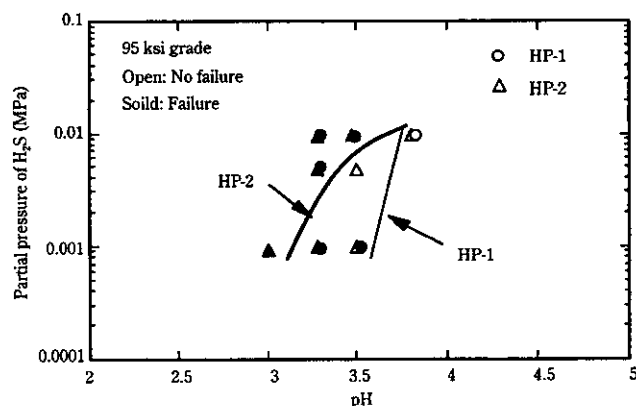
Fig. 7 CO₂ corrosion map

Fig. 8 SSC test results for HP13Cr pipe

における 13Cr 鋼管、および HP13Cr-1 鋼管の腐食速度に及ぼす温度と CO₂ 分圧の影響を示す。13Cr 鋼管は 100°C の条件では CO₂ 分圧 2.5 MPa 以下、150°C の条件では 0.5 MPa 以下の条件で使用可能である。一方、HP13Cr 鋼管は 150°C において、CO₂ 分圧 5 MPa というより厳しい条件でも使用可能である。

HP13Cr-1, 2 の SSC 試験結果の一例を Fig. 8 に示す。HP-2 鋼管は Mo 増量によって HP-1 と比べてより高い H₂S 分圧、低い pH で使用可能である。

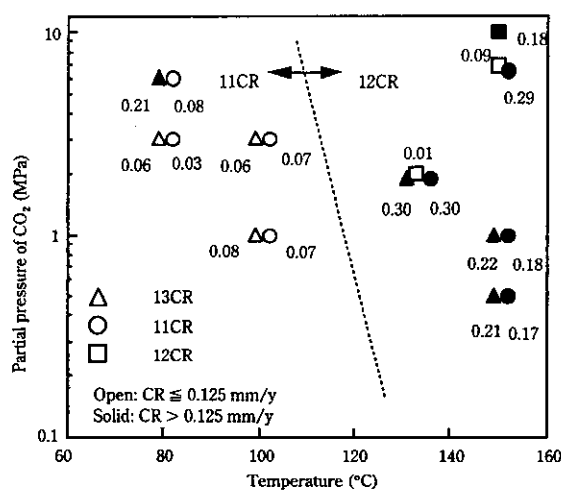
以上述べたように 13Cr 鋼管、HP13Cr 鋼管は CO₂、あるいは H₂S を含む厳しい環境においても、インヒビターなしで使用可能である。

3.2 Weldable 12Cr ラインパイプの開発

ラインパイプ用の鋼管は溶接で接続するため、ネジで接続する油井管とは異なり、フィールドでの溶接性が重視される。そのため、

Table 2 Chemical composition of weldable 12Cr (mass%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo
11Cr	0.01	0.2	1.2	11	2.5	0.5	—
12Cr	0.01	0.2	0.4	12	5.0	—	2.0

Fig. 9 CO₂ corrosion map for weldable 12Cr pipe

油井管で使用されている 13Cr 系鋼管は、溶接性が劣ることから使用されておらず、ラインパイプ用材料として従来は低合金鋼、もしくは 2 相ステンレス鋼が使用されていた。しかしながら低合金鋼は耐食性が劣ることから、腐食性の強いガスを流す場合はインヒビターを使用するか、もしくは脱水、脱ガス処理を行なうことが必要であった。また、2 相ステンレス鋼は溶接性、耐食性には優れるが、高価なため、経済的な面からその利用は限定された分野にとどまっている。そこで、13Cr 系油井管の溶接性を改善し、2 種類のマルテンサイト系ステンレス鋼ラインパイプを開発した¹²⁾。

本鋼管の特性は以下のとおりである。

- (1) 溶接性：予熱、後熱なしで溶接可能
- (2) 耐 CO₂ 腐食性：13Cr 油井管と同等以上
- (3) 低温靱性：母材、および溶接部のシャルピーエネルギーが 100J (at -40°C) 以上
- (4) 強度：降伏応力が 482 MPa (70 ksi) 以上

さらに、シームレス圧延に必要な熱間加工性も有することが必要である。これらの要求に対し、C、N 量を下げることによって溶接性を確保し、低温靱性、耐食性、熱間加工性の面から、Ni、Mo、Cu 量などをコントロールした weldable 12Cr 鋼管を開発した。開発鋼の化学組成を Table 2 に示す。11Cr 鋼管は CO₂ のみのスイート環境用に開発されたもので、主として 13Cr 油井鋼管で開発されたフィールドからのガス輸送に適している。一方 12Cr 鋼管は、より高温・高 CO₂ 環境あるいは少量の H₂S を含む環境用として開発されたもので、HP13Cr 油井管で開発されたフィールドからのガスの輸送に適している。

Fig. 9 に Weldable 12Cr 鋼管の CO₂ 腐食試験結果を示す。適用可能腐食速度を 0.127 mm/y (5 miles/y) とした場合、11Cr 鋼管の適用可能範囲は、120°C 以下となる。一方、12Cr 鋼管は 150°C においても適用可能である。さらに、12Cr 鋼管は Mo を含有することから耐 SSC 性も有し、Fig. 10 に示すように、pH: 4.0 以上の環境において、H₂S 分圧 0.004 MPa 以下のサワー環境で使用可能である。weldable 12Cr 鋼管は北海を中心にすでにパイプラインへの適用が始まっている。

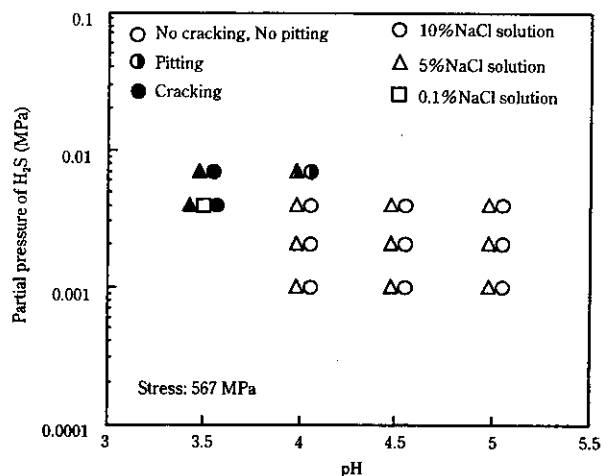


Fig. 10 SSC test result for welded joint of 12Cr steel pipe

3.3 まとめ

湿潤 CO₂ 環境用油井管として 13Cr 鋼管を開発した。さらに高温高 CO₂ 環境および、ライトサワー環境用油井管として HP13Cr 鋼管を開発した。また、これらの油井管で開発した石油、ガスの輸送用として、溶接可能でかつ耐食性に優れる weldable 12Cr 鋼管を開発した。高 Cr 油井管、ラインパイプの開発により、海底油田、腐食性の厳しい環境などにおける開発も可能になった。さらに、インヒビター使用の必要がないことから海洋汚染の防止にも有効である。

4 HISTORY 鋼管の開発

4.1 HISTORY 鋼管の特徴

Fig. 11 に HISTORY (high speed tube welding and optimum reducing technology) 鋼管の製造プロセスを示す。鋼帯を当社が開発した CBR (chance free bulge roll) 成形ミル²³⁾を用いて、冷間あるいは温間状態でオープン管に成形した後、両端を電気抵抗溶接する。その後、この電縫鋼管を加熱し、ストレッチレデュサーで、縮径圧延する。新たに開発したストレッチレデュサーでのオンライン加工熱処理により、従来電縫鋼管と比べて優れた加工性能と高い強度を有する HISTORY 鋼管を製造することが可能である。

Photo 1 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管のミクロ組織を示す^{4,13)}。HISTORY 鋼管は、温間域で高縮径圧延されるために、フェライト粒が微細化するとともに、セメンタイトも微細分散する。この結果、Fig. 12 に示すように、電縫鋼管に比べて高い強度、高い延性が得

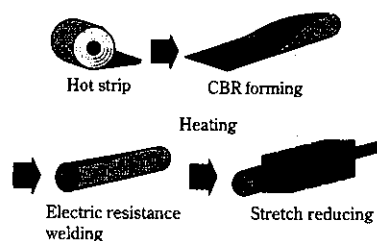


Fig. 11 Manufacturing process of HISTORY tubes

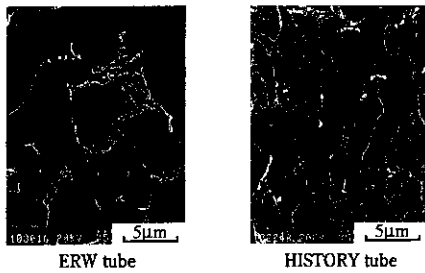


Photo 1 SEM images of HISTORY and ERW tubes

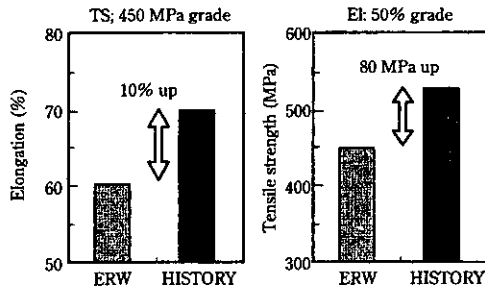


Fig. 12 Mechanical properties of HISTORY and ERW tubes (Steel: 0.1% C-0.8% Mn, Test piece: JIS11, 42.7 mmφ × 2.3 mm)

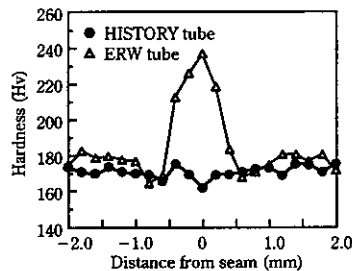


Fig. 13 Hardness distribution of welded portion (Steel: 0.1% C-0.8% Mn)

られる¹⁴⁾。HISTORY 鋼管は、工業的規模で超微細組織を世界で初めて実現した鋼である。

Fig. 13 に、HISTORY 鋼管と通常電縫鋼管のシーム近傍の硬さを示す^{4,13)}。電縫鋼管のシーム部は、電縫溶接で焼き入れ組織となるために著しく硬く、加工性に乏しい。一方、HISTORY 鋼管のシーム部では、温間縮径圧延によって、焼き入れ組織が母材と同じフェライトと微細な炭化物に分解し、硬さも母材と同程度となる。

HISTORY 鋼管では、焼鈍や焼準を行うことなく、シーム部の加工性を母材と同等に向上させることが可能である。

4.2 HISTORY 鋼管の諸特性と適用例

4.2.1 高強度・高加工性

自動車部品用鋼管には、軽量化のための高強度化が求められている。また、コストダウンのために、高強度材を用いて、焼き入れ、焼き戻しなどの熱処理を省略することも検討されている。一方、部品の形状は、一層複雑になる傾向にあり、小半径曲げといった高加工性のニーズも高まっている。

高強度、高加工性の HISTORY 鋼管は、このようなニーズに対して最適である。ここでは、HISTORY 鋼管の曲げ加工性と疲労強度

Table 3 Mechanical properties of tested tubes (JIS11, 15 mmφ × 1.8 mm)

	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
HISTORY tube	530	575	32
ERW tube	480	509	18

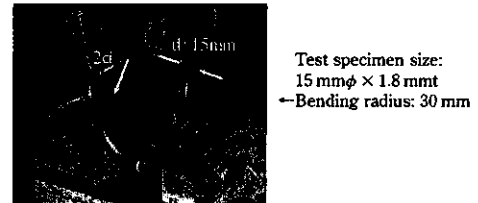


Photo 2 Appearance of three-point bending test

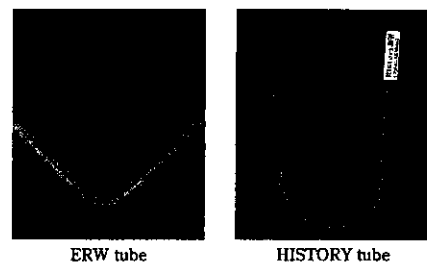


Photo 3 Appearance of bent tubes compared with HISTORY tube and ERW tube

Table 4 Mechanical properties of tested tubes (JIS11, 38.1 mmφ × 2.0 mm)

	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
HISTORY tube	519	556	47
ERW tube	360	404	41

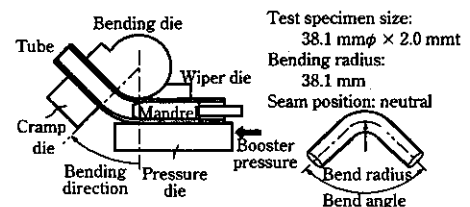


Fig. 14 Procedure of stretch bending test

について紹介する。

(1) 3点曲げ加工性

Table 3 に示す機械的性質の外径 15 mm の供試材を、Photo 2 に示すように、半径 30 mm で 3 点曲げ試験を行った。

Photo 3 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管の曲げ加工性を比較して示す。電縫鋼管では、180° の曲げが完了する前に座屈が生じたのに対し、HISTORY 鋼管では、座屈を生じることなく、180° までの曲げが可能である。

(2) 引き曲げ加工性

Table 4 に示す機械的性質の外径 38.1 mm の供試材を、Fig. 14 に示すように、半径 38.1 mm で引き曲げ試験した。曲げは、プレッシャーダイで軸力に加えながら行った。

Fig. 15 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管の肉厚減少を比較して

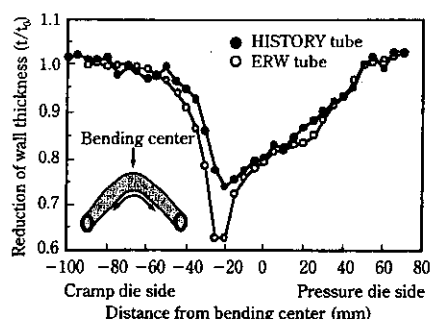


Fig. 15 Variation of wall-thickness of HISTORY and ERW tubes

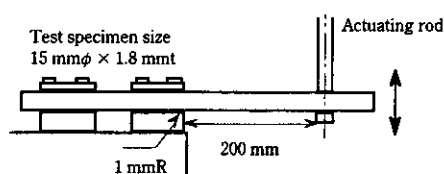


Fig. 16 Procedure of bending fatigue test

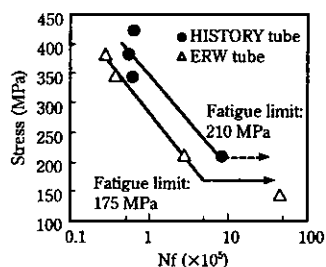


Fig. 17 S-N diagram by bending fatigue test

示す。HISTORY 鋼管の引張り強度が電縫鋼管より約 38% 大きいにもかかわらず、その肉厚減少率は、電縫鋼管より約 10% 小さい。これは、HISTORY 鋼管の伸びが良好であることに対応していると考えられる。

(3) 疲労強度

Fig. 16 に曲げ疲労試験方法を示す。供試材は、前述の 3 点曲げ試験に用いたものと同じである。

Fig. 17 に疲労試験の S-N 線図を示す。高強度化により、HISTORY 鋼管の疲労限界は、電縫鋼管より、約 20% 向上する。

熱処理なしで高加工性と高疲労強度が得られる HISTORY 鋼管を用いることで、たとえば、スタビライザーなどの自動車部品を低コストで製造できると考えられる。

4.2.2 衝撃吸収性

インパクトビームなどの自動車衝撃吸収部材では、従来、焼き入れ、焼き戻しを行った 1200~1500 MPa の引張り強度を有する鋼管が用いられてきた。近年、コストダウンのために、熱処理なしの電縫鋼管を用いることが検討されているが、このような高強度の電縫鋼管では、加工硬化や残留応力が大きく、十分な衝撃吸収エネルギー

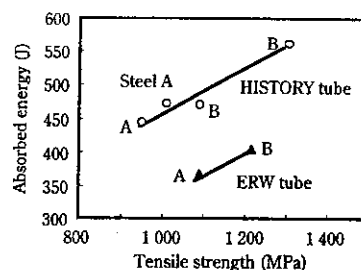


Fig. 18 Comparison of absorbed energy obtained by three point bending test between the HISTORY tube and ERW tube

ギーを得ることは容易ではない。

オンライン加工熱処理により製造された HISTORY 鋼管は、このような電縫鋼管の問題を解決できる。

Fig. 18 に HISTORY 鋼管と電縫鋼管の吸収エネルギーを比較して示す。同じ強度で比較すると HISTORY 鋼管の吸収エネルギーは電縫鋼管より約 25% 大きい。

焼き入れ、焼き戻しなどの熱処理なしで大きなエネルギーを吸収できる HISTORY 鋼管を用いることで、インパクトビームの軽量化や製造コストの低減が可能と考えられる。

4.3 まとめ

HISTORY 鋼管は、新しい加工熱処理技術である温間高縮径圧延により、下に示す多くの優れた特性を有する。このため、自動車部品用材料として車体軽量化、工程省略、コストダウンに大きく貢献できると考えられる。

- (1) HISTORY 鋼管は、シーム近傍の硬さも母材と均一である。
- (2) HISTORY 鋼管は、高強度、高延性を有する。高強度は、ミクロ組織の微細化で、また、高延性は、加工硬化の抑制と第 2 相の微細分散で達成される。
- (3) HISTORY 鋼管は、電縫鋼管より 20% 高い疲労限を有する。
- (4) HISTORY 鋼管は、良好な曲げ加工性を有する。
- (5) HISTORY 鋼管は、同じ引張り強度の電縫鋼管より 25% 以上高い曲げ吸収エネルギーを有する。

5 結 言

地球環境保全に貢献する高機能鋼管と言う視点で、最近の鋼管製品の研究開発について概要を述べた。近年、地球環境保全のために自然エネルギーの高度利用はますます重要になってきている。自然エネルギー活用で注目される分野には、太陽光発電、風力発電、地熱発電、海洋温度差発電、深層水の資源・エネルギー分野での利用、メタンハイドレート利用など鋼管の持っている機能を活かして環境保全に寄与できる分野はまだ多い。また、さらなる高強度化、高温強度の向上、ステンレス鋼化などにより材料の軽量化を図ることも重要な分野である。当社の鋼管部門は、世界をリードする鋼管製造技術開発力、製品開発力を維持し、常に世の中のニーズに合った製品を開発・製造して行く方針である。

参 考 文 献

- 1) H. Chino and H. Tamehiro: Proc. of Pipeline Tech. Conf. (1990), Part A. P.4.1
- 2) 豊岡高明, 橋本裕二, 小林邦彦, 板谷 進, 井出 勉, 西田保夫: 川崎製鉄技報, 22(1990)4, 18

- 3) T. Toyooka, Y. Hashimoto, Y. Kusakabe, and J. H. Lobello: Proc. 10th World Tube Cong., Chicago (USA), October (1994)
- 4) 豊岡高明, 依藤 章, 板谷元晶, 西森正徳, 河端良和: *CAMP-ISIJ*, 12(1999)2, 302
- 5) 梶谷一郎, 柳澤隆博: 配管技術, (1999. 5), 40
- 6) H. J. EnDean: "International Corrosion in Wet Gas System," (1981), [McGraw-Hill Inc. USA]
- 7) R. Nyberg and A. Dugstad: "Mesa Corrosion Attack in Carbon Steel and 0.5% Chromium Steel" Corrosion/98, Paper No. 29 (Houston TX: NACE, 1998)
- 8) I. L. Rosenfield, "Corrosion Inhibitor" (1981), [McGraw-Hill Inc. USA]
- 9) M. Kimura, Y. Saito, and Y. Nakano, "Effects of Alloying Elements on Corrosion Resistance of High Strength Linepipe Steel in Wet CO₂ Environment" Corrosion/94, Paper No. 18 (Houston TX: NACE, 1994)
- 10) K. Tamaki: "A New 13Cr OCTG for High Temperature and High Chloride CO₂ Environments" Corrosion/89, Paper No. 469 (Houston TX: NACE, 1989)
- 11) M. Kimura, Y. Miyata, Y. Yamane, T. Toyooka, Y. Nakano, and F. Murase: "Corrosion Resistance of High Strength Modified 13Cr Steel", Corrosion/97, Paper No. 22 (Houston TX: NACE, 1997)
- 12) Y. Miyata, M. Kimura, T. Koseki, T. Toyooka, and F. Murase: "Martensitic Stainless Steel Seamless Linepipe with Superior Weldability and CO₂ Corrosion Resistance", Corrosion/97, Paper No. 19 (Houston TX: NACE, 1997)
- 13) T. Toyooka, A. Yorifuji, M. Itadani, Y. Kawabata, M. Nishimori, Y. Koyama, and M. Kodaka: Proc. of Seoul 2000 FISTA World Automotive Cong., Seoul (Korea), June (2000)
- 14) 藤田利夫, 柴田浩司, 谷野 満訳: 「鉄鋼材料の設計と理論」, (1981), 66, [丸善(株)]
- 15) 石沢嘉一, 前田龍男, 高村登志博, 渡辺 正, 村田尚志, 菅昌徹朗: NKK 技報, (1993)143, 33