

# 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™」

## Martensitic Stainless Steel OCTG with Premium Connection

### 1. はじめに

石油・天然ガス開発における高深度化（高温高压化）、腐食性ガス含有井の増加、深海化、寒冷地化、あるいは、環境対応要求や水平掘りなどの掘削技術の進歩にともない油井管に要求される性能は、下記のように高度化し、かつ、多様化している。

- (1) 高耐食性：生産環境下、非生産環境下（仕上液、酸処理）
- (2) 高強度
- (3) 輸送流体保温性（石油・ガス生産性向上）
- (4) ねじ継手性能（機械的強度、気密性、耐かじり性）
- (5) 環境悪化物質の使用規制（ねじ潤滑剤使用規制）

JFE スチールは、高強度高耐食性であるマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管や高性能特殊ねじ継手の開発とともに、これら商品の付帯技術の開発も進め、高度化、多様化するお客様の要求に対応している。以下にその特色ある商品群と商品付帯技術について紹介する。

### 2. マルテンサイト系ステンレス継目無鋼管

#### 2.1 商品ラインアップ

JFE スチールのマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管の開発系譜を Fig. 1 に、成分、機械的特性を Table 1, 2 に示す。

油井用鋼管における腐食問題は、CO<sub>2</sub> 腐食と硫化物 (H<sub>2</sub>S) 応力腐食割れに大別される。JFE スチールでは、需

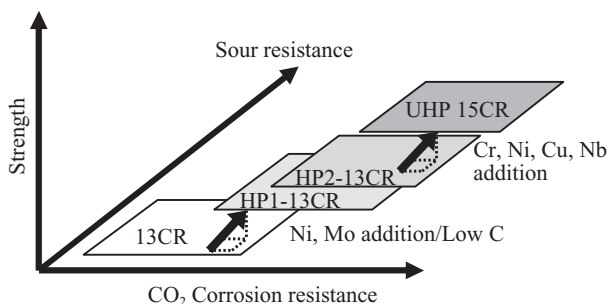


Fig. 1 Development of JFE steel's high Cr OCTG

Table 1 Chemical composition of high Cr material

Material	C	Cr	Ni	Mo	Cu
13CR	0.15-0.22	12.0-14.0	max. 0.50	—	max. 0.25
HP1-13CR	max. 0.04	12.0-14.0	3.5-4.5	0.8-1.5	—
HP2-13CR	max. 0.04	12.0-14.0	4.5-5.5	1.8-2.5	—
UHP15CR	max. 0.04	14.0-16.0	6.0-7.0	1.8-2.5	max. 0.25

Table 2 Mechanical properties of high Cr material

Grade	YS				TS		Hardness HRC max.
	Min.		Max.		Min.		
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
13CR-80	80	552	95	655	95	655	23
13CR-85	85	586	100	689	100	689	24
13CR-95	95	655	110	758	105	724	27
HP1-13CR-95	95	655	110	758	105	724	28
HP1-13CR-110	110	758	130	896	120	827	32
HP2-13CR-95	95	655	110	758	105	724	30
HP2-13CR-110	110	758	130	896	120	827	32
UHP-15CR-125	125	862	150	1 034	135	931	37

YS: Yield strength, TS: Tensile strength,  
HRC: Rockwell hardness

要の多い CO<sub>2</sub> 環境と CO<sub>2</sub> + 微量 H<sub>2</sub>S 環境に適した高強度のマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管 (13 ~ 15%Cr 鋼) のラインアップを拡充<sup>1-3)</sup>、井戸条件に応じた品揃えを提供している。

### 2.2 材料性能特性

#### 2.2.1 生産環境における耐食性

井戸掘削時に坑井の保護などを目的として設置されるケーシングと生産流体を流すために設置されるチューブリングの隙間は、井戸底部に設置されるパッカー（栓）により遮断され、石油・ガスはチューブリングを通じて生産される。したがって、生産物に CO<sub>2</sub> ガスが含有される場合、チューブリング内面が腐食環境となる。CO<sub>2</sub> 腐食に対する各 Cr 系材料の適用可能範囲を Fig. 2 に示す。適用限界基準を一般的に用いられている腐食速度 0.127 mm/y 未満とすると、

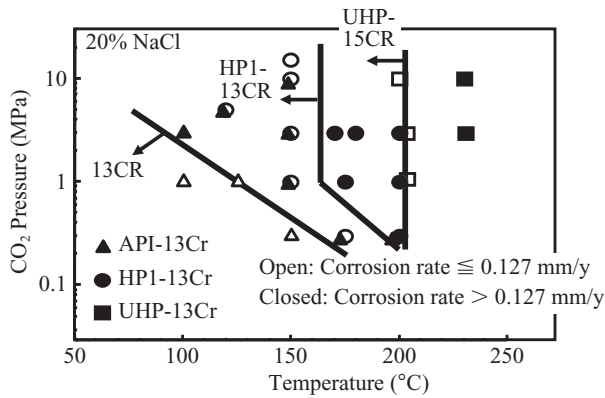


Fig. 2 CO<sub>2</sub> corrosion test results

たとえば、CO<sub>2</sub>分圧が1 MPaの環境では、13CRは125°Cまで、HP1-13CRは165°Cまで使用できる。UHP-15CRは、200°Cまで使用可能であり、大多数の井戸条件をカバーする高CO<sub>2</sub>耐食性を有している。

### 2.2.2 非生産環境における耐食性

これまで石油・ガス生産における腐食は、生産時におけるチュービング内面の問題であった。しかし、近年では仕上液に触れるチュービングの外表面や酸処理時の内面など、いわゆる非生産環境においても腐食は大きな問題となっている。

#### (1) 仕上液

チュービングとケーシングの間には、仕上液が注入され、バッカーが下方から受ける井戸底圧を押し込んでいます。近年では、開発井の高圧化にともない高比重の高濃度金属ハロゲン仕上液の使用が増加し、チュービング外表面からの応力腐食割れ事故が増加している<sup>4-6)</sup>。割れの影響因子には、チュービングの成分、材質や仕上液の組成の他に腐食抑制剤や脱酸剤等の添加剤、温度、混入ガスなどがあるが、これまでは、これらに対する使用ガイドラインがなく、事故発生を助長していた。JFE スチールは、仕上液メーカーとの共同研究を通じ、他社に先駆けてマルテンサイト系ステンレス鋼と種々の仕上液の適合性に関するデータベースを構築し、付帯技術サービスとして使用ガイドラインをお客様に提供することにより事故の未然防止を図っている<sup>7-9)</sup>。

#### (2) 酸処理

石油・ガスの生産性、回収率向上のために強酸注入による地層溶解技術（酸処理）の適用が増加しており、強酸性環境下でのチュービングの耐食性が重要となっている。Fig. 3, Photo 1にUHP-15CR（15%Cr鋼）と22%Cr鋼の酸処理環境における腐食速度と腐食断面を示す。

22%Cr鋼（2相ステンレス鋼）は、フェライトの選択腐食により腐食速度が大きくなるのに対して、マルテンサイト組織のUHP-15CR（15%Cr鋼）は腐食速度

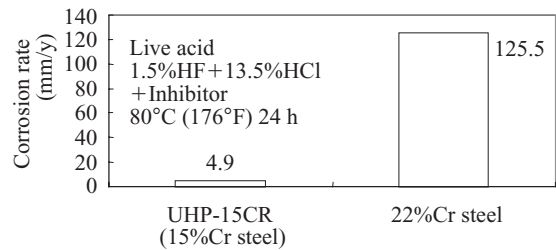


Fig. 3 Corrosion rate under acidizing condition

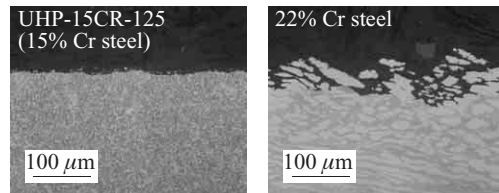


Photo 1 Corrosion under acidizing condition

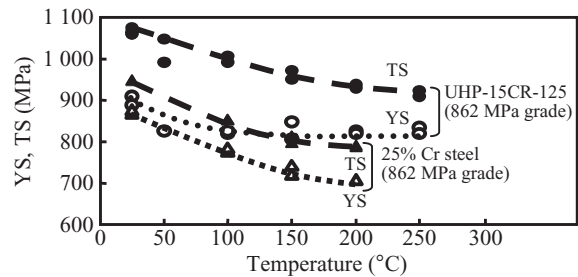


Fig. 4 Effect of temperature on tensile properties

が小さく、酸処理環境において有利である。

### 2.2.3 高温強度

高深度で高温となる環境では、油井管の強度低下を考慮して井戸設計を行う必要がある。165°C以上の高温CO<sub>2</sub>環境では、15%以上のCr鋼管が必要となる。高温における強度低下の例として、UHP-15CRと25%Cr鋼の降伏強度（YS）、引張強度（TS）をFig. 4に示す。冷間加工すなわち転位強化により高強度としている2相ステンレス鋼の25%Cr鋼よりもマルテンサイト組織と析出強化により高強度としているUHP-15CRの方が高温での強度低下が少なく、井戸設計上有利である。

### 2.2.4 生産流体保温技術

近年活発化している深海での石油・ガス生産においては、低温の深海水の影響でチュービング内の生産物の温度が低下するためにチュービング内壁にパラフィンが析出し、流速減少による生産性の低下を招く。この問題に対して、JFE スチールは、断熱真空2重管（VIT: vacuum insulated tubing）を開発し、生産流体の保温を可能とした。現在では、マルテンサイト系ステンレス鋼管の供給のみを行い、VIT組立加工を委託して石油会社に供給しており、深海用のチュービングとしてメジャーおよび独立系の石油会社より好評を得ている。

### 3. 「JFEBEAR」

油井管ねじ継手に要求される性能の高度化の背景には、水平掘りなどでの実際にねじ継手にかかる負荷の増加に加え、高温高圧井や深海井開発におけるシール性能に対する安全率の厳格化があげられる。このような環境に適用するためには、ISO 13679<sup>10)</sup> に代表される厳しいねじ継手評価試験に合格することが求められることも多い。

JFE スチールでは、これらの市場の要求を満足するため、JFEBEARを開発した。その設計の考え方、性能評価の考え方などは、文献 11) を参照されたい。

現在、種々のねじ承認試験を行うとともに、生産量を伸ばしてきている。

### 4. 「Clear-Run™」

Cr 系油井管ねじ継手は、締め付け締め戻しを行う際、ゴーリングと呼ばれるかじりが発生しやすく、前述の ISO 13679 に規定されるねじ試験においても、シール性能の評価に先立ち、耐ゴーリング性の試験が要求されている。

この耐ゴーリング性を向上するための一般技術としては、カップリング継手への銅めっき、ピン継手へのプラスト、API modified コンパウンド (API: アメリカ石油協会) に代表される複合潤滑剤が適用されてきた。しかし、この API modified コンパウンドは、黒鉛、重金属、グリースなどで構成されており、環境保護、締め付け時の作業性などの面で問題点が指摘されていた。

JFE スチールでは、これらを解決するために、Clear-Run™<sup>12)</sup> と呼ばれるシステムを導入した。

Clear-Run™ は、カップリングへの Clear Plate™ と呼ばれる白色系の銅錫めっき (Photo 2) と Clear Glide™ と呼ばれる半透明の有害物質を含まない生物分解型の潤滑剤で構成され、その優れた耐ゴーリング性に加え、次のような特長を有する。

- (1) 環境汚染防止: 現在、最も厳しいといわれるノルウェーの環境基準、Harmonized Offshore Chemical Notification Format (HOCNF)<sup>13)</sup> を満足
- (2) 井戸自体の汚染防止
- (3) ねじ検査作業の容易化
- (4) 油井管の井戸降下作業の効率化

Clear-Run™ は、すでに北海地区で多くの使用実績がある。また、2007 年 1 月より、知多製造所においてもカップリングの Clear Plate™ めっき体制が完成し、順調に生産量を伸ばしている。



Photo 2 Clear Plate™ coupling

### 5. おわりに

JFE スチールは、高度化、多様化する油井管要求に対応するために、高強度高耐食性であるマルテンサイト系ステンレス継目無鋼管のラインアップ拡充や高性能ねじ継手 JFEBEAR の開発を行うと同時に、仕上液、生産流体保温、ねじ潤滑に関する付帯技術を開発し、商品の高付加価値化を図ってきた。今後、石油・ガス開発環境の苛酷化は加速的に進行し、それにともない掘削・生産技術の急激な進歩や新技術の台頭が予想される。今後も、独自性を持って、それらに対応した鋼管材料、ねじ継手、付帯技術の開発・改善を推進し、エネルギー開発に貢献していく考えである。

#### 参考文献

- 1) Kimura, M.; Miyata, Y.; Yamane, Y.; Toyooka, T.; Nakano, Y.; Murase, F. CORROSION/97. paper no. 22.
- 2) Kimura, M.; Tamari, T.; Yamazaki, Y.; Sakata, K.; Mochizuki, R. CORROSION/2005. paper no. 05108.
- 3) Kimura, M.; Tamari, T.; Shimamoto, K. JFE Technical Report. 2007, no. 7.
- 4) Mack, R.; Williams, C.; Lester, S.; Cassa, J. CORROSION/2002. paper no. 02067.
- 5) Ibrahim, M. Z.; Hudson, N.; Selamat, K.; Chen, P. S.; Nakamura, K.; Ueda, M. CORROSION/2003. paper no. 30907.
- 6) Mowat, D. E.; Edgerton, M. C.; Wade, E. H. R. Paper SPE 67779 2001 SPE/IADC Drilling Conference.
- 7) Kimura, M.; Sakata, K.; Shimamoto, K.; Sato, H.; McLennis, J. S.; Bae, N. S. CORROSION/2006. paper no. 06137.
- 8) Carter, T. Paper SPE 97592 2005 SPE/IADC Drilling Conference.
- 9) McLennis, J. S.; Carter, T. AADE 2005. paper no. AADE-05-NTCE-16.
- 10) ISO 13679 First Edition 15/12/2002 International Standard Procedures for Testing Casing and Tubing Connections.
- 11) 油井管用特殊ねじ継ぎ手「JFEBEAR」JFE 技報. 2005, no. 9, p. 46-50.
- 12) Roustabout, International Energy Magazine, issue 401, 2005-03, p. 5.
- 13) Harmonized Offshore Chemical Notification Format (HOCNF), OSPAR Commission 2000-05.

#### 〈問い合わせ先〉

JFE スチール 商品技術部 商品技術室  
 TEL : 0569-24-2432 FAX : 0569-24-2032  
 鋼管輸出部 油井管室  
 TEL : 03-3597-3227 FAX : 03-3597-4710