

# JFE スチールの高強度高耐食性シームレス油井用鋼管

## Corrosion Resistant High Cr Steel for Oil and Gas Wells

### 1. はじめに

近年増加しつつある高深度の高温高圧環境や高腐食環境での石油・天然ガス開発においては、高強度、高耐食性の高級油井管が必要であるが、開発の採算性向上のために、コスト削減要求が増大している。また、原油、ガス価格変動の増大、短周期化にともない開発の短期回収志向が高まり、短納期要求も増大している。

JFE スチールは、高強度と高耐食性を備え、かつ、低コスト、短納期の要求にも対応可能な高 Cr 系ステンレス継目無油井管を開発し、上記のお客様のニーズに対応している。以下に、その特色ある商品群について紹介する。

### 2. 高 Cr 系ステンレス油井用鋼管

#### 2.1 商品ラインアップ

油井用鋼管における腐食問題は、スウィート (CO<sub>2</sub>) 環境での CO<sub>2</sub> 腐食とサワー (H<sub>2</sub>S) 環境での硫化物応力腐食割れ (SSC) に大別される。スウィート (CO<sub>2</sub>) 環境は、さらに、純スウィート (CO<sub>2</sub>) 環境と CO<sub>2</sub> + 微量 H<sub>2</sub>S 環境 (H<sub>2</sub>S ≤ 0.01 MPa) に分けられるが、そのような環境に適用可能な材料としては、13% Cr 鋼 (API-L80-13Cr, API: アメリカ石油協会), 改良型 13% Cr 鋼, 二相ステンレス鋼, Ni 基合金がある。JFE スチールは、これまでの 13% Cr 鋼, 改良型 13% Cr 鋼 (JFE-HP1-13CR, JFE-HP2-13CR) までの品揃えに加え、新たに高強度、高耐食性の高 Cr 系ステンレス油井用鋼管を開発し<sup>1~5)</sup>、既存材料の代替となる経済的な品揃えを提供している。JFE スチールの高 Cr 系ステンレス油井用鋼管の適用可能範囲を耐 CO<sub>2</sub> 腐食性と耐サワー性

の観点から図 1 に示す。また、成分、機械的特性を表 1, 2 に示す。

#### 2.2 JFE-11CR-110

これまで、13% Cr 鋼が適用可能な純スウィート環境において 110 ksi グレード (保証降伏強度 758 MPa) の高強度が必要な場合、高強度とすると靱性が低下する 13% Cr 鋼の代わりに、高コストであるが、高靱性を確保できる改良型 13% Cr 鋼が適用されてきた。しかし、このようなケースでは、改良型 13% Cr 鋼の耐食性は過分であり、13% Cr 鋼の耐 CO<sub>2</sub> 腐食性と改良型 13% 鋼の高靱性を兼ね備えた低コストの 110 ksi グレードの高強度材料が望まれていた。JFE スチールは、このニーズに対応するために、低炭素, Ni 添加, 110 ksi グレードの 11% Cr 鋼を開発し、JFE-11CR-110 を商

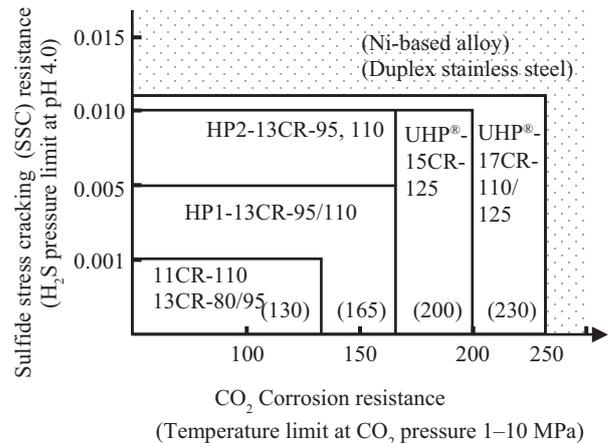


図 1 JFE スチールの高 Cr 系耐食性油井管の適用可能範囲

Fig. 1 Applicable condition of JFE Steel's high Cr steels

表 1 高 Cr 鋼の化学成分

Table 1 Chemical composition of high Cr steels

Material	C	Cr	Ni	Mo	Others
JFE-13CR	0.15-0.22	12.0-14.0	Max. 0.50	—	Cu: Max. 0.25
JFE-11CR	Max. 0.04	10.0-12.0	2.0-3.0	—	Cu: Max. 0.60
JFE-HP1-13CR	Max. 0.04	12.0-14.0	3.5-4.5	0.8-1.5	—
JFE-HP2-13CR	Max. 0.04	12.0-14.0	4.5-5.5	1.8-2.5	—
JFE-UHP®-15CR	Max. 0.04	14.0-16.0	6.0-7.0	1.8-2.5	Cu: Max. 1.50
JFE-UHP®-17CR	Max. 0.04	16.0-18.0	3.5-4.5	2.3-2.8	Cu: Max. 1.50 W: 0.80-1.20

表 2 高 Cr 鋼の機械的特性

Table 2 Mechanical properties of high Cr steels

Grade	YS				TS		Hardness
	Min.		Max.		Min.		HRC Max.
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
JFE-13CR-80	80	552	95	655	95	655	23
JFE-13CR-85	85	586	100	689	100	689	24
JFE-13CR-95	95	655	110	758	105	724	27
JFE-11CR-110	110	758	130	896	120	827	32
JFE-HP1-13CR-110	110	758	130	896	120	827	32
JFE-HP1-13CR-95	95	655	110	758	105	724	28
JFE-HP1-13CR-110	110	758	130	896	120	827	32
JFE-HP2-13CR-95	95	655	110	758	105	724	30
JFE-HP2-13CR-110	110	758	130	896	120	827	32
JFE-UHP <sup>®</sup> -15CR-125	125	862	150	1 034	135	931	37
JFE-UHP <sup>®</sup> -17CR-110	110	758	130	896	120	827	36
JFE-UHP <sup>®</sup> -17CR-125	125	862	150	1 034	135	931	37

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

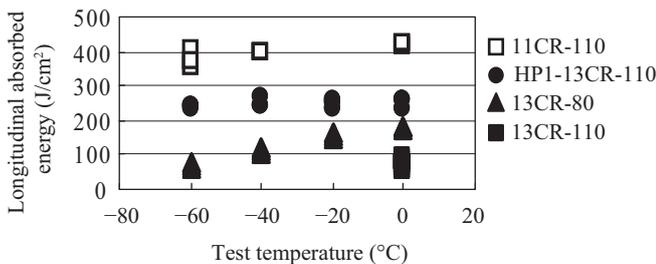


図 2 高 Cr 鋼の低温靱性

Fig. 2 Low temperature toughness of high Cr steels

品化している。その靱性を図 2 に 13% Cr 鋼や改良型 13% Cr 鋼と比較して示す。

### 2.3 JFE-UHP<sup>®</sup>-15CR, 17CR

13% Cr 鋼と改良型 13% Cr の CO<sub>2</sub> 腐食上限温度は、許容腐食速度を 0.127 mm/年以下とした場合、それぞれ 130℃, 165℃ 付近であるが、それ以上の温度となる過酷な腐食環境では、二相ステンレス鋼や Ni 基合金が使用されてきた。しかし、これらの材料は、高深度の井戸で要求される 110 ksi (保証降伏強度 758 MPa), 125 ksi (保証降伏強度 862 MPa) の高強度を得るために、冷間引抜加工が必要であり、製造コストの増加、納期の長期化、製造可能サイズの制約 (大径, 厚肉, 長尺が不可) などの問題があった。

JFE スチールは、これらの問題を解決するためにマルテンサイト系ステンレス鋼である 15% Cr 鋼とマルテンサイトとフェライトの二相鋼 (写真 1) である 17% Cr 鋼を開発し、JFE-UHP<sup>®</sup>-15CR, JFE-UHP<sup>®</sup>-17CR を商品化した。以下にその特長を示す。

(1) JFE-UHP<sup>®</sup>-15CR は、200℃ まで、JFE-UHP<sup>®</sup>-17CR は、



写真 1 UHP<sup>®</sup>-15CR と 17CR の組織

Photo 1 Microstructure of UHP<sup>®</sup>-15CR and 17CR

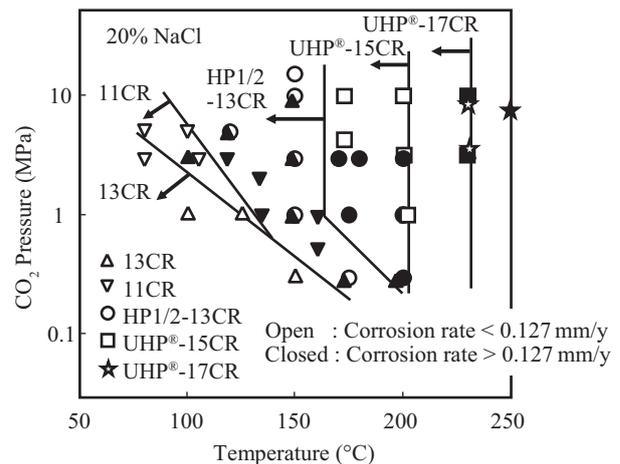


図 3 CO<sub>2</sub> 腐食試験結果

Fig. 3 CO<sub>2</sub> corrosion test results

230℃ までの CO<sub>2</sub> 環境と CO<sub>2</sub> + 微量 H<sub>2</sub>S 環境に適用可能である。CO<sub>2</sub> 腐食試験の結果を図 3 に示す。

- (2) 125 ksi グレードの高強度を冷間引抜加工無しで達成できるため、二相ステンレス鋼, Ni 基合金よりもコスト, 納期, 製造可能範囲 (大径, 厚肉, 長尺) において優

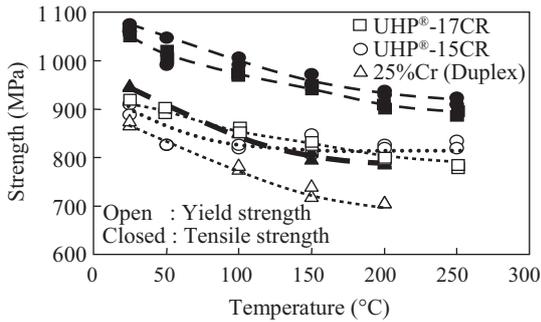


図4 高温強度

Fig. 4 Strength at elevated temperature

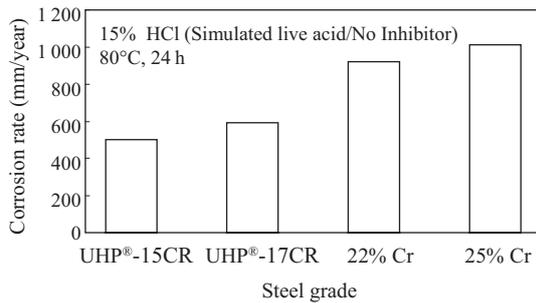


図5 酸処理環境における腐食速度

Fig. 5 Corrosion rate under acidizing condition

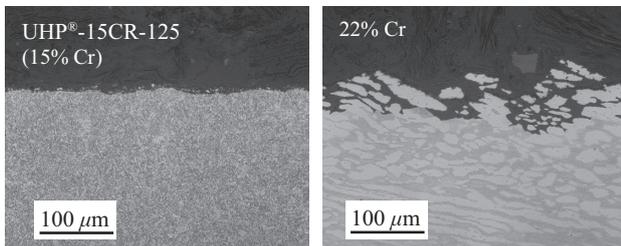


写真2 酸処理における腐食

Photo 2 Corrosion under acidizing condition

位である。

- (3) 高強度をマルテンサイト組織と析出物強化により達成しているため、冷間引抜加工による転位強化で強度を確保している二相ステンレス鋼、Ni 基合金と比べ、高

温での強度低下が少なく (図4)、薄肉化による内径拡大が図れるので井戸設計上有利である。

- (4) 近年、石油・ガスの生産性、回収率向上を目的として強酸を用いた地層溶解技術を適用するケースが増加しているが、このような酸処理環境において、UHP®-15CR、17CR は、二相ステンレス鋼に見られるような激しい選択腐食が発生しないという利点を有する (図5、写真2)。

### 3. おわりに

JFE スチールは、高強度高耐食性である Cr 系ステンレス継目無油井用鋼管のラインアップを拡充し、ユーザーに新たな経済的オプションを提供してきた。その結果、JFE-11CR-110 は、630 t、JFE-UHP®-15CR-125 は、6320 t を出荷し、ユーザーの好評を得ている。また、JFE-UHP®-17CR は、大型の深海プロジェクトへの採用に向けて材料承認の最終段階にある。

今後、石油・ガス開発環境の過酷化はさらに進行し、また、それにともない掘削・生産技術の進歩や新技術の台頭が予想される。今後もそれらの環境変化に対応した材料の開発を独自性を持って推進し、エネルギー開発に貢献していく考えである。

#### 参考文献

- Kimura, M.; Miyata, Y.; Yamane, Y.; Toyooka, T.; Nakano, Y.; Murase, F. CORROSION/97. paper no. 22.
- Kimura, M.; Tamari, T.; Yamazaki, Y.; Sakata, K.; Mochizuki, R. CORROSION/2005. paper no. 05108.
- Miyata, Y.; Kimura, M.; Murase, F. Kawasaki Steel Technical Report. 1998, no. 38, p. 53-60.
- Kimura, M.; Tamari, T.; Shimamoto, K. JFE Technical Report. 2006, no. 7, p. 7-13.
- Kimura, M.; Shimamoto, K. EuroCorr2011. 2011, paper no. 4538.

#### 〈問い合わせ先〉

JFE スチール 知多製造所 商品技術部商品技術室  
 TEL : 0569-24-2432 FAX : 0569-24-2032  
 エネルギー鋼材輸出部油井管・特殊管室  
 TEL : 03-3597-3249 FAX : 03-3597-4710