

# 省資源化に寄与する 新高耐食性ステンレス鋼板 -21 クロムステンレス-

JFE スチール株式会社 スチール研究所 ステンレス鋼研究部  
船川義正、石井和秀、矢沢好弘、岡田修二、石井知洋、宇城 工

## 1. 緒言

一般的に使用されているステンレス鋼には SUS304 (オーステナイト系ステンレス鋼: 18%Cr-8%Ni) と SUS430 (フェライト系ステンレス鋼: 17%Cr) とがある。SUS430 と比べて耐食性と加工性に優れている SUS304 の使用量は、全ステンレス鋼の約 7 割にも達していた。この SUS304 は、8%もの Ni を含有するため、その価格は Ni 原料の価格変化に著しく影響を受ける。現在、Ni の価格は 2006 年 1 月と比べて約 3 倍にまで上昇し、これにともない図 1 に示すように

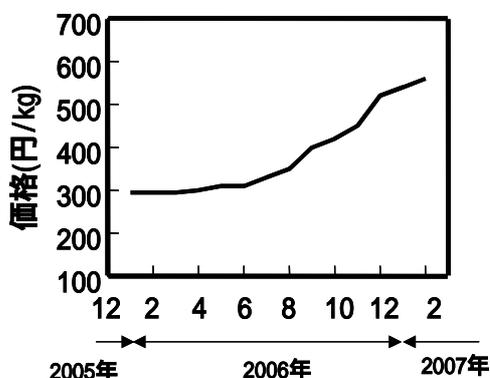


図 1 SUS304 の市況価格の推移

SUS304 の市況価格も約 2 倍にまで上昇してきた。この金属資源高騰と資源枯渇の危機認識が合わさって、省資源化の流れが生じている。

Ni を含有しない SUS430 は比較的安価ではあるものの、耐食性に劣るため SUS304 を代替することはできない。過去に SUS430 を改良し、SUS304 と同等の耐食性を有するフェライト系ステンレス鋼は開発されてきたが、Mo 等の希少金属を 1%以上含有しているため高価であり省資源化もできていない。このため、SUS304 と同等の耐食性を有し、比較的安価な代替元素を用いたフェライト系ステンレス鋼が市場より切望されている。

JFE スチールでは、省資源化の流れをいち早く認知し、代替元素の探索により高価な元素を使用せずに SUS304 と同等の耐食性を有する高耐食性新ステンレス鋼 (21 クロムステンレス) を世界に先駆けて開発した。本開発鋼は、省資源化とともに SUS304 では実現できなかった環境問題にも寄与することができる。本開発鋼は、産業界にお

ける重要性が評価され、すでに日本経済新聞社より 2006 年日経優秀製品・サービス賞「最優秀賞日経産業新聞賞」を受賞しており、急激に需要が増加している。

## 2. 開発鋼の合金設計思想と耐食性

ステンレス鋼の耐食性は、最表面の不動態皮膜により錆を防ぐことで生じる。この不動態皮膜は Fe および Cr の酸化物と水酸化物よりなる非晶質皮膜で、厚さはわずか数 nm である。そして、不動態皮膜は皮膜中の Cr 濃度の増加で強固となり、耐食性がより優れたものとなる。そこで、不動態皮膜を改質強化する添加元素について緻密に調査した。Cr 含有量と不動態皮膜中の Cr 濃

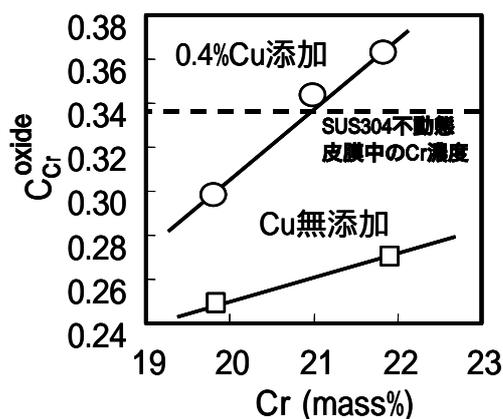


図2 CrおよびCu含有量と孔食電位

度の関係を図2に示す。不動態皮膜中のCr濃度は、X線光電子分光法(XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy)により、半定量化した。Cr酸化物のXPSスペクトル強度( $I_{Cr}^{oxide}$ )とFe酸化物のスペクトル強度( $I_{Fe}^{oxide}$ )をそれぞれの標準ピーク強度( $I_{Cr}^{ref}$ 、 $I_{Fe}^{ref}$ )で除して規格化し、規格化したCr酸化物ピーク高さ(規格化したCr酸化物ピーク高さ)とFe酸化物ピーク高さの合計で規格化したCr酸化物ピーク高さを除すことで相対的な不動態皮膜中

のCr濃度( $C_{Cr}^{oxide}$ )を定義した。すなわち、

$$C_{Cr}^{oxide} = \frac{\frac{I_{Cr}^{oxide}}{I_{Cr}^{ref}}}{\frac{I_{Cr}^{oxide}}{I_{Cr}^{ref}} + \frac{I_{Fe}^{oxide}}{I_{Fe}^{ref}}} \quad (1)$$

である。

鋼中Cr添加量の増加にともない不動態皮膜中のCr濃度は上昇する。そして、今回新たな研究結果として、Cuを0.4%程度添加した場合、不動態皮膜中のCr濃度が急激に増加することを見いだした。このCu添加による不動態皮膜中のCr濃度の急激な増加は、過去に報告のない新たな発見である。この結果、21%Cr-0.4%Cuの合金成分でSUS304と同等以上の耐食性を実現することに成功し、JFE443CTを開発した。開発鋼とSUS304を千葉県千葉市で離岸距離10mの位置に1年半暴露した試験片の外観を図3に示す。開発鋼は、SUS304よりも発錆面積が少なく耐食性に優れている。この開発鋼は、21クロムステンレスのネーミングで市場に流通している。

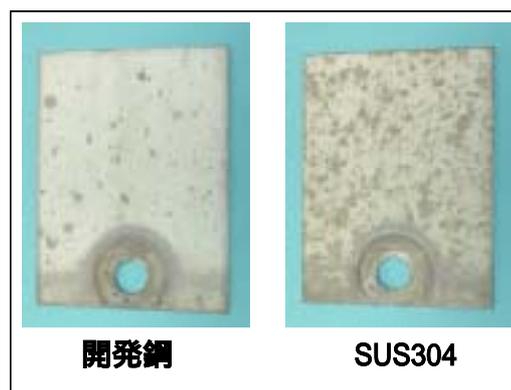


図3 開発鋼とSUS304の発錆比較

(#600 研磨紙で表面研磨後に千葉県千葉市で期間1年6ヶ月間暴露)

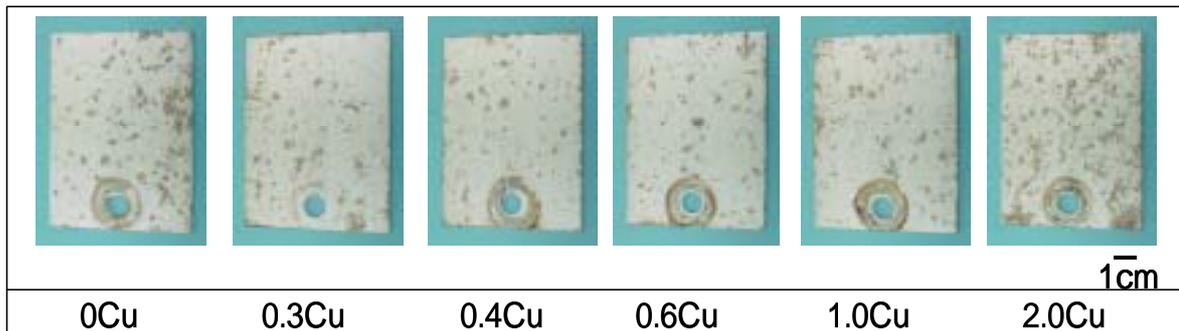


図4 暴露試験片の発錆状況（#600 研磨紙で表面研磨後に千葉県千葉市で期間1ヶ月間暴露）

### 3. Cu 添加による耐食性向上機構

Cu の耐食性向上効果について簡単に述べる。21%Cr を基本成分とし Cu を添加したステンレス鋼を実験室で溶製して圧延・焼鈍することで、板厚 1.0mm のステンレス薄板を作製した。そして、千葉県千葉市の離岸距離 10m の環境に 1 ヶ月間放置暴露した。図 4 に暴露後の試験片外観を示す。また、図 5 に画像解析で求めた発錆面積率を示す。0%Cu 鋼の発錆面積率は 16%であったのに対し、0.3~0.6%Cu 鋼の発錆面積率は、約 7%にまで低下した。そして、1%Cu 鋼の発錆面積率は 0.6%Cu 鋼よりも増加し、2%Cu 鋼の発錆面積率は 0%Cu 鋼を大きく上回った。この結果を元に、開発鋼の Cu 添加量を 0.4%

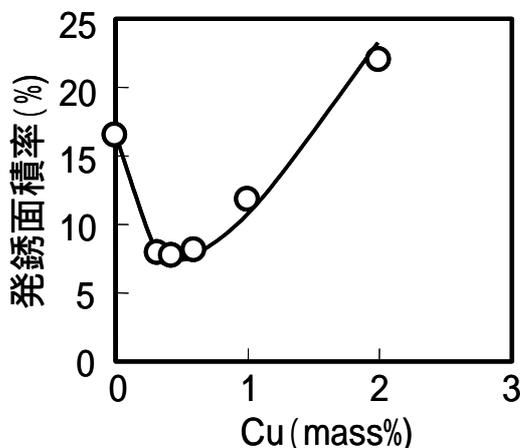


図5 Cu含有量と発錆面積率

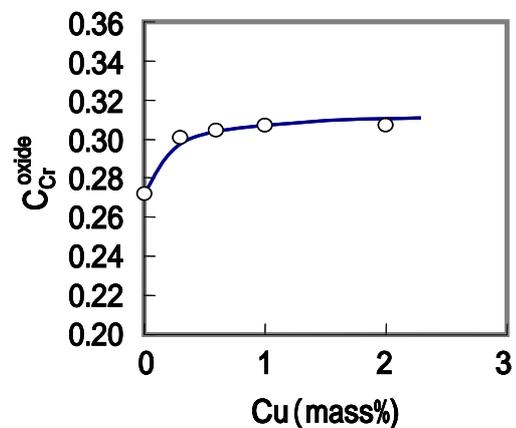


図6 不動態皮膜中のCr濃度

としている。

少量の Cu 添加による耐食性向上効果が明らかとなったことから、1 ヶ月暴露材未発錆部表面の不動態皮膜中の Cr 濃度を分析した。図 6 に Cu 量と(1)式を用いて求めた不動態被膜中の Cr 濃度の関係を示す。Cu 添加鋼の不動態被膜中の Cr 濃度は 0%Cu 鋼と比べて増加していた。不動態被膜中の Cr 濃度が高い程耐食性が優れることから、0.3~0.6%Cu 添加鋼の耐食性が 0%Cu 鋼よりも優れていたは Cu 添加により不動態被膜中の Cr 濃度が増加したためと考えられる。

つぎに、1%以上の Cu 添加で Cu 添加量の増加にともない耐食性が劣化する理由を

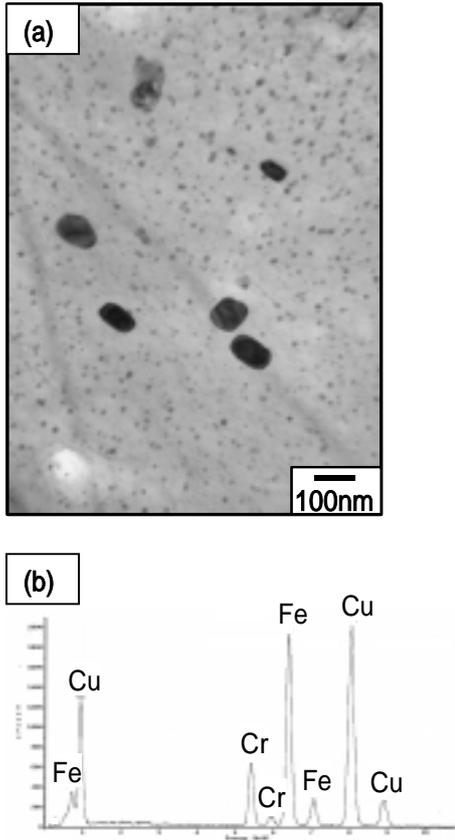


図7 2%Cu 鋼中の析出物  
(a)TEM 明視野像  
(b)EDX スペクトル

調査した。最も耐食性が劣位であった 2%Cu 鋼の透過型電子顕微鏡 (TEM) 写真および析出物のエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX) スペクトルを図7に示す。2%Cu 鋼中には大きさ 60nm 程度の析出物と 10nm 程度の微細析出物が数多く析出していた。EDX 定量分析で、これらの析出物は金属 Cu であることが明らかとなった。この TEM 観察結果より、1%以上の Cu 添加で耐食性が劣化するのは、鋼中に金属 Cu が析出するためであると考えられる。

以上より、0.3 ~ 0.6%Cu 添加で 21%Cr 鋼の耐食性が向上するのは、不動態被膜中の Cr 濃度が増加して不動態被膜が強固に

なるためと考えられる。そして、1%以上の Cu 添加で耐食性が劣化するのは、Cu が金属として鋼中に析出するためと考えられる。

#### 4. 開発鋼のプレス成形性

JFE スチールでは、製鋼技術革新でステンレス鋼の極低炭素、窒素化に成功している。これに最新鋭の薄板熱間圧延機を組み合わせることで、フェライト系ステンレス鋼の加工性を格段に向上することに成功した。開発鋼の加工性を SUS304 と図 8 に比較する。開発鋼に革新的製鋼技術と熱間圧延技術を適用することにより、開発鋼は SUS304 を超える深絞り成形性を実現している。さらに、実部品に加工された例を図 9 に示す。図 9(a)の開発鋼を用いた家庭用調理鍋は、すでに市場で流通している。この鍋は、熱伝達が SUS304 よりも早い場合、SUS304 と比べて約 30%も短時間で昇温できる。これは、消費エネルギーの低減に直結しており、環境問題に大いに寄与できると考える。図 9(b)は、水タンクに加工した例である。SUS304 に対して優れた耐食性を活かした大型構造物の例である。

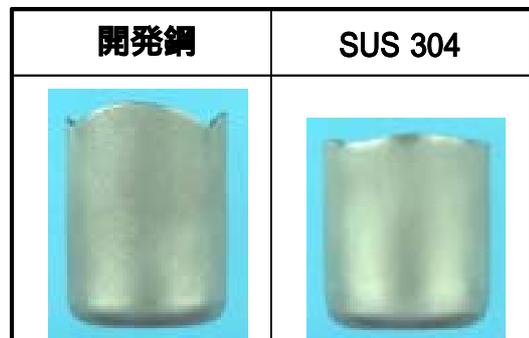


図 8 開発鋼と SUS304 の深絞り加工品



(a)家庭用調理鍋



(b)水タンク

図9 開発鋼を用いた製品例

## **5.まとめ**

希少金属の省資源化を目的に、Cuによる不動態皮膜強化現象を用いて一般に用いられてきたSUS304と同等の耐食性を有するフェライト系ステンレス鋼板を世界に先駆けて開発した。本開発鋼はすでに市場で流通しており、省資源という社会ニーズの後押しで使用量が急激に増加しつつある。

## **6.特許**

国内出願中 10 件以上

海外出願中（韓国、中国など）

## **7.社外発表**

石井、船川、宇城、山下：材料とプロセス、Vol.20(2007), No.3, 430.

## **8.表彰**

2006 年日経優秀製品・サービス賞最優秀賞  
日経産業新聞賞(日経産業新聞社)