

SUS304 代替フェライト系ステンレス鋼 JFE443CT の適用

Applications of JFE443CT Developed as the Substitution for SUS304

塩川 隆 SHIOKAWA Takashi JFE スチール 東日本製鉄所 商品技術部ステンレス室 主査(副部長)
矢沢 好弘 YAZAWA Yoshihiro JFE スチール スチール研究所 ステンレス鋼研究部 主任研究員(課長)・工博
岡田 修二 OKADA Shuji JFE スチール スチール研究所 ステンレス鋼研究部 主任研究員(副課長)

要旨

SUS304 からの代替を目的に高耐食性フェライト系ステンレス鋼 JFE443CT を開発した。JFE443CT は、SUS304 と同等の耐食性をもつとともに、Ni および Mo を添加しないためこれらの価格が変動してもその影響を受けない。JFE443CT は SUS304 の代替として、厨房用品、建材、建具、電気機器、産業機械、自動車など広い分野で使用され始めている。本論文では、その特性と適用例を紹介する。

Abstract:

High corrosion resistant ferritic stainless steel JFE443CT has been developed as the substitute for SUS304. Its corrosion resistance is equivalent to that of SUS304, and without the addition of Ni and Mo its price is not affected by the change of the Ni or Mo price. JFE443CT has been applied for many use such as kitchenware, building materials, electrical appliances, machines, automobile and so on as the substitution for SUS304. This paper describes the properties of JFE443CT and its applications.

1. はじめに

一般的な用途で使用されているステンレス鋼は、SUS304 (18mass%Cr-8mass%Ni (以下、mass%を%と略記)) を代表とするオーステナイト系ステンレス鋼 (ニッケル系ステンレス鋼とも称される) か、SUS430(16%Cr) などのフェライト系ステンレス鋼 (クロム系ステンレス鋼とも称される) である。家庭用品や家電分野では、その経済性から SUS430 が多用されている。自動車分野では用途に適した多くの新鋼種が開発され¹⁾、使用されるステンレス鋼の大部分がフェライト系である。これに対して、建材、産業機械などでは、耐食性、加工性および溶接性などが良く汎用性が高いことと長年の使用実績から SUS304 が主に使用されている。

SUS304 は優れた特性を持っているが、その主要原料の Ni が希少金属で価格変動が激しいために価格が安定しない欠点がある。この問題への対策として、JFE スチールは SUS304 代替のフェライト系ステンレス鋼として JFE443CT (21%Cr-0.4Cu%-0.3%Ti) を開発した²⁾。JFE443CT は次の特性を持つ。

(1) SUS304 と同等の優れた耐食性。

(2) Ni, Mo を添加していないため省資源であり、Ni, Mo の価格変動の影響を受けない。

(3) 従来のフェライト系ステンレス鋼と同等以上の成形性。

本鋼の特性には SUS304 と異なったものも多いため、特徴を把握して適用用途や利用技術の選定が重要である。近年の Ni 高騰による SUS304 価格の上昇にともなって、本鋼はすでに多くの用途で採用されている。本論文ではその特性と代表的な適用事例を紹介する。

2. JFE443CT の特徴

2.1 基本特性

JFE443CT の化学成分を表 1 に示す。Cr 含有量を 21% に高めるとともに Cu を 0.4% 添加することにより、SUS304 と同等の耐食性を確保している。さらに、安定化元素として 0.3% の Ti を添加することにより、鋼中に残存する C、

表 1 JFE443CT の化学成分
Table 1 Chemical composition of JFE443CT

Steel grade	(Typical values, mass%)						
	C	Cr	Ni	Cu	Ti	Nb	N
JFE443CT	0.01	21	—	0.4	0.3	—	0.01
SUS430	0.04	16	—	—	—	—	0.04
SUS304	0.05	18	8	—	—	—	0.03

表 3 JFE443CTの物理的特性
Table 4 Physical properties of JFE443CT

Steel grade	Magnetism	Specific heat at 25°C (J/kg·°C)	Thermal conductivity at 100°C (W/m·°C)	Thermal expansion coefficient (10 ⁻⁶ /°C)	
				20–100°C	20–600°C
JFE443CT	Magnetic	440	22.5	10.5	11.6
SUS430	Magnetic	460	26.1	10.4	12.0
SUS304	Non-magnetic	500	16.2	17.3	18.7

表 2 JFE443CTの機械的特性
Table 2 Mechanical properties of JFE443CT

(Typical values, Specimen thickness: 0.8 mm)

Steel grade	0.2% proof strength (MPa)	Tesile strength (MPa)	Elongation (%)	Mean r-value
JFE443CT	305	483	31	1.3
SUS430	320	490	29	1.0
SUS304	260	645	60	1.0

N を Ti 炭化物、Ti 窒化物として無害化し、溶接部の耐食性の確保と加工性の向上を行っている。

JFE443CT の機械的特性を表 2 に示す。r 値（ランクフォード値）は鋼板にひずみを与えた時に生じる、板幅方向対数ひずみと板厚方向対数ひずみの比であり、これが大きいほど深絞り性が良い。本鋼は、SUS430 に比較して軟質で伸び、r 値が高く加工性に優れている。SUS304 に比較すると、延性（伸び値）が低いので張り出し加工性は劣るが、r 値が高いため深絞り性は良好である。したがって、本鋼を用いる場合、張り出さず絞りで成形することが推奨される³⁾。

JFE443CT の物理的特性を表 3 に示す。本鋼は SUS430 と同様に磁性がある。また、SUS304 に比べ熱膨張係数が小さく、熱伝導性に優れている。

2.2 溶接性

JFE443CT は、不純物元素の炭素や窒素を低減するとともに、安定化元素の Ti を添加しているため、溶接部も優れた耐食性と機械的特性を持っている。

JFE443CT、SUS304 および SUS430 の TIG 溶接部の耐食性を JASO M 609-91（自動車技術会）に準拠した塩乾湿複合サイクル腐食試験（1 サイクル：塩水噴霧（5%NaCl 水溶液、35°C、2 時間）→乾燥（60°C、相対湿度 20~30%、4 時間）→湿潤（50°C、相対湿度 95%以上、2 時間））で調べた結果を写真 1(a) に示す。SUS430 では、溶接時の加熱・冷却過程で結晶粒界に鋼中の C、N が Cr 炭化物・窒化物となって析出する。このため、粒界の Cr が欠乏して耐食性が失われ（鋭敏化）て、溶接部で激しく発錆している。これに対して、JFE443CT および SUS304 では、溶接部も良好な耐食性を示している。JFE443CT では、C、N を低減するとともに、安定化元素として 0.3% の Ti を添加するこ

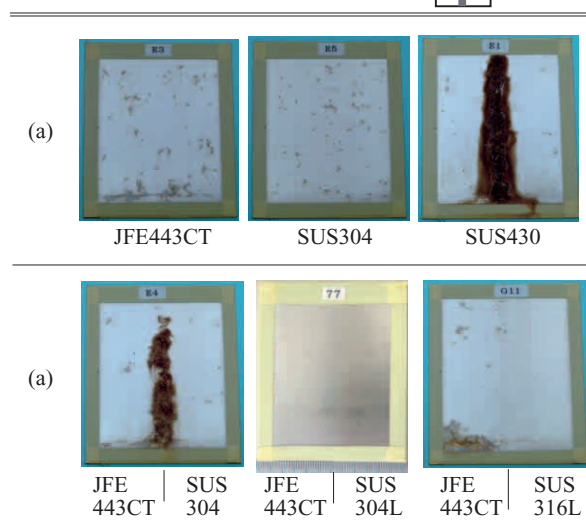


写真 1 (a) JFE443CT、SUS304 および SUS430 の TIG 突合せ溶接部の耐食性 (b) JFE443CT と異種ステンレス鋼の TIG 突合せ溶接部の耐食性（試験片サイズ：0.8 × 60 × 80 mm、ワイヤなしで溶接後表面を #600 番研磨して、30 サイクルの JASO-CCT に供試）

Photo 1 (a) Corrosion resistance of TIG butt welding joint of JFE443CT, SUS304 and SUS430, (b) Corrosion resistance of TIG butt welding joint of JFE443CT with other stainless steels (Sample size : 0.8 × 60 × 80 mm. The samples was polished to #600 finish after welding without welding wire. Corrosion test was carried out by 30 cycles JASO mode CCT(JASO: Japanese Automobile Standards Organization))

とにより、残存する C、N を Ti 炭化物・窒化物として無害化し、鋭敏化を防ぎ溶接部の耐食性を確保している。

本鋼の溶接では、良好な機械的特性と耐食性を確保するために、下記の点に注意が必要である。

- (1) 異種ステンレス鋼との溶接：SUS304 のような炭素含有量の多いステンレス鋼と TIG 溶接で突合せ溶接をすると、鋭敏化が起こり溶接部の耐食性が低下する。突合せ溶接では SUS304 (C ≦ 0.08%，一般的に 0.05~0.06%) ではなく SUS304L (18%Cr-9%Ni, C ≦ 0.030%) の使用が推奨される。

写真 1(b) に JFE443CT と異種ステンレス鋼の TIG 突合せ溶接部の耐食性試験結果を示す。SUS304 との溶接部は鋭敏化し耐食性が低下している。これに対して、C 含有量の少ない SUS304L や SUS316L(0.02% C-

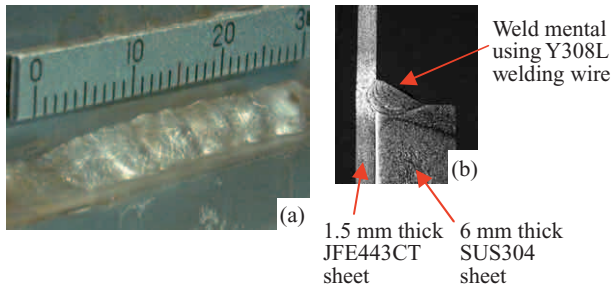


写真 2 JFE443CT と SUS304 の TIG すみ肉溶接部の耐食性 ((a) JASO-CCT30 サイクル後の外観, (b) 溶接部の断面)

Photo 2 Corrosion resistance of TIG fillet joint of JFE443CT with SUS304 ((a) Appearance of fillet joint after 30 cycles JASO-CCT(JASO: Japanese Automobile Standards Organization), (b) Cross section of joint)

18%Cr-12%Ni-2%Mo) との溶接部は良好な耐食性を示している。C 含有量の高い異種ステンレス鋼との溶接部の耐食性低下は溶接後の冷却が緩やかな TIG 溶接で起こり、溶接後の冷却が速い電気抵抗溶接(スポット溶接やシーム溶接)では生じにくい。また、写真 2 に示すような溶接ワイヤを使用するすみ肉溶接では、溶接金属をオーステナイト主体の組織として鋭敏化による耐食性の低下を防ぐことができる。同様に、オーステナイト系の溶接ワイヤを用いた MIG 溶接や MAG 溶接でも溶接部の組織がオーステナイト組織になり、SUS304 と接合しても母材とほぼ同等の耐食性が得られる。

- (2) 溶接ワイヤ：鋭敏化による溶接部の耐食性低下を防ぐため、溶接ワイヤは Y308 系(成分例：0.05% C-20% Cr-10% Ni)ではなく、C 含有量の少ない Y308L 系(成分例：0.02% C-20% Cr-14% Ni)や Y309L 系(成分例：0.02% C-23% Cr-14% Ni)を使用する必要がある。
- (3) シールドガス：酸化、浸炭を防ぐため、表面からだけでなく裏面からも十分な量のアルゴンガスでシールドすることが推奨される。
- (4) 適切な入熱量：SUS304 に比べ、溶接時に必要な入熱量が多くなる。ただし、入熱量が多いと結晶粒が大きくなり靱性が低下することがあるので注意が必要である。

JFE443CT は同材接合部および SUS304 との接合部ともに十分な強度と延性を持っている。さらに、表 3 に示したように SUS304 に比較して熱膨張率が低く熱伝導率が高いため、本鋼には溶接ひずみが生じにくい利点がある。

2.3 機能品仕上げ, 2BW 仕上げ材

本鋼は一般的なステンレス鋼の表面仕上げの 2B (焼鈍酸洗材), BA (光輝焼鈍材)に加えて生産性の高い機能品仕上げ(タンデム-CAL 仕上げ)を品揃えしている。

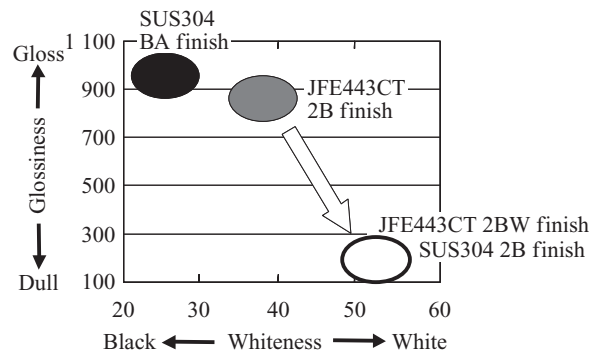


図 1 JFE443CT の 2BW, 2B 仕上げおよび SUS304 の 2B, BA 仕上げの色調比較

Fig.1 Comparison of tone of a color between 2BW or 2B finish of JFE443CT and 2B or BA finish of SUS304

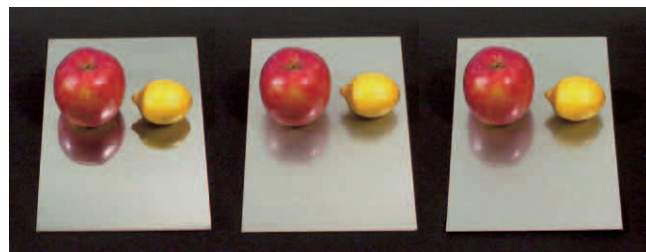


写真 3 JFE443CT の 2B, 2BW および SUS304 の 2B 仕上げの外観

Photo 3 Appearance of 2B or 2BW finish of JFE443CT and 2B finish of SUS304

本鋼を含めたフェライト系ステンレス鋼の 2B 仕上げには光沢があり、これが評価される場合が多い。しかし、白色の SUS304 の 2B 仕上げに対して光沢のある本鋼の 2B 仕上げでは、加工時についた微細な傷が目立つ場合や、用途によっては防眩性が劣る場合があった。これらに対応するため、本鋼では新たに白色の表面を持つ 2BW 仕上げを開発した。

図 1 に JFE443CT の 2B, 2BW 仕上げおよび SUS304 の BA, 2B 仕上げの白色度と光沢度を、写真 3 に JFE443CT の 2B, 2BW 仕上げおよび SUS304 の 2B 仕上げの外観を示す。JFE443CT の 2BW 仕上げ材の光沢度、白色度は SUS304 の 2B 仕上げ材と同等であり、低光沢で白色の外観を持っている。本鋼と SUS304 の 2B 仕上げを組み合わせる用途では、2BW 仕上げを用いることで色調差が低減される。

2.4 耐リジング特性

フェライト系ステンレス鋼をプレス加工すると、「リジング」と呼ばれる圧延方向に沿った筋状の凹凸が発生することがある。リジングが発生すると、美観が損なわれたり、加工後に研磨仕上げを行う鋼や器物などの用途では研磨負荷が増大して問題になる。SUS304 にはリジングが生じな

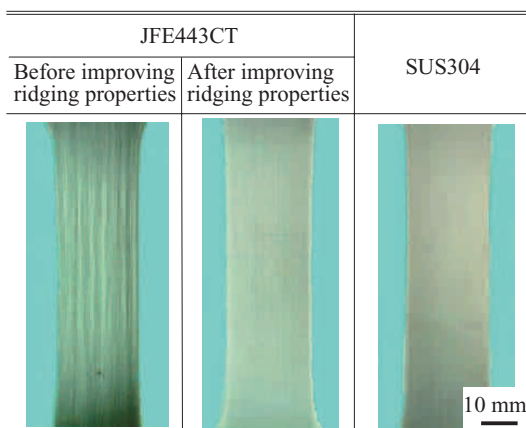


写真 4 耐リジング性改善前と改善後の JFE443CT および SUS304 の 20% 引張り試験後の外観

Photo 4 Appearance of JFE443CT and SUS304 after 20% tensile test

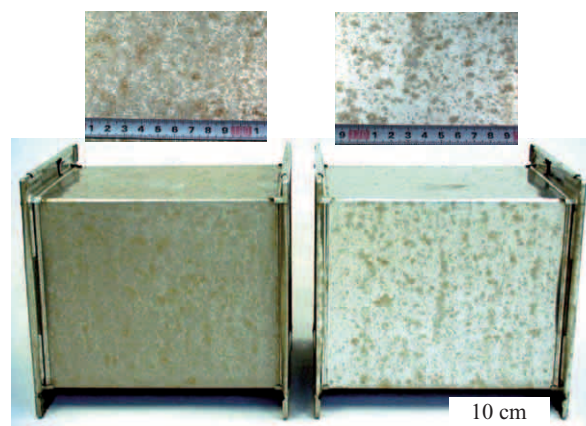
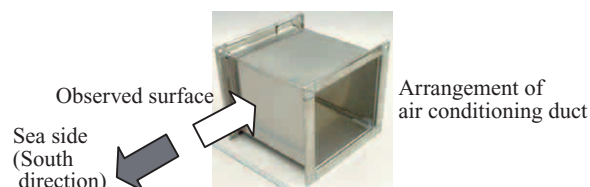
いため、SUS304 の代替として使用するためにはリジングを低減することが求められる。当初、本鋼でも重度のリジングが発生することがあったが、製造条件を最適化することにより耐リジング性を改善することに成功した。改善した本鋼の加工品成形後の表面研磨負荷は SUS304 とほぼ同水準である。写真 4 に 20% 引張りにより測定した耐リジング特性を示す。耐リジング特性改善前の JFE443CT ではうねり高さ 4 μm 程度の凸が生じているが、改善後ではうねり高さは 1.5 μm 程度に低減している。

3. JFE443CT の適用事例

3.1 屋外使用用途への適用

ステンレス鋼を屋外で使用する場合、海から飛来する海塩粒子による発錆が問題となる。JFE443CT と SUS304、

SUS430 および溶融亜鉛めっき鋼板の耐食性を塩水噴霧試験 (JIS Z 2371) で調べた結果を写真 5 に示す。溶融亜鉛めっき鋼板は 672 時間で亜鉛の防錆機能が失われ赤錆が発生し、2 000 時間では全面が赤錆に覆われている。厚目付けの溶融亜鉛めっき材でも 2 000 時間で赤錆が発生し、5 000 時間で全面が赤錆に覆われている。SUS430 も 168 時間で端部から発錆している。これに対して、JFE443CT お



SUS304

JFE443CT

写真 6 JFE443CT および SUS304 製空調ダクトの千葉海浜地区での 3 ヶ月間暴露試験結果

Photo 6 Results of 3 months field exposure test of air conditioning ducts made of JFE443CT or SUS304 in a coastal area at Chiba

Time (h)	24	168	672	1 000	2 000	5 000
JFE443CT						
SUS304						
SUS430						
Zinc hot dip galvanizings (Coating weight: 62 g/m ²)						
Zinc hot dip galvanizings (Coating weight: 527 g/m ²)						

20 mm

写真 5 JFE443CT, SUS304, SUS430 および亜鉛めっき鋼板製の建築金具の中性塩水噴霧試験 (SST) 結果
Photo 5 Results of neutral salt spray test of building fittings made of JFE443CT, SUS304, SUS430, and Zinc coated steel

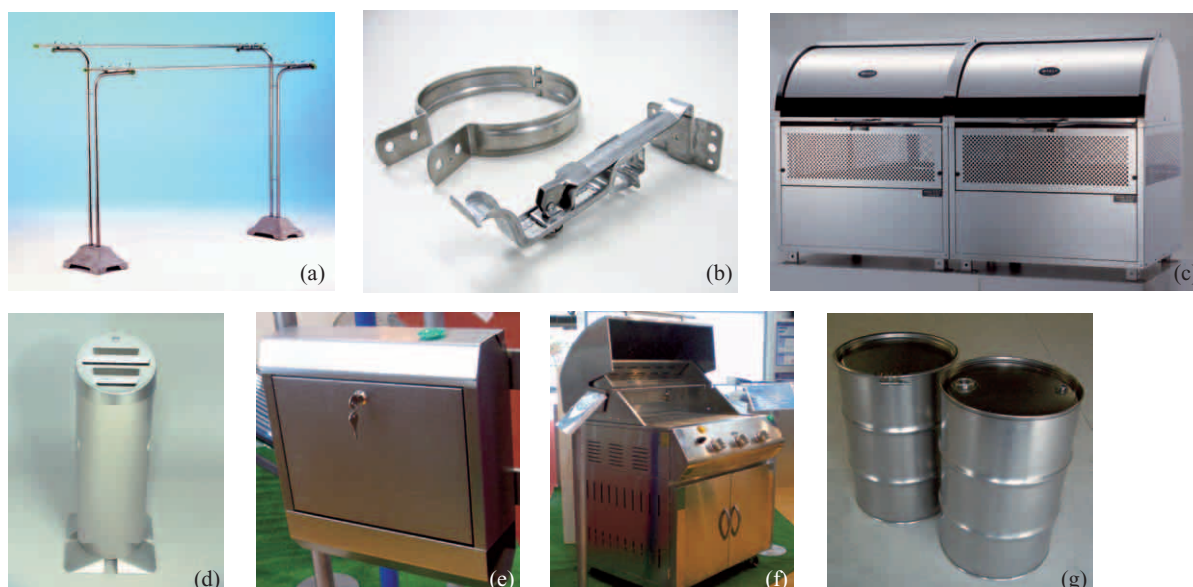


写真7 屋外用途への JFE443CT の適用例 ((a) 物干し竿・台 (モリ工業(株)殿提供), (b) 樋受け金具 (タカヤマ金属工業(株)殿提供), (c) 大型ゴミ集積箱 ((株)ワクイ殿提供), (d) 灰皿スタンド (日本たばこ産業(株)殿提供), (e) 郵便受け, (f) バーベキューグリル, (g) ドラム缶 (JFE コンテナ提供))

Photo 7 Application of JFE443CT for outdoor use ((a) Clothes pole and stand (by courtesy of Mory Industries Inc.), (b) Gutter bracket (by courtesy of Takayama Metal Industrial Co., Ltd.), (c) Garbage container (by courtesy of Wakui Co., Ltd.), (d) Ashtray stand (by courtesy of JAPAN Tobacco Inc.), (e) Mailbox, (f) Barbecue grill, (g) Drum can (by courtesy of JFE Container))



写真8 屋内用途への JFE443CT の適用例 ((a) 調理鍋 (双葉工業 (株) 殿提供), (b) 恒温器 ((株) いすゞ製作所殿提供), (c) 冷蔵庫, (d) 調理台)

Photo 8 Application of JFE443CT for indoor use ((a) Cooking pan (by courtesy of Futaba Industry Co., Ltd.), (b) Temperature keeping box (by courtesy of Isuzu Seisakusho Co., Ltd.), (c) Refrigerator, (d) System kitchen)

よび SUS304 では 5 000 時間後にも発錆せず優れた耐食性を示している。

JFE443CT と SUS304 で試作した模擬空調ダクト (実際に使用されるものより長手方向を短くしたもの) を千葉海浜地区 (護岸から 10 m) に 3 ヶ月間暴露した結果を写真 6 に示す。

SUS304 製模擬ダクトに比較して JFE443CT 製模擬ダクトでは発錆程度が軽度であり, 本鋼がこのような環境で十分に SUS304 代替鋼として使用可能であることを示している。

以上のように本鋼は屋外での使用用途でも優れた耐食性を示すことから, 各種の建材・建築金具や屋外で使用される家庭用品・産業機械で SUS304 に替わって用いられ始め

ている。写真 7 にそれらの適用事例を示す。

3.2 屋内用途への適用

屋内で使用される家電製品や家庭用品でも SUS304 から本鋼への代替が進んでいる。それらの適用事例を写真 8 に示す。

表 2 に示したように本鋼は磁性があり, また熱伝導性が高い。このため, 本鋼で製造した鍋を電磁調理器で加熱すると, 短時間に加熱できて省エネルギーになる。図 2 に同型の JFE443CT 製鍋と SUS304 製鍋に水を入れて, 電磁調理器で同一条件で加熱した時の昇温挙動を示す。JFE443CT 製の鍋では, 100℃までの加熱時間が約 30% も短時間されている⁴⁾。

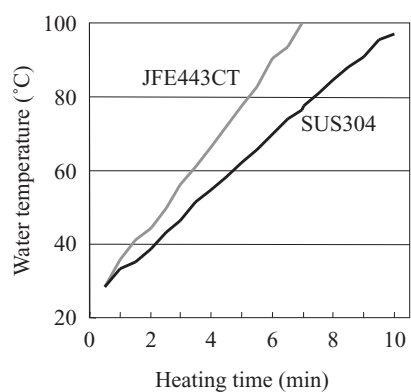


図2 JFE443CT 製鍋と SUS304 製鍋の電磁調理器による加熱速度比較 (水量 2 l)

Fig.2 Comparison of heating rate between pans made of JFE443CT and SUS304, The amount of water in a pot was 2 l

4. おわりに

JFE443CT は、SUS304 の代替鋼として厨房用品、建材、建具、電気機器、産業機械、自動車などあらゆる分野での

適用が進んでいる。本鋼が省資源ステンレス鋼として広く市場で利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 佐藤進, 宇城工, 石井和秀. 川崎製鉄技報. 1999, vol.31, no.1, p.28.
- 2) 石井和秀, 石井知洋, 太田裕樹. JFE 技報. 2008, no.20, p.10.
- 3) 井口貴朗, 尾崎芳宏. JFE 技報. 2008, no.20, p.16.
- 4) 双葉工業(株)殿レポート (私信)



塩川 隆



矢沢 好弘



岡田 修二