

新商品紹介

温水タンク用高耐食フェライト系ステンレス鋼『NSS WCR』

原 田 和加大* 山 本 修** 野々村 明 廣*** 河 野 明 訓****

Ferritic Stainless Steel Developed for Hot-Water Tank Appliances “NSS WCR”

Wakahiro Harada, Osamu Yamamoto, Akihiro Nonomura, Akinori Kawano

1. 緒 言

ステンレス鋼は耐食性に優れ、衛生的であることから厨房、配管、容器など水周りの器物に多用されている。住宅や家電における省エネが進められている中で、電気給湯設備としてエコキュートが普及している。エコキュートや電気温水器などには温水をためるタンクが必要であり、従来からステンレス鋼が使われている。1960年代にAl棒などで犠牲防食したSUS 304やSUS 316が電気温水器用タンクに用いられていたが¹⁾、応力腐食割れの問題から1980年代にはSUS 444などのフェライト系ステンレス鋼を用いた無防食タンクが主流となった^{2, 3)}。近年ではレアメタルの高騰もあり、Mo含有量の少ないNSS 445M2などが使われるようになった⁴⁾。

温水タンクでは、鏡板と称す上下加工品と胴と称す側板を一般的にTIG溶接で接合する。溶接時にステンレス鋼の表面が酸化して耐食性が低下することを防ぐために^{5, 6)}、タンク内面においてArなどの非酸化性ガスをバックシールドガスに用いて、溶接する必要がある。したがって、容量の大きい温水タンクを製造する場合は、Arガスの使用量が多いことやガス充填用の部品を取り付ける必要があるなど、製造メーカーにおける作業、コストの負担が大きかった。

NSS WCRは温水タンク用ステンレス鋼として開発された⁷⁾。溶接施工する際にバックシールドガスを用いなくても、バックシールドガスを用いて溶接したNSS

445M2やSUS 444と同等の溶接部の耐隙間腐食性を有しており、温水タンクの製造において溶接時のバックシールドガスが不要である。本商品の特徴について述べる。

2. 成分設計

表1にNSS WCRの代表成分例を示す。24%Cr-0.5%Mo-0.5%Ni-Nb, Ti-LowC, Nを主成分とする。溶接時に生成する酸化スケール直下でCr濃度が低下しても、温水環境で必要な耐食性を発現できるCr濃度を維持できるようにCrを24%添加している。さらに、MoとNiを微量添加することにより、隙間部で生じる局所的なpH低下環境での耐食性を有している⁸⁾。MoとNiは価格変動が大きいため、添加量を極力少なくし、従来材であるSUS 444に比べて価格安定性の高い商品とした。さらに極低C,N化および安定化元素としてのTi, Nbの複合添加により溶接熱影響部の鋭敏化を抑制している。

表1 NSS WCRの代表成分例 (mass%)
Table 1 Chemical composition of NSS WCR (mass%)

C	Si	Cr	Mo	Ni	N	Ti	Nb
0.01	0.2	24.0	0.5	0.5	0.01	0.2	0.2

*技術研究所 ステンレス・高合金研究部 材料第二研究チーム チームリーダー
 **技術研究所 ステンレス・高合金研究部 材料第二研究チーム
 ***技術研究所 ステンレス・高合金研究部 材料第二研究チーム
 (現 周南製鋼所 生産推進部 品質保証チーム 主任部員)
 ****技術研究所 ステンレス・高合金研究部 材料第二研究チーム
 (現 日新製鋼大阪大学共同研究講座)

3. 基本特性

3.1 成型性

表2にNSS WCRの0.9mm^tの機械的特性を示す。引張強度、耐力、伸びおよび硬さともに現行温水タンク用フェライト系ステンレス鋼と同等の特性を示す。また、n値やr値も現行温水タンク用フェライト系ステンレス鋼と同等であり、温水タンクに加工可能である。

表2 NSS WCRの機械的特性

Table 2 Mechanical properties of NSS WCR

	0.2%耐力(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	突合せ伸び(%)	表面硬さ(Hv20)
NSS WCR	362	514	31	167
NSS 445M2	365	507	30	167
SUS 444	372	529	31	167

JIS Z3040に準じてNSS WCRのTIG溶接における適正範囲を評価した。図1にNSS WCR, NSS 445M2およびSUS 444のTIG溶接における適正溶接条件範囲を示す。NSS WCRはNSS 445M2やSUS 444と同等の溶接性を有し、温水タンクへの溶接成形性を有する。

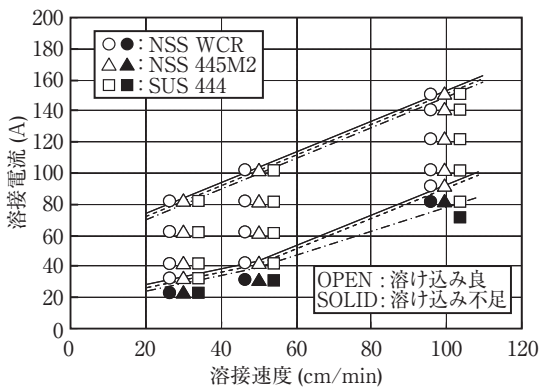


図1 NSS WCRのTIG溶接における適正溶接条件
Fig.1 TIG welding conditions of NSS WCR.

3.2 一般耐食性

NSS WCRの耐孔食性を評価した。図2にNSS WCRの焼鈍酸洗仕上げ材の孔食電位をNSS 445M2と比較して示す。耐孔食性はNSS 445M2の同仕上げ材と同等である。

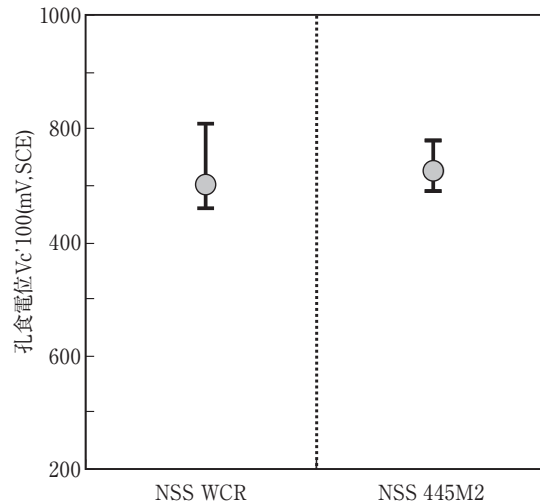


図2 NSS WCR/2B仕上げ材の孔食電位 (3.5%NaCl, 30°C)
Fig.2 Pitting potential of NSS WCR.

NSS WCRの耐発錆性を沖縄における暴露試験で評価した。暴露試験は沖縄県中頭郡の海岸より30mの場所に暴露試験台を設置して実施した⁹⁾。試験片の四隅をベークライトワッシャーで固定した。図3に焼鈍酸洗仕上げのNSS WCRの沖縄における暴露試験3年後の外観をNSS 445M2と比較して示す。NSS WCRの耐発錆性はNSS 445M2の同仕上げ材と同等である。

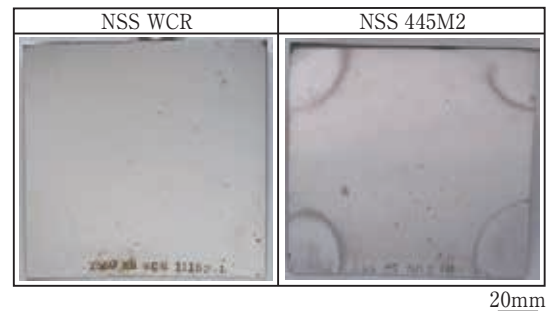


図3 沖縄における暴露試験3年後の外観
Fig.3 Appearance of NSS WCR after 3 year's atmospheric exposure test in Okinawa.

4. 温水タンク用材料としての耐食性

4.1 溶接隙間部の耐食性

温水タンクの構造例を図4に示す。温水タンクには3箇所の溶接部が存在する。胴板と胴板をたてに付けあわせTIG溶接する部位、胴板を鏡板にTIG溶接接合する部

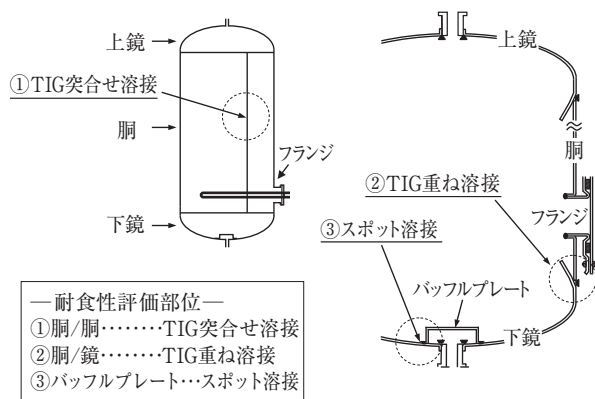


図4 実機温水器缶体の構造の例
 Fig. 4 Schematic illustration of hot-water tank.

位および鏡板にバッフルプレートをスポット溶接する部位である。特に耐食性が懸念されるのが、胴板を鏡板にTIG溶接接合する隙間部である。

実験的に温水タンク環境におけるNSS WCRの溶接隙間部の耐食性を検討した。図5に腐食試験に用いた溶接隙間試験片の形状を示す。二枚重ねたステンレス鋼試験片をTIG溶接で重ね溶接し、隙間面を形成した。バックシールドガス中の酸素濃度の影響を検討するためにArと酸素混合ガス雰囲気中で溶接を行った。Arガスのみをバックシールドガスに用いる場合は溶接隙間開口部側よりArガスを流した。この場合、大気の巻き込みがあるためバックシールドガス中の酸素濃度 = 0.1%である。バックシールドガスを用いない場合には大気雰囲気中で溶接してそれぞれ試験片を作製した。比較にはSUS 444を用いた。

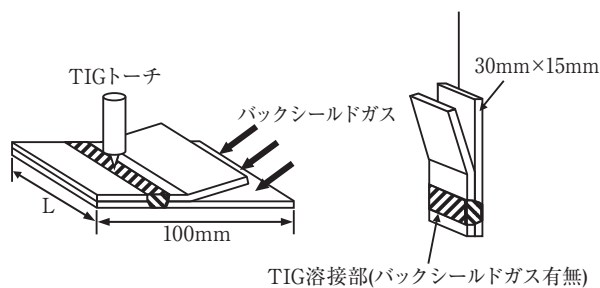


図5 ラボ試験に用いた試験片形状
 Fig. 5 Specimen for the evaluation of crevice corrosion resistance.

図6にPt補助カソード浸漬試験方法を示す³⁾。試験液には山口県周南市の上水にNaClを加えて、2,000ppmCl⁻に調整した水溶液を用いた。腐食の加速性を上げるために試験片とPtを電氣的に導通させ、恒温水槽を用いて

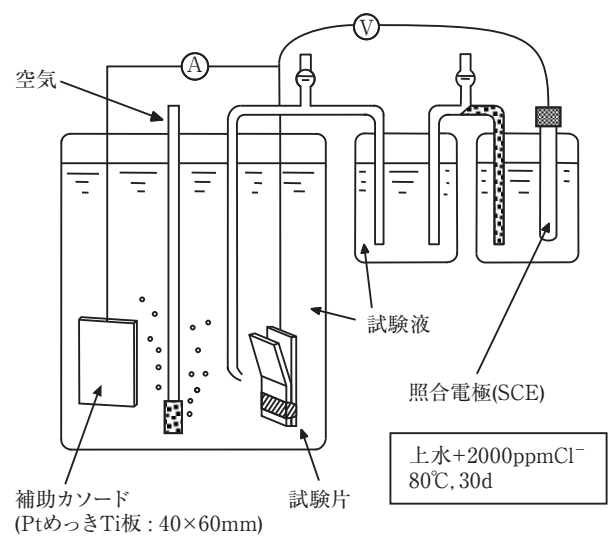


図6 Pt補助カソード浸漬試験方法
 Fig. 6 Schematic illustration of immersion test by Pt-plated Ti auxiliary cathode system.

80℃に保持した。30日後の隙間腐食状態によって耐食性を比較評価した。

図7にArと酸素混合ガス雰囲気中で溶接した場合の酸素濃度とNSS WCRの溶接隙間部の腐食深さの関係をSUS 444と比較して示す。酸素濃度 = 0.02%ではNSS WCRとSUS 444の腐食深さは同程度であるが、SUS 444

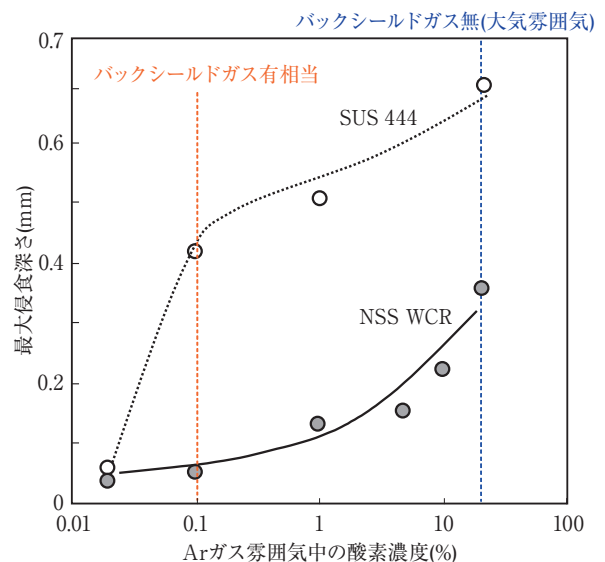


図7 NSS WCRの溶接隙間部の耐食性と溶接雰囲気中の酸素濃度の関係
 (Pt補助カソード試験, 上水 + 2000ppmCl⁻, 80℃, 30日)
 Fig. 7 Effect of concentration of O₂ in back gas shield of TIG welding on crevice corrosion depth of TIG welded joint after 30days immersion test.

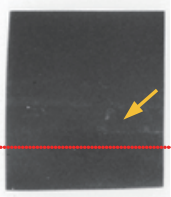

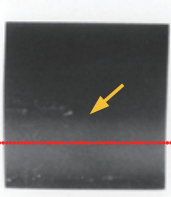
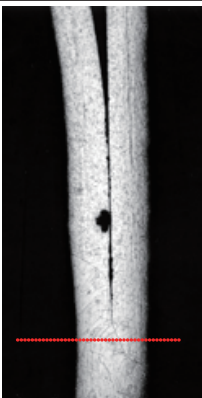


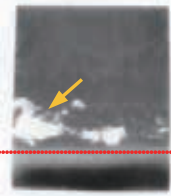

は酸素濃度 = 0.1%の時点で、腐食深さが0.04mmまで深くなるのに対し、NSS WCRは耐食性の低下が少なく、酸素濃度 = 20%でも腐食深さは0.3mmであった。

図8にNSS WCRとSUS 444の溶接隙間試験片の腐食試験後のX線透過写真および代表的な腐食断面を示す。バックシールドガスなしのNSS WCRの最大隙間腐食深さは0.35mmであり、バックシールドガス有りのSUS 444と同等以上の耐隙間腐食性を示した。またバックシールドガス有りのNSS WCRの最大隙間腐食深さは

0.05mmであり、わずかに隙間腐食が認められる程度であった。

4.2 試作タンクによる評価

NSS WCRの実機試作タンクを用いた腐食モニター試験により耐食性を評価した。板厚が0.9mmの材料をTIG溶接によりタンクに加工、接合した。バックシールドガスにはArを用いて、バックシールドガス有無でそれぞれタンクを試作した。比較材に同じ板厚のNSS

観察方向	バックガスシールドガス有*		バックガスシールドガス無	
	X線透過	腐食断面	X線透過	腐食断面
NSS WCR	最大侵食深さ 0.05mm 		最大侵食深さ 0.35mm 	
SUS 444	最大侵食深さ 0.4mm 		最大侵食深さ 0.65mm 	

*:Ar+0.1%O₂

図8 Pt補助カソード浸漬試験30日後のTIG溶接隙間部のX線透過写真と腐食断面
(Pt補助カソード試験, 上水+ 2000ppmCl⁻, 80℃, 30日)

Fig. 8 Cross sections of TIG welded joint and X-rays transmission photographs after 30days immersion test.

445M2およびSUS 444のバックシールドガス有りの試作タンクを用いた。図9に実機腐食モニター試験方法を示す。試験液には山口県周南市の上水にNaClを加えて、2,000ppmCl⁻に調整し、腐食の加速性をもたせるためにCu²⁺を2ppm添加した水溶液を用いた¹⁰⁾。試験液タンクで270Lの試験液を80℃に保持し、10L/minの流速で試作タンク内に60日間循環させた。試験後に試作タンクを切り出し開放し、腐食状態を調査した。腐食の厳しかった下鏡側の隙間腐食深さで評価した。

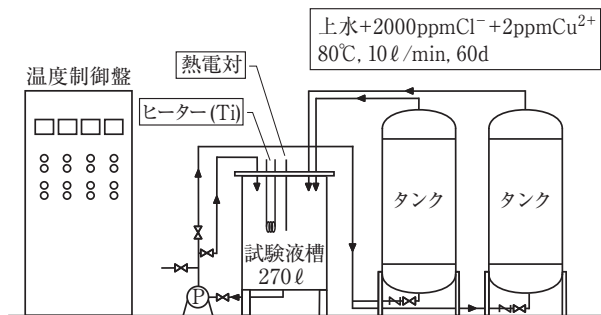


図9 実機温水器缶体の腐食試験方法
Fig. 9 Schematic illustration of corrosion test using hot-water tank.

図10に実機腐食モニター試験後の隙間腐食深さを示す。実験室的試験結果と同様にバックシールドガスなしのNSS WCRはバックシールドガス有りのNSS 445M2やSUS 444と同等以上の耐隙間腐食性を有しており、実タンクにおいてNSS WCRは溶接時にバックシールドガスを用いなくても耐食性を有すると考える。

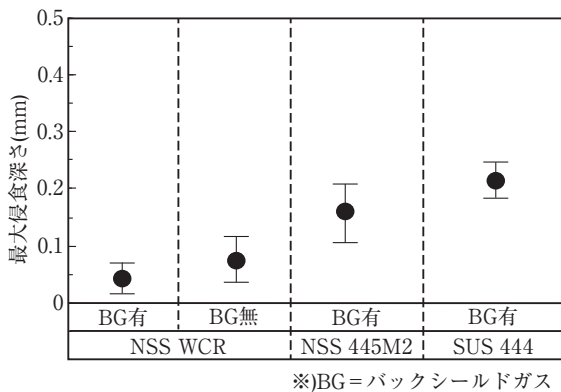


図10 実試作タンクによる腐食モニター試験後の溶接隙間部の腐食深さ
Fig.10 Crevice corrosion depth of TIG welded joint at test tank after 60days corrosion test.

5. 適用例

図11にNSS WCRの温水タンク加工例を示す。温水タンクへの加工，溶接も問題なく，お客様における溶接施工費の削減が可能であることから，現在，エコキュート用の温水タンク材料として採用いただいている。



図11 NSS WCRの温水タンク加工品
Fig.11 Appearance of hot-water tank by NSS WCR.

6. 結言

NSS WCRは，温水タンクに溶接施工する際にバックシールドガスを用いなくても，溶接隙間部で耐食性を有することを最大の特徴としている。したがって，お客様における溶接施工費，すなわちArガスのランニングコ

ストや製品のシールドガス導入部品コストを低減できる。新たな温水タンク用高耐食フェライト系ステンレス鋼である。

エコキュートや電気温水器の温水タンクに限らず、次世代エネルギーとして今後の普及が見込まれる家庭用燃料電池給湯システム用の温水タンクなどにも同様のメリットが期待される。また温水タンクに限らず、溶接隙間部の耐食性が要求される貯水タンクや構造物への適用も期待される。

参考文献

- 1) 森英臣, 小田一磨, 末田進彦: 日新製鋼技報, 35 (1976), 86.
- 2) 林公爾, 西川光昭, 足立俊郎, 吉井紹泰: 日新製鋼技報, 52 (1985), 48.
- 3) 足立俊郎, 西川光昭, 林公爾: 日新製鋼技報, 63 (1990), 109.
- 4) 足立俊郎, 西川光昭, 杉本育弘, 林公爾: 日新製鋼技報, 66 (1992), 119.
- 5) 東茂樹, 幸英昭, 村山順一郎, 工藤越夫: 防食技術, 39 (1990), 603.
- 6) 鈴木伸一, 臼井幸夫, 矢沢好弘, 宇城工, 佐藤進: CAMP-ISIJ, 10 (1997), 463.
- 7) 原田和加大: 特殊鋼, 11(2013), 34.
- 8) 河野明訓, 溝口太一郎, 原田和加大: 日新製鋼技報, 94 (2013), 8.
- 9) 汐月勝幸, 溝口太一郎, 原田和加大: 日新製鋼技報, 91 (2010), 26.
- 10) 野々村明廣, 足立俊郎, 原田和加大: 日新製鋼技報, 90 (2009), 20.