

|||||
新製品紹介
 |||||

フェライト系スーパーステンレス鋼NSS447M1(タフテンII)

白 山 和* 宇都宮 武 志** 名 越 敏 郎***

Ferritic Super Stainless Steel, NSS447M1(Toughten II)

Kazushi Shirayama, Takeshi Utsunomiya, Toshiro Nagoya

1. 緒 言

ウォーターフロントの開発にともない、大型建築物の屋根外装材として高耐候性ステンレス鋼の需要が増加している。当社では22Crフェライト系ステンレス鋼NSS445M2(タフテンI)¹⁾を開発し、付着海塩粒子が雨水で洗い流されやすい屋根などの部位へ多く使用されている。しかし、このクラスの鋼でも海岸近くの軒下、軒天部位への使用に対しては耐候性が不十分であり、さらなる耐候性を有する鋼が要求されていた。

そこで、ウォーターフロントに位置する建築物の軒下、軒天部位にも適用可能な材料の開発に取り組み、NSS447M1(タフテンII)を開発した。本報告では、本鋼の耐候性を含む材料の諸特性についてまとめた。

2. NSS447M1の諸特性

2.1 化学成分

表1にNSS447M1の化学成分の代表例を示す。本鋼の化学成分はSUS447J1に準じて30Cr-2Moをベースに、耐食性を高めるためにNb、Ti、Alを複合で添加¹⁾している。

表1 NSS447M1の化学成分例(mass%)

Table 1 Chemical composition of NSS447M1(mass%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	Ti	Al	N
0.007	0.20	0.20	30.2	2.08	0.17	0.19	0.09	0.012

2.2 物理的性質

NSS447M1の物理的性質を表2に示す。フェライト系ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼に比べて線膨張係数が約40%小さいが、特に高Cr系の本鋼はフェライト系ステンレス鋼の中でもより小さく、熱による膨張、収縮が問題となる長尺建材用途に適している。

表2 NSS447M1の物理的性質

Table 2 Physical properties of NSS447M1

	NSS447M1	SUS304
密度(kg/m ³)	7.64×10 ³	7.93×10 ³
ヤング率(N/mm ²)(20℃)	210,000	193,000
比熱(J/kg・℃)(20℃)	0.46×10 ³	0.50×10 ³
線膨脹係数(℃ ⁻¹)(20~100℃)	9.7×10 ⁻⁶	17.3×10 ⁻⁶
熱電導率(W/m・℃)(100℃)	17.8	14.0
比電気抵抗(μΩ・m)(20℃)	0.65	0.72
磁性	強磁性	非磁性

2.3 機械的性質

表3にNSS447M1の2Bおよびダル仕上げの機械的性質を示す。本鋼はSUS304に比べると硬質である。

*ステンレス事業本部 ステンレス・高合金研究部材料第二研究チーム 主任研究員

**ステンレス事業本部 ステンレス総括部ステンレス統括チーム 主任部員

***ステンレス事業本部 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

表3 NSS447M1の機械的性質

Table 3 Mechanical properties of NSS447M1

鋼種	仕上げ	板厚 (mm)	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HV)	1t曲げ
NSS447M1	2B	1.5	431	568	28	192	良好
	ダル仕上げ	0.4	447	588	24	201	良好
SUS304	2B	1.5	284	647	57	162	良好
	ダル仕上げ	0.4	282	657	66	160	良好

2.4 成形性

表4にNSS447M1の模型成形性を示す。本鋼は高Crのフェライト系ステンレス鋼であり、加工性はSUS304に比べて必ずしも良好とは言えないが、穴抜き性などは極めて優れた特性を有している。

図1にNSS447M1のスプリングバック量を示す。本鋼はSUS304に比べて加工硬化が小さいため、90度曲げ加工におけるスプリングバックはSUS304に比べて小さく、建材用途で多用される曲げ加工において優れた形状凍結性を有している。

表4 NSS447M1の模型成形性

Table 4 Formability of NSS447M1

鋼種	仕上げ	板厚 (mm)	加工硬化係数 (n値)	塑性歪比 (r値)	エリクセン (mm)	穴抜き比 (打抜き穴)
NSS447M1	2B	1.5	0.23	1.03	11.2	1.76
SUS304	2B	1.5	0.59	1.03	14.3	1.09

注) 塑性歪比の平均は次式による。

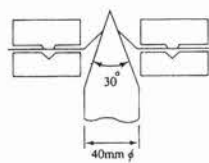
$$\text{平均 } \bar{r} = \frac{(r_0^2 + 2 \cdot r_{90} + r_{90}^2)}{4}$$

エリクセン値はJIS B法
穴抜き比は10mmφ打抜き穴で次式による。

$$\text{穴抜き比} = \frac{d - d_0}{d_0}$$

d₀: 試験前孔径
d: 試験後孔径

試験治具



しわ押え: 4.5t
ポンチ上昇速度: 5mm/min

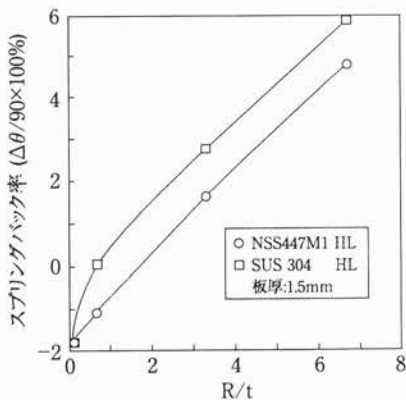


図1 NSS447M1のスプリングバック特性

Fig. 1 The amount of springback of NSS447M1

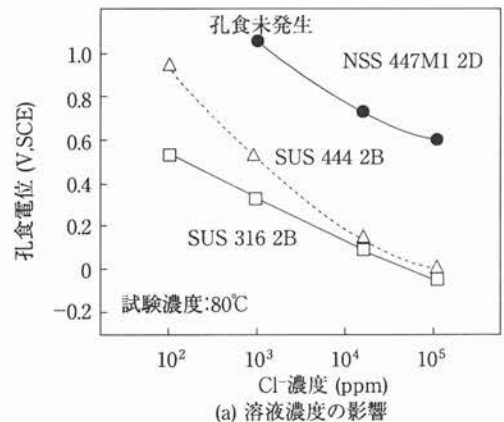
2.5 耐食性

2.5.1 耐孔食性

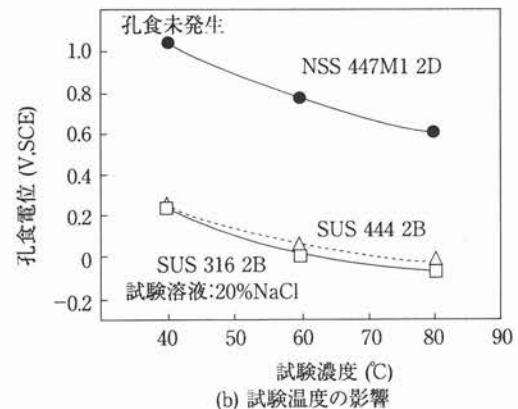
図2に、試験温度が40~80°C、Cl⁻濃度が1×10²~1×10⁵ppmの溶液中における動電位により測定したNSS447M1の孔食電位を示す。いずれの条件においてもNSS447M1は高耐食材料のSUS444やSUS316に比べて高い孔食電位を示しており、良好な耐孔食性を有している。

図3は、孔食の成長性も加味した定電位法を用いて、80°C、20~1×10³ppmCl⁻の溶液中で試験した孔食電位測定結果を示す。図2の動電位法の結果と同様、NSS447M1は極めて優れた耐孔食性を有していることがわかる。1000ppm以下の温水環境中では自然電位が0.8Vまで上昇しても(通常0.6V以下)孔食が生じない。

図4に各種ステンレス鋼の酸洗後の孔食電位をCr+3Mo量で整理した結果を示す。Nb、Ti、Alを複合で添加したNSS447M1はNSS445M2と同様に、Cr+3Moの同一レベルで比較した場合、高い孔食電位を示すのが特徴である。



(a) 溶液濃度の影響



(b) 試験温度の影響

図2 NSS447M1の孔食電位(動電位法)

Fig. 2 Pitting potential of NSS447M1 (potentiodynamic method)

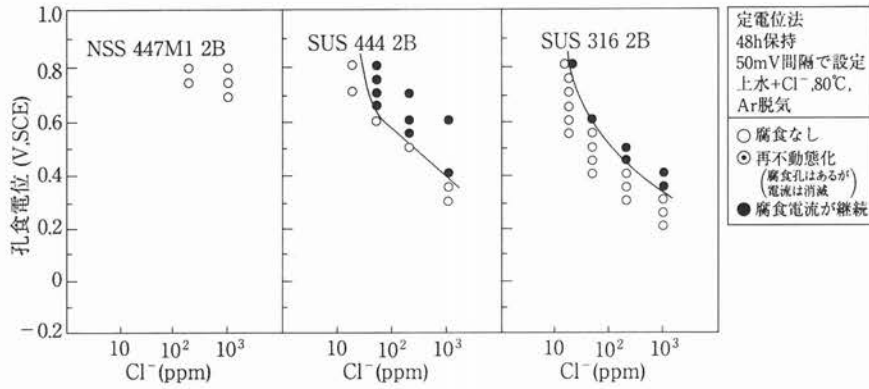


図3 NSS447M1の孔食電位(定電位法)
Fig. 3 Pitting potential of NSS447M1 (potentiostatic method)

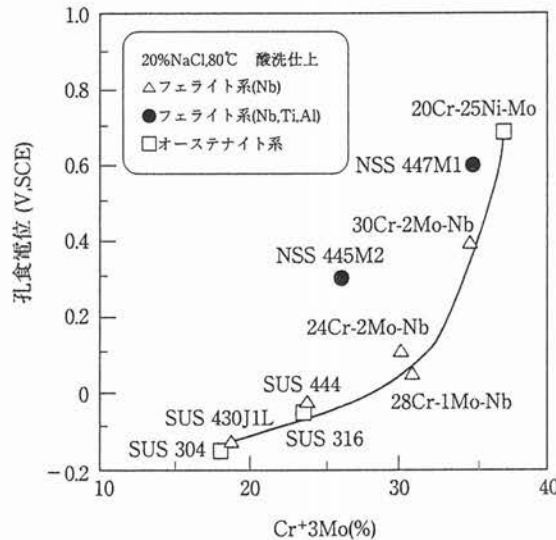


図4 ステンレス鋼のCr+3Mo量と動電位法により測定した孔食電位の関係
Fig. 4 Relation between Cr+3Mo content of stainless steels and pitting potentials measured by potentiodynamic method

2.5.2 耐候性

1) 塩乾湿複合サイクル試験

無垢のステンレス鋼を屋根材として使用する場合、海塩粒子の付着による腐食が問題となる。さらに、雨水により海塩粒子が洗い流されやすい屋根部と、洗い流されにくい軒天、軒下部では腐食の程度が異なる。ここでは、水洗過程がなく、試験片表面に付着した海塩粒子が雨水で洗い流されにくい軒天、軒下部を想定した塩乾湿複合サイクル試験結果を示す。

図5に試験後の発錆状態、図6に赤さび発生率の経時変化を示す。NSS447M1は赤さびの発生が少なく、優れた耐候性を有している。

2) 大気暴露試験

図7には国内各地で7年間暴露した試験片の発錆率を示す。図8には宮古島で7年間暴露した素材およびTIG溶接材の外観を示す。これらの結果からNSS447M1は、宮古島のように腐食環境の厳しい地区においても優れた耐候性を有していることがわかる。

図9は、屋根軒下型暴露試験片を用いて徳山で4年暴露した後の発錆状態を示す。図10はそれらの試験片の各部位での発錆率を示している。屋根面における耐候性は、SUS444クラスの鋼でも良好であるが、軒下面や軒天面における耐候性は維持できない。一方、NSS447M1は屋根面はもとより、付着した海塩粒子が洗い流され難く、腐食性の厳しい軒下面、軒天面においても優れた耐候性を有していることがわかる。



図5 塩乾湿複合サイクル試験後の発錆状態(1000サイクル)

Fig. 5 Rust appearance of stainless steels after cyclic corrosion test(1000 cycles)

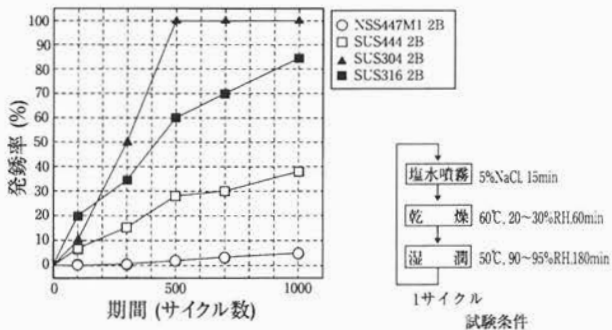


図6 塩乾湿複合サイクル試験における発錆率の変化

Fig. 6 Change of rust area of stainless steels with cycles in cyclic corrosion test



注) 大気暴露試験場所と環境

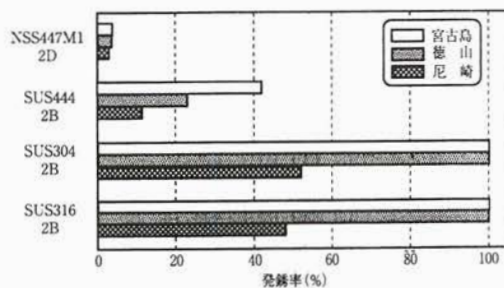


図7 7年間の大気暴露試験後の発錆率
注) 発錆率は格子内法により測定

Fig. 7 Rust area of stainless steels after atmospheric corrosion test for 7 years

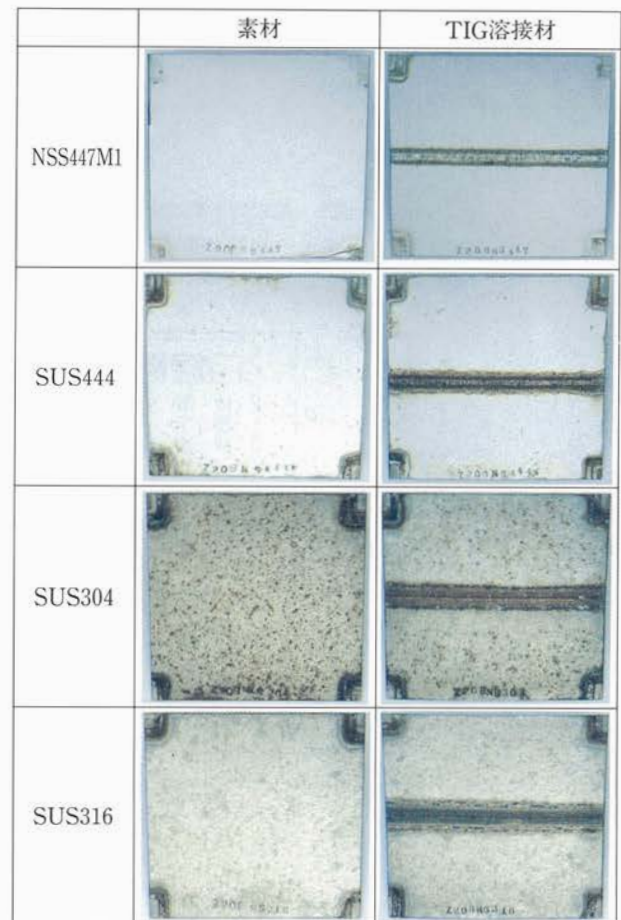


図8 宮古島における7年間の大気暴露試験後の発錆状態

Fig. 8 Rust appearance of stainless steels after atmospheric corrosion test in Miyako Island for 7 years

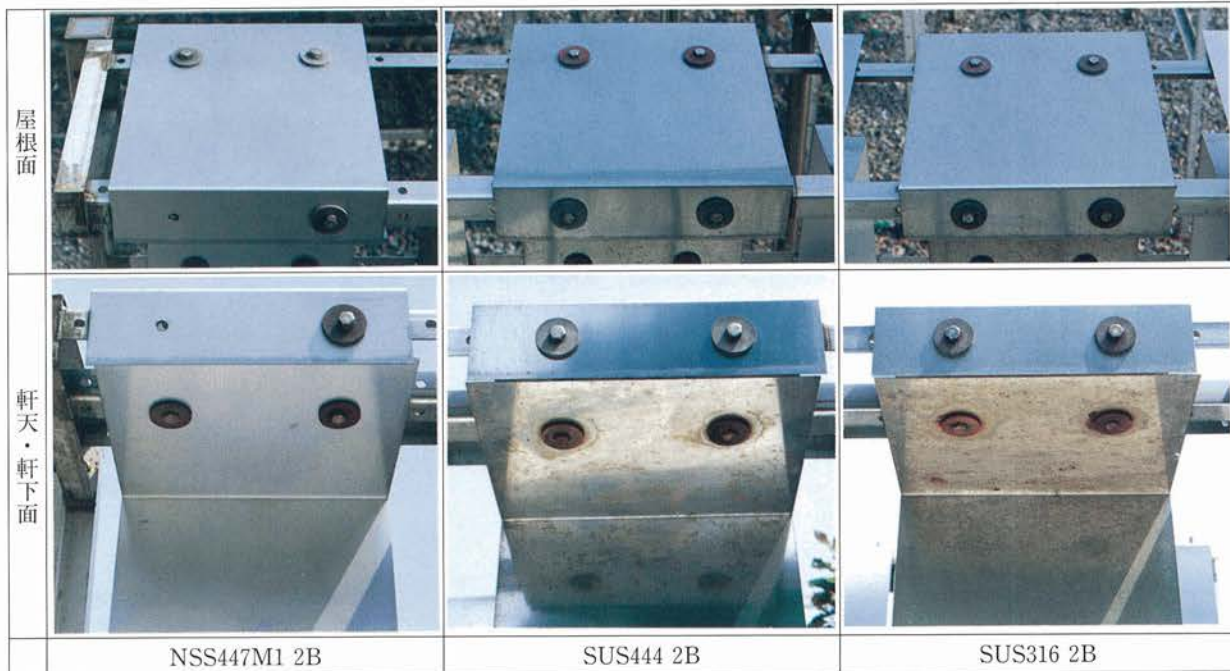


図9 屋根軒下型試験片を用いた大気暴露試験後の発錆状態(徳山市, 4年間)
 Fig. 9 Rust appearance of stainless steels after atmospheric corrosion test using the roof-and-eave type specimens(Tokuyama, 4 years)

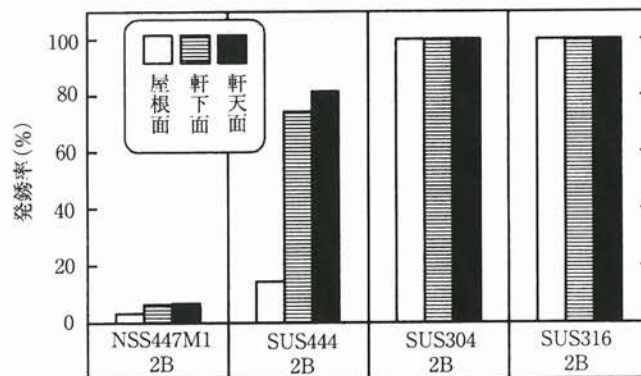


図10 屋根軒下型試験片を用いた大気暴露試験後の発錆率(徳山市, 4年間)
 Fig.10 Rust area of stainless steels after atmospheric corrosion test using the roof-and-eave type specimens(Tokuyama, 4 years)

2.5.3 耐全面腐食性 (耐酸性)

図11および図12にNSS447M1の硫酸水溶液中と塩酸水溶液中における浸漬試験結果を示す。いずれの溶液中においてもNSS447M1はSUS316などの従来の耐食材料に比べて良好な耐食性を示す。

2.5.4 耐粒界腐食性

表5に硫酸・硫酸銅腐食試験結果を示す。NSS447M1

は, Nb, Tiを添加し, C, Nを固定しているため650°Cにおける鋭敏化熱処理後でも粒界腐食は生じない。

2.5.5 応力腐食割れ性

表6に応力腐食割れ試験結果を示す。NSS447M1はフェライト系ステンレス鋼であるため, SUS444と同じく応力腐食割れは生じにくい。

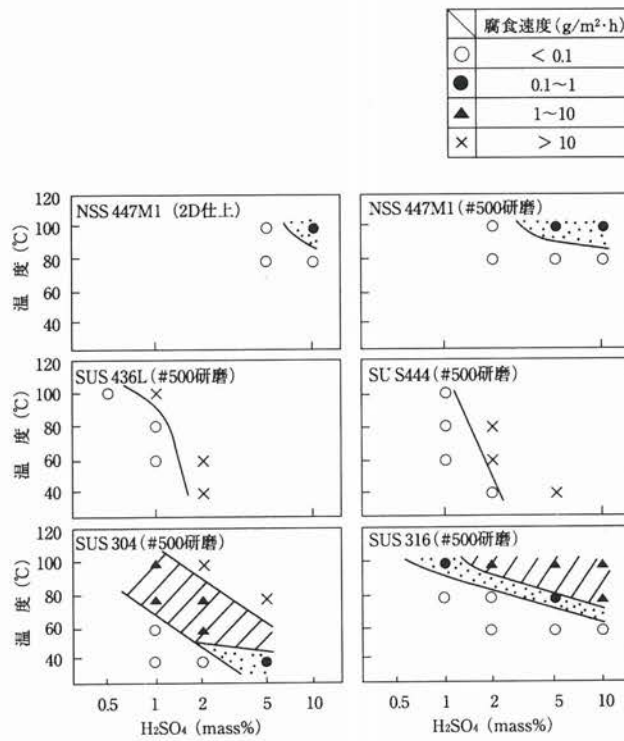


図11 硫酸溶液中における浸漬試験結果
Fig.11 Results of immersion test in H₂SO₄ at various temperatures

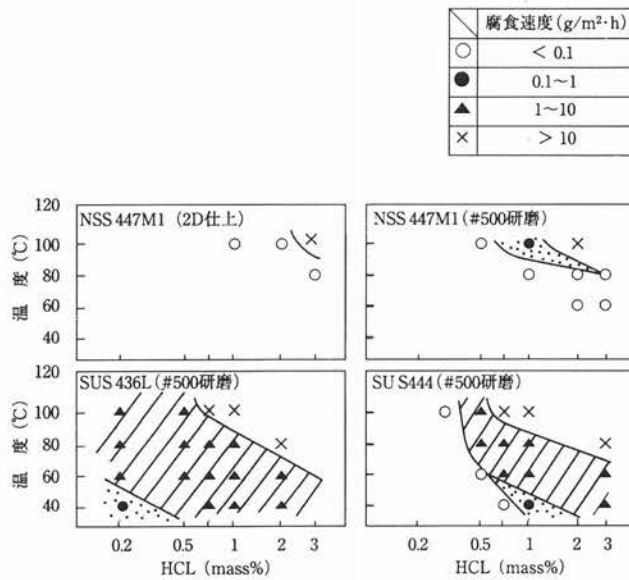


図12 塩酸溶液中における浸漬試験結果
Fig.12 Results of immersion test in HCl at various temperatures

表5 硫酸・硫酸銅試験腐食試験結果
Table 5 Results of copper sulfate-sulfuric acid test

	NSS447M1	SUS444	SUS304	SUS316
素 材	○	○	○	○
650°C×2hr, 空冷	○	○	×	×

注) 試験条件:JIS G 0575に準ず。
評価:○=粒界腐食なし, ×:粒界腐食

表6 応力腐食割れ試験結果
Table 6 Results of stress corrosion cracking test

	NSS447M1	SUS444	SUS304	SUS316
割れ発生の有無	○	○	×	×

注) 試験条件:20%NaCl+1%Na₂Cr₂O₇, B.P., 240hr, U字曲げ(曲げ半径=8t)
割れ発生の有無:○=割れなし, ×=割れ



図13 NSS447M1の外装建材用途への使用例

Fig.13 Applications of NSS447M1 for external building materials

3. 用途例

図13にNSS447M1の外装建材用途への使用例を示す。海塩粒子が多く大気腐食の厳しい環境である沖縄において、軒下部位に位置する玄関フロント部材やシャッターブラットに使用されている。また、海岸直近の建築物の屋根にも使用されている。これらの物件へNSS447M1が適用されてから3年以上経過しているが、発錆は非常に少なく良好な外観を保っている。

4. 結 言

ウォーターフロントに位置する建築物の軒下、軒天に対しても適用可能な材料として開発したNSS447M1(タフテンII)の諸特性について紹介した。本鋼の優れた耐候性を活かして、屋根材や軒下部位に位置する各種建築部材への適用が進んでいる。本鋼は、耐孔食性、耐酸性等の耐食性全般についても優れるため、今後は建材用途に加え、海水熱交換器やプラント用途などへも適用の拡大が期待される。

参考文献

- 1) 宇都宮武志, 杉本育弘, 足立俊郎, 植松美博: 日新製鋼技報, No.70 (1994), p.45