

# 原油タンカー底板用 高耐食鋼板「NSGP<sup>®</sup>-1」の開発

加藤 謙治<sup>\*)</sup> 金子 道郎<sup>1)</sup> 宇佐見 明<sup>\*\*</sup>  
佐藤 秀彦<sup>\*\*\*</sup> 西村 誠二<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

1990年代、図1に一例を示すように、原油タンカー底板に原因不明の最大深さ10 mm超の食孔が1タンク当たり最大千数百個という膨大な頻度で発生、穴空き海洋汚染の懸念から点検・補修の負荷は急増し、世界的対策が求められた。

国内では、日本造船研究協会SR242研究部会「原油タンカーの新型コロージョン挙動の研究」(1999~2002)で世界初の本格調査が実施され、新たな事実関係と多くの知見がもたらされたが、材料開発の基礎となる孔食機構についてはマクロセル形成を前提とする仮説の提示に留まった<sup>(1)</sup>。

一方、EU諸国は塗装強制化の国際条約案を国連国際海事機関(IMO)に提示したが、何らかの原因で塗膜に欠陥が生じた場合の腐食懸念は依然高く、また、塗料・有機揮発物質(VOC)の使用量増大という新たな問題が生じている。

2002年度新日本製鐵(株)と日本郵船(株)は、材料による防食対策が実現できれば、海洋汚染リスク低減と同時にVOC抑制等の多大な貢献に繋がると考え、協同で研究開発に着手した。

その結果、独自に孔食過程を解明し食孔内部を再現する試験方法を創出、試験方法と実船孔食速度の定量的対応を明確化した。さらに漏洩リスク排除・メンテナンス負荷最小化、VOC低減そして経済性を両立する耐食目標を明らかにして、世界初の原油タンカー底板用耐食鋼NSGP<sup>®</sup>-1(Nippon Steel Green Protect-1)を開発した。本鋼を超大型原油タンカーに適用することで<sup>(2)</sup>実船での効果確認を行い開発を完了して、2007年度に市販を開始した<sup>(3)</sup>。以下、開発した耐食ソリューション技術とNSGP<sup>®</sup>-1を紹介する。

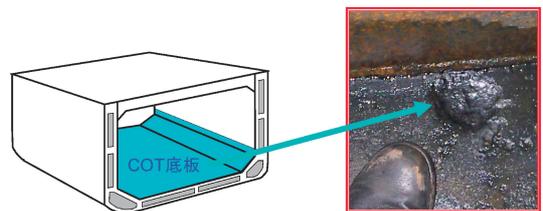


図1 原油タンカー底板に発生する食孔の概要(COT: Cargo Oil Tank)。

## 2. 開発技術

### (1) 孔食過程の解明

一般に、腐食は材料と環境の相互作用で生じ、最も厳しい環境の特定が最重要事項である。これは本課題の孔食現象についても当てはまり、独自に実船調査を繰り返した結果、食孔内部のpHは約1.5以下であるという重要な事実を発見して、図2に示す孔食発生と成長の過程を明らかにすることに成功した。

第一段階で、保護性をもつ原油油膜欠陥部を起点に鋼は腐食しFe<sup>2+</sup>イオンを発生する。第二段階では溶出した鉄イオンの加水分解反応でH<sup>+</sup>が生成し局部的な酸性化が進行する。しかし、本段階までの腐食速度は約0.2 mm/yと低い。

一方、NaCl 10 mass%の高濃度塩水が底板部に存在することが従来明らかとなっている<sup>(1)</sup>。高濃度Cl<sup>-</sup>イオンは①腐食部への濃縮と②電気的中性条件によるH<sup>+</sup>の局所的増大を同時に引き起こし、食孔内部環境は強酸性化して最大数mm/yという高速で起点が深い食孔へと成長する第三段階に至る<sup>(4)(5)</sup>。

### (2) 実験室(食孔成長環境再現)腐食試験方法の開発

引き続き深い食孔が成長する最も重要な第三段階での食孔内酸性化程度を検討した。多数実船の最大孔食速度を測定する一方、NaCl 10 mass%環境での船舶用鋼材の腐食速度pH依存性を実験定量して照合の結果、食孔内部pHが約0.6~1.0という限定範囲をとることを究明した。本結果から、NaCl 10 mass%、pH 0.6~1.0の溶液中に試験片を浸漬する、図3に示した食孔成長環境を再現する腐食試験方法を開

\* 新日本製鐵株式会社 技術開発本部：1)主幹研究員  
厚板事業部：2)マネージャー

\*\* 米国新日鐵ニューヨーク事務所 マネージャー

\*\*\* 日本郵船株式会社 LNGグループ LNG船計画チームチーム長  
Development of Highly Corrosion Resistant Steel Plate  
「NSGP<sup>®</sup>-1」 for Bottom Plates of Cargo Oil Tanks in Crude  
Oil Carriers; Kenji Katoh\*, Michio Kaneko\*, Akira Usami\*\*,  
Hidehiko Sato\*\*\* and Seiji Nishimura\*(\*Nippon Steel  
Corporation, \*\*Nippon Steel U.S.A., Inc., \*\*\*Nippon Yusen  
Kaisha)

2010年10月28日受理

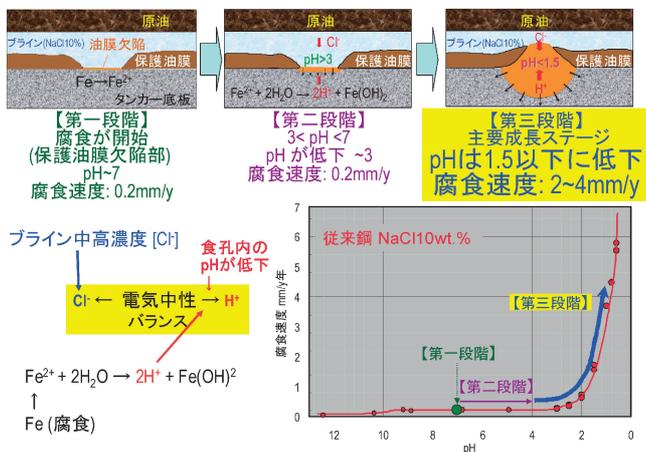


図2 解明した孔食機構。

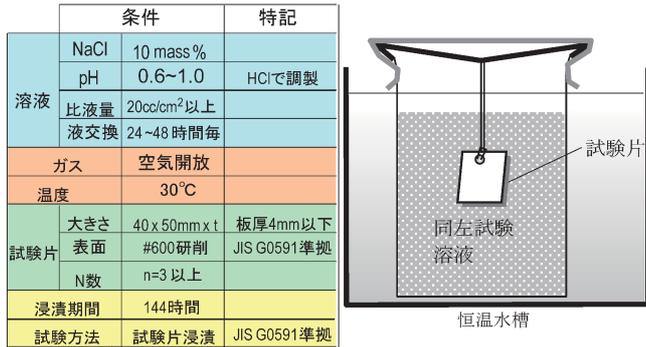


図3 開発した食孔成長環境を再現する実験室試験方法。

発した(4)(5)。

### (3) 耐食鋼開発目標の明確化

従来耐食技術からは、NaCl 10 mass%，pH 0.6~1.0の環境で0.01 mm/yといった完全耐食レベルを達成するには、高合金系材料が必須となり、船舶用途での実現性は極めて低い。

一方、ドック時に深さ4~5mmの浅い食孔は塗装や溶接等の補修無しで放置しても、過去に一切の問題は発生していない。これは、食孔の成長が点検時の油槽洗浄・乾燥で停止するという従来提示された仮説<sup>(1)</sup>に符合する。これを事実と仮定して、ドック時の食孔深さを浅く抑制できれば、漏洩リスクと保全負荷の増大等が回避可能と考え、耐食鋼適用時の実船最大食孔深さ目標を、4~5 mm/2.5 y(=ドック周期)とした<sup>(5)(6)</sup>。

さらに、耐食鋼開発には実験室評価の腐食速度と上記実船目標孔食速度の関係を定量的に明確化する必要がある。孔食は局部腐食形態であり、その腐食速度は統計的分布を持つ。そこで従来鋼の実船最大孔食速度の極値統計分布を定量的に解析し、実船最大食孔深さ目標4~5 mm/2.5 y(1.6 mm/y)は、食孔成長環境再現試験で腐食速度0.9~1.0 mm/yに対応することを見出し(図4)実験室目標を設定した<sup>(5)(6)</sup>。

### (4) 耐食鋼の開発

本研究のキーとなる実用耐食鋼の開発では、耐食目標達成に加え、①船舶鋼の基準成分範囲の満足、②通常溶接施工で十分な溶接部耐食性、を目指した。新日本製鐵株が保有する最先端の耐食材料設計技術を駆使して従来にない極少量の合金成分添加によって、表1に示すように船用鋼材の成分系範

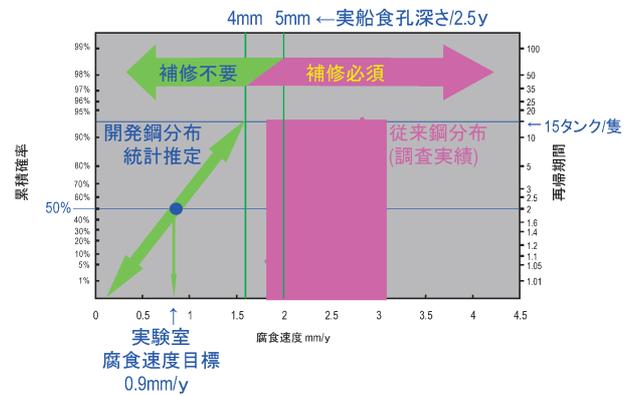


図4 設定した実験室試験での耐食鋼目標腐食速度。

表1 NSGP<sup>®</sup>-1 (AH32:造船用高張力鋼)の代表成分組成(mass%)。

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
NSGP <sup>®</sup> -1	0.124			IACS(世界船主協会)の規格満足					
AH32	0.15	0.2	1.15	0.015	0.005	0.01	0.01	0.01	0.00
IACS Standard	≤0.18	≤0.5	0.9~1.6	≤0.035	≤0.035	≤0.35	≤0.40	≤0.20	≤0.08

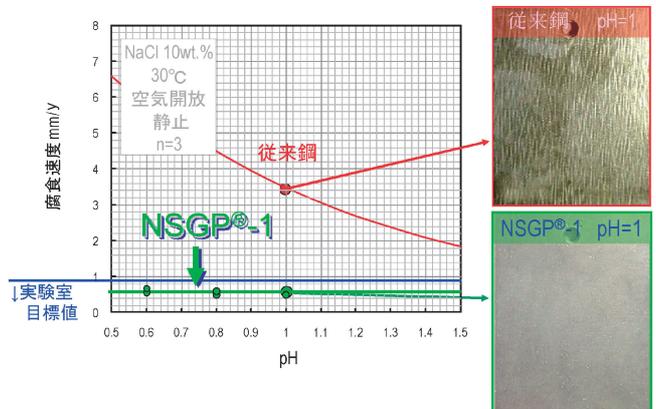


図5 NSGP<sup>®</sup>-1と従来鋼の実験室腐食試験結果。

囲要件を満足し、かつ図5に示す実験室耐食目標を達成する耐食鋼NSGP<sup>®</sup>-1を実現した。さらに従来鋼と同等の機械的特性と、母材と同等の溶接部耐食性を実機製造材で確認した。

### (5) 実船適用

上記NSGP<sup>®</sup>-1を図6に示す2004年竣工の日本郵船株の超大型原油タンカーの全15タンクに全面適用し<sup>(2)</sup>、内6タンクは無塗装仕様として、実船効果検証を開始した。一切の問題なく建造を完了し、従来鋼と同等の使用特性を確認した。

2006年就航2.5年後に、図7に結果を示す第1回ドック検査を行い、無塗装6タンク底版の溶接部を含め、深さ4~5mm超の食孔発生は一切認められず、NSGP<sup>®</sup>-1の優れた耐食性を確認すると共に、補修不要を達成した<sup>(5)(7)</sup>。ドレンホール回りにも一切食孔はなく、優れた耐食性が歴然であった。以上で材料開発を完了し<sup>(3)</sup>、本結果をもって日本郵船株は2007年以降に新規発注する超大型原油タンカーへのNSGP<sup>®</sup>-1の全面採用方針を決定し<sup>(3)</sup>、新日本製鐵株はNSGP<sup>®</sup>-1の市販を開始した。

続く2009年第2回検査では、第1回検査で観測した極めて浅い食孔の深さを再度測定し、両者に差がないことを定量的に示し(図8)、食孔成長のドック停止を初めて実証した<sup>(8)</sup>。

以上の結果から、NSGP<sup>®</sup>-1を原油タンカー底版に塗装を施すことなく適用することで、原油漏洩リスクと塗装強化に

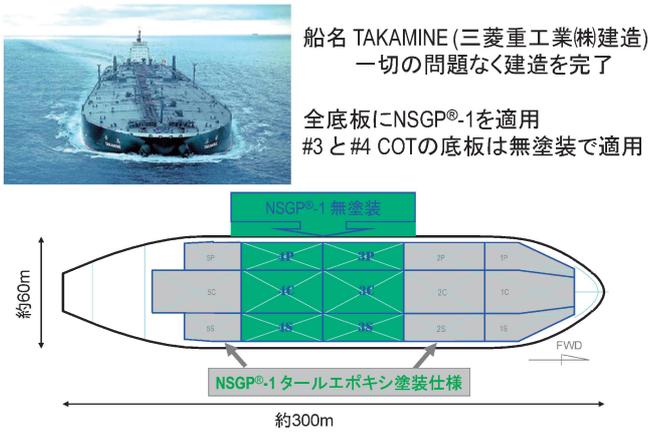
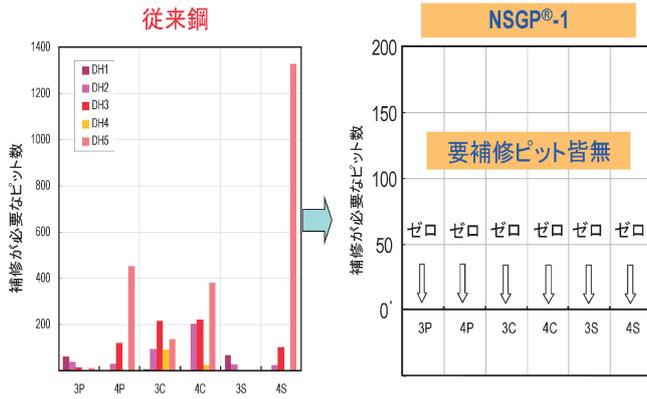


図6 世界初の耐食鋼 NSGP®-1 を適用した超大型タンカー。



従来必ず食孔が観察されたドレンホール近傍に食孔は認められず



図7 NSGP®-1 および従来鋼適用船のドック検査結果。

伴う VOC 増大というグローバルな環境課題を解決し、さらに図9に示すように、船舶寿命に至るまでの点検・補修の負荷が大幅に低減できるという帰結を得て、全ての開発を完了した<sup>(13)</sup>。

### 3. 特許と実用化状況

NSGP®-1 の基本特許は日本国特許第3996727号を初めとして3件が国内外で登録済み、周辺特許もほぼ登録されている。NSGP®-1 は2010年初頭で10000トン超の販売実績を達成し<sup>(9)</sup>、多数の採用案件を抱えている状況にある。

### 4. 将来性

2009年第2回検査時に、NSGP®-1 適用船タンク底板の状

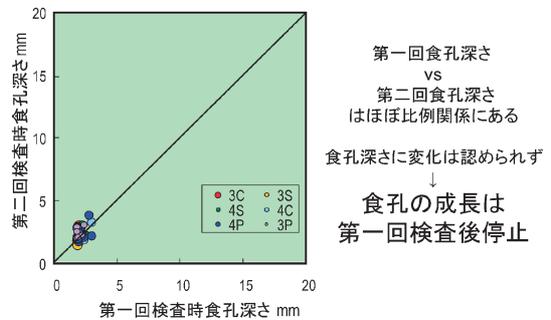


図8 食孔成長停止の実船実証結果。

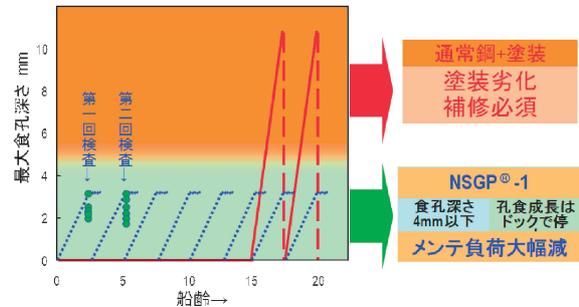


図9 NSGP®-1 適用による長期耐久性の実現。

態をIMO関係者に公開し、IMO加盟国と需要家はNSGP®-1 を船舶史上初の耐食鋼ジャンルを生み出した実績あるデファクトスタンダード材として受け入れ、本開発技術に高い信頼と強い関心を寄せている。上記の耐食ソリューション技術を全面的に反映したIMO条約<sup>(10)-(12)</sup>は既に成立し、5000 DWT以上の全原油タンカーを対象として2013年初頭に条約は発効する<sup>(13)</sup>。足下、NSGP®-1 は本格的な需要拡大期を迎えている。

## 文 献

- (1) 日本造船研究協会、第242研究部会研究概要総括書、(2002) 3.
- (2) 日本郵船(株)：プレスリリース、(2003) 8. 27.
- (3) 新日本製鐵(株)、日本郵船(株)：プレスリリース、(2007) 6. 12.
- (4) S. Imai, et al.: ISST2007, Development of New Anti-corrosion Steel for COTs of Crude Oil Carrier, Sep. (2007), Osaka Japan.
- (5) K. Katoh, et al.: International Marine Coatings Summit, NACE, Anti-corrosion Steel for Pitting corrosion on COTs of Crude Oil Carrier The NSGP®-1, Oct. (2007), Shanghai China.
- (6) S. Imai, et al.: ISST2007, Onboard Evaluation Results of Newly Developed Anti-corrosion Steel for COTs of VLCC and Proposal for Maximum Utilization Method, Sep. (2007), Osaka Japan.
- (7) H. Sato, et al.: Tripartite meeting, Anti-corrosion Steel for Pitting corrosion on COTs of Crude Oil Carrier The NSGP®-1, Nov. (2008), Beijing China.
- (8) H. Sato, et al.: Tripartite meeting, Anti-corrosion Steel for Pitting corrosion on COTs of Crude Oil Carrier The NSGP®-1, Sep. (2009), Seoul Korea.
- (9) 新日本製鐵(株)：プレスリリース、(2010) 5. 28.
- (10) JAPAN: IMO DE51, CARGO OIL TANK COATING AND CORROSION PROTECTION, INF.2/ANNEX 2, Nov. (2007), 1-12, Bonn Germany.
- (11) JAPAN: IMO DE51, CARGO OIL TANK COATING AND CORROSION PROTECTION, INF.4/ANNEX, Nov. (2007), 5-11, Bonn Germany.
- (12) JAPAN: IMO DE53, Agenda Item 7 CARGO OIL TANK COATING AND CORROSION PROTECTION, WP/ANNEX 2, Feb. (2010), 3-15, London United Kingdom.
- (13) 国土交通省：プレスリリース、(2010) 5. 24.