

製鉄設備の防食塗装技術

Advanced Anti-Corrosion Coating Technologies in Steel Works

相 賀 武 英*
Takehide AIGA

安 藤 克 己
Katsumi ANDO

本 多 修
Osamu HONDA

松 井 一 彦
Kazuhiko MATSUI

抄 録

製鉄所には、鉄鉱石や石炭や鉄鋼製品等を荷役する岸壁クレーンや各種のエネルギー配管、ガスホルダー等、大型の屋外設備が多く稼働している。これらは、海からの飛来塩分や腐食性ガス等の厳しい腐食環境に長期に曝されている。そのため、製鉄所の防食保全においては、それぞれの設備の腐食環境と防食塗装の劣化状況を適切に把握し、LCCを低減できる長寿命な防食塗装を適用することが重要である。製鉄所の防食塗装について開発してきた塗膜診断技術と防食塗装技術を紹介した。

Abstract

In steel works, many cranes, conveyors, pipelines and gas holders are operating every day in severe corrosive environment such as marine environment and corrosive gas environment. We've been trying to investigate these corrosive conditions and apply our advanced anti-corrosion coating technologies, aiming to minimize the LCC (Life Cycle Cost) of these facilities. This report introduces these coating performance evaluation methods and application technologies.

1. はじめに

製鉄所には原料である鉄鉱石や石炭を荷役するアンローダやベルトコンベヤ、生産した鉄鋼製品を出荷する岸壁クレーン、さらに各種エネルギー配管およびガスホルダー等、海岸からの飛来塩分や腐食性ガスなどの厳しい腐食環境に曝されて使用される設備が多く稼働している。これら製鉄所のインフラストラクチャ設備を腐食から守り維持管理するために、これまで定期的な塗り替え塗装等の防食保全活動が行われてきた。しかし、防食保全活動においては、塗膜の劣化状況をいかにして点検し、塗り替え塗装の時期をいつにするか、また、塗り替え塗装にかかる多大な費用をいかにして計画的に確保するか等、いくつか大きな実務上の課題と常に向き合わねばならない。

一方で、設備事故の発生を予防して地域との信頼関係を構築することは企業の社会的責任として益々重要となっており、腐食を起因とする設備事故は発生させてはならない。すなわち、最適な防食技術を適用して腐食による設備事故を防止し、設備を安定稼働させながら維持管理することは製鉄所の設備保全部門に課せられた重大な役割と言える。

上記の背景から、製鉄所の設備に最適な防食塗装を適用し、設備を安定稼働させつつ、そのLCC (Life Cycle Cost)

の低減を狙い、防食保全に関する設備管理と塗装技術を発展させていく取り組みを日々行っている。すなわち、新日鐵住金グループでは、全製鉄所に適用される塗装標準を整備し、必要に応じてこれを更新し、保全マンや技術スタッフに腐食・防食技術の教育を行い、さらに、独自の防食技術の開発を進めてきた。

本報告では、製鉄所の防食保全のために開発した塗膜診断技術と防食塗装技術を紹介する。

2. 塗膜診断技術

2.1 三次元表面形状計測

通常、鋼道路橋の維持管理においては、塗膜劣化の診断は先ず目視点検によって行われる。鋼構造物塗膜調査マニュアル¹⁾には目視調査項目として、さび、はがれ、変退色、汚れ等が設定され、特に、腐食の進行状況はさび発生面積(%)で評価する。すなわち、黒く見える点さびの部分の面積率で腐食の進行を判定するのである。製鉄所の防食保全においても目視点検は重要である。しかし、点検結果から塗り替えの要否や時期を判断することは容易ではなく、保全マンにとって大きな業務課題である。そこで、保全マンが正しく塗膜劣化の現象を理解し、点検結果を設備管理に活かせるように、腐食と防食に関する教育を行っている。

* 日鉄住金防蝕(株) 取締役 技術士(建設部門) 千葉県君津市君津1 (新日鐵住金(株) 君津製鉄所構内) 〒299-1141

腐食と防食技術の教育において、塗膜劣化現象の理解を助けるべく、塗装試験片を塩水噴霧試験（以下、SSTと言う）により腐食を促進させ、その状況を三次元表面形状計測する実験²⁾を行った。測定装置（写真1）はレーザー距離計とXYステージを組み合わせたものである。図1にその測定結果を示す。図1(a)は試験片の測定可能な範囲を示し、(b)と(c)は三次元表面形状計測によって得られた塗膜表面の等高線図と鳥瞰図である。(a)では黒く見える点さびが、(b)と(c)では数100 μm の高さのふくれであることがわかる。

図2ではSSTの時間経過に従って進行するさびの状況を写真と三次元鳥瞰図で示している。これらの測定結果より、塗膜劣化現象とは塗膜表面にふくれが発生し、徐々に成長し、増加し、やがてふくれの先端から流れさびが発生して周辺を汚していく、という過程をとることがわかる。ふくれの内部は塗膜が鋼面から剥離しているため防食に寄与しない部分となる。ふくれ内部で進行する腐食は塗膜下腐食と呼ばれ、ここでさびとさび汁が発生して流れさびを引き

起こす。

本実験によって、塗膜劣化の進行過程がわかりやすく示され、さび発生面積(%)はふくれの面積率でもあることが理解できる。このことから、ふくれ高さに閾値を設け、閾値を越える高さ部分の面積を三次元表面形状計測装置内で計算させることによって、さび発生面積(%)を算出できる

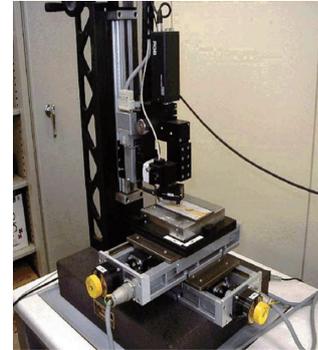


写真1 三次元表面形状測定装置の外観
3D surface profiler

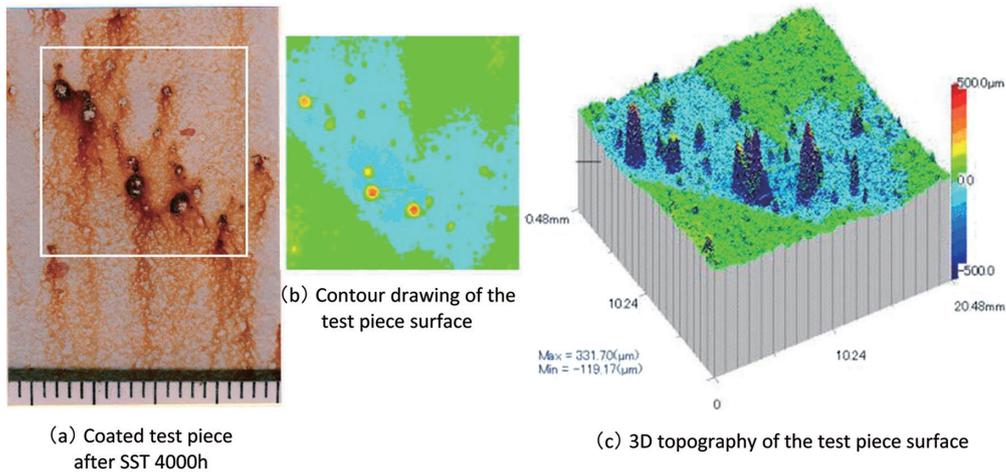


図1 点さびを生じた塗膜の三次元表面形状測定例
Photo and 3D topography of a coated test specimen existing some blisters

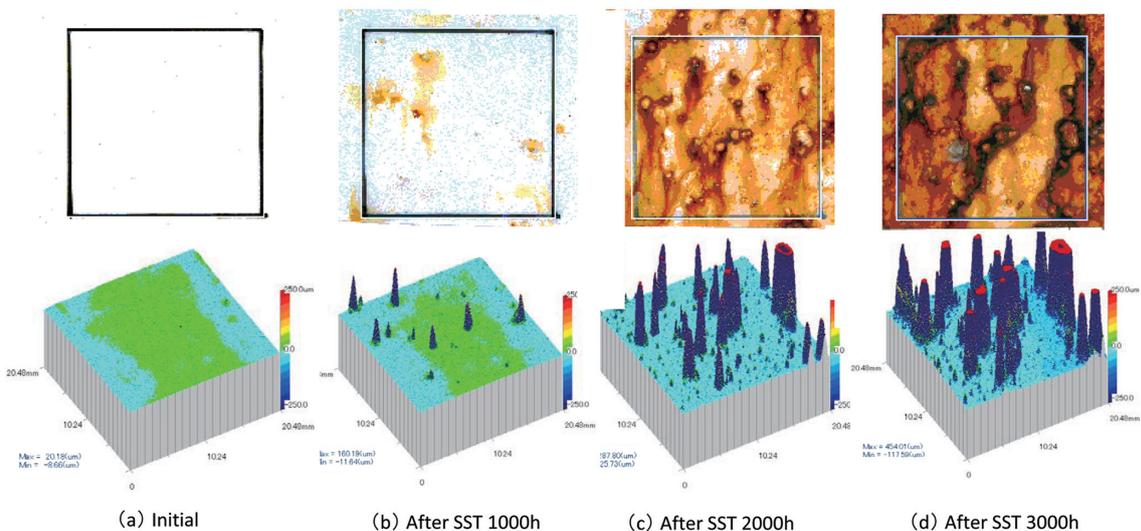


図2 一般さび止め塗料を70 μm 塗装した試験片の塗膜劣化状況（写真と表面形状）
Photos and 3D topographies of alkyd paint 70 μm coating sample (initial and after SST 1000h, 2000h, and 3000h)

ことを示した²⁾。これより、本方法は実験室内にて試験片の塗膜劣化を診断するには有効と言える。しかし、三次元表面形状計測を現場設備の塗膜診断に適用することは、測定範囲が20mm角程度に制約される等の理由から難しいと言わざるを得ない。

2.2 イオン透過抵抗測定法

上述の三次元表面形状計測は塗膜劣化現象の理解を助けるが、測定範囲に寸法制限があり、装置を現場に持ち出すことが事実上困難なこと等により、現場の塗膜診断には適さない。そこで、効率的に現場の塗膜診断を行うために、耐候性鋼のさび診断に用いられるイオン透過抵抗測定装置(以下、RSTと呼ぶ)³⁾を改良した。具体的な改造内容は、測定できる皮膜抵抗を従来の最大2GΩであったものを最大20GΩまでに拡大⁴⁾したことである。これによって、それまで耐候性鋼のさびの抵抗値までしか測定できなかった装置が、防食塗膜の抵抗値まで測定できるようになった。

RSTによる塗膜抵抗の測定状況を写真2に示す。図3は、RSTのプロープの模式図である。塗膜抵抗(R_R ：以下、RST値と呼ぶ)を図4の等価回路中に示す。測定原理は、電解液を満たした2つのピストンから特定周波数の数mA以下の交流電流を流し、RST値(Ω)を算出するものである。防食塗装のRST値は、塗装直後の健全塗膜では最大測定



写真2 RSTによる塗膜診断状況
RST measurement

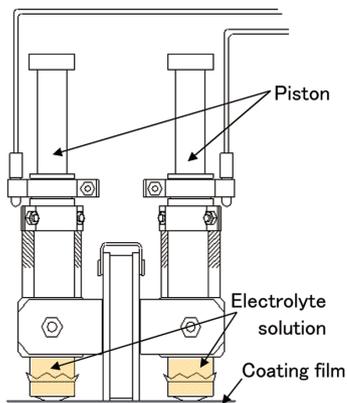


図3 RSTプロープ
RST probe

値である20GΩ以上であるが、塗膜劣化が進行して多くのふくれが発生した塗膜では数kΩとなる。

実際の測定例として、2012年11月に行った製鉄所の岸壁クレーンの塗膜診断結果を述べる。写真3は塗膜診断を行った岸壁クレーンの測定部位を示す。表1は各箇所

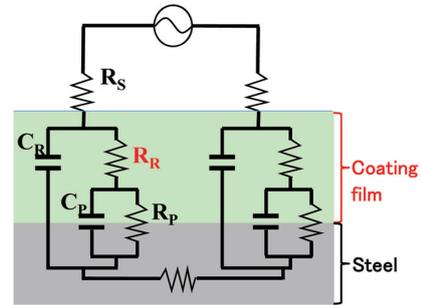


図4 RST測定の等価回路
Equivalent circuit of RST measurement

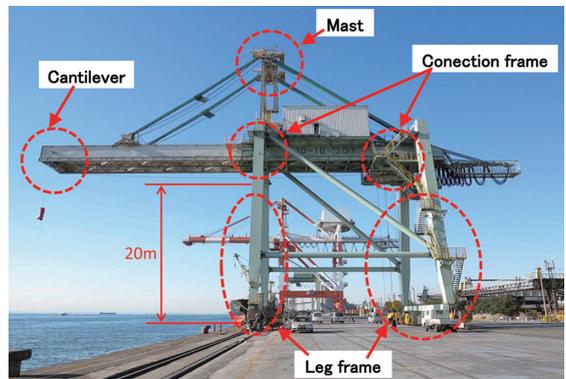


写真3 岸壁クレーンのRST塗膜診断部位
RST survey parts of a harbor loading crane

表1 岸壁クレーンのRST測定値
RST value and photos of a harbor loading crane

Measured part	RST value	Photo: Surface condition	Remarks
Leg frame (land side)	>20 GΩ		Height: 19 m Coating thickness: 477 μm Surface salinity*: 5 mg/m ²
Leg frame (sea side)	442 MΩ		Height: 2 m Coating thickness: 458 μm Surface salinity*: 194 mg/m ²
Connection frame (upper part)	13.4 MΩ		Height: 30 m Coating thickness: 747 μm Surface salinity*: 81 mg/m ²
Connection frame (upper part)	379 kΩ		Height: 30 m Coating thickness: 1613 μm Surface salinity*: 263 mg/m ²
Cantilever (lower part)	20 kΩ		Height: 30 m Coating thickness: 452 μm Surface salinity*: 380 mg/m ²

* It was measured after 3 fine days

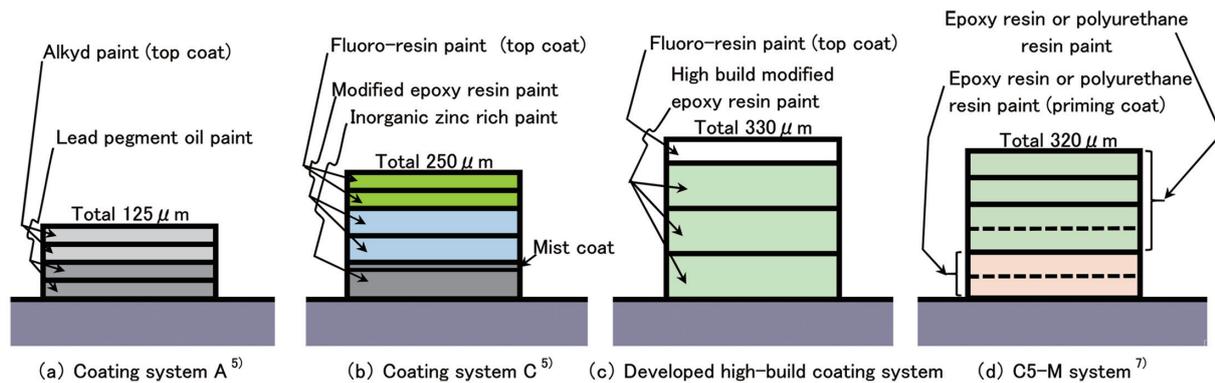


図5 厚膜塗装と各種塗装仕様の比較

Figures of Japanese bridge standard coating system A, C, developed high-build coating system and ISO12944-5 C5-M

定結果と塗膜表面の写真を示している。実際の設備のRST値は、目視点検や塗膜の外観写真から判断される劣化状況によく対応している。すなわち、海から飛来する付着塩分が雨によって洗い落とされ易い陸側の上部ではRST値が20GΩ以上であったが、付着塩分量が多く雨によって洗われにくいカンチレバー先端内側の塗膜では20kΩ程度と非常に低い値となり腐食が進行していた。これより、RST値が実際設備の塗膜診断に有用であり、RST値という定量的な保全データが得られるという特徴がある。また、設備のすべての部位の塗膜が同時に同程度に劣化するのではなく、部分的に腐食環境の厳しい部位が先行して劣化し、部位別に差異を生じるということが確認できた。

今後は、これらの得られた知見から、例えば、塗り替え費用の削減を狙って部位ごとに塗装仕様を変えたり、塗膜劣化が著しく進んだ部位のみを塗り替える等、RST値という定量的なデータを活用した防食保全計画を立てる等の手法を試みたい。

3. 防食塗装技術

3.1 厚膜塗装

鋼構造物の塗装は、従来から防錆顔料として鉛を含む油性ペイント（鉛丹さび止めペイント）の下塗りに合成樹脂塗料（長油フタル酸樹脂塗料）の中上塗りが多用されてきたが、1990年頃より長期耐久性に優れる変性エポキシ樹脂塗料を下塗りしてポリウレタン樹脂塗料を中上塗りするという塗装系が使用され始めた。これは、長期耐久性を重視して、鋼道路橋塗装便覧⁵⁾に示されるA塗装系（軽防食塗装）からC塗装系（重防食塗装）へ切り替える⁶⁾ものであった。このような鋼道路橋塗装の技術動向を受け、製鉄設備についても塗装の長寿命化を実現すべく、新日鐵住金(株)の社内の塗装技術マニュアルを改正した。すなわち、変性エポキシ樹脂塗料を下塗りとする塗装系を加えた。但し、鋼道路橋のC塗装系は前処理を除いても6回塗りであり非常に高価な仕様であるため、製鉄設備に適用できる安価な重防食塗装仕様を開発した。

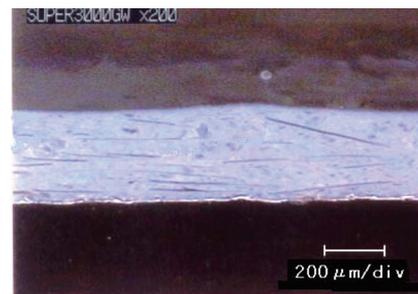


写真4 開発した厚膜塗料の塗膜断面
Cross-section of developed high-build paint

図5(c)に開発した厚膜塗装の仕様を示す。この厚膜塗装は、C塗装系（図5(b)）やISO12944-5⁷⁾に示されている海洋環境用C5-M仕様（図5(d)）と比較しても厚膜であり、且つ塗り回数が少ない経済的な仕様である。また、厚膜塗装で使われる変性エポキシ樹脂塗料は、防食性能に優れた変性エポキシ樹脂塗料を厚膜型に改良したものであり、下塗り3回で300μmを実現している。厚膜塗装の全体としては、ポリウレタン上塗りを1層加えて全膜厚330μmとしている。

ここで、改良した厚膜型変性エポキシ樹脂塗料^{8,9)}の概要を述べる。本塗料は、1回のはけ塗りで100μm以上の厚塗りを可能とするために、写真4に示すように、特定アスペクト比の鱗片状顔料を適量添加して、はけ塗り時にウェット状態で塗り重ねて厚塗りができるように設計したものである。写真5に本厚膜塗料1回塗りとA塗装系の防食性能比較を示す。SST2000時間後のクロスカット部からの塗膜剥離幅は、A塗装系が全面剥離であるのに対して厚膜塗料では最大2.5mmであり、非常に優れた防食性能であることを確認している。

現在、上記の厚膜塗装は製鉄所の屋外設備の標準塗装仕様であり、厚膜塗料は推奨塗料となっている。

3.2 エネルギー配管内面塗装

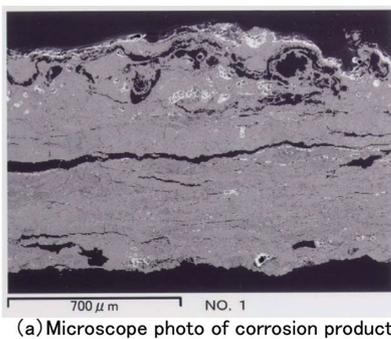
製鉄所ではCOG（コークス炉ガス）やLDG（転炉ガス）等のエネルギー配管が数10km以上に渡って布設されてい

る。これらの配管は、製鉄所内の各工場に燃料ガス等のエネルギーを供給している。しかし、それらの配管の内部では、ガスやドレンの腐食性によって腐食が徐々に進行して約30年以上たってから穴明き等の問題となる状況が発生した¹⁰⁾。その現象は、例えばCOG配管の場合では、COGに含まれる硫化水素やドレンに含まれる亜硫酸イオン等の影響により写真6のようにSを含む層状の腐食生成物が形成されることを確認している¹⁰⁾。また、LDG配管ではガスやドレンに含まれる炭酸ガスによる腐食が発生する。これより、製鉄所のエネルギー配管の内面腐食に対応できる防食技術が必要となってきた。

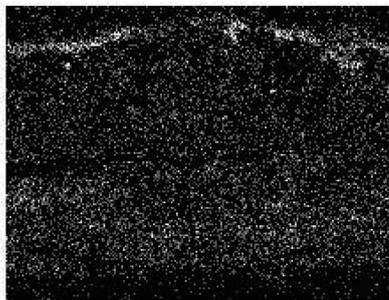


写真5 厚膜塗料と一般塗装との防食性能比較 (SST2000時間後)

Anti-corrosion performance comparing developed high-build paint with alkid paint system (after SST 2000h)



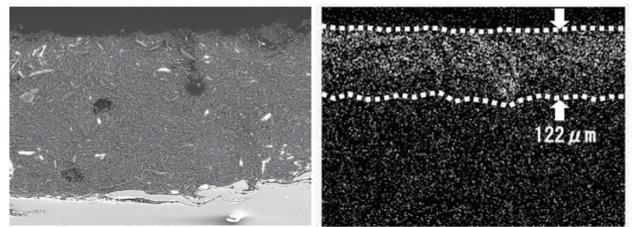
(a) Microscope photo of corrosion product



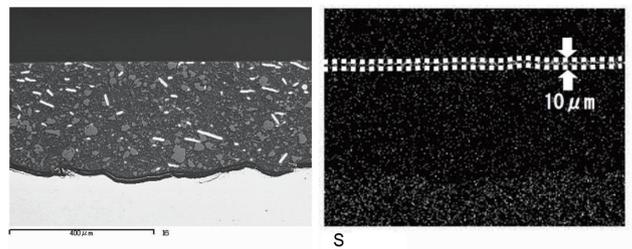
S
(b) EPMA image of S distribution

写真6 COG配管内面の腐食生成物
Photo and EPMA S distribution of corrosion product in COG pipe

そこで、塗装による配管内面の防食を検討した。この場合に防食塗装に求められる必要性能は、ガスやドレンに含まれる種々の化学物質に侵されない耐久性(耐薬品性)と環境遮断性である。そこで、分子構造が強固で現場施工が可能な常温硬化するガラス転移温度(Tg)が高い無溶剤エポキシ樹脂塗料^{10,11)}を開発した。開発塗料の防食性能を確認するために、種々の塗料と防食性能を比較する暴露試験を行っている。その結果として、写真7に塗装試験片をCOG配管のドレン中に6か月浸漬試験して塗膜断面を分析したものを示す。断面写真とEPMA (Electron probe microanalyzer) によるSの浸透分布状況を耐薬品性の溶剤塗料(a)と開発した無溶剤塗料(b)について比較すると、開発塗料は塗膜表面からのSの浸透を著しく抑制していることがわかる。本開発塗料は、現在は、各種のエネルギー配管内面や銅製煙突の内面の防食塗装に採用されている。写真8は、本塗料を実際にCOG配管の内面塗装に施工している状況である。



(a) Cross-section of solvent resin paint film (left photo) and S distribution (right photo)



(b) Cross-section of developed non-solvent epoxy resin paint film (left photo) and S distribution (right photo)

写真7 COGドレン浸漬試験後の塗膜へのS浸透状況(6か月間浸漬)

Cross-section of coating films after 6 months dipping test in COG drain



写真8 COG配管内面の防食塗装の施工状況
Internal coating application of developed non-solvent paint to COG pipeline



写真9 管台の鋼製バンド下のすきま腐食
Crevice corrosion under pipe supporting bands



写真10 管台防食の施工状況
Anti-corrosion coating into the gap under pipe supporter and bands

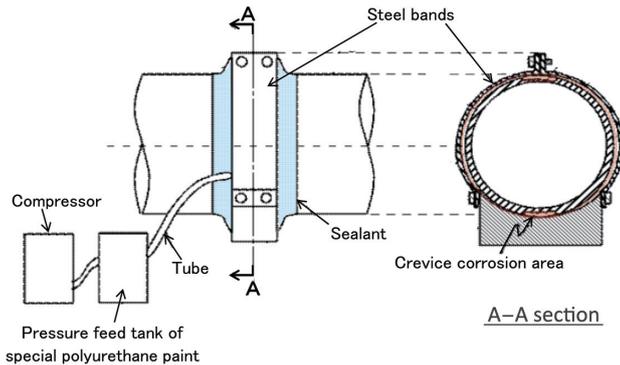


図6 管台防食工法の説明図
Anti-corrosion coating into the gap under pipe supporter and bands

3.3 管台防食

製鉄所には種々のエネルギー配管が布設されていることを既に述べたが、これらの配管は支柱に設けられた配管サポート（以下、管台と呼ぶ）によって支持されている。管台は、下部の鋼製台と上部の鋼製バンドで構成されているが、配管を支持している状態で配管との間にすきまができる。具体的には配管と台のすきま、配管と鋼製バンド間のすきまがあり、そこですきま腐食が発生することがある。

写真9は鋼製バンドを緩めて、バンド下のすきま腐食で生成したさびを観察したものである。この現象は、すきまに雨水が浸透して乾きにくい状態であることに起因すると考えられる。最終的には穴明きに達する場合もあり、放置できない場合は防食する必要がある。防食施工の方法としては、配管を管台から取り外してすきま部を塗装することが考えられるが、これは多額の費用を必要とするだけでなく、取り外す際にガス漏れが発生する可能性があり、ガスを停止せずに施工することはできない。昼夜稼働している製鉄所においてはガスの一時停止は製鉄所の生産計画に大きな影響を及ぼすことから、配管を管台から取り外さずに防食できる工法が切望された。

そこで、管台防食という工法を開発した。これは、配管と管台もしくは鋼製バンドとのすきまに浸透し易い低粘度のウレタン樹脂塗料を圧入する工法¹²⁾である。図6に工法の説明図を示す。低粘度ウレタン樹脂塗料を圧入するに当たっては、事前に注入部と排出部を除いて管台と鋼製バン

ドの両端をシール剤で固め、すきま全体に塗料が浸透するようにしている。低粘度ウレタン樹脂塗料は浸透後の硬化過程ですきま内の水分を捕捉する性質を持っている。このため、すきま内部の水分は塗料に取り込まれて無害化され、防食効果を確実にしている。写真10に実際に管台防食工法を施工している状況を示す。

本工法は、製鉄所の管台に適用される以外に、圧延機の脚部とベースプレート間のすきまの防食や、鋼橋梁の狭隙部の防食に利用した事例もあり、他設備のすきま腐食への応用が広がりつつある。

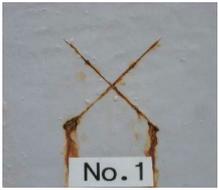
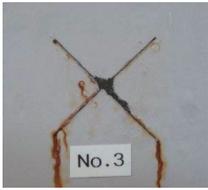
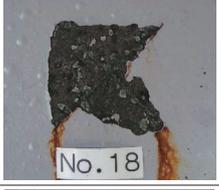
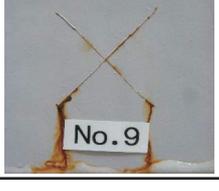
3.4 軽ケレン塗装

塗装前の素地調整は、通常、1種ケレン（ブラスト）もしくは2種ケレン（動力工具）によって除さびが行われる。具体的には、ISO8501-1が定めるSa21/2あるいはSt3の素地調整を行うことが標準的である。しかし、腐食が相当に進んだガス配管やガスホルダーの外表面塗装の場合、通常の素地調整を行うと穴明きを生じガス漏れを発生させる可能性があり、基本的にはガスを止め、内部ガスを窒素パージで置換して放散させる必要がある。しかし、管台防食でも述べたように、ガスを止めることなく塗装できれば、工事をより容易に安全に安価に施工できる。そこで、薄さび層を残す程度の素地調整（以下、軽度ケレンと呼ぶ）でも、ある程度の防食性能を確保される塗装仕様を検討した。

軽度ケレンとは、残存さび層を100 μ m程度となるまで除さびする作業と定義し、表2に示すように、SST3000時間までの防食性能の比較試験を実施した。残存さびが100 μ m以下であれば、さび浸透性を有する特殊プライマーを適用して、その上に通常の厚膜塗装を行えばSST3000時間までの防食性能を確保できることが確認された。その理由は、写真11の塗膜断面に見るように、100 μ m以下の薄い残存さび層には特殊プライマーがさび層に十分に浸透し、残存さび中での腐食が抑えられるため、と考えている。

軽ケレン塗装は、エネルギー配管やガスホルダーの塗装を、内部ガスを抜かずに施工する必要がある場合に限り適用している。尚、残存さび層が100 μ mより厚い場合や特殊プライマーを規定膜厚より厚く塗った場合は、表2の

表2 軽度のケレンに特殊プライマーを適用した場合の防食性能評価
Anti-corrosion performance of developed light tool cleaning method using special rust-penetration primer

Experimental coating system	SST exposure time			Remarks
	500 h	1000 h	3000 h	
No.1: Developed coating • Light tool cleaning Residual rust <100 μ m • Special primer 25 μ m • Modified epoxy resin paint 200 μ m				Disbonding width from the cut is about 1mm after SST 3000h. Anti-corrosion performance is almost equal to No.3.
No.2: • Light tool cleaning Residual rust <100 μ m • Modified epoxy resin paint 200 μ m		—	—	Remarkable disbonding occurred, because of no special primer.
No.3: • Standard tool cleaning St.3 (ISO8501-1) • Modified epoxy resin paint 200 μ m				St.3 is standard surface cleaning method according to ISO8501-1.

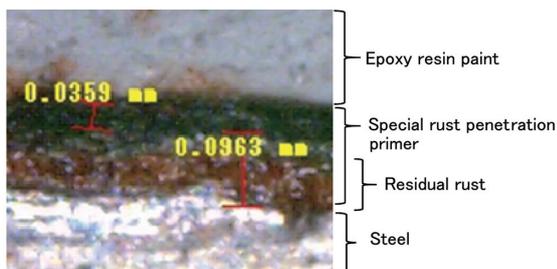


写真11 軽ケレン塗装の塗膜断面
Cross-section of developed light tool cleaning coating



写真12 軽ケレン塗装における残存さび厚みチェック
Rust thickness measurement in developed light tool cleaning coating

No.1のように防食性能は得られないことは実験によって確認している。

また、本工法を実際の塗装工事に適用する場合には、写真12のように軽ケレン作業中に残存さびの厚みを測定して100 μ m以下になることをチェックする。さらに、軽ケレンを写真13のようにウォータージェットサンドブラストによって行った工事例もある。この例は、ガスホルダーの外壁塗装であり、ウォータージェットサンドブラストは表面

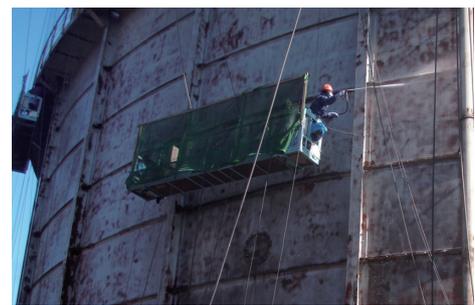


写真13 ウォータージェットサンドブラストによるガスホルダー外壁への軽ケレン塗装適用の状況
Water-jet-sand-blasting method applying to a gas holder

積を効率良く、安価に、且つ動力工具ケレンのような火花を発生させないことから引火の危険性がない工法として採用した。但し、軽ケレン塗装はSST3000時間以上の長期耐久性までは確認していないので、諸事情により通常の素地調整が採用できない場合に限り適用している。

4. おわりに

製鉄所で稼動している多くのインフラストラクチャ設備に適用できる塗膜診断技術と防食塗装技術を紹介した。個別の技術内容を、岸壁クレーン、エネルギー配管、管台、ガスホルダーへの適用事例を挙げて説明した。以下にその内容を要約する。

- (1) 塗膜診断法の一つとして、塗膜の三次元表面形状計測による方法を示し、塗膜劣化がふくれの発生と成長と増加であることを確認した。
- (2) 現場に適用可能な定量的塗膜診断の方法としてイオン透過抵抗測定装置(RST)による塗膜抵抗の測定法を示した。適用事例として岸壁クレーンの塗膜のRST値測

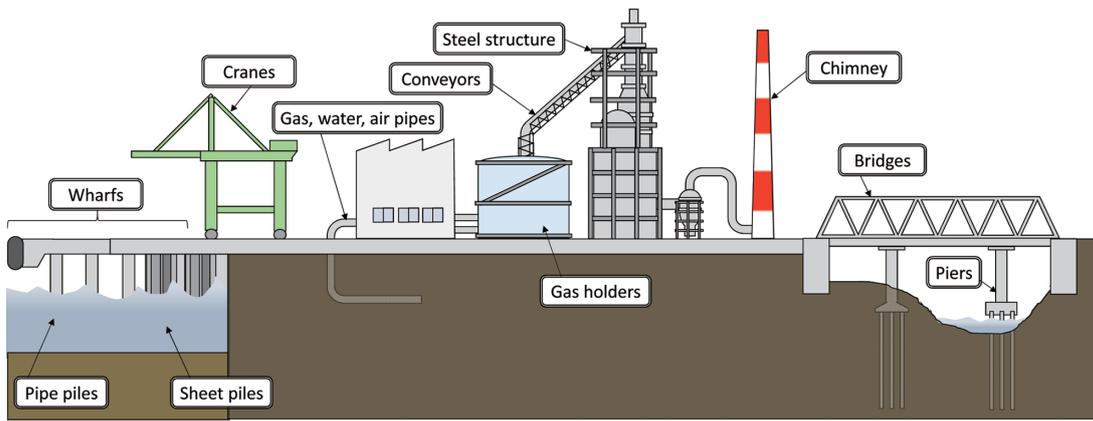


図7 製鉄所における防食保全の対象となるインフラストラクチャ設備
Infrastructure-equipment examples that should be maintained from corrosion in steel works

- 定を示し、付着塩分が雨で洗われ易い部分とそうでない部分で塗膜劣化に差異を生じることを確認した。
- (3) 海浜環境にある製鉄所の屋外設備に適用して、十分な耐久性を期待できる防食塗装仕様として厚膜型変性エポキシ樹脂塗料下塗りをベースに用いた厚膜塗装を示した。
 - (4) 製鉄所のエネルギー配管の内面腐食の防止に有効な防食塗装として、無溶剤型高 Tg エポキシ樹脂塗料の適用を示した。
 - (5) エネルギー配管を支える管台に生じるすきま腐食対策として、低粘度ウレタン樹脂塗料をすきまに圧入する工法を示した。
 - (6) エネルギー配管やガスホルダーの外表面塗装において、内部ガスを置換せずに引火の危険性なく施工できる工法として、軽ケレン塗装およびウォータージェットサンドブラスト工法を示した。

上述のようにいくつかの塗膜診断技術と防食塗装技術を紹介した。しかし、図7に示すように、これ以外にも製鉄所には防食保全すべき巨大なインフラストラクチャ設備が多数存在している。取り組むべき未解決もしくは未整理な課題や、技術的進歩が期待できる分野がある。例えば、煙突内面のような高温環境下の腐食、海水環境や土中環境にある設備の防食、水中のコンクリートの防食と補強等である。また、点検データの記録を保存して維持管理計画に役立つシステムの構築等も必要である。このように、製鉄所の防食保全とは、非常に広い技術領域にわたって多数の部門がそれぞれの役割を担いつつ連携し合い、且つ継続的に努力を続けていかねばならない分野である。今後とも、新日鐵住金および日鉄住金防蝕(株)は、関係部門と関係会社が協力し合って、より確実に高度な製鉄所の防食保全を目指して日々努力を惜しまないものである。

参考文献

- 1) (社)日本鋼構造協会:鋼構造物塗膜調査マニュアル, 第2版.

2006, p. 16

- 2) 相賀武英, 田内茂顕, 安藤克己: 材料と環境. 54, 113 (2005)
- 3) Kihira, H., Ito, S., Murata, T.: Corrosion. 45 (4), 347 (1989)
- 4) 今井篤実, 立花仁, 松本洋明, 紀平寛: 防錆管理. 5, 216 (2007)
- 5) (社)日本道路協会: 鋼道路橋塗装便覧. 第17刷. 1990, p. 20
- 6) (社)日本道路協会: 鋼道路橋塗装・防食便覧. 第6刷. 2005, II-93
- 7) ISO 12944-5, Annex A. 1998, p. 22
- 8) 相賀武英, 田内茂顕: 新日鉄技報. (377), 51 (2002)
- 9) 日本特許登録 5153838, 2012年12月14日
- 10) 相賀武英, 木村博史, 川瀬義行, 宮嶋義洋, 金井幸夫: 防錆管理. 53 (7), 241 (2009)
- 11) 日本特許登録 5411461, 2013年11月15日
- 12) 日本特許登録 5561712, 2014年6月20日



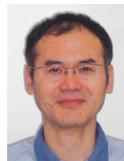
相賀武英 Takehide AIGA
日鉄住金防蝕(株)
取締役 技術士(建設部門)
千葉県君津市君津1(新日鐵住金(株)君津製鉄所構内)
〒299-1141



安藤克己 Katsumi ANDO
日鉄住金テクノロジー(株)
富津事業所 材料ソリューション部
強度特性評価室長
博士(工学) 技術士(機械, 金属, 総合技術監理)



本多 修 Osamu HONDA
名古屋製鉄所 設備部 設備技術企画室長



松井一彦 Kazuhiko MATSUI
君津製鉄所 設備部 製鋼機械技術室 主幹