

最近の防食技術，耐食材料の進歩

Advance in Corrosion Protection and Its Material

田 巻 耐⁽¹⁾
Shinobu TAMAKI

松 永 久 義⁽²⁾
Hisayoshi MATSUNAGA

加 藤 謙 治⁽³⁾
Kenji KATO

伊 藤 叡⁽⁴⁾
Satoshi ITO

抄 録

鉄鋼材料は、建築、土木や電力、エネルギー等の社会基盤、産業基盤をなす大型構造物から、自動車、家電、容器等の生活に密着した物まで幅広く適用されている。使用環境も、マイルドな状況から極めて過酷な条件までさまざまであるため、重要な要求性能に耐食性が上げられる。特に近年はメンテナンスコスト削減や、循環型社会構築への貢献として、長寿命化や3R、環境負荷物質削減等のニーズが強まっており、新日本製鐵はこれに対応した多くの耐食鋼、表面処理鋼板等を開発してきた。

Abstract

Steel materials are extensively used in applications ranging from large structures that constitute social and industrial infrastructures such as building, civil structures, power and energy plants to objects which are close to our daily life such as automobiles, home electric appliances and cans. The conditions for which steel materials are used also range from mild ones to extremely severe ones. Therefore, corrosion resistance is one of the important performances required for steel. Particularly in recent years, needs for properties such as long durability and reduction of environment-affecting substances have grown to contribute to maintenance cost cuts and the building of recycle-oriented society. Nippon Steel has developed a number of corrosion-resistant steel and coated steel sheets.

1. 緒 言

循環型社会の構築、地球温暖化・高齢化社会への対応など、21世紀に入り、産業界に与えられた課題は大きく変化している。鉄鋼製品は消費財、資本財の重要素材として幅広い分野で使用されており、これらの課題の解決に向け、技術的貢献が望まれる。

耐食材料は同様に幅広い用途で用いられ、使用される環境や要求される防食性能も多岐にわたる。腐食は実用金属の本質的な課題であって、鋼ではステンレス鋼、溶融めっき、電気めっき、耐候性鋼など、腐食を克服または軽減する多くの技術が開発、実用化されてきており、性能向上とともに使用量は増加してきた。

日本は戦後の高度経済成長期から、大規模な社会・産業基盤施設の建設、蓄積が進んだ。この時期から既に30数年が経過し、これらの基盤施設の効率的な維持メンテナンスや長寿命化の要求が強まっている。一方、耐久消費財、生活用品の分野では、いわゆる家電リサイクル法、グリーン購入法など、各種の環境関連法の施行を受けて、リサイクル率向上や廃棄物削減など3R(リデュース、リユース、リサイクル)への関心が高まっている。また、EU(European Union)指令を先取りした形で、環境負荷物質の低減、使用禁止の動きが急進しており、特に鉛、6価クロムへの要求が強い。以上述べたように、社会ニーズの変化や産業技術の進歩に伴い、防食要求

は幅広い分野で高度化すると同時に、より厳しい環境条件下で性能発揮が求められている。

図1に分野別の市場ニーズと技術進歩の概要を示す。横軸は用途分野であり、比較的目標耐用年数の短い(数年から15年程度)生活用品、耐久消費財分野から、100年を超える要求のある社会基盤分野まで様々である。生活用品、耐久消費財分野では、主に防錆性能が重視され、表面処理が適用される。社会基盤・産業基盤分野は、50年程度以上の長い耐用年数が目標とされ、主に耐食鋼が適用されており、メンテナンス方法も含めた長寿命化が課題である。環境対応は全分野共通である。新日本製鐵はこれまでに多くの耐食鋼、表面処理鋼板の開発と新商品の実用化に成功した。

本報では、使用環境と耐食要求について補足した上で、新日本製鐵における最近の耐食材料、防食技術の主要な発展と実用化された代表的な新商品を紹介する。

2. 使用環境と材料への耐食性要求

図2は、温度と腐食環境から見た主な分野別機器の位置付け概要例である¹⁾。本図は厳密なものではないが、環境条件が広汎で、材料の組み合わせも多岐にわたることがわかる。一言に耐食性といっても求められる性能は、例えば身近な食器でのさびの防止、船舶、海洋での板厚の損耗抑制、食品プラントでの食品に害のない耐食材料

*⁽¹⁾ 技術開発企画部 マネジャー
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎(03)3275-5157

*⁽²⁾ 技術開発企画部 部長

*⁽³⁾ 鉄鋼研究所 鋼材第一研究部 主幹研究員

*⁽⁴⁾ フェロー

の選択等々、様々である。

屋外や屋内の大気環境はもとより、淡水を使用する機器、家庭電化製品、食器等の使用環境は身近な生活環境で、比較的腐食性の低い環境である。生活環境を僅かに超える船舶、海洋や、水の状態としては高温となる温泉、熱水はやや腐食性が強い。一部の化学工業施設はこの領域に位置付けられる。さらに、高温の化学工業・石油製品プラントや、融雪塩によって高濃度腐食環境が形成される自動

車の環境等は強い腐食環境に分類される。また、極めて高温の内燃機関排気系統や燃焼炉、熔融金属を扱う溶融めっき槽、溶融塩を用いた燃料電池等は極めて腐食性の強い環境である。

このように環境の腐食性と達成すべき耐食要求は多岐にわたるが、需要家と一体となった材料と環境の双方に対する技術的理解の努力、蓄積の結果、現在では、殆どの利用分野において、実用に耐える材料選択が可能となっている。

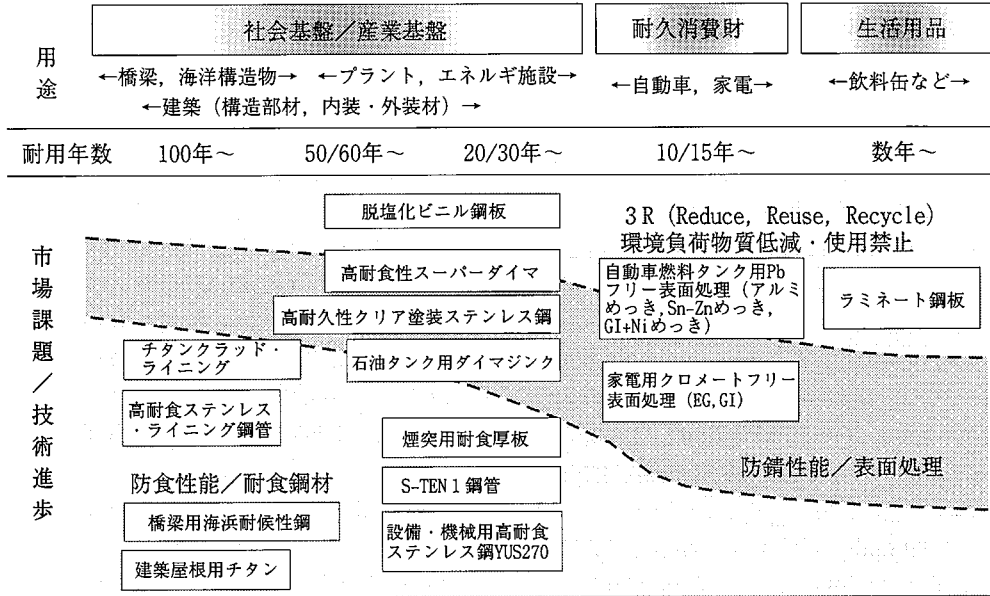


図1 市場ニーズの変化と最近の技術進歩

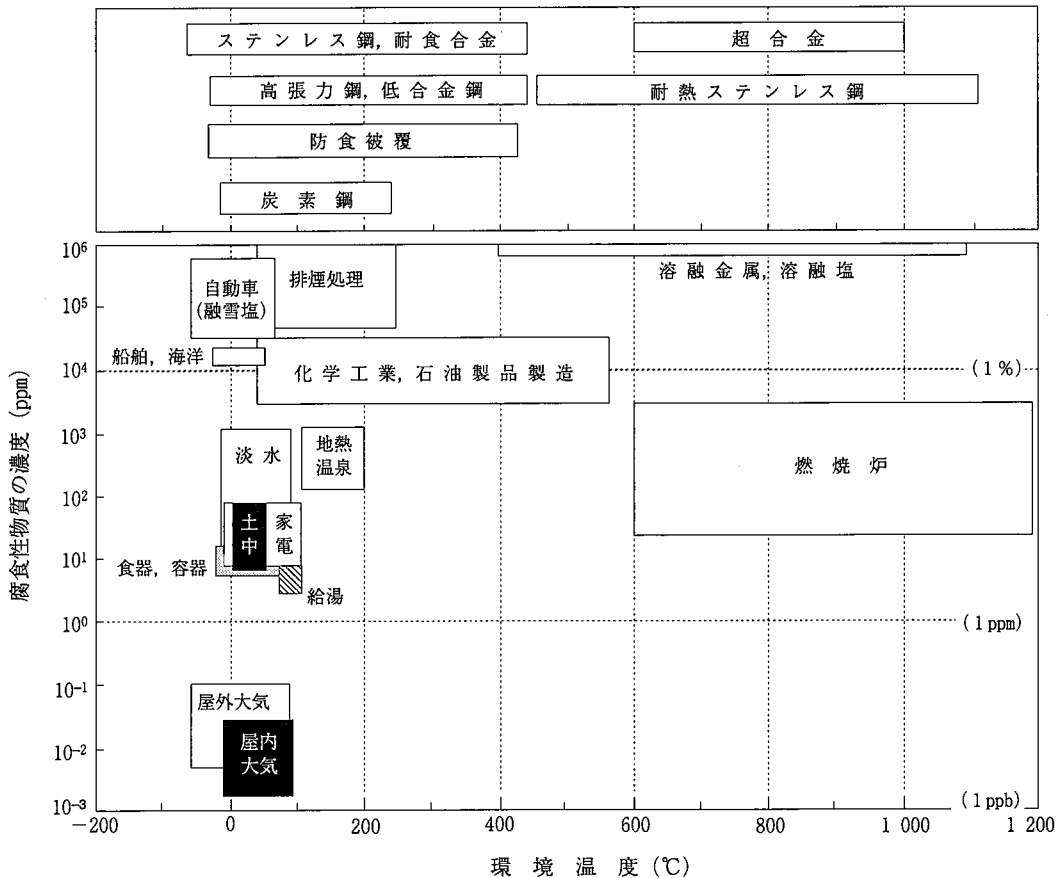


図2 材料表面温度から見た材料の適用範囲と腐食環境から見た主な分野別機器の位置付け概要例 (科学技術庁資源調査所編:身近にあるさびとその対策, 1986年を参考に一部改稿)

3. 最近の耐食技術, 防食技術の進歩

エコロジー, 医学, 生命科学や経済学等々の発展の成果によって, 地球規模での物質循環や生命体への作用などを考慮して身近な常識の見直しが進められ, より良い姿が提示されている。引き続き世代への負荷が少ない社会の構築である。具体的には“限りある資源の一層の有効活用”, “環境負荷低減”, “信頼性の一層の向上”, そして“基盤維持のために要する負担の軽減”である。すなわち, 耐食技術においても, 従来のさびの抑制, 減肉の抑制といった比較的単純な要求に加えて, 社会的要請との技術的整合がより一層求められている。従来からの課題である様々な環境に適用可能な基盤技術開発に加えて, 更なる調査・研究に着手し, 今なお幅広く検討が続けられている。

表1に需要分野別に見た鋼材にかかわる耐食課題例と, 新日本製鐵が開発した最新の耐食鋼材, 表面処理鋼板等の概要を示す。資源有効活用の観点からは, より少ないめっきで長期間の防錆性能と新たな耐食特性が提供可能なダイマジンクやスーパーダイマを, 環境負荷物質低減の観点からは燃料タンク用アルシート, Sn-Zn系めっき鋼板(エココートT, エコトリオ), シルバージンク-NT等の鉛フリーめっき鋼板や, ジンコート21やシルバージンク21等のクロメートフリー表面処理鋼板を, 一層の信頼性向上の観点からはチタンクラッド鋼やYUS270スーパーステンレス鋼等の高耐食鋼材を, それぞれ開発してきた。

社会基盤維持に要する負担軽減の観点からは, 沿岸地区での長期使用を可能ならしめた海浜耐候性鋼はもとより, 膨大な評価データとその多変量解析技術に基づく耐候性鋼やダイマジンク石油タンク溶射鋼板の余寿命予測技術, 最先端の電気化学を駆使した腐食状態

のリアルタイムモニタリング技術, 実態に対応する新たな評価手法の開発²⁾といった, 将来に資する利用技術を開発してきた。これらの評価手法のJIS, ISO等への提案も行われつつある。

4. 分野別に見た耐食性要求と新技術

(文中*印が付いているものは本誌に論文が掲載されている)

4.1 建築・土木構造物

この分野では橋梁, 高層ビルディング, 大型建築物等が対象であり, 社会基盤維持に要する負荷軽減の観点から, 大気, 雨水等による腐食対策が課題である。これまでも, 橋梁に代表される耐候性鋼が実用化されていたが, 塩分の影響のない地域に適用が制約されていた。周りを海に囲まれているわが国にとっては, 沿岸地区で使用可能な耐候性鋼の開発が切望された。この要求に対してNi添加により, Clイオンの侵入を阻止する“海浜耐候性鋼”*(従来より高濃度の塩が存在しても耐候性を維持できる鋼)を開発し, これによって沿岸地区においても耐候性鋼が無塗装で使用可能となった。

更にこれら耐候性鋼の腐食量をこれまでの環境と実験とで予測できる“耐候性鋼腐食予測技術”*の開発を行い, 飛来塩分量と主要気象データを入力することで, 腐食量を推定することが可能となった。今後橋梁の計画段階での鋼材選定ツールとして活用して行きたい。

一方, 建材に使用される表面処理鋼板においては, Znめっき及びZn-Alめっきがほとんどであったが, 資源有効活用の観点から, Zn-Mgめっき鋼板“ダイマジンク”や更にAl, Siを添加した“スーパーダイマ”*を開発し, 省Zn化と耐食性の向上を実現した。また, 屋根壁外装材向けには, 耐食性に加えて意匠性にも優れたステ

表1 鋼材に関する耐食課題(例)

分野 項目	建築, 土木	エネルギー・ 化学プラント	自動車	家電, 電子機器	海洋構造物・ 船舶	ライフライン
腐食環境	大気腐食 コンクリート中鉄筋 腐食 淡水腐食 塩害腐食	酸, アルカリ, 塩類 高温ガス腐食 高温水腐食	大気腐食 塩害腐食 燃料タンク腐食	大気腐食 淡水腐食 塩害腐食	海水腐食・塩害 腐食	土壌腐食 (電食, 自然腐 食, 微生物腐 食)
これまでの 主な適 用鋼材	耐候性鋼 ステンレス鋼 各種表面処理鋼板 塩化ビニル被覆鋼板	低合金鋼 ステンレス鋼 S-TEN	高耐食表面処理鋼板 排気系ステンレス鋼 クロメート処理め っき鋼板 燃料タンク用ター ンシート	高耐食表面処理鋼板 ステンレス鋼 クロメート処理め っき鋼板 家電部品用ター ンシート	電気防食 重防食塗装	塗覆装鋼管 (ポリエチレン, 塩化ビニル等) 電気防食
防食・防 錆技術課 題	社会基盤安心安全 LCC評価 長寿命化 塩化ビニル鋼板の 塩化ビニル代替化	耐酸・耐アルカ リ腐食対策 高温腐食対策 応力腐食割れ対 策 低コスト化	防錆性, 加工性 塗装性の同時確保 鉛, 6価クロム等環 境負荷物質フリー防 錆技術	鉛, 6価クロム等環 境負荷物質フリー防 錆技術 ユーザーでの塗装省 略	海水腐食対策 構造面からの海 水腐食対策 長寿命化・ミニ マムメンテナンス	土壌腐食対策 塩化ビニル代 替塗覆装鋼管
適正な腐食加速試験方法等評価技術の確率 (JIS, ISO等規格化推進)						
新規開発 鋼, 耐食 技術	橋梁用海浜耐候性鋼* 耐候性鋼腐食予測技術 高耐食ステンレス鋼 (YUS270, YUS220 等) スーパーダイマ チタン, チタンクラ ッド 塩化ビニル代替鋼板 腐食状態のリアルモ ニタリング ハルス塗装鋼板	タンク底・屋根 向けZn-Mg鋼板 S-TEN鋼管 YUS270 LNG耐水腐食エ レメント鋼板	燃料タンク用アルシ ート, Sn-Znめっき, GI+Niめっき クロメートフリー表 面処理鋼板(GA, ジ ンコートMZ) 各種ハイテンめっき 鋼板	鉛フリーめっき鋼板 (エココートT, エコトリオ) クロメートフリー 表面処理鋼板(ジン コート21, シルバ ージンク21) プレコート鋼板(ピ ューコート) クロメートフリー・ プレコート鋼板	チタンクラッド・ チタンライニング 鋼管 YUS270 ライ ニング鋼管	

*従来より高濃度の塩が存在しても耐候性を維持できる鋼

ンレス鋼やチタンの適用も進んでいる。

4.2 エネルギー・化学プラント分野

この分野は火力・原子力発電所や、化学プラントなど大規模な設備で、万一事故が発生すればその影響は甚大である。また各種酸、アルカリ、塩類を扱ったり、使用温度も低温から高温と幅広いため、これらの特殊環境下での使用に適合した耐食性能が要求される。社会・産業基盤として安全性確保と、その維持、メンテナンスの負荷軽減が最大の課題である。

石油やLNG等を貯蔵するタンクは底板や屋根の耐食性向上のニーズが高く、これまでは重防食塗装を行っていた。しかしメンテナンスコストが高く、塗装の簡素化や省略の要求が強まってきた。これに対して“Zn-Mgをめっきあるいは溶射”*することによって耐食性を向上させる技術を開発し、実用化が進められている。また火力発電やごみ焼却プラントでは、排ガスダクトや煙突などで硫酸露点腐食等の極めて過酷な条件での耐食性が要求される。“YUS270”*等高耐食ステンレス鋼や高Cr鋼，“S-TEN”*等の商品開発を行い、使用環境や要求レベルに合わせて選択できるようになりつつある。一方原子力では、圧力容器やそれに付随した配管類の放射線照射の影響も考慮した応力腐食割れ対策が重要課題である。

4.3 自動車分野

自動車分野では外板や内板など様々な部分に鉄鋼材料が使用されている。鋼材の耐食性に対する要求レベルも年々厳しくなってきた。自動車用鋼材では、大気腐食対策だけではなく、融雪塩による塩害腐食対策も必要である。これに対応すべく新日本製鐵は、より耐食性に優れたステンレス鋼や表面処理鋼板を開発してきた。特に近年は単に耐食性に優れているだけではなく、加工性や塗料密着性、溶接性など他の性能も兼ね備えた鋼材が要求され、各種高機能表面処理鋼板を開発して来た。またマフラーやエキゾーストマニホールドなどの排ガス系統の材料に高耐食ステンレス鋼を開発してきた。

環境負荷物質低減に対する規制に対応するために、欧州や国内の顧客からその削減が提示されている。欧州からはELV(End of Life Vehicle)規制として2003年7月以降の新車販売時、鉛、水銀、カドミウム、6価クロムの原則使用禁止が定められた。自動車用表面処理鋼板では、これまで燃料タンク用には鉛を含んだターンシートが、部品や電装品などに使用される亜鉛めっき鋼板にはクロメート処理を行ったものが使用されてきたが、これらの規制により、環境負荷物質である鉛や6価クロムの使用が制限される。これらに代わる表面処理鋼板として、燃料タンク用アルシート、Sn-Znめっき鋼板、GI+Niめっき鋼板、及びクロメートフリー表面処理鋼板等を開発し、既に多くの顧客に実用化されている。

4.4 家電・電子機器(エレクトロニクス)・OA機器分野

冷蔵庫や洗濯機に代表されるように、屋内で使用される家電用の鋼材は、腐食環境が比較的マイルドであり、一般に亜鉛めっき鋼板が使用される。この分野では、欧州のWEEE(Waste of Electrical & Electronic Equipment)指令、及びROHS(Restriction on Hazardous Substances)指令において、鉛、6価クロム等の環境負荷物質の使用禁止が2006年から適用されることに決まった。家電・OA機器各社は他業界に先駆けて環境負荷物質の削減に取り組んできた。

新日本製鐵は、鉄鋼メーカーでは初めてクロメートフリー表面処理鋼板“ジンコート21”“シルバージンク21”*を開発、実用化すると

ともに、はんだ用ターンシートの代替である鉛フリー“エコトリオ”“エココートT”を開発し、多くの家電・OA機器メーカーで使われている。また顧客での塗装工程を省略できるプレコート鋼板“ビューコート”*もこの分野では既に多用されている。顧客からの要望に応じて、屋内用途に続いて直近では、エアコントローラー室外機のように屋外で使用できるプレコート鋼板においても、6価クロムフリー化を実現した。

4.5 海洋構造物、船舶

海洋構造物や船舶は海中、海上など鋼材にとっては極めて厳しい環境で使用される。一層の信頼性向上ニーズに応えるべく、これまでに様々な耐食鋼や防食技術が開発・適用されてきた。海中に没する部分に対しては電気防食が適用されることが多いが、最も過酷な条件であるスプラッシュゾーンでは、“チタン”*や高耐食ステンレス鋼“YUS270”*をクラッドあるいはライニングした材料が適用される。東京湾横断道路の橋脚部分のスプラッシュゾーンに、このチタンクラッド鋼が約80トン使用され、またYUS270ライニング鋼管を使用した海洋構造物も増加している。これらはジャケット式栈橋等への適用も検討されている。また船舶では、近年VLCC(Very Large Crude Carrier)の内部腐食が大きな問題となっており、各種の機関でこのメカニズムの解明が進められている。

4.6 ライフライン(埋設管)

上下水道パイプラインやガス管はその大部分が地中に埋設されており、地中の腐食を考える必要がある。地中腐食は、電気鉄道の迷走電流による電食と、一般土壌腐食や微生物腐食、コンクリート中鉄筋との接触などによる腐食がある。鋼管の腐食対策としては、管の絶縁、塗覆装、電気防食がある。塗覆装では、絶縁性にも優れたポリエチレン等が主流になっている。

5. 今後の方向

以上、新日本製鐵で開発され、顧客で実用化された新技術と新商品の概要を紹介した。優れた防食性能を発揮させるためには、様々な環境と材料の最適な組み合わせが求められる。これらの新技術は、需要家と一体となった経験と蓄積が成果として結実したものである。社会のニーズが大きく変化している現在、より高い性能の実現が求められる。技術課題を単に鋼材自身の防食機能だけではなく、ライフサイクルを含めて、製品や社会におけるシステム機能として捕らえ、防食技術を発展させることが我々の使命である。具体的には、

- (1)社会・産業基盤分野では、単に材料のみならず、部材、構造物から見た評価法と防食技術を発展させることと、維持管理技術の向上へ貢献すること
- (2)耐久消費財、生活用品分野では、3R、環境保全を考慮にいたって防食技術を発展させるとともに、鋼材の優れたリサイクル性を生かすこと
- (3)併せて、これまでに蓄積した膨大、広範囲にわたる防食知識、技術を体系的に構築して、伝承、発展させることが重要である。

参考文献

- 1) 科学技術庁資源調査所編：身近にあるさびとその対策、1986
- 2) 例えば、表面処理鋼板の耐食性試験評価方法の標準化。(社)日本鉄鋼連盟等、2001