



特集記事・11

鉄の環境との共生

環境に優しい鉄鋼製品の表面処理技術

Environmentally-Friendly Surface Coating Technology on Steel Sheets

藤田 栄
Sakae Fujita

JFE スチール (株) スチール研究所
主席研究員

1 はじめに

1990年代以降、21世紀に向けた地球環境保全に関する数々の環境規制指令が欧州から打ち出された。その後、世界的に各種産業分野で環境対策の技術開発が活発に行われ、特に日本は世界に先駆けて欧州環境規制を満足する商品、技術開発を成し遂げ、今や環境分野で世界を先導している。

電気・電子機器分野では、金属の耐食性を保持するために6価クロメート処理を施した金属素材が長い間使用されてきた。1990年以前から6価クロムを外部へ排出・溶出させないために、クローズドシステムによる排水処理の普及と製品面でのクロム溶出対策の確立により、製造現場での環境対策が講じられてきた。1990年代の欧州規制に代表される製品環境規制を契機に、国内鉄鋼各社は6価クロムを含まない化成処理鋼板やプレコート鋼板（以下、クロメートフリー鋼板と記す）の開発研究を活発に行い、達成目標期限2006年7月を待たずして2005年末にクロメートフリー型の電気・電子機器分野用表面処理鋼板の品揃えを完成させた。

ここでは、主に電気・電子機器分野を取り巻く世界的な環境規制動向と、環境調和型表面処理鋼板の開発の歴史、その諸特性・評価技術の進化について述べる。

2 表面処理鋼板を取り巻く有害物質削減規制動向

1992年、リオデジャネイロで開催された国連環境開発会議において、「Agenda 21-United Nations Environment Programme」¹⁾が採択された。Agenda 21は21世紀に向けた地球規模での環境保護を図るための全40章からなる行動計画である。19章 (Environmentally Sound Management of Toxic Chemicals Including Prevention of Illegal International Traffic in Toxic and Dangerous Products)

において化学物資の適正な安全管理のための課題が提示された。同年、自動車メーカー Volvo 社が6価クロム規制を打ち出し、これが世界の具体的な製品環境規制の口火を切る形となった。その後、1996年使用済み車両からの廃棄物の低減、適正処理に関するELV指令²⁾ (使用済み車両、End-of-Life Vehicles)の原案が公表され、2000年に発令された。一方、電気・電子機器分野では欧州の電気・電子機器の廃棄に関するWEEE指令³⁾ (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive)が1997年に原案公表され、2003年に発令された。また、2003年、電気・電子機器に含まれる特定有害物質 (水銀、カドミウム、鉛、六価クロム、PBB、PBDE)の使用制限に関するRoHS指令⁴⁾ (Restriction of The Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment)が発令された。RoHS指令では、2006年7月までに上記指定特定有害物質の使用禁止が義務付けされた。

日本国内でも、上記規制と併せて、国内資源循環型社会を形成していくために必要な3R (リデュース・リユース・リサイクル)の取り組みを総合的に推進するための資源有効利用促進法⁵⁾が2001年4月に施行され、3Rの取り組みが必要となる業種や製品 (10業種・69品目)が指定された。

3 家電用表面処理鋼板の使用動向

家電製品の家庭での普及率が年々増加している。普及率がほぼ100%に達している冷蔵庫、洗濯機に対し空調機、カラーテレビなどは、100%を越えて (1台/家以上)普及している。さらに最近の各種デジタル家電製品の登場、CRTカラーテレビやVTRから、フラットテレビ、DVDビデオへの変化は、買い替え需要を生み出している。さらに、1990年代に事務・情報機器として普及したパソコン、プリンター、複写機は、高機能化により買い替えが進み、また安価化によ

り、家庭への普及が急速に進んでいる。

これらの事務機器を含む家電製品の分野では、従来から防錆性を付与するため表面に6価クロムを含むクロメート処理皮膜を施した亜鉛めっき鋼板が使用されていた。1980年頃よりクロメート処理の上に1μm程度の薄膜有機皮膜を形成した耐指紋性鋼板、無塗油でプレス成型可能な潤滑鋼板、さらに20μm程度の塗装を行い、ユーザーでの塗装省略が可能な塗装鋼板（以後プレコート鋼板）などの高機能鋼板が商品化され、製品の外装、シャーシやパネルなどに幅広く使われるようになった。表面処理技術の発展が、家電製品の高度化と多様化、コスト合理化、さらに環境破壊防止などの社会ニーズに対して、タイムリーに应运えてきた。

4 クロメートフリー化成処理技術の展開

クロメートフリー化成処理技術に関する研究は、環境に対する世の中の動向に対応して、1970～80年代前半に盛んに行われた。例えば、モリブデン酸皮膜、重リン酸塩やケイ酸塩などの無機系皮膜、タンニン酸皮膜などがあげられる^{6,7)}。しかしながら、これらのクロメートフリー技術では、耐食性・導電性・溶接性・色調など家電製品に必要とされる総合品質の面からクロメート処理に置き換えられるものは見出されていなかった。このようなことから、クロメートフリー化成処理技術の研究は実用化までに至らず、むしろクロメート皮膜を利用した高機能化、高耐食化が急速に進んだ。環境対策として、クローズドシステムによる排水処理の普及と製品面でのクロム溶出対策の確立により、製造現場での環境対策が講じられてきた。図1⁷⁾に6価クロムの溶出削減、クロメートフリー化の展開を環境調和の観点から整理した。

1990年代後半になると、欧州や国内の環境規制の動向を睨みながら、国内鉄鋼メーカー、表面処理薬液メーカーによるクロメート代替技術の開発が本格化した。クロメートの薄膜で優れた防錆作用をクロム以外の単体元素で達成することは非常に困難であることから、有機樹脂（または無機系皮膜）によって腐食因子の透過障壁となる効果（バリア効果）と、防錆添加剤によって皮膜欠陥部での腐食を抑制する効果（自己修復性）を、複合化させる検討が行われた。以下に、主に特許に開示されている技術について、有機系複合皮膜（または有機無機複合皮膜）⁸⁻¹⁷⁾と無機系複合皮膜¹⁸⁻³¹⁾に分けて、表1、2に記載した。

5 鉄鋼各社のクロメートフリー表面処理鋼板

5.1 耐指紋性クロメートフリー表面処理鋼板

ビデオデッキや複写機などのAV・OA機器のシャーシやパネルの用途には、「耐指紋性クロメートフリー鋼板」が使用される。耐指紋性クロメートフリー鋼板は、その名が示すように指紋が目立ちにくい耐指紋性と、塩水噴霧試験（JIS Z 2371）による白錆発生時間が72～150時間程度の耐食性、導電性、溶接性などの数多くの特性を満足する必要がある。下記に、鉄鋼メーカー各社で開発された耐指紋性クロメートフリー鋼板の報告例を紹介する。

吉見ら³²⁻³³⁾は、アミン変性エポキシ樹脂が最も酸素透過性が低く耐食性に優れていること（図2）、さらに皮膜組成によらず膜厚が厚くなるほど層間抵抗が高く導電性が低下することから（図3）、この樹脂の防錆機能をさらに向上させた特殊キレート変性エポキシ樹脂と特殊防錆添加剤を配合した薄膜有機複合被覆鋼板を開発・工業化した。

製品	反応型クロメート 処理鋼板	塗布型クロメート 処理鋼板	有機複合被覆鋼板	Cr ⁶⁺ フリー 化成処理鋼板
	(Cr ⁶⁺ /Cr ³⁺) クロメート 亜鉛めっき	クロメート 亜鉛めっき	薄膜有機複合 皮膜(1～2μm レベル以下) クロメート 亜鉛めっき	Cr ⁶⁺ フリー 皮膜 亜鉛めっき
特徴	完全クローズド システムによる 排水処理	ノンリンタイプ	皮膜からの Cr ⁶⁺ の溶出阻止	Cr ⁶⁺ フリー
品質 特性	耐食性	耐食性 耐指紋性	耐食性・耐指紋性 潤滑性・塗装性	クロメート処理鋼板と 同等の品質特性

図1 環境の観点から見た化成処理鋼板の展開⁷⁾

表 1 1990 年後半以降の主なクロメートフリー表面処理技術（有機系複合皮膜）

分類	ベース皮膜	内容
有機系複合皮膜（有機無機複合皮膜）	エチレン系樹脂皮膜	1価金属と2価金属で中和されたエチレン系アイオノマー樹脂、アンモニアあるいはアミンで中和されたエチレン系アイオノマー樹脂に、チオカルボニル化合物を配合した処理剤 ⁸⁾ イオンクラスターにより分子間会合したポリオレフィン系共重合樹脂、シリカ、架橋剤、タンニン酸/バナジン酸アンモニウムからなる皮膜を溶融亜鉛めっき鋼板の表面に被覆した鋼板 ⁹⁾
	エポキシ系樹脂皮膜	エポキシ樹脂と活性水素を有するヒドラジン誘導体を反応させた変性エポキシ樹脂皮膜 ¹⁰⁾ 、これに防錆添加剤を配合した皮膜 ¹¹⁾
	ウレタン系樹脂皮膜	ウレタン樹脂、シランカップリング剤の一部をシリカゾルの表面に結合させたシリカゾル含有シランカップリング剤、リン酸塩、オキシカルボン酸を含有した処理剤 ¹²⁾
		ウレタン樹脂などの水性樹脂、有機質潤滑剤、シランカップリング剤、バルブメタル化合物が配合された有機樹脂皮膜 ¹³⁾
		Mg含有溶融Znめっき下地に、ウレタン樹脂、可溶性モリブデン酸素酸塩、アミン類、Ti、Zr、Hfの酸素酸塩からなる皮膜を被覆した鋼板 ¹⁴⁾
		ウレタン樹脂などの有機樹脂、コロイダルシリカ、リチウムシリケート、シランカップリング剤からなる皮膜 ¹⁵⁾
		カルボキシル基含有ポリウレタン樹脂（ウレタンプレポリマーをエチレンジアミンまたはヒドラジンの鎖延長剤で鎖延長反応して得られたもの）またはこれを改質した樹脂、シリカ、シランカップリング剤からなる皮膜を、表面改質層を介して被覆した鋼板 ¹⁶⁾
	多価OH基を含有する有機皮膜	多価OH基を含有する重合体と、シランカップリング剤（活性水素含有アミノ基、エポキシ基、ビニル基、メルカプト基およびメタクリロキシ基から選ばれた少なくとも1個の反応性官能基を有するシランカップリング剤）などを含む皮膜 ¹⁷⁾

表 2 1990 年後半以降の主なクロメートフリー表面処理技術（無機系複合皮膜）

分類	分類	内容
無機系複合皮膜	チタン系	過酸化されたチタン含有アニオンとリン酸を含有する処理剤を被覆した皮膜 ¹⁸⁾
		マンガン及びチタンの複合酸化物皮膜 ¹⁹⁾
		バルブメタル（Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、W）の酸化物または水酸化物、及びフッ化物、リン酸塩、有機酸などからなる皮膜 ²⁰⁾
		フッ化チタン化合物、リン酸（リン酸塩）、チタン化合物を高分子化するための酸化剤からなる処理剤 ²¹⁾
	バナジウム系	バナジウムと金属化合物（Ti、Mo、W、Mn、Ceなど）を含有する処理剤 ²²⁾
		バナジウム化合物と金属化合物（Co、Ni、Zn、Mg、Al、Caなど）を含有する処理剤 ²³⁾
		4価のバナジウム化合物とpH調整剤（リン酸など）を含有する酸性処理液中で浸漬または電解処理する方法 ²⁴⁾
		4価のバナジウム化合物、pH調整剤（リン酸など）に加えて、Mo化合物、Ti化合物、Zr化合物、Al化合物、Mg化合物を含有する処理液中で浸漬または電解処理する方法 ²⁵⁾
		モリブデン、チタン、バナジウム、ジルコニウム、オキシ硫酸塩、リン化合物、Zn化合物、マグネシウム、アルミニウムの硫酸塩などを含有する処理液中で浸漬または電解処理する方法 ²⁶⁾
	リン酸系	多価金属リン酸塩化合物、キレート剤（ホスホン酸系、オキシカルボン酸系）、腐食抑制剤からなる処理剤。この腐食抑制剤は、イミダゾリン化合物を4級化剤によって4級化して得られるイミダゾリウム化合物など ²⁷⁾ や、ポリアミン化合物 ²⁸⁾
		リン酸塩、硝酸塩、炭酸塩、硫酸塩、酢酸塩などの金属塩（Al、Mn、Mg、V）とめっき金属との反応物と樹脂からなる皮膜 ²⁹⁾ 。
	希土類元素系	CeとSiの酸化物（水酸化物）皮膜 ³⁰⁾
		希土類元素とIVa族元素（Zr、Ti）の酸化物（水酸化物）皮膜 ³¹⁾

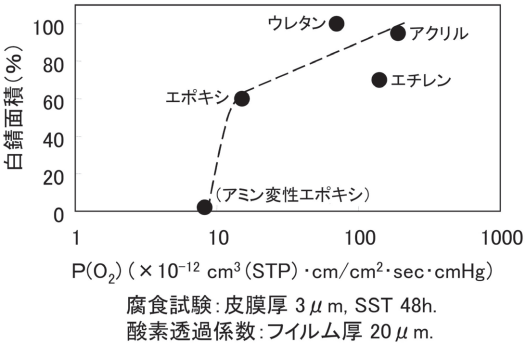


図 2 各種有機樹脂皮膜の酸素透過係数と耐食性との関係³³⁾

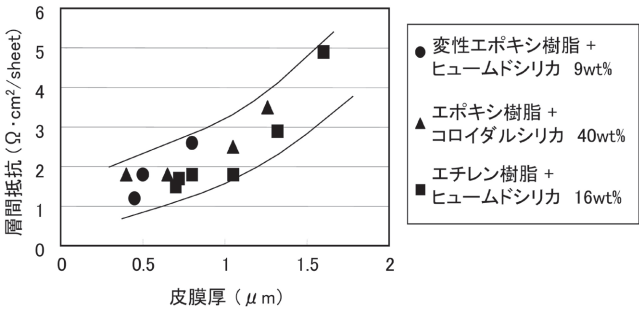


図 3 有機皮膜の種類と膜厚が層間抵抗に及ぼす影響³³⁾

中元ら³⁴⁾は、添加量10%までの範囲でシリカ添加により樹脂フィルムの水の透過性が抑制されること(図4)、また塩水噴霧試験環境下でシリカが溶出して亜鉛の水和物とともに析出して腐食を抑制するとしていること(図5)から、シリカの防食機構を活用した皮膜開発を行った。宮内ら³⁵⁾は、オレフィン系樹脂に、添加量、粒子径などの異なるコロイダルシリカを添加し、その防錆機構について研究した。コロイダルシリカは、亜鉛の腐食が生ずると、カソード部では溶解してpH上昇を抑制し、アノード部ではケイ酸イオンが再析出してpH低下を抑制し、さらにシリカ皮膜を形成してアノード分極を増大させることにより腐食防食効果を発揮すると報告している。

金井ら³⁶⁾は、耐食性重視型と、皮膜をやや薄くした導電性重視型を開発した。

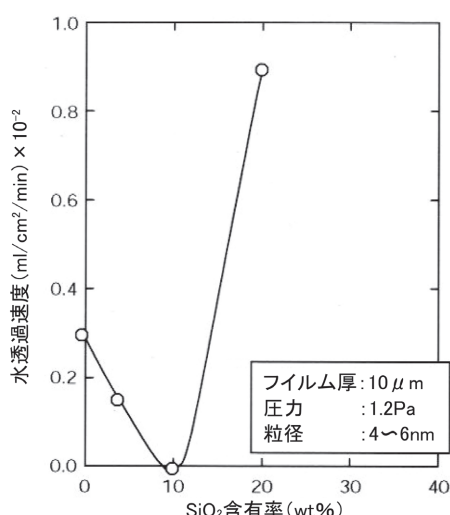


図4 水の透過性に及ぼすシリカ添加濃度の影響³⁴⁾

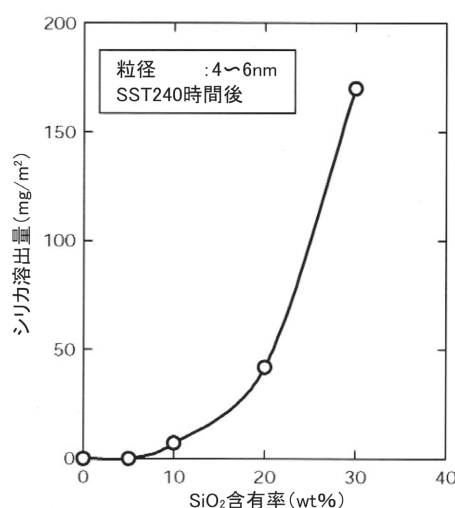


図5 SST240時間後のシリカ溶出量に及ぼすシリカ添加濃度の影響³⁴⁾

吉川ら³⁷⁾は、電気Zn-Co-Mo複合めっきの表面に、バナジウムとリンの電解複合処理を開発し、①塗装用途タイプ、②無塗装用途タイプ、③黒色用途タイプ、④半田用途タイプ用銅板を開発した。

5.2 各種要求特性に対応したクロメートフリー表面処理銅板

モーターケースのプレス加工では、成形速度が速く、多段成形を行うために金型温度が著しく上昇する。そのため、有機系皮膜では深絞り加工後の摺動部で皮膜剥離や皮膜の黒化が発生しやすい。安井ら³⁸⁾、Kanetoら³⁹⁾は、それぞれ、従来のクロメート処理銅板と同様の優れた加工後外観を有する無機系クロメートフリー皮膜を開発した。

また、エアコン室外機の熱交換ユニット部品などでは、製造工程で冷媒循環用銅管をろう付けする際の加熱によって、皮膜外観が損なわれる可能性がある。これに対して、例えば安藤ら⁴⁰⁾は、加熱後外観が従来のクロメート皮膜と同等の無機系クロメートフリー皮膜(溶融亜鉛めっきベース)を開発した。

松野^{41,42)}らは、溶融Zn-6% Al-3% Mg系合金めっき銅板をベースに、チタン化合物からなる無機系皮膜と、ウレタン樹脂と防錆添加剤からなる有機複合皮膜を開発した。無機系はビニールハウス用パイプやコンセント部材、有機系は加工性の必要なエアコン底板などに採用されていると報告している。

6 Pbフリー半田用銅板

電気電子機器分野における環境負荷物質削減の動きの中で、半田が錫—鉛系から錫—銀系、錫—ビスマス系などの鉛フリー系へ急速に切り替えが進んでいる。これを背景に、半田用めっき銅板として使用されてきた鉛—錫合金めっきに替わる鉛フリーめっき銅板の開発、実用化が行われた。和氣ら⁴³⁾は、銅板上にニッケル、錫、亜鉛を順次めっきした後、加熱による合金化処理を施すことで、3元素からなる合金めっきを形成した鉛フリーめっき銅板を開発、実用化した。村田ら⁴⁴⁾は、電気亜鉛めっき銅板に、樹脂をベースとした特殊有機系後処理皮膜を開発した。錫—銀—銅系などの各種無鉛半田に対して、従来の鉛—錫めっき、錫めっきと同等以上の半田濡れ性、経時半田性を有し、さらに亜鉛めっきによる優れた耐食性を有すると報告している。

7 家電腐食促進試験法

塩水噴霧試験は金属材料の腐食試験法として、長い間使

用されてきた。しかし、実環境の腐食を再現していないことがいろいろな分野で明らかにされている⁴⁵⁾。クロメートフリー鋼板の適用に先立って、これまで家電用として2種類の試験法が提案されている。

梶山ら^{46,47)}は、家電製品の実態調査に基づいて、被試験体の表面に定期的に塩化物イオンを含む塩分の付着を行う工程(塩分付着工程)と、恒温恒湿槽内において絶対湿度一定条件で温度と相対湿度を変化させて被試験体に乾燥と湿潤を繰り返す工程(乾湿繰り返し工程)とで構成される新試験法を開発した。付着塩分量は海岸地帯から田園地帯、さらに屋外から屋内までの腐食環境を想定して広範囲に制御される。本試験により、クロメートフリー鋼板を含む各種化成処理鋼板、プレコート鋼板について各種腐食試験結果を沖縄暴露試験(1年)と比較した結果、化成処理の種類に関係なく沖縄暴露と良好な相関が得られたと報告している。

金井ら⁴⁸⁾は、家電用プレコート鋼板(PCM)のエアコン室外機への適用を検討するにあたり塩水噴霧—乾燥—湿潤—冷凍より構成される複合サイクル試験法(NCCT)、暴露試験、塩水噴霧試験の比較を行い、NCCTがSSTに比べて暴露試験に近い結果が得られることを示した。西岡ら⁴⁹⁾はNCCTと沖縄暴露試験との良好な相関を示し、NCCTの21サイクル(3週)は沖縄県海岸地区での暴露2年に相当すると報告している。

8 今後の展望

欧州の環境規制の最終段階と言われているREACH規制⁵⁰⁾(Registration Evaluation and Authorization of Chemicals)が2006年12月に採択され、2007年6月に施行された。欧州流通商品、生産量対応、化学物質の安全評価を義務付け、2018年までに段階的に化学物質を登録・評価していかなければならない。ほぼすべての化学物質が対象となり、その対応を迫られる時期が来る可能性がある。

一方、電気分野で見ると、IC・LSIなどを多用するデジタル機器のパルス信号は非常に広範囲な周波数スペクトルを含み、これがノイズ源となり、他の機器に誤動作を与える電磁波障害(EMI: Electro Magnetic Interference)という問題を引き起こしており、ノイズの放射を制限するエミッション規制がなされている。日本における電磁妨害波に関する規制は、対象となる機器に応じて、電気用品安全法などによる法規制とVCCI(情報処理装置等電磁波障害自主規制協議会)による自主規制などがある⁵¹⁾。電磁波をシールドする鋼板、電磁波を減衰させる電磁波吸収鋼板が開発されているが、今後、さらに電子機器のデジタル化・小型化が進み、広範囲な周波数に対応できる高機能な表面処理鋼板が求められるであ

ろう。

資源循環型社会を形成していくために事業者に対して製品の製造段階における3R対策、設計段階における3Rの配慮、分別回収のための識別表示、事業者による自主回収・リサイクルシステムの構築などが求められるようになった。複写機業界は使用済み部品を再利用するリユースの拡大を求められる特定再利用業種に指定された。使用済み複写機をそのまま再利用する「再生機」の商品化や、使用済み複写機を分解・解体した上で構成されている部品を再利用する「部品リユース」などの取り組みが活発になっている。これらの製品にも多くの表面処理鋼板が使用されており、リユース可能な、耐久性の優れた鋼板が求められつつある。

9 おわりに

欧州での地球環境保全に向けた環境規制の動向と有害物質排除型表面処理鋼板の開発の歴史、併せて今後の課題について述べた。

2006年7月までに製品に含まれる有害物質の排除義務を課したRoHS指令に対して、2005年末までに日本の鉄鋼メーカー、電気メーカーは規制を満足する素材、製品を開発し、商品化した。2007年6月環境規制の最終段階と言われているREACH規則が施行された。本規則の実施、運営に関して貿易障害にならないように各国間で協議が行われていくが、表面処理鋼板への環境規制は今以上に厳しくなっていくと推察される。従来の表面処理鋼板では、耐食性、耐指紋性、導電性が被膜設計の重要な要素であったが、電子機器の高性能化に伴ってノイズ対策に代表されるような新たな機能が表面処理鋼板に求められつつある。今後も、日本鉄鋼メーカーは新たな環境規制を満足し、かつ新機能を備えた新表面処理技術・商品を開発し、世界を先導していくであろう。

参考文献

- 1) Agenda 21-United Nations Environment Programme (1992)
- 2) Official Journal of the European Union: Directive 2002/53/EC of the European Parliament and on the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles, (2000)
- 3) Official Journal of the European Union: Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on on waste electrical and electronic equipment, (2003)
- 4) Official Journal of the European Union: Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the

- Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electric equipment, (2003)
- 5) 資源の有効な利用の促進に関する法律, 最終改正:平成14年2月8日(平成3年4月26日法律第48号), (2004)
 - 6) 山岸秀久:第52・53回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1978), 99.
 - 7) 加藤千昭:第186・187回西山記念講座, 日本鉄鋼協会編, 東京・神戸, (2005)
 - 8) 特開2001-26889号
 - 9) 特開2004-176092号
 - 10) 特許第3383596号
 - 11) 特許第3381647号
 - 12) 特開2001-181855号
 - 13) 特開2005-139477号
 - 14) 特開2005-146340号
 - 15) 特許第3069094号
 - 16) 特開2005-200757号
 - 17) 特開平9-214576号
 - 18) 特開2001-49457号
 - 19) 特許第3302677号
 - 20) 特許第3302684号
 - 21) 特開2004-143549号
 - 22) 特開2002-30460号
 - 23) 特開2004-183015号
 - 24) 再公開特許W001/042530号
 - 25) 特開2005-105321号
 - 26) 再公開特許W000/61835
 - 27) 特許第3542789号
 - 28) 特開2005-126739号
 - 29) 特開2004-285468号
 - 30) 特許第3596665号
 - 31) 特開2001-234358号
 - 32) N.Yoshimi, S.Ando, T.Kubota and M.Yamashita: Proc. of 5th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH' 2001), CRM, Brussels, (2001), 655.
 - 33) 吉見直人, 松崎晃, 安藤聡, 窪田隆広, 山下正明:鉄と鋼, 89 (2003), 80.
 - 34) 中元忠繁:神戸製鋼技報, 55 (2005) 2, 36.
 - 35) 宮内重明, 井戸秀和, 池田貢基, 中元忠繁, 梶田富男, 今堀雅司:鉄と鋼, 89 (2003), 116.
 - 36) 金井洋, 吉原良一:表面技術, 55 (2004), 893.
 - 37) 吉川雅紀, 堤悦郎, 駒井正雄, 清水信義:東洋鋼鉄, 33 (2002), 37.
 - 38) 安井淳, 川西勝次, 勝信一郎, 中岸徹行:材料とプロセス, 16 (2003), 1498.
 - 39) T.Kaneto, I.Kikuchi, A.Morishita, S.Yamaguchi, Y.Mori, I.Yamaoka and H.Shindo: Proc. of 7th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH'07), Osaka, (2007), 780.
 - 40) 安藤聡:塗装工学, 44 (2009), 5, 169.
 - 41) 松野雅典, 古川神也, 上田耕一郎, 武津博文:日新製鋼技報, 85 (2004), 61.
 - 42) K.Ueda, M.Matsuno, S.Furukawa and H.Taketsu: Proc. of 7th Int. Conf. on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (GALVATECH'07), Osaka, (2007), 774.
 - 43) 和氣亮介, 吉原良一, 宇野佳秀, 岩本芳昭:まてりあ, 39 (2000), 87.
 - 44) 林田貴裕, 鶴田知之, 駒井正雄, 佐野真一:東洋鋼鉄, 34 (2004), 13.
 - 45) 藤田栄:たとえば, 第186・187回西山記念講座, 日本鉄鋼協会編, 東京・神戸, (2005)
 - 46) 藤井和美, 大橋健也, 梶山浩志, 藤田栄, 材料と環境, 55 (2006), 349.
 - 47) 梶山浩志, 藤田栄, 藤井和美, 酒井政則, 材料と環境, 55 (2006), 356.
 - 48) 金井洋, 板原俊英, 岡裏二:防錆管理, 36 (1992) 6, 208.
 - 49) 西岡良二, 野村広正, 植田浩平, 山崎隆生, 金井洋: CAMP-ISIJ, 9 (1996), 522.
 - 50) Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC, (2006)
 - 51) '05 EMC・ノイズ対策市場の実態と展望, 日本エコノミクスセンター編, 東京, (2005), 1.
- (2009年10月15日受付)