



特集記事・12

鉄の環境との共生

環境負荷を低減するプレコート鋼板の進歩

Progress in the Pre-Painted Steel Sheet to Reduce the Effects on the Environment

植田浩平
Kohei Ueda

新日本製鐵(株) 技術開発本部
鉄鋼研究所 表面処理研究部
主任研究員

1 緒言

鋼板上に予め塗装を施したプレコート鋼板は、これを用いる事でユーザーでの塗装工程が省略されてVOC低減が達成できるため、建材用途・家電用途で広く使われている。これまでのプレコート鋼板は、加工性の追及、加工性他性能(例えば硬度や汚染性)との両立を主眼に開発が進められ、現在では密着曲げや深絞り成形などのあらゆる成形を行っても塗膜の割れや剥離が発生しにくいプレコート鋼板が一般的になっている。プレコート鋼板は、塗膜の成形加工性向上により適用用途を拡大し、塗装工程省略による環境対策に貢献している。更に、近年ではこれらに加え、環境負荷を低減したクロメートフリータイプや様々な機能を付与したものも開発され、プレコート鋼板の更なる環境負荷低減に向けた取り組みがなされている。

本報では、環境負荷低減をキーワードに、進歩した近年のプレコート鋼板について紹介する。

2 プレコート鋼板のクロメートフリー化

プレコート鋼板は、図1に示すようにクロメート処理を化成処理に用い、クロム酸系防錆顔料を含むプライマー塗膜や裏面塗膜を用いる事が一般的であった。しかし、RoHS、WEEEなど環境負荷物質の使用を規制した法律が欧州で制定されたことで、家電向けプレコート鋼板を中心に6価クロム化合物を排除したクロメートフリータイプの開発が進められてきた。まずは、比較的マイルドな腐食環境で使用する屋内家電向けのプレコート鋼板でクロメートフリー化され^{1,2)}、現在では、厳しい腐食環境で使用する屋外家電向けプレコート鋼板のクロメートフリー化も達成されている^{3,4)}。

図2にエアコン室外機に成形されたクロメートフリー系プレコート鋼板の沖縄暴露試験結果を示す⁵⁾。クロメートフリー系プレコート鋼板は過去に使用されていたポストコート(後塗装材)より腐食幅が小さく、クロメート系プレコート鋼板と比較しても同等レベルの耐食性を有している事がわかる。

プレコート鋼板の場合、化成処理が耐食性に与える寄与は小さく、主にプライマー塗膜に依存していることが知られている⁶⁾。これはクロメート系及びクロメートフリー系の化成処

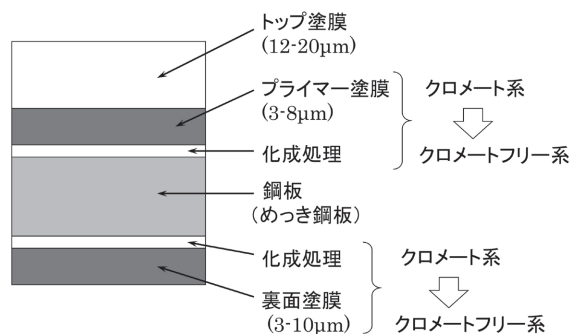


図1 一般的なプレコート鋼板の構成

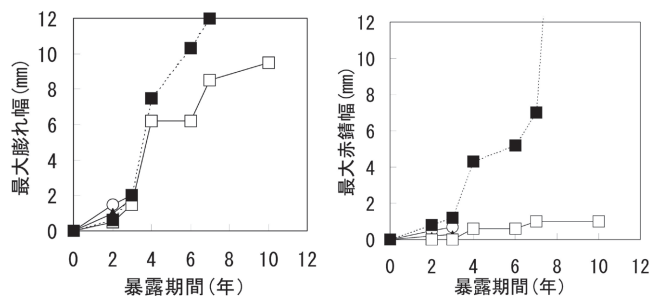


図2 エアコン室外機天板端面部の最大膨れ幅と最大赤錆幅(沖縄海岸地区)
○:クロメートフリー塗装鋼板(GI) プロットは3年まで
□:クロメート塗装鋼板(GI)
■:ポストコート(GA)
(参考文献5)より

理とプライマー塗膜とをそれぞれ組み合わせた実験にて検証されたものである。この結果は、クロメートフリー系プレコート鋼板は化成処理にて密着性を担保し、プライマー塗膜にて耐食性を付与するような設計が好ましいことを示唆している。クロメートフリー系プレコート鋼板の技術の多くは開示されていないが、化成処理には金属酸化物、樹脂、シランカップリング剤、シリカなどの複合系を用いる技術⁶⁾が、プライマー防錆顔料にはカルシウムイオン交換シリカとトリポリりん酸アルミとを組み合わせたものを用いる技術⁴⁾が開示されている。

また、プレコート鋼板のクロメートフリー化において大切なことは、適正な耐食性の評価方法を選定することである。図3は溶融亜鉛めっき鋼板を原板に用いたクロメート系プレコート鋼板とクロメートフリー系プレコート鋼板の下バリ端面部からの腐食幅について、沖縄（海岸地区）暴露2年と塩水噴霧試験500hとの相関を整理したグラフである⁷⁾。クロメート系とクロメートフリー系とを比較すると、沖縄暴露での膨れ幅は同レベルであっても塩水噴霧試験ではクロメートフリー系の方が膨れ幅が大きい傾向であることがわかる。一方、図4は図3と同じ試験片を用いて沖縄暴露2年とサイクル腐食試験（NCCT法3週）との相関を整理したグラフである⁷⁾。図5にNCCT法の試験サイクルを示す⁸⁾。塩水噴霧試験と比べるとサイクル腐食試験の方が沖縄暴露との相関の高いことがわかる。この様に塩水噴霧試験は実環境との相関の低い試験方法であるため、クロメートフリー系プレコート鋼板を実際に使用する場合は、実環境と相関の高いサイクル腐食試験で評価を行うべきであると考ええる。

3 成形加工性に優れたプレコート鋼板

プレコート鋼板の適用用途は、塗膜の成形加工性の進歩と共に拡大してきた。プレコート鋼板塗膜の曲げ加工性と塗膜硬度や耐汚染性とを両立させる技術⁹⁻¹¹⁾が確立されたことで、家電用途でのプレコート鋼板適用が拡大され、深絞り成形性に優れたものが開発されたことで、成形形状の厳しい家電用途や自動車分野へプレコート鋼板の適用が拡大してきた。

プレコート鋼板の深絞り成形性は、塗膜の伸びではなく、塗膜が変形されたときに内部に蓄積する弾性的なひずみエネルギーや塗膜のレオロジー特性が大きく影響することが知られている¹²⁻¹⁴⁾。近年では、塗膜のレオロジー特性をコントロールしてゴム状弾性率を低くし（図6）、これにメラミン濃化技術を利用して耐汚染性を付与、更には加工部の光沢保

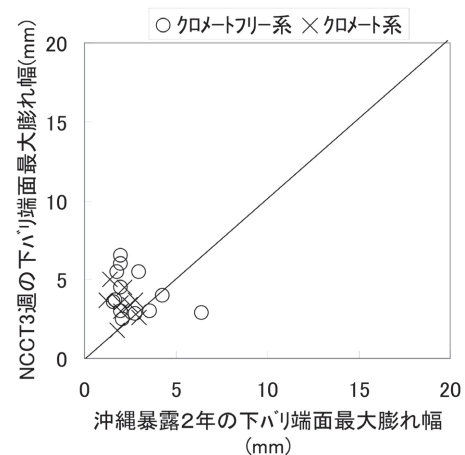


図4 沖縄暴露とサイクル腐食試験（NCCT法）との相関（参考文献7）より）

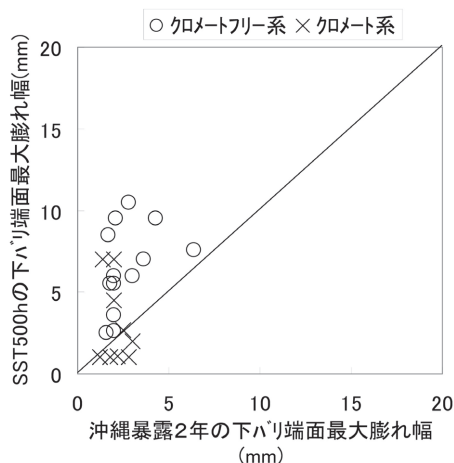


図3 沖縄暴露と塩水噴霧試験との相関（参考文献7）より）

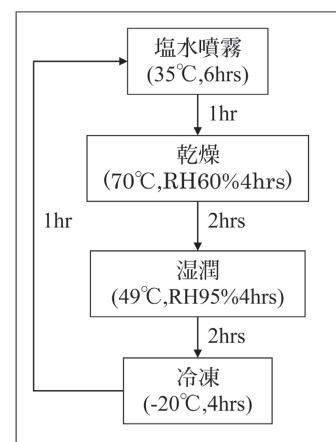


図5 サイクル腐食試験 NCCT 法の試験サイクル

持率を高めたプレコート鋼板が開発され、これを燃料タンク(図7)に適用した技術が報告されている^{15,16)}。これにより、当該用途ではVOCを大幅に削減できたとされている(図8)。

このように、今やプレコート鋼板の成形性は、母材である鋼板が成形可能な範囲であれば、どのような成形形状であっても成形可能なレベルにまで向上している。今後、プレコート鋼板の適用用途を更に拡大し、地球環境により貢献するためには、プレコート鋼板の接合技術開発や高機能性付与技術の開発が期待されている。

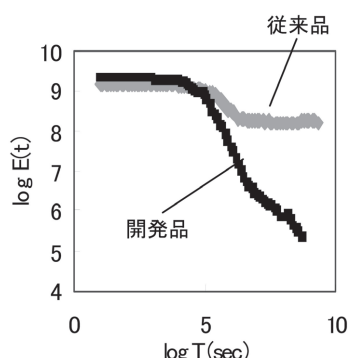


図6 従来のプレコート塗膜と開発した深絞り成形性に優れた塗膜のレオロジー特性(参考文献15)より)



図7 汎用エンジン燃料タンクの外觀(参考文献16)より)

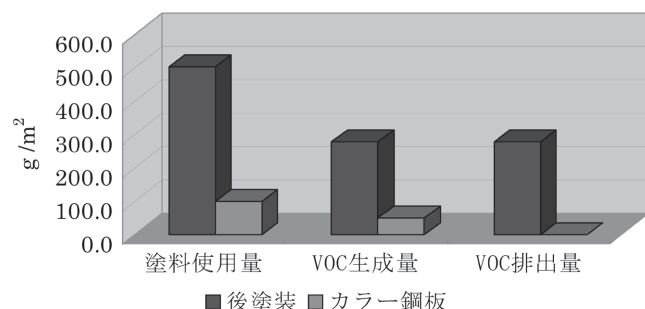


図8 塗料使用量とVOC削減量予測(参考文献16)より)

4 遮熱性に優れたプレコート鋼板

建材用プレコート鋼板の分野では、太陽光エネルギーを建物の屋根や外壁で反射させることで日射による屋内の温度上昇を抑制し、冷房負荷を低減することでCO₂排出を抑えるための技術「遮熱性プレコート鋼板」が開発されている。遮熱性プレコート鋼板は塗膜中に遮熱顔料を添加することで、太陽光の約40%を占める赤外線(波長780nm以上)の反射率を高めたプレコート鋼板である。塗膜の遮熱性は色調によっても異なり、特に黒色系塗膜の遮熱性を高めることが課題であった。従来、黒色顔料の多くは赤外線吸収率の高いカーボン系を用いることが一般的であった。図9にカーボン系顔料と遮熱顔料の波長ごとの反射率を示す¹⁷⁾。遮熱顔料は赤外領域での反射率がカーボン系顔料と比べて高いことがわかる。また、遮熱性は塗膜の反射率のみならず、原板の反射率も影響することが知られている。図10は溶融亜鉛めっき鋼板(GI)と55% Al-Zn合金めっき鋼板(AZ)の波長ごとの反射率を示したグラフである¹⁸⁾。溶融亜鉛めっき鋼板より55% Al-Zn合金めっき鋼板の方が赤外領域での反射率が高い事を示している。これら遮熱

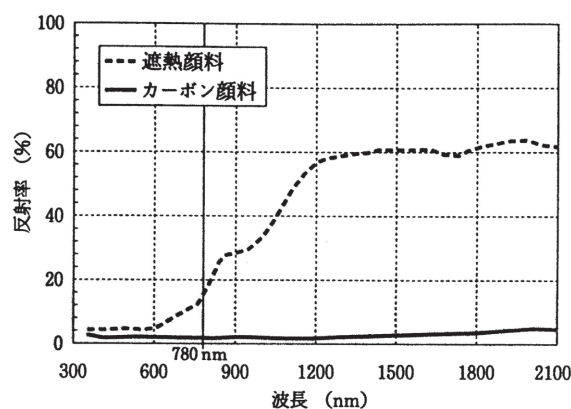


図9 遮熱顔料の反射率(参考文献17)より)

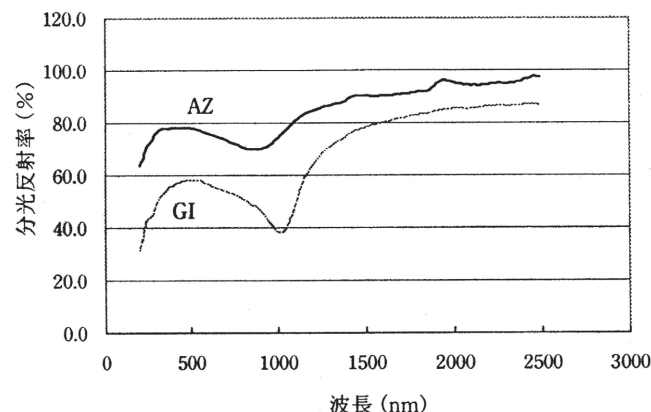


図10 めっき原板の反射率(参考文献18)より)

性プレコート鋼板を屋根に施工した場合、屋根面温度が約8～10℃低下していることも検証されており、当該鋼板は地球温暖化現象の抑制に貢献する材料として期待されている。

5 吸熱性・放熱性に優れるプレコート鋼板

家電製品は、近年のデジタル化や高性能化に伴い、ICや半導体など電子回路の搭載量が増え、これにより発熱量が増加している。家電製品の発熱は、誤動作や製品寿命の低下を引き起こす恐れがある。このような課題を克服するために様々な熱対策技術が開発されており、吸熱性・放熱性に優れるプレコート鋼板はその一つとして期待されている。

吸熱性・放熱性に優れるプレコート鋼板は各社から開発されており、「高吸熱性鋼板」、「放熱性鋼板」、「放吸熱性鋼板」などと名称は異なるが、いずれも鋼板（めっき鋼板）の表面に熱吸収性（＝熱放射性）を高めた特殊皮膜を被覆したタイプの塗装鋼板である¹⁹⁻²¹⁾。図11に示すように熱線が材料表面に入射すると、材料表面で反射するもの、材料に吸収されるもの、そして材料を透過するものに分けられる。ここで、金属のように熱線を透過しない材料の場合、入射した熱線は反射と吸収のみに分けられる。熱放射に対するキルヒホッフの法則によると、「熱放射率（ ϵ ）＝熱吸収率（ α ）」で表されるため、熱を良く放射する材料は熱吸収性も高い。熱吸収性に優れるプレコート鋼板（高吸熱性鋼板）と電気亜鉛めっき鋼板（EG）の表面の放射強度スペクトルを図12に示す。EGと比べて高吸熱性鋼板は理想黒体に近い放射強度スペクトル

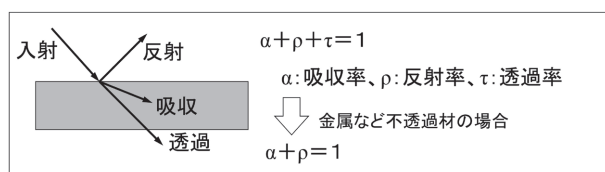


図11 放射線の入射、反射、吸収、透過の関係

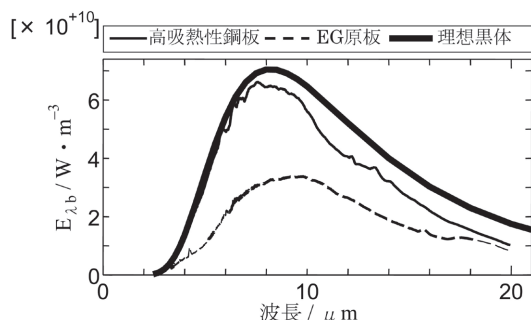


図12 各種鋼板の波長ごとの放射強度

を有していることがわかる。図13に示す方法で前記高吸熱性鋼板の熱特性を調査した結果が図14である²⁰⁾。EGと比べて高吸熱性鋼板の方が、熱源の入った箱内部の温度が約10℃低下していることが確認されている。

吸熱性・放熱性に優れるプレコート鋼板は、DVD機器やHDD、車載機器の筐体カバーなどに採用されており、家電製品の冷却ファンや冷却フィンの省略によるコストダウン、高性能化、小型化などの効果のみならず、省電力化、低騒音など環境への貢献も期待されている。

6 電磁波シールド性に優れるプレコート鋼板

家電製品のデジタル化、高性能化に伴うもう一つの課題として、電磁妨害の問題が挙げられる。電磁妨害はエミッションとイミュニティーとに大別される。前者は電気・電子機器から意図せず発生する電磁雑音が放送受信機、通信機器及び他の電子機器に影響を与えないようにすること意味しており、後者は静電気放電、雷サージ等の自然雑音や送信機器、移動通信体、意図的に電磁波を発生させる機器などからの人口雑音も含めた外部からの電磁雑音に対する耐性能力を意味

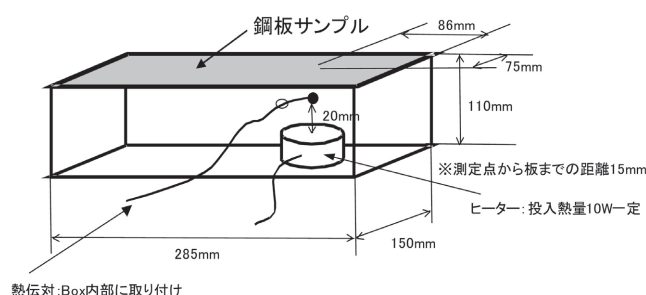


図13 吸熱性評価試験装置の概略図（参考文献20）より

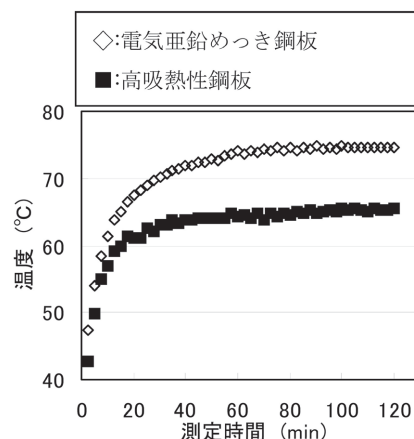


図14 高吸熱性鋼板の熱特性（参考文献20）より

している。これら電磁妨害に対しては、国際規格 CISPR 22 にて「情報技術装置の電波障害規制」として規格化されており、日本国内では CISPR 規格に準拠した国内家電メーカー等を中心とした VCCI (情報処理装置等電波障害自主規制協会) の規約規定 V-3 にて規格化されている²²⁾。

エミッションを抑制する手段の一つとして、電磁波が透過しにくい金属材料等で電子機器を覆ってしまう方法 (電磁波シールド) が挙げられる。銅板は電磁波シールド性に優れた材料であり、電子部品等を含む機器の筐体にこれを用いることで電磁波をシールドすることができる。しかし、プレコート銅板のように表面に樹脂皮膜が塗装されていると、これを用いて作成した筐体の接合部 (銅板と銅板との継ぎ目部) にて電磁気的な隙間が生じ、シールド効果が低減してしまう。この課題を克服するために開発されたものが、電磁波シールド性に優れたプレコート銅板である。

図15に表面処理銅板の電磁波シールド性測定方法を示す。この方法を用いて各種表面処理銅板の電磁波シールド性を測定した結果が図16である²³⁾。一般の塗装銅板は無処理の電気亜鉛めっき銅板と比べて電磁波シールド性に劣るが、電磁

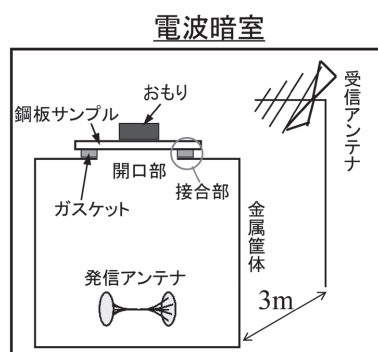


図15 表面処理銅板の電磁波シールド性測定方法
※発信アンテナと受信アンテナとをネットワークアナライザーでつなぎ、入出力比を測定

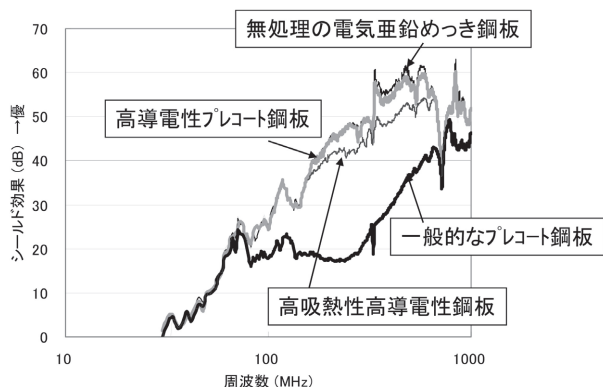


図16 塗装銅板の電磁波シールド性 (周波数とシールド効果との関係) (参考文献23) より)

波シールド性に優れた銅板 (高導電性プレコート銅板) は無処理の電気亜鉛めっき銅板とほぼ同等の電磁波シールド性を有している。また、電磁波シールド性と吸熱性とを有するプレコート銅板も開発されており、この材料も電磁波シールド性に優れることが確認できる。材料の電磁波シールド性は、伝達インピーダンスに依存していることが知られている²⁴⁾。表面処理銅板についても伝達インピーダンスの低い塗膜を銅板に被覆することで、電磁波シールド性を高めることができることが確認されている (図17)²⁵⁾。

エレクトロニクス技術の急速な発展や一般家庭への情報化進展に伴い、パソコンやデジタル家電がラジオやテレビなどの受信機に障害を与える電磁波問題の注目度は年々増加している。最近では電磁波吸収機能を有する電磁波吸収銅板などもプレスリリースされており²⁶⁾、電磁妨害を抑制する材料の開発は今後も盛んに進められるものと考えられる。

7 結言

プレコート銅板は、塗膜の成形加工性の向上と共に進歩してきた。従来のポストコートプレートをプレコート銅板に置き換えることでVOCなどの環境負荷物質が低減されるため、プレコート銅板の進歩は環境に優しい材料作りの進歩であると言えるであろう。近年では、クロメートフリー化が達成され、熱対策・電磁波対策機能なども付加されて、プレコート銅板は更に環境に優しい材料に進化している。本報では記載しなかったが、VOC削減を目的とした塗料のハイソリッド化²⁷⁾やシックハウス対策であるホルムアルデヒドを削減、撤廃する技術²⁸⁾なども開発されており、プレコート銅板の更なる環境負荷低減へ向けた取り組みがなされている。

「プレコート銅板で地球を救う」は言い過ぎかも知れないが、プレコート銅板は地球環境保護に役立つ材料であると筆

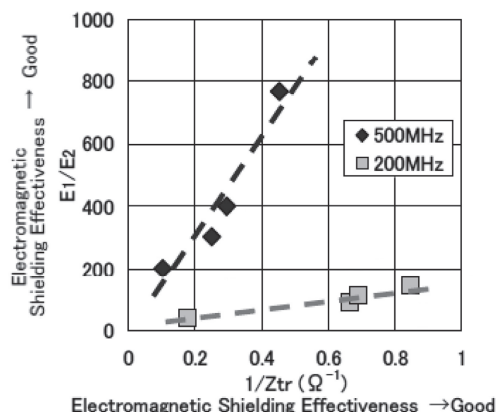


図17 伝達インピーダンスと電磁波シールド性との関係 (参考文献25) より)

者は確信している。今後も、魅力的な機能を有するプレコート鋼板が開発され、このような地球に優しいプレコート鋼板の適用用途・需要量が更に拡大することを期待する。

参考文献

- 1) 金井洋, 山崎真, 森陽一郎, 植田浩平, 森下敦司, 古川博康, 仲澤真人, 石塚清和, 和氣亮介: 新日鉄技報, 371 (1999), 39.
- 2) 吉見直人, 吉田啓二, 松崎晃, 佐々木健一, 堀澤輝雄, 小谷敬彦: NKK 技報, 178 (2002), 6.
- 3) 植田浩平, 金井洋, 古川博康, 木全芳夫: 新日鉄技報, 377 (2002), 25.
- 4) 貴答豊, 中元忠繁, 今堀雅司: 神戸製鋼技報, 54 (1), 62 (2004) .
- 5) 植田浩平, 金井洋: 第 20 回塗料・塗装研究発表会講演予稿集, (2005), 86.
- 6) 山本茂樹, 山口英宏, 水野賢輔: 塗装工学, 44 (2009) 1, 20.
- 7) 植田浩平, 金井洋, 野村広正, 古川博康: 表面技術協会第 103 回講演大会要旨集, (2005), 64.
- 8) 西岡良二, 野村広正, 植田浩平, 山崎隆生, 金井洋: 材料とプロセス, 9 (1996), 1284.
- 9) 金井洋, 岡襄二, 堤正也: まてりあ, 33 (1994) 6, 802.
- 10) 壺岐島健司, 薄木智亮, 須藤妙子, 八内昭博, 塩田俊明: 色材, 64 (1991) 12, 780.
- 11) 吉田啓二, 佐々木健一, 山下正明: 材料とプロセス, 11 (1998), 1216.
- 12) 植田浩平, 西岡良二: 塗装工学, 33 (10), 399-405 (1998)
- 13) Kohei Ueda, Hiroshi Kanai and Takeshi Amari; Prog. in Org. Coat. 45, 267 (2002)
- 14) Kohei Ueda, Hiroshi Kanai and Takeshi Amari; Prog. in Org. Coat. 45, 14 (2002)
- 15) Kohei Ueda, Hiroshi Kanai, Kengo Yoshida, Shiro Kamiyama and Shizuo Kimura: Proceedings of Galvatech'07, (2007), 534.
- 16) 深井直樹, 木村静雄, 神山史朗, 篠田明久, 金井洋, 植田浩平: 塑性と加工, 48 (2007) 563, 1065.
- 17) 白垣信樹, 金井洋: 塗装工学, 44 (2009) 1, 5.
- 18) 高橋通泰, 迫田章人, 壺岐島健司, 友弘実, 塩田俊明: 鉄と鋼, 82 (2003) 1, 135.
- 19) 平野康雄, 渡瀬岳史: 神戸製鋼技報, 52 (2002) 2, 107.
- 20) 植田浩平, 金井洋, 高橋武寛, 井上郁也: 表面技術協会第 108 回講演大会要旨集, (2003), 219.
- 21) 中丸裕樹, 樋貝和彦, 加藤千昭: JFE 技報, 8 (2005), 82.
- 22) VCCI-VE001「VCCI 測定技術者研究用テキスト」, 2006 年 5 月 (情報処理装置等電波障害自主規制協会 (VCCI) 教育研修専門委員会発行)
- 23) 細川智明, 植田浩平, 仲澤真人, 湯淺健正, 森本康秀: 材料とプロセス, 21 (2008), 1469.
- 24) 工藤敏夫: EMCJ89-96, (1990), 51.
- 25) 湯淺健正, 細川智明, 植田浩平, 仲澤真人, 森本康秀: 材料とプロセス, 21 (2008), 1470.
- 26) 例えば, 鉄鋼新聞, 2008 年 4 月 2 日発刊
- 27) 山口貴司, 寺尾修, 武石睦: 塗装技術, 10 (2005), 49.
- 28) 谷田修, 山口貴司: 塗装工学, 44 (2009) 1, 29.

(2009 年 8 月 24 日受付)