

建材外装用クロメートフリー塗装鋼板

Chromate-free Prepainted Steel Sheets Used for Exterior Building Materials

金井隆雄*
Takao KANAI

抄 録

55%Al-Znめっき鋼板を基材とする建材外装用プレコート鋼板におけるクロメートフリー化の概要と開発中の塗装鋼板の性能例について紹介し、開発中のクロメートフリー塗装鋼板がクロメート塗装鋼板とほぼ同等の性能を有していることを示した。また、クロメートフリー塗装鋼板を施工した事例について紹介し、耐食性、耐久性において良好な性能を維持していることを示した。

Abstract

This report describes that an overview of chromate-free prepainted steel sheets used for exterior building materials and the example of performance of coated steel sheet under development. Chromate-free prepainted steel sheets showed that they have the same performance almost the chromate type prepainted steel sheets. In addition, an example of chromate-free prepainted steel sheets applied to the roof materials was introduced and showed that they keep good performances in corrosion resistance and in durability.

1. 緒 言

工場や住宅の屋根、壁などに使用される建材用途のプレコート鋼板は、耐食性を重視する観点から、化成処理や下塗り塗膜（プライマー）にクロメートを含有する塗装鋼板が多く使用されてきた。しかしながら、最近の流れとして家電製品の筐体向けのプレコート鋼板がクロメートフリー化されるなど、環境に優しい製品が望まれるようになってきた。

ここでは、55%Al-Znめっき鋼板（ガルバリウム鋼板®）を基材とする建材外装用クロメートフリー塗装鋼板の現状と将来展望について述べる。

2. クロメートフリー塗装鋼板の概要

ガルバリウム鋼板®を基材としたクロメートフリー塗装鋼板の塗膜構成を図1に示す¹⁾。おもて面は、基材であるめっき鋼板表面に化成処理皮膜、下塗り塗膜、上塗り塗膜の3層の塗膜が形成されている。それぞれの塗膜に必要とされる機能は、化成処理皮膜が下塗り塗膜の密着性と耐食性、下塗り塗膜が耐食性の確保であり、上塗り塗膜は色調や光沢などの外観や意匠性、また必要に応じて耐汚染性、耐摩耗性などの各種の機能である。裏面も同様に化成処理

皮膜、下塗り塗膜、上塗り塗膜からなるが、おもて面ほど外観や意匠性が要求されず、また場合によっては下塗り塗膜が省略されることもある。

これまでは化成処理皮膜にクロメート系の防錆剤を、下塗り塗膜に6価クロムを成分として含む防錆顔料を添加して耐食性を発現させてきた。建材外装用クロメートフリー塗装鋼板は、これらクロメート系防錆剤、6価クロムを含有する防錆顔料を6価クロムを含まない成分に変更し所定の

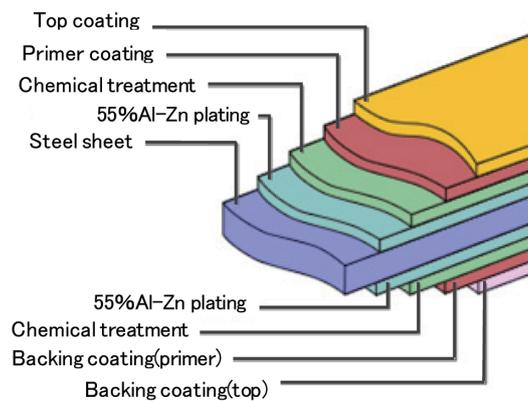


図1 クロメートフリー塗装鋼板の塗膜構成（模式図）¹⁾
Schematic illustration of prepainted steel sheet (chromate-free type)

* 鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員 工博 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511

耐食性を発現する必要があり、鋼板メーカー、塗料メーカーなどがそれぞれの特徴を生かして開発に取り組んでいる。

3. クロメートフリー化への取組み

2006年、EUにおいて家電製品向けROHS指令、自動車向けのELV指令が施行され、6価クロムの使用制限とEU加盟国内で販売するための含有率の基準値が定められた。これを受け、日本の家電メーカーでは、自主規制により3価、6価ともに含まない完全クロムフリー化、自動車メーカーでは6価クロムフリー（クロメートフリー）化の対応を行った。

我が国の建材分野における公的規制は、2002年のグリーン購入法により、ポストコート用塗料の6価クロムと鉛が規制された。この規制を受け、プレコート用塗料も塗料メーカー、鋼板メーカーの自主規制によって6価クロムフリー化、鉛フリー化を進めている²⁾。

公共工事関係では、国土交通省が制定している“公共建築工事標準仕様書”が3年ごとに改訂されている。この仕様書は公共建築工事に対して適用されるものであるが、民間の一般建築の仕様とされる場合も多く、業界全体の動きに影響を及ぼすものである。

本仕様書では、平成19年（2007年）版の化成処理工程の項に初めてクロメートフリー処理が記載され、クロム酸処理と併記されることで、正式にクロメートフリー処理が使用できることとなった。この記載については、平成22年（2010年）版、平成25年（2013年）版ともに変更されていない。

平成25年（2013年）版の改訂にあたって、国土交通省は、環境意識の高まりを受け、日本鉄鋼連盟に対してクロメートフリー処理への一本化の可否について打診を行った。これを受けて、日本鉄鋼連盟が各社の意見を集約した結果、打診案に同意する企業と反対する企業がほぼ同数であった。結果を受け、日本鉄鋼連盟としては、総意として一本化するのには困難であるとの判断を行い、国土交通省に対して、塗装亜鉛めっき鋼板のクロメートフリー処理については、標準規格がないため、まず現行のJIS規格にクロメートフリー処理を加える改訂を行い、各社の対応を推進すること、このJIS改訂後に改めて仕様書の記載内容の見直しを行うよう回答した。

このような動きの中、建材メーカーや塗料メーカーを中心に建材用塗装鋼板のクロメートフリー化が進められている。

4. クロメートフリー塗装鋼板の性能例

本章では、新日鐵住金(株)グループが開発を進めている建材外装用クロメートフリー塗装鋼板の性能の一例と腐食メカニズムについて述べる³⁾。

4.1 耐食性

4.1.1 塗膜膨れ

塗装ガルバリウム鋼板[®]を建材外装用として使用した場合、塗膜下に腐食生成物が堆積することに伴い塗膜膨れが発生する。本節では、屋外暴露サンプルについて端部、疵部及び曲げ加工部の膨れを評価した結果について述べる。

試験サンプルの塗膜構成を表1に示した。基材鋼板としてはガルバリウム鋼板[®]（AZ150、めっき厚さは片面20 μ m）、0.35mm厚さを用い、クロメートフリー化成処理皮膜、6価クロム系防錆顔料を含まない下塗り塗膜、上塗り塗膜を形成したサンプルを用いた。屋外暴露試験は、千葉県船橋市において南面に45°の傾斜でサンプルを設置し、3年間行った。

暴露サンプルの疵部と端面部の膨れ幅を図2に示した。疵部の膨れ幅はクロメートフリー、クロメートともに0.5mmであり、差異は認められない。一方、上ばり端部では、疵部と比較して膨れ幅は大きくなるものの、クロメートフリー、クロメートともに膨れ幅は1mmであり、同様に両者に差は認められない。

図3には、2T曲げ部の膨れの発生状況を評点で示した。評価は5段階で行い、評点5が最高（膨れなし）、評点1が最低（全面に膨れ発生）である。結果は、クロメートフリー、クロメートともに評点3であり、膨れの発生状況は良好ではないものの、両者に優劣は認められない。

以上、端部、疵部及び曲げ加工部の膨れを評価した結果、クロメートフリー系、クロメート系に差は認められないことがわかった。

4.1.2 白錆発生状況

本節では、白錆発生について、複合サイクル腐食試験

表1 屋外暴露サンプルの塗膜構成
Components of coating film of outdoor exposure specimens

No.	Specimen	Base steel	Chemical treatment	Primer coating	Top coating	Backing coating
1	Chromate-free PCM*	GALVALUME STEEL SHEET™ (AZ150) Thickness: 0.35 mm	Chromate-free type	Epoxy resin chromate-free pigment Thickness: 4 μ m	Polyester (blue color) Thickness: 10 μ m	Polyester no pigment Thickness: 5 μ m
2	Chromate PCM*		Chromate type	Epoxy resin chromate pigment Thickness: 4 μ m		

* PCM: Pre Coated Metal

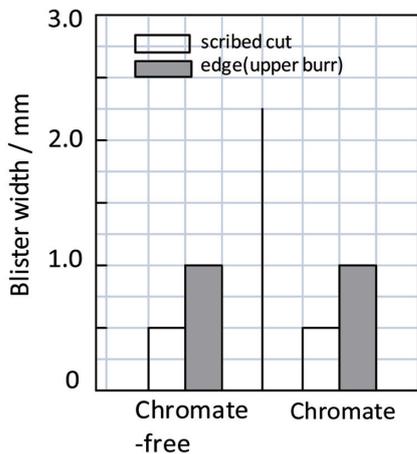


図2 クロメートフリー塗装鋼板端部（上ばり部），疵部の最大膨れ幅（千葉県船橋市，南面45°，3年）
Maximum blister widths of chromate-free pre-painted steel sheet specimens [scribed cut, upper burr] (Funabashi, south 45°, 3years)

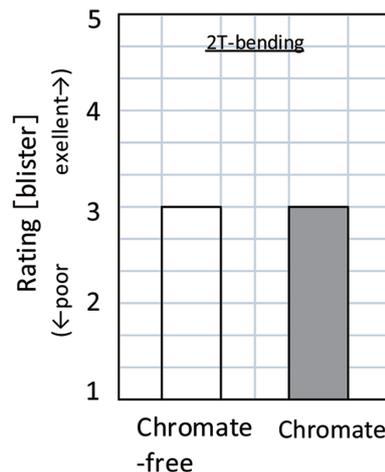


図3 クロメートフリー塗装鋼板曲げ部の膨れ（評点）（千葉県船橋市，南面45°，3年）
Blister ratings of chromate-free pre-painted steel sheet specimens [2T bending] (Funabashi, south 45°, 3years)

表2 サイクル腐食試験サンプルの塗膜構成
Components of coating film of cyclic corrosion test specimens

No.	Specimen	Base steel	Chemical treatment	Primer coating	Top coating	Backing coating (primer)	Backing coating (top)
1	Chromate-free PCM	GALVALUME STEEL SHEET™ (AZ150) Thickness: 0.35 mm	Chromate-free type	Epoxy resin chromate-free pigment Thickness: 3 μm	Polyester (blue color) Thickness: 15 μm	Epoxy resin chromate-free pigment Thickness: 1.5 μm	Polyester no pigment Thickness: 5 μm
2	Chromate PCM		Chromate type	Epoxy resin chromate pigment Thickness: 3 μm		Epoxy resin chromate pigment Thickness: 1.5 μm	

(CCT) で評価を行った結果について述べる。

試験サンプルの塗膜構成を表2に示した。表1とほぼ同じ塗膜構成であるが，下塗り塗膜の厚さが3 μm，上塗り塗膜の厚さが15 μmであること，また裏面には下塗り塗膜も塗装している点で表1の塗膜構成とは異なっている。

白錆の評価は2種類の形状のサンプルを用いて行った。T曲げサンプルを用いる方法では，4T曲げ，6T曲げに加工し，CCTの60～180サイクル間の白錆発生状況を5点法で評価した。R加工サンプルについては，以下の方法で行った。まず，50×100mmの板に90°の折り曲げ加工を行い，一つのサンプル内に0R～5Rの加工部を形成する。このサンプルを用いてCCTを行い，一定サイクルごとに白錆の発生状況を観察し，白錆が発生する限界の曲げ加工（R値）を評価した。

CCTはJASO M609に準拠して行った。試験サイクルを図4に示した。試験は塩水噴霧試験（SST）2h → 乾燥4h → 湿潤2hの合計8hで1サイクルが完了するものである。

T曲げサンプルの結果を図5に示した。クロメートフリー系では，4T曲げ6T曲げサンプルともに60サイクル終了時点で白錆評点3であり，その後，120サイクルで評点2に低下している。一方で，クロメート系もほぼ同様の評点であるが，120サイクル以降の評点が2または3であり，

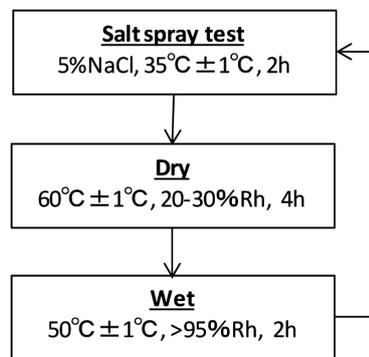


図4 複合サイクル腐食試験（CCT）試験サイクル
Test conditions of cyclic corrosion test

クロメートフリー系と比較して1ポイント程度高い評点であった。

図6にはR加工サンプルを用いた試験結果を示した。このサンプルを用いた場合，サイクル数の経過とともに白錆発生はRの大きい方に移動する。クロメートフリー系とクロメート系と比較すると，前者の方がやや白錆が発生しやすい傾向が認められ，180サイクル完了時点では，クロメートフリー系では2.4Rを境としてそれより厳しい加工部で白錆の発生が認められるのに対し，クロメート系では1.4Rが境界となっており，クロメートフリー系がやや劣位となっ

ている。

以上、白錆の発生について CCT で評価した結果、クロメート系がやや優位な結果となっているものの、顕著な差は認められない。また、4.1.1 節に示した暴露サンプルの結果と併せて評価すると、一般的な屋外環境において、クロメートフリー塗装鋼板はクロメート系塗装鋼板と同等の性能であり、実用レベルにあると考える。

4.2 腐食メカニズム

本節では、クロメートフリー及びクロメート塗装鋼板の屋外暴露サンプルについて、腐食部を観察した結果について述べる⁴⁾。

観察は千葉県船橋市で5年間暴露したサンプルについて行い、端面腐食部の走査型電子顕微鏡 (SEM) 像と元素分析結果を図7に示した。クロメートフリー塗装鋼板の観察結果を図7(a)に、クロメート塗装鋼板の観察結果を図7(b)に示した。

まず、クロメート系の特徴として、塗膜とめっき層の界面に Al の酸化物を主体とする腐食生成物が比較的緻密な層として存在し、腐食の進行を抑制している様子が観察される。観察したサンプルは端面腐食部であるが、疵部でも同様のメカニズムによって腐食の進行が抑制されていると考えられる。

一方、クロメートフリー系でも、同様に、Al の酸化物を主体とする腐食生成物が、塗膜とめっき層の間に認められ

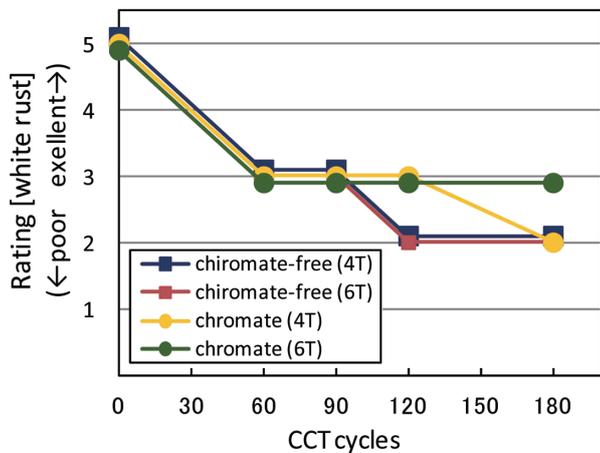


図5 クロメートフリー塗装鋼板曲げ部の白錆発生状況 (評点) Relations between ratings of white rust and CCT cycles of chromate-free prepainted steel sheet specimens [4T, 6T bending]

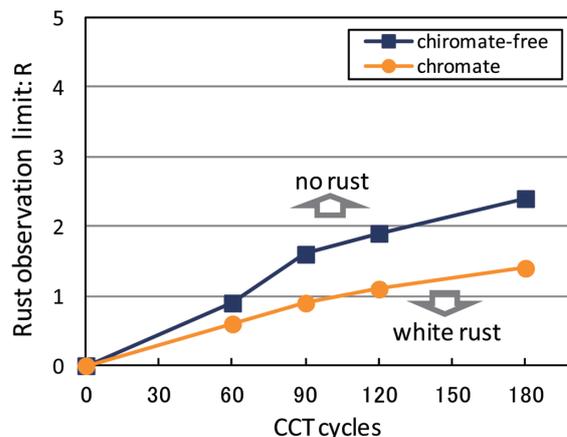
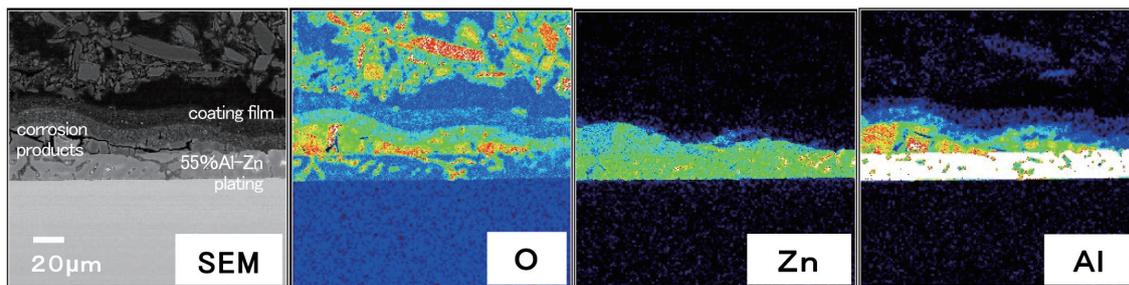


図6 クロメートフリー塗装鋼板 R 加工部の膨れ (評点) Relations between rust observation limit R and CCT cycles of chromate-free prepainted steel sheet specimens

(a) Chromate-free



(b) Chromate

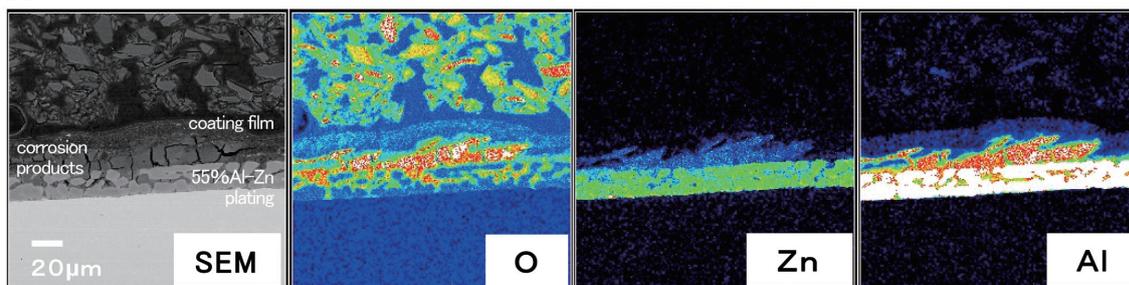


図7 屋外暴露サンプルの膨れ部断面の SEM イメージと元素マッピング

(a) クロメートフリー塗装鋼板, (b) クロメート塗装鋼板

SEM images and element mapping images of corrosion area in outdoor exposure specimens

る。従って、クロメートフリー系においてもクロメート系と同様に腐食が進行し、Alの酸化物を主体とする腐食生成物が生成することで腐食の進行が抑制されると考えられる。

また、これまでに、クロメート系の塗装ガルバリウム鋼板[®]の腐食メカニズムとして以下の知見が知られている^{5,6)}。

- ① 塗装ガルバリウム鋼板[®]においては、端面部の腐食は端開口部から進行し、Al-Zn共晶相のZnリッチ層から優先的に腐食する。
- ② 腐食先端部から内側のめっき健全部と塗膜の界面にはNaの濃化が観察されるものの、腐食先端部のClの濃化は顕著ではない。
- ③ 下塗り塗膜中のクロメートの役割は、塗膜のバリア性を向上させるのではなく、めっき表面の不動態皮膜を安定化させるものである。

図7に示した通り、クロメートフリー系とクロメート系の腐食形態、及び腐食抑制のメカニズムは類似しており、クロメートフリー塗装鋼板の腐食や防食メカニズムの検討にあたっては、クロメート系の知見を最大限に活用することができると考えられる。

5. 施工事例の紹介

本章では、ガルバリウム鋼板[®]を基材としたクロメートフリー塗装鋼板の施工事例を紹介する。

施工案件は、千葉県富津市にある新日鐵住金技術開発本部敷地内のゲストハウス屋根で、2009年2月に施工を行ったものである。施工部の全景写真を図8に示した。前面の屋根部分にクロメートフリー塗装鋼板を、後面部分に比較材としてクロメート系塗装鋼板を施工している。

現在、施工後約5年が経過しているが、外観上は全く問題がない。また、2013年5月(施工後4年3か月)に詳細調査を行っており、結果を以下に記載する。

- ① クロメートフリー材では、厳しい曲げ加工部で、ごく軽微ではあるものの、クロメート材より若干多い白錆が認められた。ただし、2年前の同様の調査時から目立った進行は認められない。
- ② 加工部のテープ剥離法による密着性は全く問題ない状態であった。
- ③ 平面部の色差、光沢保持率は、全体的に赤黒い汚れの付着があるものの、クロメートフリー材とクロメート材



図8 塗装鋼板施工事例
(屋根材, 新日鐵住金構内, 2009年2月施工)
Example of chromate-free pre-painted steel applied to roof materials (February 2009)

はほぼ同等である。

以上の結果より、ガルバリウム鋼板[®]を基材としたクロメートフリー塗装鋼板は、施工後約5年経過した時点でクロメート材とほぼ同等の耐食性、耐久性を示していると判断できる。

6. まとめと今後の展望

建材外装用のプレコート鋼板においては、家電分野と比較してクロメートフリー化の動きが遅れている。これは、屋外で使用されるためより厳しい耐食性が要求され、十分な性能を有するものが得られていないことが一つの理由であると考えられる。

本報告では、建材外装用プレコート鋼板におけるクロメートフリー化の概要と新日鐵住金グループにおけるクロメートフリー塗装鋼板の現状について紹介した。現時点では、クロメート材と比較してクロメートフリー材で若干白錆が発生しやすい傾向が認められるものの、両者はほぼ同等の耐食性を有し、耐久性も同等であると認識している。

建材外装用のクロメートフリー塗装鋼板は今後ますます需要が増えると予想されることから、より性能の高い製品を需要家に提供するべく開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 日鉄住金鋼板(株)ホームページ: <http://www.nisc-s.co.jp/>
(一部、著者による変更あり)
- 2) 建材用塗装鋼板の端面防錆機構解明および寿命予測研究会報告書. (社)日本鉄鋼協会, 2009
- 3) 及川広行, 金井洋, 野村広正, 金井隆雄: 第25回塗料・塗装研究発表会 講演予稿集, 2010, p. 63-64
- 4) 及川広行, 金井洋, 野村広正, 金井隆雄: 第25回塗料・塗装研究発表会, 2010
- 5) 田原晃: 実暴露試験片の断面観察と機器分析. 建材用塗装鋼板の端面防錆機構解明および寿命予測研究会報告書. 2010, p. 9-17
- 6) 西方篤, 津田豊史, 水流徹: 鉄と鋼. 5 (7), 565-572 (2009)



金井隆雄 Takao KANAI
鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員
工博
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511