

技術論文

# 下層塗膜の色調を生かした新しい機能性プレコート鋼板の提案

## Proposal of New Functional Pre-painted Steel Sheets Utilizing the Color Tone of the Undercoat Film

古川 博康\* 柴尾 史生  
Hiroyasu FURUKAWA Fumio SHIBAO

### 抄 録

プレコート鋼板の着色層の上層に機能性のクリア塗膜を設けることで、所定の機能を付与するとともに、着色層の色調を生かした意匠を得ることができる。この考え方に基づく3種類のプレコート鋼板を提案した。撥油・撥水型は、多くの物質との非粘着性に優れ、メンテナンスの簡略化用途への適用が期待される。再帰反射型は、夜間や暗所での光照射による視認性に優れるため、暗所での安全対策用途に適している。サーモクロミック型は、温度により色が変化するものであり、高温や低温による危険を視覚的に伝えることができるため、防火扉や道路凍結の注意喚起等の用途への適用が期待される。

### Abstract

By providing a functional clear coating film on the surface of a colored layer of the pre-painted steel sheet, it is possible to impart the function and, in addition, obtain a design that utilizes the color tone of the undercoat layer. We proposed three types of pre-painted steel sheets based on this idea. (1) The oil- and water-repellent type pre-painted steel sheet has excellent non-adhesiveness to many substances, and is expected to be applied to applications that simplify maintenance. (2) The retroreflective type pre-painted steel sheet has excellent visibility due to light irradiation at night or in dark places, and is suitable for safety measures in dark places. (3) The thermochromic type pre-painted steel sheet changes color depending on the temperature and can visually convey the danger caused by high or low temperatures, so it is expected to be applied to usages such as fire doors and warning signs for icy conditions.

## 1. 緒 言

プレコート鋼板(以後PCMと略す)は、あらかじめ塗装を施した鋼板である。鋼板ユーザーではプレコート鋼板を使用することで自社での塗装工程を省略することができ、揮発性有機化合物(Volatile Organic Compound: VOC)問題の解決、塗装設備に使用していたスペースの有効活用などのメリットが得られるため、家電メーカーや建材メーカーを中心に、プレコート鋼板は広く用いられている。日本製鉄(株)ではビューコート®、テクスター®、および月星カラー®の商標で製造販売を行っている。図1にプレコート鋼板の代表的な塗膜断面構成を示す。原板としては、溶融亜鉛めっき鋼板(GI)や電気亜鉛めっき鋼板(EG)などの亜鉛系めっき鋼板が主に使用され、近年では耐食性の観点から、スーパーダイマ®(SD)を代表とするZn/Al/Mg系合金めっき鋼板も広く使用されるようになってきている。化成処理層は、

塗膜の密着性向上を主目的とするもので、塗装前処理として施される。表面の塗膜は、主に原板との密着性や耐食性を担うプライマー、および意匠性や硬度、加工性、耐汚染性などの表層機能を担うトップコートの2層構造とするのが一般的である。一方、裏面側の塗膜はポリエステル系塗

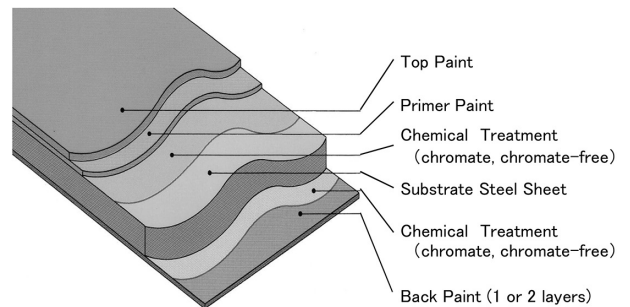


図1 一般的なプレコート鋼板の断面構成  
Cross section of general pre-painted steel sheet

\* 東日本技術研究部 薄板・表面処理研究室 表面処理研究課 主幹研究員 博士(工学) 千葉県君津市君津1 〒299-1141

装を1コート施しただけのことが多い。基本的にプレコート鋼板が使用される際に裏面は隠れるため、高度の性能は要求されないことが多いためである。ただし、裏面にも性能が要求される場合や、高度の端面耐食性が要求される場合などには、裏面も2コート仕様とするのが一般的である。

さて、上述のようにプレコート鋼板は広く認知され、建材、家電製品、あるいは一部の自動車部品等に使用されるようになったが、まだプレコート鋼板の潜在能力の一部しか発揮できていないと、筆者らは考えている。プレコート鋼板は、基板のめっき、化成処理、および何層にも及ぶ塗膜による複合材料であり、それらの組み合わせの数を考えれば開発要素は多く存在する。現在の一般的なプレコート鋼板の仕様の範疇から脱することにより、プレコート鋼板の新たな用途が開ける可能性があるのではないかと考える。著者が着目している考え方として、従来の着色層であるトップコートよりもさらに上層に機能性のクリア塗膜を設ける“トップクリア型”のプレコート鋼板がある。最表層をクリア皮膜にすることにより下層が透過して視認でき、下層塗膜の色調を生かした意匠を得ることができる。また、トップクリア層に特定の機能を付与することによって、着色層がいかなる色調であっても、単一のトップクリア塗料でその機能を発現させることが可能となる。既存の塗装ラインでの塗装方法など工夫が必要な面もあるが、その点がクリアできれば、塗料種削減によるコスト削減、新たな機能設定による使用用途の拡大などが期待できる。本稿では、このような考えに基づく新しい機能性プレコート鋼板を3種類提案したい。いずれもまだ実用の実績は無く、それぞれ課題を残すものと思われるが、プレコート鋼板の可能性を広げる第一歩と捉えている。

## 2. 撥油・撥水型プレコート鋼板

### 2.1 開発のねらい

市場にはプレコート鋼板を使用した商品が多数出回っているが、これらを長期間にわたり使用すると塗装表面に種々の汚れが付着するため、メンテナンスのため清掃作業が必要となる。汚れの種類は、その商品が使用される環境によって様々であり、油性や水性インク、油汚れ、埃、食品汚れ、屋外での雨だれ汚れなど多岐にわたるため、場合によっては、溶剤で拭いても汚れが除去できないこともあ

る。しかし、どのような種類の汚れであっても乾拭きするだけで除去できるプレコート鋼板を提供できれば、多用途の商品に適用可能であり、日頃のメンテナンスの簡便化に貢献できると考えられる。そこで、従来のプレコート鋼板のさらに上層に、油性、水性いずれの物質をもはじく撥油・撥水型塗膜を設けたプレコート鋼板を発想した。1章でも述べたように、撥油・撥水型塗膜をクリア皮膜とすることで、下層の着色塗膜の色が生かせるため、同一の撥油・撥水型塗料で全ての着色塗装に適用することができる。また、機能を最表層のクリア皮膜に分離して担わせることにより、膜厚の適正化によるコスト低減やその他性能バランスの調整が可能となることもメリットである。

### 2.2 塗膜の構成

検討した撥油・撥水型プレコート鋼板の構成を図2に示す。また、実際に日本製鉄の君津CCL(カラーコーティングライン, 東日本製鉄所君津地区)にて製造したサンプルの内容を表1に示す。

### 2.3 各種の性能

#### 2.3.1 油性インク拭き取り性

各サンプルの塗装面に油性インク(マジックインキ®)(赤および黒)でマーキングし、24時間放置した後、乾いたガーゼで拭き取った。結果を表2に示す。また、サンプル2のマーキングのガーゼ拭き取り前後の写真を図3に、サンプル3および5のマーキングの写真を図4に示す。

撥油・撥水型プレコート鋼板はいずれも、着色層の色やトップクリア層の膜厚に関わらず、油性インクが小さな滴状にはじき、線が描けなかった。また、ガーゼで乾拭きすることにより簡単に拭き取ることができ、痕跡は全く残ら

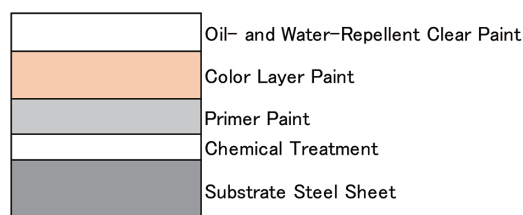


図2 撥油・撥水型プレコート鋼板の断面構成  
Cross section of oil- and water-repellent type pre-painted steel sheet

表1 供試材  
Samples

Sample No.	1	2	3	4	5	
Cross sectional structure of paint	Top clear paint	Water and oil repellent 3 μm	Water and oil repellent 1 μm	Water and oil repellent 1 μm	-	-
	Color layer paint	General white 16 μm	General white 16 μm	General metallic 16 μm	General white 16 μm	General metallic 16 μm
	Primer paint	General 5 μm	General 5 μm	General 5 μm	General 5 μm	General 5 μm
Substrate	GI	GI	GI	GI	GI	

表2 油性インク (マジック) のはじき性と拭き取り性  
Oil-based ink repelling and wiping performances

Sample No.		1	2	3	4	5
Red	Repelling	Repelling	Repelling	Repelling	No repelling	No repelling
	Dry wiping	No trace	No trace	No trace	Trace	Trace
Black	Repelling	Repelling	Repelling	Repelling	No repelling	No repelling
	Dry wiping	No trace	No trace	No trace	Trace	Trace

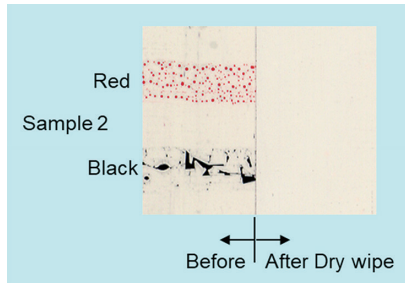


図3 油性インクのはじき性と拭き取り性  
Oil-based ink repelling and wiping performances

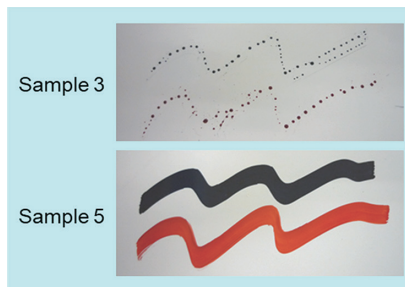


図4 油性インクのはじき性  
Oil-based ink repelling performance

なかった。これに対して、比較の一般プレコート鋼板 (サンプル4および5) は、乾拭きしても全く油性インクを除去することはできなかった。

### 2.3.2 耐食品汚染性

サンプル2, および4 (いずれも白色) について、耐食品汚染性を調べた。

試験方法: 各サンプルの塗装面に、醤油, ソース, からし, およびケチャップをそれぞれ塗布し, 80℃オーブンで24時間加熱した後, 室温に冷却し, ベンジンで拭き取った。各食品の跡残りの程度を目視にて評価した。

結果の写真を図5に示す。一般塗料のサンプル4では、加熱により食品がこびりついて脱離できないが、撥油・撥水型のサンプル2では、ソースとケチャップで若干の痕跡が見られるものの、耐食品汚染性が良好であることが確認できた。

### 2.3.3 一般性能

サンプル2 (白色), 3 (メタリック), および4 (比較: 白色一般材) について、一般的にプレコート鋼板に求められる性能を調べた。結果を表3に示す。これより以下のこと

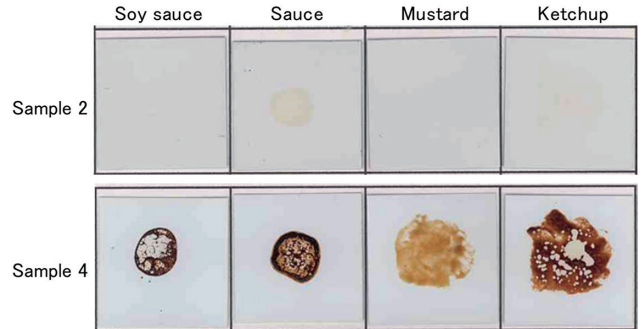


図5 各種食品の耐付着性  
Food adherence resistance properties

が言える。

- 撥油・撥水型サンプルは、白色、メタリックのいずれも、鉛筆硬度試験、基盤目試験、エリクセン押し出し試験 (5 mm)、デュポン衝撃試験、T曲げ試験と比較の一般材と同等以上の結果を示しており、塗膜の加工密着性について一般的な家電製品に適用しうる性能を有していると考えられる。
- 耐薬品性 (耐酸, 耐アルカリ), 耐溶剤性, および耐食性も、比較の一般材と同等に良好である。
- サンシャインウェザーオメーター (SWOM) による促進耐候性試験で色調の変化や光沢値の低下は見られず、良好な耐候性を有している。屋外用途への適用も可能であると思われる。

### 2.4 撥油・撥水性能の維持耐久性

撥油・撥水型プレコート鋼板を各種の条件下で使用した場合、性能が維持されるのかを確認するため、各種の促進試験後の油性インク拭き取り性について調べた。結果を表4に示す。紫外線や薬品により“はじき性”が低下するケースが見られる。これは塗膜表面が紫外線や薬品により若干のダメージを受け、表面粗度が上昇したためと推察される。しかし、拭き取り性は低下していない。これは、クリア皮膜層のダメージは表層に留まり、皮膜自体は十分に残留しているためと推察される。今回の結果より、撥油・撥水性能は多種の促進環境下においても維持されることがわかった。

### 2.5 想定される用途

一般的な家電製品への適用が想定されるが、その他の用途として、食用油の汚れが懸念されるレンジフードや電子レンジの内箱、オフィス用鋼製家具やパーティションが考

表3 各供試材の基本性能  
Basic properties of samples

Sample No. (Type of PCM)	2 White (Water and oil repellent)	3 Metallic (Water and oil repellent)	4 White (General)
Pencil hardness 500 gf	H	H	H
Cross cut & peeling	100/100	100/100	100/100
Erichsen 5 mm & peeling	No crack No peeling	No crack No peeling	No crack No peeling
Dupont impact & peeling 1/2 in., 500 g, 30 cm	No crack No peeling	No crack No peeling	No crack No peeling
T-bend & peeling	0T A few cracks No peeling	No crack No peeling	No crack No peeling
	2T No crack No peeling	No crack No peeling	No crack No peeling
Acid resistance 3% $H_2SO_4$ 20°C 24 h dip	No blister	No blister	No blister
Alkali resistance 3%NaOH 20°C 24 h dip	No blister	No blister	No blister
Solvent resistance Ethanol 20°C 24 h dip	No change	No change	No change
Solvent resistance Petroleum benzine 20°C 24 h dip	No change	No change	No change
SST 500 h Max. blister from X-scratch	<2 mm	<2 mm	<5 mm
SWOM 120 h $\Delta E$ / Gross-retention	<1.5 / 95~105%	<1.0 / 95~105%	<1.5 / 95~105%

表4 油性インク(マジック)のはじき性と拭き取り性の持続性  
Sustainability of oil-based ink repelling and wiping performances

Acceleration	Sample 2 (White)		Sample 3 (Metallic)	
	Repelling	Dry wiping	Repelling	Dry wiping
JASO-CCT 40cyc.	Excellent	No trace	Excellent	No trace
SST 240 h	Excellent	No trace	Excellent	No trace
SST 500 h	Excellent	No trace	N.D.	N.D.
HCT 50°C90%RH 360 h	Excellent	No trace	N.D.	N.D.
Hot water boiling 2 h	Excellent	No trace	Excellent	No trace
Germicidal lamp 20 cm 6 h	Fair	No trace	Good	No trace
SWOM 500 h	Fair~Poor	No trace	N.D.	N.D.
5%NaOH 8 h	Excellent	No trace	N.D.	N.D.
5% $H_2SO_4$ 24 h	Fair	No trace	N.D.	N.D.
Toluene dip 1 h	Good	No trace	Fair	No trace

Rating of repelling: Excellent&gt;Good&gt;Fair&gt;Poor, N.D.: No data

えられる。また、撥油・撥水性塗膜は接着剤や粘着剤との非接着性に優れるため、ガード下や公共設備の壁面などの張り紙防止あるいは落書き防止用途に使用することも有効であると考えられる。

### 3. 再帰反射型プレコート鋼板

#### 3.1 開発のねらい

再帰反射とは、物体に対していかなる方向から入射した光であっても、反射光の方向が入射から360度反転し、光源の方向に帰っていく性質のことを言う。夜間のスポットライトによる全方向からの視認性に優れるため、この性質を利用した製品は、道路標識、バリケード、舗装マーカー、

車両や衣服の安全用再帰反射シートなど、様々な物品に広く使用されている。衣服の安全用再帰反射シートの例を図6に示す。再帰反射性を有するプレコート鋼板を提供することで、主に夜間や暗所での安全対策用途に使用されることが期待できる。

再帰反射性を発現させる方法の一つとして、ガラスビーズを含有する塗料を塗装する方法が知られている。その概念図を図7に示す。ガラスビーズに入射した光はビーズの裏側にて反射し、光源の方向に再帰していく。この方法をプレコート鋼板に適用することを考えた。ただし、プレコート鋼板の製造ラインで一般的に使用されているロールコーターでは、大粒径のガラスビーズ(約60 $\mu m$ )を含有する塗



料を塗布することは難しい。塗料塗布時にロール-鋼板間のギャップをガラスビーズが通過することができず排除されてしまうためである。しかし、日本製鉄の君津 CCL のカーテンフローコーターを使用すれば、非接触式の塗布方式であるため、ガラスビーズが排除されることなく塗装が可能である。また、プレコート鋼板の下層皮膜を着色層とし、後述する効果的な塗膜構成とすることで、再帰反射光の反

射効率や色調の向上も期待できる。

### 3.2 塗膜の構成

#### 3.2.1 サンプルの作製

図 8 に示すような断面構成を有するサンプル A, B, C, および D を実験室にて作製した。使用した原板および各層の塗料を表 5 に示す。まず、化成処理を施した原板に白色プライマー塗料を乾燥膜厚が  $5\mu\text{m}$  となるようにバーコートにて塗布し、鋼板到達温度 (PMT)  $215^\circ\text{C}$  で乾燥させた (全サンプル共通)。その上層に、反射層としてメタリック塗料を乾燥膜厚が  $10\mu\text{m}$  となるようにブレードにて塗布し、サンプル A および C については PMT  $230^\circ\text{C}$  で乾燥させた。続いて、サンプル C についてはメタリック塗料が乾燥した上層に、サンプル B および D については、メタリック塗料が乾燥せずにウェットな状態である上層に、ガラスビーズを含有するクリア塗料をそれぞれ所定の乾燥膜厚となるようにブレードにて塗布し、PMT  $230^\circ\text{C}$  で乾燥させた。以上のような方法で作製した結果として得られた各サンプルの



図 6 再帰反射シートの使用事例  
Example of use of retroreflection sheet

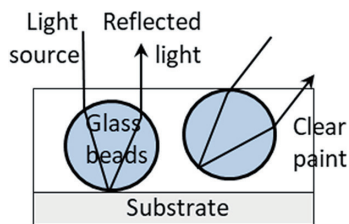


図 7 再帰反射の概念図  
Concept of retroreflection light PCM

表 5 供試材に使用した原板および塗料  
Used substrate and paints for PCM samples

Substrate	0.5 mm GI with chromate-free chemical treatment
Primer layer	White primer paint (polyester/melamine type) (contains white pigment & Chromate-free rust preventive pigment)
Reflect color layer	Metallic paint (polyester/melamine type)
Top layer	Clear paint (polyester/melamine type) (contains $60\mu\text{m}$ glass beads)

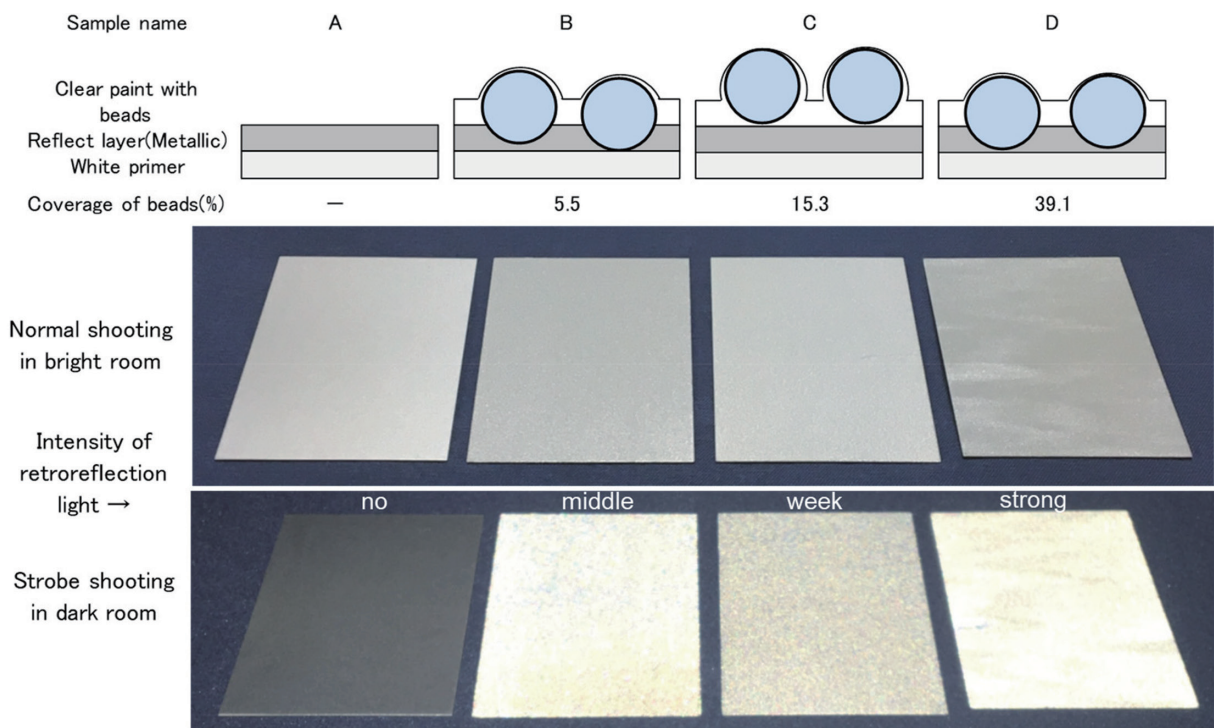


図 8 供試材の断面構成と再帰反射強度  
Cross section of samples and their intensity of retroreflection light

ガラスビーズの被覆率（塗装面積に対するビーズの占める面積%：塗膜表面から顕微鏡観察にて測定）も併せて図8中に示す。

### 3.2.2 再帰反射性の確認

各サンプルの再帰反射性を比較するため、暗所でストロボ撮影を行った結果を図8内に併せて示す。下層の反射層（メタリック塗料）と上層のクリア層（ガラスビーズ含有）をウェットな状態で積層塗布し、同時に乾燥させたサンプルBとサンプルDは、ビーズ被覆率に対する再帰反射光の強度が相対的に高い傾向が見られる。即ち、サンプルBはサンプルCよりもビーズ被覆率が低いにもかかわらず、再帰反射光の強度がサンプルCよりも高い。これは、ガラスビーズの下部が下層（反射層）の塗膜内に沈み込んで覆われることにより、斜め方向からの入射光であっても効率的に再帰反射されるためと考えられる。一方、逐次塗布・乾燥によるサンプルCはガラスビーズの沈み込みが無い場合、ガラスビーズの下部と反射層との間にクリア皮膜が介在し、特に斜め方向からの入射光では、反射光の強度が低下したものと考えられる。以上の結果より、カーテンフローコーターを用いて2層の塗料をウェットな状態で同時塗布し、上層のガラスビーズが下層に沈み込んだ塗膜構造を実現することで、再帰反射光の強度が向上することが期待できる。

### 3.2.3 カーテンフローコーターによる塗装外観

表5に示した塗料のうち、着色層のメタリック塗料を白色塗料に変更し、カーテンフローコーターを用いて塗装実験を行った。下層の着色層（白色塗料）および上層のトップクリア層（ガラスビーズ含有クリア塗料）の膜厚をそれぞれ種々変化させてウェットオンウェット塗布し、熱風オーブンによりPMT230℃で乾燥させた。得られたプレコート鋼板は、下層が白色であることから、白さが際立つ外観となった。トップクリア型のプレコート鋼板のメリットである、下層の色調を生かした意匠表現が可能であることがここでも示された。

得られた各種サンプルの再帰反射光の強度（明るさ）を目視にて序列化し、上層膜厚/下層膜厚の値との関係をグラフ化したものを図9に示す。この結果より以下のことが言える。

- (1) 概ね2本の近似線に分類され、それぞれ下層膜厚が厚い場合と薄い場合に帰属される。下層膜厚が厚いほうが再帰反射強度が低い傾向が見られる。これは、下層の白色皮膜が厚いとガラスビーズが白色塗料内に必要以上に埋没し、かえって再帰反射性が低下するものと考えられる。
- (2) いずれの近似線も、上層膜厚/下層膜厚の値が低いほど、再帰反射強度が低い傾向が見られる。上層膜厚はガラスビーズの被覆率と比例するので、これは当然の

結果と言える。

以上の結果より、高い再帰反射強度を得るには、トップクリア塗料のガラスビーズ含有量および膜厚を適切に制御してガラスビーズの占有被覆率をアップさせることが有効であると言える。また、今回の白色のように下層の着色層が光を透過しない色の場合は、ガラスビーズが過度に埋没しないよう下層膜厚の上限に注意することが必要と言える。

### 3.3 加工性

再帰反射型プレコート鋼板は、大粒径のガラスビーズが塗膜表面から突き出た形状をしているため、鋼板の加工によりガラスビーズが脱落することが懸念される。そこで、3.2節で作製したサンプル（図9の中で再帰反射強度が最も高いサンプル）を用いて、0T曲げ試験および塗装面を外側とする90度曲げ試験（内r=0mm）を実施した。結果を表6に示す。0T曲げ、90度曲げともに、加工部の塗膜に亀裂やビーズの脱離は無く、テープ剥離してもビーズの脱離は

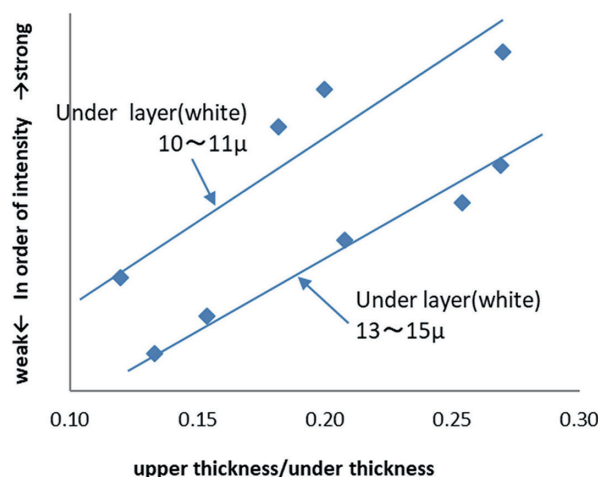


図9 下層膜厚の違いによる再帰反射強度の変化  
Change of intensity of retroreflection by under layer thickness

表6 再帰反射型PCM (GIベース)の加工性  
Formability of retroreflection light PCM (substrate GI)

Test	Guard film	Result		
0T-bend	Without	Visual	No crack	
		After tape peeling	No film peeling No beads desorption	
V-bend (90°) inner r=0mm	Outer R part	Without	Visual	No crack
			After tape peeling	No film peeling No beads desorption
	Mold rubbing flat part	Without	Visual	Some beads desorption
			After tape peeling	No film peeling More beads desorption
Outer R part	With	Visual	No crack	
		After tape peeling	No film peeling No beads desorption	
		Mold rubbing flat part	Visual	No beads desorption
		After tape peeling	No film peeling No beads desorption	

発生しなかった。ただし、金型プレスにより90度曲げを行う際に鋼板平面部の塗膜が金型と擦れて扱かれた部分に、塗膜からのビーズの脱離が見られた。しかし、再帰反射塗膜の表面に保護フィルムを貼り付けて加工したところ、該当する部分でビーズの脱離は発生しなかった。

### 3.4 想定される用途

夜間や暗所での視認性確保の用途に使用されることが想定できる。例えば、電柱の巻き鋼板やガードレール等への適用が考えられる。

## 4. サーモクロミック型プレコート鋼板

### 4.1 開発のねらい

近年、“消せるボールペン”が文具メーカーで開発、実用化されている。このインクには、高温で透明になり低温で発色するサーモクロミック染料が使用されている。代表的なサーモクロミック染料であるロイコ染料の化学式を図10に示す。昇温/降温により周囲のH<sup>+</sup>濃度を変化させる顕色剤を併用することでロイコ染料の分子構造が変化する。その結果、有色または無色となる。

サーモクロミック染料を塗膜の着色剤に使用することで、温度により色が変化する“サーモクロミック機能”を有するプレコート鋼板を着想した。このサーモクロミック型プレコート鋼板は、厳密には“トップクリア型”とは言えないが、温度によりトップ塗膜の色が無色透明になり下層の色が視認できるようになることから、広義の“トップクリア型”と言えるだろう。また、発現される機能(=変色)自体が下層塗膜の色調を利用するものである点も興味深い。このプレコート鋼板は温度を視覚化できるため、火傷防止や道路の凍結など、注意喚起が必要な場所に適用できる可能性がある。なお、サーモクロミック染料を塗膜に適用すると、サーモクロミック染料が水に溶出するという課題が

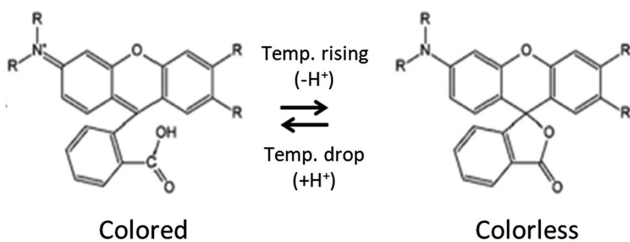


図10 サーモクロミック染料(ロイコ染料)の分子構造  
Molecular structures of thermochromic dye (Leuco dye)

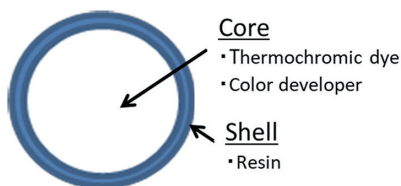


図11 使用したサーモクロミック顔料の構造  
Structure of investigated thermochromic pigment

あった。そのため、本稿ではサーモクロミック染料をマイクロカプセル化したサーモクロミック顔料(図11)を使用した。

## 4.2 供試材の作製

### 4.2.1 サーモクロミック塗料の作製

家電用プレコート鋼板に使用されているポリエステル/メラミン塗料(クリア)にサーモクロミック顔料を分散して塗料を作製した。サーモクロミック顔料には、図11のようにサーモクロミック染料がコア部に存在するマイクロカプセルを用いた。マイクロカプセルの平均粒径は5 $\mu$ mとした。クリア塗料とサーモクロミック顔料およびガラスビーズを混合し、ペイントシェーカーで30分間分散させた。その後、ガラスビーズをろ過し、サーモクロミック塗料を得た。上層塗膜の詳細を表7に示す。

### 4.2.2 サーモクロミック型プレコート鋼板の作製

板厚0.8mmの電気亜鉛めっき鋼板(EG)の表裏に化成処理を被覆した。次に、表面に青色に着色したプライマー塗料を乾燥膜厚が5 $\mu$ mとなる条件で塗布し、PMT215 $^{\circ}$ Cで乾燥させた。その後、表面にサーモクロミック塗料を乾燥膜厚が15 $\mu$ mとなる条件で塗布し、PMT230 $^{\circ}$ Cで乾燥させた。更にその上層にクリア塗料を乾燥膜厚5 $\mu$ mで塗布し、PMT230 $^{\circ}$ Cで乾燥させた。最表層のクリア塗膜は取り扱い疵を防止するために被覆した。作製した供試材の断面図を図12に示す。

## 4.3 各種の性能

### 4.3.1 繰り返し変色性

サーモクロミック機能の耐久性を調査するため、プログラム式恒温槽を用いて雰囲気温度を繰り返し変動させた。昇温は30 $^{\circ}$ Cから60 $^{\circ}$ Cまでとし、昇温速度は1.5 $^{\circ}$ C/分とした。降温は60 $^{\circ}$ Cから30 $^{\circ}$ Cまでとし、降温速度は3 $^{\circ}$ C/分とした。この昇温と降温を1サイクルとし、10000サイクル繰り返した。初期および2500サイクル毎にサーモクロミッ

表7 作製したサーモクロミック塗膜  
Investigated thermochromic paint film

Resin	Thermochromic pigment	
	Color	Concentration [mass%]
Polyester/Melamine	Red	30

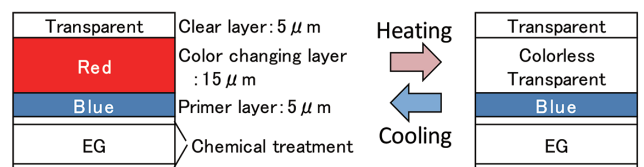


図12 供試材の断面図  
Cross section of sample



ク型プレコート鋼板を取り出し、温度と色調の関係を調査した。サーモクロミック型プレコート鋼板をホットプレート上に置き、鋼板温度が 20, 30, 40, 42, 45, 47, 50, 60℃となった時の色調を測定した。鋼板温度は供試材に溶接した熱電対により測定した。色調は色差計(コニカミノルタ社製/CR400)を用いて、L\* 値, a\* 値, b\* 値を測定した。

次に結果を示す。室温では赤色の塗膜が、温度の上昇とともに青色に変化することが確認できた。鋼板温度と色調の関係を図 13 (L\* 値), 図 14 (a\* 値), 図 15 (b\* 値) にそれぞれ示す。L\* 値, a\* 値, b\* 値のいずれも、鋼板温度変化に伴い色調が変化する(サーモクロミック機能を有する)ことが確認できた。また、変色を 10000 サイクル繰り返した後であっても、サーモクロミック機能を維持していることがわかった。なお、1日1サイクルとした場合、10000 サイクルは約 27 年に相当する。

### 4.3.2 耐候性

以下の耐候性試験を行い、試験前後の外観および色差(ΔE\*)を調査した。また、前述の方法で温度と色調の関係を調査した。ΔE\* は試験前後の色調の差(ΔL\* 値, Δa\* 値, Δb\*) から、以下の式により求めた。

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{0.5}$$

- ①殺菌灯試験：波長：253.7nm の蛍光灯を 20cm の距離で照射した。試験時間は 240 時間とした。
- ②屋外曝露試験：千葉県富津市で屋外曝露試験を実施した。試験期間は 30 日および 60 日とした。

次に結果を示す。各耐候性試験後の色差(ΔE\*)を表 8 に、外観写真を図 16 に示す。殺菌灯 240 時間照射後の ΔE\* は 0.9 であり、目視では変化はわからなかった。一方、屋外曝露試験では ΔE\* が 30 日で 18.0, 60 日で 22.8 であり、いずれも目視で色調の変化がわかった。なお、殺菌灯試験後の供試材は図 13～15 と同様にサーモクロミック機能を有

表 8 耐候性試験後の色差(ΔE\*)

Color differences after weather resistance tests (ΔE\*)

Weather resistance test	ΔE*
Germicidal lamp 240h	0.9
Outdoor exposure 30 d	18.0
Outdoor exposure 60 d	22.8

していた。一方、データは省略するが、屋外曝露試験 60 日後の供試材はサーモクロミック機能を示さなかった。屋

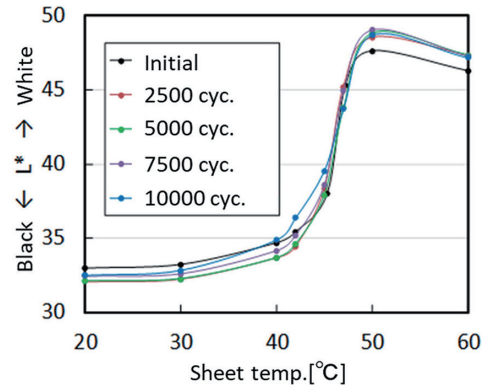


図 13 鋼板温度と L\* 値の関係  
Relationship between sheet temperature and L\* value

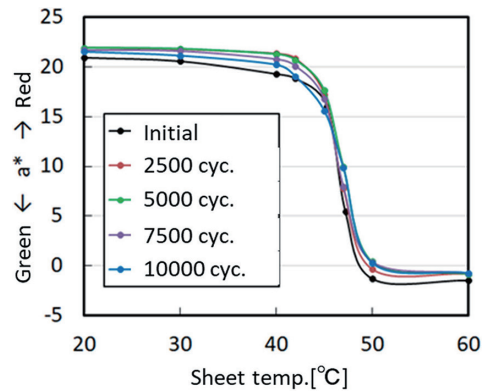


図 14 鋼板温度と a\* 値の関係  
Relationship between sheet temperature and a\* value

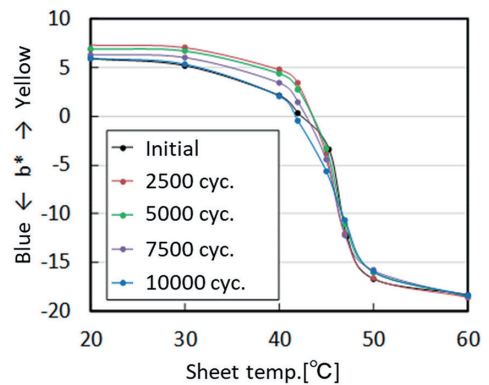


図 15 鋼板温度と b\* 値の関係  
Relationship between sheet temperature and b\* value

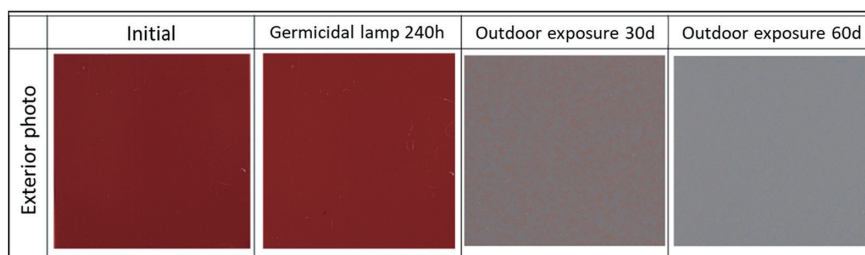


図 16 耐候性試験後の外観写真  
Exterior photos after weather resistance tests



表9 性能試験結果  
Performance test results

Property	Test		Thermochromic PCM	Audio equipment PCM
Paint film hardness	Pencil hardness 1kgf		F	F
Paint adhesion	OT-bend and tape peeling		No peeling	No peeling
Corrosion resistance	SST 72h	Plane part	Good	Good
		Formed part (Erichsen 7mm)	Good	Good

外曝露試験によりサーモクロミック機能が消失したのはマイクロカプセル内のサーモクロミック染料が耐候性試験により分解したためと考える。

#### 4.3.3 その他の性能

サーモクロミック型プレコート鋼板の塗膜硬度、加工密着性、耐食性を調査した。比較材にはオーディオ機器筐体用プレコート鋼板を使用した。

試験方法および各供試材の性能評価結果を表9に示す。開発したサーモクロミック型プレコート鋼板は比較材と同等の性能を有していることを確認した。

#### 4.4 まとめ

得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 繰り返し変色性試験を10000サイクル繰り返した後でもサーモクロミック機能は持続していた。
- (2) 殺菌灯試験(240時間)では $\Delta E^*$ は0.9と比較的小さく、目視では色調変化はわからないレベルであった。また、サーモクロミック機能は維持されていた。
- (3) 一方、屋外曝露試験60日で $\Delta E^*$ は23と大きく、目視でも変色が確認された。サーモクロミック機能は消失していた。太陽光によりマイクロカプセル内のサーモクロミック染料が分解されたためと推察する。

- (4) サーモクロミック機能を付与したプレコート鋼板の塗膜硬度、加工密着性、耐食性はオーディオ機器筐体用プレコート鋼板と同等の性能を有していた。

#### 4.5 想定される用途

サーモクロミック型プレコートは、屋外での使用用途への適用には課題があるが、屋内での使用には十分適用可能であると考えられる。使用するサーモクロミック染料の選択により変色温度域を制御することが可能であるため、高温になると変色する鋼板を加熱装置(調理器具、加熱実験装置等)に使用して火傷防止の注意喚起を行ったり、防火扉に使用して扉の反対側の火災の状況を視覚的に知らせるなどの用途が考えられる。また、氷点下になると変色するように設計した鋼板を使用して、トンネル内の道路の凍結を視認させるなどの用途も考えられる。

## 5. 結 言

本稿では、従来のプレコート鋼板の仕様を超えて、その新たな用途を切り開くべく、従来の着色層の上層に新たな機能性クリア塗膜を設けたプレコート鋼板を3種類提案した。いずれも実使用環境を考慮した改良を加える必要があるかもしれない。読者各位のご意見やご提案により、より良い製品にブラッシュアップできることを願っている。



古川博康 Hiroyasu FURUKAWA  
東日本技術研究部 薄板・表面処理研究室  
表面処理研究課 主幹研究員 博士(工学)  
千葉県君津市君津1 〒299-1141



柴尾史生 Fumio SHIBAO  
鉄鋼研究所 表面処理研究部  
高機能処理研究室 研究第二課長