

高反射タイププレコート鋼板の開発

Development of Highly Reflective Pre-painted Steel Sheet

金 藤 泰 平*
Taihei KANETO高 橋 通 泰
Michiyasu TAKAHASHI細 川 智 明
Tomoaki HOSOKAWA植 田 浩 平
Kohei UEDA高 橋 武 寛
Takehiro TAKAHASHI

抄 録

照明器具の効率向上に資する高反射タイププレコート鋼板を開発した。塗膜の高反射化には、塗膜を構成する樹脂と塗膜に添加する顔料の屈折率差をより大きくし、且つ、塗膜中の顔料表面をより増やすことがポイントである。屈折率に着目した顔料の選定、塗膜への高濃度添加、塗膜の厚膜化を複合化することで、従来タイプ白色プレコート鋼板の5%以上も高い拡散反射率92%を達成した。また更に、拡散反射率を98%まで高めたハイエンド品も開発し、実用化した。

Abstract

Highly reflective pre-painted steel sheet was developed to enhance lighting efficiency of lighting fixtures. The key ideas for increasing the reflectivity of a coated film are to arrange the larger gap between refractive indexes of binder resins and pigments of the coated film and to create more surface area of pigments of the film. With well-selected pigments based on a proper refractive index, the higher concentration of the pigments in the film and the thicker film were combined, highly reflective pre-painted steel sheet reached 92% at diffuse reflectivity, which was larger than a conventional white pre-painted steel sheet by more than 5%. And also, the high end model of a highly reflective pre-painted steel sheet, which reached 98% at diffuse reflectivity was developed and put to practical use.

1. 緒 言

プレコート鋼板は、加工や施工される前から鋼板メーカーで予め塗装を施した鋼板（塗装鋼板とも呼ぶ）を指し、新日鐵住金(株)ではビューコート®という商品名で上市している。プレコート鋼板は、需要家での脱脂・塗装工程の省略を可能とし、ポストコート方式と比較して、塗料ロスが少なく、また、塗料中のVOC（揮発性有機化合物）を鋼板メーカーで効率良く一括処理できることなどから、環境負荷物質の低減にも貢献している。

このような利点を持つプレコート鋼板は、環境保全への関心の高まりを追い風に、家電・建材用途を中心に広く普及している。また、近年では、低炭素社会づくりの観点から、節電、省エネルギーが社会的な課題となっており、新日鐵住金は早くからプレコート鋼板分野においても、“省エネルギー”という新たな切り口をキーワードに、商品開発を行ってきた。

例えば、国内では、家庭における電気使用量のうち、第1位の冷蔵庫14.2%に次いで、13.4%と照明器具の占める割合が高く、照明器具の効率改善は、省エネルギーへの寄与度が非常に大きい。そこで、照明器具の反射板に適用することで、器具効率の向上に資する“高反射タイプビューコート®”を開発し、2003年から量産化を始めた。本稿では、ビューコート®における高反射化の考え方や塗膜設計時の着眼点などを概説し、拡散反射率92%タイプや同98%タイプについて、開発のポイントなどを紹介する。

2. 高反射タイプビューコート®の設計

2.1 光の反射特性について

可視光（光）の反射は、図1に示すように、正反射と拡散反射に分類される。正反射は、反射の法則（入射角 θ_i = 反射角 θ_r ）に従った反射であり、鏡面仕上げなどよく研磨された反射面で起こることから、鏡面反射とも呼ばれる。一方、拡散反射は、乱反射とも呼ばれ、入射光が多方向に

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

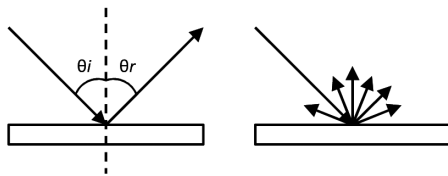


図1 正反射と拡散反射
(左：正反射，右：拡散反射)
Specular reflection and diffuse reflection
(left: specular, right: diffuse)

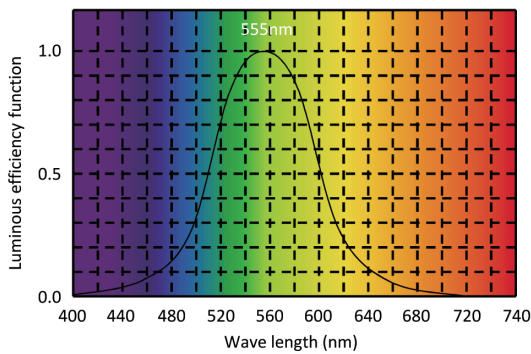


図2 標準比視感度
Luminous efficiency function

反射する場合を指す。特に、反射光が反射面から半球状に均等に分布する場合を、完全拡散反射と呼ぶ。対象エリア全体を明るくするためには、どの方向から見ても反射面が明るく見える完全拡散反射を指向するのが好適である。

明るさは、人間の眼に入射した光が網膜を刺激することで感受する感覚認識であり、その感度、すなわち視感度は、光の波長に依存することが知られている。視感度には個人差があるが、国際照明委員会（CIE）では、視感度を客観的且つ定量的に表現する方法として、標準比視感度（標準分光視感効率とも呼ぶ）を定めている²⁾。一般に、明所において、波長 555nm の光が最も明るく感じられ、図2に示す標準比視感度 $V(\lambda)$ では、このときの視感度を1とし、同じエネルギーの他の波長の光の視感度を相対値で表している。図2より、比視感度は、波長 555nm を最大値に持つ2次関数で示され、反射光の視感度を高めるためには、波長 555nm の光に注目するのが効果的であることがわかる。

2.2 高反射化の考え方

光の反射は、屈折率の異なる物質の界面で起こる現象であり、界面の反射率 R は、次式に示す Fresnel の関係式から、界面を有する物質間の屈折率差が大きいほど、高くなることが知られている³⁾。

$$R = \left\{ \frac{(n_1 - n_0)}{(n_1 + n_0)} \right\}^2$$

n_1, n_0 : 媒体の屈折率

プレコート鋼板などの顔料を分散させた塗膜に入射した光の経路イメージを図3に示す。塗膜に入射した光は、塗膜表面で反射するものと塗膜中へ屈折（透過）するものと

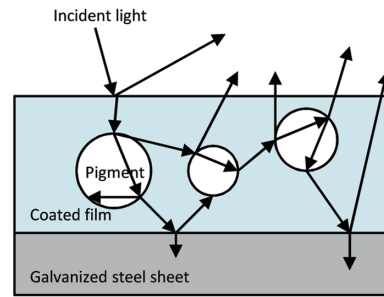


図3 塗膜中の光の経路
Light path through coated film

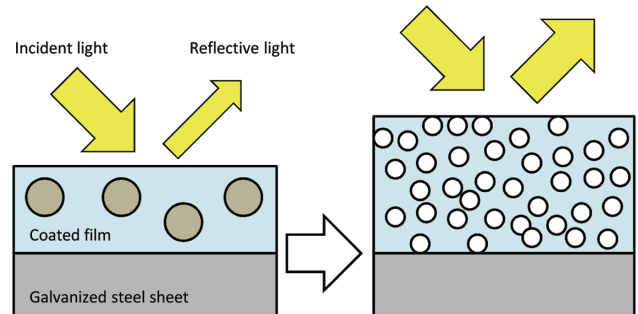


図4 高反射化の考え方
Images for increasing reflectivity of coated film

に分かれる。塗膜中へ透過した光は、樹脂に吸収されるものと、樹脂と顔料の界面（顔料表面）で反射するものとに分かれる。更に、顔料表面で反射した光は、他の顔料との間で反射や吸収を繰り返し、最終的に、塗膜表面から空気中に出るものと塗膜下のめっき鋼板に達して反射するもの、または吸収されるものとに分かれる。

以上のことから、高反射タイプビューコート®の設計では、樹脂と顔料の屈折率差をより大きくし、且つ、塗膜中の顔料表面をより増やすことで、反射性を高めることを着想した（図4）。

2.3 反射性に優れた顔料の選定

前述の通り、反射率は、塗膜を構成する樹脂と顔料の屈折率差に依存し、屈折率差の増大にともなって向上する（図5）。一般に、プレコート鋼板に用いられる代表的な樹脂や着色顔料の屈折率を表1⁴⁾に示した。新日鐵住金の高反射タイプビューコート®には、この中で最も屈折率の大きいTiO₂系（チタニア）顔料を適用することで、樹脂との屈折率差をより大きくしている。

また、顔料の粒子径が小さくなると、その表面積が大きくなることから、反射率は高くなる（図6）。一方で、粒子径が光の波長の1/2以下になると、光の散乱や回折現象が起こり、反射率は低くなる方向を示す。一般に、顔料の一次粒子径は、30nm～30μmの範囲にあり、その多くは、100nm～1000nmの範囲にある⁵⁾が、反射光の比視感度が

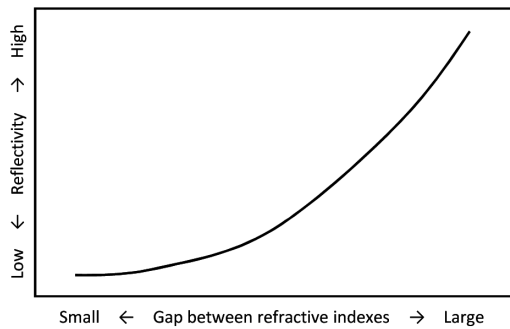


図5 屈折率差と反射性の関係

Relationship between refractive index difference and reflectivity

表1 物質の屈折率
Refractive index of material

	Material	Refractive index
Pigments	TiO ₂	2.52
	ZnS	2.35
	ZnO	2.00
	MgO	1.75
	BaSO ₄	1.64
	CaCO ₃	1.61
	CaSO ₄	1.58
Resins	Epoxy	1.61
	Polystyrene	1.59
	Polyester	1.54
	Acrylic	1.53
	Polyethylene	1.51
	Polypropylene	1.49
	Fluoren	1.43
Other	Air	1.00

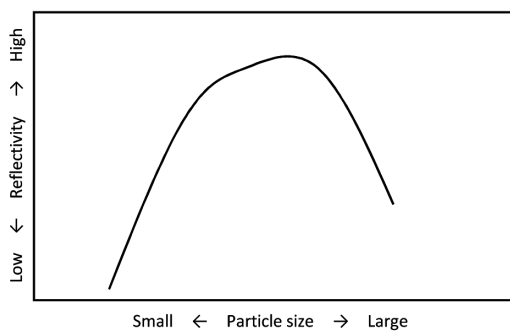


図6 粒子径と反射性の関係

Relationship between particle size and reflectivity

波長 555nm で最大であることを考慮して、高反射タイプビューコート®には、平均粒子径が 200 ～ 300nm であるチタニア顔料を適用した。

2.4 反射性顔料の塗膜への高濃度添加

塗膜中の顔料表面を増やす方法、すなわち、顔料の表面積を大きくする方法として、他に、塗膜中への顔料添加濃度を上げる方法がある。反射率は、図7に示す通り、塗膜中のチタニア顔料濃度を上げることで向上し、限界顔料濃

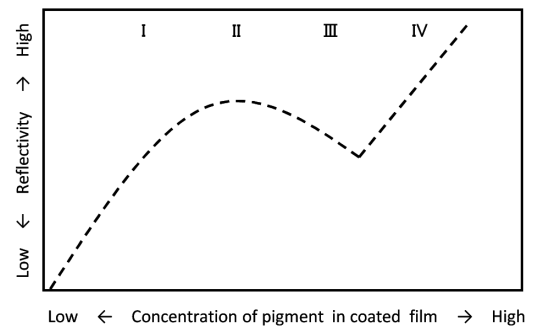


図7 顔料濃度と反射性の関係

Relationship between concentration of pigment and reflectivity

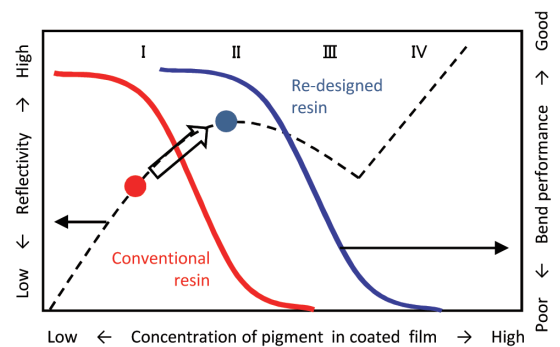


図8 顔料濃度が反射性と加工性に及ぼす影響

Influence of concentration of pigment on reflectivity and formability

度相当で極大値となる。限界顔料濃度を超過して顔料を添加すると、顔料同士が接触し、光を反射する界面が減少するため、反射率が低下するが、更に顔料濃度を上げると、反射率は再び向上することが報告されている⁶⁾。これは、チタニア顔料同士の隙間に流入する樹脂が不足し、樹脂よりも屈折率が低い空隙（空気）が生成すること、屈折率差のより大きいチタニアと空気の界面でも反射が生じ、且つ反射界面の面積が大きくなるためと考える。

プレコート銅板は、加工後に塗装するポストコートと異なり、塗装後に加工されるため、加工時に塗膜に亀裂や剥離などが生じないような塗膜特性、すなわち塗膜の加工性が要求される⁸⁾。

一般に、塗膜中の顔料濃度がある一定以上になると耐屈曲性が低下するが（図8）、その上限は、塗膜を構成する樹脂の種類によって異なる。従来タイプ白色プレコート銅板に適用の樹脂は、耐屈曲性を担保できる顔料濃度が小さく反射性に劣ったが、高反射タイプビューコート®では、樹脂の分子量やガラス転移点（Tg）を制御することで、常温で軟質、且つ伸び率の高い塗膜を再設計し、拡散反射率 92%タイプでは、図中の II 領域に相当する限界顔料濃度相当で、屈曲部の亀裂を抑制することが可能となった（写真 1）。



写真1 屈曲後の外観
(左：高反射タイプ, 右：従来タイプ)
Appearance after bending
(left: highly reflective type, right: conventional type)

2.5 塗膜の厚膜化

顔料分散塗膜の厚膜化も、顔料の表面積を大きくする方法として有効である。プレコート鋼板は、熱硬化型塗料を鋼板表面に塗装後、概ね1分以内の急速加熱で硬化させることで製造しており、塗膜の厚膜化において、“わき”と呼ばれる塗装欠陥の抑制が重要な技術課題となる。ここで、わきとは、塗料の硬化過程で塗料中の溶剤など揮発性の残留成分が、硬化し始めた塗膜表面を通過しきれず、突沸的に蒸発することで、塗膜表面に発生する噴火状の欠陥である。

新日鐵住金はこれまでに、このわきの発生に及ぼす影響因子を系統的に調査しており⁹⁾、塗料設計の最適化に活かしている。高反射タイプビューコート®における厚膜化では、塗料中の溶剤の一部を高沸点溶剤に代替することで、塗料硬化時の流動時間を延長し、発生したわきが流動により修復されるよう塗料を設計した。これにより、従来タイプ白色プレコート鋼板に対して、約30%以上の厚膜化に成功した。

2.6 高反射タイプビューコート®の反射性

これまでに、高反射タイプビューコート®の開発において、樹脂との屈折率差を考慮したチタニア系顔料の適用が最適で、その平均粒子径は、比視感度が最大となる波長の1/2程度が効率良く、更に、限界顔料濃度添加、及び厚膜化に耐え得る塗膜と塗料の設計がポイントであると述べた。これらのアイテムを複合化して得られた高反射タイプビューコート®の拡散反射率は、92%に達し、従来タイプ白色プレコート鋼板の5%以上も高い反射率を達成した。尚、本稿で示す拡散反射率は、(株)島津製作所製 UV-3100PC による波長 555nm での測定値である。

3. 更なる高反射化 ―ハイエンド品の開発―

フィルム業界では、一般的なプレコート鋼板の10倍近

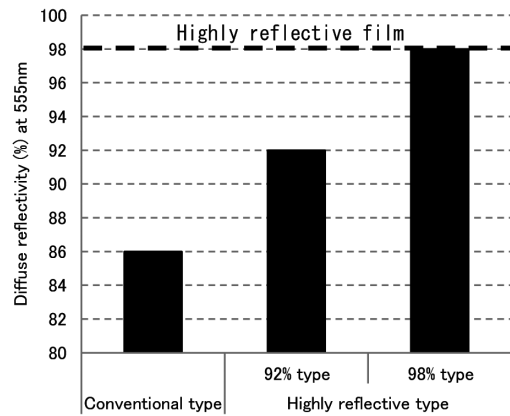


図9 プレコート鋼板の拡散反射率
Diffuse reflectivity of pre-painted steel sheet

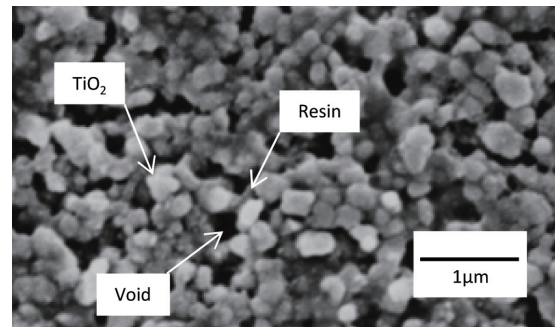


写真2 顔料を超高濃度に添加した塗膜の断面 SEM 像
Cross-sectional SEM images of coated film with super high concentration of TiO₂

くの膜厚で、内部に多数の扁平ボイド（空隙）を形成させる¹⁰⁾などした拡散反射率97%以上の高反射タイプフィルムが流通している。

そこで、高反射タイプフィルムに匹敵する拡散反射率を示す高反射タイプビューコート®ハイエンド品として、拡散反射率98%タイプ(図9)を開発し、2010年から量産化を始めた。拡散反射率98%タイプの加工性は、90°曲げ時の塗膜に亀裂や剥離が生じない限界R評価で、1Rレベルを担保し、実用に耐え得る仕様に仕上げている。

高反射タイプビューコート®拡散反射率98%タイプは、塗膜に顔料を空隙が生成する領域まで高濃度に添加したこと(図7のIV領域)、更に厚膜化したことの2点によって達成した。顔料を超高濃度添加した塗膜の断面走査型電子顕微鏡(SEM)像を写真2に示す。写真2より、塗膜中には、樹脂と顔料に加え、空隙(空気)が生成している様子が観察される。

顔料を超高濃度添加した塗料では、前述のわきが発生する膜厚上限が緩和され、厚膜化に優位な方向となる。これは、揮発性の残留成分が、顔料界面や空隙をパスとして、硬化し始めた塗膜表面を容易に通過することができるからである。

他方、このような顔料超高濃度塗料は、プレコート鋼板

の製造において一般に広く用いられるロールコーターでは、均一に塗装するのが困難であり、仮に塗装できたとしても、得られた塗膜は脆く、単独で状態を保持するのさえ困難である。

新日鐵住金はこれまでに、“ローラーカーテンフローコーター”を開発し実用化する¹⁰⁾など、製造プロセスの開発にも意欲的に取り組んでいる。高反射タイプビューコート®拡散反射率98%タイプの開発では、塗膜や塗料の設計に留まらず、製造プロセスなども含めたトータルで商品設計をしたことで、実用化に結び付けることができた。

4. 結 言

本稿では、照明器具の効率向上に資する高反射タイプビューコート®の開発における高反射化の考え方や塗膜設計時の着眼点などを概説した。高反射化には、塗膜を構成する樹脂と塗膜に添加する顔料の屈折率差をより大きくし、且つ、塗膜中の顔料表面をより増やすことが重要である。

従って、樹脂との屈折率差を考慮した顔料の選定やその粒子径の設定が技術のポイントとなる。また、顔料の表面積を大きくする手法として、塗膜への限界顔料濃度相当の顔料添加や塗膜の厚膜化も極めて有効であり、この実現のための着眼点についても述べた。

こうして得られた高反射タイプビューコート®は、従来タイプ白色プレコート鋼板の5%以上も高い拡散反射率92%を達成した。また更に、限界顔料濃度超の顔料を塗膜に添加することで、塗膜中に顔料との屈折率差がより大きい空隙を多数作り、これを更に厚膜化することで、拡散反射率を98%まで高めたハイエンド品を開発し、実用化した。

高反射タイプビューコート®は、その高い反射性と構造部材が一体化した強みを持ち、照明器具の反射板用途のみならず、写真3に示した室内モデルのように、壁材や天井材に適用することで、照明器具の効率向上に寄与すること

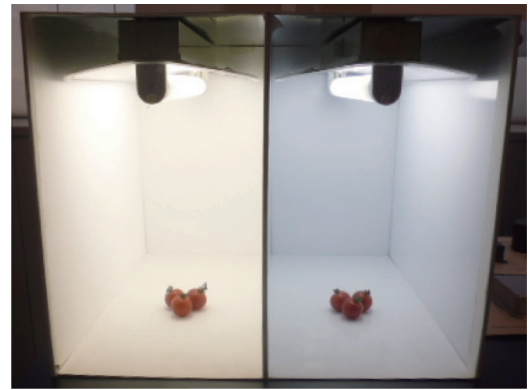


写真3 プレコート鋼板製の室内モデル
(左：高反射タイプ、右：従来タイプ)
Miniature room model made of pre-painted steel sheets
(left: highly reflective type, right: conventional type)

ができる。今後、広く活用が期待される商品である。

参考文献

- 1) 環境省，経済産業省：あかり未来計画；www.challenge25.go.jp/akari/about/index.html
- 2) CIE (1924)：Luminous Efficiency Functions, 1924
- 3) 植木憲二：塗料物性入門。理工出版，p. 192
- 4) 例えば，色材工学ハンドブック：顔料の屈折率と隠ぺい力
- 5) 信岡聡一郎：色材。55 (10)，759 (1982)
- 6) 細川智明，植田浩平，高橋武寛：CAMP-ISIJ。22，1409 (2009)
- 7) Stieg, F. B.: I & EC Prd. Res. Dev. 34, 1065 (1974)
- 8) JIS K 5600-5-1：塗料一般試験方法 - 第5部 塗膜の機械的性質 - 第1節 耐屈曲性
- 9) 古川博康：塗料・塗装研究発表会講演予稿集。25，2010，p. 11
- 10) 井出文雄：ディスプレイ用光学フィルムの開発動向。シーエムシー出版，p. 229
- 11) 金井洋：塗装技術。43 (13)，65 (2004)



金藤泰平 Taihei KANETO
鉄鋼研究所 表面処理研究部 主任研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



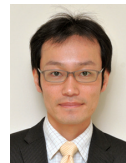
高橋通泰 Michiyasu TAKAHASHI
鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員



細川智明 Tomoaki HOSOKAWA
君津製鉄所 薄板部 塗装技術室 主査



植田浩平 Kohei UEDA
君津技術研究部 主幹研究員 博士（工学）



高橋武寛 Takehiro TAKAHASHI
広畑技術研究部 主幹研究員