

# セルフクリーニング機能を有する屋外用反射防止フィルム

## Antireflection Film with Self-cleaning Function for Outdoor-use

田丸 博\* ・ 井上 稔\* ・ 清水 則幸\*\*  
Hiroshi Tamaru      Minoru Inoue      Noriyuki Shimizu

屋外用反射防止フィルムに防汚機能を付加するため、最表層に低屈折率材料を、その下層に高屈折率材料である光触媒 (TiO<sub>2</sub>) を積層するとともに、最表層を多孔質構造にして下層の酸化分解活性を利用できるようにすることで、水接触角 20° 以下となる光触媒によるセルフクリーニング効果と最小反射率約 0.5 % となる反射防止効果の両立を実現した。

また、フィルム基材には耐候性に優れたアクリルフィルムを使用し、無機系のシリコーン系樹脂材料をウェットコーティングしているため、高い耐久性 (サンシャインウェザーオメータ 2000 h) を確保している。

In order to add an antifouling function on antireflection film surface for outdoor-use, a self-cleaning effect was added by using a photocatalyst with a water contact angle of 20° or smaller and making the surface layer porous to allow oxide decomposition in the second layer. Moreover, a minimum reflection rate of approx. 0.5% was achieved by using a low refraction-index material for the surface layer and a high refraction-index material made from a photocatalyst (TiO<sub>2</sub>) for the second layer.

To ensure high durability (Sunshine Weather-o-Meter 2000 hours), weather-resistant acryl film is adopted as base film and wet-coated with an inorganic silicon-based resin material.

## 1. ま え が き

薄型 TV やタッチパネルなどのフラットパネルディスプレイ (FPD) の普及に伴い、これらの表面における反射防止機能が重要視されている。本来鮮明に見えるはずの画像が、表面の反射による映込みによって不鮮明化するため、種々の反射防止技術によりその低減が図られている。

しかし、窓ガラスの外側に映込み防止機能のある透明フィルムなどを貼り付けて使用することはあまりなかった。その理由として、従来の反射防止膜は屋外の環境における耐久性が低いこと、さらに屋外での汚れに対する耐性が乏しいことなどが影響していると考えられる。また一時的に映込みを抑えて見やすい環境ができたとしても、屋外環境における劣化や汚れの付着によって結局見にくい状態になるなど、長期間見やすい状態を維持できる技術がなかったことが考えられる。

そこで筆者らは、当社が開発した外装建材や照明部材用の高耐候性シリコーン系樹脂材料をベースとし、フラットパネルディスプレイ (FPD) 用途で培った低屈折率材料に

よる反射防止技術と高屈折率材料の光触媒 (TiO<sub>2</sub>) による防汚技術とを組み合わせることにより、高い反射防止機能とセルフクリーニング機能とを両立する屋外用反射防止フィルムを実現した。

本稿では、シリコーン系樹脂材料をバインダとする光触媒コーティング材料と低屈折率コーティング材料、およびこれらを組み合わせてそれぞれの機能を両立する技術、さらには光触媒機能を付加した屋外用反射防止フィルムの概要と特徴、および施工例による効果の検証結果を報告する。

## 2. 光触媒コーティング材料

### 2.1 光触媒とは

光触媒は、太陽光などに含まれる 380 nm 以下の波長の光が当たると電荷分離を起こし、その表面で酸化分解活性を発現する。光触媒効果を示す材料としては、酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) がもっとも有名であり、ほかにも酸化亜鉛、酸化ストロンチウム、酸化タンゲステンなどがあるが、化学的安定性や価格の面から実際にはほとんどの製品において酸化チタンしか用いられていない。図 1 に酸化チタン光触媒

\* 電子材料事業本部 電子材料R & Dセンター Research & Development Center, Electronic Materials Business Unit

\*\* 新規商品創出技術開発部 New Product Technologies Development Department

の作用メカニズムを示す。酸化チタン光触媒は、その酸化分解作用を利用して有機物の分解、抗菌、水・空気の浄化など、さまざまな分野で使用されている。

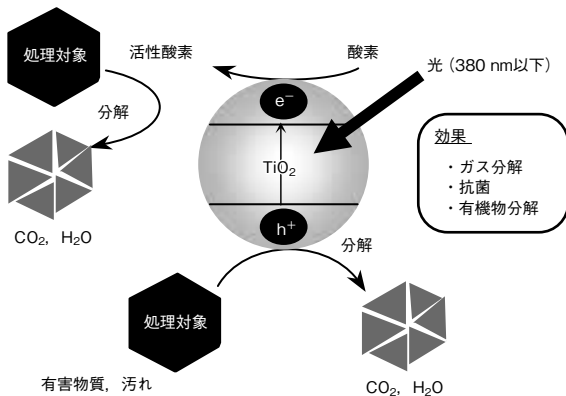


図1 酸化チタン光触媒の作用メカニズム

## 2.2 光触媒コーティング材料

光触媒コーティング材料は、前述の酸化チタン光触媒の微粒子とバインダとなる樹脂材料とで構成される。今回筆者らは高耐候性を確保するため、外装建材用途に開発した無機系のシリコン系樹脂材料をバインダとして用いる。代表的な無機系のシリコン系樹脂材料の組成式と硬化メカニズムを図2に示す<sup>1)</sup>。無機系のバインダを用いることにより、光触媒の有機物分解作用によるバインダ樹脂材料の劣化がない高耐候性のコーティング材料が得られる。

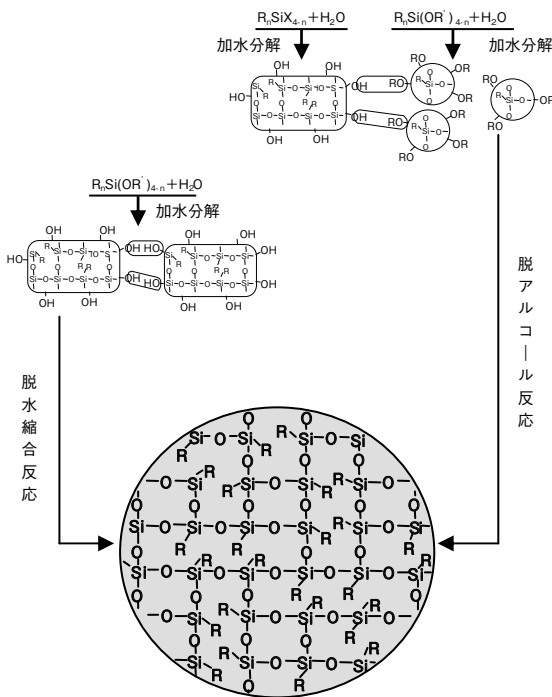


図2 シリコン系コーティング材料の組成と硬化メカニズム

## 3. 低屈折率コーティング材料

### 3.1 低屈折率コーティング材料

低屈折率コーティング材料も、バインダーである無機系のシリコン系樹脂材料と、多孔質シリカおよび反応性シリコンから成る。バインダに無機系のシリコン系樹脂材料を用いることで、耐摩耗性に優れるだけでなく、高い耐候性を発現する<sup>2)</sup>。本材料をロールコーティング、スピンコーティング、ディップコーティングなどのウェットプロセスで基材にコーティングした薄膜の屈折率は、図3に示すように1.3～1.4と非常に低い値を示す。

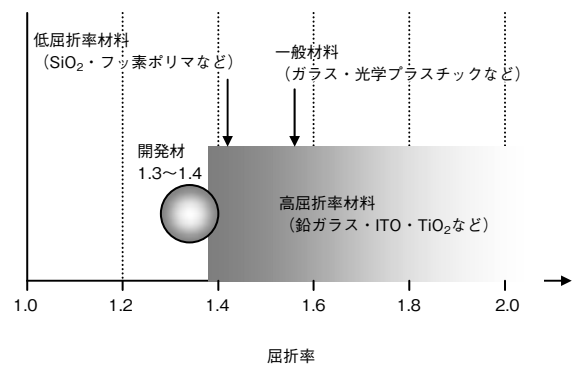


図3 材料の屈折率

### 3.2 低屈折率コーティング材料の反射防止用途への応用

通常、ガラスやプラスチックなどの透明基材表面に光が入射した際、そこで光の一部が反射されるが、この表面反射率はガラスの場合で約4%である。

反射率が高い場合、基材表面に屈折率の異なる層を形成して各層の境界面における反射光の干渉効果を利用することで、反射光が打ち消し合い反射率を低減させることができる。図4に単層反射防止の原理の概略を示す。

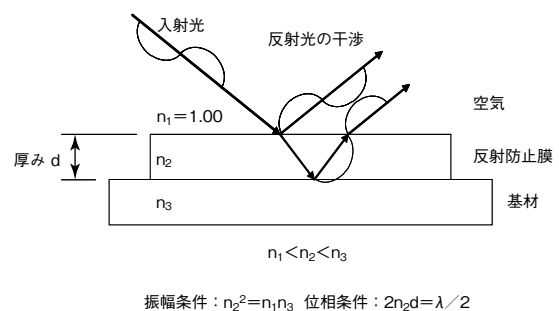


図4 反射防止の原理

各層を光の吸収がない平板と仮定した場合には、屈折率  $n_1$  の層と屈折率  $n_2$  の層の境界面で一つの光が反射光と透過光の二つに分かれる。このうちの透過光はさらに屈折率  $n_2$  の媒質中を進み、屈折率  $n_3$  の層との境界面においてももう一度反射光と透過光の二つに分かれ、それぞれの界面における二つの反射光が重なり合う。ここで、二つの光の波

の振幅が等しくなり位相が逆になったときに、おのおのの波を打ち消しあう方向となり、結果反射率が低減されることになる。この原理によると、反射率をもっとも小さくするための各層における屈折率は、フレネルの式から以下の式 (1) のようになる。

$$\begin{aligned} (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2) &= (n_2 - n_3) / (n_2 + n_3) \\ \therefore n_2^2 &= n_1 n_3 \end{aligned} \quad (1)$$

また、特定波長 ( $\lambda$ ) の光の反射率をもっとも小さくするためには位相条件は以下の式 (2) のようになる。

$$2n_2 d = \lambda / 2 \quad (2)$$

これらの振幅条件と位相条件の二つを同時に満たすことができれば、目的とする波長の光の反射率を 0 にする反射防止膜が理論上できることになる。

たとえば図 4 において、基材をガラス ( $n_3 = 1.52$ ) として空気を  $n_1 = 1.00$  とした際には、反射防止膜の屈折率を  $n_2 = 1.23$ 、膜厚 110 nm とすると、入射光の波長が 550 nm において反射光の打消し効果によりほぼゼロとなる。しかし実際には図 3 に示したように、一般的な材料においては屈折率 1.23 といった低屈折率の材料がないため、単層での高性能な反射防止の実現は困難とされている。通常は同理論の組合せ計算から算出される異なる屈折率層を 2 層以上積層することにより反射防止性能を実現している。

#### 4. 光触媒機能と反射防止機能の両立

光触媒は前述したように、380 nm 以下の波長の光が当たると電荷分離を起こし、その表面で酸化分解活性を発現する。これによって有機物の分解や抗菌作用が引き起こされるが、表面で発生する酸化分解活性を有効に利用するためには、光触媒層を最表面にする必要がある。

一方、反射防止効果を得るための低屈折率層も、図 4 に示すように最表面にする必要がある。

反射防止機能と光触媒によるセルフクリーニング機能とを両立するためには、酸化チタン光触媒を使った低屈折率層を最表層に配するか、または低屈折率層を最表層に、その下層に光触媒層を積層し、光触媒層を最表層に配しなくともその効果が得られる膜設計をするなどの方法が必要である。筆者らは後者の方法により効果の両立を目指す。光触媒材料の酸化チタンは屈折率が約 2.2 という高屈折率材料でもあるため、このような積層順にすることで、反射防止層の屈折率がそれほど低くなくとも、高い反射防止性能が得られる利点もある。

下層にある光触媒層の効果を得るためには、最表層に配する低屈折率層を多孔質構造として、そこを通して酸化分解活性を利用できるようにすることと、光触媒自体の効果

をできるだけ高めることが必要である。このような材料設計と膜形成条件を見いだすことにより、光触媒の効果と反射防止の効果の両立を実現している。

### 5. 光触媒機能を複合した屋外用反射防止フィルム

#### 5.1 構成

フィルム基材には、透明性と耐候性に優れたアクリルフィルムを用いる。アクリルフィルム基材上に光触媒層、低屈折率層の順に積層するが、プラスチックなどの有機物基材に直接光触媒膜をコーティングすると、光触媒の有機物分解作用により基材自体が分解されて劣化してしまう。そのため、光触媒層の下層に光触媒で分解されない無機系のシリコーン系樹脂材料から成るガード層を配し、アクリルフィルムに直接光触媒層が接触しないようにする。

各層のコーティングはいずれもウェットプロセスによる方法で行う。開発品の構成を図 5 に示す。

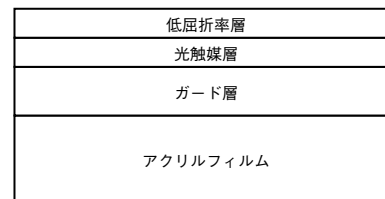


図5 フィルムの構成

#### 5.2 特性

開発品の特性を表 1 に示す。

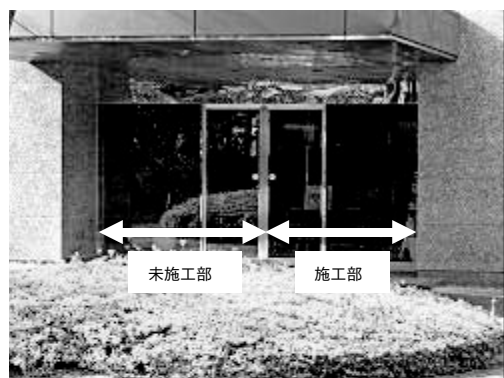
表 1 屋外用反射防止フィルムの特性

項目		測定結果
最小反射率 (%)		0.5
透明性 (ヘーズ) (%)		1.2 以下
全光線透過率 (%)		95 以上
表面の水接触角 (°)	紫外線照射前	70~80
	紫外線照射後	20 以下
促進耐候性試験 (SWM 2000 h)	外観	変化なし
	水接触角 (°)	20 以下

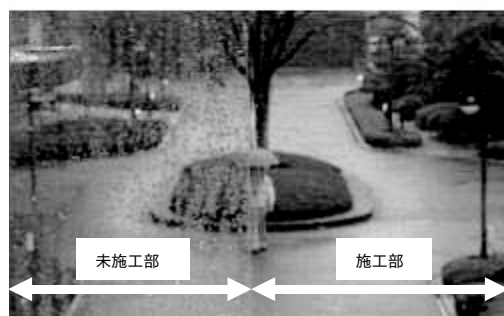
開発品は、最小反射率が約 0.5 % と低く、非常に高い反射防止性能を有する。また光触媒機能は紫外線照射後の水接触角で表され、1 mW/cm<sup>2</sup> のブラックライト (中心波長 365 nm) を 48 時間照射することで、照射前に 70~80° であった水接触角が、照射後には 20° 以下に低下していることがわかる。

さらに促進耐候性試験 (サンシャインウェザーオメータ) で 2000 時間試験を行った後は、基材フィルムの変色やコーティング膜のクラック等の劣化もなく、水接触角も 20° 以下の状態を保持できており、耐候性にも非常に優れていることがわかる。

図6は、建物ガラスの両面に、開発品を試験的に施工した写真である。(a)は昼間の明るい屋外からやや暗い室内に向けて撮影したもので、(b)は雨天時に室内から屋外に向けて撮影したものである。いずれも向って右側が開発品を施工している。(a)では、手前にある植込みの映込みが非常に少なく、室内の様子が見やすいことがわかる。また(b)では、雨滴が水膜状に広がって視認性が向上しており、光触媒による表面親水性の効果が発現されていることがわかる。



(a) 屋外から室内を撮影



(b) 雨天時室内から屋外を撮影

図6 建物ガラスへの施工例

## 6. 施工例

開発品の裏面に粘着加工を施し、試験的に施工した例についてその効果を紹介する。

### 6.1 動物園の飼育小屋前面ガラス

図7は上野動物園のクロシロエリマキキツネザルの飼育小屋前面ガラスに開発品を試験的に施工した写真である。(a)は施工前、(b)は施工後の写真であるが、(a)では白いシャツを着た3人が映り込んでいるのに対し、(b)では同じ状況でも映込みがほとんどなく、飼育小屋の中の様子が鮮明に見えるのが確認できる。



(a) 施工前



(b) 施工後

図7 動物園飼育小屋前面ガラスへの施工例

### 6.2 展望ガラスをイメージした施工例

図8は展望ガラスをイメージして建物ガラスに開発品を施工した写真である。図の左半分が未施工部分、右半分が施工部分であり、夜間に明るい室内から暗い屋外に向けて撮影をしている。未施工部分では室内から撮影している撮影者や室内にあるものが映り込んで外の景色が見にくいことがわかる。一方、施工部分では映込みがほとんどなく、外の景色が見やすいことが確認できる。



図8 展望ガラスをイメージした施工例

## 7. あとがき

屋外用反射防止フィルムに防汚機能を付加するため、最表層に低屈折率材料を、その下層に高屈折率材料である光

触媒 (TiO<sub>2</sub>) を積層するとともに、最表層を多孔質構造にして下層の酸化分解活性を利用できるようにすることで、水接触角 20° 以下となる光触媒によるセルフクリーニング効果と最小反射率約 0.5 % となる反射防止効果の両立を実現した。

また、フィルム基材には耐候性に優れたアクリルフィルムを使用し、無機系のシリコン系樹脂材料をウェットコーティングすることで、高い耐久性を確保できた。

開発品を照明の設置位置や照度などの制限を余儀なくされていた場所や、映込み低減の対処が不可能であった場所の窓ガラスに利用することにより、見やすくなるだけでなく、この状態を継続する効果が得られる。

#### \*参考文献

- 1) 高濱 孝一, 辻本 光, 山木 健之, 田丸 博: ガラス用光触媒コーティング材, 松下電工技報, No. 81, p. 51-54 (2003)
- 2) 福崎 僚三, 辻本 光, 岸上 泰久: 光学デバイス用低屈折率材料, 松下電工技報, Vol. 54, No. 4, p. 62-68 (2006)

#### ◆執筆者紹介



田丸 博

電子材料 R & D センター



井上 稔

電子材料 R & D センター  
技術士(応用理学, 総合技術監理)



清水 則幸

新規商品創出技術開発部  
一級建築士