

# 銀めっき鋼板の開発

大場光芳\*・西 麻里\*<sup>2</sup>・三浦さき子\*<sup>3</sup>・大嶋達也\*<sup>4</sup>・岡村 浩\*<sup>5</sup>

## Development of Silver Mirror Steel

Mitsuyoshi OHBA, Mari NISHI, Sakiko MIURA, Tatsuya OHSHIMA, Hiroshi OKAMURA

**Synopsis :** We have developed and proposed the 'DOKODEMO HIKARIMADO' system as one of energy saving methods. This is a lighting system that natural light, which is incorporated through a duct where inside is a mirrored surface and conducted to some locations, difficult to install windows by means of light reflection.

The 'DOKODEMO HIKARIMADO' system is achieved by the use of a high reflectance steel "Mirror Coat K" with silver mirror coating technology. The Mirror Coat K is a highly reflective material that silver is plated on metal sheets. We achieved a total reflectance of more than 95% by proprietary materials and wet plating process technology.

**Keywords :** silver; mirror; reflection; DOKODEMO HIKARIMADO; Mirror Coat K

## 1. 緒言

現在、エネルギーを有効利用するという課題は避けられない時代に入っており、一層の省エネ・環境配慮型の製品が望まれている。建築物においては、自然光を積極的に活用するため、従来より窓やトップライトなどによる外光利用に取り組んでいた。今回我々が着目した光ダクトシステムは、採光窓より取り込んだ自然光を、高反射率材料を内面として作製したダクトを用いることにより、窓が設置しにくい室内の場所にも自然光を導くことができる<sup>1) - 3)</sup>。光ダクトシステムはFig.1に示すように、大きく縦型と横型に分類でき、どこにでも自然の光を取り入れる窓を設置できる。当社では、この光ダクトシステムを「どこでも光窓」という商標で販売している。

筆者らは、「どこでも光窓」に最適な材料を供給するため、高い反射率を有する銀めっき鋼板「ミラーコートK (MCK)」の開発を行った。

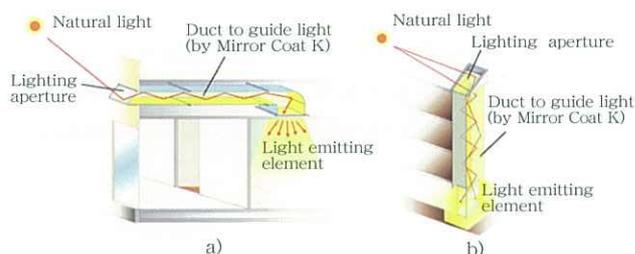


Fig.1 HIKARI duct system

- a) Horizontal type of HIKARI duct system  
b) Vertical type of HIKARI duct system

## 2. 実験

### 2.1 供試材

ミラーコートK (MCK) の構成をFig.2に示す。MCK基板にアンダーコート (UC)、銀めっき、トップコート (TC) の3層を積層した構造になっている。UC層は銀との密着性および平坦性を確保するために設けられ、その上の銀めっき層により、高い反射機能を付与させる。TC層は、銀の反射率を減少させず、劣化を防ぐための高い耐久性が求められる。

\* 技術研究所 主事

\*<sup>2</sup> 技術研究所 副主事

\*<sup>3</sup> 技術研究所

\*<sup>4</sup> 本社監査部

\*<sup>5</sup> 本社技術企画部 グループリーダー

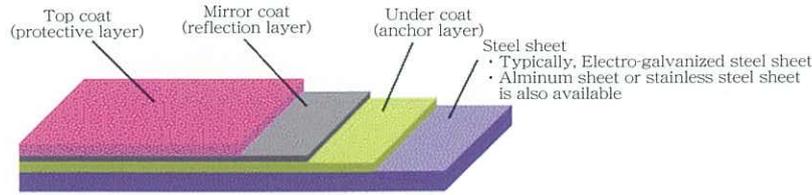


Fig.2 Composition of MCK

### 2.1.1 基板

MCKの基板には、鉄、アルミ等の金属および樹脂などを使用することができる。今回は、建材用ダクトとして折り曲げ加工が可能な電気亜鉛めっき鋼板（EG）を用いた。

### 2.1.2 アンダーコート

表面粗度の異なる基板を使用した場合、中間層として適切なアンダーコート（UC）層を付与することにより、基板の平滑化が可能となり、良好な反射率が得られる。UC層の材料として熱硬化型有機系塗料を用い、塗料塗布後の乾燥は、電気ヒーター式オーブンにて120℃で30分間行った。

### 2.1.3 銀めっき

銀めっきは無電解めっき処理にて行った。銀めっきは2段階の前処理工程および銀工程の3工程から成り、全ての工程はスプレー塗布により行った。前処理工程で基材表面に銀の開始核を析出させ、めっき処理工程で硝酸銀および還元剤の2液を同時噴霧し、銀の開始核を結晶成長させ、皮膜化させた。

### 2.1.4 トップコート

銀は空気中の硫化物により非常に腐食されやすい元素であるため、銀を保護するトップコート（TC）層が必要である。TC層として高い光線透過率をもち、経時的な反射層の劣化を抑制する材料として熱硬化型有機系塗料を用いた。塗料塗布後の乾燥は、電気ヒーター式オーブンにて80℃で15分間行った。

## 2.2 評価方法

MCKの各特性評価を行った。市販の比較材として、アルミ基材にアルミ蒸着をした後、 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ が交互積層（増反射膜）されたRef.1（Alanod社製）およびアルミ基材に銀蒸着をした後、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ が交互積層（増反射膜）されたRef.2（Alanod社製）を用いた。

### 2.2.1 MCKの光学特性評価

#### (1) 表面性状測定

基板粗度が反射特性に与える影響について、種々の粗

度を有する基板で比較検討した。基板表面粗度は表面粗さ測定機（東京精密製SURFCOM1400D-3DF）により測定した。算術平均粗さ（ $Ra$ ）は測定長さ1.25mm、カットオフ波長0.25mmで測定し、算術平均うねり（ $Wa$ ）は測定長さ8mm、カットオフ波長0.8mmで測定した。表面観察は光学顕微鏡にて行った。

#### (2) 反射特性

分光光度計（日立ハイテクノロジー製U-4100）にて、銀めっき後の反射率（400～800nm：可視光領域）を測定した。

### 2.2.2 光ダクトとしての光学特性評価

#### (1) 材料特性と配光性の関係

基板から反射した光の拡散を簡易的に測定する方法をFig.3に示す。レーザーポインター（633nm）をサンプル反射面に照射し、壁面に投影された光の広がりによって反射面の拡散性を測定した。この時、材料表面の特性として、表面粗さ（ $Ra$ ）およびうねり（ $Wa$ ）を指標とし、光の拡散性との関係性を評価した。

#### (2) 配光性と光ダクト照度の関係

反射特性が同程度で、表面性状の異なるサンプルについて、光ダクトを作製して特性評価を行った。光ダクトを用いた照度試験をFig.4に示す。光ダクトサイズは50mm□、長さ500mmであり、光源は擬似太陽光（セリック製XC-100A型、SOLAX LAMP SET-140F）を用い、光源と位置Aの距離は300mmとした。採光部および放光部における照度としては、Fig.4中の位置A、Bにおける照度を照度計にて測定した。また、光ダクト放

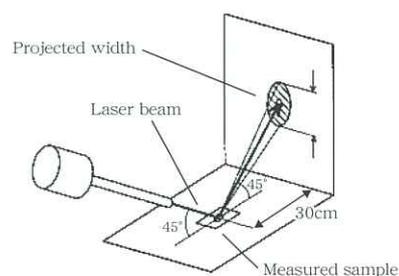


Fig.3 Evaluation method and conditions of light reflected and projected width

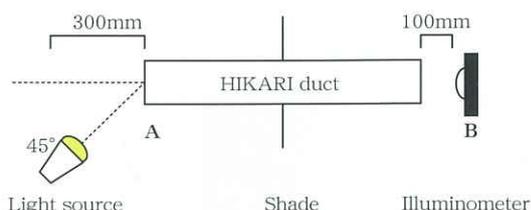


Fig.4 Illumination measurement of HIKARI duct

光部より300mm離れた白壁に投影した投影パターンをデジタルカメラにて撮影した。

### 2.2.3 光ダクト材としての各特性評価方法

光ダクト材として使用環境に応じた評価を行った。分光測色計（コニカミノルタ製CM-3500d）にてMCKの反射率を測定し、可視光領域で人間の視感度が最も高い550nmでの正反射率の変化（ $\Delta Rr$  = 初期反射率 - 試験後反射率）を評価した。

#### (1) 耐熱性

耐熱性試験は、電気ヒーター式オープンで温度80℃、240時間経時後の外観目視と $\Delta Rr$ により評価した。

#### (2) 耐湿熱性

耐湿熱性試験は、温度40℃ - 湿度95%RHの恒温恒湿機で240時間経時後の外観目視と $\Delta Rr$ により評価した。

#### (3) 耐腐食性

耐腐食性試験は、塩水噴霧試験（SST）により行い、5%食塩水 - 温度35℃の環境下で70時間経時後の、外観目視と $\Delta Rr$ により評価した。

#### (4) 耐候性

耐候性試験は、サンシャインウェザーメーター（スガ試験機製S80）を用い、ブラックパネル温度63℃ - 湿度50%で、102分のカーボンアーク照射 → 18分の純水噴霧

/カーボンアーク照射を500サイクル（1000時間）実施して、外観目視と $\Delta Rr$ により評価した。

#### (5) ガス腐食性

ガス腐食性試験は、硫化水素を含む二種混合ガスによる促進試験により行った。二種混合ガスとして、 $\text{NO}_2$  : 3ppm,  $\text{H}_2\text{S}$  : 1.5ppmを用い、温度30℃ - 湿度70%RHにて48時間経時後（10年間相当）の外観目視と $\Delta Rr$ により評価した。また蛍光X線により硫黄の定量を行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 MCKの光学特性

#### 3.1.1 基板表面性状の影響

$Ra = 0.1 \sim 1.1 \mu\text{m}$ の表面粗度を有する基板を用い、基板およびUC処理、銀めっきを行った後の表面性状をTable 1に示す。UC処理によって、基板粗度に関わらず、 $Ra = 0.03 \sim 0.06 \mu\text{m}$ 程度の平滑面を得ることが可能であった。

また、UC処理前後における基板の光学顕微鏡写真をTable 2に示す。UC処理によって、金属の細かな凸凹が有機皮膜によって覆われていることが確認された。

#### 3.1.2 反射特性

400 ~ 800nmの波長における反射率をFig.5に示す。光ダクトとして要求される全ての可視光波長において、高い反射率であることを示している。

### 3.2 光ダクトとしての光学特性評価

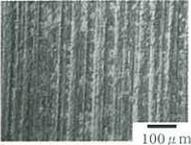
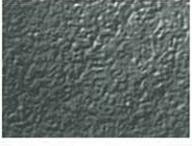
#### 3.2.1 材料特性と配光性の関係

3.1の表面性状の異なるサンプルを用いて、配光性の関係を評価した。Fig.3に示した評価方法により測定した光の広がり（ $Ra$ ,  $Wa$ ）の関係をFig.6に示す。 $Wa$ のほぼ等しいa,b,cでは、 $Ra$ が大きくなるにつれて、光が楕円状に大きく広がり、光の強度は

Table 1 Characteristic evaluation of surface profile

Sample	Surface profile of steel sheet		Surface profile of light reflecting layer		
	Arithmetic average roughness	Arithmetic average waviness	Arithmetic average roughness	Arithmetic average waviness	Regular reflectance
	$Ra (\mu\text{m})$	$Wa (\mu\text{m})$	$Ra (\mu\text{m})$	$Wa (\mu\text{m})$	(%)
a	0.22	2.21	0.027	0.52	93.56
b	0.11	1.28	0.031	0.52	93.46
c	1.13	9.33	0.057	0.58	93.57
d	0.30	3.23	0.029	0.62	93.46
e	0.44	3.88	0.032	0.70	93.38
f	0.80	5.92	0.033	0.73	93.51
g	0.70	5.55	0.034	0.90	93.61

Table 2 The surface roughness of steel sheet and light reflecting layer

Sample	b	c	e
Surface picture of steel sheet (before UC treatment)			
Surface picture of light reflecting layer (after UC treatment)			

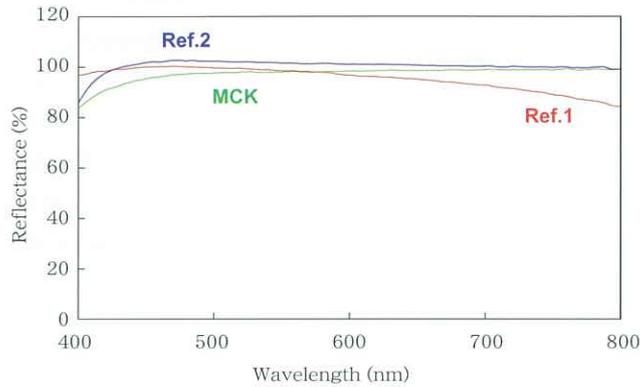


Fig.5 Spectral reflectance of MCK (sample(b))

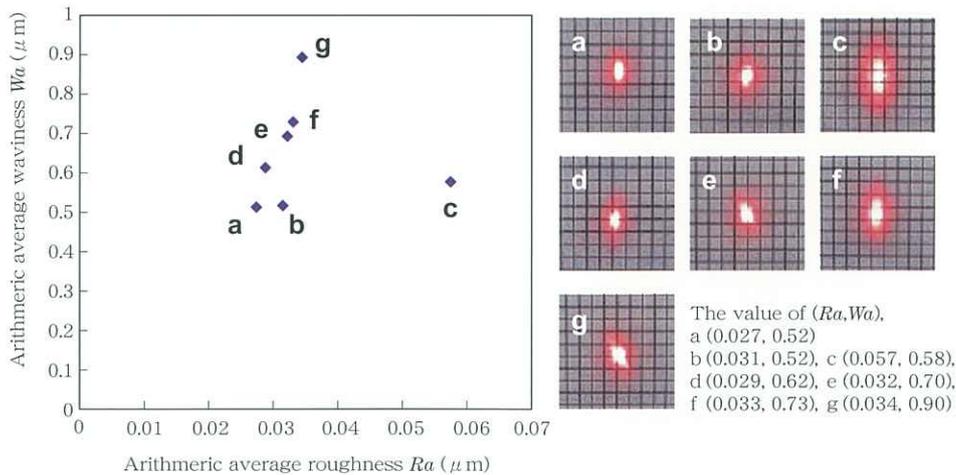


Fig.6 The Relationship between light scattering and roughness parameter of substrate (Ra, Wa)

中心から均一に減少していることがわかる。一方、 $Ra$ のほぼ等しいb,e,f,gでは、 $Wa$ が大きくなると光の広がりと同程度であるものの、光の強度にばらつきが生じる不均一な散乱状態になっていることがわかった。

Fig.7に光の散乱パターンの模式図を示す。一般的な拡散反射では、Fig.7 (a)のように、均一な方向に光を拡散する。一方、今回開発した銀めっき面の表面性状(表面凹凸)は、 $Ra, Wa$ の両方に関連してFig.7 (b)に示すような正反射光の角度に近い拡散光の広がりをもっており、 $Ra, Wa$ により反射の状態を制御することができる。

### 3.2.2 配光性と光ダクト照度の関係

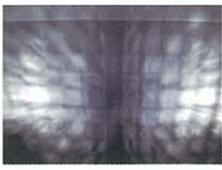
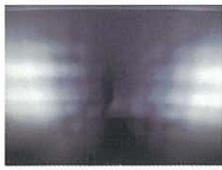
光ダクト照度試験において、採光部照度に対する放光部照度の照度伝達率((放光部照度/採光部照度)×100%)と放光部における投影パターンをTable 3に示す。投影面において、Ref.2, b, fの順に照度分布にムラがあり、かつ輝度対比(明暗の差)が大きくなっており、人が感知する印象として「ぎらつき」を生じる。

光ダクトに用いる場合、Fig.7 (a)のような後方へ戻る拡散光を生じると光量をロスしてしまうが、Fig.7 (b)に示すような正反射光の角度に近い拡散光であればダクト放光部で光量ロスの少ない拡散を生じ、広がりを持つ



Fig.7 Model of light reflecting surface  
(a) Scattering (b) Directional scattering

Table 3 Transfer ratio and projected light pattern

Sample	Ref.2	b	f
Transfer ratio of Illuminance (%)	62.6	63.7	62.1
Projected pattern			

た柔らかな投影パターンにできる。開発した光ダクト用MCKは、基板の粗度を制御し、Fig.6に示したa～gのように様々な特性の反射特性を付与することで、光ダクト設計をする上で自由度をもたせることができる。

### 3.3 光ダクト材としての各特性評価

標準的な仕様としてsample(b)のMCKを用いて、光ダクトの使用環境に応じた特性を評価した結果を以下に示す。

#### 3.3.1 耐熱性

Fig.8に、TC層厚みと耐熱試験前後の $\Delta Rr$ の関係を示す。

TC処理で $\Delta Rr$ はほぼ1%以下に抑制され、正反射率の低下はRef.2と同程度であった。TC層膜厚による耐熱性の特性変化は認められなかった。

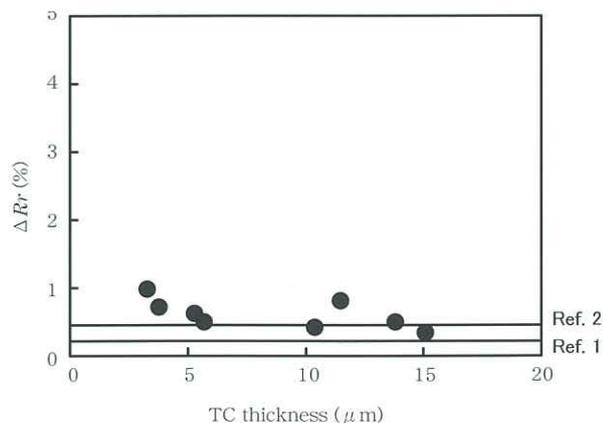


Fig.8 Exchange of regular reflectance before and after heat test

#### 3.3.2 耐湿熱性

Fig.9に、TC層厚みと恒温恒湿試験前後の $\Delta Rr$ の関係を示す。TC処理を施したサンプルでは厚みに依存せず $\Delta Rr$ は小さく、MCKはRef.1と同程度の耐湿熱性を示した。

#### 3.3.3 耐腐食性

Table 4に、TC層厚みを変えたときの塩水噴霧試験後の外観写真を示す。MCKはTC処理無しの場合にはUC層の欠点部が原因と推測される赤錆が発生したが、TC処理を施すことで錆びは生じなくなり、Ref.1と同等の耐腐食性を示した。Ref.2は白錆びが多量に発生し、基板に穴が生じるほど激しく腐食した。これは、アルミ基材への銀蒸着のため、アルミの溶出が容易に起こったことが原因であると考えられる。

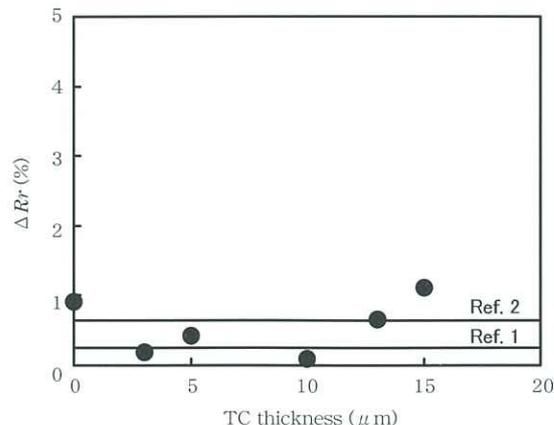


Fig.9 Exchange of regular reflectance before and after constant temperature and humidity test

Table 4 Pictures of samples after Salt Spray Test

TC thickness	MCK					Ref.1	Ref.2
	0 $\mu$ m	3 $\mu$ m	6 $\mu$ m	10 $\mu$ m	13 $\mu$ m		
Picture of sample (after test)							

Table 5 Pictures of samples after Sunshine Weather-Meter Test

TC thickness	MCK					Ref.1	Ref.2
	0 $\mu$ m	3 $\mu$ m	6 $\mu$ m	7 $\mu$ m	10 $\mu$ m		
Picture of sample (after test)							
$\Delta Rr$ (%)	84.5	2.6	3.6	4.8	5.5	4.7	37.1

3.3.4 耐候性

Table 5に、TC層厚みを変えたときのサンシャインウェザーメーターによる耐候性試験後の外観写真と $\Delta Rr$ を示す。Ref.1では反射率の低下は認められず、優れた耐候性を示した。これに対し、Ref.2は反射率が大幅に低下しており、蛍光X線による銀量測定の結果、銀の溶出と推測される銀量の減少が確認された。

MCKにおいて、TC処理をしない場合は、銀が溶出し、反射率が大幅に低下する。一方、TC処理を施したMCKは、3～6 $\mu$ mでは試験前後での外観・反射率の変化は見られなかった。TC層が10 $\mu$ m以上になるとTC層の一部にシワがみられたが、これは層厚みが厚いことによる残留応力の影響と考えられる。

3.3.5 ガス腐食性

Fig.10に、ガス腐食性試験後のTC層厚みと $\Delta Rr$ および硫黄の蛍光X線強度の関係を示す。MCKはTC層を厚くするほど $\Delta Rr$ と硫黄のX線強度が小さく、硫黄による銀皮膜の硫化と反射率低下が関係していることが確認された。TC層厚みが5 $\mu$ m程度あれば硫化は抑制されると考えられ、適正なTC層厚みを見出すことができた。

4. 結 言

銀のもつ高反射率と基板の表面性状を利用し、光の伝

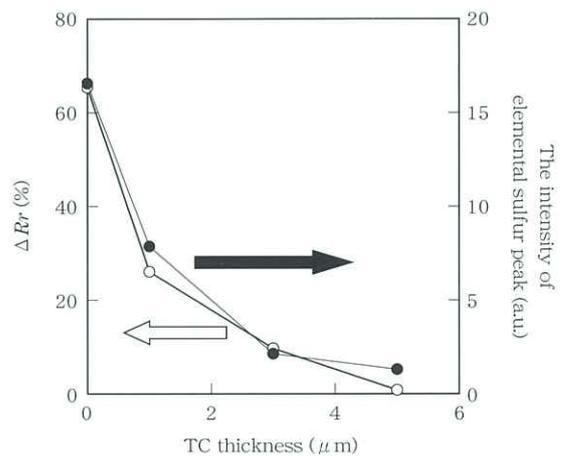


Fig.10 Exchange of regular reflectance and the intensity of elemental sulfur peak for the TC thickness

達と拡散性を両立させた光ダクト用反射材「ミラーコートK」を開発した。今後は、照明用反射板など、さらに用途拡大を目指して開発を進めていく。

引用文献

- 1) 海宝ら：日本建築学会大会学術講演梗概集，(1994)，1951
- 2) 海宝幸一：照明学会誌，88，10 (2004)，788
- 3) 海宝幸一：太陽エネルギー有効利用最前線，エヌ・ティー・エス，(2008)，479