

高効率反射鏡を用いた小型高照度の店舗用照明器具

Compact Lighting Fixture with High-Efficiency Reflector for Store Use

宮丸 正人* ・ 平井 宏和* ・ 白川 友樹** ・ 山内 哲** ・ 筑紫 正明***
Masato Miyamaru Hirokazu Hirai Tomoki Shirakawa Satoru Yamauchi Masaaki Tsukushi

中心光度が重視されるユニバーサルダウンライトにおいて、三重管構造でコンパクトなセラミックメタルハライドランプを採用し、前面プロテクタ不要の下面開放型構造として放熱性を改善することによって TiO_2 と SiO_2 から成る光学多層薄膜の形成を可能とし、全反射率約 95 % の高効率反射鏡を実現した。さらに、反射鏡のへら絞り加工用金型にラップ処理を施して反射面の鏡面度を高めることによって反射光の拡散を抑制し、従来品と比較して 30 % の明るさアップを実現した。

器具構造の簡素化と灯体分離構造を考案して、従来品と同等サイズの反射面を確保しつつ、埋込穴面積の 35 % 小型化を達成した。これらの技術を取り入れたユニバーサルダウンライトは、店舗空間の演出に十分な明るさと演色性に加え、照明器具の小型化を実現している。

In the field of universal downlights requiring center-area light intensity, a new lighting fixture with a high-efficiency reflection mirror with an approximately 95 % total reflection rate has been developed. This was achieved by combining a tri-tube structure compact ceramic metal halide lamp and optical multi-layer thin-film consisting of TiO_2 and SiO_2 , enabled by improving heat dissipation in the open-bottom structure by eliminating the front protector. In addition, the improved mirror surface of the facet obtained by lapping the spin-drawing tooling used for producing the reflector, has enabled the suppression of reflected light and improved light intensity by 30 % from the previous reflector.

The simplified fixture structure and newly devised detachable lamp construction allows for a 35 % smaller built-in hole size, while maintaining the same reflector size as that of the previous model. Universal downlights adopting the developed technology have achieved compact sizing in addition to sufficient light intensity and color rendition required for store displays.

1. ま え が き

商業施設においては、集客力を高めるために店舗空間と照射される展示商品をより魅力的に演出する工夫が必要である。従来、店舗空間の演出には、全般照明用のダウンライトで店舗内全体の明るさを確保し、重点照明用のスポットライトで商品などを美しく魅力的に見せる手法が主体であった。

しかし近年、店舗空間そのものの快適性に加え、その空間における心理的満足度を高めることが重要であると考えられている。そのため、照明器具では、空間や商品を魅力的に演出できるスポットライトの機能を備えつつ、天井に埋め込まれて存在が目立たないユニバーサルダウンライト

が用いられるケースが増えている。また、空間意匠的にも照明器具自体の存在が好ましくない場合が多いため、コンパクト性が重視される傾向がある¹⁾。その結果、光源としても、エネルギー効率が高く、演出に十分な明るさと演色性を有し、白色系色温度の演出が可能なコンパクトなセラミックメタルハライドランプを採用した照明器具の市場が広がってきている。

しかし、このランプを採用した店舗用照明器具においては、ランプの特性により万一の破損に備えた前面プロテクタが必要なため、器具構造が複雑になるとともに、放熱性が悪く、器具のコンパクト化が困難であった。そのため、70 W クラスのメタルハライドランプを採用したダウンライトにおいては埋込穴径 125 mm 程度が寸法的に限界で

* 照明事業本部 ナショップ調光システム事業部 Nashop & Lighting Control Systems Division, Lighting Manufacturing Business Unit

** 照明事業本部 照明研究センター Lighting Research Center, Lighting Manufacturing Business Unit

*** 照明事業本部 照明製造総合部 Lighting Manufacturing Division, Lighting Manufacturing Business Unit

あった。

一方、前面プロテクタを必要とせず下面開放で使用可能なセラミックメタルハライドランプはランプ径が大きく全長が長いいため、器具のコンパクト性と高照度を両立するのは困難であった。

2. ユニバーサルダウンライトの器具構造の問題点

従来のコンパクトなセラミックメタルハライドランプは前面プロテクタが必要であるため、ガラス等の透光材をランプ前面に配置している。しかし、ランプ寿命に伴うランプ交換に際して、その作業性から前面プロテクタの容易な着脱が必須条件である。そのため、図1に示すような前面枠および反射鏡が器具の前方から取外しできる構造が採用されていることから、反射鏡外径に対して器具本体の外径も埋込穴径も大きくなる

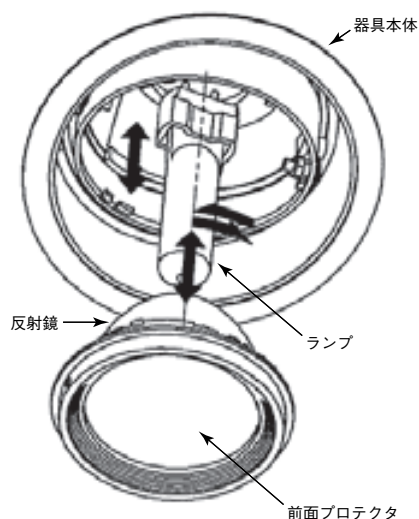


図1 従来品の器具構造

3. 反射鏡における問題点

当社が開発を行ってきたコンパクトなセラミックメタルハライドランプ用の反射鏡としては、アルミニウム製、ガラス製が挙げられる。アルミニウム製では、光輝材と呼ばれる高純度のアルミニウムプレートを基板とし、へら絞り加工により成形した生地を化学研磨後、アルマイト処理を施した反射鏡（以下、アルミミラーと記す）が主流である。一方、ガラス製ではプレスガラスによるミラー生地に光学多層膜を形成し、可視光線をミラー前面へ反射、紫外線・赤外線を背面へ透過させるダイクール^{*1)}処理を施した反射鏡（以下、ダイクールミラーと記す）を展開している²⁾。また近年、ハロゲン電球用としてアルミミラーの表面に熱線を吸収し、可視光線を反射する光学多層膜処理を形成した反射鏡（以下、メタルダイクールミラーと記す）が開発されている。

しかし、ハロゲン電球で一般に採用されているメタルダイクールミラーは、熱線吸収膜により吸収された熱がアルミニウム材料に蓄熱されるため、通常のアルミミラーよりも高温となつて、表面温度が規定を超えることからセラミックメタルハライドランプには採用できないという問題がある。

また、ダイクールミラーでは、反射面を構成するファセット（微小な凹凸面）の形状に自由度があるものの、成形性の問題から薄肉・コンパクトな構造を実現することが困難であるとともに、ランプから放射された赤外線がミラー後方へ透過して器具の外郭温度が上昇することから、器具コンパクト化の支障となっている。

このため、従来のセラミックメタルハライドランプを採用した器具では、コンパクト性を重視することから反射率は低いアルミミラーを採用している。

4. ユニバーサルダウンライト

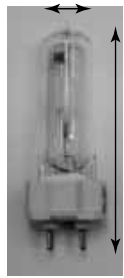
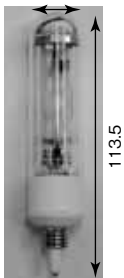
前述のような背景から、当社店舗用照明器具においては、①下面開放型のコンパクトなセラミックメタルハライドランプにおけるメンテナンス性と放熱性の改善、②器具寸法のコンパクト化、③高反射処理反射鏡による高性能・高照度化などの課題が挙げられる。

4.1 セラミックメタルハライドランプ

当社においては2005年度から松下電器産業（株）と共同開発を進め、三重管構造でコンパクトなセラミックメタルハライドランプ（以下、セラメタプレミアSと記す）が開発された。これは、高出力、高演色、三光色に加え、三重管構造による前面プロテクタ不要を実現している。

従来のT型ランプとの比較を表1に示す。

表1 セラミックメタルハライドランプの特性

	従来のT型ランプ	セラメタプレミアS 70 W
全光束 (lm)	6600	7700/7500/7300
演色性 (Ra)	85/92	90/93/96
色温度 (K)	3000/4200	3000/3500/4200
前面プロテクタ	要	不要
形状寸法 (mm)		

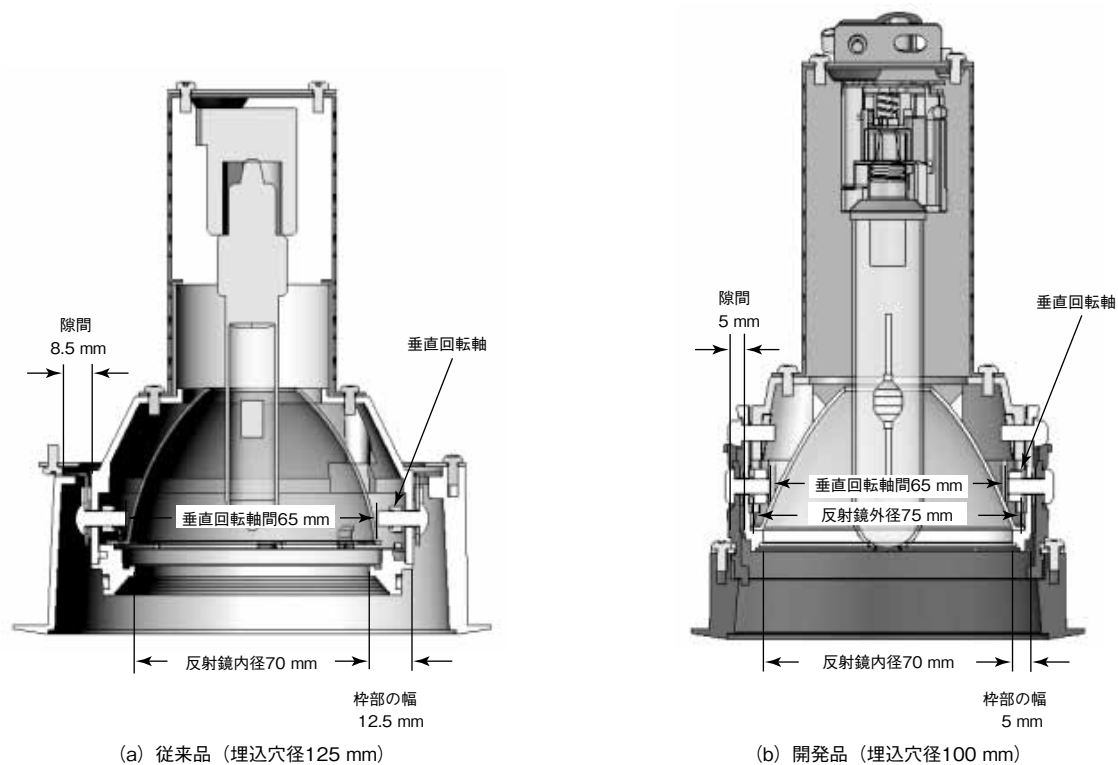


図2 器具構造比較

4.2 灯体の分離と反射鏡の取付構造

図2に従来品（埋込穴径 125 mm）および開発品（埋込穴径 100 mm）のユニバーサルダウンライトの構造比較を示す。開発品はセラメタプレミア S の採用により前面プロテクタ（ガラス）が不要となり、前面枠部の幅を 12.5 mm から 5 mm に縮小することが可能である。また、器具放熱性の改善により灯体と枠との隙間を 8.5 mm から 5 mm とすることが可能である。

さらに、下面開放型においては前面枠部を取り外す必要がなく、前面枠部と垂直方向の光照射を調整する垂直回転軸との間に反射鏡を配置することで、垂直回転軸間寸法より外径の小さな反射鏡となる。そこで、開発品では図3に

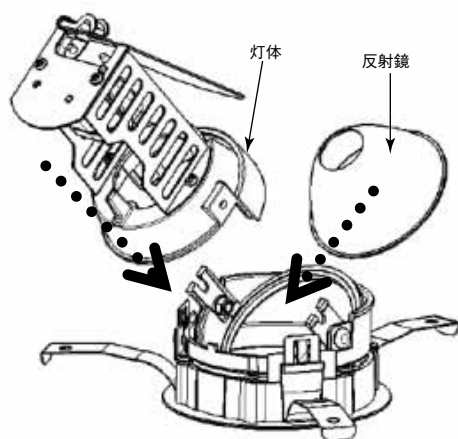


図3 灯体分離と反射鏡取付構造

示す灯体分離構造の採用で横方向より差し込み装着することによって、垂直回転軸間寸法よりも大きな反射鏡を収容することが可能となる。これらによって、従来品同等の反射鏡内径 70 mm を確保しながら、埋込穴径寸法を 125 mm から 100 mm へと 20 % 縮小できる。

4.3 高効率反射鏡

4.3.1 アルブライト^{*2)} ミラーの構成

集光形反射鏡の高効率化には、アルミニウムなど高反射材料の蒸着や、ダイクロイックミラーに代表される反射鏡基材への光学多層膜の形成が挙げられる。しかし、ダイクロイックミラーには、3章で述べたような問題がある。

本章では、筆者らが提案するへら絞り加工により成形されたアルミニウム基材上にスパッタリングにより高屈折率材料 (TiO_2) と低屈折率材料 (SiO_2) の薄膜 (70 ~ 270 nm) を多層に重ね高反射率を実現した反射鏡（以下、アルブライトミラーと記す）について説明する。アルブライトミラーでは、光源から放射されて光学多層膜に入射した光が、各層の境界面において反射（透過）光と干渉し合っ、選択的な反射（透過）特性が得られる。図4に今回提案する光学多層膜の構成を示す。

アルブライトミラーは、長期間に及ぶ点灯・消灯の繰返しに伴う熱ストレスによるアルミニウム生地の変形・収縮によって、多層膜との界面において密着性が低下する問題があることから、250℃以下での使用に制限しており、従来のダウンライトでは使用できなかった。

開発品の器具構造においては、器具前面から反射鏡のランプ穴を通る対流により反射鏡内に滞留する熱が減少することから、従来 250℃ 以上に上昇していた反射鏡内面温度が 210℃ 程度に低下するため、アルブライトミラーの使用が可能である。

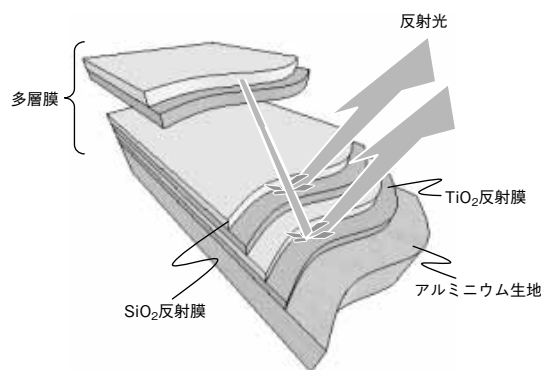


図4 アルブライトミラーの構成

図5にアルミミラーとアルブライトミラーとの反射特性を示す。アルブライトミラーはアルミミラーと比較して約10%反射率が向上し、約95%の全光線反射率を実現していることがわかる。

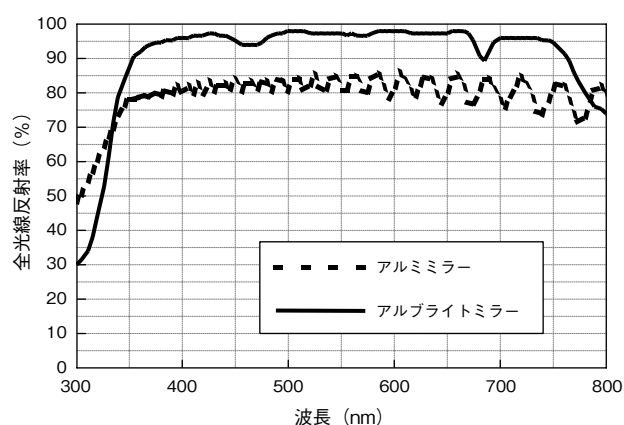


図5 アルミミラーとアルブライトミラーの反射特性

4.3.2 反射鏡金型製造技術

近年、3次元CADを利用した光学設計によりファセット(図6)と呼ばれる小さな凹凸反射面から反射鏡を構成することで任意の方向に配光を制御することができ、また、シミュレーションによる配光予測・照度計算も可能である。なお、3次元CAD設計モデルからCAMデータを作成して3次元マシニング加工によって金型を製造することが一般的である。

4.3.3 面粗度改善による高効率化

(1) アルミミラーの基材による反射特性と中心光度

3次元CAD設計と金型の3次元マシニング加工による設計に忠実な形状とすることで光制御が可能である。

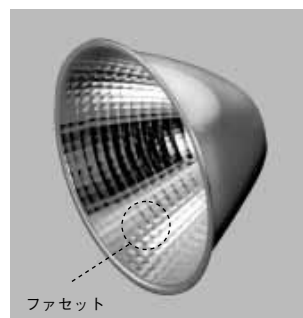


図6 反射鏡内面のファセット

しかし、ファセット形状の忠実性を確保するための金型表面研磨が困難なため、3次元マシニング加工によって生じる微細な加工痕は残ったままである。この加工痕が光学性能にどのような影響を与えるのかについて次に示す検討を行う。アルミニウム純度の異なる基材を同一金型で加工し、反射鏡の反射特性と中心光度を測定する。なお、特性が顕著に現れるよう光源が点光源に近いハロゲンランプ用のミラーにて行っている。表2に性能比較を示す。

表2 アルミニウム基材と反射・光学特性

基材	400—700 nm平均		中心光度 (cd/Klm)
	全光線反射率 (%)	拡散反射率 (%)	
A1070 P	81.9	52.9	15366
A1080 P	84.5	44.9	18974
クラッド材 (片面純度 99.99 %)	84.5	32.8	21335

この結果、全光線反射率が82～85%と3ポイント程度しか改善できないが、拡散反射率の低下に伴い中心光度は38%程度アップする。つまり、中心光度が重視される器具においては、反射面の反射率の改善よりも拡散性を抑制して精度良く光制御するほうが効果的であることがわかる。

(2) 光学シミュレーションによる拡散特性と明るさ

光学シミュレーションを用いて拡散パラメータ値を制御することで中心照度がどの程度変化するかを検討した結果を図7に示す。これと表2より、拡散反射率を30%程度に抑制することで、高純度の材料を使用しなくとも、全反射率の向上以上の明るさ改善が図られることが推定される。

4.3.4 金型鏡面加工と性能

従来、反射鏡用のへら絞り加工用の金型は、表面の小さなファセット形状を保持するため、3次元マシニング加工後に後処理を行っていない。

しかし今回、反射鏡表面または反射鏡表面に転写される金型表面の面粗度が光学特性に大きな影響を及ぼすことが判明したため、金型表面の設計形状を損傷することなく面

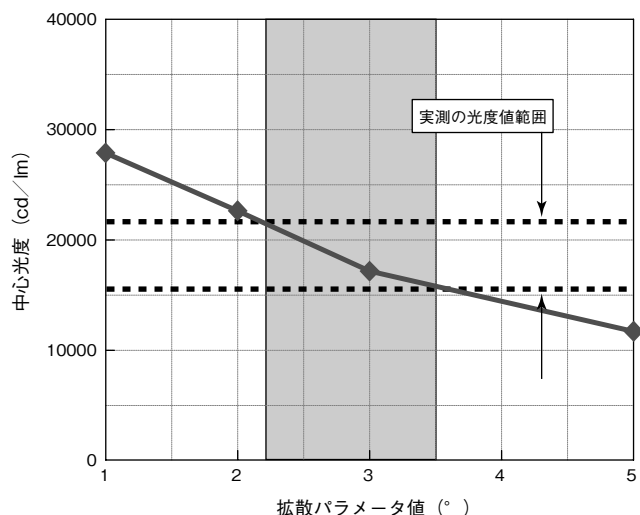


図7 光学シミュレーションによる拡散性と中心光度

粗度を向上させる手段として、ダイヤモンド研磨材で金型表面をラップ処理する工程を採用している。

図8に今回提案するアルブライトミラーの製造工程を示し、図9に処理前後のへら絞り金型の面粗度を測定した結

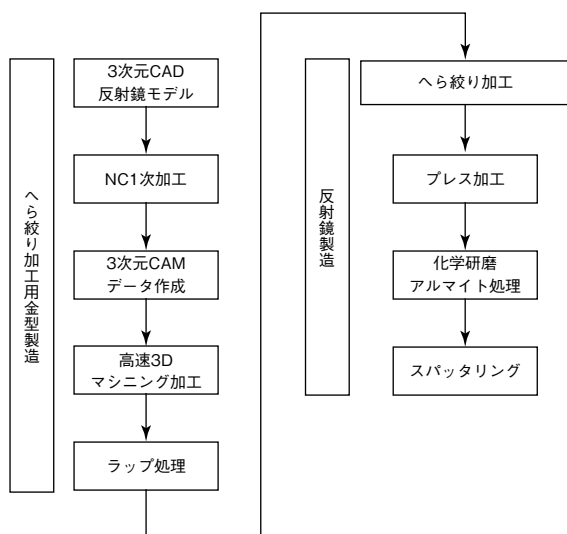


図8 アルブライトミラーの製造工程

果を示す。

図9 (a) と (b) との比較により微細な凹凸がラップ処理により平滑化されている。また、表3にラップ処理の有無による面粗度と光学性能比較を示す。なお、光源はセラメタプレミア S 70 W を使用している。

ラップ処理により金型面粗度が約 $1\ \mu\text{m}$ 改善され、明るさが約 15 % 向上している。

表3 ラップ処理の有無による面粗度と中心光度の比較

処理	面粗度Ry (μm)	中心光度 (cd/Klm)
ラップ処理なし	2.28	5371
ラップ処理あり	1.25	6215

4.3.5 開発品の光学性能

反射鏡径の極大化をねらいとした灯体分割構造の採用と、へら絞り加工用金型へのラップ処理および反射鏡への光学多層膜の形成を組み合わせることで、従来品より埋込穴面積を 35 % 小型化した埋込穴径 100 mm の器具において、表4に示す高照度の光学性能が得られた。

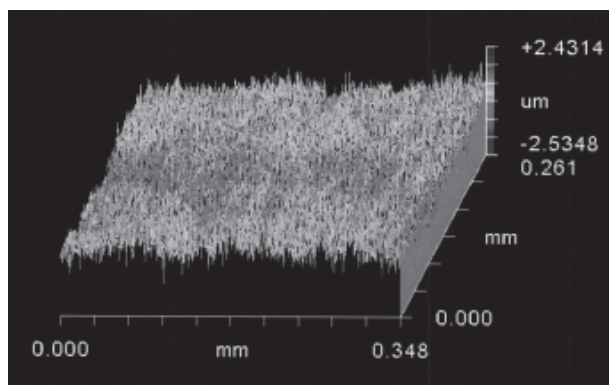
表4 開発品と従来品の中心光度比較

配光タイプ	従来品	開発品
狭角タイプ	31600	53600 (170 %)
中角タイプ	26300	34100 (130 %)
広角タイプ	8900	12800 (144 %)

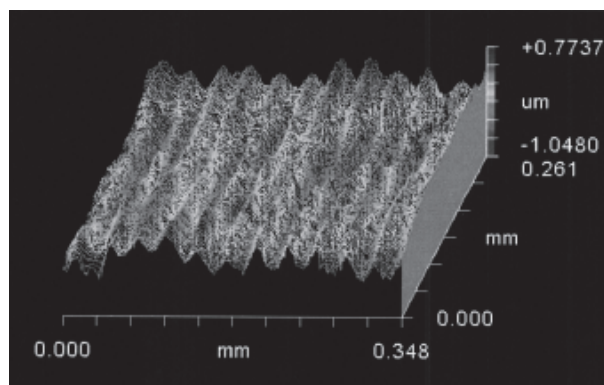
単位: Cd, () 内は従来品との比

5. あとがき

中心光度が重視されるユニバーサルダウンライトにおいて、三重管構造でコンパクトなセラミックメタルハライドランプを採用し、前面プロテクタ不要の下面開放型構造として放熱性を改善することによって TiO_2 と SiO_2 から成る光学多層薄膜の形成を可能とし、全反射率約 95 % の高効



(a) ラップ処理前の金型表面



(b) ラップ処理後の金型表面

図9 金型表面状態

率反射鏡を実現した。さらに、反射鏡のへら絞り加工用金型にラップ処理を施してファセットの鏡面度を高めることによって反射光の拡散を抑制し、従来品と比較して 30 % の明るさアップを実現した。

器具構造の簡素化と灯体分離構造を考案して、従来品と同等サイズの反射面を確保しつつ、埋込穴面積の 35 % 小型化を達成し、これらの技術を取り入れたユニバーサルダウンライトは、店舗空間の演出に十分な明るさと演色性に加え、照明器具の小型化を実現している。

●注

- * 1) ダイクール：当社の登録商標
- * 2) アルブライト：当社の登録商標

*参考文献

- 1) 平井 宏和, 山中 直, 矢田 謙一郎：セラミックメタルハライドランプ用照明器具の開発動向, 照明学会誌, Vol. 90, No. 1, p. 51-56 (2006)
- 2) 和久本 正信, 小林 文明：光学薄膜応用技術, 電工技術, Vol. 34, No. 4, p. 23-27 (1986)

◆執筆者紹介



宮丸 正人

ナショナル調光システム事業部



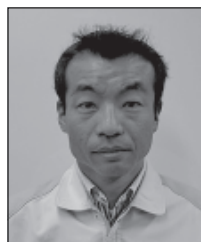
平井 宏和

ナショナル調光システム事業部



白川 友樹

照明研究センター



山内 哲

照明研究センター



筑紫 正明

照明製造綜合部