

洗面化粧台組込用の薄型LED照明ユニット

Thin-Profile LED Lighting Unit for Vanity Units

棚田 慎哉* · 田中 万亀** · 小泉 秀樹***
Shinya Tanada Maki Tanaka Hideki Koizumi

洗面化粧台組込用の照明器具において、導光板の表面に光を拡散させてライン状の均一光を出射するプリズム機能を設けた、光量の損失が少ない導光バックライト方式を採用して光の取出効率を高めるとともに、導光板の光出射面とそのカバーにレンズ機構を設けて有効照射範囲へ集光させることによって、従来蛍光灯と同等以上の照度を有する薄型のLED照明ユニットを実現した。

その結果、厚み 18 mm と、従来の蛍光灯に比較して消費電力 30 % 低減、寿命約 4.7 倍を達成している。

In the design of a lighting instrument to be built into vanity units, a thin-profile lighting unit capable of equal or higher illumination than the conventional fluorescent lamp has been developed by adopting low-loss back-light structure with light guide plate and improving light delivery efficiency with a prism mechanism of extracting line-shaped uniform light, and concentrating light flux within the effective irradiation range by adding a lens mechanism on the emission part both on the light guide and the the cover.

The developed LED lighting unit achieved the reduction in power consumption by 30% and approx. 4.7-fold operation life compared with a conventional fluorescent lamp, with 18 mm unit thickness.

1. ま え が き

近年、消費者のエコロジーへの関心は高まっており、このことは住宅設備においても例外ではない。節水型のタンクレス便器、節電タイプの照明機器など市場浸透している製品も多い。

洗面化粧台には照明器具が組み込まれている場合が一般的であり、また、その照明には照度も十分確保できることから蛍光灯が多く使われている。しかし蛍光灯は器具自体が大きいため、ミラー裏側の収納スペースも小さくなり、意匠的にも十分なものとはいえない。しかも管球の長さが決まっているため、照明カバーの両端に影ができやすいという問題もある。

そこで筆者らは、LED光源を利用して省エネルギーと長寿命を実現するとともに、意匠性にもこだわりながら十分かつ均一な照度を有する洗面化粧台組込用の薄型LED照明ユニットを開発したので以下に報告する。

2. 開発の課題と目標

一般に普及しているLEDの発光効率は蛍光灯と同等以下であり、蛍光灯と同様の使用方法では大幅な低消費電力化は困難である。一方、LEDは光の指向性が高い光源であり、集光・配光制御によって照明ユニット内の光損失を抑え、顔面部等の限定範囲（以下、有効照射範囲と記す）を効率的に照らすことが可能と考えられる。そこで、以下に示す技術課題を解決することで、従来照明と比較して低消費電力でありながら同等以上の光学性能を有する照明ユニットを開発する。

- (1) 光の取出効率（光源全光束に対する出射光束の割合）の向上。
- (2) 有効照射効率（出射全光束に対する有効照射範囲への入射光束の割合）の向上。

照明ユニットは有効照射範囲を均一に照らし、かつ光源の見栄えを良くする観点から洗面化粧台の幅寸法と同等長さのライン照明とする（図1）。また、各種洗面化粧台へ

* 住建事業本部 水廻りシステム事業部 Kitchen Furniture and Sanitary Fittings Division, Building Products Manufacturing Business Unit

** 住建事業本部 新事業・商品企画部 New Business & Products Planning Department, Building Products Manufacturing Business Unit

*** 住建事業本部 住建総合技術・商品開発センター General Technology & Products Development Center, Building Products Manufacturing Business Unit

組込み可能な寸法とする。さらに設置位置は洗面化粧台の上部とし、意匠性を損なわないように鏡面からの突出量は極力抑える。

以上のことから、本開発目標を次のように設定する。

- (1) 消費電力
750 mm タイプの消費電力 ≤ 15.6 W (蛍光灯 22.3 W の 30 % 減相当)
- (2) 照度
顔面部照度 ≥ 300 lx (蛍光灯照明同等以上)
ポウル面照度 ≥ 150 lx
- (3) 輝度均斉度
光出射面における輝度の平均誤差 ≤ 60 %
- (4) 寸法
幅対応 750 mm, 900 mm, 1000 mm, 1200 mm の 4 タイプ
厚み $t \leq 20$ mm, 奥行 $b \leq 120$ mm
鏡面からの突出量 $p \leq 20$ mm

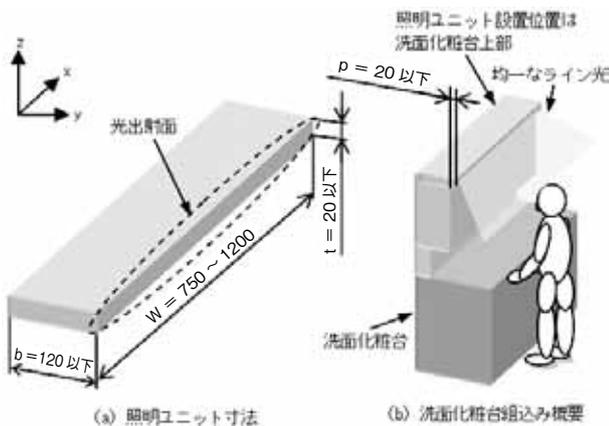


図1 開発目標設定条件

3. 取出効率の向上

LED 灯数調整による長さ対応と小型化を可能にするため、LED バックライト方式を採用する (図2)。

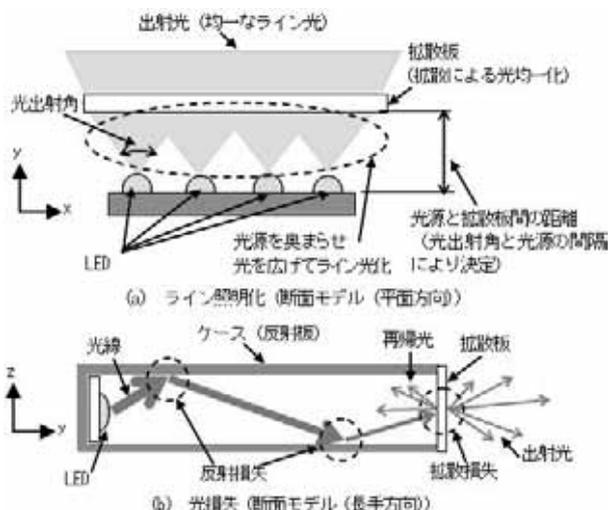


図2 LEDバックライト方式によるライン照明例

ただし、この方式で均一な光によるライン照明とするためには光源を奥のほうに配置して光を広げ、さらに拡散板等で光を拡散させる必要があるが、光損失が大きくなることから、これを抑制することが課題となる。

光損失要因には、主としてケース内での反射によるものと拡散板での拡散によるものがある。

本章ではこれらの解決による取出効率向上について述べる。

3.1 導光バックライト方式

ケース内での反射による光損失を抑制する方策として、LED の直上に導光板を配置した導光バックライト方式を提案する (図3)。LED から導光板に入射した光は、スネルの法則に従い導光板内を直進、もしくは全反射を繰り返しながら進行する¹⁾。このとき導光板内での反射による光損失は理論上ほぼ無視できるため、ケース内での光損失を抑制することが可能となる。

この導光バックライト方式により、導光板なしのバックライト方式に対して約 50 % の取出効率向上を達成している。なお算出は、照明設計解析ソフトウェア (米国 ORA 社製, Light Tools) によって行い、設定条件はケース反射率を銀めっき相当の 95 %, 導光板材質を一般 PMMA としている。

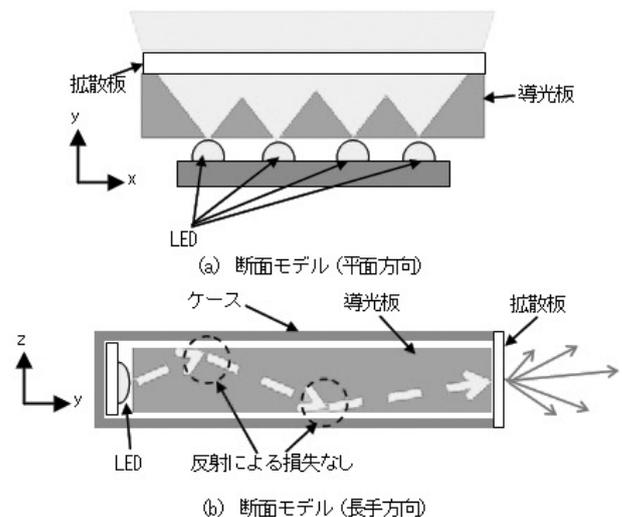


図3 導光バックライト方式照明

3.2 光拡散機能付き導光板

拡散板による光損失を抑制する方策として、3.1 節で示した導光板にプリズム形状を設け、導光する過程で光を拡散させてライン状の均一光を出射する光拡散機能付き導光板を提案する (図4)。本方式により、拡散板を使った場合に発生する光損失要因をなくすことができ、取出効率を損なうことなく光の拡散が可能となる。

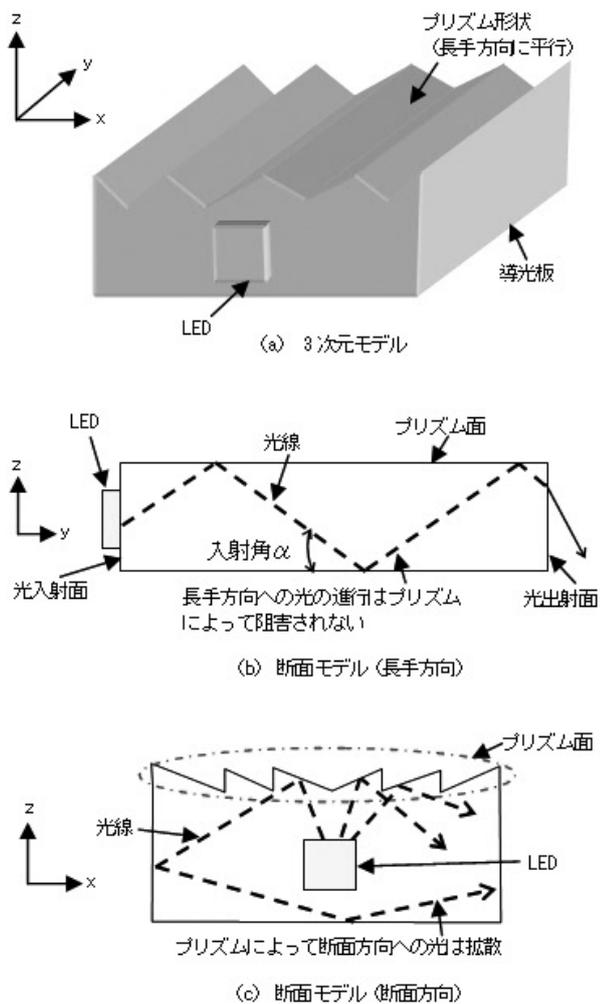


図4 導光拡散による光のライン化プロセス

この方式では導光板内を進行する光をプリズム面に当てて拡散させることが重要となるが、図5(a)に示すように、ストレート形状の導光板ではプリズム面に光が当たらない角度領域が発生する。またLEDの高い光の指向性と導光板へ入射する際の屈折により、この角度領域内には強い光のピークが発生するため、プリズム面に当たらない多くの非拡散光が発生し、光の均一性を損なう原因となる。

これを解消するため、図5(b)に示すように導光板先端部を曲面形状とし、そこにプリズム形状を設ける。これにより光は必ずプリズム面で拡散し、出射光は拡散されたライン状となる。また、この曲面で光が屈曲して有効照射範囲に集まり、有効照射効率も向上する。

以上の工夫により、拡散板を使わずに出射面の輝度均斉度が平均誤差45%以下となるライン状の均一光を出射可能としながら、拡散板を使う方式(図3)に対して約15%の取出効率向上を実現している。なお算出は、前節と同様に照明設計解析ソフトウェアによって行い、設定条件は拡散板透過率を高透過拡散板相当の70%としている。

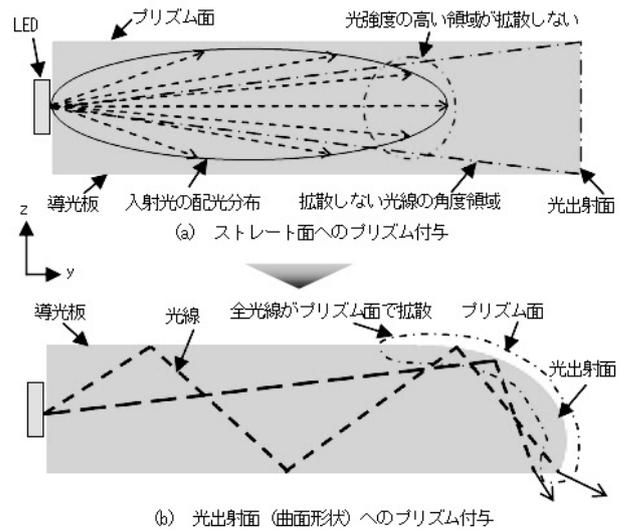


図5 プリズム付与面

4. 有効照射効率の向上

有効照射効率向上のためには、照明ユニットの配光を有効照射範囲に集中させる必要がある。また照明ユニットは洗面化粧台の上部に設置することから、有効照射範囲へ集光させるためには出射光を下方向へ屈曲させる必要がある。

そのための主な開発課題は、導光板への光屈曲機能の付与と有効照射範囲内への配光分布の最適化である。

本章では、前章で達成した取出効率を最大限維持しつつ、これらの解決による有効照射効率の向上について述べる。

4.1 光屈曲機能

導光板に光屈曲機能を付与する方策としては、導光板先端に曲面部(以下、反射曲面と記す)を設け、光を全反射させる方法が考えられる(図6)。しかし、光は反射曲面への入射角が臨界角を超えると導光板外へ放出されて光損失となるため、反射曲面へ鋭角に入射する光を抑制することが重要となる。

反射曲面へ鋭角に入射する光(以下、全反射光と記す)は導光板内を反射しながら進行するため、この光の角度を水平に近づけることで、鋭角に入射することを抑制する方法を検討する。

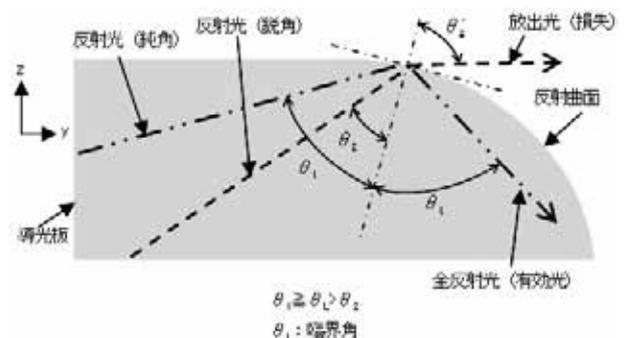


図6 光屈曲による損失

全反射光は導光板内で反射を繰り返しながら進行するため、反射のたびにその角度を水平にするように導光板を光入射面から徐々に広がっていくテーパ形状とする（図7）。

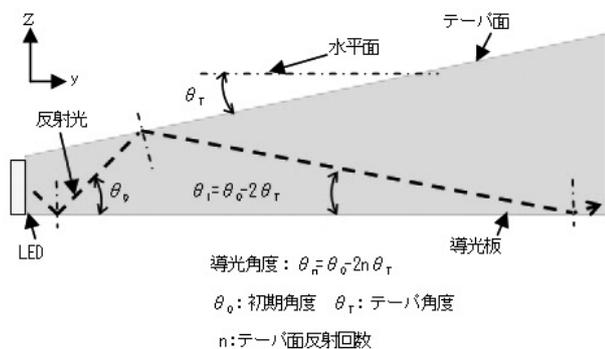


図7 導光角度の水平化

テーパ面で反射した光は、テーパ角度に応じて水平に近づいていく。このテーパ角度、導光板の光入射面から反射曲面までの距離（以下、導光距離と記す）、反射曲面の形状の3要素には相関関係があり、これらを照明設計解析ソフトウェアによって導出して導光板の形状を決定する。なお、テーパ角度が大きいほど光を水平にする効果は高いが、照明ユニットの厚みが大きくなるため、目標の20 mm以下に収まる範囲内でその角度を設定する。また導光距離は、洗面化粧台へ組み込むための設計上の制約から一意的に決定される。反射曲面の形状は、一般的な非球面係数で定義される多項式非球面を用いる。

以上により、取出効率率はほぼ維持したまま、下方向への光屈曲機能を付与した導光板を実現している（図8）。

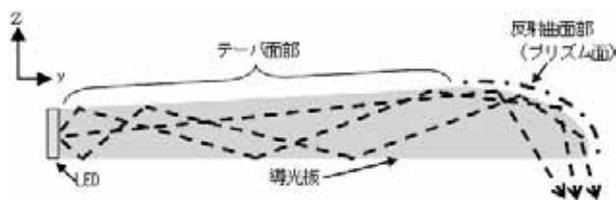


図8 光屈曲機能導光板

4.2 二重レンズ構造

照明ユニットと有効照射範囲との位置関係から、有効照射範囲全体で目標照度を達成するための各方向成分へ要求される光出射量が決定する。この光出射量の分布は有効照射効率を最大とする配光分布（以下、ねらいの配光分布と記す）と一致する（図9）。したがって、ねらいの配光分布に近似する配光特性を本照明ユニットに与えることができれば、有効照射効率の向上を図ることが可能となる。

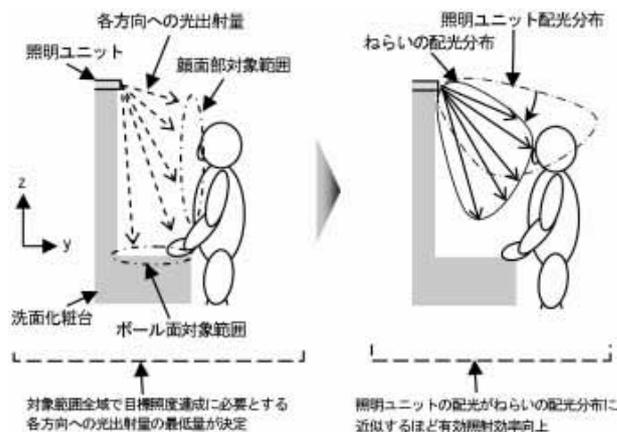


図9 ねらいの配光分布の設定方法

そこで前節で述べた導光板の光出射面にレンズ機能を付加し、照明ユニットの配光分布を制御する。しかし、導光板のみで取出効率と配光分布制御を両立させるのは困難であることから、光学部品を保護するための照明カバーにもレンズ機能を付加し、導光板との二重レンズ構造による配光設計を検討する（図10）。

導光板と照明カバーには相対位置とレンズ形状に相関関係があるため、ねらいの配光分布を目標値と設定して、これらの最適値を照明設計解析ソフトウェアで導出し、形状および構造を決定する。

これにより、有効照射範囲への集光および最適な配光が可能となり、照明設計解析ソフトウェアによる算出では、レンズ構造をもたない場合（図8）と比較して有効照射範囲における有効照射効率を30%向上している。

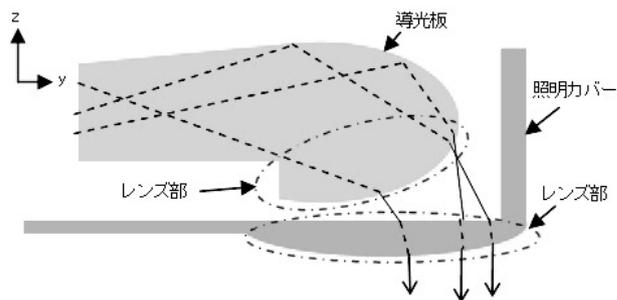


図10 二重レンズ構造

5. 開発品の性能と搭載事例

5.1 性能

開発した照明ユニット（W = 750 mm）を図11に示す。主な構成部品は導光板、LED基板、ケース、照明カバーである。導光板は照明ユニットの長手方向に区切られた小片とし、これとLED基板の個数を変えることで長さ対応を可能にしている。

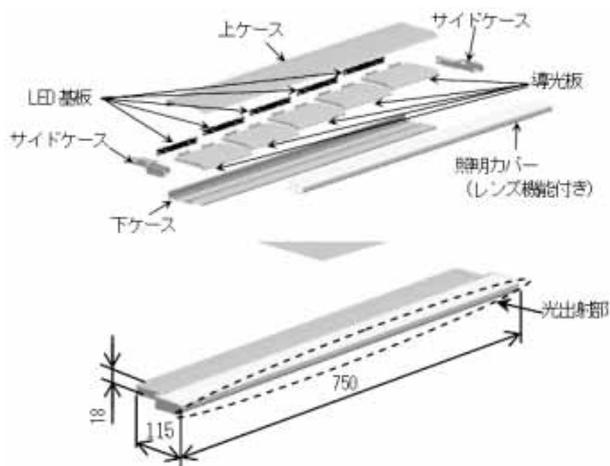


図 11 開発品の構成

図 12 に従来品と開発品の配光特性を示す。開発品においては無駄な方向への出射光が抑制され、効率的に洗面化粧台の有効照射範囲を照らしていることがわかる。

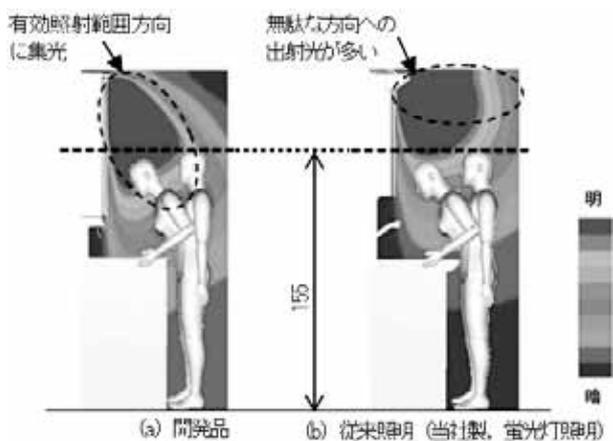


図 12 配光特性解析結果

以下のとおり、本開発品は当初の開発目標を達成している。

- (1) 消費電力
750 mm タイプ：14.4 W（目標値：15.6 W 以下）で従来照明比 35 % 減
- (2) 照度
顔面部照度：340 lx（目標値：300 lx 以上）
ボウル面照度：280 lx（目標値：150 lx 以上）
- (3) 輝度均斉度
平均誤差：45 %（目標値：60 % 以下）
- (4) 寸法
幅対応：4 タイプに対応（目標値：750 mm, 900 mm, 1000 mm, 1200 mm に対応）
厚み：18 mm（目標値：20 mm 以下）
奥行：115 mm（目標値：120 mm 以下）
鏡面からの突出量：18 mm（目標値：20 mm 以下）

5.2 搭載事例

開発品は、洗面化粧台「ウツクシーズ」に搭載しており、点灯時は均一なライン状の光によって洗面化粧台前の視認性を確保している（図 13）。また照明ユニットの小型化により、キャビネット部の容量が従来品に対して約 18 % 増大している。



図 13 「ウツクシーズ」への搭載事例

6. あとがき

洗面化粧台組込用の照明器具において、光量の損失が少ない導光板の表面に光を拡散させてライン状の均一光を出射するプリズム機能を設けた導光バックライト方式を採用して光の取出効率を高めるとともに、導光板の光出射面とそのカバーにレンズ機構を設けて有効照射範囲へ集光させることによって、従来蛍光灯と同等以上の照度を有する薄型の LED 照明ユニットを実現した。

その結果、厚み 18 mm と、従来の蛍光灯に比較して消費電力 30 % 低減、寿命約 4.7 倍を達成した。

今後さらなる省電力化、明るさ向上、および小型化を図り、LED 照明ユニットの拡大展開を推進していく所存である。

*参考文献

- 1) 河野 芳文: 反射・屈折の法則を含む光の性質の数学的扱いについて フェルマーの原理に基づく光学的分野の考察, 研究紀要/広島大学附属中・高等学校, no. 50, p. 17-23 (2004)

◆執筆者紹介



棚田 慎哉

水廻りシステム事業部



田中 万亀

住建新事業・商品企画部



小泉 秀樹

住建総合技術・商品開発センター