

# 超低消費電力のLED誘導灯

## Super Low-Powered LED Luminaire for Emergency Exit Sign

西岡 伸介\* ・ 小出 晋司\* ・ 齊藤 功\* ・ 森田 幹雄\* ・ 立野 洋司\*\* ・ 山下 浩司\*\*  
Shinsuke Nishioka Shinji Koide Isao Saito Mikio Morita Yoji Tachino Koji Yamashita

誘導灯において、光源を冷陰極蛍光灯から LED に変更するとともに、点光源である LED から面発光する表示面に変換する光学系として、ランプ部分では点光源を線光源に変換するサイド入射導光ロッド方式を、表示面部分では従来よりもさらに効率を改善した V 溝の反射面を有する導光板を考案し、表示面の輝度むら抑制と 50 % の省エネルギーを実現した。

また独立した 2 枚の表示面を有する両面型では、並列接続された 2 組の LED の順電圧を検出してその高い側の電圧を電源回路にフィードバックする定電流回路により、おのおのの電流を一定にすることで明るさのばらつきを抑制している。

Energy consumption of a luminaire for emergency exit sign has been reduced by 50% by changing the light source from a cold cathode fluorescent lamp to LED and by devising an optics system for converting the point light source of LED to a light-emitting display surface. This conversion optics system consists of a side incident light-guide rod for converting a point light source to a linear light source, and a light-guide plate using a V-grooved reflection surface with improved efficiency for the display surface. Further, the variations in the brightness of the display surface has been controlled.

In a dual-sided model having two independent display surfaces, the forward voltage of the two sets of LED connected in parallel to a constant current circuit is detected and the higher voltage is fed back to the power supply circuit for keeping the LED current constant and suppressing variations in the brightness of the two surfaces.

### 1. ま え が き

1994 年の消防予第 89 号の通達で、表示面の縦横比が 1:1 の高輝度誘導灯の取扱いについての通知が発行されて以降、誘導灯に使用する光源は冷陰極蛍光灯が一般的となっている。当時、表示面の縦横比が 1:3 の従来形の誘導灯と比べて省エネルギー効果が大きかったことから、冷陰極蛍光灯を使用した誘導灯が急速に普及した。その後、さまざまな改善が加えられ、現在では、C 級片面で約 4.7 W、B 級 BH 片面で約 7.2 W という、非常に優れた省電力化を実現している。

しかし近年、地球規模でエコロジーが求められており、誘導灯もその例外ではない。消費電力は小さいが、24 時間 365 日つねに点灯している器具であるため、一層の省エネルギーが必須となっている。

そこで筆者らは、光源としての発光効率が急速に伸びて

いる LED を使用するとともに、点光源を線光源に変換するサイド入射方式の導光ロッドと、V 溝形式の反射面を有する導光板の考案により、点光源でありながら表示面全体を輝度むらなく光らせる超低消費電力の誘導灯を開発した(図 1)。



図 1 LED を光源とした誘導灯

これらの誘導灯は、C 級片面で 2.0 W、B 級 BH 片面で 3.6 W など、冷陰極蛍光灯と比べて 50 % 以上の省エネルギー

\* 照明事業本部 施設・屋外照明事業部 Industrial & Exterior Lighting Division, Lighting Manufacturing Business Unit

\*\* 照明事業本部 照明基幹デバイス総合部 Lighting Devices Development & Manufacturing Division, Lighting Manufacturing Business Unit

を実現しており、以下にその技術開発の内容を紹介する。

## 2. 開発課題

図2に、一般的な冷陰極蛍光灯を用いた誘導灯のシステム構成を示す。誘導灯は回路部分、ランプ部分、および表示面部分で構成される。さらに、回路部分は電源回路、充電回路、点灯回路から、ランプ部分は光源と反射板から、表示面部分は反射シート、導光板、レンズシート、拡散パネル、および印刷面から構成される。

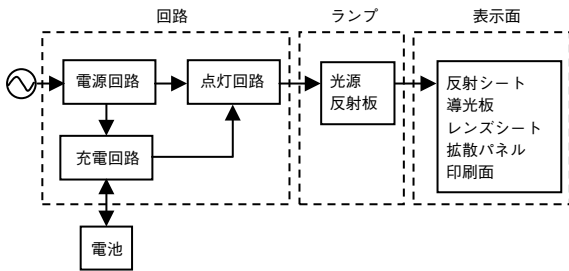


図2 誘導灯のシステム構成

誘導灯は、表示面輝度などの規格が消防法令により細かく規定されている。この規格を満足しながらLEDを使用し、低消費電力化を実現するためには以下の課題がある。

- (1) 省エネルギーとコストの両面からLEDは最小個数とする。
- (2) 少ないLEDでも表示面の輝度むらがなく均一に光らせる。

## 3. ランプ部

ランプ部分の開発ポイントは次のとおりである。

- (1) 表示面が輝度むらなく均一に光ること。
- (2) LED個数は必要最小限に抑えること。
- (3) 導光板へ効率良く入射させること。
- (4) 出射面から効率良く出射させること。

### 3.1 導光光学系

点光源であるLEDの光を誘導灯の表示面として面で光らせるためには、ランプ部分で点光源を線光源に変換し、さらに導光板で線光源を面光源に変換する必要がある。

開発ポイントである、表示面を輝度むらなく均一に光らせるため、ランプ部分から表示面部分の構成要素である導光板への光の入れ方（以下、照明方式と記す）について検討する。照明方式としては、直接入射方式、上方入射導光ロッド方式、サイド入射導光ロッド方式が挙げられる。

直接入射方式は図3のように、LEDの光を導光板へ直接入射させる方式である。この場合、反射効率の良いV溝を有する導光板を使用すると、LEDのある箇所では表示面が強く光り、輝度むらが出てしまう。その対策としては、LED個数を増やしてむらを軽減する方法があるが、コス

ト的に高くなる。また導光板にしぼ加工などを施し、拡散性を高めてむらを軽減させる方法もあるが、効率が極端に悪くなってしまふ。

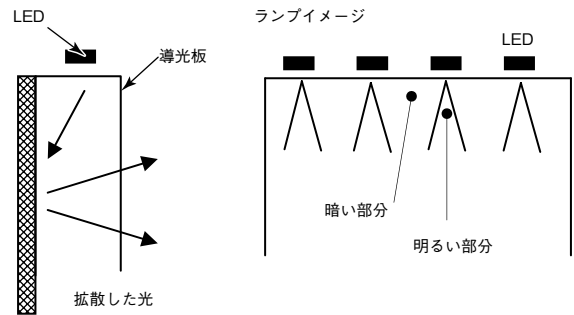


図3 直接入射方式

上方入射導光ロッド方式は図4のように、LEDの光を凹凸断面をもった導光性部材の導光ロッドへ上方から入射させ、一度拡散させてからその光を導光板へ入射させる方式である。この方式は、直接入射方式より表示面の輝度むらは軽減されるが、LEDがある程度の個数必要となるためコスト的な課題が残る。

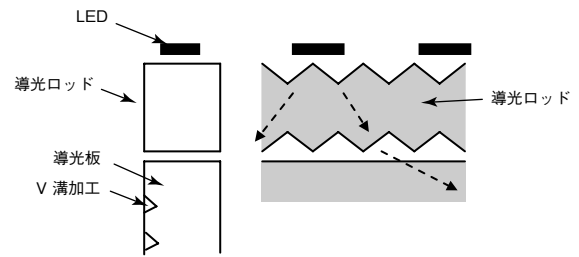


図4 上方入射導光ロッド方式

サイド入射導光ロッド方式は図5のように、LEDの光を導光ロッドの端面から入射させて、凸凹形状の反射面で光の進行方向を変えて導光板に入射させる方式である。

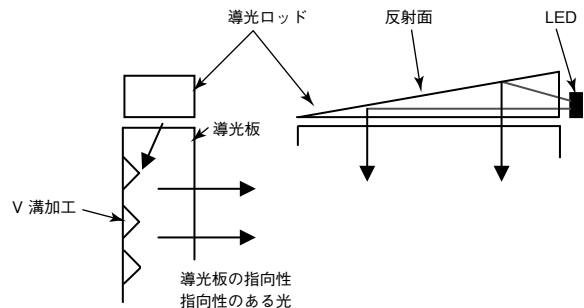


図5 サイド入射導光ロッド方式

この方式には次の利点がある。

- (1) 点光源を線光源に変換させているので、導光板には反射効率の高いV溝を有するものを使用でき、高い器具効率を確保しながら輝度むらのない表示面を実現できる。

(2) 最低1個のLEDを使用して線光源に変更できるため、低消費電力化とコスト低減で有利である。

以上の三つの照明方式を比較し、サイド入射導光ロッド方式を採用する。

### 3.2 導光ロッド構造

サイド入射導光ロッド方式の最重要課題は、導光ロッド部分で効率を低下させることなく、いかにLEDの光を導光板に入射させるかという点である。

LEDの光を効率良く表示パネル内の導光板に入射させるためには、まず導光ロッドの反射面で効率良く導光板方向に光を反射させることが重要になる。そこで、導光ロッドの反射面はドット印刷やしほ加工よりも効率良く反射でき、かつ指向性も制御できるV溝形状を採用する<sup>1)</sup>(図6、図7)。

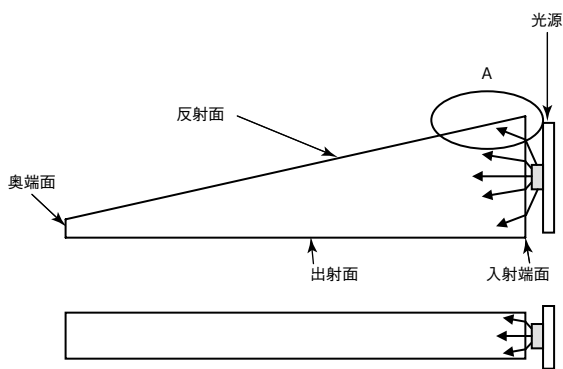


図6 導光ロッドと光源の配置

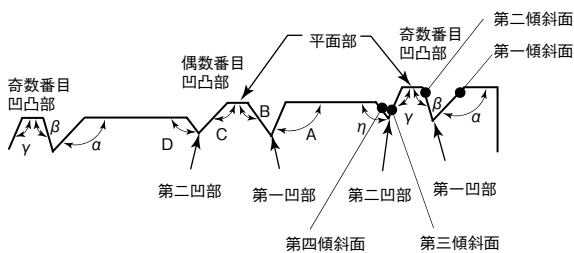


図7 A部拡大図

このV溝形状では、入射端面から入射した光を第一傾斜面で反射させて出射面から出射させるとともに、第一傾斜面から抜け出した光を第二傾斜面から再び導光板内に入射させ、第三傾斜面で反射させて出射面から出射させることが可能である。また、各凹凸部が設けられている反射面と出射面との距離が入射端面から奥端面に向かって狭くなるため、入射した光のうち反射面の凹凸部に当たらずに奥端面まで到達する割合が少なくなり、出射面から出射される光のうち、指向性を有する光の量が増えることから、効率の優れた反射面となる。

また各凹凸部のうち、もっとも入射端面側に配置されたものを第一の凹凸部とし、その奥端面側に隣接するものを第二の凹凸部、 $n$ 番目のものを第 $n$ の凹凸部とした場合、奇数番目の凹凸部の第一から第四傾斜面が反射面と成す傾斜角度が同一で、偶数番目の凹凸部の第一傾斜面から第四傾斜面が反射面と成す傾斜角度が同一であることを特徴としている。

以上の工夫により、ランプ部においては効率として約25%の改善を達成している。

## 4. 導光板

導光板の開発ポイントは、以下のとおりである。

- (1) 入射端面から入射した光を効率良く出射面から出射させること。
- (2) 出射される光の輝度むらを最小にすること。

### 4.1 高効率なV溝形状

従来型誘導灯の導光板の反射面には、V溝の微細パターンが形成されている<sup>1)</sup>。この導光板に対して図8に示すように、入射面からの距離に応じて6領域を設定し、各領域別にXY平面において出射される光の指向性を光学シミュレーションによって数値化して現状分析を試みる。その結果を図9に示す。同図から、0度方向以外に出射された光をロスと考えた場合、-90度方向の指向性を筆頭に、改善の余地があることがわかる。

そこで、導光板断面形状の簡易モデルを用いて、ロスの発生原因の理論的究明を行う。図10に従来導光板断面概略図を示し、主な光のロス発生の要因を以下に示す。

- (1) 入射端面から入射された光が直接V溝に当り、V溝を透過後に反射シートで拡散反射される。
- (2) 入射端面から入射された光が直接V溝に当り、V溝を透過後に再び導光板内に入射し、出射面から出射される。
- (3) 反射面と出射面で全反射を繰り返すうちに臨界角に到達し、導光板外に出射される。

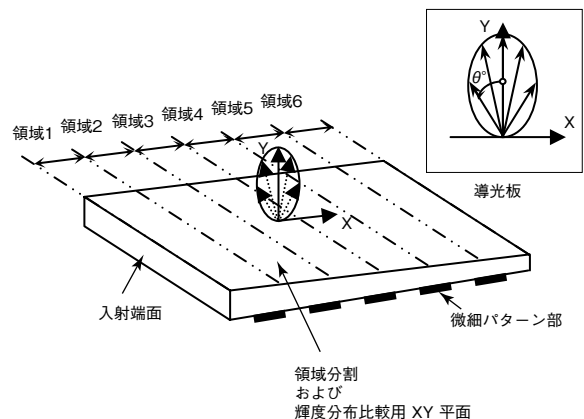


図8 導光板の領域分割

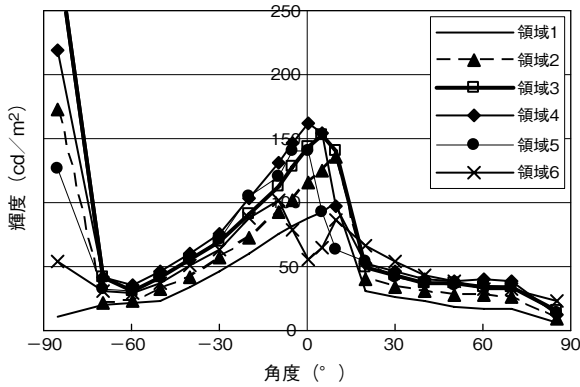


図9 従来の導光板の指向性

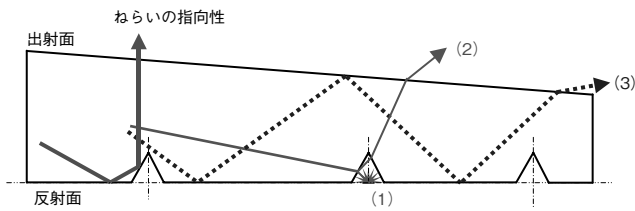


図10 従来の導光板の課題

これらのロス光の発生を最小限に抑えるための新たな微細パターン例を図11から図13に示す。

図11に示すV溝形状の改善によって、前述(1)のロスがほとんどなくなる。

また、図12に示す第二の反射面を追加することにより、直接V溝に当たる光を増やすことなく、0度方向への指向性をもった出射光を増やすことにより、前述(2)のロスを低減している。

さらに、図13の①に示すように反射面を傾斜させることによって、前述(3)のロスをほとんどなくするとともに、図中の②に示す出射光の指向性をより顕著にする効果が得られる。

以上のことから、入射端面から入射された光を指向性のある光として効率良く出射面から出射させるための、高効率微細パターンが得られる。

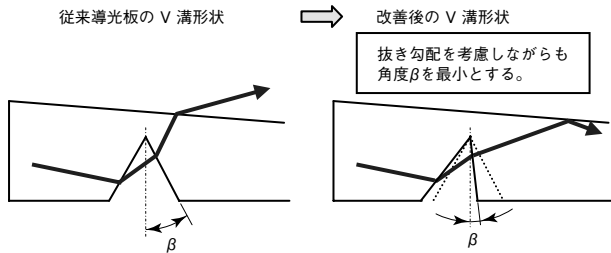


図11 V溝形状の改善

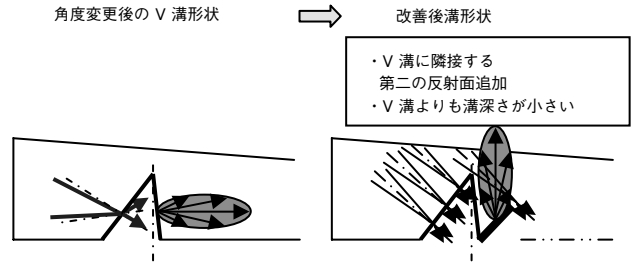


図12 第二の反射面追加

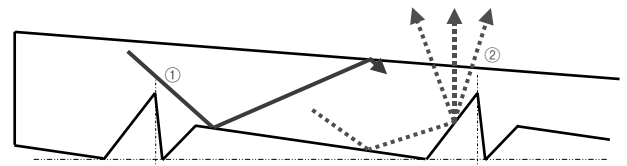


図13 傾斜させた反射面

#### 4.2 出射面輝度むらの最小化

導光板の反射面に微細パターンを形成して、面発光を得る導光方式の場合、面発光する表示面には微細パターンのV溝ピッチで輝線と暗線の縞模様が見られる。また、入射端面からの距離によって、出射面に輝度むらが発生する場合もある。これらが誘導灯の表示パネルに直接視認されると見栄えが悪いため、拡散性能を有する表示パネルや樹脂シートを使用し、外観を向上させるのが一般的である。

しかし、この方法は導光板からの出射光の指向性を低下させてしまうため、導光板単体での輝度むらを極力少なくする必要がある。

そこで、以下のような工夫による導光板を開発し、輝度むらを低減させている。

(1) 微細パターンのV溝ピッチと深さをパラメータとして、変曲点が現れないように連続的に変化させる。その事例を図14に示す。

(2) 導光板を図8で示した6領域に分割し、光学シミュレーションにより、各領域の0度方向の輝度がほぼ同等となる条件を見いだす。

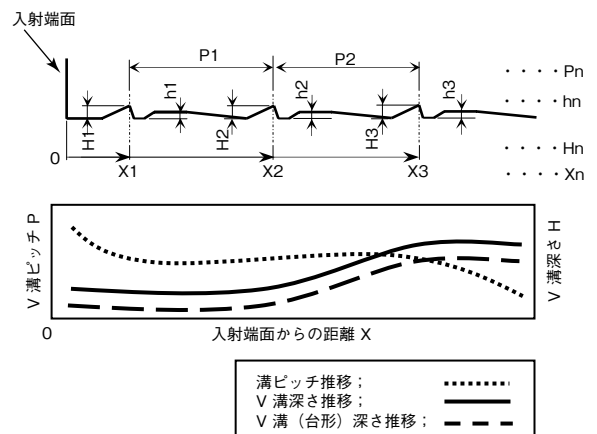


図14 XとP, H, hパラメータの関係例

### 4.3 開発した導光板の性能評価

開発した導光板の領域別射出光指向性を図 15 に示す。図 9 と比べて  $-90$  度付近の光のロスがほとんどなくなり、また  $0$  度方向の輝度値は  $225 \text{ cd/m}^2$  となり、従来と比べて約  $50\%$  効率改善している。さらに、各領域ごとの指向性もばらつきが少ない均一性の高い導光板となっている。

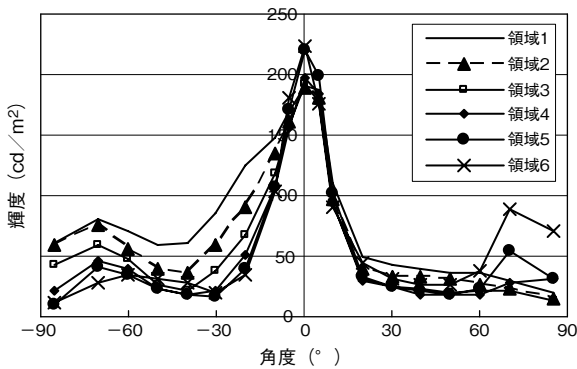


図 15 開発した導光板の指向性

## 5. 回路部

光源が冷陰極蛍光灯から LED に替わることによる大きな違いは、冷陰極蛍光灯は数十 kHz の高周波で数百 V の高電圧を印加して点灯させるのに対し、LED は直流の電圧を印加して点灯させることである。

また、LED の点灯回路は、LED ごとの順方向電圧のばらつきや温度特性による光出力のばらつきを抑制するため、定電流回路で点灯させるのが一般的である。

さらに、誘導灯器具には片面型と両面型があり、両面型では独立した 2 枚のパネルを点灯させるために LED を並列に点灯させることも求められる。

一方、誘導灯のコントロールユニットは電池を充電するため、従来から絶縁型のコンバータにより商用電源を低電圧の直流電圧に変換する電源回路を有していた。

そこで、LED を点灯させる誘導灯用のコントロールユニットとして、定電流回路と従来から使用している電源回路を組み合わせる最適な手段について検討を行う。

並列に接続された LED に定電流を供給するための点灯回路を図 16 に示す。

これは一般的な定電流回路であり、LED にはシャントレギュレータ IC1 と抵抗 R1 で決まる一定電流が流れて点灯する。

また、LED を点灯させるためには LED に順電圧以上の電圧を印加する必要がある。しかし、LED ごとの順電圧はばらつきをもっており、さらに温度や LED に流す電流によっても順電圧は変化する。したがって、これらの変動を考慮した最大の順電圧を想定したうえで、電源回路の出力電圧値 V1 を設定する必要がある。

そうした場合、低い順電圧の LED が接続されるとトラ

ンジスタ Q1 での電力ロスが増加してしまう。

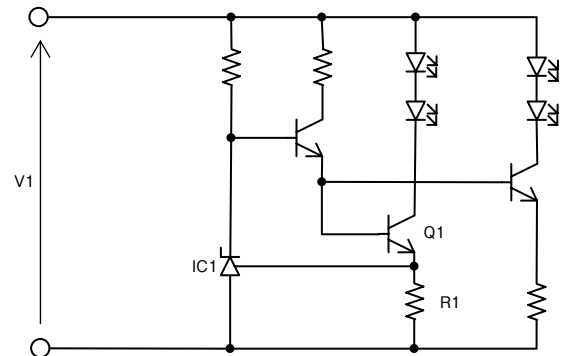


図 16 点灯回路部

そこで、定電流回路と電源回路を組み合わせるうえで LED の順電圧に応じて電源回路の出力電圧 V1 を変動させる方法を検討する。

具体的には図 17 に示す回路構成のように、定電流回路により並列接続された 2 組の LED 間の電流を一定にすることで光のばらつきを抑制しつつ、それぞれの LED の順電圧を検出する。この順電圧が高い側の LED の電圧に応じて出力電圧 V1 のフィードバック制御を行い、電源回路の出力電圧を最適化させることで、BH 両面タイプで約  $10\%$  の省エネルギーを実現している。

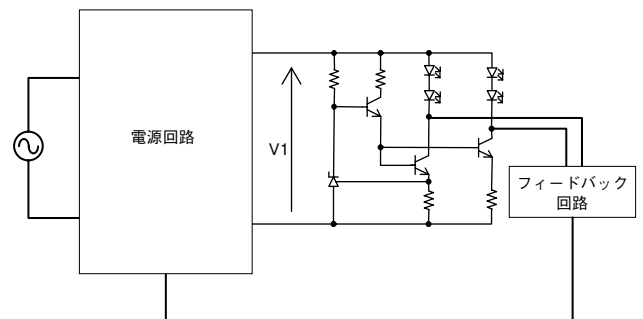


図 17 定電流回路構成

## 6. あとがき

誘導灯において、光源を冷陰極蛍光灯から LED に変更するとともに、点光源である LED から面発光する表示面に変換する光学系として、ランプ部分では点光源を線光源に変換するサイド入射導光ロッド方式を、表示面部分では従来よりもさらに効率を改善した V 溝の反射面を有する導光板を考案し、表示面の輝度むら抑制と  $50\%$  の省エネルギーを実現した。

また独立した 2 枚の表示面を有する両面型では、並列接続された 2 組の LED の順電圧を検出してその高い側の電圧を電源回路にフィードバックする定電流回路により、おのおのの電流を一定にすることで明るさのばらつきを抑制できた。

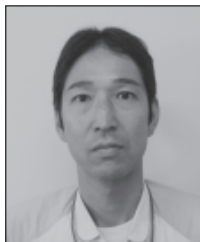
**\*参考文献**

- 1) 福島 博司, 吉田 浩之, 内田 雄一: 高輝度誘導灯「コンパクトスクエア」用導光板の配光制御技術, 松下電工技報, No. 67, p. 39-43 (1999)

**◆執筆者紹介**



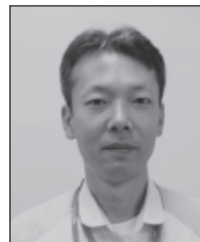
西岡 伸介  
施設・屋外照明事業部



小出 晋司  
施設・屋外照明事業部



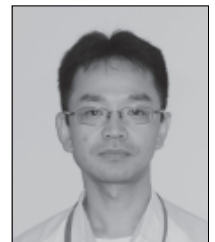
齊藤 功  
施設・屋外照明事業部



森田 幹雄  
施設・屋外照明事業部



立野 洋司  
照明基幹デバイス総合部



山下 浩司  
照明基幹デバイス総合部