

産業機器向け LED 照明・表示器の要素技術

Elemental Technology of LED Lights and Displays for Industrial Devices

吉田 隆 Takashi Yoshida

平山 紀友 Noritomo Hirayama

坊野 憲司 Kenji Bouno

LED は発光効率が高いことや、紫外線による色あせを起こさないなどの特徴により一般照明だけでなく、産業用照明機器・表示機器への適用も注目されている。富士電機の LED 照明・表示器は導光板を用いた方式を採用し、少ない光源数で広範囲の照光ができる工夫を行っている。従来の LED 照明・表示器と比べても、大幅な省エネルギーが期待できるだけでなく、蛍光灯外形よりも薄型で機械や装置などに組み込みやすく、導光板の形状を変えることで、さまざまな用途に対応可能なフレキシビリティを備えている。

Having a high light emission efficiency and colors that do not fade due to ultraviolet rays, LEDs are attracting attention for application to industrial lighting devices and displays, in addition to their use in general-purpose lighting. Fuji Electric's LED lighting and displays use light-guiding plates, and are devised so as to illuminate a wide area with just a few light sources. Compared to conventional LED lights and displays, Fuji Electric's LED products provide not only significant energy savings, but are easier to install in machinery and equipment because they have a thinner external shape than fluorescent lights, and by changing the shape of their light-guiding plates, are capable of supporting a wider variety of applications.

1 まえがき

地球規模での環境問題が将来の環境変動数値としてリアルに示されるにつれ、CO₂ 排出量削減目標の設定とこれに向けての取組みが広がりつつある。これまでも CO₂ 排出量削減のための省エネルギー（省エネ）の取組みは、一般家庭だけでなく、産業分野においても積極的に進められてきた。2009 年 12 月に合意された気候変動枠組条約第 15 回締約国会議（COP15）のコペンハーゲン協定では、日本は 1990 年比 25% の温室効果ガス削減を目標としており、今後さらなる省エネの促進が必要となってくる。

一般家庭における電力消費量は照明機器が全体の 16% を占め、エアコンや冷蔵庫について大きく、光源に低消費電力の発光ダイオード（LED）を用いた LED 照明への置換が進んできている。さらに、LED は長寿命で、発光素子も小さいため照明器具も小型化でき、光の制御が容易であるなどの特徴がある。可視光以外の光をほとんど含まないので、紫外線などによる被照射物の色あせなどを心配する必要もない。LED はこのような特徴から一般照明への適用はもとより、産業用照明機器・表示器としても注目されている。

富士電機は産業機器、産業システムなどを販売しており、これらの省エネにも取り組んでいる。今回、産業分野への展開を主な目的とした LED 照明・表示器の要素技術を開発し、試作したので紹介する。

2 LED 照明・表示器の構成

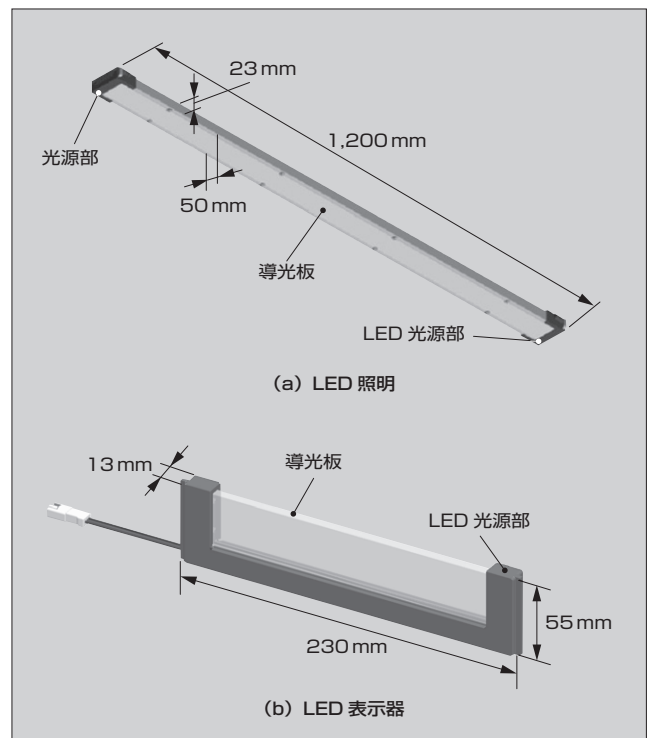
一般的な LED 照明や表示器は、多くの LED 素子を並べ、直接照射する方式を採用している。この方式は、照度は高いが、LED 素子の数に比例して消費電力が増加し発熱量

も増えてしまう。温度管理の要求が厳しい産業用機器への組み込みには適さない場合がある。

機器に組み込みやすく、最適な照度と省エネを達成するために、導光板を用いた方式を採用した LED 照明・表示器の要素技術を開発している（図 1）。

この導光板方式は、後述する特殊な加工を施した透明樹脂の導光板と、高輝度 LED を内蔵した LED 光源部を導光板の両端に備えた簡単な構成であり、従来の LED 照明と比較し、大幅な省エネが期待できる。さらに、蛍光灯外

図 1 LED 照明・表示器の構成



形よりも薄型で、導光板の長さを変えることで、さまざまな用途に対応可能なフレキシビリティを備えている。

本稿では、導光板方式の LED 照明・表示器に関して、その構成と原理、および適用事例について紹介する。

2.1 LED 照明・表示器の原理

導光板方式の原理を図 2 に示す。

LED 素子からの出射光は、導光板の両端面から入射し、導光板内を多重反射して伝播（てんぱ）する。導光板の長手方向の一面は光を取り出す照射面であり、その反対面が光を拡散させる特殊な加工を施した光拡散面になっている。LED の発光面は、導光板の照射面に対して直角に配置するため、LED から出射し導光板内を伝播する光は、導光板の照射面に対して臨界角以上の角度で入射する。そのため、光拡散加工が施されていないと、伝播する光を導光板から外部へ取り出すことはできない。導光板方式の LED 照明・表示器では、導光板の一面に光拡散機能を持たせるために、マイクロレンズアレイ加工をしている。このマイクロレンズアレイで構成される光拡散面に光が入射すると、光が拡散反射するため、光は導光板から外部へ出射する。

マイクロレンズアレイとは、大きさが数 μm という極小のレンズを並べたものであり、液晶パネルのバックライトなどに適用されている。マイクロレンズアレイは入射波長に関係なく、光の散乱角度と強度を制御できる特徴を持っている。光拡散面は、このマイクロレンズアレイを一定間隔に規則的に配置するのではなく、ランダム配置で形成して光の回折による影響を低減し、さらに光取出し量を導光板の中心が大きく、両端へ沿って小さくなるように構成している。光取出し量は、マイクロレンズアレイの凹凸量と一致するので、この凹凸量を段階的に変えて照度を調整することで均一な照明にすることが可能となる。

2.2 LED 照明の特徴と仕様

導光板方式を LED 照明に適用する場合、LED 自身の持つ特性を生かして、次のような特徴を持たせられる。表 1 に LED 照明装置の仕様を示す。

(a) 蛍光灯と比較し、低消費電力

- (b) 長寿命でメンテナンスフリー
- (c) LED の選択による光源の含有波長の制限
- (d) 導光板では非発熱
- (e) 小型で、曲線などの自由な形状が可能

2.3 LED 光源部

導光板方式では、光源部の LED 素子から出射した光を導光板へ入射させている。光源部では素子の劣化を防止し、発光を安定させるなどの目的から、LED 光源部は、金属ケースに LED 素子を格納し、LED 素子自体の発熱を効率よく放散させる構造としている。

照明装置では用途に応じて、光源に対する要求仕様が異なる。例えば、半導体製造工場などでは 500 nm 以下の波長に感度を持つ感光材料を扱うため、紫外線カット用の黄色樹脂被膜をガラス管外面に設けた黄色蛍光ランプを使用する人が多い。また、植物の育成には赤色（660 nm 近辺）と青色（450 nm 近辺）光が有効である。

本開発による LED 照明では、適用する用途に最適な色波長の照明とするために、LED 光源部は図 3 に示すように最適な波長の LED 光源を選択し、容易に設置できる構造とした。

表 1 LED 照明装置の仕様

項目	仕様
外形	W71×D1,196×H22.5 (mm)
質量	1,870 g/1 灯
電源電圧	DC12 ~ 25 V
直下照度 (距離)	1,325 lx (200 mm)
	362 lx (500 mm)
	113 lx (1,000 mm)
色温度	5,000 K または 3,000 K
消費電力	16 W/1 灯
使用周囲温度	- 20 ~ + 40 °C
相対湿度	45 ~ 85%RH

図 3 LED 光源部

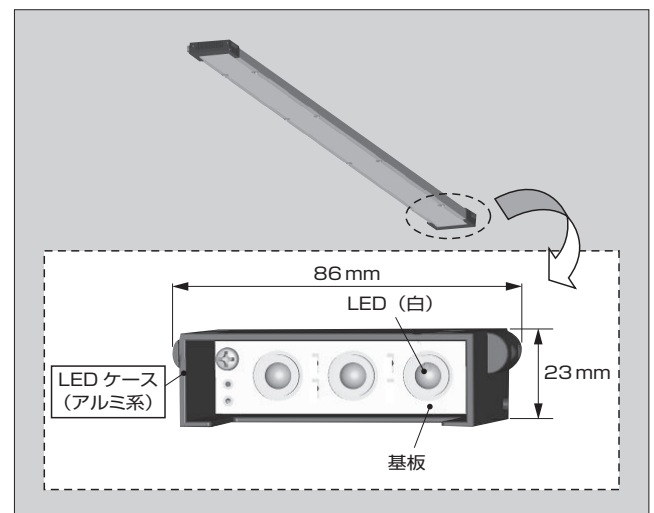
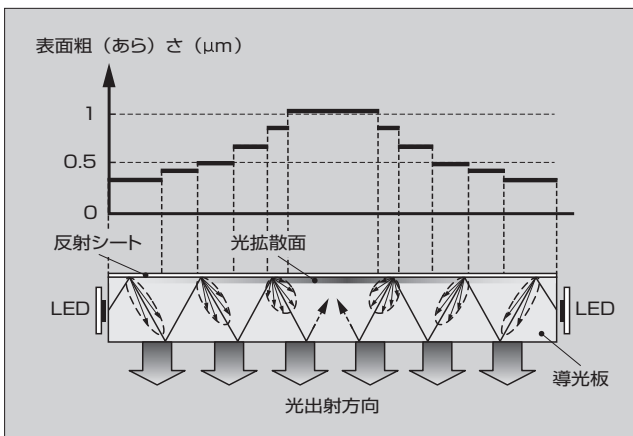


図 2 導光板方式の原理



2.4 電鍍による導光板の製作方法

導光板の光拡散面は、数ミクロンの凹凸を持つマイクロレンズアレイがランダム配置されている。数 μm サイズの凹凸量は、光の拡散角度を制御する機能を持つため、サブ μm レベルの精度で凹凸を形成することが要求される。

マイクロレンズアレイの製作は、電鍍めっき技術を適用して原版より転写型を製作し、この転写型から樹脂成形によって導光板へ光拡散面を形成している(図4)。

導光板は図2に示すように導光板の長手方向に沿って段階的に凹凸量を変える構成であるので、この凹凸変化に合わせて用意した金型を使って成形することで精度良く導光板を製作することができる。

2.5 点灯回路

照明用のLED素子の高輝度化の進歩に伴い、駆動電流も増加し点灯回路の役割も重要になっている。

本装置における点灯回路では、スイッチング素子をPWM(Pulse Width Modulation)波でデューティ比を変化させ、LEDの駆動電力が一定となるように制御する。スイッチング電源によるLEDの駆動方法を図5に示す。

点灯回路においてもLED照明での省エネを考慮している。LED素子は高周波数での点灯動作が可能であるという特性を生かして、70kHzでオン-オフ動作している。この周波数でのオン-オフ動作では、人間の視認性を低下させずに、LED素子からの発熱を抑制し、全体の消費電力を抑えることができる。

図4 電鍍めっきによる導光板製作フロー

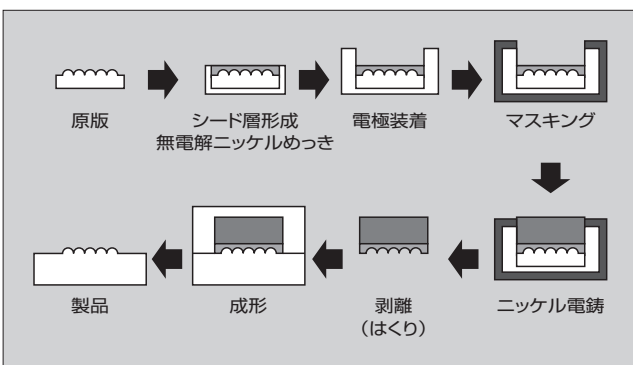
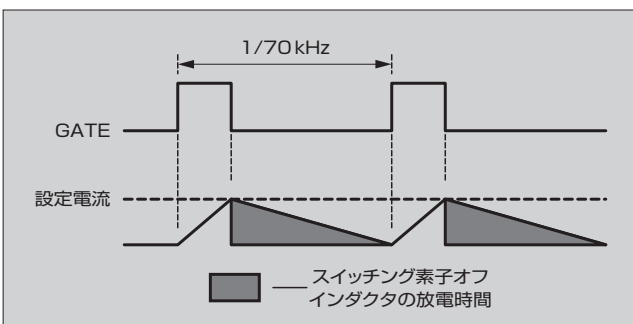


図5 LED 駆動方法



③ シミュレーションによる導光板解析技術⁽²⁾

前述のLED照明・表示器の原理で述べたように、導光板方式は光拡散面による光拡散角度と光取出し量を制御することで均一な照度分布を得ている。LEDからの出射光を効率よく取り出すには、光拡散面の形状と照度分布に関する設計が重要となる。しかしながら、現状の解析技術でランダム配置されたマイクロレンズアレイを解析することは困難であり、さらに長さ1.2mの導光板に数十 μm の直径の球面をモデリングすると、解析モデルのデータ量が多くなり、解析に数十時間かかるため現実的ではない。そこで代表的な光拡散面を実測し、これを基にデータベースを構築した。次にこれを補間する方法を考案し、照度分布解析に適用した。

一般的に光の透過・拡散には、図6に示すような3種類の拡散パターンがある。これらの組合せにより光の拡散状態を示すことができる。光入射面が平滑な場合、ほとんど正反射・透過だけである。表面に凹凸があるとガウス反射や透過成分が増える。ガウス反射や透過成分は光入射角度に依存するが、等方反射や透過は光入射角度に依存しないで拡散する。マイクロレンズアレイを用いた光拡散面は、ガウス反射・透過成分が多い。実測例として、ガウス反射成分の透過拡散角度と表面粗さの関係を図7に示す。マイクロレンズアレイの凹凸を表面粗さで示し、拡散角度との関係を見るとほぼ比例の関係で近似することができる。

このようなマイクロレンズアレイの光拡散面を表面粗さとの関係で、拡散角度、反射率を定義したデータベースを構築した(表2)。

図6 導光板内の光の拡散性



図7 表面粗さと拡散角度

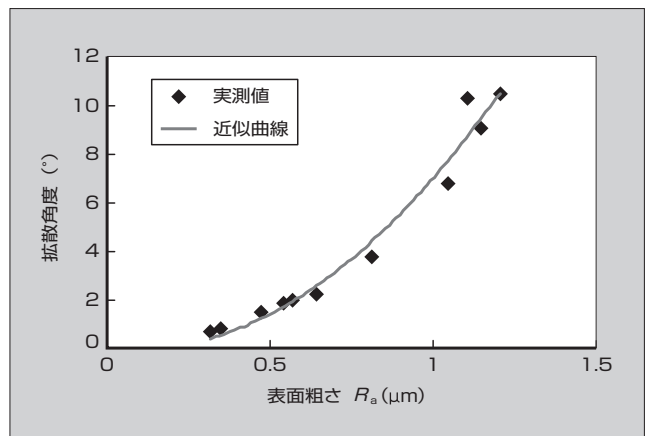
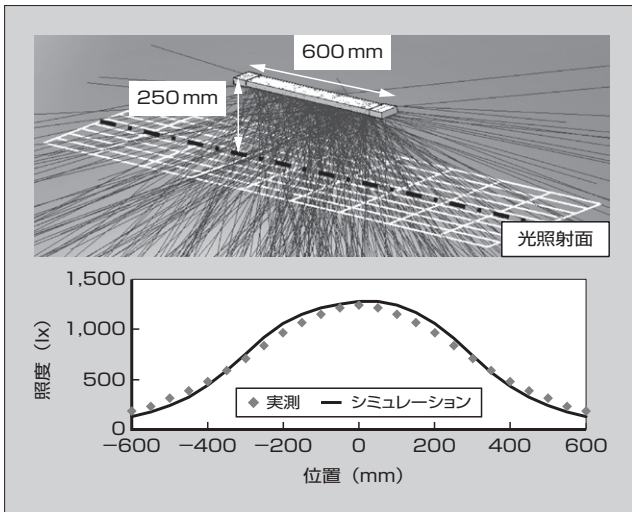


表2 表面特性データベース

	入射角度 (°)		
	0	40	80
正反射 (%)	0.0	0.0	0.0
等方反射 (%)	97.5	56.7	10.0
ガウス反射 (%)	2.5	43.3	90.0
ガウス拡散角度 (°)	36.8	31.7	14.0

図8 照度分布解析結果



これらのデータベースを用いて生成した表面状態を光拡散シミュレーションソフトウェア“OptisWorks”でモデリングした導光板に適用して解析した(図8)。表面粗さを考慮するだけでは、実測との誤差が大きかった。導光板内を伝播する光の損失や、導光板の光拡散面の背面特性なども考慮して解析したところ、10%以内の誤差での解析ができるようになった。導光板の長さを変更する場合でも、最適な導光板の凹凸状態を解析し、均一な照明を設計することができる。

4 ショーケースへの設置例

LED 照明の適用例について紹介する。

蛍光灯を照明として用いている装置として商品を陳列するショーケースを取り上げ、そこに試作品のLED照明を設置した例を図9、図10に示す。

蛍光灯をLED照明に置き換えることで、消費電力を288Wから69Wへ約76%の削減が見込める。これはLED照明単体の消費電力の削減効果である。これに加えて蛍光灯発熱の冷却エネルギーも削減できる。従来はショーケースや店内の空調機器で冷却していたため、周辺空調機器の省エネにも寄与する。このようにLED照明は、従来の蛍光灯と比較して明確な省エネ効果のある機器である。

図9 LED照明の省エネルギー効果

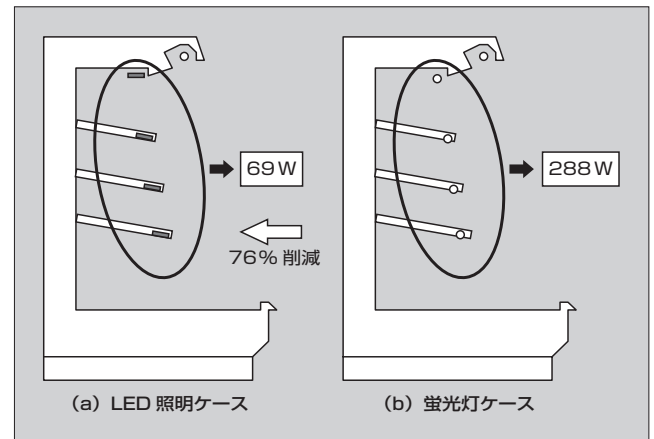
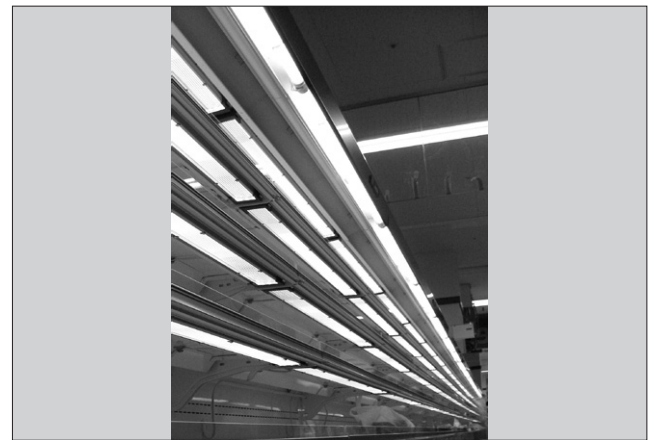


図10 LED照明の設置例



5 あとがき

本稿では、富士電機で開発したLED照明・表示器に関する要素技術について紹介した。

近年LED素子は急速に高効率化、低コスト化が進展し、光源としての本格的な適用が期待されている。照明や表示器への要求はお客さまの用途・設備ごとに異なる。蛍光灯や白熱灯などでは実現が難しかった要求にも容易に対応できる可能性がある。富士電機では、導光板を用いた方式を採用しており、薄型化と機器への組込み性を向上し、さまざまな用途への適用を検討している。LED照明では素子の数を低減することで、従来のLED照明と比較しても、大幅な省エネルギーが期待できる。

富士電機では“エネルギー・環境”を事業の軸として、産業、そして社会への貢献を目指している。今後も機械や装置への適用を中心とするLED照明・表示器の利便性を向上し、最適化を推進すると同時に、消費エネルギー低減に寄与することで、地球環境の改善にも貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 日経エレクトロニクス, 日経マイクロデバイス共同編集.

LED2009-最新技術と市場動向. 日経BP社, 2008.

- (2) Xiao, D. He et al. A Comprehensive Physical Model for Light Reflection, Computer Graphics, 1991, vol.25, no.4.



平山 紀友

工業用計測機器, 光応用機器の研究開発に従事。現在, 富士電機システムズ株式会社技術開発本部計測技術センター計測機器開発部マネージャー。



吉田 隆

電子機器, システム機器の開発企画に従事。現在, 富士電機機器制御株式会社技術・開発本部開発部担当課長。電子情報通信学会会員。



坊野 憲司

制御機器, LED 関連技術の研究開発に従事。現在, 株式会社秩父富士技術本部研究開発室長。エレクトロニクス実装学会会員。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。