

青色LED励起による波長変換表示技術の開発

間宮 勝、塩路 卓也、三輪 高仁、岡本 炳人、藤田 俊弘
(和泉電気株式会社)

Development of optical wavelength conversion technology in display lights
incorporating blue LED pumping

Masaru MAMIYA, Takuya SHIOJI, Takahito MIWA, Akito OKAMOTO, Toshihiro FUJITA

IDEC IZUMI Corporation

1-7-31 Nishimiyahara, Yodogawa-ku, Osaka 532, Japan

e-mail: mamiyam@itc.idec.co.jp

Abstract: Visual feedback is very important when thinking of Human Machine Interface (HMI) and display lights are the most basic device that yield visual feedback. Display lights are evaluated by their visibility which are 1)high brightness, 2)uniform brightness, 3)wide viewing angle and 4)color variations. We have reported the progress we made on these four themes of visibility in the previous Symposium on Human Interface. In this paper we will report on further progress in color variations of LED display lights utilizing optical wavelength conversion technology.

Keywords: display lights, LED, wavelength conversion, color

1. はじめに

機器の動作状態や危険等の情報をオペレータに知らせる表示装置は機械と人間とを取り持つヒューマン・マシン・インタフェース(HMI)のうち最も基本的で重要な機器であり、広く産業用として利用されている。

これら表示装置においては、より確実に、よりの確に情報を伝えるために視認性が問題となる。我々はLEDを用いた面照光表示機器において、ホログラムを拡散板として導入することにより高輝度化、高視野角化、均一照光化等の視認性の向上を実現し

たことを既に報告した。^[1]

一方、オペレータに対してより確実に、しかも直感的に情報を伝えるためには一目で見てその表示の意味が読み取れることが人間工学的には非常に重要である。すなわち情報を色により識別すればオペレータは認識し易いが、現存するLEDの発光色だけでは表示灯の色数が限定されている。

そこで、今回我々は、面照光表示灯において、青色LEDを励起光(ポンプ光)とした波長変換技術を検討し、加法混色により様々な色を発光させる表示技術を開発したので報告する。

Table 1. 表示灯の色と意味 (IEC(国際電気標準会議)204-1^[2]より)

発光色	色の意味	LEDの半導体組成
青	義務的(行動を要求する)	GaInN
緑	正常、安全	GaInN、GaP:N
黄	注意(切迫した臨界状態)	AlInGaP、GaP:N
ランプ色	中性	AlInGaP、GaAsP
アンバー	特に定義なし	AlInGaP、GaAsP
赤	非常事態、危険、警報	GaAlAs

Table 2. 色と感情の関係

属性種別		感情の性質	色の例	感情の性質
色相	暖色	暖かい	赤	激情・怒り・歓喜・活力的・興奮
		積極的	黄赤	喜び・はしゃぎ・活発さ・元気
		活動的	黄	快活・明朗・愉快・活動的・元気
	中性色	中庸	緑	安らぎ・寛ぎ・平静・若々しさ
		平凡	紫	厳粛・優婉・神秘・不安・やさしさ
	寒色	冷たい	青緑	安息・涼しさ・憂鬱
		消極的	青	落ち着き・淋しさ・悲哀・深遠・沈静
		沈静的	青紫	神秘・崇高・孤独

2. 表示色とその意味

Table 1 は IEC (国際電気標準会議)204-1^[2]、10.3 項に規定されている表示灯の色とその色の持つ意味をまとめたものである。表示灯の発光色は直感的にその色の意味を認識しやすくするために Table 2^[3]に示すような色の温度感による心理的要素が考慮されている。温度感に関しては数多くの実験がなされており、ばらつきはあるものの、ある程度の普遍性もあり、長波長の色は暖かく、短波長の色は冷たく判断される。Table 1 の表示灯の色と意味も温度感に関連して考えることができる。すなわち、暖色である赤や黄といった色は危険や注意といった緊迫した意味に用いられ、中性色で

ある緑は安らぎ、平静といった感情から正常、安全といった意味に用いられる。寒色である青は落ち着き、淋しさという感情から行動を要求するといった意味に用いられる。このように表示灯の色と意味はその色から受ける感情効果を考慮して認識しやすいように規定されている。

以上の観点から表示灯、特に面照光表示灯のオペレータに対する認識のし易さにはその発光色が深く関わっており、限られた色のみではなく任意な発光色が実現できれば効果的な表示が可能になると考えられる。特に実用性を考慮すると、現存するLEDの発光色に加えて、徐々に普及しつつある青色LEDを用いることにより、低消費電

力、長寿命、しかも低コストな表示灯を実現することは産業用表示分野で効果が大きいと考えられる。

3 . 青色 L E D 励起による波長変換

産業分野における面照光表示灯への応用を考慮し、低コストで多色表示を実現するため、今回我々は面照光の青色 L E D を励起光とし、蛍光色素を波長変換材料とした表示技術を開発した。

3 . 1 色素分子のエネルギー準位

蛍光とはルミネッセンス (luminescence) の一種であり、幅広い分野で応用されている。Fig.1 に色素分子のエネルギー準位図を示す。基底状態 S_0 にある色素分子に励起光を照射すると色素分子は励起光を吸収し、色素分子中の電子が S_0 よりもエネルギー準位の高い S_1 に遷移する。そしてエネルギー準位 S_1 にある色素分子中の電子が基底状態 S_0 に遷移するときに光を発する。このように物質中の電子が基底状態から励起状態に遷移し、再び基底状態にもどるときに光を放出する現象、あるいはその際に放出される光がルミネッセンスである。Fig. 1 からわかるように、通常一般的には吸収のエネルギーが発光のエネルギーより大き

いため、色素分子の選択をうまく行えば光の波長変換が可能である。

3 . 2 L E D 表示灯^[4]への応用

L E D を用いた表示機器、特に面照光 L E D 表示灯は前述したように産業用分野で広く利用されている。青色 L E D は現存する L E D の中で最も短波長であり、言い換えれば最もエネルギーが大きいため Fig.1 に示す励起光として利用可能である。また L E D 表示灯で波長変換を実現するために、蛍光色素分子を含有する樹脂板を用いる。青色 L E D を励起光として波長変換を行うので、この樹脂板を以下ラムダコンバータと呼ぶ。

Fig.2(a) にラムダコンバータを使用しない場合、すなわち L E D 自体の発光の場合と、Fig.2(b) にラムダコンバータを使用した場合の表示灯の簡単な構成及び発光の様子を簡単に示す。ここで i はある広がりをもった光スペクトルである。

まず Fig.2(a) に示すようにラムダコンバータを使用しない場合、発光色は 1、2、3 というそれぞれの L E D 自体の発光スペクトル、すなわち光源の色によって決まり、これ以外の光スペクトル、発光色は得られない。

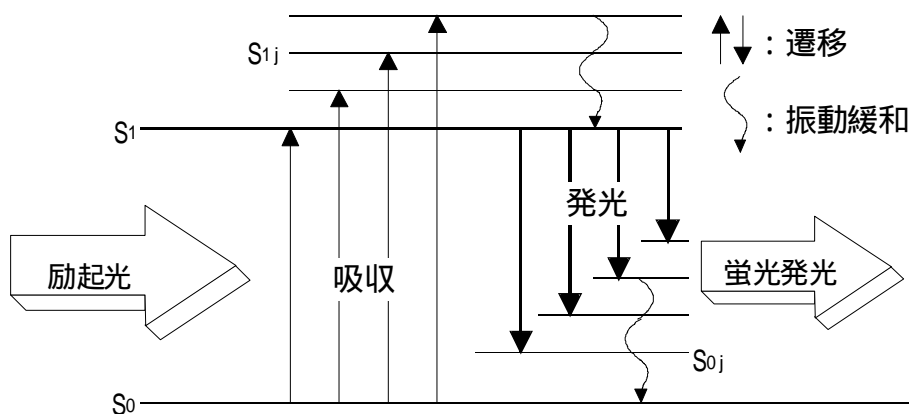
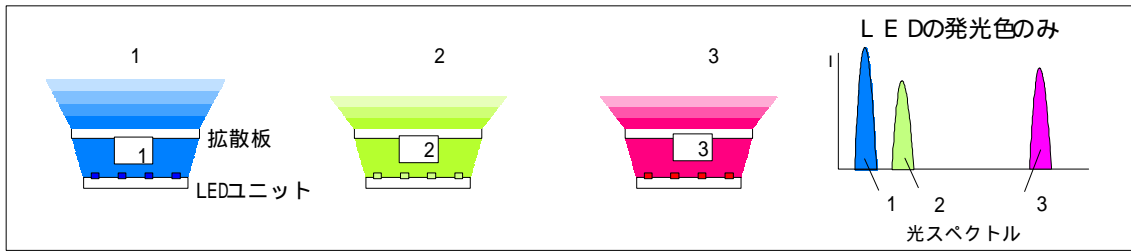
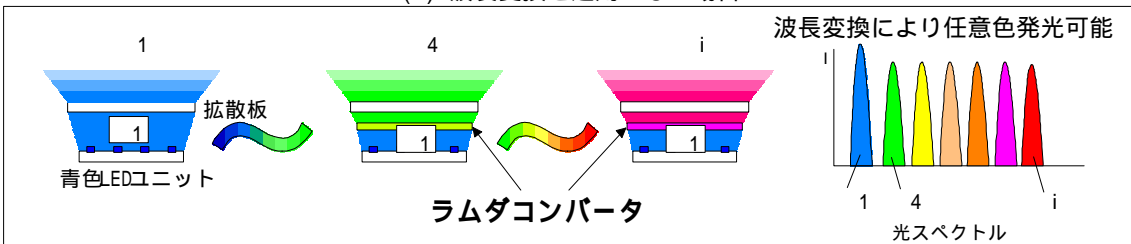


Figure 1. 色素分子のエネルギー準位の模式図



(a) 波長変換を適用しない場合



波長変換を適用した場合

Figure 2. LED表示灯への波長変換技術の適用

他方、Fig.2(b)に示すようにラムダコンバータを使用する場合、光源のLEDは全て青色LEDとなる。そして、光源の青色光が励起光となり、ラムダコンバータにより波長変換される。すなわち励起光の光スペクトル 1とは異なる光スペクトル 4 ~ iに変換されて出力されるのでLEDの発光色のみでは得られなかった発光色を実現できる。

3.3 発光スペクトルと色度

青色LEDを励起光とし、異なる蛍光色素をそれぞれ含有した3種類のラムダコンバータを用いて構成した表示灯の発光スペクトルとその色度の測定結果を Fig.3 と Fig.4 に示す。Fig.3の光スペクトルは回折格子型分光器により測定し、Fig.4の色度は色度計により測定した。

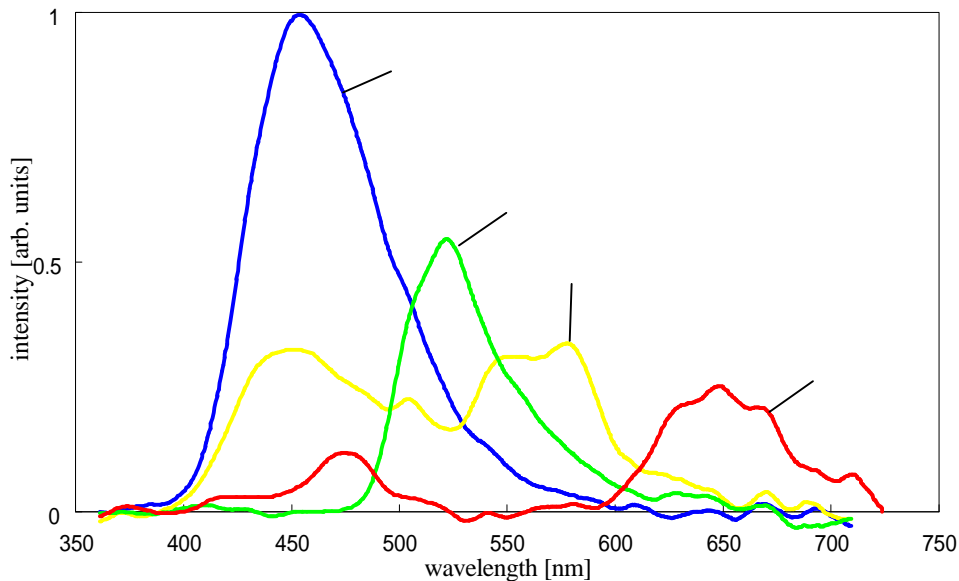


Figure 3. 任意色発光表示灯のスペクトル
(1: 励起光源の青色、2: 白、3: 緑、4: 赤)

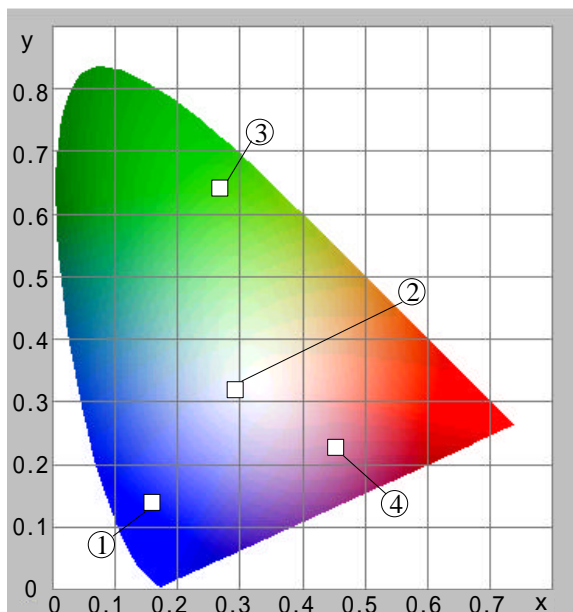


Figure 4. 任意色発光表示灯の色度
(1:励起光源の青色、2:白、3:緑、4:赤)

Fig.3 においては番号 が励起光の青色LEDの光スペクトルであり、番号 ~ がそれぞれ異なるラムダコンバータによって波長変換された光スペクトルである。

また Fig.4 の色度図では Fig.3 と同様に番号 が励起光の青色LEDの色度であり、番号 ~ の色度がラムダコンバータによって波長変換された色度である。ここではLEDの発光色そのものの青色であるが、 は白色、 は緑色、 は赤色に波長変換されている。

ここで、次の2つの波長変換方式の違いにより発光色の得られ方が異なる。

- A. 励起光の光スペクトルをまったく異なる光スペクトルに波長変換する方式
- B. 励起光の光スペクトルの一部を透過させ、一部を吸収して波長変換する方式

Fig.3 の光スペクトル の緑色のよう、ほぼAの特性をもつラムダコンバータでは

励起光の光スペクトルがまったく異なる光スペクトルに波長変換され、変換効率が高い。この場合励起光の強度を大きくしていくと、励起光はラムダコンバータを透過することなく吸収され、波長変換された発光色の発光強度が大きくなる。すなわち青色LED強度を大きくすれば、ラムダコンバータにより波長変換された緑色光の強度も大きくなる。

一方、Fig.3の光スペクトル や はBの特性を持つラムダコンバータを用いた方式であり、励起光である青色光と波長変換によって得られる発光色の光を同時に出力する。従って、それらの表示色は加法混色によって複数の発光色が混ざり合った色となる。例えば Fig.3 の光スペクトル の表示色は白色であるが、これは励起光の青色と波長変換によって得られる黄色の混色により得られたものである。すなわちこのBの方式では、励起光強度あるいはラムダコンバータの蛍光色素の含有率等により、加法混色に対してより自由度を持たせることが可能である。

また、さらにカラーフィルタを用いることによって任意の発光色を実現することができる。一例であるが、Fig.3 の光スペクトル で励起光の青色をカットするカラーフィルタを用いると黄色の発光色が得られる。

以上のように、従来の表示灯においてはLED自体の発光色がそのまま表示灯の発光色となっていたが、今回提案する波長変換技術を利用する場合は、励起光源、ラムダコンバータ、カラーフィルタで表示灯を構成すると非常に多くの発光色を実現することができ、用途に応じた発光色の表示灯を選択することも可能となる。

4. まとめ

本稿ではLEDを用いた表示機器の性能向上、すなわち視認性の向上を図るため表示色数を飛躍的に増大させる波長変換技術について述べた。現在普及しつつある青色LEDを励起光とし、蛍光色素を波長変換材料としたラムダコンバータと組み合わせることにより色度図上において任意の発光色を実現できる技術であり、光源の持てるポテンシャルを最大限に利用するものである。

従来のLED表示技術では、光源の発する光をそのまま表示に利用していただけでありそれ以上の表示色は望めなかった。しかしこの波長変換表示技術を用いることによって2.表示色とその意味で述べたように温度感による心理的効果を考慮した人間工学的な側面からもより効果的な表示が可能となる。また産業用として低消費電力、長寿命、低コスト化が実現可能であり、今後色々な用途に展開できると思われる。

冒頭にも述べたように、表示機器は機械と人間を取り持つヒューマン・マシン・インタフェースとして最も基本的で重要なものであり、今後も見やすく快適な表示環境を実現するために新技術の開発に挑んでいきたいと考えている。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、研究開発部関係各位並びに生産技術センター関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 間宮 勝、錦 朋範、馬野 勝三、田辺 伸一、高木 俊和、藤田 俊弘：ホログラムと面照光LEDを用いた高視認性表示技術の開発、第12回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集、p.493-500、1996
- [2] IEC(国際電気標準会議) 204-1, 1992 Electrical equipment of industrial machines Part 1 : General requirements, section 10.3
- [3] 日本色彩学会：色彩科学ハンドブック、東京大学出版、p.408-411 (1991).
- [4] 馬野 勝三、田辺 伸一、松本 吉弘：高輝度面照光LED表示灯の開発、IDEC REVIEW 1996, p.34-41、和泉電気株式会社