

レーザー照明における高演色化の開発

眞鍋 由雄¹, 嶋田 賢男¹, 石野 正人², 山本 和久²

1 津山工業高等専門学校 総合理工学科

2 大阪大学 レーザー科学研究所

1. はじめに

現在、既存照明装置の蛍光灯から省エネに優れた固体照明装置に移行している。しかし、固体発光素子は離散的な発光スペクトルを有するので、演色性は連続スペクトルである標準光源に比べて非常に低い。また、既存光源（白熱電球や蛍光灯）に比べても低い。固体発光素子の高演色化の一例として、大阪大学レーザー科学研究所の中の山本和久教授らの研究グループでは、4波長半導体レーザーによる光源で演色性を改善した報告がされている[1]。また、申請者は、LEDの場合白色LEDに赤色、緑色単色LEDを加色した報告がある[2]。

また、第5世代移動通信システムや高精細8K映像システムなどの次世代映像システムの実用化が現在進んでいる。これらのシステムを用いた視覚を利用する官能検査システム、例えば、遠隔作業や手術など、色再現で実現されるシステムでは厳しい照明環境条件が要求されるので、この視覚利用の照明システムでは高演色性の機能を持ち、かつ省エネで軽量小型のレーザー照明が重要なキーデバイスとなると考えられる。

本研究では、山本和久教授らの研究グループの基幹設備と申請者の演色性の改善技術の融合により、波長選択の容易なLEDにおいて加法混色による発光スペクトル合成で、レーザー照明の演色性の改善の先行検討を行ない、レーザー照明の実用課題であるレーザー波長の数や光源の波長間隔などの諸特性と演色性の関係について再検討することを目的とする。本年度は、3色ないし4色単色LEDの構成で特殊演色評価数(R9)を加法混色法を用いて計算し、実験で検証確認すると共に、その結果を基に半導体レーザーを用いて実験的に確認する。

2. 加法混色による発光スペクトル合成

固体発光素子の各光源の発光スペクトルから得られた三刺激値 X_i, Y_i, Z_i (i =各光源、ここでは b:青色、g:緑色、r:赤色、y:黄色または橙色)による各光源の色度座標 x_i, y_i は、式(1)となる[3]。

$$x_i = \frac{X_i}{X_i + Y_i + Z_i}, y_i = \frac{Y_i}{X_i + Y_i + Z_i} \quad (i = b, g, r, y) \quad (1)$$

また、各光源の刺激値 Y_i が各光源の印加電力に相関し、その混合係数を a_i とすると、加法混色して得

られた色度座標 x, y は式(2)となる。

$$x = \frac{\sum_i a_i \cdot X_i}{\sum_i a_i \cdot (X_i + Y_i + Z_i)}, y = \frac{\sum_i a_i \cdot Y_i}{\sum_i a_i \cdot (X_i + Y_i + Z_i)} \quad (2)$$

さらに、各光源の初期値となる三刺激値をもとめると、所望の色度座標における各光源の印加電力を求められ、合成された発光スペクトルが得られる。この発光スペクトルを使って JIS Z8726 に基づいて演色性を評価した。

3. レーザー照明、LED光源の構成

本研究で使用したLEDは、日亜化学工業(株)製の青色:NE2B757GT(464 nm)、緑色:NE2G757G(522 nm)、赤色:NCSR119B-V1(631 nm)、橙色:NJSA172B(608 nm)を使った。光源の概略図を図1に示す。光源の基本構成は、アルミニウム基板上に銅箔の配線層、LEDと配線層とを半田で接続するための開口部で配線上に配置されたレジスト層、およびLEDである。各色LEDは2個ずつ並列に接続し、定電流電源で式(2)から求めた電流値で駆動制御した。また、半導体レーザー(LED)光源は、461 nm, 522 nm, 588 nm, 635 nmを使用した。

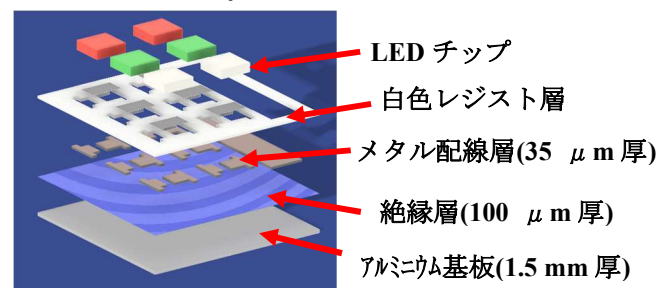


図1 LED光源の基本構成

4. 演色性の予測と実験結果

式(2)から求めた発光スペクトルの合成から、色度座標 $(x, y) = (0.28, 0.28)$ から $(0.4, 0.4)$ までの範囲で、特殊演色評価数 R9 を計算した。計算結果を図2、3に示す。図2は青色、緑色、赤色LEDの3色合成で求めたR9、同様に図3は青色、緑色、赤色、及び橙色の4色合成で求めたR9である。3色LED構成のR9(図2)は、みえてわかるように、広範囲の色度座標においてR9の値は-100であった。この

傾向は、3色LEDを構成する各LEDのピーク波長を変えても同様の結果を得られた。一方、4色LED構成のR9（図3）は、広範囲の色度座標領域において、 $R9 > 80$ の値を示した。最大値は95.5に達した。この値は、申請者が白色LED、緑色、

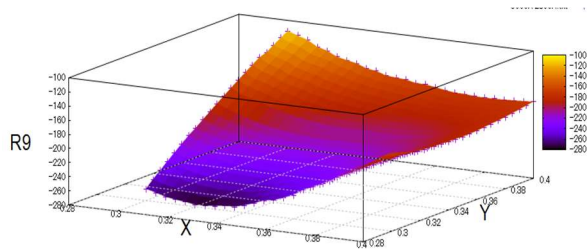


図2 3色LED構成のR9の予測値

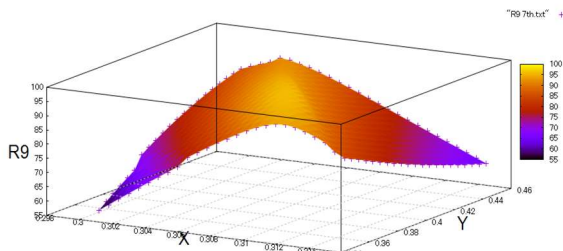


図3 4色LED構成のR9の予測値

赤色LEDの構成で示した値(97.7)と同等であった[2]。図2, 3で得られた結果を基に、色温度6000 K、DUV0付近の色度座標で、3色LED構成と4色LED構成のLED光源で光学測定を行った。図4に3色LED構成、図5に4色LED構成の発光スペクトルを示す。図4の3色LED構成の場合、

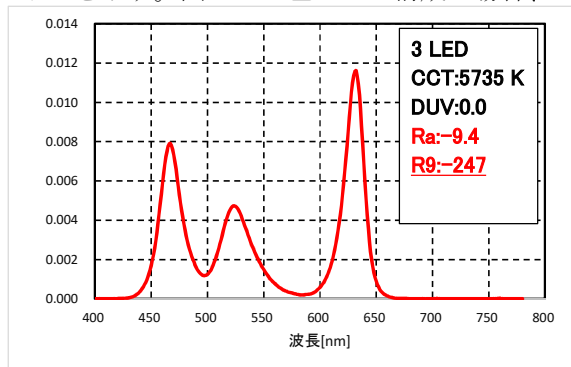


図4 3色LED構成の発光スペクトル

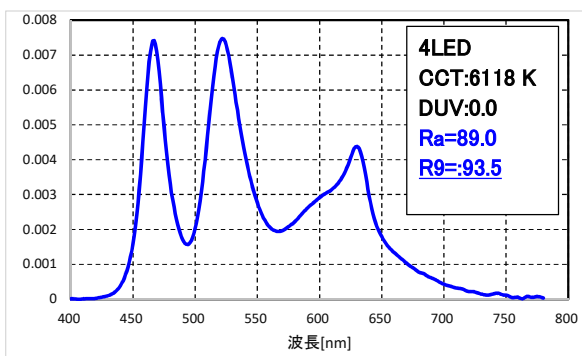


図5 4色LED構成の発光スペクトル

R9=-217であったが、4色LED構成の場合、

R9=93.5を得た。単色LEDの構成で高いR9を得ることを検証できた。一方、図2、図3で示した予測結果を用いて現有の半導体レーザーを用いてR9の検証実験を行った。図6に青色、緑色、赤色の3色LD構成、図7に青色、緑色、赤色、黄色の4色LD構成の5000 K、DUV0色度座標付近における照度計の出力波形のスペクトルを示す。ここで、このスペクトルは照度計の出力波形を示し、各半導体レーザーの発光形状を示したものでない。

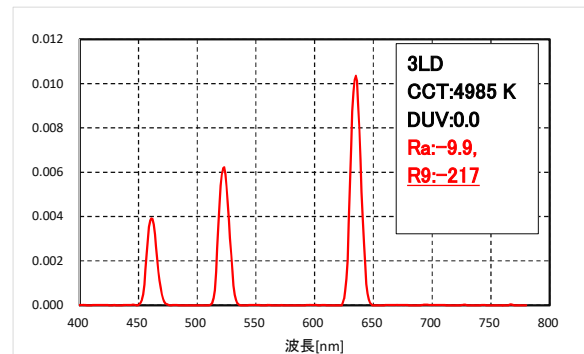


図6 3色LD構成の照度計出力スペクトル

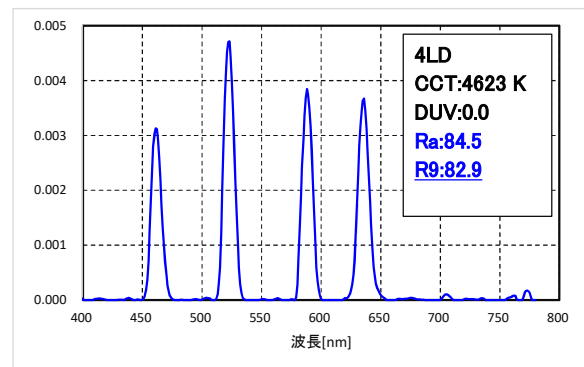


図7 4色LD構成の照度計出力スペクトル
4色LD構成の場合、 $R9=82.9$ に達した。3色LD構成の場合、LEDと同様に負の値であった。

5. まとめと今後の計画

本年度は単色LEDまたは半導体レーザーによる演色性改善の取り組みを始め、特殊演色評価数(R9)について、単色LED、半導体レーザーともに4光源の場合、加法混色法で予測された高い値を得た。しかし、白色LEDを用いた場合で得た演色性の値に達していない。来年度、演色性の向上だけでなく、多波長の半導体レーザーの構成を求める。さらに、高い演色性を得る波長選択の理論が不明なので、高演色性のレーザー照明の実用化に向けた研究を行う予定である。

参考文献

- [1] J.KINOSHITA et.al, The 5th Laser Display and Lighting Conf.(LDC'16) (2016).
- [2] 熊崎 竣二 他, 2018年照明学会全国大会
① -P-02.
- [3] 照明学会編、“照明工学”(オーム社,2015)pp. 173-174.