

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06126

研究課題名（和文）マイクロプロセス技術を利用した新しい輝度均一標準光源の開発

研究課題名（英文）Development of new transfer standard for luminance with micro-process optics

研究代表者

神門 賢二（GODO, KENJI）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・研究グループ付

研究者番号：30371040

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、技術進歩が著しい画像技術に資するために、マイクロレンズや高機能光学素子技術等を利用することにより、高安定かつメガコントラスト範囲の輝度制御可能な輝度均一標準光源の開発を目的としており、研究期間内において、輝度均一標準光源の光源部の設計・構築を行い光源部の妥当性検証、レイトレーシング法を用いた輝度均一標準光源の拡散光学部の光学モデル作成とその最適化、更には、輝度均一標準光源の試作・評価などの成果を達成した。今後の研究展開としては、今回の検討結果を利用し、輝度の標準供給に使用することができる標準光源を完成させることである。

研究成果の概要（英文）：In order to contribute to imaging technology with remarkable progress, this research aims to develop a standard light source for luminance with high stability and luminance dynamic range control in the mega luminance range by utilizing microlenses and advanced optical element etc.

The construction of LED light source part in the standard light source was achieved, and optical modeling of the diffusing optics part in the standard light source was calculated and optimized with the ray tracing method. In addition, it was fabricated and evaluated for the standard light source. As a future research plan, with result of this research results, it is to complete the standard light source that can be used for providing of luminance standard.

研究分野：測光・放射分野、発光デバイス計測

キーワード：輝度 輝度均一光源 LED 光線追跡法 マイクロレンズ

1. 研究開始当初の背景

8K スーパーハイビジョン(SHV)に代表される LED 等の固体素子光源の高効率化は、照明用途だけでなく、8K スーパーハイビジョンに代表される画像技術にも大きな革命をもたらし、更には照明光源分野同様にディスプレイの“明るさ・見え方”の正確さ(輝度測定)が重要になっている。例えば、高精度な画像技術の応用の一つとして、医療への応用等が考えられるが、ディスプレイの輝度値の正確さは画像診断の誤診に関わるため非常に重要であり、米国の医療用ディスプレイの要求指針では、ディスプレイの輝度を定量評価する輝度計を適切に校正することにより、メガコントラスト範囲での正確さが要求されている[1]。また大型ディスプレイの輝度値を迅速に定量評価するための新しい測定装置としてイメージング色彩輝度計等が登場している。

輝度計を広ダイナミック範囲かつ高精度に校正する方法は、測定エリアに対して十分な大きさの均一な輝度面を有する標準光源(輝度均一標準光源)を利用する方法である。かつては、輝度計の校正用に一定の輝度均一発光面を実現するリボンフィラメント電球が用いられていたが、優れた特性の電球製造が困難になっている。これに対して、ハロゲン電球等の白熱光源を利用した光源部と、積分球を用いた拡散光学部から構成される積分球型輝度均一光源は、組込みの変絞りや点灯本数の調整等により、広範囲の輝度レベル調整が可能な光源である。しかしながら、一般に積分球内面の拡散反射材料として使用される硫酸バリウムは容易に剥離してしまうため、長期安定性に乏しく、校正値を仲介・維持する標準光源としては不向きである。またイメージング色彩輝度計校正を目的として均一輝度面を大面積化するためには積分球を大型化する必要があり、可搬性という点において問題が発生する。

即ち、画像技術は高精度化するが、それを評価する測定技術の精度向上が難しい状況であり、適切な輝度標準値を仲介・維持する標準光源が存在しないことは、画像技術の高精度化に対する弊害になっており、これが、本研究開発を提案した背景である。

[引用文献 1]ASSESSMENT OF DISPLAY PERFORMANCE FOR MEDICAL IMAGING SYSTEMS, AAPM ON-LINE REPORT NO. 03.

2. 研究の目的

上記述べた高精度画像技術に適した標準光源が存在しないという状況を打破するためには、新たな原理に基づく輝度均一標準光源を開発する必要がある。要素技術として、i) 光源の安定化・ロバスト性、ii) 均一な輝度面を実現する光学設計、iii) メガコントラスト範

囲の輝度制御方法等を研究開発する必要がある。本研究では、申請者がこれまで行ってきた LED による標準光源開発の知見を利用し、高安定かつメガコントラスト範囲で輝度制御可能な輝度均一標準光源を開発することを目指す。

3. 研究の方法

研究の方法として、具体的には、以下の(1)～(4)を行う。

(1) 輝度均一標準光源の光源部の設計・構築
光強度の高安定化実現のために、UHDTV(Ultra High Definition Television)規格を満たしている最適な LED を選択後、LED 光源ユニットの放熱設計を行い、最適化設計および可搬性を追求する。また、併せて光源部で用いる LED の分光分布や配光分布の評価もレイトレーシング法による計算において使用するために行う。

(2) レイトレーシング法を用いた輝度均一標準光源の拡散光学部の設計

輝度均一標準光源に必要な諸特性としては、i) 均一な輝度面、ii) 完全拡散面等の特性が考えられ、それららの諸特性を実現するのが、拡散光学部になる。

このため拡散光学部の最適な設計を行うために、①マイクロレンズアレイを用いた方法(以下、マイクロレンズタイプ)、または②ライトパイプを用いた方法(以下、ライトパイプタイプ)の2つについて、光学モデルの構築を行い、それぞれについて、レイトレーシング法により、その輝度均一度や配光分布について、計算を行い、最適な光学モデルの構築を試みる。

(3) 輝度均一標準光源の製作・評価

上記レイトレーシング法において検討した、拡散光学部を製作し、LED 光源ユニット部と組み合わせることにより輝度均一標準光源の試作構築を行う。試作した実機は、CCD カメラタイプの輝度測定装置を利用した輝度均一性評価を行う。更に標準光源として必須な特性である安定性や温度依存性に関しても恒温槽等を利用し評価を行う。また、配光測定を実施し、ランベルト配光への一致の程度について評価を行う。そして上記、評価結果に基づき再度拡散光学部の最適化設計を行い、更なる均一化を目指す。

4. 研究成果

(1) 輝度均一標準光源の光源部の設計・構築
UHDTV 規格を満たしている最適な LED について、研究協力者である LED メーカーに問い合わせを行い、最適な高強度 LED を選定(白色 LED, 青色 LED, 緑色 LED, 赤色 LED、各1種類)し、図1、図2に示す通り、分光分布や配光分布等のデータ取得を行った。

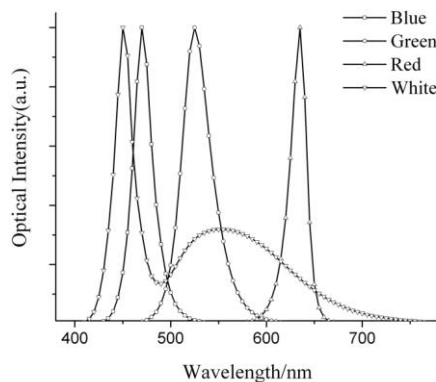


図 1. 選択した高強度 LED の相対分光分布

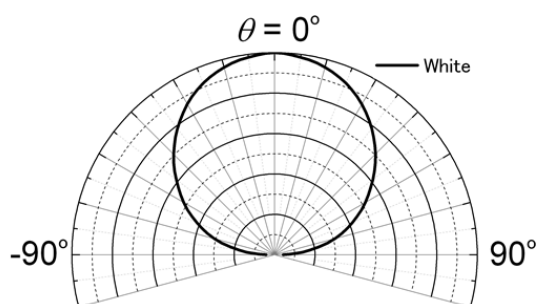


図 2. 選択した高強度白色 LED の配光分布

選択後、LED 光源ユニットの放熱設計を行い、最適化設計および可搬性について検討を行い、図 3 で示したペルチェ素子・温度センサーから構築される温度安定化機能を有する LED 光源ユニット の設計・構築を行った。

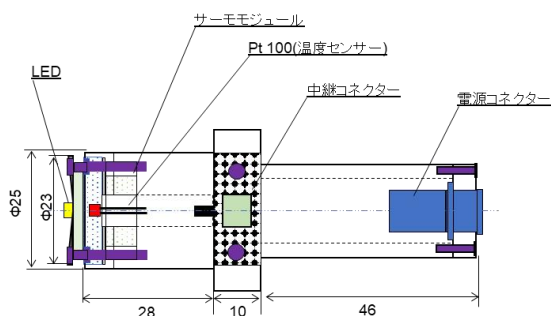


図 3. LED 光源ユニット概要図(上)および試作した光源ユニットの写真(下)

そして、構築した LED 光源ユニットの有用性を検証するために、温度制御有無の場合の LED 光源ユニットの光強度の安定性評価(約 2h)を行った。評価結果を図 4 に示す。

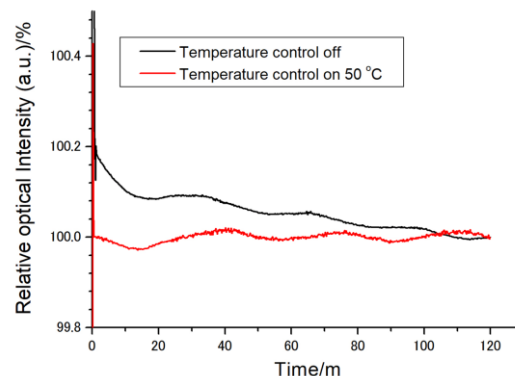


図 4. LED 光源ユニットの光強度安定性評価

LED 光源ユニットは、温度制御時は、 $50^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ で制御を行った。評価結果が示す通り、温度制御を行わない場合(黒線)は、点灯後、光強度が急激に減少し、安定するまで、2 時間以上、時間が必要であることが分かる。一方、温度制御を行う場合(赤線)、ほぼ点灯直後から安定であり、安定後の光強度の変動も 0.1 %以下に抑えることができたことが分かる。即ち以上より、今回構築した LED 光源ユニットの有用性を明らかにした。

(2) レイトレーシング法を用いた輝度均一標準光源の拡散光学部の設計

拡散光学部について、①マイクロレンズタイプ(図 5)、または②ライトパイプタイプ(図 6)の 2 つについて、光学モデルの構築を行い、レイトレーシング法により、その輝度均一度や配光分布について、計算を行い、最適な光学モデルの設計を行った。

それぞれの拡散光学部は、可搬性等を考慮し、 $\phi 30\text{ mm}$ 、長さ 60 mm の筐体部に組み込むことを前提に光学モデルの構築を行った。輝度-照度変換法による輝度値の実現において、重要となる精密アパーチャの径(図中の Precise Aperture)は、 $\phi 9\text{ mm}$ としている。

光源部は、上述した温度安定化 LED を用いるが、図 5 および図 6 の光学部モデルでは、LED の配光分布データのみを用いて、光源部は省略している。また、光学モデルを構築する際には、できるだけレイトレーシング法による計算精度を上げるために、各光学部品のカatalogデータを利用し、光学部品の再現を試みている。

それぞれの光学モデルに対して、レイトレーシング法による解析を行い、精密アパーチャ面に形成される輝度面の均一性およびその配光特性について評価を行った。

図 7 にマイクロレンズタイプ、図 8 にライトパイプタイプのレイトレーシング法による解析結果をそれぞれ示す。

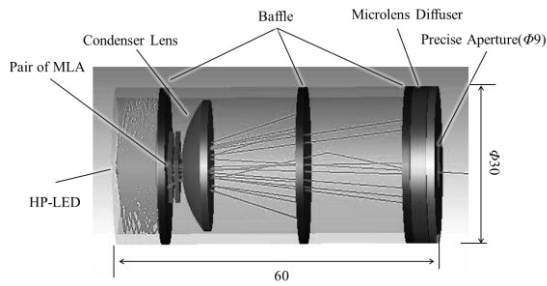


図 5. 拡散光学部の光学モデル:マイクロレンズタイプ

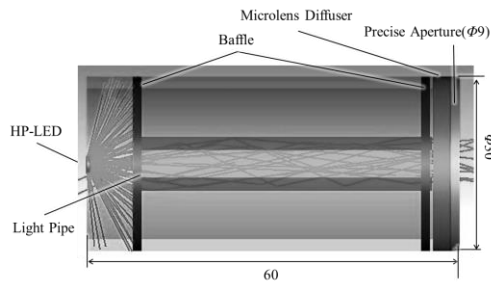


図 6. 拡散光学部の光学モデル:ライトパイプタイプ

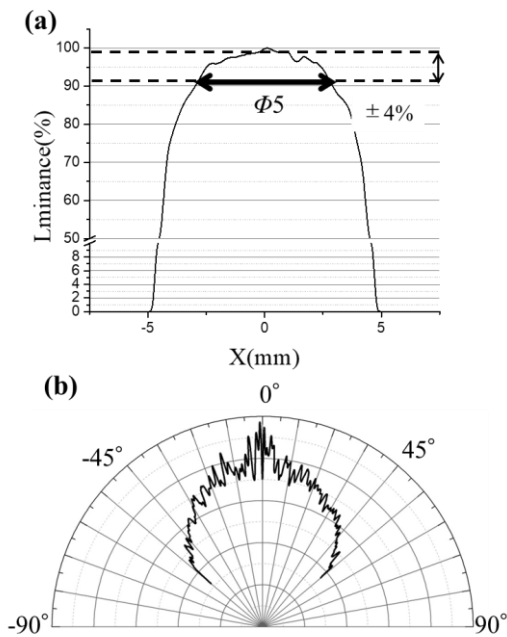


図 7. マイクロレンズタイプのレイトレーシング法による計算結果:(a)精密アパーチャ上の輝度面均一性, (b) 配光分布

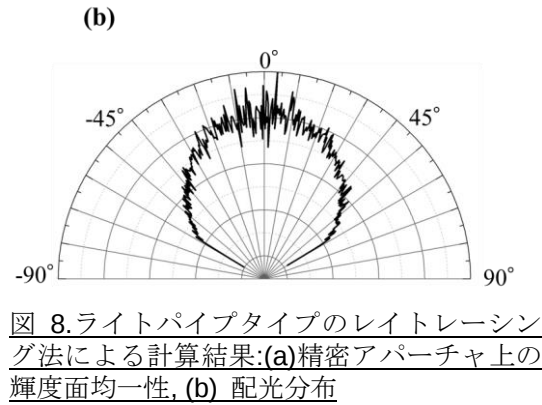
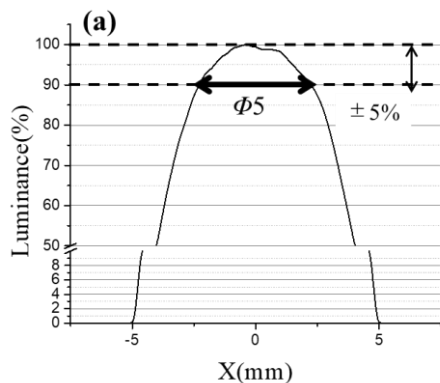


図 8. ライトパイプタイプのレイトレーシング法による計算結果:(a)精密アパーチャ上の輝度面均一性, (b) 配光分布

上記のレイトレーシング法の評価結果より、マイクロレンズタイプでは、 $\phi 5$ の範囲で $\pm 4\%$ 程度の輝度面の均一を達成できることが分かった。しかしながら、光学系の効率が悪く、更には輝度均一標準光源の可搬性を追求し、小型化を目指した場合、筐体内部からの反射成分が均一な輝度面を乱す大きな原因となることが判明した。すなわち、実現するにあたっては、内部の構造の最適が必要であることが判明した。

一方ライトパイプタイプでは、 $\phi 5\text{ mm}$ で $\pm 5\%$ 程度の輝度の均一度であるが、効率が良くかなり強度が強い輝度面を形成できることが判明した。ライトパイプタイプは、用いるライトパイプのサイズに強く依存するため、サイズを変更することにより、輝度が均一な面を大きくすることは可能であることが分かった。

(3) 輝度均一標準光源の製作・評価

上記レイトレーシング法において検討した、2つの拡散光学部(マイクロレンズタイプおよびライトパイプタイプ)を製作し、LED光源ユニット部と組み合わせることにより輝度均一標準光源の試作構築を行った。

図 9 に構築した輝度均一標準光源の概要図を示す。

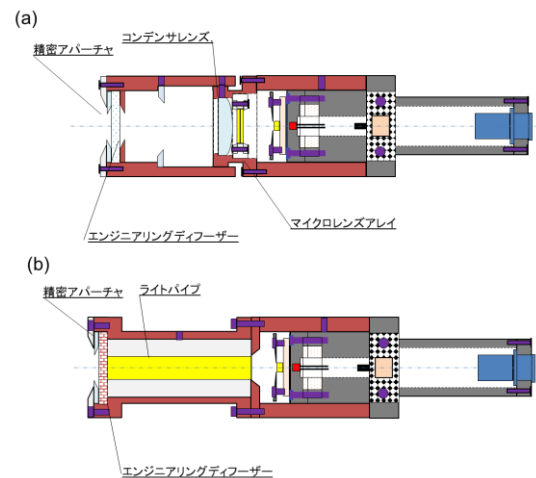


図 9. 試作した輝度均一標準光源の概要図: (a)マイクロレンズタイプ, (b)ライトパイプタイプ

そして、構築した輝度均一標準光源の輝度均一度評価を2次元輝度計を用いて行い、レイトレーシング結果との比較を行った。

図10にマイクロレンズタイプ、図11にライトパイプタイプのレイトレーシング法による2次元輝度計による評価結果を示す。

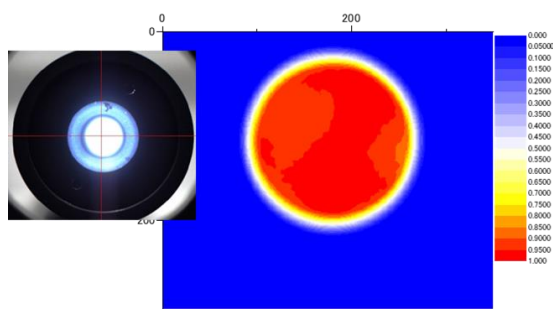


図10.マイクロレンズタイプの輝度均一度評価結果:写真(左)、2次元輝度計イメージ

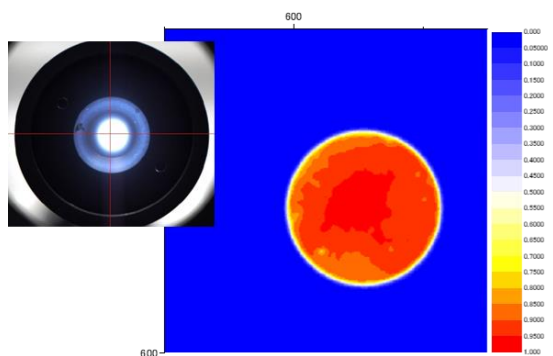


図11.ライトパイプタイプの輝度均一度評価結果:写真(左)、2次元輝度計イメージ

図10の評価結果の通り、マイクロレンズタイプは、 $\phi 9\text{ mm}$ で $\pm 5\%$ の輝度均一度を達成したが、その輝度値の強度が不十分であり、さらには微妙なマイクロレンズの設置位置の違いにより、大きく輝度均一度が変わることが分かった。得られた輝度均一度は、ほぼ計算しているレイトレース結果と一致している。一方ライトパイプタイプは、 $\phi 6\text{ mm}$ で $\pm 4\%$ の輝度均一度であり、計算結果に比べ得られた均一面積が小さかった。しかしながら、得られる輝度値はマイクロレンズタイプに比べて10倍程度、強いという結果が得られた。

これらの結果から、輝度値が高いマイクロレンズタイプの輝度均一光源が有望だと考え、マイクロレンズタイプについて再計算・再検討を行った。再検討結果により、ライトパイプの形状を8 mm角から12.5 mm角に大きくすれば必要とする均一面積が得られることが判明したため、新たな輝度均一標準光源の設計・開発に取り組んだ。

今後の研究展開としては、今回検証結果を利用し、輝度の標準供給に使用することができる標準光源を完成させることである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

① K. Godo, Investigation of new transfer standard for luminance by means of ray tracing simulation, Proce of 15th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, 2016, 177-180 (査読無) .

② K. Godo, "Investigation of new transfer standard for luminance by means of ray tracing simulation," Journal of Light and Visual Environment 41, 2017, 165–170 (査読有).

〔学会発表〕(計 3 件)

① 神門 賢二, 新しい輝度評価用光源開発への取組, 2015 年度 計量標準総合センター成果発表会, 2015.

② K. Godo, Investigation of new transfer standard for luminance by means of ray tracing simulation, 5th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, 2016.

③ 神門 賢二, 新しい輝度標準用仲介標準器開発への取組, 平成 28 年度(第 49 回) 照明学会全国大会, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神門 賢二 (GODO Kenji)

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

計量標準総合センター 研究グループ付 主任研究員

研究者番号 : 30371040