

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5386488号
(P5386488)

(45) 発行日 平成26年1月15日(2014.1.15)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl.

F 1

H05B 37/02 (2006.01)

H05B 37/02

L

F21S 2/00 (2006.01)

F21S 2/00

311

F21Y 101/02 (2006.01)

F21Y 101:02

請求項の数 8 (全 55 頁)

(21) 出願番号 特願2010-523530 (P2010-523530)
 (86) (22) 出願日 平成20年9月8日 (2008.9.8)
 (65) 公表番号 特表2010-538434 (P2010-538434A)
 (43) 公表日 平成22年12月9日 (2010.12.9)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2008/061887
 (87) 國際公開番号 WO2009/034060
 (87) 國際公開日 平成21年3月19日 (2009.3.19)
 審査請求日 平成23年8月25日 (2011.8.25)
 (31) 優先権主張番号 102007044556.5
 (32) 優先日 平成19年9月7日 (2007.9.7)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 508071250
 アルノルト・ウント・リヒター・シネ・テ
 ヒニーク・ゲー・エム・ペー・ハー・ウン
 ト・カンパニー・ペトリーブス・カー・ゲ
 ー
 ARNOLD & RICHTER C.I.
 NE TECHNIK GMBH & C
 O. BETRIEBS KG
 ドイツ国, 80799 ミュンヘン, テュ
 ルケンストラーゼ 89
 (74) 代理人 100087941
 弁理士 杉本 修司
 (74) 代理人 100086793
 弁理士 野田 雅士

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 LED 照明装置の色特性または測光特性を調整する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

異なる色もしくは波長の光を放射する複数の LED と、1つの色グループ内で同一の色もしくは波長の光を放射する LED 色グループとのいずれか一方を有する LED 照明装置の色特性または測光特性を温度に依存して調整する方法であって、前記複数の LED または LED 色グループの光束部分が、前記 LED 照明装置によって放射された混光の色、色温度および / または色度座標を決定するものであり、

前記 LED 照明装置における温度および / または前記 LED 照明装置内の温度の実際値を測定する工程と、

測定温度における種々の有色 LED の放射スペクトル $E(\lambda)$ を、決定または同時決定する少なくとも 1 つの温度依存値を判定する工程であって、前記放射スペクトルは前記種々の有色 LED の波長に依存している、工程とを備え、

前記種々の有色 LED の波長に依存する前記放射スペクトル $E(\lambda)$ は、式

【数 6】

$$E_T(\lambda) = f_L(T) \cdot E_A(\lambda - \Delta\lambda_p(T)),$$

に従って、初期の放射スペクトル E_A の温度依存の正規化およびシフトによって、初期温度とは異なる前記 LED 照明装置の測定温度において、近似され、

10

20

ここで、

$f_L(T)$ は、温度範囲全体にわたる明度の相対的な変化を表す温度依存の変換係数（初期スペクトルの明度に対するスペクトルの明度）を示し、

$\rho(T)$ は、前記初期スペクトルに対するピーク波長の温度依存のシフトを示し、さらに、

前記判定された少なくとも1つの温度依存値に応じて、指定された光の色、色温度および／または色度座標を有する混光について、測定温度における前記種々の有色LEDの光束部分を判定する工程と、

前記LED照明装置における前記種々の有色LEDの前記判定された光束部分を調整する工程とを備えた、温度依存調整方法。

10

【請求項2】

請求項1において、

前記少なくとも1つの温度依存値は、前記LED放射スペクトルのピーク波長（ λ_p ）および／または前記LED放射スペクトルの半値幅（ w_{50} ）および／または明度（Y）からなり、

前記LED放射スペクトルのピーク波長（ λ_p ）および／または前記LED放射スペクトルの半値幅（ w_{50} ）および／または前記明度（Y）の校正データが、温度（T）の関数として前記種々の有色LEDのそれぞれについて判定され、関数または表として記憶されている、温度依存調整方法。

【請求項3】

20

請求項1または2において、前記測定温度についての前記種々の有色LEDの前記放射スペクトルは、測定によって判定される、温度依存調整方法。

【請求項4】

請求項1から3のいずれか一項において、前記種々の有色LEDの光束部分は、プログラム制御式装置によって判定されるか、または、前記光束に対応するパルス幅変調信号が前記プログラム制御式装置から提供され、このプログラム制御式装置には、使用されているLEDの色の測定された放射スペクトルまたは近似された放射スペクトルが取り込まれ、複数の最適化パラメータが入力され、このプログラム制御式装置から、前記プログラム制御式装置によって事前に実行されている異なるターゲットパラメータに対して最適化された前記種々の有色LEDの光束部分、および／または前記光束部分に対応するパルス幅変調信号が提供される、温度依存調整方法。

30

【請求項5】

請求項4において、前記最適化パラメータは、

前記種々の有色LEDによって生成される混光の所望の光温度と、光混合機能と、優れた光混合機能が達成される基準輝度とを設定するか、または、

優れた光混合機能が達成される前記記録媒体を入力することによって生成され、

前記光束部分を最適化するターゲットパラメータは、以下のパラメータ、

色温度

プランク軌跡からの距離

演色指数

40

フィルムまたはデジタルカメラでの光混合機能

のうちの1つ以上からなる、温度依存調整方法。

【請求項6】

請求項1において、

明度測定が実行され、測定された明度の実際値と明度の設定値との間の差が、前記LED照明装置の色特性または測光特性の補正後に判定され、

前記LED照明装置から放射された光強度が、前記種々の有色LEDに供給される電力を、この判定に応じて増加または減少させることによって明度の設定値に調整され、

前記温度依存の放射スペクトル $E_T(\lambda)$ は前記プログラム制御式処理ユニットに取り込まれ、前記光束部分に対応するパルス幅変調信号は、前記混光について計算され、

50

前記種々の有色LEDについての前記パルス幅変調信号は、前記LED照明装置で調整され、

任意で、明度測定がなされ、前記LED照明装置から放射された光強度を、前記明度設定値に一致させることは、前記種々の有色LEDに供給される電力を、前記明度測定に応じて増加または減少させることによってなされる、温度依存調整方法。

【請求項7】

異なる色もしくは波長の光を放射する複数のLEDを有するLED照明装置の色特性または測光特性を温度に依存して調整する方法であって、前記LED照明装置の光束部分は、前記LED照明装置によって放射された混光の色、色温度および／または色度座標を決定し、前記光束部分は前記種々の有色LEDを制御することによって調整され、前記種々の有色LEDは、有色および白色のLEDからなり、それぞれパルス幅変調制御信号によって同一の色を有するLED色グループにグループ化されるものであり、

前記所望の色度座標(x, y)と前記所望の明度(Y)を得るために、前記LED色に対する前記PWM制御信号(PWM_A)を判定する工程、

前記基板温度(Tb)を測定する工程、

前記メモリに記憶された前記近似特性線(f_{PWM} = 1/Y)について、各LED色に対する前記温度依存のPWM補正係数を決定する工程、

前記LED照明装置の全電力または前記LED照明装置の単色LEDに供給される電流強度を取り込む工程、

指定された最大値(P_{max}, I_{max})よりも小さい、前記LED照明装置の全電力または前記LED照明装置のLEDに供給される電流強度において、前記PWM補正係数によって、前記LED照明装置の前記LEDを制御する工程、または

$k_{Cutoff} = P_{max} / P_{new}$ もしくは $k_{Cutoff} = I_{max} / I_{new}$
の式から、全てのLEDの電流または電力を制限する遮断係数(k_{Cutoff})を決定し、P_{WMT} = PWM_A × f_{PWM} × k_{Cutoff}に従って、新しいPWM係数を用いて前記LED照明装置の前記LEDを制御する工程によって、N個の色温度補間点についての前記記憶された校正データ、および／または前記LED色の光束部分についての色度座標の表として、各色調の前記温度特性線および各LED色の前記明度(Y)および前記色度座標(x, y)を考慮して、前記LED照明装置の前記照明モジュールの色を制御する、温度依存調整方法。

【請求項8】

請求項7において、

温度を測定する工程と、

初期温度における前記混光の前記LED色グループの光束部分に対応するパルス幅変調制御信号を調整することによって、指定された光の色、色温度および／または色度座標に前記混光を基準設定する工程と、

指定された光の色、色温度および／または色度座標に調整された前記混光の前記LED色グループの光束部分に対応する前記パルス幅変調制御信号を修正する工程であって、前記修正は前記測定温度に依存している、工程とを備えた、温度依存調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、請求項1、28、48の前提部に記載のLEDスポットライトの色特性または測光特性(光学的測定による特性)を調整する方法、ならびに請求項54の前提部に記載の装置に関する。

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード(LED)を備えた照明スポットライは、例えば、フィルム撮影用カメラやビデオ用カメラの付属ライトとして使用され、「昼白色」か「温白色」の色温度を有

10

20

30

40

50

するが、色温度を温白色の色温度から、プランク軌跡に近いかまたはプランク軌跡上で定義された標準色値部分を有する、昼白色の色温度へ連続的または正確に点灯または切り替えることは不可能であり、フィルムおよびビデオ記録における色再現は満足のいくものではない。

【 0 0 0 3 】

「映画用のカラーネガフィルム」のようなフィルム記録のための典型的なフィルム材は、5600Kの色温度の昼白色に最適化されているか、または3200Kの色温度の白熱光に対して最適化されており、これらの光源を用いてセットを照明することにより優れた色再現特性を達成する。フィルム記録においてセットを照明するために他の人工光源が用いられる場合は、一方では3200Kまたは5600Kの最適色温度に調整し、他方では極めて優れた色再現品質を有する必要がある。通常、この目的を達成するために、CRI 90...100の演色指数を有する最高の色再現性レベルが要求される。10

【 0 0 0 4 】

4つ以上のLED色調(LED色)からなるLEDスポットライトについては、使用される原色を混合することによって、例えば $x/y = 0.423/0.399$ のような所望の色度座標、CCT(注: 色温度)3200Kを調整するには、無限の可能性、または制御の分解能によってのみ限定される可能性がある。混合比に依存して、発光効率または色再現性のような様々なパラメータに対してLEDスポットライトを最適化することができる。主にフィルムおよびTV記録に用いられるスポットライトの場合、混合は、さらに、フィルム材またはデジタルカメラのセンサの色再現特性に対して最適化される。この最適化がなされていない場合、最悪の事態では、色度座標は正しく調整されているとしても、色再現特性が大幅に悪化する。特に、青色、緑色、赤色のようなLED色調の狭帯域スペクトルによって、スペクトルは、許容できない色再現性を有するようになる。あるいは、極めて優れた演色性(CRI 90)を有するスペクトルは、ハロゲン白熱光または昼光のような通常の光源と比較して、フィルムまたはデジタルカメラを用いて記録する際に、大幅な色ずれが生じる。20

【 0 0 0 5 】

狭帯域のLEDスペクトルから生じたこのようなスペクトル全体に対して、任意に発光体LEDを組み合わせて、フィルムおよびビデオの照明に関する測色値(色度座標、演色指数および光混合機能)の全てが、同時に理想値を採用できるわけではないことが、比色分析から推定できる。それでも、最適化パラメータのいずれもが理想値から大きく外れていないことが保証されれば、極めて優れた結果を得ることができる。しかし、比色分析では、フィルムにおいて同時に、所望の色度座標、演色指数および光混合機能に対して可能な限り優れた値を達成するために、4つ以上のスペクトルをいかなる比率で混合しなければならないかに関しては、一般的なアルゴリズムは知られていない。30

【 0 0 0 6 】

また一方で、フィルムまたはビデオ記録の照明に蛍光灯が用いられる場合と同様に、不連続のスペクトルパワー分布を有する人工光源の場合は、これらの光源が、色温度および演色に対して必要とされる値を達成するが、それでもこれらの光源をフィルム記録に用いた場合は、白熱光またはHMIランプまたは昼光と比較して大幅な色ずれを有することが起こり得る。この場合は、光混合機能が十分ではないと言える。この結果は、LEDスポットライトに種々の有色LEDを用いた場合にも起こり得る。フィルム記録において5600Kの色温度とCRI = 96の演色指数に対して最適化されたLEDの組み合わせを用いる試験において、HMIランプと比較してかなり赤みがかかった色が観察された。また、昼白色LEDを用いた試みでは、光混合機能に関して満足のいく結果を得られなかった。40

【 0 0 0 7 】

特許文献1は、特定の光スペクトルを有する光を放射および変調する方法ならびに装置を開示している。既知の測光装置は、各グループが特定の光スペクトルを放射するいくつかのグループの発光装置を有し、制御装置が、全体として得られる放射が特定の光スペク50

トルを有するように、単一色発光装置へのエネルギー供給を制御する。これにより、昼白色LEDおよび温白色LEDならびに強度の修正を組み合わせることによって、温白色LEDと昼白色LEDとの間の任意の色温度を調整することができる。

【0008】

この方法の欠点は、フィルムまたはビデオ記録の場合にはやはり色再現性が最適ではないこと、および特定の色温度と正確な色度座標を調整する機能に欠けていることである。個々のLEDまたはLEDのグループの選択、およびそれぞれに調整された色温度の選択によっては、部分的にプランク軌跡からの大幅な色ずれに直面するが、これは補正フィルタを用いることによってのみ対処できる。さらに、発光体の二次電子放射が原因で比較的高い変換損失が生じるために、昼白色LEDと温白色LEDとを組み合わせた温白色的セットの場合には、発光効率は最適とはならない。この方法のさらなる欠点は、温白色または昼白色の色温度を調整するのに、それぞれの他方の色温度のLEDの主要部分を使用できず、そうでないとしても極めて暗くしてしか使用できないため、典型的にはフィルム記録の場合に要求される約3200Kもしくは5600Kの色温度に対する利用率が約50%しかないことである。10

【0009】

特許文献2から、色温度を調整することができる昼光用の光源であり、それにより特定の色温度の白色光を放射する少なくとも1つのLEDが、種々の有色発光LED（特に、原色の赤色、緑色および青色）と組み合わされる昼光用の光源が知られている。単色LEDの電力を修正することによって、光源の実際のスペクトルパワー分布を検出することができる適切なセンサ、論理およびソフトウェアを用いることで、特定の色温度または標準的な光質を自動的に調整または補正することによって、特定の色温度または特定の標準的な光質を調整できる。20

【0010】

特に写真記録または映画記録用にスポットライトを照射する際に種々の有色LEDを用いることによって、その光が特定の色温度と演色を有し、十分な光混合機能を有するが、以下の問題が生じる。

【0011】

LEDは、鋭いスペクトル線を有するが、特定の幅を備える帯スペクトルを有する単色性の放射光を放射しないので、LEDの放射スペクトルはガウスベル曲線または複数のガウスベル曲線の和と見なすことができるため、LEDの放射スペクトルはガウス分布でシミュレートできる。図4では、LEDのいくつかの放射スペクトルが、波長に対する相対照射密度の関数として例示的に示されており、この図から、種々の有色発光LEDの波長が、緑色光と琥珀色の光によって、青色光から赤色光に向かって増加し、白色光発光LEDの放射スペクトルの形は、それぞれの有色光を放射するLEDの放射スペクトルとは大きく異なっていることが見られる。このすれば、青色光を放射し、かつ青色光を黄色光に部分的に変換する蛍光体被膜を備えた半導体素子の基本原理に基づいた白色光を生成する技術に起因するものであり、結果として、青色光の波長領域内の第1の小さいピークに加えて、スペクトルの黄色領域内に第2の高いピークを形成し、その混合の結果が白色光の部分となる。これにより、蛍光体被膜の厚みによって、色温度を変えることができ、その結果、この方法では、黄色がかった温白色および昼白色のLEDを製造することができる。30

【0012】

さらに、発光体としてのLEDは、強い温度依存性を有する。接合部温度が上昇するにつれて、LEDの性質および特性が大幅に変動し、温度が上昇するにつれて、輝度が大きく減少する。これは、高温では、放射のない再結合の部分が増加し、温度が上昇するにつれて、より長波長の方向に、すなわち赤色スペクトルの方向に放射スペクトルのシフトが生じるという事実に基づいている。図5は、青色、緑色、赤色光を放射し、かつ様々な材料の組み合わせからなるLEDの接合部温度に対する相対輝度を、概略図で示している。結果として、LEDの温度依存性は、用いられる材料に依存して顕著に大きく異なり、そ4050

の結果、種々の有色LEDから付加的に構成される混光の測色特性もまた特定の色の光または色温度を達成するために変化してしまうことになる。

【0013】

初期温度とは異なる温度においても、種々の有色LEDから放射された、最初に（例えば、20の初期温度で）調整された基本の混光の色調および色温度を達成するために、スペクトロメータを備えて、例えば、照明スポットライトのフロントレンズの領域で用いることができ、このスペクトラルメータは照明スポットライトから放射された光のスペクトルを測定し、あるいは、光放射面の領域内でカラーセンサを使用し、このカラーセンサは、スポットライトの実際の色ずれを記録し、次に、パルス／測定モードによる光生成に関するLEDの輝度および色度座標を検出する。このように、ピーク波長のシフトおよびピーク波長の高さの変化を検出でき、実際の値の項目として、制御装置に供給できる。制御装置の設定値は、照明スポットライトから放射された光の基準設定または基本混合である。設定値と実際値との一致比較によって、混光を補正して、基本混合の最初のスペクトルを維持するようにすることができる。10

【0014】

このように、LEDスポットライトから放射される光の色温度を制御することは、高価なカラーセンサを使用し、それをLEDスポットライトの光路に配置する必要があるため、および制御装置に接続して適切なコンピュータを用いる必要があるため、極めて複雑であり、時間を要する。その理由は、このように制御する場合、LEDスポットライトで用いられる全てのLED色調のピークの温度依存変化が検出されなければならず、制御中ににおいて考慮されなければならないからである。これに必要な時間は、例えば、様々な環境条件の下でのフィルム記録の場合には、常に得られるとは限らない。20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】米国特許出願公開第2004/0105261号明細書

【特許文献2】独国実用新案第202005001540号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

本発明の目的は、LEDスポットライトの周囲温度とは無関係に、最小限の費用と時間労力により、LEDスポットライトから放射された混光の色、色温度または色度座標を調整し、一定に保つことである。30

【課題を解決するための手段】

【0017】

この目的は、請求項1、28、48の特徴を有する方法によって、本発明に従って達成される。

【0018】

本発明による解決法は、最小の設備および時間労力の下において、温度、特にLEDの基板温度とは無関係に、LEDスポットライトから放射され、種々の有色LEDの光束部分（光量、光量率；Lichtstromanteilen）から構成された混光の色、色温度または色度座標の調整および適合を保証する。40

【0019】

本発明による方法は、様々な取り組み方法から始まり、LEDスポットライトの周囲温度とは無関係に、混光の色、色温度または色度座標の調整を達成するために、様々な設備および時間労力で、様々な調整精度を可能にする。LEDスポットライトから放射される混光の所望の色、色温度または色度座標に適合させるための設備および制御時間は、複数のカラーセンサを用いる場合の設備および制御時間労力よりも全体的に大幅に小さい。この理由は、本発明による方法の場合は、LEDスポットライトから放射される混光の色、色温度または色度座標に適合させるためには、1つの温度センサのみが実測値の指標とし50

て必要であり、制御時間（調整時間）は、それぞれの場合に用いられる方法に最小限に依存するだけだからである。

【0020】

様々な周囲温度でLEDスポットライトの色を安定化するための第1の代替的な方法は、

- ・ LEDスポットライトの初期温度において種々の有色LEDの光束部分を調整することによって、光の特定の色に混光を基準設定する工程と、
- ・ 前記基準設定において種々の有色LEDの初期放射スペクトル $E_A(\lambda)$ を判定する工程であって、初期放射スペクトルは、種々の有色LEDの波長に依存している、工程と、
- ・ 初期温度とは異なるLEDスポットライトの測定温度において、種々の有色LEDの波長に依存して、放射スペクトル $E(\lambda)$ を判定する工程と、
- ・ 測定温度において指定された光の色を有する混光について、種々の有色LEDの光束部分を判定する工程と、
- ・ LEDスポットライトにおいて、種々の有色LEDの判定された光束部分を調整する工程とによって特徴付けられる。

【0021】

本発明による第1の方法の場合においては、最初に、LEDスポットライトの基準設定において、LEDスポットライトから放射される混光の所望の色について、種々の有色LED色グループの光束部分を最適に調整することで、スポットライトの校正がなされる。

周囲温度が変化する間、種々の有色LEDの温度依存性放射スペクトルを含む光束部分を新たに計算することにより、かつスポットライトの光束部分の調整によって、混光の種々の有色LEDの光束部分を補正するための温度依存性の新しい校正が実行される。この方法においては、各補正手順について、測定された実際の温度における種々の有色LEDの単一色のグループの放射スペクトルが必要であり、この放射スペクトルはスペクトロメータを用いて測定されなければならない。しかし、これは、比較的時間を要するので、この方法は、例えば、フィルム記録にのみ限定的に適用可能であり、LEDスポットライト内にスペクトロメータを取り付けることが、大きな設備および費用労力につながる場合にはより時間を要する。

【0022】

したがって、本発明によるこの解決法のさらなる発展形態では、種々の有色LEDの放射スペクトルは、ガウス分布によって、または校正により決定された放射スペクトルの温度依存性の正規化によって、それぞれの場合において測定温度に対して近似される。これは、校正において、およびそれに基づいた、温度に依存する光束部分の新しい計算においてなされる。得られた結果、つまり温度に依存するLED色（LED色調、LEDの色）の光束部分は、スポットライトでは測定、近似および計算のためにスペクトルは必要でないため、スポットライトの表または関数の形で記憶されるのが好ましい。

【0023】

さらに発展した両方の解決法は、輝度、ピーク波長および半値幅（すなわち、放射スペクトルのピーク波長の相対輝度の50%における放射スペクトルの幅）が、線形または二次的（黄色、琥珀色、赤色の輝度）に測定された温度に依存することを見出したことに基づいている。これらの方法によって、種々の有色LEDの全ての色グループに対するスペクトルを、各場合において測定された温度から新たに計算することができる。

【0024】

種々の有色LEDの放射スペクトルをガウス分布で近似することは、LED放射スペクトルのピーク波長 λ_p とLED放射スペクトルの半値幅 W_{50} とを判定する（ピーク波長と半値幅は、各グループの同じ色のLEDについては温度に線形に依存する）ことによって、LEDの放射スペクトルが次式のガウスベル曲線を用いて十分正確にシミュレートできる

【0025】

【数1】

$$E(\lambda) = f_L * e^{-2.7725 \cdot \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{w_{50}} \right)^2}$$

【0026】

(正しくは、十分なだけ正確ではなく、少なくともこの方法は、光束部分を単に一定に保つ、少なくとも後述する簡単な方法よりも正確な結果を与えない。簡単な方法と比較してより正確なのは、複数のガウススペクトルの重ね合わせの場合のみにおいてガウス近似を有する方法であるが、ガウススペクトルのパラメータ λ_p は、現在のところ「手動で」
10 判定されなければならず、実際には管理できない。LED放射スペクトルのピーク波長 (λ_p) および半値幅 (w_{50}) と、同一色のLEDの各グループについての温度に線形依存するピーク波長および半値幅とを決定することによって、重なったスペクトルをどのようにしてでも保護することはできるであろうか?) 温度依存性の強度係数 f_L は、シミュレートされたスペクトルの強度を所定の周囲温度におけるスペクトルの強度に調整する作用を果たす。温度に依存するスペクトルの強度の関数は、各LED色(各LEDの色)に対して線形または二次関数である。したがって、温度に線形依存するパラメータ λ_p と w_{50} が、校正の間におけるLEDスポットライトの混光の基準設定、および、温度依存係数 f_L または温度に依存する強度の線形もしくは二次関数から知られている場合は、種々の有色LEDの単色グループのそれぞれの相対放射スペクトルを初期温度とは異なる温度
20において示すことにより、基準設定からの放射スペクトルのずれを決定し、補償することができる。

【0027】

ガウス分布に基づいて、種々の有色LEDの放射スペクトルと、LEDスポットライトから放射された光の混光の放射スペクトルは、種々の有色LEDの波長に依存する放射スペクトル $E(\lambda)$ が、LED放射スペクトルのピーク波長 λ_p と、LED放射スペクトルの半値幅 w_{50} と、温度依存強度係数 f_L (ピーク波長と半値幅は、各グループの同色のLEDについては温度に線形依存する)とを決定することによって、以下の式に従ってシミュレートされる場合は、さらにより正確に近似できる。

【0028】

【数2】

$$E(\lambda) = f_L \cdot \frac{1}{\frac{w_{50}}{2} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{w_{50}/2} \right)^2}$$

【0029】

この近似式で用いられるパラメータのピーク波長 λ_p と半値幅 w_{50} は、温度に線形または二次的に依存する種々の有色LEDの全ての色グループに対するものである。これにより、温度依存性変換係数 $f_L(T)$ は、温度に依存する測定された相対輝度に対する近似スペクトルを意味する正規化係数を表している。最大スペクトル放射強度の温度に関して測定された依存性を係数 $f_L(T)$ の代わりに用いることもできる。これにより、全ての必要なパラメータを、測定温度値から決定し、放射スペクトルを測定温度値から計算することができる。このようにして、例えば、琥珀色、青色、緑色および赤色の色グループの放射スペクトルの近似が可能になる。

【0030】

白色光を放射するLEDの場合は、蛍光体被膜を有する青色LEDが、放射スペクトルが2つのピーク、すなわち青色のスペクトル領域に1つのピークと黄色のスペクトル領域に1つのピークを示すように関係しているので、白色LEDの放射スペクトルの判定は、
50

特殊な場合を表す。このためガウス分布による単純な近似は不可能であるが、両方のピークがそれぞれの場合においてガウス分布によって近似可能である。

【0031】

このため、本発明による方法の一実施形態では、白色LEDの放射スペクトルは複数のガウス分布、好ましくは3つまたは4つのガウス分布によって近似される。これにより、第3のガウス分布を2つのガウス分布から差し引いて、放射スペクトルの2つのピークを判定することにより、測定された放射分布の方向の2つのピークの間に約495nmにおける「谷」内に計算されたスペクトルを近似する。測定された放射分布に対して計算された放射スペクトルをさらにより正確に近似することは、第4のガウス分布を加えることによって達成される。しかし、3つのガウス関数による近似は結果的に、精度を最大にすることと計算労力を最小にすることとの間の十分な折り合いをつけることである。10

【0032】

LEDスポットライトの所望の混光を生成するために種々の有色LEDの放射スペクトルを近似する本発明による方法は、計算された放射スペクトルが実際に測定された放射スペクトルに十分に正確に近似する利点を有し、ピーク波長のシフトと半値幅の修正は、種々の有色LEDの光から構成される混光を極めて正確に補正できるように考慮される。比較測定によると、この補正後の色温度は、タングステンでは50Kまたは昼光では200Kの可視しきい値において、人工照明またはタングステンでは28Kとなり、昼光では125Kになる。色補正がないと、色温度のシフトは、タングステンでは326K、昼光では780Kとなり、明らかな可視領域においてはこれらの間にあることが示された。20

【0033】

LEDスポットライトの周囲温度に依存する放射スペクトルのこの近似の欠点は、種々の有色LEDの単色グループの計算については、それぞれの場合において3つの温度依存パラメータが計算されなければならず、かつ白色の特殊な場合については、9つの温度依存パラメータとそれに加えて総数21個の温度パラメータが、光の所望の色または初期温度において調整された混光の色温度に適合するようにシステムを補正するために、実際の放射スペクトルの計算において計算されなければならないという事実にある。これは、温度依存性のシフトおよび初期温度で決定された放射スペクトルの校正の正規化によって実際の温度の放射スペクトルを近似する、後述の代替的な方法と比較して、大きな労力を意味する。30

【0034】

この代替的な方法（「ピーク波長のシフト（シフト」）の場合には、種々の有色LEDの波長に依存する放射スペクトルE_A（）は、以下の式となる。

【0035】

【数3】

$$E_T(\lambda) = f_L(T) \cdot f_{VL}(T) \cdot E_A(\lambda - \Delta\lambda_p(T))$$

【0036】

この式に従って、温度依存性のシフトおよび初期の放射スペクトルE_Aの正規化によって、初期温度とは異なるLEDスポットライトの測定温度において近似される。ここで、f_L（T）は温度範囲全体にわたる相対輝度の減少を表す温度依存性変換係数（初期スペクトルの輝度に対するスペクトルの測定された輝度）を表し、f_V_L（T）は、温度に依存する初期スペクトルと比較したピーク波長のシフトを示し、f_V_L（T）は、f_p（T）分シフトしたスペクトルを最初のスペクトルの輝度と同じ輝度に正規化する（V（）曲線に対して他の位置にあるために必要）、正規化係数を表している。40

【0037】

この代替的な方法の場合、放射スペクトルは、LEDスポットライトの校正中に記録されたLEDスポットライトの基準設定におけるピーク波長の修正によってシフトされ、その後、放射スペクトルは、再び係数f_V_L（T）を用いて、スペクトルの最初の輝度に正50

規化され、最終的に、温度依存係数とともに考慮される。係数 $f_L(T)$ は温度範囲全体にわたって測定された相対輝度の減少を表し、これによりシフトした初期混合物の係数 $f_{L(T)} \cdot f_{V_L}(T)$ を乗算した放射スペクトルは、それぞれの場合において、実際の温度における実際の放射スペクトルにおける輝度に関して調整される。種々の有色LEDの単色グループのピークのシフトを考慮に入れるために、放射スペクトルは、波長に対する相対輝度を表示する場合は、波長を表す横軸に沿ってシフトする。

【0038】

LEDスポットライトの種々の周囲温度における放射スペクトルを近似するこの方法の利点は、ガウス分布によって放射スペクトルを近似するのとは異なり、21個の温度依存性パラメータに代わって単純に決定される僅か10個のパラメータのみ計算すればよく、その結果、計算労力を大幅に減少させ、エラー発生度をより小さくするという事実にある。しかし、ガウス分布による放射スペクトルの近似と比較した欠点は、半値幅の修正および放射スペクトルの肩部分布(Flankenverlaufs)が考慮されていないために、ピーク波長のシフトの正確性に劣ることである。

10

【0039】

LEDスポットライトの色安定化に対して種々の有色LEDの放射スペクトル、つまり、基準設定における初期温度とは異なるLEDスポットライトの周囲温度での放射スペクトルを近似するための前述の両方の方法の場合には、これらの放射スペクトルは、LEDスポットライトの校正の間ににおいて基準設定における種々の有色LEDの放射スペクトルとは異なっているが、混光を補正するために、変換されて、種々の有色LEDの各色グループの光束部分の修正がなされる。この結果、かつ、初期温度とは異なるLEDスポットライトの周囲温度での種々の有色LEDの放射スペクトルを判定するためのさらなる後述の利用するために、プログラム制御式処理ユニットが用いられ、この装置には、使用しているLED色の判定後の放射スペクトル、または所望のLED色の放射スペクトルが入力され、いくつかの最適化パラメータが調整され、そこから、種々の有色LEDの様々な標的パラメータ(ターゲットパラメータ)に対して最適化された光束部分が判定されるか、または種々の有色LEDを制御する電子機器に供給される。

20

【0040】

プログラム制御式処理ユニットは、種々の光束部分を有する光源の混光の色特性を判定することと、特定の種類の光に対して最適化された混光を計算することとの両方を、種々の有色LEDの放射スペクトルを用いて可能にすることによって、種々の有色LEDに基づいて混光を計算する役割を果たす。それによって、最大5つの放射スペクトルを選択し、取り込むことができ、特定の色特性に対して最善の混合物(混光)を、最適化関数によって計算することができる。さらに、例えば、人工照明またはタンゲステンについては3200Kの白熱光、および昼光では5600Kの昼光またはHMI光として、映画製作に用いられる種々の種類の光を選択することができ、さらなる選択肢により、最適化および標的パラメータを入力することによって、事前設定を微調整し、最適の混光を達成することができる。さらに、例えば、同じ部分を有するが放射スペクトルが異なる混光の変化を検査することができるように、プログラム制御式処理ユニットは、手動調整された混合物(混光)の測色特性を決定するための可能性を提供する。

30

【0041】

種々の有色LEDによって生成される混光の所望の色温度と、混色機能と、基準輝度、およびフィルム材または良好な混合色機能が得られるカメラセンサは、最適化パラメータとして調整可能であるのに対して、パラメータの色温度と、プランク軌跡からの最小距離と、演色指数と、フィルムまたはデジタルカメラにおける光混合機能と設定値および/または許容値のうちの1つまたはいくつかなる光束部分を最適化するための標的パラメータは、標的パラメータに対して入力することができる。

40

【0042】

LEDスポットライトは、それぞれの場合において、新たに計算された混光に関して温度依存性の色補正をするために、プログラム制御式処理ユニットによって判定された光束

50

部分を用いて調整できる。計算は、スポットライト内でオンライン（スポットライトの使用中にリアルタイム）でなされてもよく、または事前の校正においてなされてもよい。判定された結果（温度に依存する LED 色の光束部分）は、スポットライトの内部メモリ内に、表形式または関数として記憶されてもよい。補正後に生じ得る輝度の予測されるずれを補正するために、V() センサを用いた輝度測定がさらに、本発明による解決法のさらなる特徴に従って実行され、その結果、種々の有色 LED に供給される電力を対応して増減することによって、LED スポットライトを、実際の輝度と輝度の設定値との間の差をなくして輝度の設定値に適合するようにされる。

【0043】

種々の有色 LED の放射のスペクトル分布は電流強度に極めて強く依存し、具体的には、青色および緑色領域における LED タイプの場合には、電流強度が大きくなるにつれて主波長は短くなるのに対して、琥珀色および赤色領域における LED タイプの場合には、電流強度が大きくなるにつれて主波長は長くなるので、数ナノメートルの主波長のシフトが混光において発生し、すなわち、照明スポットライトから放射され、かつ所望の混光を達成するために種々の有色 LED の電流強度によって部分的に制御する場合は、種々の有色 LED の色グループから放射された光から生成される光の追加合成物が発生し（光の追加の編成が生じ）、これにより、照明スポットライトから放射される混光の色温度が大幅に変わるであろう。

【0044】

LED の電流に対する強い依存性ゆえに、LED およびそれに加えて混光の部分的な制御は、電流強度の制御によってではなく、調整可能なパルス幅の実質的に矩形の電流インパルスと、そのパスル間にあり、パルス幅変調の周期とともに形成するインパルス休止部とを有するパルス幅変調によって行われる。これにより、部分的な制御または調光（dim）は、調光が 50 % の場合には、矩形インパルスが全期間の半分の幅を有するように、固定基本周波数において矩形信号のパルス幅を変化させることによってなされる。

【0045】

一般に、もちろん、このシフトが光束部分の判定の間に適宜に考慮され、または補償される場合は、電流に依存する主波長のシフトの前述の影響があったとしても、類似の調光を実行することもできる。簡単化のためだけであるが、パルス幅変調（PWM）による動作が好ましい。動作周波数は、高速のフィルム記録においてうなりを避けるために、20 kHz より低い周波数が好ましい。

【0046】

したがって、本発明による解決法のさらなる特徴は、パルス幅変調により種々の有色 LED を制御することによって、種々の有色 LED の光束部分が制御されるという事実にある。この制御は、種々の有色 LED を制御する電子機器に光束部分に対応するパルス幅変調信号部分を提供することによって、プログラム制御式処理ユニットから種々の有色 LED の光束部分の前述の放射に対して実行される。

【0047】

この結果、LED スポットライトの色安定化が保証され、それにより、LED スポットライトの変化する周囲温度とは無関係に、所望の混光の色または色温度または色度座標、および演色指数または光混合機能（混光生成機能）などの LED スポットライトから放射される光や種々の有色 LED の色グループ（特定の色のグループ）の光束部分に影響を与える任意のさらなるパラメータが追跡または補正される。様々な周囲温度において光束部分を追跡するには、1つの温度センサのみが必要であり、種々の有色 LED の各放射スペクトルを判定するのに必要なパラメータは事前に入力可能であるため、放射スペクトルを判定する前述の方法により、ユーザが LED スポットライトの基準設定または校正において、最適化および標的パラメータを固定した後に、プログラム制御式処理ユニットとパルス幅変調信号を提供する制御電子機器とに関しては、ユーザの追加入力を必要とせずに、種々の有色 LED の単一色グループを即時に制御することができる。

【0048】

10

20

30

40

50

したがって、周囲温度に依存するLEDスポットライトの色特性または測光特性を補正するために、ガウス分布を用いて、種々の有色LEDの放射スペクトルを近似する方法を適用する際ににおいては、以下の方法ステップが実行される。

- ・種々の有色LEDの各色グループのLEDにおける温度値を測定するステップと
- ・温度に対する線形または二次の依存性(関係性)によって、各色グループに対するパラメータ p と W_{50} と f_L とを判定するステップと
- ・温度依存性パラメータを用いてガウス分布により新しい温度依存性放射スペクトルを計算するステップと
- ・その放射スペクトルをプログラム制御式処理ユニットに取り込み、混光の光束部分に対応するパルス幅変調信号部分を計算するステップと
- ・LEDスポットライトにおいて種々の有色LEDに対するパルス幅変調信号部分を調整するステップと
- ・任意に輝度を測定し、種々の有色LEDに供給される電力を対応させて増減させることによって、LEDスポットライトから放射された光強度を輝度設定値に適合させるステップとが実行される。

【0049】

前述の方法ステップ1～4が校正中に実行される場合、温度依存性光束部分はスポットライト内に記憶できる。これは一般に、高速で、理にかなっている。

【0050】

したがって、周囲温度に依存してLEDスポットライトの色特性または測光特性を補正するために、LEDスポットライトの基準設定における校正の間に判定される、初期スペクトルの温度依存性シフトおよび正規化によって、種々の有色LEDの放射スペクトルを近似する方法を適用するためには、以下の方法ステップが実行されることが好ましい。

- ・種々の有色LEDの各色グループ(各色のグループ)のLEDにおいて温度値を測定するステップと、
- ・温度に対する線形または二次の依存性によって、各色グループに対するパラメータ f_L と p を判定するステップと、
- ・新しい温度依存性放射スペクトル $E_T(\lambda)$ を計算するステップと、
- ・その温度依存性放射スペクトル $E_T(\lambda)$ をプログラム制御式処理ユニットに取り込み、混光の光束部分に対応するパルス幅変調信号部分を計算するステップと、
- ・LEDスポットライトにおいて種々の有色LEDに対するパルス幅変調信号部分を調整するステップと、
- ・任意に輝度を測定し、種々の有色LEDに供給される電力を対応させて増減させることによって、LEDスポットライトから放射される光強度を輝度設定値に適合させるステップとが実行される。

【0051】

この方法の場合はまた、前述の方法ステップ1～4は校正中に実行でき、温度依存性光束部分はスポットライト内に記憶できる。

【0052】

前述の両方の方法においては、様々な周囲温度におけるLEDスポットライトの混光の光束部分を計算するためにプログラム制御式処理ユニットを組み込むことが必要であり、単一色グループの光束部分を極めて正確に計算するという利点を提供する。特に、混光の光束部分を正確に計算するために、プログラム制御式処理ユニットのプログラムから提供される様々な選択肢を正確に調整する場合は、LEDスポットライトは中断なく利用可能でなければならないので、いくつかの用途事例では(例えば、フィルムセット時)、無視できない計算時間は許容できないと見なさなければならない。

【0053】

さらなる代替的な方法として、スペクトルが温度に依存して近似されるのではなく、極めて正確なデータを用いて校正の間に測定されることになる、という可能性が存在する。校正の間ににおいて、温度に依存して混合部分を新たに測定することができ、温度依存性の

10

20

30

40

50

混合部分を、スポットライト内に表または関数の形で記憶することができる。

【0054】

したがって、種々の有色LEDの光束部分が、LEDスポットライトから放射される混光の色、色温度および/または色度座標を決定し、LEDスポットライトの周囲温度に依存して、パルス幅変調された信号によって種々の有色LEDを制御することによって調整される、種々の有色LEDから構成されるLEDスポットライトの色特性または測光特性を調整するための代替的な方法は、混光の基準設定のために、単一色グループの光束部分に対応して種々の有色のLEDを制御するパルス幅変調信号が、特定の光の色に対して温度依存的に変調される。

【0055】

この代替的な方法は、様々な周囲温度において色補正するための極めて簡単な解決法を提供し、種々の有色LEDを制御するパルス幅変調信号の温度依存性に基づいて、それによって、周囲温度の全範囲にわたって色混合物（混光）に関する色の相対的な光束部分を一定に保つ目的を有する。パルス幅変調した信号部分を増減することによって、実際に検出された周囲温度において放射されるスペクトルが、LEDスポットライトの校正の間に、基準設定において検出された初期スペクトルの光束部分に適用され、これにより特定の混光をさらに用いることができるようになる。

【0056】

これにより、パルス幅変調した信号部分の温度依存性は輝度の修正（変化）から判定される。検査によると、種々の有色LEDは、実際に、大きく異なる強い温度依存性（可視スペクトルの長波長範囲を放射するLEDは、輝度が減少し、短波長範囲のLEDよりも大幅に温度が上昇する）を有するが、実際の用途では重要な、広い温度範囲全体にわたる輝度のこの温度依存性は、線形または二次の関数によって各色について判定および記述することができる。

【0057】

このようにして、基準設定（初期設定）において調整された混光に対して相対輝度修正（相対輝度変化）を判断する場合、種々の有色LEDの各色グループに対して係数 f_{PWM} を得る。混光の基準設定の各LED色に対するパルス幅変調信号の対応部分に、係数 f_{PWM} の逆数が乗算される場合、実際に測定された周囲温度での各LED色に対するパルス幅変調信号の新しい部分がそれから得られる。

【0058】

LEDスポットライトの色安定化のためのこの簡略化された代替的な方法のさらなる展開は、基準設定に関して、種々の有色LEDの各色グループの相対的な輝度修正（輝度変化）に対応する係数 f_{PWM} が判定されるという点にあり、および、各色グループの結果のパルス幅変調信号 PWM_A の基準設定に対応する値と、測定された温度に依存するこの係数の逆数 $1/f_{PWM}$ との乗算が、以下の式に従って測定された温度Tに対応する各色グループのパルス幅変調信号 $PWM(T)$ の値になるという点にある。

$$PWM(T) = PWM_A / f_{PWM}(T)$$

【0059】

この簡略化された方法においてもまた、実際の測定温度で種々の有色LEDの光束部分を判定した後に生じ得る輝度のずれは、輝度測定がV()センサを用いて実行され、測定された輝度の実際値と輝度設定値との間の差が判定され、LEDスポットライトからの放射輝度は、種々の有色LEDに供給される電力の対応する増減によって輝度設定値に適合するようにされるという点で、補正可能である。

【0060】

種々の有色LEDを制御するためにパルス幅変調した信号部分を正規化することに関するこの補正の本質的な利点は、混光を新たに調整するには、わずか5つのパラメータが単純な関数によって計算されるだけである、その後に最初の部分がこれらのパラメータで評価されなければならないので、補正係数の判定が簡素化されることにある。これにより、プログラム制御処理ユニットによる計算が不要となって、種々の有色LEDの放射スペク

10

20

30

40

50

トルを近似し、種々の有色LEDの光束部分を補正するための前述の両方の方法の計算とプログラミング労力の大部分が省かれる。

【0061】

計算時間が極めて短くなるため、LEDスポットライトを色安定化するための補正は、LEDスポットライトの作動中、色温度、色再現性、プランク軌跡からの距離および光混合機能などの安定した色特性が保証されるように、連続的に実行できる。この補正方法の簡単化にもかかわらず、補正後に生じる色値の差はガウス近似による前述の色ずれと同程度となり、無視できるほどに小さい。

【0062】

少ない設備および時間労力を保証するために、様々な周囲温度においてLEDスポットライトの色を安定化する目的で本発明による様々な方法を適用する間においては、色センサは必要とされないが、温度センサのみが必要である。色センサまたはスペクトロメータは、例えば、エージングプロセスを考慮して、基準設定における混光の種々の有色LEDの色グループの光束部分を判定する間において、LEDスポットライトに追加して取り付けられ、出力信号を検知できる。この場合、色センサまたはスペクトロメータの出力信号はプログラム制御処理ユニットに供給され、この処理ユニットが、基準設定における混光の種々の有色LEDの色グループの光束部分に対応する光束部分またはパルス幅変調信号を判定する。

10

【0063】

色センサが校正される場合、一方では、色度座標x、yおよびそれから計算された色の主波長を、他方では、単色LEDの明度を、色センサのRGBまたはXYZ信号から導き出すことができる。同時に、色値については、温度センサから実際の温度を読み取り、新たに測定された値とメモリに記憶された温度依存性（温度関係性）の特性線（p、w50および明度）との相関を求める。このことから、ガウス近似に必要なパラメータである強度およびピーク波長を決定することができ、半値幅は、最初のスペクトルに対してほぼ変化しないと見なされる。

20

【0064】

LED照明装置の色の制御においては、LED照明装置の全電力またはLED色の全LEDに供給される全電流が、特定の、好ましくは温度依存性のしきい値を超えてはならないので、温度依存性の電力制限がなされる。この理由は、单一または複数の色の明度の低下を補償することを期待して、より多くの電流を供給することにより、温度を上げ、その結果、LED照明装置の明度を低下させることは無意味だからである。電流供給の増加およびそれに伴ってLED照明装置の全電力が増加すると、温度はさらに上昇して、单一または複数のLEDが過負荷になり、それにより破壊するかまたはハードウェア式の電流制限が作動するまで、発光効率はさらに低下する。

30

【0065】

したがって、LEDスポットライトおよび/またはLEDに供給される全電流の電力消費の制限がもたらされ、LEDスポットライトおよび/またはLEDに供給される全電流の電力消費は、温度に依存して制限することができる。

【0066】

40

LED照明装置の光束部分が、LED照明装置から放射された混光の色、色温度および/または色度座標を判定し、それぞれについて同色のLED色グループにグループ化され、パルス幅変調制御信号によって有色および白色LEDからなる種々の有色LEDを制御することによって調整される、様々な色または波長の光を放射するLEDを有するLED照明装置の色特性または測光特性を温度依存的に調整するためのさらなる方法は、LED照明装置の温度特性線（Y = f (Tb)）によるLED照明装置の色制御によって特徴付けられる。温度特性線は、安定状態において指定された電流における基板上に配置されたLED、および/または各LED色またはLED色グループに対して少なくとも1つのLEDの接合部温度の基板温度（Tb）に依存する、明度（Y）を表している。

【0067】

50

この方法では、LED照明装置の温度特性線の決定は、LED照明装置または外部制御装置において、安定状態 ($Y = f(T_b)$) において特定の電流で各LED色について、基板温度 T_b に依存する明度 (Y) の関数を決定し、その特性線を ($Y(T_{b1}) = 1$) に正規化し（ここで、(T_{b1}) は、後述の作用点に近い、任意に選択された温度値である）、以下の式の線形関数について、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b$$

以下の式の二次多項式について

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2$$

以下の式の三次多項式について、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2 + d \times T_b^3 \quad 10$$

パラメータ (a, b, c, d) を決定し、そのパラメータ a, b, c, d を LED 照明装置の照明モジュール内に記憶することによって、実行される。

【0068】

LED 照明装置に対する校正補正係数を、好ましくはランダム (stichprobenhaft) に決定するために、各 LED 色の明度 (Y) および基板温度 (T_b) の測定は、LED 照明装置を作動させた直後に実行され、 $Y(T_{b\text{cal}}, t_0)$ という結果になり、安定した状態における各 LED 色についての明度 (Y) および基板温度 (T_b) の測定と、特性線 ($Y = f(T_b)$) によって、明度 ($Y(T_b), t_1$) の基板温度 (T_{b1}) への変換が行われて、 $Y(T_{b1}, t_1)$ という結果になり、以下の補正係数の式を得る。

$$k_{Y\text{cal}} = Y(T_{b1}, t_1) / Y(T_{b\text{cal}}, t_0) \quad 20$$

この式は、校正の間に測定された基板温度 ($T_{b\text{cal}}$) に対して有効である。

【0069】

LED 照明装置の照明モジュールに対する明度の校正に関しては、作動直後に LED 色について明度 (Y) および基板温度 (T_b) を測定して、 $Y(T_{b\text{cal}}, t_0)$ という結果になり、以下の式に従って、各 LED 色について想定される基板温度 (T_{b1}) で静止状態における明度に変換し、想定される基板温度 (T_{b1}) に変換された LED 照明装置における LED 色の明度 (Y) が記憶される。

$$Y(T_{b1}) = Y(T_{b\text{cal}}, t_0) \times k_{Y\text{cal}}$$

【0070】

LED 照明装置の色校正に関しては、スペクトルの測定を実行し、その測定からおよび LED 照明装置の各 LED 色に対する標準的な色部分 (x, y) から明度 (Y) を導き出し、スポットライトの明度を特性線 ($Y = f(T_b)$) によって基板温度 (T_{b1}) に変換し、スペクトルを ($Y = Y(T_{b1})$) 倍率変更 (拡大または縮小) し、各 LED 色について校正データ (x, y) および ($Y(T_{b1})$) を LED 照明装置内に記憶し、プログラム制御処理ユニットを用いて、N 個の色温度補間点について測定されたスペクトルから LED 色の最適な光束部分を計算し、N 個の色温度補間点についての LED 色の光束部分を LED 照明装置のメモリ内に記憶し、および / または、目標の色度座標 (x, y) に依存して、LED 色の光束部分を表形式で記憶する。

【0071】

最後に、N 個の色温度補間点について、および / または LED 色の光束部分の色度座標の表として、各色の温度特性線および各 LED 色の明度 (Y) および色度座標 (x, y) として、記憶された校正データを用いた LED 照明装置の色制御は、所望の色度座標 (x, y) と所望の明度 (Y) について LED 色 (PWM_A) に対する PWM 制御信号を決定する工程と、基板温度 (T_b) を測定する工程と、メモリに記憶された近似特性線 ($f_{PWM} = 1/Y$) から各 LED 色に対する温度依存性 PWM 補正係数を決定する工程と、LED 照明装置の全電力または LED 照明装置の単色 LED に供給される電力を検出する工程と、LED 照明装置の全電力または特定の最大値 (P_{max}, I_{max}) よりも小さい LED 照明装置の LED に供給される電流において、PWM 補正係数を用いて LED 照明装置の LED を制御するか、または以下の式から、全 LED 色の電流または電力を制限するために、以下の式から遮断係数 (k_{Cutoff}) を決定し、

10

20

30

40

50

$$k_{\text{Cutoff}} = P_{\text{max}} / P_{\text{new}}$$

または

$$k_{\text{Cutoff}} = I_{\text{max}} / I_{\text{new}}$$

および、 $P_{\text{WM}_T} = P_{\text{WM}_A} \times f_{\text{PWM}} \times k_{\text{Cutoff}}$ に基づいて新しいPWM係数を用いてLED照明装置のLEDを制御することによって実行できる。

【0072】

温度依存性スペクトルを決定するための前述の計算ステップと、以下の混合比の新しい計算とは、スポットライト内で「オンライン」、および、校正の間ににおいて前もって、実行できる。

【0073】

LED照明装置の光束部分が、LED照明装置から放射される混光の色、色温度および/または色度座標を決定する、種々の有色LEDの色グループを有するLED照明装置の色特性または測光特性を温度依存的に調整するための装置は、LED照明装置から放射される混光の色、色温度および/または色度座標を調整し、用途特定の標的パラメータとそれらの理想値からの許容可能なずれを特定するための入力装置と、LED照明装置のハウジング内および/または種々の有色LED色グループの少なくとも1つのLEDの領域内に配置され、測定温度に対応する温度信号を出力する温度測定器と、種々の有色LED色グループのLEDを、パルス幅変調電流パルスを用いて制御するための制御装置と、温度に依存して放射スペクトルを決定する少なくとも1つの値に対する各LED色グループに関する記憶された校正データを有するメモリと、温度測定器によって提供された温度信号に依存してLED色グループのLEDを制御するために、各LED色グループの光束部分に対応するパルス幅変調制御信号を決定するための、制御装置およびメモリに接続されたマイクロプロセッサとによって特徴付けられる。

10

【0074】

LED照明装置から放射される混光の色、色温度および/または色度座標を調整し、用途特定の標的パラメータとそれらの理想値からの許容可能なずれを予め設定するために、入力装置は、好ましくは、混合装置またはDMXコンソールからなる。

【0075】

パルス幅変調された電流インパルスを用いてLED色グループを制御する制御装置は、マイクロプロセッサに接続されたプログラム制御入力、入力装置に接続された光混合入力ならびに/または、センサおよび/もしくは校正ハンドヘルドユニットに接続されたセンサおよび/または校正入力とを有し、供給電圧源に接続されている。

20

【0076】

本発明による方法およびそれらの各利点を、以下に例示的な実施形態によってさらに説明する。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】異なる大きさのLEDスポットライトまたはLEDパネルとして設計されたLED照明装置の端末部の概略図である。

30

【図2】モジュール支持体と、モジュール用ヒートシンクのソケットに接続された光源とを有する照明モジュールの斜視図である。

40

【図3】同様に構成された駆動回路を有するモジュール用電子回路のブロック図である。

【図4】LED照明装置の5つの種類の有色LEDの放射スペクトルを示す図である。

【図5】様々な色調および材料組成のLEDの温度依存性グラフである。

【図6】琥珀色および赤色のLED色調グループのピーク波長の温度依存性グラフである(DAの図6.4)。

【図7】琥珀色および赤色のLED色調グループの半値幅の温度依存性グラフである(DAの図6.7)。

【図8】タンゲステンのスペクトルの温度依存性グラフである(DAの図6.9)。

【図9】昼光のスペクトルの温度依存性グラフである(DAの図6.10)。

50

【図10】タンクス滕および昼白についての温度に依存する相対輝度のグラフである(DAの図6.11)。

【図11】タンクス滕および昼白についての温度に依存する色温度シフトのグラフである(DAの図6.12)。

【図12】種々の有色LEDの色調グループの光束部分またはパルス幅変調信号を決定するためのプログラム制御処理ユニットの概略的なブロック図である(Kramer氏のブロック図)。

【図13】光センサを用いないガウス分布によるスペクトル近似によって、色補正するアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図14】琥珀色および青色の色調グループに対するガウス分布による放射スペクトルの近似における波長に対する相対輝度のグラフである。 10

【図15】光センサを用いたガウス分布によるスペクトル近似によって色補正するためのアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図16】光センサを用いたガウス分布と明度補償とによるスペクトル近似によって色補正するアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図17】色温度設定のために温度依存性の最適化された混合比を計算することによって、色補正するアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図18】色温度設定の温度依存性の混合比の記憶された特性線から、温度依存性の調光係数を決定するアルゴリズムの概略的なブロック図である。 20

【図19】明度センサを用いない、一定の光束部分を考慮に入れて、記憶特性線から温度依存性の調光係数を決定することによってアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図20】明度センサを用いた、一定の光束部分を考慮して、記憶された特性線から温度依存性の調光係数を決定することによって色補正するアルゴリズムの概略的なブロック図である。

【図21】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度の特性線である。

【図22】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度の特性線である。

【図23】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度の特性線である。 30

【図24】LED基板とLEDチップの接合部との間の熱抵抗の等価回路図である。

【図25】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度についてのフローチャートである。

【図26】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度についてのフローチャートである。

【図27】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度についてのフローチャートである。

【図28】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度についてのフローチャートである。

【図29】温度特性線によって色調制御するための基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度についてのフローチャートである。 40

【図30】設定が3200Kについての寒色スペクトルと暖色スペクトルとの間の差を明確にするためにスペクトルを示す図である。

【図31】設定が5600Kについての寒色スペクトルと暖色スペクトルとの間の差を明確にするためにスペクトルを示す図である。

【図32】色温度に依存する、寒色 - 暖色の色温度(CCT)のずれを示す図である。

【図33】2200Kから2400Kの色温度の範囲で、プランク軌跡に沿った目標色度座標 x, y に対する、目標色度座標 x に依存する色度座標のずれ d_x, d_y (寒色 - 暖色)を示す図である。

【図34】色温度CCTの関数として暖色および寒色の最適な光束部分を示す図である。 50

【図35】スペクトルシフトの補正を備えた、設定CCT = 3200Kに対する、NTC温度に依存する5つのチャネルのLEDモジュールの測定された色温度のグラフを示す図である。

【図36】スペクトルシフトの補正を備える、設定がCCT = 5600Kに対する、NTC温度に依存するLEDモジュールの測定された色温度のグラフを示す図である。

【図37】調光係数(PWM)と順電圧とに依存する温度特性線を決定するためのフローチャートである。

【図38】黄色および赤色のLEDについての明度・温度特性線、および+/-3nmの波長のずれに対する黄色LEDについての線形内挿および外挿を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0078】

図1は、円筒形ハウジング10を有するLEDスポットライト1として設計されたLED照明装置の概略的な構成の長手方向断面図を示している。LEDスポットライト1では、セラミック製の基板と、そのセラミック製の基板上にチップオンボード方式で配置された種々の有色LEDと、LEDを覆うグラウト材とから構成された光源3が配置されている。LED光源3は、熱伝導接着剤によって、銅またはアルミニウムなどの良好な熱伝導性材料から形成されるヒートシンク11に直接取り付けられ、ヒートシンク11は、LED光源3のLEDから放出された熱を放散する。LEDスポットライト1の後部に配置されたファン12が、LEDをさらに冷却する。

【0079】

光混合は、コーン形状あるいは円筒形状の光混合ロッド13（このロッドの端部にPOC箔として設計された拡散ディスク14が配置されている）によって実現される。LEDスポットライト1は、LEDスポットライト1の長手方向に調整可能なフレネルレンズ15によって、スポット位置とフラッド位置との間を連続的に調整することができる。

【0080】

図2は照明モジュールの斜視図を示しており、この照明モジュールは、電子回路モジュール5がその上に配置され、ヒートシンクモジュール11のソケット110が差し込まれる開口21（凹部から構成されてもよい）を有する、熱伝導性基板として設計された四角形状の支持体モジュール2からなる。ソケット110は、モジュール支持体2の表面から突き出ており、モジュール支持体2は、接続プラグ基板16（このプラグ基板によって、電子回路モジュールが電力制御装置に接続される）の下側に接続されている。光源3が、ヒートシンクモジュール11のソケット110上に配置され、光源3は、立方体形状のメタルコア基板上に配置された複数のLED4を有し、LED4は、それぞれ異なる波長およびそれにともなう色調の光を放射し、光源3はまた、温度センサ6と、LED4と温度センサ6をメタルコア基板の縁部に接続するための導体路とを有し、そこから両縁部は直接配線またはボンド接続によって電子回路モジュールに接続される。

【0081】

LED4は、それぞれ異なる波長、すなわちそれぞれ異なる色調（色）の光を放射する複数のLEDから構成されている。メタルコア基板上に各LED22を近接して配置することによって、様々な色調の混光が生成される。混光は、LEDの選択によって調整でき、光集束および光混合などの追加手段によってさらに最適化することができ、例えば、所望の色温度、明度などを調整することが可能な温度とは無関係に、さらなる制御手順によって一定に保つことができる。

【0082】

図3は電子回路モジュール5の機能図を示しており、この電子回路モジュールは、それぞれの場合において直列に接続された2つのLED401と402、403と404、411と412、421と422、431と432、441と442を有し、同一波長の光を放射して、パルス幅変調制御電圧による単色LEDグループの明度制御によって、6つのLEDグループを制御してLEDから放射される混光を調整し、および温度安定化電流源を制御して、LEDグループに電流を供給する。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 3 】

電子回路モジュール5は、個々に構成された6つの定電流源51～56に6つのパルス幅変調制御電圧PWM₁～PWM₆を供給するマイクロコントローラ50を含む。マイクロコントローラ50は、シリアルインターフェースSER-A、SER-Bを介して外部制御装置に接続され、増幅器60、70を介して、照明モジュールの温度センサ6および明度または色調センサ7に接続される入力AIN1、AIN2を有する。

【 0 0 8 4 】

同一構造の電源51～56は、優れた温度安定性を有し、マイクロコントローラ50のパルス幅変調制御電圧を供給する出力PWM1～PWM6のそれぞれの場合において、出力PWM1～PWM6に接続され、抵抗59を介して供給電圧U_{LED1}～U_{LED6}に接続された温度安定化定電流源57を含む。温度安定化定電流源57は出力側が、それらの場合において同一波長の光を放射する直列接続されたLEDグループのLEDの陽極に接続され、および、一方では直列接続のLEDの陰極に接続され、他方では接地電位GNDに接続される、電子スイッチ58の制御コネクタに接続されている。10

【 0 0 8 5 】

温度安定化定電流源57は、20～40kHzのスイッティング周波数における、高速の適切なスイッティングによって特徴付けられる。照明モジュールの電力損失をできる限り小さく保つために、生産方法が異なるLEDチップが最大6つの異なる供給電圧U_{LED1}～U_{LED6}で供給される。20

【 0 0 8 6 】

温度安定化電源51～56を照明モジュールのモジュール支持体上に配置することによって、システムのモジュール性が改善され、電圧供給が簡単になる。電源51～56のグループとしてまとめられた電圧供給に対してわずか2つの異なる電圧を供給することで(例えば、一方では赤色および黄色LED、他方では、青色、緑色および白色LEDに対して)、それぞれの供給電圧U_{LED1}～U_{LED6}を低減することによって、照明モジュールは、5つのインターフェース、すなわち、5つの導体を介した照明モジュールの接続(すなわち、同様に構成された複数の照明モジュールを最高ランクで制御および調整するために、2つの供給電圧V_{LED1}、V_{LED2}、接地電位GNDおよび外部制御装置を備えたシリアルインターフェースSER-A、SER-B)のみを必要とする。30

【 0 0 8 7 】

LED照明装置の色特性または測光特性、ならびに本発明の基本にある問題を調整するために、本発明による様々な方法を明確にする目的で、以下に、LEDの色調放射を決定する種々のパラメータを、図4～11によって簡単に説明する。

【 0 0 8 8 】

図4は、LED照明装置によって放射される光の波長に対する相対輝度の図として、LED照明装置における種々の有色LEDのスペクトルを示している。LEDは、鋭いスペクトル線の単色光を放射せず、スペクトルを略ガウスベル曲線と見なすことが可能な特定の帯域幅を有するスペクトルで光を放射するので、LEDの放射スペクトルは、ガウス分布としてシミュレートすることができる。図4は、実線で白色LEDの放射スペクトルを、短い破線で青色LEDの放射スペクトルを、長い破線で黄色または琥珀色に着色したLEDの放射スペクトルを、点線で赤色LEDのスペクトルを、一点鎖線で緑色LEDの放射スペクトルを示している。40

【 0 0 8 9 】

このスペクトル図から、白色光を放射するLEDのスペクトルの形状が、有色光を放射するLEDのスペクトルと大きく異なっていることがわかる。これは、光生成の基本原理として青色チップを使用する、白色光を生成する技術に起因する。青色チップのスペクトルは、白色LEDのスペクトルの第1の小さいピークの原因となる。青色LEDチップの蛍光体被膜は、青色光を部分的に黄色光に変換し、それによって、スペクトルの黄色領域において第2のより高いピークを形成する。光が混合されて、この部分は白色光となる。蛍光体被膜の厚みによって白色光の色温度を変更でき、このような方法で、温白色および50

昼白色の両方のLEDを製造することできる。

【0090】

図5は、様々な材料の組み合わせにおける、接合点温度Tに対する相対輝度の図において、LEDの温度依存性を示している。LEDの温度依存性は、LEDを発光体として用いる場合に大きな問題となる。接合点温度Tが上昇するにつれて、LEDの特性が大幅に変化する。このように、温度Tが上昇するにつれて輝度は大きく低下し、より長い波長への（すなわち、赤色光の方向に）スペクトルのシフトが生じる。これらの温度依存性は、用いられる材料に依存して明らかに大きく異なり、その結果、白色光と有色光とを相加的に放射するLEDから混合された混光の測色特性もまた変化するという事実をもたらす。

10

【0091】

次に、同一色の光を放射する複数のLEDから構成される単色LEDのグループの輝度、ピーク波長および半値幅を、図6～11によって、各色調グループのLEDの温度に依存すると見なし、スペクトルおよび輝度の分析、ならびに現在の温度に依存する、光混合人工照明（タンゲステン）と昼光の色温度および色度座標の分析を実行する。

【0092】

図5から明らかなように、種々の有色LEDは、異なる大きい温度依存性を有している。可視スペクトルの長波長範囲において放射するLEDは、温度Tが上昇するにつれて、可視スペクトルの短波長範囲において放射するLEDよりも輝度が著しく大きく減少する。このように、LEDの琥珀色と赤色の色調は、20における初期値の128%または116%から60においては初期値の65%または75%まで、輝度の減少を示す。青色および緑色の色調グループは、それらの輝度の温度依存性が大幅に少ない。白色LEDは青色LEDの技術を基本としているので、白色LEDの輝度減少の温度依存性もまた大幅に小さい。

20

【0093】

輝度の場合と同様に、ピーク波長の温度依存性はまた、異なるタイプのLEDでは異なる。

【0094】

図6は、琥珀色および赤色のLEDグループについてのピーク波長 λ_p の温度依存性を例示的に示し、LEDの周囲温度または接合部温度T（摂氏）が上昇するにつれて、ピーク波長 λ_p がシフトすることを明らかに示している。また、ピーク波長 λ_p に関しては、琥珀色および赤色などのより長波長の可視範囲におけるLEDは、温度依存性があまり大きくない青色および緑色のLEDグループのLEDよりも温度依存性が大きい。

30

【0095】

放射スペクトルの半値幅 w_{50} もまた、単色LEDグループの輝度およびピーク波長 λ_p と同様に、温度Tに線形依存している。それらの2つの後述するパラメータと対照的に、種々のLED色調グループ間の差は、ここではあまり重要ではなく、図7は、温度Tに対する琥珀色および赤色のLED色調の半値幅 w_{50} のずれを例示的に示している。輝度およびピーク波長 λ_p と対照的に、半値幅 w_{50} は、琥珀色および赤色のグループと同等の温度依存性を、青色および緑色のグループのLEDも有する。

40

【0096】

「タンゲステン」と「昼光」の混光についてのスペクトルの温度依存性を説明するために、図8は、混光の「タンゲステン」についての波長nmに対する相対輝度を示し、図9は、様々な接合部温度における混光「昼光」についての波長nmに対する相対輝度を示している。

【0097】

温度による輝度の大幅な減少が両方の混光に関して見られ、この場合、混光のスペクトルは、単色LEDグループのピーク波長のシフトに起因して、より長波長の方向にシフトする。琥珀色および赤色のLED色調グループの大きな輝度減少は、図8および図9で特に明らかである。

50

【0098】

図10は、周囲温度20°における「タングステン」および「昼光」の混光の温度Tにおける相対輝度をパーセントで示し、単色LEDグループへの温度の影響により、無視できないほどの混光の輝度減少を引き起こすことを明らかに示している。これにより、「タングステン」の混光は、「昼光」の混光よりも相対輝度が大きく減少することを示している。

【0099】

図11は、周囲温度Tに依存する「タングステン」および「昼光」についての色温度シフトd CCTを単位Kで示し、赤色および琥珀色の範囲において輝度に関するLEDの温度感度が大幅に大きく、温度が上昇するにつれて、光の色調の青色方向へのシフトが生じることを明からに示している。10

【0100】

前述の色度座標の温度依存性を補正するために、本発明による様々な方法を適用できる。第1に、スポットライトは、基準の混合を、「タングステン」が3200Kの設定で「昼光」が5600Kの設定に決定することによって、校正される。スポットライトにおける光の補正色調を調整するために、特定の部分、すなわちパルス幅変調(PWM)のパルス幅が、LED色調グループを制御するために決定される。これらの部分は、図12で概略的に示されるプログラム制御処理ユニットを用いて計算される。

【0101】

スポットライトにおける光の補正色調を調整可能にするために、パルス幅変調(PWM)の特定の部分(パルス幅T)が、全てのLED色調グループについて決定される。これは、プログラム制御処理ユニットを用いて計算され、その基本構成が図13に示されている。20

【0102】

[LED混合のブロック図の説明]

LED色調の様々なスペクトル(例えば、図12で示されている、LED色調のうちの赤色、青色、黄色、白色および琥珀色)は、前述の問題の解決法において提供されたプログラム制御処理ユニットで読み取ることができる。ユーザは、以下の最適化パラメータを入力側で設定値として調整することができる。

- ・ LED混合の目標色温度(例えば、3200K、5600K)
- ・ 基準輝度(優れた光混合機能)と比較して、色ずれが発生しないフィルム材またはカメラセンサ(例えば、Kodakの5246D、Kodakの5274T)
- ・ 優れた光混合機能が得られるカメラの基準輝度(例えば、3200Kの白熱ランプ、5600Kの昼光、HMIなど)

【0103】

プログラム制御処理ユニットは、汎用アルゴリズムによって以下のパラメータに関して取り込まれたLED色調の色調スペクトルの混合部分を最適化する。

- ・ 色温度
- ・ プランク軌跡(Planckian locus)からの最短距離(すなわち、緑色またはマゼンタ方向への色ずれができる限り目で見えない)
- ・ 演色指数(できる限り100に近い)
- ・ フィルムまたはデジタルカメラを用いた光混合機能。決定された混合と基準輝度との間の色距離は、記録媒体のフィルムまたはカメラについて最小でなければならない。

【0104】

これらの設定値に加え、ユーザは、前述の目標値CCT(K)、フィルム材/センサのタイプおよび光混合機能に対する基準輝度に、許容ずれまたは公差CCT(K)、Cプランク(プランク軌跡に対する色距離)、CRI、Cフィルム(色距離光混合機能)を入力することができる。

【0105】

このとき、プログラムに入力されている最適混合を調整するためのLED色調のLED

102030404050

スペクトルの部分は、プログラム制御処理ユニットによる最適化の結果である。LED混合の出力、すなわち、LED色調のそれぞれについての調光係数および光束部分（光量率）、ならびに、色度座標、色温度、プランク軌跡までの色距離、演色指数およびフィルムカメラまたはデジタルカメラを用いた光混合機能（混光の生成機能）についてこの混合で得られる測色値もまた計算され、出力される。

【0106】

ハウジング内部の周囲温度、基板またはLEDチップの接合部温度に依存する混光の単色LEDまたはLED色調グループのスペクトルを追跡するために、以後に図13～20により説明する様々な方法を、本発明に従って適用できる。

【0107】

図13は第1の変形形態を示しており、この変形形態では、単色LEDの各LEDの制御がパルス幅変調（PWM）を用いて、すなわち、LEDの制御電子回路において単色LEDについて温度依存的に決定された調光係数を即時に入力することによってオンラインで実行されるか、または、LED色調のそれぞれについての混光に必要とされる光束部分が出力される。この第1の方法では、輝度測定として光センサは使用されない。

【0108】

校正データ、すなわち、温度の関数としてのピーク波長のピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ の特性線が、各LED色調について、マイクロプロセッサ（μP）のメモリ内の関数または表として、プログラム制御式処理ユニットのマイクロプロセッサ内に記憶される。プログラムの開始後、以下が実行される。

1. LEDまたはLED色調グループにおいて温度を測定する。

2. 記憶された特性線からピーク波長ピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ に対する温度依存パラメータを決定し、ガウスベル曲線（Gaussian bell-shaped curve）に従うガウス分布によって新しいスペクトルを計算する。

【0109】

【数4】

$$E(\lambda) = e^{-2.7725 \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{w_{50}} \right)^2}$$

【0110】

または、ガウス分布に基づく以下の式によってスペクトルのより正確な近似を計算する。

【0111】

【数5】

$$E(\lambda) = f_L \cdot \frac{1}{\frac{w_{50}}{2} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{w_{50}/2} \right)^2}$$

【0112】

ここで、 λ_p は、LED放射スペクトルのピーク波長であり、

w_{50} は、LED放射スペクトルの半値幅であり、

f_L は、温度依存性変換係数である。

3. プログラム制御式処理ユニットにスペクトルを取り込み、ガウス分布によりスペクトルの近似値から新しい混光について、初期温度に対して修正された温度に適合する新しい調光係数を計算する。

4. 各LED色調グループのLEDを制御するために、制御電子回路によって、スポットライトの単色LEDグループの各LEDにおいて新しい混光に対応する調光係数を設定する。

10

20

30

40

50

プログラムループは新しい温度測定により L E D を制御した後に、閉じられる。すなわち、処理が終了する。

【0113】

図 14 は、色グループの琥珀色および青色に対するガウス分布による放射スペクトルの近似における、波長に対する相対輝度のグラフを示しており、それぞれの場合において測定値に極めて優れた近似を示している。

輝度測定における光センサの別の利用の場合においては、図 15 にフローチャートとして示されたプログラムは、前述のプログラムステップ 1 ~ 4 に以下のプログラムステップを追加して用いられる。

5. 光センサを用いた輝度測定およびスポットライトを設定値に調光する。

10

【0114】

校正データ、すなわち、ピーク波長ピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ に対する特性線が、図 15 においてフローチャートとして示されたプログラムの場合においてもまた、各 L E D 色調について、関数または表として、マイクロプロセッサのメモリ内に温度の関数として記憶される。プログラムの開始後、明度つまり輝度 $Y_0 = f(T)$ の測定は、スポットライトの単色 L E D の各 L E D 色調グループについて実行される。次のプログラムステップでは、L E D のハウジング内部の周囲温度、すなわち、スポットライトの L E D の基板または接合部温度の温度測定が実行される。これらの測定値から、温度依存係数 $Y_0 = f(T_u)$ がマイクロプロセッサに接続されたメモリから決定され、次に以下の式により補正係数が計算される。

20

$$f_K = Y_0(T_u) / Y_t(T_u)$$

ここで、 Y_0 は初期明度、 Y_t は温度 T における明度であり、補正係数は、相対輝度の温度範囲全体にわたる減少を表し、初期スペクトルの輝度に対するスペクトルの輝度の温度依存変換係数を示している。その後に、次のプログラムステップとして再度の温度測定が実行され、ピーク波長のピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ に対する温度依存係数が、記憶された特性線から決定される。図 13 に示されるフローチャートと同様に、次に、スペクトル近似がガウス分布により実行される。

【0115】

次のプログラムステップでは、ガウス分布により近似された各色グループのスペクトルには、前述の式に従って決定される色依存補正係数 f_k が乗算される。次に、スポットライトの L E D 色調グループの単色 L E D のパルス幅変調に対する調光係数が、図 12 に示されるプログラム制御式処理ユニットを用いて測定された温度における光混合に対して決定され、スポットライトの各 L E D 色調グループの単色 L E D は、計算された調光係数を用いて制御電子回路により制御される。また、このプログラム手順の場合には、プログラムループは次の再度の温度測定により閉じられる。

30

【0116】

照明装置はこのプログラム手順を用いて新しく計算された混光に対して調整でき、色補正是、修正されたハウジング内部の周囲温度、基板または接合部温度の結果として実行される。補正後に発生する輝度の予測される偏差を補正するために、輝度測定は光または V () センサによりなされ、このセンサにより、輝度の実際の値と設定値との間の差が決定され、照明装置は全ての色調グループを均一に調光することにより設定値に適合するようになる。

40

【0117】

図 15 に示す制御プログラムの利点は、明度の時間的減少がこの制御プログラム内に提供される光センサにより検知可能であるため、エージング現象の補償が可能であることである。R G B センサもしくは色センサまたはスペクトロメータが、光センサまたは V () センサの代わりにセンサ素子として使用される場合、スポットライトの単色 L E D 色調の色変化もまた明度の変化に加えて検出できる。

【0118】

R G B センサまたは色センサまたはスペクトロメータを備える場合は、ピーク波長ピー-

50

$\kappa = f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ の変化をさらに検出する、さらなる変形形態が存在する。

【0119】

図16に示すフローチャートは、光センサを用いる温度依存性混光の明度補正により、スポットライトの種々のLED色調グループのLEDを制御するための制御プログラムを説明している。

【0120】

またこの制御プログラムの場合は、温度依存パラメータのピーク波長のピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ について、関数または表として、各LED色調についての校正データをマイクロプロセッサ内に記憶する必要がある。プログラム開始後に、実際の明度 Y_t が各LED色調グループについて測定される。その後、ハウジング内部の周囲温度（環境温度）または基板または接合部温度 T_u の測定が実行される。続いて、温度依存係数 $Y_0 = f(T_u)$ はマイクロプロセッサに接続されたメモリから決定され、その結果から補正係数 f_k が以下の式に従って計算される。

$$f_k = Y_0(T_u) / Y_t(T_u)$$

ここで、 Y_0 は初期明度、 Y_t は温度 T における明度である。

【0121】

補数係数 f_k の計算後、再度の温度測定が実行され、記憶された特性線から、ピーク波長のピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および輝度 $Y_0 = f(T)$ についての温度依存係数を決定するための基準を形成する。前述の制御プログラムの場合と同様に、次に、ガウス分布によりスペクトル近似がなされる。その後、スペクトルに色依存補正係数 f_k を乗算し、これに対して、新しい混光 Y_{S011} 、すなわちスポットライトのLED色調グループのLEDについての調光係数および光束部分についての新しい設定値が、図12に示すプログラム制御式処理ユニットを用いて次のプログラムステップにおいて計算される。LEDスポットライトのLEDは、新しい混光に対する新しい調光係数を用いて、オンライン動作で制御される。

【0122】

新しい調光係数を用いてLEDを制御した後、再度明度測定を実行して、光センサまたはV()センサを用いて各LED色調グループについて個々に実際の値 $Y_{Is t}$ を検出する。補正係数 $f = Y_{Is t} / Y_{S011}$ は、明度測定の実際の値 $Y_{Is t}$ の測定および明度 Y_{S011} についての特定の設定値から計算され、次に、LEDは、以下の式に従って、計算された調光係数と補正係数 $f = Y_{Is t} / Y_{S011}$ との積から得られる新しい調光係数を用いて制御される。

$$\begin{aligned} \text{PWM factors (new)} &= \text{PWM factors (calculated)} \times f \\ (\text{PWM係数(新)}) &= (\text{PWM係数(計算値)}) \times f \end{aligned}$$

【0123】

またこの制御プログラムの場合は、プログラムループは再度の温度測定により閉じられる。加えて、エージング現象の補正是、光センサまたはV()センサにより時間的な明度減少を検出することにより可能になる。RGBセンサもしくは色センサまたはスペクトロメータをセンサ素子として使用すると、さらに、スポットライトの単色LEDの色変化を明度変化に加えて検出でき、さらに、ピーク波長ピーク = $f(T)$ および半値幅 $W_{50} = f(T)$ の変化を検出できる。

【0124】

図17はLEDスポットライトを校正するためのフローチャートを示し、この校正により、様々な温度におけるいくつかのLED色調の混光の混合比を事前計算するための多次元表が得られる。この計算はスポットライトとは離れて事前になされる。

【0125】

校正プログラムの開始後に、ガウス分布による近似が望ましいか否かを決定しなければならない。近似がガウス分布によりなされる場合、各LED色調のピーク波長のピーク = $f(T)$ 、半値幅 $W_{50} = f(T)$ および明度または輝度 $Y_0 = f(T)$ についての特性

10

20

30

40

50

線の温度依存パラメータが、決定されるかまたは測定される。このほかに、ガウス分布によるスペクトルの近似は、スポットライトを使用する温度範囲全体にわたって実行される。

【 0 1 2 6 】

代替方法として、ガウス分布による近似の代わりに、LED色調の温度依存スペクトルの測定が実行される。

【 0 1 2 7 】

使用される単色LEDの温度依存性の最適化混光は、図12に示すプログラム制御式処理ユニットによって、両方の代替方法の結果から、すなわち、N0色温度について（例えば、昼光、タンクステンおよび任意の別の色温度補間点について）、LED色調グループの単色LEDの調光係数から計算される。この計算後に、温度依存性の混合比、すなわち、N0色温度設定についてのスポットライトのLED色調グループの単色LEDの調光係数を記憶する。これらのN0温度設定は次に、図18に示すフローチャートに従ってスポットライトの色温度を調整する制御プログラムに対する基準を形成できる。

10

【 0 1 2 8 】

図18は、マイクロプロセッサのメモリに記憶される、関数の形式、あるいは関数または表の形式で、N0色温度補間点についてスポットライトの単色LED色調グループのLEDについての校正データを決定し、制御電子回路のマイクロプロセッサ内に記憶することを要求しており、これから混合比、すなわち周囲温度 T_u および色温度CCTの関数として調光係数が得られる。

20

【 0 1 2 9 】

制御プログラムの開始後に、ハウジング内部の周囲温度またはLED、LED色調グループまたは各色グループの単色LEDの基板または接合部温度の測定が実行される。温度依存性の調光係数は、制御電子回路のメモリに記憶された特性線の温度測定の実際値から決定され、単色LEDグループのLEDは温度依存性の新しい調光係数を用いて制御される。また、この制御プログラムの場合は、プログラムループは再度の温度測定により閉じられる。

【 0 1 3 0 】

図19および20は、照明装置のLED色調グループの温度依存性の光混合体についての調光係数を決定するために、光センサまたはV()センサを用いる輝度測定を適用および適用しない、2つのさらなる制御方法に関するフローチャートである。

30

【 0 1 3 1 】

図19は、光センサまたはV()センサを用いる輝度測定を実施しない、照明装置の単色LEDグループの一定光束部分を調整することを基本とする、制御プログラム手順を示している。校正データは、関数または表として、すなわち、照明装置のLED色調グループの各LED色調の明度 $Y = f(T_u)$ についての特性線、および色温度CCTの関数としての調光係数の形式のそれぞれの混合比に対する補間点、として制御電子回路のメモリに記憶される。

【 0 1 3 2 】

プログラムの開始後に、温度測定が実行され、これにより記憶された特性線から単色LEDグループについての温度依存係数 $Y = f(T_u)$ を決定するための基準を形成する。それぞれの調光係数は、以下の式に従って、温度依存係数Yからの対応する正規化(normalization)により計算される。

40

$$PWM(T_u) = PWM(T_0) / Y(T_u)$$

ここで、 T_0 は初期または基準温度であり、 T_u は実際の測定温度である。スポットライトの各LED色調グループの単色LEDは、実際の温度に依存してこの方法で計算される調光係数PWM(T_u)により制御され、プログラムループは再度の温度測定により閉じられる。

【 0 1 3 3 】

基本的に一定光束部分を有するスポットライトのLED色調グループにおける単色LE

50

Dの温度依存性の混光の決定は、さらに光センサまたはV()センサによる輝度測定と関連付けることができる。

【0134】

図20は、光センサまたはV()センサによる温度測定および追加の輝度測定により、スポットライトのいくつかのLED色調グループの単色LEDについての調光係数を決定する、制御プログラムのフローチャートを示している。

【0135】

またこの実施形態の場合は、制御電子回路のマイクロプロセッサのメモリに関数または表として記憶される、明度Yの校正データおよび混合比に対する補間点が、周囲温度 T_u および照明装置の単色LEDグループのLEDの色温度 CCT の関数として、調光係数の形式で取り込まれる。プログラム開始後に、ハウジング内部の周囲温度、あるいは、LED、LED色調グループまたは各LED色調グループの単色LEDの基板または接合部温度 T_u の測定が実行される。温度依存係数 $Y = f(T_u)$ は、温度測定の実際値と記憶された特性線から決定され、単色LEDグループのLEDは、計算された温度依存性の新しい調光係数により制御される。10

$$PWM(T_u) = PWM(T_0) / Y(T_u)$$

【0136】

図19に示すフローチャートに従う前述の制御方法とは対照的に、新しい調光係数を用いて各LED色調グループのLEDを制御した後は、再度温度測定は実行されないが、最初に、輝度測定が光センサまたはV()センサを用いて実行され、この測定に続いて、補正係数 $f = Y_{ist} / Y_{sol1}$ の計算が行われる。基本としてこれらの補正係数fを採用し、以下の式に従う新しい調光係数を用いてスポットライトの各LED色調グループのLEDの制御が実行される。20

$$PWM_{factors}(new) = PWM_{factors}(calculated) \times f$$

【0137】

この制御方法の場合は、記憶された特性線から基準として温度依存係数 $Y = f(T_u)$ を取る新しい調光係数を計算した後に、挿入された新しい調光係数を用いるLEDの制御が省略され、代わりに、調光係数を計算した後に、光センサまたはV()センサを用いる輝度測定が式 $PWM(T_u) = PWM(T_0) / Y(T_u)$ に従って実行される。

【0138】

加えて、さらなるデータ、例えば、校正データ、暖色および寒色についてのデータ、設定に対する発光効率などをメモリに記憶でき、これらは以下に詳細に説明する。30

【0139】

図21～23および25～29では、基板温度 T_b に依存するLED色調またはLED色調グループの相対明度に関するフローチャートおよび特性線が、LED照明装置の色を安定化するためのさらなる方法について示されており、この方法では、色の制御は温度特性線を用いてなされる。

【0140】

この方法の場合は、単色LEDグループのLEDの明度はLEDの接合部温度または測定される基板温度 T_b に依存すると予測される。この基板温度は、基板上で測定が困難な接合部温度の代わりに測定され、基板上には、異なる波長または色調の光を放射するLEDが、電子回路モジュールにより制御される混光を放射する光源として配置されている。電子回路モジュールは、モジュール支持体上に基板とともに配置され、基板と一体となって、複数のさらなる照明モジュールとともにLEDパネルに一体化される、照明モジュールを形成する。40

【0141】

A) 基板温度 T_b の関数としてのLEDの明度。

接合部温度または測定基板温度 T_b に対するLED照明装置のLED明度Yの依存性は、以下の式による線形関数として、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b$$

以下の式による二次多項式として、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2 \quad (\text{式 } 1)$$

または以下の式による三次多項式として、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2 + d \times T_b^3$$

所望の精度に応じて生成される近似関数によって近似される。

【0142】

近似の精度は、赤色LEDとともに最大の温度依存性を有する琥珀色LEDについては、図21に示す図により立証されるように、二次多項式による二次近似関数の場合に、特に優れている。

【0143】

相対明度Y(T_b)の基板温度T_bの関数として測定された特性線は、電流または電力に依存する曲線形状を示す。全ての場合において、曲線形状はより高いLED電力では最も急峻になる。この効果は、図22に示す図から明らかのように、LEDの直流およびパルス幅変調PWM制御の両方の場合において検出できる。この図22から、基板温度T_bに対する相対明度(パーセント単位)は、様々な調光係数およびそれにともなう様々な電流において導き出すことができる。

【0144】

この効果は、実際の基板温度を検出する温度センサが、発光LEDチップにおいて可能な限り近くに、照明モジュールの光源のLED基板上のLEDチップの近くに配置されるという事実が前提である。温度センサが発光LEDチップに近接していても、温度測定位置とLEDチップの接合部との間に熱抵抗が存在するため、測定される温度値は常に接合部の温度よりも低い。これにより、温度の差は、各LEDチップに関しては、それぞれのLEDチップから放散されるべき熱出力と、LEDの消費電力とに依存する。このため、異なる波長の光を放射するLEDの明度は接合部温度に依存するが、特性線は、基板温度に依存して記録されているだけであるため、明度の基板温度の関数として測定された特性線は、電流依存性または電力依存性の曲線形状を示す。

【0145】

のことから、基板温度T_bの関数としての明度Yの特性線が、単色LEDまたはLED色調グループにより消費される電流または出力に依存するという問題が生じ、この結果、前述の式1(この式では、基板温度に対するLEDの明度の依存性が二次方程式の近似関数により近似される)を用いた明度補正は、LED電流または熱出力が異なるために、系統的誤差が生じて、最適に作用しない。この影響は、例えば調光の間、すなわちLED照明装置のパルス幅変調制御の間に発生する。

【0146】

温度特性線Y=f(T_b)に基づいて明度補正を実行する方法の改善は、前述の式1を以下のように修正することにより達成できる。

$$Y(T_b) = a + b(T_b + T) + c(T_b + T)^2 \quad (\text{式 } 2)$$

温度補正值Tは、二次近似関数Y=f(T_b)に代入される。この二次近似関数では、温度補正值は、変化した熱出力に起因する温度センサとLED接合部との間の温度差の変化を考慮に入れている。この式2は特に、電子回路もまた(望ましくない)温度依存性挙動を有し、LED電流がより大きく温度に依存する場合、二次多項式(式1)と比較して有効である。

【0147】

これにより、補正值Tは、温度センサとLEDの接合部との間の熱抵抗と、急速に放散されるLEDの熱出力または電力とに依存する。補正值は、これらのパラメータ(既知の場合)から計算されるか、またはそれぞれの電力における一連の測定値から決定される。

【0148】

LEDの基板と接合部との間の熱抵抗が既知の場合は、電流依存性の補正值Tは以下の式に従って、LED電流から計算できる。

10

20

30

40

50

$$R_w = T / P_w$$

ここで、 R_w は基板と接合部間の熱抵抗であり、 P_w はLED電力にほぼ等しい放散される熱量であり、 T は基板と接合部間の温度差である。上式から、以下の式が得られる。

$$T = R_w \times P_w$$

ここで、熱出力 P_w はLED電力 $U_{LED} \times I_{LED}$ にほぼ等しい。温度補正値 T は、各LED色調について、パラメータ a 、 b および c などを個々に考慮されなければならない。LEDの電流依存性の熱出力は値 $U_{LED} \times I_{LED}$ からマイクロプロセッサにより決定される。LEDの場合は、全電力の一部が光に変換されるため、LEDの熱出力は常に、積 $U \times I$ より小さい。これは追加の係数 f_w により考慮に入れることができる。

$$P_w = f_w \times U_{LED} \times I_{LED}$$

10

したがって、色依存性補正値 T は以下の式により計算できる。

$$T = R_w \times f_w \times I_{LED} \times U_{LED}$$

【0149】

この方法では、それぞれの場合において測定される、基板温度 T_b に依存する明度 Y の挙動は、黄色LEDの例に関して図23の図により示すように、良好に再現できる。

【0150】

B) 特性線の電流依存性

明度 Y (T_b)の基板温度 T_b の関数として測定された特性線は、図22に示すように、電流依存または電力依存性曲線形状を示す。全ての場合において、曲線形状はより大きいLED電力では最も急峻になる。この効果は、LEDの直流制御およびPWM制御の両方において観察でき、またAlInGaN材料とInGaN材料では小さい範囲で両方において観察できる。

20

【0151】

この効果は、温度センサが実際上の理由から、発光チップにおいて可能な限り近くに、LED基板上のLEDに近接して配置されるのが前提である。しかし、温度測定点とチップの接合部との間に熱抵抗が存在する。その結果測定される温度値は常に、接合部の温度よりも低い。この結果、各チップにおける温度差は、各チップから放散される熱出力と、LEDの消費電力とに依存する。これは、図24に示す通り、LED基板とチップの接合部との間の熱抵抗の等価回路図から理解できる。

【0152】

30

LEDの明度は接合部温度に依存するが、特性線は基板温度に依存して記録されているだけであるので、明度の基板温度の関数として測定された特性線は、電流依存または電力依存性の曲線形状を示す。

【0153】

基板温度の関数としての明度の特性線は電流または全消費電力に依存するという、前述の結論から、LED電流または熱出力を変化させるための、式2に従う明度補正が、系統的誤差により、最適に作用しない結果をもたらす。この影響は、例えば、LEDスポットライトの調光の場合に発生する。

【0154】

温度特性線 $Y = f(T_{board})$ (温度特性線 $Y = f(T_b)$)に基づいて明度を補正する方法の改善は、以下のように式2を修正することにより達成される。

$$Y(T_b) = A + B \times (T_b + T) + C \times (T_b + T)^2 + D \times (T_b + T)^3 \quad (\text{式3})$$

40

温度補正值 T は、二次または三次近似関数 $Y = f(T_b)$ に代入され、この二次または三次近似関数では、温度補正值は、変化した熱出力に基づく温度センサとLED接合部との間の温度差の変化を考慮に入れている。

【0155】

これにより、補正值 T は、センサと接合部との間の熱抵抗と、急速に放散される熱出力またはLEDモジュールの電力とに依存する。補正值は、これらのパラメータ(既知の場合)から計算されるか、またはそれぞれの電力における一連の測定値から決定される。

50

【0156】

L E D の基板と接合部との間の熱抵抗が既知の場合は、電流依存性の補正値 T は以下のように、L E D 電流から計算できる。

$$R_w = T / P_w$$

R_w : 基板と接合部間の熱抵抗

P_w : 放散される熱量、L E D 電力に近い

T : 基板と接合部間の温度差

$$T = R_w \times P_w$$

P_w : L E D 電力 $U_{L E D} \times I_{L E D}$ にほぼ等しい熱出力

温度補正値 T は、各 L E D 色調について、パラメータ A、B、C などを個々に考慮されなければならない。 10

【0157】

L E D の電流依存性の熱出力は値 $U_{L E D} \times I_{L E D}$ からマイクロプロセッサにより決定される。L E D の全電力の一部が光に変換されるため、L E D の熱出力は常に、積 $U \times I$ より小さい。これは追加の係数 f_w により考慮に入れることができる。

$$P_w = f_w \times U_{L E D} \times I_{L E D}$$

【0158】

色依存性補正値 T は以下の式により計算できる。

$$T = R_w \times f_w \times I_{L E D} \times U_{L E D} \quad (\text{式 } 4)$$

この方法では、測定される挙動は、黄色 L E D の例についての図 23 の図により示すように、良好に再現できる。 20

明度 - 温度特性線は、例えば暖色状態における典型的な動作温度を表す、「作業温度（使用温度）」 T_n に正規化される。

$$Y(T_b) = A + B \times (T_b + T - T_n) + C \times (T_b + T - T_n)^2$$

$$+ D \times (T_b + T - T_n)^3 \quad (\text{式 } 5)$$

【0159】

曲線は、 $Y(T_b)$ が作業温度 T_n では「1」になるように正規化される場合、パラメータ A は常に「1」になる。これに加えて、メモリ内へのこのパラメータの記憶は省略される。

【0160】

多項式パラメータ A ~ D は、 $PWM = 0$ まで外挿された仮想の特性線について、明度の様々な調光度合いにおいて基板温度の関数として記録された曲線を用いて、通常の数学的方法により決定される。 30

【0161】

順電圧を考慮に入れずに補正値 T を実際に決定するには、熱抵抗 R_w ならびに補正係数 f が、式 4 にしたがって熱出力を決定するために必要である。多くの場合、これらの値は既知である。L E D の熱出力 k は L E D 電力に正比例しており、これに加えて、L E D の調光係数に正比例しているので、式 4 は以下のように書き換えができる。

$$T \sim PWM$$

$$T = E \times PWM \quad (\text{式 } 6) \quad 40$$

ここで、 PWM は、(0 . . . 1) の間の調光係数であり、 E は電力パラメータである。

【0162】

多項式パラメータ A ~ D ならびに電力 E が既知である場合、L E D 色調の相対明度は、基板温度の実際の値 T_b ならびに個々の L E D 調光係数 PWM から、式 5 および 6 によりスポットライトの作動中に計算できる。

$$Y(T_b) = A + B \times (T_b + T - T_n) + C \times (T_b + T - T_n)^2$$

$$+ D \times (T_b + T - T_n)^3$$

ここで、 $T = E \times PWM$ である。

【0163】

順電圧を考慮に入れて補正値 T を実際に決定することに関しては、L E D の一般的な

順電圧のばらつきにより、同一タイプおよび同一色のそれぞれのLEDが、同一電流および同一PWMを用いて制御されるとても、異なるLED電力で作動するという結果になる。個々の順電圧を考慮に入れることは、結果的に、適用される温度特性線のさらなる改善につながる。式4から以下のようなになる。

$$\begin{aligned} T &\sim \text{PWM} \times U_{\text{LED}} \\ T &= E_1 \times \text{PWM} \times U_{\text{LED}} \end{aligned} \quad (\text{式7})$$

パラメータ E_1 は、 E を、決定のために用いられる LED モジュールの順電圧 U_{ref} で割ることにより、式6に対して得られた値 E から決定できる。

【0164】

LED 色調の相対明度は次に、基板温度 T_b の実際の値からならびに個々の調光係数および順電圧から、式5および7を用いてスポットライトの作動中に計算できる。 10

$$\begin{aligned} Y(T_b) &= A + B \times (T_b + T - T_n) + C \times (T_b + T - T_n)^2 \\ &\quad + D \times (T_b + T - T_n)^3 \end{aligned}$$

ここで、 $T = E_1 \times \text{PWM} \times U_{\text{LED}}$ である。

スポットライトの作動中に個々のLED色調の明度を一定に保つために、 PWM 制御信号には、基板温度、 PWM ならびに任意に順電圧に依存して、温度補正係数 $k_T = 1 / Y(T_b)$ が乗算される。 20

$$\text{PWM} = \text{PWM} \times k_T = \text{PWM} / Y(T_b) \quad (\text{式8})$$

【0165】

上記の式において、 20

$Y(T_b)$	基板温度に依存する相対明度を示す
T_b	基板温度(単位)を示す。
T_n	使用温度(単位)を示す。
T	電力依存性の温度補正值(単位)を示す。
$A \dots D$	多項式の係数を示す。
E, E_1	電力パラメータを示す。
PWM	PWM 制御信号(0 ... 1)を示す。
R_w	熱抵抗(単位 K / W)を示す。
U_{LED}	順電圧(単位 V)を示す。
I_{LED}	LED 電流(単位 A)を示す。 30
P_w	熱出力(単位 W)を示す。
f_w	補正係数を示す。

【0166】

温度特性線による様々な波長または色の光を放射する LED の色調を制御する方法の手順は、図25～29に示すフローチャートから導き出すことができる。 30

【0167】

図25に示すフローチャートは、 LED モジュールの温度特性線の決定に役立ち、ここでの温度特性線の決定は無作為に実行される。決定された特性線は次に全ての LED モジュールに転送され、メモリに記憶される。特性線パラメータの個々の主波長への変換(補間 / 外挿)は、記憶の前に考慮でき、上記変換は次に説明する。 40

【0168】

第1ステップでは、明度 Y は、定常状態の特定の電流において各 LED 色調について、様々な基板温度 T_b に依存的に測定され、特性線 $Y = f(T_b)$ が決定される。第2ステップでは、特性線は、後の動作点 T_{b1} に近い任意に選択される温度値に正規化される、すなわち $Y(T_{b1}) = 1$ が決定される。 40

【0169】

第3ステップでは、パラメータ a および b は、以下の形式を有する線形近似関数に対して近似関数を選択することにより決定され、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b$$

二次近似関数、すなわち以下の形式を有する二次多項式に対して近似関数を選択すること 50

により決定され、

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2$$

または、以下の形式を有する三次多項式による近似関数を選択することにより決定される。

$$Y(T_b) = a + b \times T_b + c \times T_b^2 + d \times T_b^3$$

パラメータ a、b または a、b、c または a、b、c、d は、LED モジュール内、LED 照明装置の中央制御装置内、または外部制御装置内に記憶される。

【0170】

図 26 におけるフローチャートは、LED モジュールについての校正補正方法の無作為の決定方法を示し、この方法は、LED モジュール個々の高速の明度校正のための LED 照明装置の作動中に必要とされる。校正補正係数は、LED 照明装置を起動直後の明度の測定値を基準にした、定常状態における明度の倍数を示し、各 LED 色調に対して無作為に決定される。10

【0171】

各 LED モジュールに対する校正補正係数を決定するための第 1 ステップでは、明度 Y は、起動直後に、各 LED 色調について、基板温度 $T_{b\text{cal}}$ に依存的に（応じて）測定され、値 $Y(T_{b\text{cal}}, t_0)$ として記憶される。

【0172】

第 2 ステップでは、明度 Y および基板温度 T_b は、定常状態において各 LED 色調について測定され、値 $Y(T_b, t_1)$ として記憶される。次に、明度値 $Y(T_b, t_1)$ は、特性線 $Y = f(T_b)$ によって基板温度 T_{b_1} に変換される。ここで、 T_{b_1} は、特性線 $Y = f(T_b)$ が 1 に正規化されている温度である。値 $Y(T_{b_1}, t_1)$ は結果として記憶される。20

【0173】

第 3 ステップでは、補正係数は以下の式により求められる。

$$k_{Y\text{cal}} = Y(T_{b1}, t_1) / Y(T_{b\text{cal}}, t_0)$$

この式は、校正中に測定される基板温度 $T_{b\text{cal}}$ に対してのみ有効である。随意に、様々な基板温度 $T_{b\text{cal}}$ に対するいくつかの校正係数のセットは、校正中に生成されなければならない。

【0174】

図 27 は、校正において個々の LED モジュール内に LED 色調の明度を記憶するのに役立つ、LED モジュールの明度校正のためのフローチャートを示している。LED モジュールのモジュール用電子回路はメモリから上記明度を読み取り、それらを補償することができる。この結果、LED 照明装置の（例えばスポットライトの）LED モジュールの各色は、LED 照明装置の外部制御装置が種々の LED 色調の明度設定値を要求すると、その明度で発光する。30

【0175】

LED モジュールの明度校正の第 1 ステップでは、明度 Y および基板温度 T_b は、LED 照明装置または LED モジュールの起動直後に、各 LED 色調について測定され、値 $Y(T_{b\text{cal}}, t_0)$ として記憶される。40

【0176】

第 2 ステップでは、基板温度 T_{b_1} における定常状態の明度への変換は、各色調について、以下の式に従って変換される。

$$Y(T_{b_1}) = Y(T_{b\text{cal}}, t_0) \times k_{Y\text{cal}}$$

これにより、係数 $k_{Y\text{cal}}$ は、図 26 のフローチャートに従って決定される校正補正係数に相当する。

【0177】

第 3 ステップでは、基板温度 T_{b_1} に変換される LED 色調の明度はそれぞれの LED モジュールに記憶される。

【0178】

50

図28に示すフローチャートは、LED照明装置またはスポットライトの色調校正の方法を示している。プログラムの開始後に、第1ステップでは、スペクトルの測定が実行され、結果として、スポットライトの各LED色調の明度Yならびに基準色部分x, yが導き出される。次に、スポットライトの明度が、特性線 $Y = f(T_b)$ により基板温度 T_{b_1} に変換され、スペクトルは $Y(T_{b_1})$ に倍率変更(拡大縮小)される。

【0179】

第2ステップでは、各LED色調についての校正データx, yおよび $Y(T_{b_1})$ はスポットライトに記憶される。第3ステップでは、N色の温度の補間点について測定されたスペクトルからのLED色調の最適光束部分の計算は、前述のプログラム制御式処理ユニットにより実行される。

10

【0180】

第4ステップでは、N色の温度補間点についてのLED色調の光束部分はスポットライトのメモリに記憶され、および/または、LED色調の光束部分は、標的色度座標(ターゲット色度座標)、すなわち標準色値部分x, yに依存して表形式で記憶される。

【0181】

図29は、スポットライトとして設計されたLED照明装置の色調制御のフローチャートを示している。

【0182】

LED照明装置の色調制御においては、LED照明装置の全電力またはLED色調の全てのLEDに供給される全電流が、特定の、好ましくは温度依存性のしきい値を超えてはならないので、温度依存性の電力制限が実行される。この理由は、単一または複数の色の明度の低下を補償することを期待して、より多くの電流を供給することにより、温度を上げ、その結果、LED照明装置の明度を低下させることは無意味であるからである。電流供給の増加およびそれにともないLED照明装置の全電力が増加すると、温度はさらに上昇して、単一または複数のLEDが過負荷になり、それにより破壊するかまたはハードウェア式の電流制限が作動するまで、発光効率はさらに低下する。

20

【0183】

図29におけるフローチャートに示すLED照明装置の色調制御に関する前提条件は、N個の温度補間点の校正データおよび/または色度座標の表を、色温度(CCT)および/または色度座標(x, y)の関数として、LED照明装置またはLED色調の光束部分を備えるLEDモジュールのマイクロプロセッサ内に記憶し、各LED色調の温度特性線 $Y(T_b)$ と明度および各LED色調の色度座標Y, x, yとを記憶することである。

30

【0184】

色調制御の第1ステップでは、LED色調のPWMの係数 PWM_A は所望の色度に対して決定され、明度は補間ににより任意に決定される。第2ステップでは、基板温度 T_b が測定され、第3ステップでは、温度依存性のPWM補正係数がメモリに記憶された特性線から各色調について決定される。

$$f_{PWM} = 1 / Y_{REL}$$

ここでは、 Y_{REL} の値として、前述の説明にしたがって、線形近似関数、二次近似関数または三次近似関数が適用される。

40

【0185】

第4ステップでは、LED照明装置に供給される全電力 P_{neu} または個々のLED電流 I_{neu} が特定の最大値 P_{max} または I_{max} を超えるか否かを調べる。最大値を超える場合、電流または電力を制限するために遮断係数 k_{Cutoff} が決定され、この係数は全てのLED色調に対して有効であり、以下の式により決定される。

$$k_{Cutoff} = P_{max} / P_{neu}$$

または

$$k_{Cutoff} = I_{max} / I_{neu}$$

【0186】

新しい全電力が特定の最大値を超えない場合、遮断係数は $k_{Cutoff} = 1$ に設定される。

50

【0187】

第5ステップでは、新しいPWM係数のPWM_Tは、以下の数により決定され、

$$P\text{WM}_T = P\text{WM}_A \times f\text{ PWM} \times k\text{ Cutoff}$$

LEDは新しいPWM係数のPWM_Tを用いて制御され、その後、LED色調のPWM_Aに対してPWM係数を決定する第1方法のステップに戻る。

【0188】

校正において測定される色チャネルの基本明度は、LEDモジュールの内部明度補正に役立つ。これに加えて、LEDチップの明度のばらつきおよび電子回路のばらつきが校正される。色依存性の明度補正係数k_Yは次に、LED照明システムの校正においてこれらの値から決定され、記憶される。各色調を校正する間に決定される明度は、試験室において事前に代表例として決定されている、温度特性線によって使用温度T_nに変換される。10

【0189】

内部の基本明度Yは、スポットライトの校正において接続された全てのLEDモジュールから読み取られ、全てのLEDモジュールについての明度補正係数k_Yは、最小明度を有するLEDモジュールに関する基本明度から計算され、記憶される。これらは、LEDモジュールの内部の明度補正に役立つ。外部制御装置から受け取るPWMコマンドには、LEDモジュール内部で明度補正係数k_Yが乗算され、これにより全ての接続されたLEDモジュールが同一明度の所望の色調を表示するようにされる。

【0190】

明度補正係数k_Yは、以下の式のように、各チャネルについてLED照明装置を校正する間に計算される、20

$$k\text{ Y} = Y_{min} / Y$$

ここで、Y_{min}は接続された全てのLEDモジュールの基本明度Yのうちの最小明度を表す。

【0191】

温度特性線のパラメータは、各色調の相対明度が使用温度T_nに対して1に正規化され、PWM=1であるように、三次近似関数を適用する際に選択される。これにより、多項式の係数aは1になる。温度特性線はピーク電流に依存するので、ピーク電流を切り換える場合は、パラメータのそれぞれのセットに戻らなければならない。明度に関連する全ての校正データは、使用温度T_nに正規化される。30

【0192】

LEDチップの最高接合部温度は、LED照明装置内に記憶され、かつLEDチップの最高接合部温度のしきい値を下回らなければならぬ、遮断温度または最高基板温度の値を示す。

【0193】

最高基板温度T_{max}を超える場合、LEDモジュールの全電力は、基板温度T_bがT_{max}よりも低くなるか、または等しくなるまで均一に低減されなければならない。電力低減は色調に依存しない電力係数k_pによってなされる。

【0194】

モジュール内部に適用される調光係数またはPWM信号の計算は、以下のように実行される。40

a) 測定される基板温度T_bに依存する相対明度Y_{rel}と、基板温度T_nにおいて値Y=1に正規化された曲線Y=f(T_b)と、PWM信号との計算を実行する。

$$Y(T_b, \text{PWM}) = 1 + B \times (T_b - T_n + dT) \\ + C \times (T_b - T_n + dT)^2 + D \times (T_b - T_n + dT)^3$$

³

$$Y(T_n) = 1 + B \times dT + C \times dT^2 + D \times dT^3$$

ここで、dT=E×(1-PWM_{intern})は電力依存補正であり、一般に-10から-30の間である。

使用温度T_nに対して電力補正特性線を1に正規化する。50

$$Y_{rel} = Y(T_b, PWM) / Y(T_n)$$

b) 温度依存補正係数 k_T を決定する（各チャネルについて）。

$$k_T = 1 / Y_{rel}$$

c) 最高基板温度以下になるように、電力低減 k_p を決定する（各モジュールについて）。

【0195】

最高基板温度 T_{max} を超える場合、モジュールの全電力は、 $T_b \leq T_{max}$ まで均一に低減される。電力低減は色調に依存しない電力係数 k_p によってなされる。

これにより、時定数 t_p (% / s) は、電力調整の速度およびその勾配 m を表す。

モジュールに起動中、 k_p は 1 である。

10

【0196】

$T_b > T_{max}$ の場合、設定電力は以下の式の温度依存係数により低減される。

$$k_p \times = 1 - m (T_b - T_{max})$$

（時定数 t_p で低減）

T_b が T_{max} を下回る場合、電力を再度増加することができる。

$$k_p < 1 \text{ の場合、 } k_p / = (1 - m (T_b - T_{max}))$$

（時定数 t_p で増加）

【0197】

代替的方法では、制限温度または遮断温度を超える場合、スポットライトは、作動中に明度の変化が認められない場合は、調光する代わりに遮断される。この場合、 $T_b > T_{max}$ であれば、 k_p は 0 である。

電力係数 k_p は最大 $k_p = 1$ である。

20

【0198】

d) 温度の観点から、理論的に必要なチャネルごとの調光係数または PWM 信号を決定する。

$$PWM_{theo} = PWM_{sol1} \times k_T \times k_Y$$

$PWM_{theo, max}$ = 全ての色調について決定される PWM 部分の最大値 PWM_{theo} である。

【0199】

e) LED モジュールごとにモジュール Y_{rel} の可能な相対明度を決定する。

30

$PWM_{theo, max} \leq 1$ の場合、 Y_{rel} モジュール = K_p である。

$PWM_{theo, max} > 1$ の場合、 Y_{rel} モジュール = $K_p / PWM_{theo, max}$ である。

【0200】

f) グループ一致のためのデータ。

接続された全ての LED モジュールは、中央電力制御ユニットからコマンド SetGroupBrightness (グループ明度設定) を受信し、このユニットを介して、スポットライトにおける温度に関係する最も暗い LED モジュールの相対明度が全ての LED モジュールに通信される。他の全ての LED モジュールは、温度に関係する輝度勾配を避けるために、他の全ての明度を最も暗い明度に調整する。

40

【0201】

各 LED モジュールは、グループ一致のために、中央電力制御ユニットに可能な相対明度 $Y_{rel, module}$ を送信し、この中央電力制御ユニットは、（温度に関係する）最も暗い LED モジュールの明度を決定し、この明度を $Y_{rel, Group}$ として全ての LED モジュールに送信して、全ての LED モジュールの明度を最も暗い明度に適合（低減）させることができる。

$Y_{rel, Group} = Y_{rel, module}$ の最小値は全ての LED モジュールから受信される。

【0202】

g) LED モジュールのグループ一致。

50

各 LED はその明度をグループ明度に一致させる。グループ一致のための係数 k_{Group} は以下の式により計算され、 k_{Group} のデフォルト値は 1 である。

$$k_{Group} = Y_{real, Group} / Y_{real, module}$$

【0203】

h) 内部調光係数または PWM 信号の計算。

$$\begin{aligned} PWM(\text{内部}) &= PWM_{sol 1} \times kT \times kY \times Y_{real, module} \times k_{Group} \\ &= PWM_{theo} \times Y_{real, module} \times k_{Group} \end{aligned}$$

この後に、同一色の全ての LED モジュールは同一明度で発光する。

【0204】

スポットライト内の電力安定化には、原色ごとに計算された相対光束部分を正規化することが必要である。スポットライトが、例えば、PWM 信号が最大値 $PWM_{max} = 1$ に正規化されるように制御されると、最大の可能な明度がそれぞれの場合において達成される。しかし、このことは、一方では調整される色の明度が動作温度全体にわたって一定でなければならず、これは温度 - 明度特性線を用いて簡単に補償できるため意味がない。しかし、他方では、LED スポットライトが最高のしきい値温度（遮断温度）に直ぐに到達して遮断されるように、正規化にともなって生じる LED 電力がスポットライトの冷却に過大に依存する。受動的冷却の場合は、スポットライトは一般に、過熱状態にならないよう、内部調光係数を用いて作動されなければならない。この内部調光係数は LED 色調の混合比に大きく依存し、かつそれに加えて冷却温度または色度座標に大きく依存する。

【0205】

したがって、任意の色調または色調モードについて計算される、相対的な光束の比率は、スポットライトのメモリ内に記憶される、最大 LED 電力 P_{max} (W) に関連する。調整される色混合の実際の電力を計算し、その電力を P_{max} に正規化することを可能にするために、電力 P_i (W) @ $PWM = 1$ は各色チャネルについてスポットライトにおける校正の間に記憶される。

【0206】

[LED モデルにおける温度に関する色ずれの補償]

LED モジュールから構成されたスポットライトの場合は、温度に依存する色温度の変化を観察できる。その変化範囲は、設定 3200K および 5600K では約 300K である。この効果は、特に赤および黄色 LED の、主波長の温度に関するシフトに由来する。校正は、暖色状態では、スペクトルの測定および必要な光束部分の計算により実行されるが、スポットライトは起動時間または調光状態の間には低い温度を有し、スペクトルのシフトは色温度の上昇をもたらす。

【0207】

前述の方法に従って LED モジュール内に実装されている温度補償は、明度のみを補償するが、また、色混合の相対的な光束部分を温度によらず一定に維持するように作用する。図 30 および 31 に示したスペクトルは、設定 3200K (図 30) および 5600K (図 31) における寒色スペクトルと暖色スペクトルとの差を明らかに示している。このスペクトルは 70 および 25 の NTC 温度において測定され、従来の実装された光束部分の一定化方法によって得られる。この結果、温度に関する色調のシフトはプランク軌跡に沿って正確に発生するだけでなく、特に低い色温度では、プランク軌跡から最大 5 のしきい値単位までのずれが生じる。この事実から、CCT ずれだけではなく色度座標 (d_x, d_y) のずれもまた本発明により補償される。

【0208】

図 32 は色温度に依存する CCT ずれ寒色 - 暖色を示しており、図 33 は、2200K と 2400K 間の色温度範囲におけるプランク軌跡に沿った目標色度座標 (ターゲット色度座標) x, y に対する目標色度座標 x に依存する、色度座標 d_x, d_y (寒色 - 暖色) のずれを示し、図 34 は色温度 CCT の関数として最適な光束部分の寒色および暖色を示している。

10

20

30

40

50

【0209】

スポットライトのレベルにおいて、色シフトを補償するには以下の方法が可能である。

a) NTC 温度に対する校正データとともに、色温度補正 $CCT = f(CCT, T_{NTC})$ のための補償アルゴリズムを入力する。この補償方法は容易に実行できるが、同程度に不正確である。この理由は、プランク軌跡からの色ずれが補償されず、色温度の調整に対してだけは適用できるが、任意の色度座標（例えば、有効色）に対して適用できないためである。

【0210】

色温度補正のための補償アルゴリズムは実験的または数学的に決定できる。実験的決定の場合は、暖色作動状態 (T_{NTC_warm}) における様々な CCT 補間点についての最適光束部分と、明度 - 温度特性線とはスポットライトについて決定され、スポットライトは、寒色作動状態 (T_{NTC_cold}) において、様々な設定色温度に調整される。次に、放射光の色温度が測定され、目標色温度と測定された色温度との差は、目標色温度に依存してグラフ化される。近似関数、例えば多項式はこれらの対の値に対して決定される。

10

【0211】

色温度補正のための補償アルゴリズムの数学的決定の場合は、スポットライトの暖色作動状態 (T_{NTC_warm}) において様々な CCT 補間点についての最適な光束部分が存在することが推定される。次に、それぞれの色調のスペクトルが寒色作動状態 (T_{NTC_cold}) で測定され、これらの「寒色スペクトル」は暖色作動状態 T_{NTC_warm} において決定された光束部分によって様々な CCT 補間点について混合され、冷温度は、この方法で得られる混合スペクトルから計算される。目標色温度と寒色スペクトルから計算される色温度との差は、目標色温度に依存してグラフ化される。近似関数（例えば多項式）はこれらの対の値に対して決定される。

20

【0212】

この方法で得られる近似関数は、目標色温度に依存して寒色光スポットライトに適用される、色温度補正 CCT_{cold} を表す。一般に、NTC 温度は、作動中は、 T_{NTC_warm} と T_{NTC_cold} の間にあり。目標色温度に依存して決定される色温度補正 CCT_{cold} (CCT_{target}) は、実際の T_{NTC} 値にしたがって線形補間される。

30

$$\begin{aligned} CCT(CCT_{target}, T_{NTC}) &= \\ CCT_{cold}(CCT_{target}) / (T_{NTC_warm} - T_{NTC_cold}) & \\ \times (T_{NTC} - T_{NTC_cold}) \end{aligned}$$

【0213】

ソフトウェアは次に、所望の目標色温度の代わりに、値 $CCT(CCT_{target}, T_{NTC})$ で補正された色温度をスポットライトに提供する。

【0214】

色温度補正のこの方法は、様々な NTC 温度において放射光の強い関連性のある色温度を補正することにつながる。しかし、この方法は、補正されるべき色ずれが、主波長の温度状態が変化するために、プランク軌跡に沿って正確に移動することがほとんどないため、付加的に発生するプランク軌跡からの色ずれを補償する機能を有していない。

40

【0215】

代替方法として、最適な光束部分はまた、寒色作動状態についても決定でき、補正関数は暖作動状態におけるスポットライトのスペクトルまたは測定データにより決定できる。

【0216】

b) 色度座標 x および $y = f(X_{target}, T_{NTC})$ または x および $y = f(CCT_{target}, T_{NTC})$ の補正のための修正アルゴリズムと、NTC 温度に対する校正データとを入力する。また、この補正方法は簡単に実行できるが、さらに、色度座標の補正に対して、例えば最大明度に対しても有効に作用する。しかし、この方法

50

は最適な光束部分を提供せず、CRI劣化の危険性を有する。加えて、この方法は色温度の調整に対してだけは適用できるが、任意の色度座標（例えば、有効色）に対して適用できない。

【0217】

この補償方法は、色度座標 x および y に対して2つの補正関数を要求する。色度座標の補正のための補正関数は、色温度に対する補償アルゴリズムと同様に、実験的または数学的に決定できる。

【0218】

目標色度座標に依存的に決定される、色度座標 x , y_{cold} ($CCCT_{target}$)の補正は、実際の T_{NTC} 値にしたがって線形補間される。10

$$\begin{aligned}x, y(CCT_{target}, T_{NTC}) = \\x, y_{cold}(CCCT_{target}) / (T_{NTC_warm} - T_{NTC_cold}) \\ \times (T_{NTC} - T_{NTC_cold})\end{aligned}$$

【0219】

ソフトウェアは次に、所望の目標色温度の色度座標の代わりに、値 $x(CCT_{target}, T_{NTC})$ および $x(CCT_{target}, T_{NTC})$ に対して補正される色度座標をスポットライトに提供する。

【0220】

また、ここでは、寒色作動状態についての最適束部分が代替として決定され、補正関数は、暖色作動状態におけるスポットライトのスペクトルまたは測定データにより決定できる。20

【0221】

色度座標の補正の前述の方法は、様々なNTC温度における放射光のプランク軌跡に沿った色度座標を補正することにつながる。所望の色温度は、これに伴い、プランク軌跡に沿って正確に調整できる。

【0222】

色度座標の補償の場合は、いくつかの色は、記憶された最適光束比率に混合されなければならず、3つのチャネルの場合は、理論的にほぼ無限の組み合わせが存在するので、色の混合は、フィルムにおける最適色再現および混合光特性に関しては不利に作用する可能性がある。この不確実性はc)において以下に説明する補償方法を用いて解決される。30

【0223】

c) 最適混合 = $f(CCCT, T_{NTC})$ および色度座標 = $f(T_{NTC})$ を補間し、2つのNTC温度についての校正データ（最適混合および色度座標）を決定する。

【0224】

これらの補償方法は、最良の演色指数(CRI)をもたらし、色再現および明度に対して最適化された混合物(混光)についての最も高精度な(x, y)方法を実現し、混合物についての最も高精度な(x, y)方法を実現し、任意の色度座標に対して適用可能である。しかし、これは、ソフトウェア開発(校正、スポットライト、比色分析)についてはより大きい労力を必要とする。40

【0225】

スポットライト校正の間ににおける時間労力は、わずかに増加する。この補償方法を適用しない場合、スポットライトは暖色状態および通常の作動状態において校正されるだけであり、校正のための時間労力は基本的に、スポットライトを測定装置内に装着すること、供給装置および制御装置にスポットライトを接続すること、ならびに校正温度 T_{NTC_warm} になるまで校正ソフトウェアおよび加熱期間を開始することから成る。スペクトルの実際の検出は数秒間でなされる。補償方法c)の間において、「寒色スペクトル」は、加熱段階の開始に先立ってともに検出されるだけであり、したがってソフトウェアにより処理され、これは数秒内に実行でき、ユーザの追加作業を要求しない。

【0226】

10

20

30

40

50

この方法は以下のモードに対して適用できる。

a . 最良の可能な色再現および混合光特性、すなわち最適化演色において、所望の色温度を調整する。

校正の間において、原色のスペクトルは、寒色 (T_{NTC_cold}) ならびに暖色 (T_{NTC_warm}) 状態で検出され、使用される LED 色調の最適な光束部分はいくつかの CCT 補間点について計算され、スポットライトまたは制御装置に記憶される。

Y_{real_warm} (CCT) は、 T_{NTC_warm} における CCT に依存する最適光束部分

Y_{real_cold} (CCT) は、 T_{NTC_cold} における CCT に依存する最適光束部分

【0227】

これらの最適光束部分は、寒色状態および暖色状態の両方において、所望の色温度の色度座標に正確に一致する、演色の最適化混合光をもたらす。

T_{NTC_warm} または T_{NTC_cold} に等しくない NTC 温度については、最適混合は補間ににより得ることができる。

$$Y_{real}(CCT, T_{NTC}) = Y_{real_cold}(CCT) + (T_{NTC} - T_{NTC_cold}) \times (Y_{real_warm}(CCT) - Y_{real_cold}(CCT)) / (T_{NTC_warm} - T_{NTC_cold})$$

【0228】

2つの CCT 補間点間にある色温度が調整される場合、両方の CCT 補間点の混合が、前述したように、実際の NTC 温度に対して計算され、次に、2つの CCT 補間点を補間にして、所望の目標色温度が得られるようにされる。

【0229】

b . 可能な最高の発光効率または明度、すなわち最適化明度において、任意の色度座標または有効色を設定する。

任意の色温度を有する「白色」色度座標および表示可能な LED 全範囲内にある任意の有効色の両方であってもよい、任意の明度最適化色度座標については、使用される原色の三刺激値 X, Y, Z のみが、加法混色の法則に従って要求される。三刺激値 X, Y, Z は、比色分析の一般に知られた公式を用いて、色度座標 x, y および明度に比例する値 Y から計算できるため、NTC 温度に依存する値 x, y および Y を知ることで十分である。

【0230】

明度 - 温度特性線を適用する間、三刺激値 Y は一定に留まると見なすことができる。したがって、NTC 温度に依存する値 x, y を記憶するだけで十分である。

【0231】

この目的で、LED 原色の標準的な色値の部分は、校正の間において「寒色スペクトル」および「暖色スペクトル」から計算され、このスポットライトまたは制御装置のメモリ内に明度値 Y とともに記憶される。

【0232】

最大明度を用いて任意の色を調整するために混合の計算に必要とされる原色の色度値は、実際の NTC 温度に依存する線形補間ににより計算できる。

$$\begin{aligned} x(T_{NTC}) &= x_{cold} + (T_{NTC} - T_{NTC_cold}) \times (X_{warm} - X_{cold}) \\ y(T_{NTC}) &= y_{cold} + (T_{NTC} - T_{NTC_cold}) \times (y_{warm} - y_{cold}) \\ Y(T_{NTC}) &= Y_{warm} \quad \text{適用される温度 - 明度特性線に従う} \end{aligned}$$

【0233】

図 35 は、方法 c) に従うスペクトルのシフト補正を実行された状態での、設定 CCT = 3200 K についての NTC 温度に依存する 5 チャンネル LED モジュールの測定された色温度のグラフを示す。図 36 は、温度補償の動作のみを備えた、スペクトルのシフト

10

20

30

40

50

を補正しない挙動と比較して、方法c)に従ってスペクトルのシフトの補正が実行された状態での、設定 $T_{NTC} = 5600K$ についてのNTC温度に依存するLEDモジュールの測定された色温度のグラフを示している。

【0234】

前述のように、各LED原色について、特性線 $Y_{re1} = f(T_{NTC}, PWM_i)$ が実行される。

$$Y(T_{NTC}) = A + B \times (T_{NTC} - T_n + dT) + C \times (T_{NTC} - T_n + dT)^2 + D \times (T_{NTC} - T_n + dT)^3 \quad (\text{式9})$$

ここで、 $dT = E * PWM$ (式10)

ただし、

$Y(T_{NTC})$

NTC温度に依存する輝度

A, B, C, D

特性線の多項式の係数

T_{NTC}

実際のNTC温度

T_n

使用温度

曲線が $Y(T_{NTC}) = 1 @ T_{NTC} = T_n$ に正規化されている場合、多項式の係数 $A = 1$

dT 実際のLED電力に依存する補正值

E 「電力パラメータ」である。

PWM LEDのPWM制御信号

【0235】

マイクロコントローラは、実際のNTC温度に依存するスポットライト作動中に、各色調について、温度補正係数 $k_T = 1 / Y(T_{NTC})$ を計算する。所望の色調の各調整のために計算されたPWM信号には、各色調について計算された補正係数 k_T が乗算される。これにより、色の明度は動作温度全体にわたり一定に維持される。

【0236】

これにより、以下の結果が得られる。

特性線の電力依存の温度依存補正を備えた、色調ごとの明度の温度依存性（内部PWMに関連する「電力パラメータE」）。

曲線は、三次多項式、温度特性線の係数A, B, C, Dならびに電力パラメータEにより描かれる。

【0237】

同一色調のLED色調のLED電力は、NTC温度で測定された値とLEDの接合部との間の温度差が順電圧に依存するため、順電圧のばらつきによって同一電流における同一調光係数（PWM）においても変動するので、補正が実行される。この補正では、電力依存の温度補正が、個々のLED順電圧UFに依存する各LEDモジュールについて個々に計算される。

【0238】

NTC温度と接合部温度との温度差が供給される電力に正比例することが、熱抵抗 $R_{th} = dT / dP$ について的一般に知られた公式から得られる。この結果、LED電力は順電圧に正比例し、 $P = UF \times I$ になる。

【0239】

これから、NTC温度と接合部温度との温度差dTは、LEDの順電圧に正比例し、 $dT \sim UF$ が得られる。

【0240】

典型的なLEDモジュールについて実験的に決定された電力パラメータEは、このように、LEDの順電圧UFに正比例する。個々のLEDの順電圧が特性線が決定されたLEDから外れる場合は、式9は以下のように拡張することができる。

$$dT = E \times UF / U_{measured} \times PWM \quad (\text{式9a})$$

ここで、UFは、個々のLEDモジュールのLED色調の順電圧であり、

$U_{measured}$ は、典型的な明度 - 温度特性線が記録されたLEDモジュールのLE

10

20

30

40

50

D 色調の順電圧である。

【0241】

- 個々の順電圧 U_F はさらに、温度にわずかに依存する。個々の順電圧 U_F は、
- ・ほぼ一定と見なすことができ、例えば校正中に、一度決定し、記憶できるか、
- ・スポットライトの作動中に、マイクロコントローラによってより高精度な方法で測定されるか、
- ・校正中に決定された値が実際の NTC 温度に依存して補正され、LED 製造者のデータシートでは、それに基づいたデータ dU_F / dT を見ることができる。

【0242】

調光係数 (PWM) および順電圧に依存する温度特性線を決定するために、図 37 によるフローチャートで概略的に示した以下の方法ステップが提供される。この場合、評価されるグラフは全て、使用温度 $T_{NTC} = T_n$ において $Y = 1$ に正規化されなければならない。

1. 測定を実行する (スペクトロメータを用いて)。

$$\begin{aligned} Y_{PWM100} &= f(T_{NTC}) & PWM = 100\% \text{における明度} = f(\text{温度}) \\ Y_{PWM20} &= f(T_{NTC}) & PWM = 20\% \text{における明度} = f(\text{温度}) \\ U_{measured} & & 25 \text{ における順電圧} \end{aligned}$$

2. 測定された特性線を $T_{NTC} = T_n$ (例えば、75) において $Y = 1$ に正規化する。

3. 以下の式の 3 次多項式に対する 4 つの補間点から、測定曲線 $PWM = 100$ についての一時的な多項式係数 B_{temp} 、 C_{temp} 、 D_{temp} を数学的に決定する。

$$Y_{PWM100} = A + B \times (T_{NTC} - T_n) + C \times (T_{NTC} - T_n)^2 + D \times (T_{NTC} - T_n)^3$$

この結果、係数 A は、先の $T_{NTC} = T_n$ において $Y = 1$ に正規化されているため、1 となる。

4. 近似曲線 $PWM = 20$ について dT_{PWM20} を実験的に決定する。

$$Y_{(T-NTC)} = 1 + B_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT) + C_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT)^2 + D_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT)^3$$

(この結果、パラメータ dT は、この式が測定曲線 $PWM = 20$ の最適近似となるまで変更される。)

5. T_{PWM20} を dT_{PWM0} に外挿する: $dT_{PWM0} = 5 / 4 \times dT_{PWM20}$

6. 先に $PWM = 0$ まで外挿した曲線について、以下の曲線からの 4 つの補間点から、多項式係数 B_1 、 C_1 、 D_1 を決定する。

$$Y_{(T-NTC)} = 1 + B_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM0}) + C_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM0})^2 + D_{temp} \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM0})^3$$

この結果、 $PWM = 0$ について新しい式が成り立つ。

$$Y_{(T-NTC)} = 1 + B_1 \times (T_{NTC} - T_n) + C_1 \times (T_{NTC} - T_n)^2 + D_1 \times (T_{NTC} - T_n)^3$$

7. 測定曲線 $PWM = 100$ について dT_{PWM100} を実験的に決定する (多項式係数 B_1 、 C_1 、 D_1 を用いて)。

$$Y_{(T-NTC)} = 1 + B_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM100}) + C_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM100})^2 + D_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT_{PWM100})^3$$

(パラメータ dT は、この式が測定曲線 $PWM = 100$ の最適近似となるまで変更される。)

8. 一時的な電力パラメータ E_{temp} を決定する。

方法: $dT_{PWM100} = E_{temp} \times PWM$
 $E_{temp} = dT_{PWM100} / PWM$

10

20

30

40

50

【0243】

9. 全体電力パラメータ E_1 を決定する。

$$\begin{aligned} \text{方法: } dT(U_F) &= E_{\text{temp}} \times U_F / U_{\text{measured}} \times \text{PWM} \\ &= E_{\text{temp}} / U_{\text{measured}} \times U_F \times \text{PWM} \\ &= E_1 \times U_F \times \text{PWM} \end{aligned}$$

これから $E_1 = E_{\text{temp}} / U_{\text{measured}}$ が得られる。

個々の順電圧を考慮しない場合は、 $E_1 = E_{\text{temp}}$ となる。

10. PWMおよび順電圧に依存する全体温度特性線がここで読まれる。

$$Y(T_{NTC}) = 1 + B_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT) + C_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT)^2 + D_1 \times (T_{NTC} - T_n + dT)^3 \quad 10$$

ここで、 $dT = E_1 \times \text{PWM} \times U_F$ である。

【0244】

黄色～オレンジ色～赤色の色調について明度～温度特性線に注目すると、黄色の曲線（約590nm）が最も急勾配を示し、オレンジ色から赤色の曲線（約620nm）は次第に平坦になる。黄色（主波長592nm）と赤色（主波長620nm）を備えるLEDモジュールで測定したY(20)/Y(74)間の明度修正は、赤色LEDでは1.80、または黄色LEDでは3.19の係数を有する。両者間の主波長の差は、わずかに28nmである。このことから、数ナノメートルの主波長の典型的な差が、実際の明度温度特性線に大きな影響を与えることが明らかである。20

【0245】

この事実によって、特にAlInGaPチップ（琥珀色、赤色）についての主波長に依存して記憶された温度係数の補正または適合が、本発明に従って実行される。この場合、特性線は、各LEDモジュールについて個々の主波長にそれぞれ適合される。

【0246】

この影響に対する明度～温度特性線の補正は、以下の原理に基づいて達成できる。

- ・色調ごとに複数の明度～温度特性線が、様々な主波長のLEDモジュールについて試験室で記録される。
- ・これから、主波長に依存する各色調について、多項式パラメータA～Eが決定される。
- ・LEDモジュールの校正において、LED色調のスペクトル、および対応するNTC温度が、各LEDモジュールについて検出される。この検出は、モジュール校正およびモジュール選択において実行でき、一般には、追加作業を必要としない。色調それぞれについての主波長がこのスペクトルから計算される。事前に単色モジュールにおいて決定された多項式パラメータA～Eが、モジュール（このモジュールから特性線が決定される）の主波長から校正されるモジュールの個々の主波長のずれに基づいて、補正される。30

【0247】

多項式パラメータを特定の主波長を有するLEDへ変換することは、様々な主波長を有する2つのLEDの2つの既知曲線の多項式パラメータを新しい主波長に線形補間することによって、達成できる。最初の曲線の主波長と、この主波長に変換されるべき主波長とが近いほど、最も正確な結果が得られる。それによって、AlInGaPやInGaNなどの様々なLED技術の所定の曲線の間を補間する必要がなくなる。40

【0248】

例えば、主波長がl_dom_ye11ow1の黄色LEDについて、多項式パラメータA～Dと共に3次多項式の曲線を必要とする場合、主波長が異なるl_dom_ye11ow2の同様のLEDについては、多項式パラメータA～Dのほかに、さらに曲線を必要とする（やや高い不確実性を伴うが、オレンジ色または赤色も同様）。次に、主波長がl_dom_ye11ow3の黄色LEDについての多項式パラメータA～Dが、波長の差に依存してl_dom_ye11ow1またはl_dom_ye11ow2の曲線について、多項式パラメータを線形補間することによって得られる。

【0249】

一般的な手順が、黄色LEDおよび赤色LEDについての最初の曲線、ならびに、2つの理論上の黄色LEDについて最初の曲線から導き出される曲線によって、図38に示されている。2つの理論上の黄色LEDの主波長は、最初の黄色曲線から+/-3nmずれている。

【0250】

この方法の利点は、スポットライトの作動中、各LEDモジュールの明度を、そのモジュールの個々の有効な温度明度特性線に従って一定に保つことができることであり、このとき、温度-明度特性線を、温度に対する明度を長時間測定して個々に決定する必要がないことである。その代わりに、個々の温度-明度特性線を決定するには、「典型的な」LEDモジュールについてのこの曲線を知り、寒色状態において個々のLEDモジュールのスペクトルをさらに検出するだけで十分であり、これは極端に少ない時間労力で可能であり、いずれにしても、一般には校正の間に実行できるであろう。10

【0251】

もちろん、この方法は、全てのLED色調に適用可能である。しかし、最も大きな効果は、AlInGaPの色調が黄色～オレンジ色～赤色において生じるであろう。

【0252】

[発光効率の安定化]

色再現性が最適化された混合物が温度依存性を有するので、混合物の発光効率およびそれにともなう明度が変化し、さらに、色再現性の最適化混合物の個々に記憶された最適光束部分が、それぞれのスポットライトにおいて様々な発光効率およびそれにともなう様々な明度を有する混合物を生成させることができるので、明度安定化を拡張し、発光効率によって色再現性の最適化白色モードに複数のスポットライトを適合させるために、色安定化と明度安定化のための2つの方法、すなわち、20

- ・基板温度に依存する発光効率の正規化
 - ・それぞれのスポットライトの間での発光効率の設定の一致
- が適用される。

【0253】

第1に、一方では、パルス幅変調に依存する明度-温度特性線が色安定化および明度安定化に適用され、暖色作動状態について計算された様々なNTC温度に対する色混合物(色混光)の光束部分が一定に保たれている。30

【0254】

他方では、暖色作動状態に達したときに、各色混合物に対する最大LED電力を一定に保つために、「電力正規化」が導入される。これにともない、スイッチオフ状態の温度に早期に到達することや、またはスイッチオフ状態の温度を超えることが避けられる。個々の「内部」電力調光係数が計算され、電力正規化(例えば、各モジュールにつき5WのLED電力)を用いて調整された色混合物に適用される。これに伴って、各色混合物は、通常の周囲条件において、遮断温度に到達またはそれを超えずに、最適明度または最適な内部調光係数に調整できる。それによって、電力正規化は、暖色作動状態に対して選択的に達成される。この理由は、ここでは、スポットライトの明度を温度に対して一定に保つためには、LEDの負の明度-温度特性ゆえに、より大きなLED電流またはより大きなLED電力が加えられなければならないからである。スイッチオフ状態の温度を下回る温度では、スポットライトは、より小さい電力で自動的に作動する。 P_{max} よりも大きな電力を常に調整する必要なく明度を一定に保つために、この最大電力は、スイッチオフ状態の温度においてだけ達成されなければならない。40

【0255】

選択された各色度座標は、それぞれの場合において、可能な最大明度が作動温度によらずに一定である状態に、前述の両方の方法によって設定できる。選択された色度座標それにつき測定された明度変化は、寒色と暖色の間で1%未満変化した。

【0256】

調整された色度座標が、使用されたLED原色のスペクトルシフトに起因して作動温度50

に伴って変化したことは不都合である。色度座標の変化度合いは、色度座標および各色調混合物に依存し、寒色と暖色の間で 300 K の大きさとなり、温度依存性のスペクトルシフトの効果が、特に、黄色から赤色の色調範囲における A1InGaP の LED に顕著であるため、温度が上昇するに伴って色温度は低下した。主波長に依存する変化は、黄色、オレンジ色および赤色の A1InGaP の LED については約 0.1 nm / K となる。暖色状態から寒色状態に関する校正データと、温度依存性の線形補間とを実質的に複製することによる、温度依存性のスペクトルシフトの前述の補償によって、対策が実行された。このアルゴリズムは、作動温度に対する色度座標の安定度を大きく改善できる可能性がある。

【0257】

10

しかし、電力の正規化と明度 - 温度特性線の適用にもかかわらず、スペクトルシフトを補償することによって、調整された色調の一部に、寒色作動状態と暖色作動状態との間で最大で 10 % をはるかに超える、大きな光束変化が発生した。明度変化の程度および方向は、選択された色度座標または色混合物に依存し、したがって、さらなる複雑な対応策なしに決定または補償することができない可能性がある。

【0258】

一定の色度座標におけるこれらの明度変化の理由は、光束部分が温度依存性を有すること、または、単色 LED 原色の重要度合いの変化に起因して、それぞれの混合物の発光効率が、作動温度に伴って変化するからである。この効果は、LED の明度 - 温度挙動とは完全に無関係である。これまでに用いた一定の LED の全電力に対して、温度に伴い変化するこれらの混合物の正規化によって、LED 混合物の発光効率の変化に起因して、必然的に明度は変化した。

20

【0259】

この問題は、以下のように、発光効率により明度の安定化を強化することによって解決される。

メモリ内に記憶された CCT 補間点の全ての最適光束部分に関しては、暖色作動状態についての対応する発光効率 $N_{TC_warm}(CCT, T_{NTC_warm})$ がさらに計算され、メモリに記憶される。作動中、実際の発光効率 $N_{TC}(CCT, T_{NTC})$ が、作動温度のずれを追跡された混合物から計算される。発光効率補正係数 $k = N_{TC_warm} / N_{TC}$ が、それらの 2 つの値の比から計算され、LED 混合物のうちの設定された PWM 部分にこの係数が乗算される。この方法によって、色度座標と明度の両方が、作動温度より一定に維持される。

30

【0260】

[発光効率のセット一致]

モジュール内部の温度補償と校正データ Y、x、y（各色調それぞれについての）がスポットライト内に記憶されていることから、各スポットライトは、調整された色調（CCT または x、y）が正しいことだけを確認する。複数のスポットライトからなるセットでは、全てのスポットライトが同じ色調を有するが、明度は異なることもある。

【0261】

40

LED チップの選択が最適である場合であっても、使用される LED 原色の色度座標と発光効率の両方が、スポットライトごとに異なることがある。この理由は、寒色および暖色作動状態に最適な光束部分は、色再現性が最適化された色温度を調整するために、それぞれの CCT 補間点について各スポットライトに対して決定および記憶されるからである。これらの最適光束部分および対応する発光効率は、LED のばらつきゆえに、スポットライトごとに異なる可能性がある。したがって、所望の色度座標を安全に調整するために、それぞれのスポットライトは、個々の LED 混合物を必要とする。

【0262】

ここで、複数のスポットライトからなるセットがともに、特定の色温度に調整され、各スポットライトの色混合物が、同じ最大総電力 $P_{max, warm}$ に関係している場合は、単色スポットライトの発光効率が、同じ色温度において、互いに 30 % を超えてずれる

50

であろう。同様に、スポットライトの明度は、それに応じて変化するであろう（同じ色温度調整およびLED電力において）。スポットライトのセットを同じ明度で同じ色調に調整することは不可能である。

【0263】

制御装置に接続された全てのスポットライトが同じ明度を有することを保証するには、例えば制御装置による、明度一致機能が必要であり、それによって、それぞれより明るいスポットライトが、各色調についてセット内で最も低い明度に調整（すなわち、低減）される。

【0264】

この問題は、以下の「発光効率セット一致」によって解決される。

10

暖色状態における発光効率がさらに計算され、色再現性が最適化された白色モードに対する全てのCCT補間点の色調混合物について記憶される。ともにセットに接続された全てのスポットライトについて、CCT補間点のそれぞれについての最も小さい発光効率が、セットに属する全てのスポットライトについて決定され、全てのスポットライトのCCT補間点のセット発光効率として記憶される。このことから、セット発光効率補正係数が、作動中に、CCTと実際のNTC温度に依存して決定され、

$$k_{\text{Set}}(\text{CCT}, T_{\text{NTC}}) =$$

$$\text{Set}(\text{CCT}, T_{\text{NTC_warm}}) / (\text{CCT}, T_{\text{NTC}})$$

そして、決定されたPWM部分がそれに乗算される。すなわち、全てのスポットライトが、CCT補間点のそれぞれについて、セット内で最も低い発光効率の明度に調整される。

20

【0265】

これに伴って、セットの全てのスポットライトが、温度に対して変化しない同じ明度で、色再現性が最適化された白色モードで照射する。同様に、前述したスペクトルシフトの補償がなされたことにより、色度座標は作動温度全体にわたり一定に維持される。

【0266】

この方法は2つの選択肢を確立している。

a) 任意のCCTを可能な最大明度で生成すること。調整されたCCTの明度は、セットの全てのスポットライト内で、および、温度に対して一定である。しかし、明度は、CCTの変化に起因して、対応するセット発光効率に従って変化する可能性がある。

b) 全ての選択可能なCCTの明度が、セットの全てのスポットライト内で、および温度に対して一定であるように、任意のCCTを一定の明度で生成すること。CCTが変化しても、明度は一定のままである。

30

【0267】

したがって、セット発光効率 $\text{Set}(\text{CCT}, T_{\text{NTC_warm}})$ の最小値のみが、全てのCCTに対して決定され、 $\text{Set}_{\min}(T_{\text{NTC_warm}})$ と実際のセット発光効率補正係数 $k_{\text{Set}}(\text{CCT}, T_{\text{NTC}}) = \text{Set}_{\min} / (\text{CCT}, T_{\text{NTC}})$ が適用される。この方法においては、セット内の全てのスポットライトが、同一の明度で任意の色温度を生成することができる。

【0268】

この方法を実行するには以下のデータが必要である。

40

$$Y_{\text{rel_cold}} = f(\text{CCT})$$

寒色作動状態における、CCT補間点についての最適化光束部分

$$Y_{\text{rel_warm}} = f(\text{CCT})$$

暖色作動状態における、CCT補間点についての最適化光束部分

$$P_{100_i} \quad \text{LED原色ごとの電力@ PWM = 1}$$

$$Y_{100_i} \quad \text{暖色作動状態におけるLED原色ごとの輝度@ PWM = 1}$$

$$T_{\text{NTC_warm}} \quad \text{暖色作動状態におけるNTC温度}$$

$$T_{\text{NTC_cold}} \quad \text{寒色作動状態におけるNTC温度}$$

$$S_{\text{et}} = f(\text{CCT}) \quad \text{暖色作動状態におけるセット発光効率}$$

【0269】

50

以下の式は、色混合物の発光効率 を計算するのに役立つ。

$$Y_{real_i} = f(CCT, T_{NTC})$$

実際のNTC温度に対する所望のCCTについての光束部分

$$PWM_i = Y_{real_i} / Y_{100_i}$$

光束部分を調整するためのPWM信号

$$\text{全体明度} = PWM_i \times Y_{100_i}$$

補正前の実際の混合物の全体明度

$$\text{全電力} = PWM_i \times P_{100_i}$$

補正前の実際の混合物の全電力

$$= \text{全体明度} / \text{全電力}$$

実際の混合物の発光効率 (式11)

【0270】

セット一致は、例えば、校正の間に実行できる。製造シリーズの全てのスポットライトをセットと見なすこともできる。このことから、さらに、製造シリーズの全てのセットが、同じ明度を有する所望のCCTを備えるであろう。

10

【0271】

セット一致は、個々のセットの混成品である場合は、制御装置によって実行できる。したがって、対応するスポットライト校正データを読み込み、最小のセット発光効率を決定し、これらを校正データ内のセット校正データとして記憶する。

【0272】

セット一致は以下のようになされる。

- 制御装置が、接続された全てのスポットライトから読み込む。

$$Y_{real_warm} = f(CCT)$$

暖色作動状態において、CCT補間点について最適化された光束部分

$$P_{100_i}$$

LED原色ごとの電力@PWM = 1

$$Y_{100_i}$$

暖色作動状態における、LED原色ごとの輝度@PWM = 1

- 制御装置が、式1に従って、接続された全てのスポットライトと、全てのCCT補間点に対して、 $T_{NTC_warm} : warm, k = f(CCT)$ についてCCT補間点の発光効率を計算する。

20

- 制御装置が、値 $warm, k = f(CCT)$ からのCCT補間点のそれにつき、全てのスポットライトから Set = f(CCT) に対するスポットライトセットの最小の発光効率を決定する。

- 制御装置が、セット発光効率 Set = f(CCT) をスポットライトのEEPROMに書き込む（これにともなってセット一致が達成される）。

30

- スポットライトにおいて色温度が調整される場合、測色機能により、NTC温度に依存する実際の色調混合物それぞれについて実際の発光効率 (CCT, T_{NTC}) を計算し、その結果から、実際のセット発光効率補正係数を決定した。

$$k_{Set}(CCT, T_{NTC}) = Set_{min} / (CCT, T_{NTC})$$

- PWMの制御に関しては、決定されたPWM信号にセット発光効率補正係数 $k_{Set}(CCT, T_{NTC})$ が乗算される。

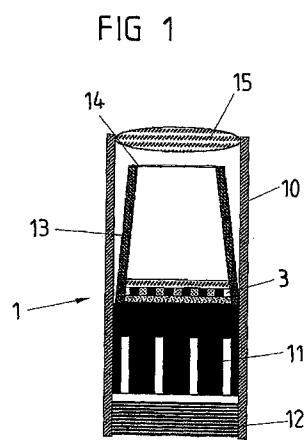
ここで、添え字は色調ではi、スポットライトではkである。

【0273】

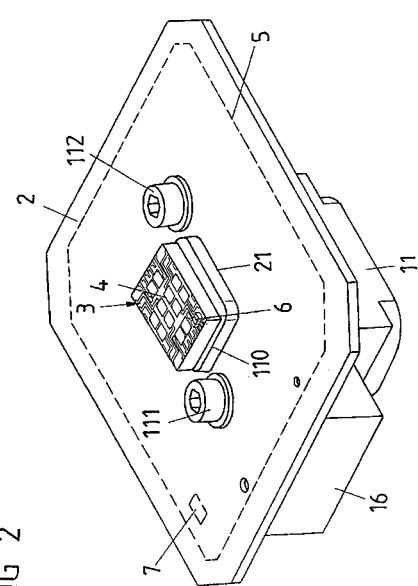
調光の間において、色度座標および色忠実度を改善するために、色調ごとの調光特性線について近似関数を決定し、色調ごとに調光係数aおよびxをスポットライトに記憶させ、特性線に従ってPWM制御信号を補正することによって、完全には線形でない調光特性線が色チャネルごとに記録される。

40

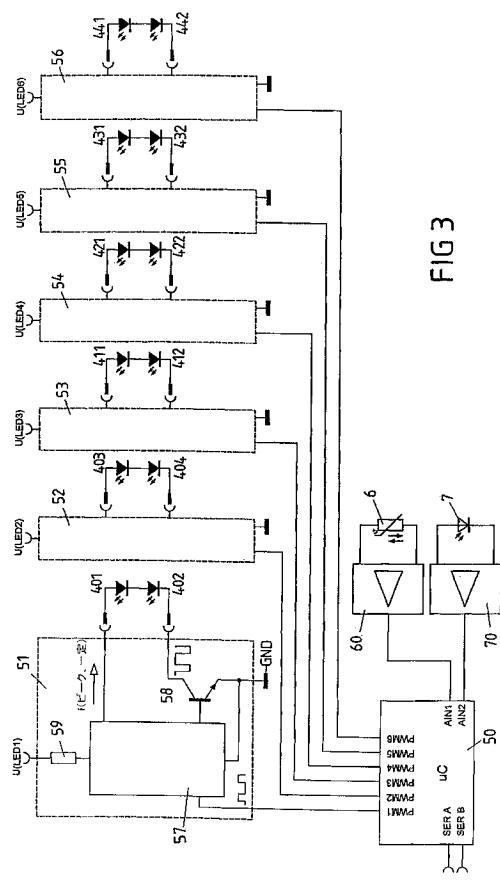
【図1】



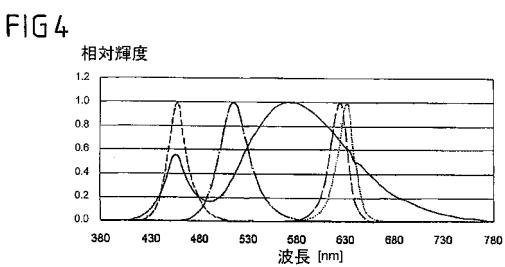
【図2】



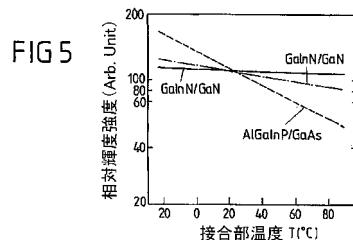
【図3】



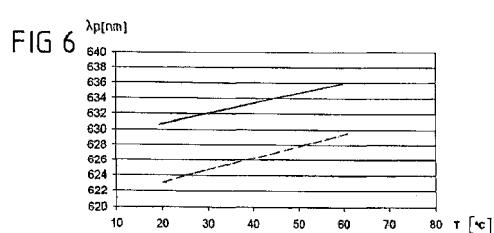
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

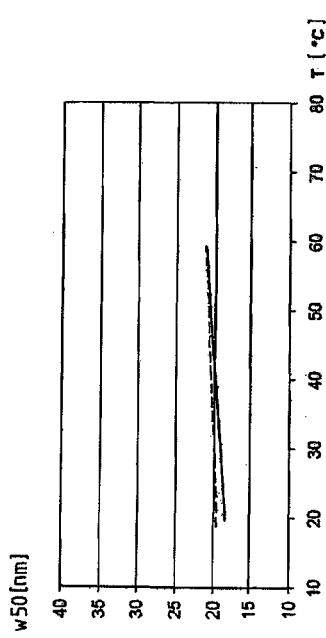


FIG 7

【図8】

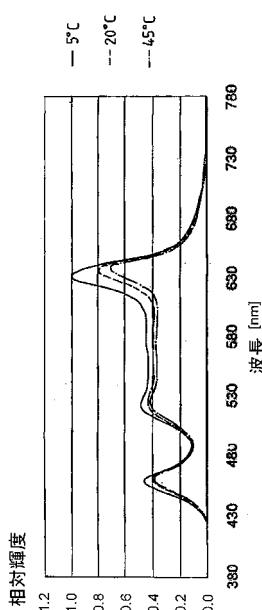


FIG 8

【図9】

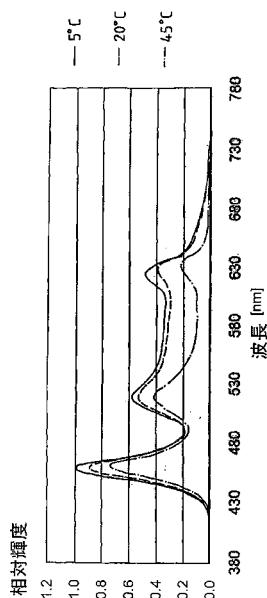


FIG 9

【図10】

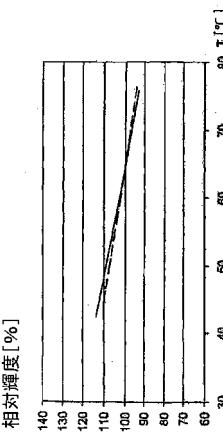
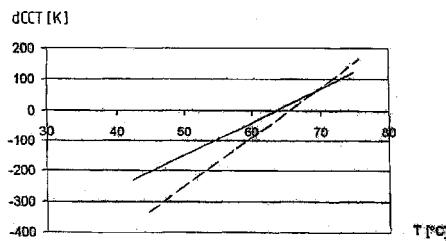


FIG 10

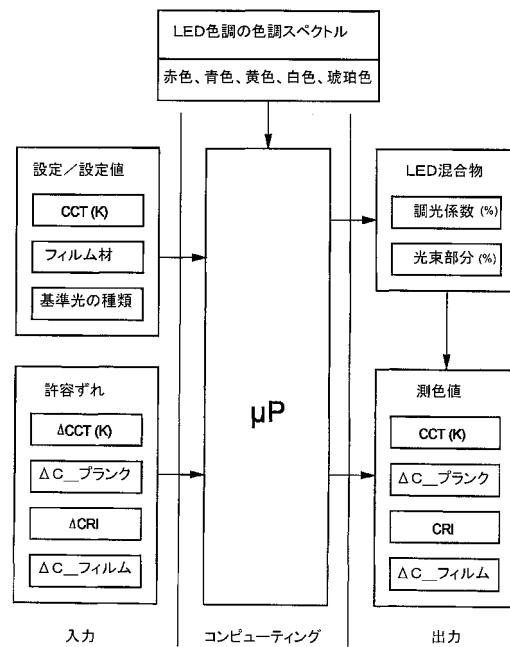
【図11】

FIG 11



【図12】

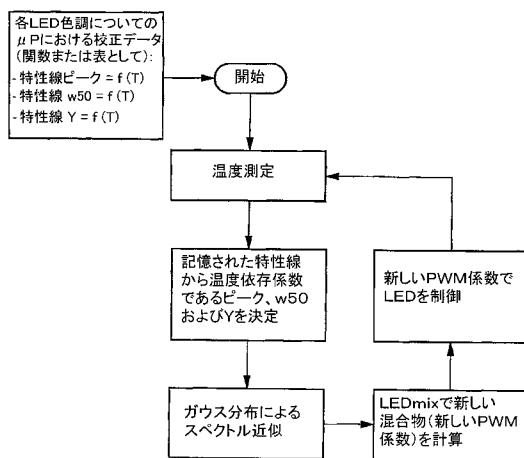
FIG 12



【図13】

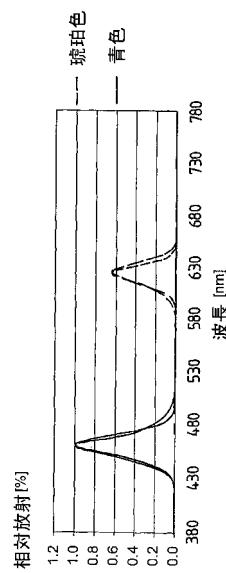
FIG 13

センサを備えないガウス分布「オンライン」



【図14】

FIG 14



【図15】

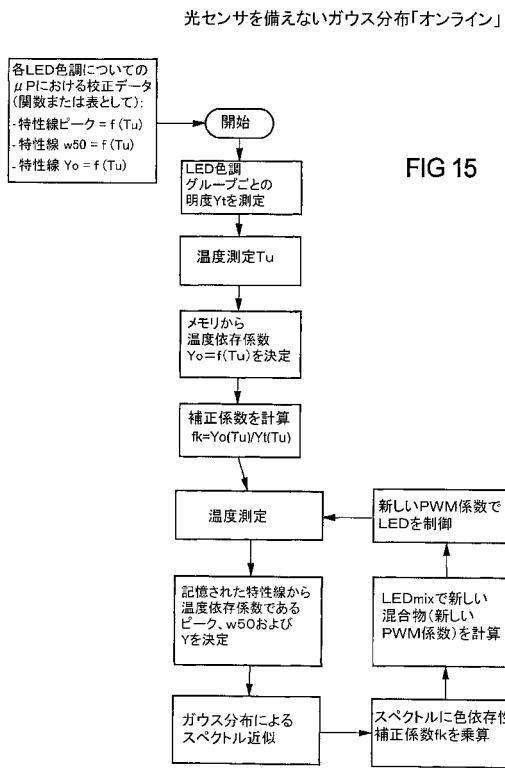
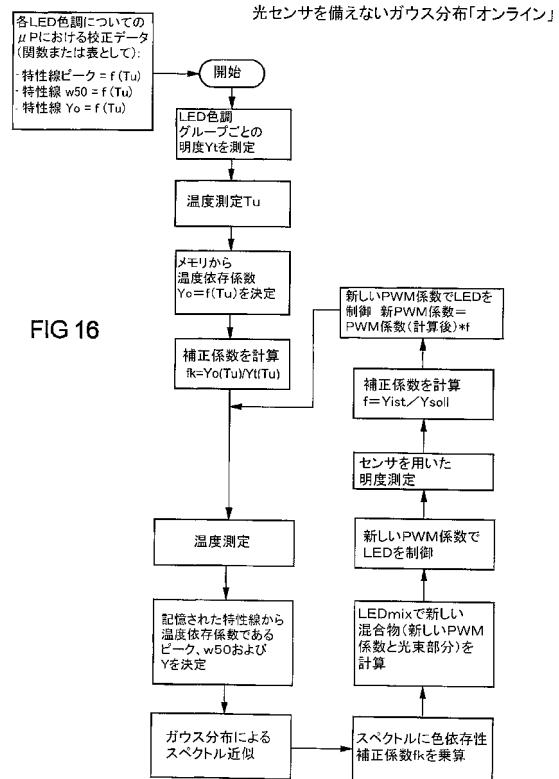


FIG 15

【図16】



【図18】

FIG 18

【図17】

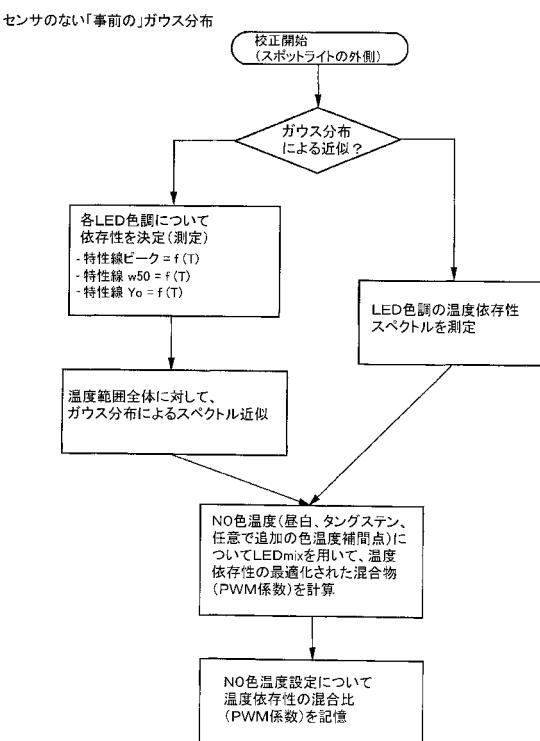
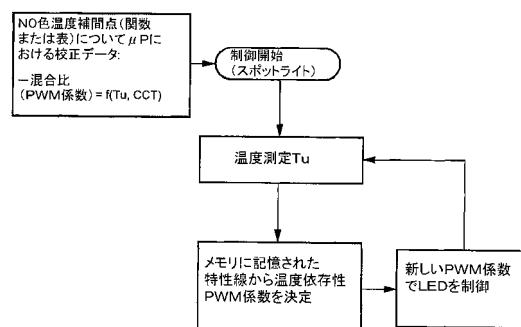


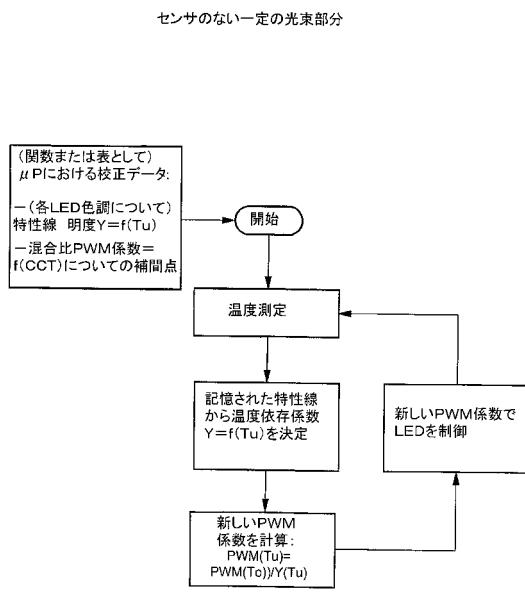
FIG 17

センサのない「事前の」ガウス分布



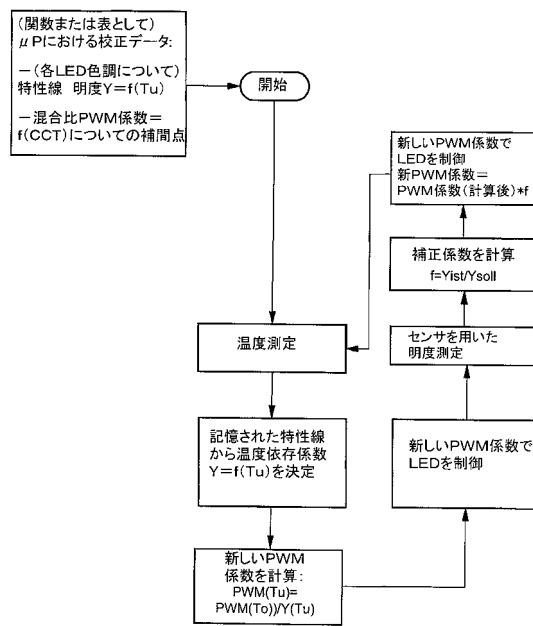
【図19】

FIG 19



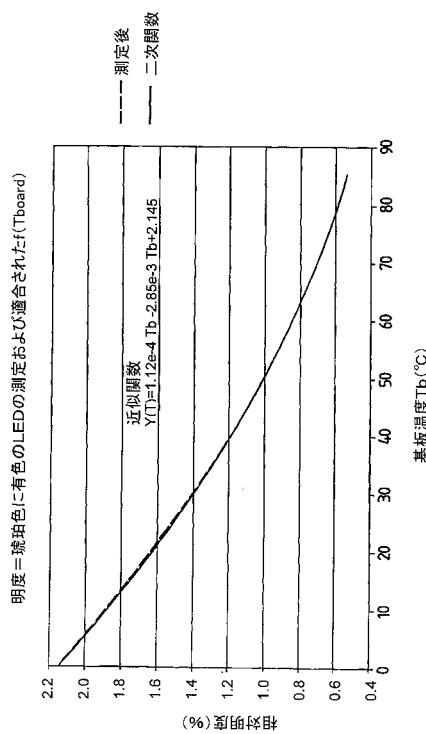
【図20】

FIG 20



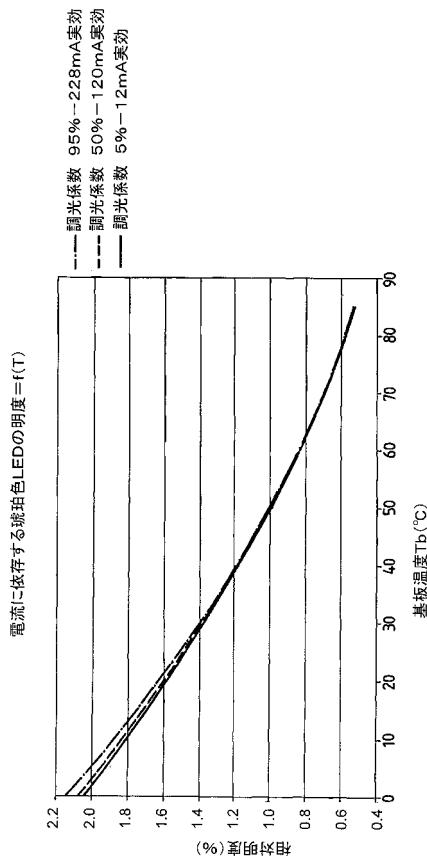
【図21】

FIG 21



【図22】

FIG 22



【図23】

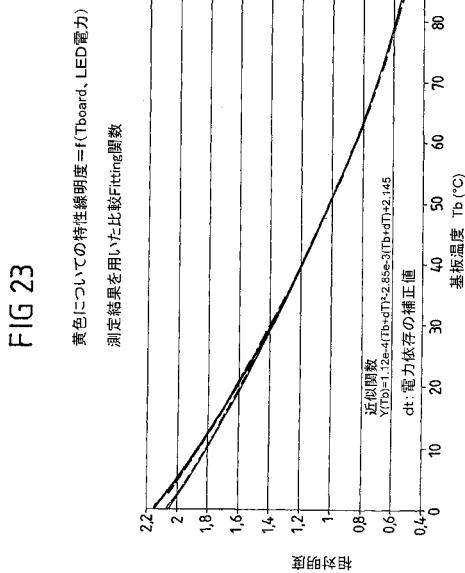
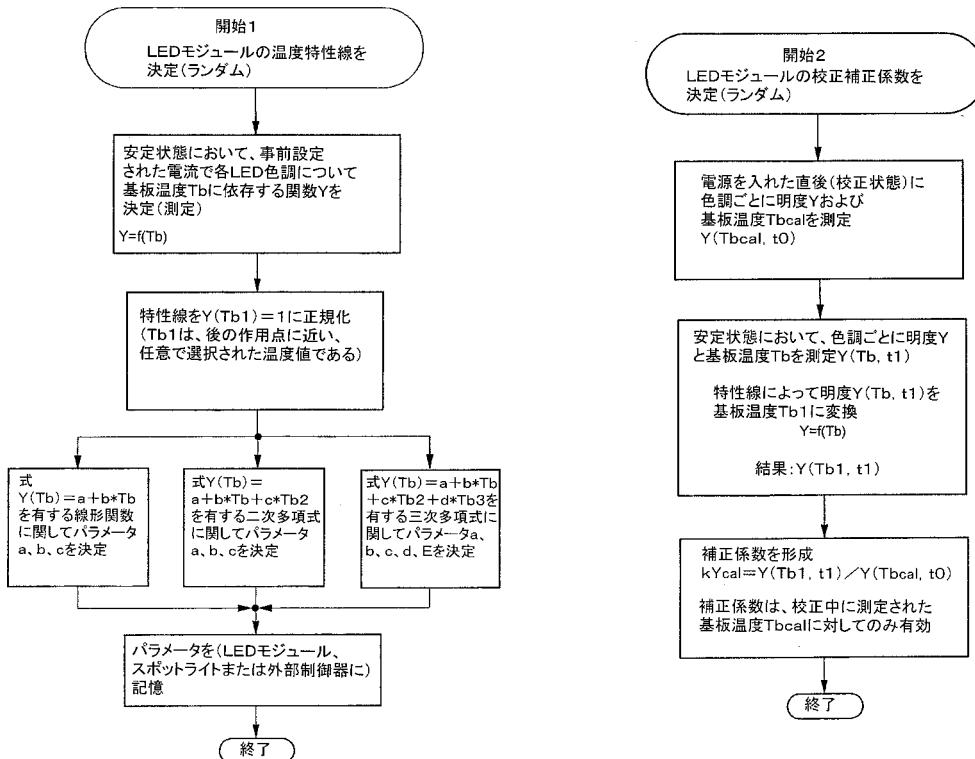


FIG 23

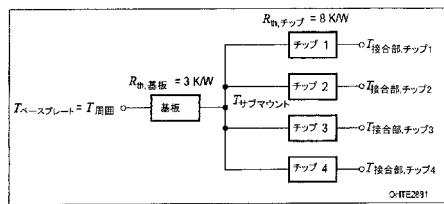
【図25】

FIG 25 温度特性線を用いた色調制御



【図24】

FIG 24

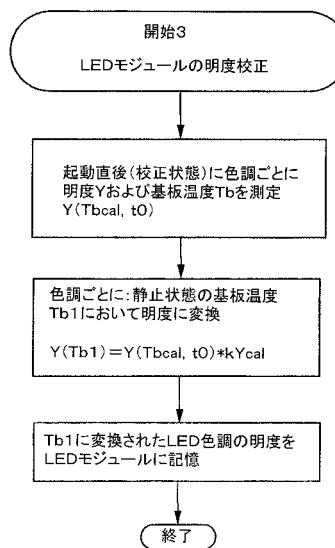


【図26】

FIG 26

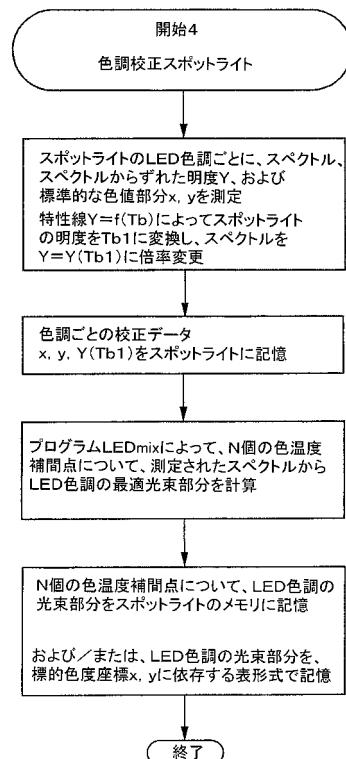
【図27】

FIG 27



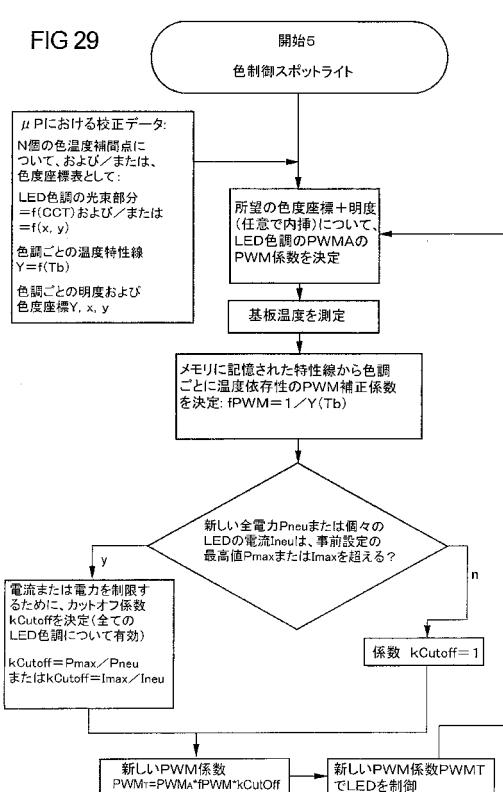
【図28】

FIG 28



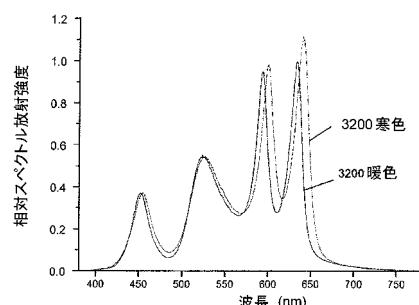
【図29】

FIG 29



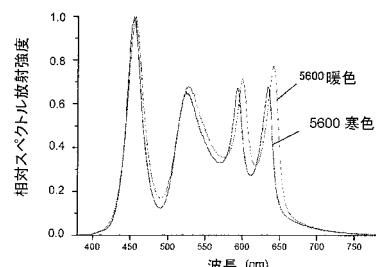
【図30】

FIG 30



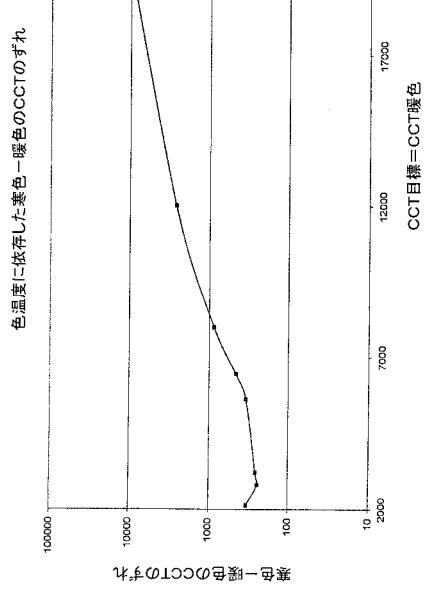
【図31】

FIG 31



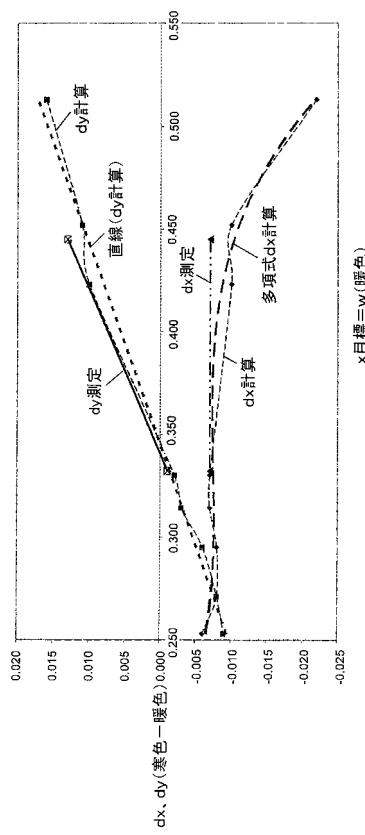
【図32】

FIG 32



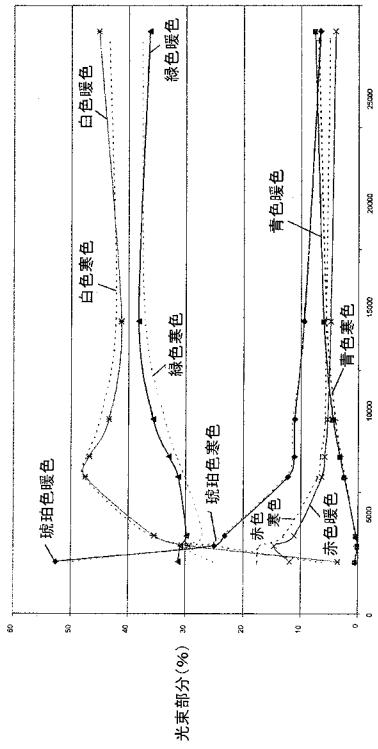
【図33】

FIG 33



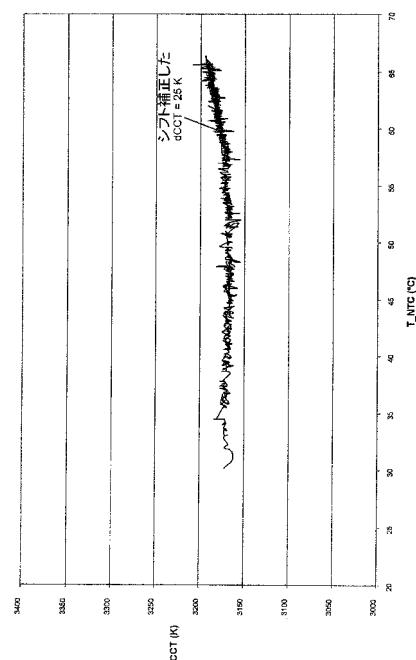
【図34】

FIG 34



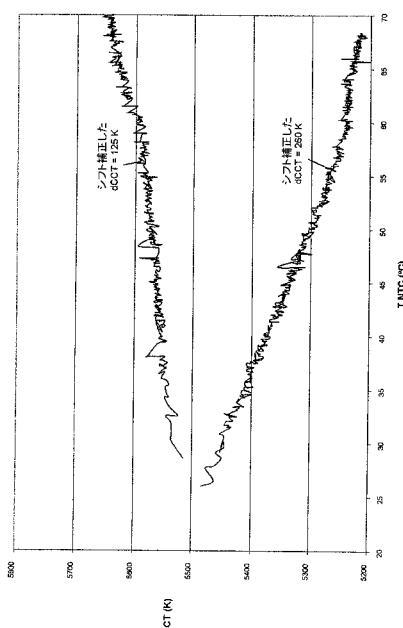
【図35】

FIG 35



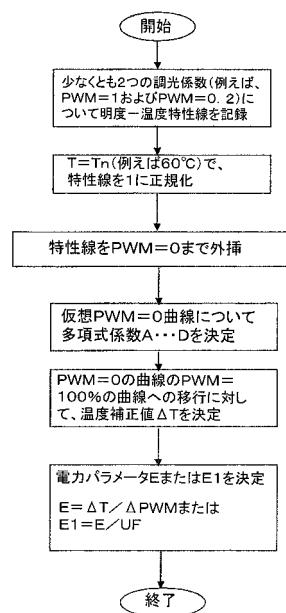
【図36】

FIG 36




【図37】

FIG 37



【図38】

FIG 38



フロントページの続き

(74)代理人 100112829
弁理士 堤 健郎
(74)代理人 100144082
弁理士 林田 久美子
(72)発明者 クレーマー・レギーネ
ドイツ国, 81825 ミュンヘン, グルンデルストラーゼ 21

審査官 桑原 恭雄

(56)参考文献 国際公開第2005/011006 (WO, A1)
特表2004-517444 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 05 B 37/02
F 21 S 2/00
F 21 Y 101/02