

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6276777号
(P6276777)

(45) 発行日 平成30年2月7日 (2018.2.7)

(24) 登録日 平成30年1月19日 (2018.1.19)

(51) Int. Cl.	F I
F 2 1 S 8/02 (2006.01)	F 2 1 S 8/02 4 1 O
F 2 1 V 3/00 (2015.01)	F 2 1 V 3/00 3 2 O
F 2 1 V 7/00 (2006.01)	F 2 1 V 7/00 3 2 O
F 2 1 V 9/08 (2018.01)	F 2 1 V 9/08 4 0 O
F 2 1 Y 115/10 (2016.01)	F 2 1 Y 115:10

請求項の数 41 (全 34 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2015-542399 (P2015-542399)	(73) 特許権者 515129397 コエルクス ソシエタ ア レスボンサビ リタ リミタータ イタリア コモ ヴィア ジ. フェラーリ 1 4
(86) (22) 出願日 平成25年11月14日 (2013.11.14)	(74) 代理人 100112737 弁理士 藤田 考晴
(65) 公表番号 特表2016-514340 (P2016-514340A)	(74) 代理人 100118913 弁理士 上田 邦生
(43) 公表日 平成28年5月19日 (2016.5.19)	(74) 代理人 100136168 弁理士 川上 美紀
(86) 国際出願番号 PCT/IB2013/060141	
(87) 国際公開番号 W02014/076656	
(87) 国際公開日 平成26年5月22日 (2014.5.22)	
審査請求日 平成28年10月24日 (2016.10.24)	
(31) 優先権主張番号 T02012A000988	
(32) 優先日 平成24年11月14日 (2012.11.14)	
(33) 優先権主張国 イタリア (IT)	
(31) 優先権主張番号 13/838,998	
(32) 優先日 平成25年3月15日 (2013.3.15)	
(33) 優先権主張国 米国 (US)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 自然光を模擬する人工照明システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

自然光をシミュレートする照明を用いて環境（6）を照明する（1）照明システムであって、

ー 可視光のビームを放出するように構成された第1の光源（2）と、
ー 前記光ビームを受け取るように構成された内面（S₁、S₃）および外面（S₂）によって境界画定された拡散光発生器（4；68）であり、前記光ビームに対して少なくとも部分的に透明であり、前記光ビームの少なくとも部分を透過させるように構成されており、さらに、前記外面を通して可視拡散光を放出するように構成されており、前記透過光の相関色温度（CCT）が前記可視拡散光のCCTよりも低い拡散光発生器と

10

を備え、
前記照明システムが、前記拡散光発生器を介して前記環境に光学的に結合されるように構成されたダーク構造体（10、12；300；310）をさらに備え、

ー 該ダーク構造体の少なくとも一部分が、可視範囲において実質的に均一な吸収係数を有し、前記ダーク構造体が、実質的に均一な背景を前記第1の光源に提供するように構成されており、かつ／または

ー 前記ダーク構造体の少なくとも一部分が、可視範囲において少なくとも70％に等しい吸収係数を有し、前記ダーク構造体が、前記第1の光源にダーク背景を提供するように構成されており、

前記ダーク構造体の前記一部分が、前記内面の面積の50％以上の面積を有する照明シ

20

ステム。

【請求項 2】

前記ダーク構造体（10、12；300；310）の前記少なくとも一部分が、可視範囲において実質的に均一な吸収係数を有し、前記ダーク構造体が、実質的に均一な背景を前記第1の光源に提供するように構成されており、前記ダーク構造体の前記少なくとも一部分が、可視範囲において少なくとも70％に等しい吸収係数を有し、前記ダーク構造体が、前記第1の光源にダーク背景を提供するように構成されている請求項1に記載の照明システム。

【請求項 3】

外光が前記拡散光発生器（4；68）を上流から照明することを防ぐように、前記ダーク構造体（10、12；300；310）が構成された請求項1または2に記載の照明システム。

【請求項 4】

前記第1の光源（2）がオンであるときに、少なくとも0.1ステラジアントップ・アングルを有する方向束（200）が与えられた場合に、前記外面（ S_2 ）の少なくとも一部分の任意の第1の点（220）において、該第1の点の第1の背景輝度と第2の背景輝度が、前記第1の背景輝度の50％以下だけ互いに異なるように、前記ダーク構造体（10、12；300；310）が構成されており、前記第1および第2の背景輝度がそれぞれ、第1および第2の観察方向（230、240）に測定され、該第1の観察方向が、前記方向束の方向のうちどの方向に対しても平行であり、局所眩目方向（250）のうちどの方向に対しても平行ではなく、前記第2の観察方向が、前記第1の観察方向から、範囲0.3°～1°の角距離だけ離して設定され、局所眩目方向のうちどの方向に対しても平行ではなく、前記局所眩目方向が、前記第1の点から前記第1の光源を見る任意の方向（260）から3°未満だけ離して設定された方向であり、前記第1および第2の背景輝度がそれぞれ、前記ダーク構造体に当たった、前記環境（6）をこれまで通過しなかった前記光線だけによって形成される請求項1から3のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 5】

前記方向束（200）が円錐形であり、軸方向に沿って向けられた軸（210）を有し、該軸方向が、前記外面（ S_2 ）の前記一部分の少なくとも1つの第2の点から前記第1の光源（2）を見る方向（260）に対して平行である請求項4に記載の照明システム。

【請求項 6】

前記第1の光源（2）がオンであるときに、前記第1の背景輝度が、前記環境（6）から到来する光線がない場合に、前記第1の点（220）の前記第1の観察方向（230）の全輝度の30％に等しいしきい輝度値よりも大きくなることを防ぐように、前記ダーク構造体（10、12；300；310）がさらに構成された請求項4または5に記載の照明システム。

【請求項 7】

前記ダーク構造体（310）の前記一部分がエッジ・フリーである請求項1から6のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 8】

前記拡散光発生器（4；68）が、前記透過光のCCTが前記光ビームのCCTよりも大きくなるような拡散光発生器である請求項1から7のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 9】

前記拡散光発生器（4；68）が、前記可視拡散光のCCTが前記光ビームのCCTよりも大きくなるような拡散光発生器である請求項1から8のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 10】

前記内面（ S_1 ）上で、照度が、最小値と最大値の間で変化するように前記第1の光源

10

20

30

40

50

(2) が構成されており、前記最大値が、前記最小値の 3 倍以下である請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 1 1】

関係

【数 1】

$$|\tan(\theta_1 - \theta_e)| \leq 0.5 \cdot \cos(\theta_1)$$

10

が当てはまるように、前記拡散光発生器 (6 ; 68) が前記第 1 の光源 (2) に対して配置されており、上式で、

— θ_1 が、前記第 1 の光源の放出面 (S_f) の重心 (O'') から生じた前記光ビームの第 1 の光線が前記内面の重心に衝突する角度であり、

— θ_e が、前記第 1 の光源の前記放出面の重心から生じた第 2 の光線が前記内面の境界の点に衝突する角度であり、前記点が、境界の点のうち、前記内面の重心からの距離が最大である点である、

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 1 2】

前記内面 (S_1 、 S_3) の重心 (O) から X だけ離隔した前記内面 (S_1) の少なくとも 1 つの点について、関係

20

【数 2】

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

が当てはまるように、前記拡散光発生器 (4 ; 68) が前記第 1 の光源 (2) に対して配置されており、上式で、

— θ_1 が、前記第 1 の光源の放出面 (S_f) の重心 (O'') から生じた前記光ビームの第 1 の光線が前記内面の重心に衝突する角度であり、

— θ_2 が、前記第 1 の光源の前記放出面の重心から生じた第 2 の光線が、前記内面の前記少なくとも 1 つの点に衝突する角度であり、

— L が、3メートルに等しいかまたは 3メートルよりも大きい、

請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 1 3】

前記内面 (S_1 、 S_3) の重心 (O) から X だけ離隔した前記内面 (S_1) の少なくとも 1 つの点について、関係

【数 3】

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

40

が当てはまるように、前記拡散光発生器 (6 ; 68) が前記第 1 の光源 (2) に対して配置されており、上式で、

— θ_1 が、前記第 1 の光源の放出面 (S_f) の重心 (O'') から生じた前記光ビームの第 1 の光線が前記内面の重心に衝突する角度であり、

— θ_2 が、前記第 1 の光源の前記放出面の重心から生じた第 2 の光線が、前記内面の

50

前記少なくとも1つの点に衝突する角度であり、

- Lが、前記内面の任意の2点間の最大距離の少なくとも70%に等しい、請求項1から10のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項14】

前記第1の光源(2)が、前記内面(S_1 、 S_3)の重心(O)を通る、前記内面(S_1 、 S_3)に対して直角な線(H)に関して、軸外れで配置された請求項1から13のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項15】

前記ダーク構造体(10)の内側に配置された反射光学システム(20)であり、前記内面(S_1 、 S_3)上へ前記光ビームを運ぶように構成された反射光学システム(20)をさらに備え、該反射光学システムが、使用時に前記内面から到来し前記反射光学システムに衝突した光線が前記内面上へ反射されないような反射光学システムである請求項1から14のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項16】

前記反射光学システム(20)が、平面型の第1のミラー(22)を備える請求項15に記載の照明システム。

【請求項17】

前記内面を含む平面上への前記第1のミラーの投影が前記内面と重ならないような方式で、前記第1のミラー(22)が、前記内面(S_1 、 S_3)に対して平行に配置された請求項16に記載の照明システム。

【請求項18】

前記反射光学システム(20)が、収束型の第1のミラー(22; 24)を備える請求項15に記載の照明システム。

【請求項19】

前記第1のミラー(22)が、円形放物面の一部分として形づくられた請求項18に記載の照明システム。

【請求項20】

前記第1のミラー(22)が、放物柱の一部分として形づくられた請求項18に記載の照明システム。

【請求項21】

前記反射光学システム(20)が、放物柱の一部分として形づくられた第2のミラー(24)をさらに備え、前記第1のミラーの軸と前記第2のミラーの軸が互いに対して実質的に直交する請求項20に記載の照明システム。

【請求項22】

前記第1および第2のミラー(22; 24)が、共通の焦点を共有するように配置されており、前記第1の光源(2)が実質的に前記共通の焦点に配置されている請求項21に記載の照明システム。

【請求項23】

前記反射光学システム(20)が、前記第1の光源(2)を前記内面(S_1 、 S_3)に接続する光路を形成し、前記第1のミラー(22)が、前記内面(S_1 、 S_3)の前の前記光路の最後の偏向を引き起こし、前記反射光学システムを介して前記第1のミラーの重心(O')を前記内面の重心(O)に接続する光線が、前記内面の重心において、前記内面に対して直角な方向に対して40°を含む40°から65°を含む65°までの範囲の角度を形成する請求項16から22のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項24】

前記ダーク構造体(310)の内側に配置された反射光学システム(20)であり、前記内面(S_1 、 S_3)上へ前記光ビームを運ぶように構成された反射光学システム(20)をさらに備え、該反射光学システムが、使用時に前記内面から到来し前記反射光学システムに衝突した光線が前記内面上へ反射されないような反射光学システムであり、前記反射光学システムが、第1のミラー(22)を備え、前記第1の光源(2)を前記内面(S

1、 S_3)に接続する光路を形成し、前記第1のミラー(22)が、前記内面(S_1 、 S_3)の前の前記光路の最後の偏向を引き起こし、前記内面(S_1)と前記第1のミラー(22)の最も近い2つの点を通る線が、前記ダーク構造体(310)の前記一部分に衝突する請求項1から7のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項25】

前記第1の光源(2)が、複数の発光装置(52)および複数の反射集光器(54)によって形成され、それぞれの反射集光器が漏斗形であり、入力開口(IN)および出力開口(OUT)を有し、前記入力開口の面積が前記出力開口の面積よりも小さく、それぞれの発光装置が、対応するそれぞれの反射集光器の前記入力開口に光学的に結合された請求項1から24のいずれか一項に記載の照明システム。

10

【請求項26】

それぞれの反射集光器(54)の前記出力開口(OUT)が長方形として形づくられた請求項25に記載の照明システム。

【請求項27】

前記第1の光源(2)が、複数の発光装置(52)および複数の反射集光器(54)によって形成され、それぞれの反射集光器が漏斗形であり、入力開口(IN)および出力開口(OUT)を有し、前記入力開口の面積が前記出力開口の面積よりも小さく、それぞれの発光装置が、対応するそれぞれの反射集光器の前記入力開口に光学的に結合されており、前記出力開口(OUT)が伸長方向(57)に沿って細長く、前記光ビームが、最大発散軸(58)を有し、前記反射光学システム(20)が、使用時に、前記第1の光源(2)の放出面(S_f)の重心(O'')から出る、最大発散平面にある光線の束が、前記内面の重心を通り、前記第1のミラー上へのキャリア光線の入射平面に対して直角な軸(y)に接する線に沿って前記内面(S_1 、 S_3)に衝突するように構成されており、前記キャリア光線が、前記反射光学システムを介して前記放出面の重心を前記内面の重心に接続する光線である請求項15から24のいずれか一項に記載の照明システム。

20

【請求項28】

前記反射光学システム(20)が、前記キャリア光線が単一の平面にあるように構成され、前記第1の光源(2)が、前記最大発散軸が前記単一の平面に対して直角になるように配置された請求項27に記載の照明システム。

【請求項29】

前記第1の光源(2)が、円形または楕円形の全体開口(62)を有するマスク(60)をさらに備え、前記マスクが、前記出力開口(OUT)と共面であり、前記マスクが、前記全体開口の周りに配置された前記出力開口の部分から到来した光を遮断するのに適している請求項25から28のいずれか一項に記載の照明システム。

30

【請求項30】

前記拡散光発生器が、可視範囲の光を実質的に吸収しないように構成された第1の拡散器(4)であり、前記光ビームの長波長成分よりも効率的に短波長成分を拡散するように構成された第1の拡散器(4)を備え、該拡散器が、450nmに等しい波長を有する光線を、650nmに等しい波長を有する光線よりも少なくとも1.2倍効率的に拡散させるように構成された請求項1から29のいずれか一項に記載の照明システム。

40

【請求項31】

前記第1の拡散器(4)が、第2の材料の第1の粒子がその中に分散した第1の材料のマトリックスを含み、前記第1および第2の材料がそれぞれ第1および第2の屈折率を有し、前記第1の粒子が、相当直径に前記第1の屈折率をかけた積が範囲5nm~350nmにあるような相当直径を有する、請求項30に記載の照明システム。

【請求項32】

前記第1の光源(2)および前記第1の拡散器(4)を横切る粒子分布の密度が、前記密度と使用時に前記第1の光源によって前記第1の拡散器上に提供される照度との積が前記第1の拡散器上で実質的に一定であるようなものである請求項31に記載の照明システム。

50

【請求項 3 3】

前記第 1 の拡散器 (4) がパネルの形状を有し、前記内面および前記外面 (S_1 、 S_2) のうちの少なくとも一方の面が前記第 1 の拡散器によって形成された請求項 3 0 から 3 2 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 3 4】

前記拡散光発生器が、前記第 1 の光源 (2) から独立して前記可視拡散光の少なくとも一部分を放出するように構成された第 2 の光源 (6 8) を備える請求項 1 から 3 3 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 3 5】

前記第 2 の光源 (6 8) が、

- 光ガイド・パネルとして形づくられ、縁が照らされるように構成された第 2 の拡散器 (6 4) と、
 - 前記第 2 の拡散器 (6 4) の縁を照らす照明器 (6 6) と
- を備える請求項 3 4 に記載の照明システム。

【請求項 3 6】

前記第 1 の光源 (2) と前記照明器 (6 6) のうちの少なくとも一方の CCT が、制御可能な形で可変である請求項 3 5 に記載の照明システム。

【請求項 3 7】

前記第 2 の光源 (6 8) が OLED を備える請求項 3 4 から 3 6 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 3 8】

前記拡散光発生器 (4 ; 6 8) が細長い形状を有する請求項 1 から 3 7 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 3 9】

前記拡散光発生器 (4 ; 6 8) の下流に配置され、反射面 (3 2 0) によって形成された光学基準をさらに備え、前記反射面的一部分が、対応する縁部分によって境界画定されており、前記反射面の前記一部分が、

- 前記反射面の前記一部分および前記縁部分が、前記第 1 の光源 (2) によって生み出され前記拡散光発生器を透過した光によって照らされ、
- 前記第 1 の光源を前記反射面の前記一部分に接続する前記光路のうちの最も短い光路が、前記反射面の前記一部分の任意の 2 点間の最大距離の少なくとも 7 0 % に等しい長さを有する

ように構成されている請求項 1 から 3 8 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 4 0】

前記拡散光発生器 (4 ; 6 8) の下流に配置され、環境間の開口を境界画定する隔壁 (3 5 0) によって形成された光学基準をさらに備え、環境間の前記開口的一部分が、対応する縁部分によって境界画定されており、環境間の前記開口の前記一部分が、

- 環境間の前記開口の前記一部分および前記縁部分が、前記第 1 の光源 (2) によって生み出され前記拡散光発生器を透過した光によって照らされ、
- 前記第 1 の光源を環境間の前記開口の前記一部分に接続する前記光路のうちの最も短い光路が、環境間の前記開口の前記一部分の任意の 2 点間の最大距離の少なくとも 7 0 % に等しい長さを有する

ように構成されている請求項 1 から 3 8 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 4 1】

請求項 1 から 4 0 のいずれか一項に記載の照明システム (1) と、前記環境 (6) の壁 (P_2) とを備え、該壁がキャビティ (8) を形成し、該キャビティ (8) の中に前記拡散光発生器 (4 ; 6 8) が延びている建造物。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は人工照明システムに関する。具体的には、本発明は、自然光を模擬する人工照明システムに関する。このような照明システムは、その照明システムが挿入された部屋を、その向こう側に空や太陽がある開口が開いている場合に同じ部屋で起こるであろう効果に非常に似た効果で照明することができる。

【背景技術】

【0002】

現在、閉ざされた環境（「屋内」）用の人工照明システムであって、使用者が経験する視覚的な快適さを向上させることを目的とした人工照明システムが使用可能である。具体的には、自然光、すなわち野外環境（「屋外」）で得られるタイプの照明を模擬する照明システムが知られている。屋外照明のよく知られた特徴は、太陽によって生成された光線と地球の大気との間の相互作用に依存する。

10

【0003】

本出願の出願人によって出願された係属中の特許文献1には、可視光を生成することを目的とする光源と、ナノ粒子を含むパネルとを備える照明システムが記載されている。使用時、このパネルは、源から到来した光線を受け取り、いわゆるレイリー拡散器（Rayleigh diffuser）として機能する。すなわち、このパネルは、晴天条件の地球大気と同じように光線を拡散させる。

【0004】

係属中の特許文献1に記載されたパネルに関する追加の詳細が、本発明の出願人によって出願された特許文献2に記載されている。係属中の特許文献1はさらに、例えば晴天の場合およびi) 太陽が天頂にある場合またはii) 太陽が水平線の近くにある場合に自然界で生じる照明条件などのさまざまな自然光条件を模擬することを目的とした、このパネルのさまざまな実施形態およびパネルと光源の互いに対するさまざまな配置を記載している。

20

【0005】

特許文献1に記載されている照明システムは、太陽光を模し、照らされた物体の存在下で影をつくる低い相関色温度（Correlated Color Temperature）（「CCT」）を有する直接光を周囲環境の内側で発生させることで、自然光を模擬する。特許文献1に記載されている照明システムはさらに、天空光を模し、青い色合いの影をつくる高いCCTを有する拡散光を放つことで自然光を模擬する。それにもかかわらず、このような照明システムは、空に面した窓の前で観察者が経験するであろう知覚効果を完全には再現しない。具体的には、このような照明システムによって、無限の被写界深度の視知覚を観察者が経験することはない。

30

特許文献3は、光透過セルを備え、光透過セルが、光透過チャネル、光入力窓、光出口窓および壁を備える光学要素を開示している。光入力窓は、光透過チャネルの第1の側に配置され、光源から光を受け取る。光出口窓は、天空光のように見える光を放出する。光出口窓の少なくとも一部分は、第1の側とは反対側の光透過チャネルの第2の側に配置される。壁は、光入力窓と光出口窓の前記一部分の間に挿入され、光透過チャネルを取り囲む。光出口窓の前記一部分に対する垂線に対して比較的に大きな発光角で青色光を放出させるため、壁の少なくとも一部分は、予め決められたスペクトル範囲において反射性および／または透過性である。

40

特許文献4は、熱伝導要素と、固体発光器と、反射要素とを含む照明装置を開示している。伝導要素は開口部を画定し、発光器および反射要素は、伝導要素の第1の側に装着される。

特許文献5は、グレア（glare）のない均一な照明を提供する手段を使用した照明器具を開示している。

特許文献6は、拡散性透明プレートと、光均質化部材と、蛍光ランプと、反射部材とを含む装置を開示している。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】欧州特許出願第2304480号明細書

【特許文献2】欧州特許出願第2304478号明細書

【特許文献3】国際公開第2012/140579号

【特許文献4】米国特許第7,722,220号明細書

【特許文献5】米国特許第4,747,028号明細書

【特許文献6】米国特許第4,267,489号明細書

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

したがって、本発明は、知られている現状技術の限界を少なくとも部分的に克服することができる照明システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明は、独立請求項に記載された人工照明システムを提供する。有利な可能な実施態様が従属請求項の主題である。

【0009】

本発明のより十分な理解のため、添付された図面を参照して、実施形態を、純粹に非限定的な例として本明細書に記載する。

20

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本照明システムの実施形態の略断面図である。

【図2】本照明システムの実施形態の略断面図である。

【図3】本照明システムとは異なる可能な照明システムの略断面図である。

【図4a】光源の透視図を概略的に示す図である。

【図4b】光源の透視図を概略的に示す図である。

【図5a】本照明システムの部分の透視図を概略的に示す図である。

【図5b】図5aに示された照明システムの部分に含まれる反射要素の断面図である。

30

【図6】本照明システムの部分の透視図を概略的に示す図である。

【図7】本照明システムの実施形態の略断面図である。

【図8】本照明システムの部分の透視図を概略的に示す図である。

【図9a】光源の透視図である。

【図9b】図9aに示された光源の一部分の断面図である。

【図10】光源の透視図である。

【図11】本照明システムの一実施形態の一部分の断面図である。

【図12】本照明システムの別の実施形態の部分の略断面図である。

【図13】本照明システムの別の実施形態の部分の略断面図である。

【図14】本照明システムの別の実施形態の部分の略断面図である。

40

【図15】本照明システムの別の実施形態の部分の略断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

一般に、物体の距離を評価する観察者の能力、したがって3次元風景を構成する視野の被写界深度を評価する観察者の能力は、焦点合わせ、両眼の輻輳、両眼視差、運動視差、輝度、サイズ、コントラスト、エアリアル・パースペクティブ(aerial perspective)などに関連した生理学および心理学的な多数の機構に基づくことに本出願の出願人は気づいた。観察条件(例えば観察者が動いているのかまたは静止しているのか、観察者が片眼で見ているのかまたは両眼で見ているのかなど)と風景の特徴の両方に応じて、ある機構は他の機構に比べて重要であることがある。風景の特徴は例えば、風景の観測される要

50

素がどれくらい遠くにあるのかを評価する基準となる既知のサイズ、距離または輝度を有する物体が存在するかどうかには依存する。

【0012】

具体的には、光投射体の周囲の背景が黒色でかつ均一であると、窓を通して投射体を見ている観察者は、投射体までの距離が5メートル（好ましくは7メートル）よりも大きいときに、投射体がどのくらい遠くにあるのかを評価する能力を失うことに本出願の出願人は気づいた。このような状況に遭遇すると、観察者には、投射体からの距離がよく分からない。距離を推定する能力が失われるのは、i) 目を眩ませる光源の正確な焦点合わせが難しく、このことが、焦点合わせ機構を使用して観察者が物体の距離を評価することを妨げるため、およびii) 物体が5メートル（好ましくは7メートル）よりも離れているときには、両眼の輻輳は、距離を評価する装置としてはほとんど効率的でないためであり、さらに、推定する能力が失われるのは、大きな距離の場合に一般的に有効で効率的であるその他の心理物理学的機構が、別の基準点がないことによって阻害されてうまく機能しないためでもある。

10

【0013】

本出願の出願人はさらに、観察者と光投射体の間にレイリー拡散パネルが挿入されており、光投射体が、黒色の均一な背景によって取り囲まれているとき、観察者は、光投射体が観察者から事実上無限の距離のところにありと知覚するようになることに気づいた。より具体的には、観察者がレイリー拡散パネルを通して光投射体を見ており、レイリー拡散パネルの全体が投射体によって均一に照らされており、投射体から観察者までの実際の距離が少なくとも5メートル（好ましくは7メートル）であるときには常に、無限の距離にあるとの知覚効果が得られる。このような効果は、レイリー拡散パネルによって引き起こされる知覚機構であるいわゆる「エアリアル・パースペクティブ」の結果と解釈することができる。実際、レイリー拡散パネルによって散乱した光の色および強度は、天空光の対応する色および強度と事実上同一である。この場合、強度は、透過光の強度に対して評価される。具体的には、いわゆるエアリアル・パースペクティブ機構は、物体と観察者の間に挟まれた空気層の存在に関係し、このような空気層の色および輝度は、物体から観察者までの距離の推定に影響を及ぼす。物体は、空気層自体の後ろにあると観察者によって知覚される。このような機構は、大きな距離において、または、一般に、距離を評価するその他の心理物理学的機構が抑制されているかもしくはほとんど効率的でないときに、支配的である。

20

30

【0014】

本出願の出願人はさらに、観察者の視野の中にスポットライトがある場合、観察者は、レイリー拡散パネルによって放出された光を、事実上無限の距離から到来した光として知覚することに気づいた。このような効果は、レイリー拡散パネルが2次的な光放射源の働きをすること、および光放射自体の高い空間的均一性のために、観察者は、このような光放射の放出平面から観察者までの距離をほとんど評価することができないことを考慮することによって、解釈することができる。光放射の高い空間的均一性は、見るための視覚的な基準点を提供しない。したがって、視野内の5メートル（好ましくは7メートル）の（物理的）距離のところに光投射体が存在することは、レイリー拡散パネルの推定位置を、両眼の輻輳による距離知覚のしきい値を超えて「引き下げる」ことにより、風景全体の被写界深度の評価に影響を及ぼす。このような効果は、光投射体の輝度に結びつけられ、さらに、レイリー拡散パネルを除けば、光投射体自体は、観察者によって知覚される空間的に限局された唯一の要素であることに結びつけられる。基本的に、レイリー拡散パネルを見ているとき、観察者の眼は、光投射体によって、あたかも観察者の眼が非常に遠くにある物体を見ているかのように観察者の眼自体を配置するように強制される。次いで、眼のこのような配置によって、精神は、視野の中央の物体、すなわちレイリー拡散パネルによって放出された光がパネル自体の真の位置に比べて非常に遠くにあると推断するように後押しされる。さらに、拡散光源が観察者から大きな距離のところにありと知覚する効果は、レイリー拡散パネルによって散乱する光が、（透過光と比較して）天空光に典型的な色

40

50

および輝度と同じ色および輝度を有することによって支持される。前述のエアリアル・パースペクティブ機構によるこのような効果は特に効率的であり、それによって光投射体は事実上無限の距離にあると知覚される。本出願の出願人はさらに、記載された効果、すなわち無限の被写界深度の視覚的知覚（以後「ブレイクスルー効果（breakthrough effect）」と呼ぶ）は、レイリー拡散パネルを通した観察方向にかかわらず生じることに気づいた。

【0015】

加えて、光投射体が視野の外側にある場合には、レイリー拡散パネルのひっかき傷または境界の焦点合わせなどの他の心理物理的な機構が優勢であるため、エアリアル・パースペクティブ単独ではブレイクスルー効果を完全に保証することはできないことに本出願の出願人は気づいた。

10

【0016】

さらに、本出願の出願人は、光投射体がレイリー拡散パネルの隣に置かれるとき、例えば光投射体の虚像を遠くに移動させるミラーまたはレンズがないときには常に、前述のブレイクスルー効果が低減することに気づいた。実際、この場合には、光投射体の距離が観察者によって容易に推定され、これによって、エアリアル・パースペクティブの寄与にもかかわらず、風景全体の被写界深度は制限されるであろう。同様に、黒色で均一な背景によって光投射体を取り囲まれていないときには常に、前述のブレイクスルー効果が低減することに本出願の出願人は気づいた。実際、観察者は、黒色で均一な背景以外の背景からの距離を決定することができ、それによって、エアリアル・パースペクティブの寄与にもかかわらず、風景全体の被写界深度は制限される。

20

【0017】

（本発明を実施するための最良の形態）

図1は人工照明システム1を示す。以後、人工照明システム1を簡潔に照明システム1と呼ぶ。

【0018】

詳細には、照明システム1は第1の光源2を備える。第1の光源2は指向性光源であることが好ましい。すなわち、第1の光源2は、 $4\pi\text{sr}$ よりも小さな放出立体角で光を放出するように設計されていることが好ましい。さらに、第1の光源2は、スペクトルの可視領域の光、すなわち400nmから700nmの間の波長を有する光を放出する。さらに、第1の光源2は、好ましくは100nmよりも大きいスペクトル幅 $\Delta\lambda$ 、より好ましくは170nmよりも大きいスペクトル幅 $\Delta\lambda$ を有する光（可視電磁放射）を放出する。スペクトル幅 $\Delta\lambda$ は、第1の光源の波長スペクトルの標準偏差と定義することができる。

30

【0019】

照明システム1は第1の拡散器パネル4をさらに含み、第1の拡散器パネル4は例えば平行六面体として形づくられる。具体的には、第1の拡散器パネル4は、互いに平行な第1の表面 S_1 および第2の表面 S_2 によって境界画定される。第1の拡散器パネル4は薄いことが好ましい。すなわち、第1および第2の表面 S_1 、 S_2 に対して直角な方向に沿って測定した第1の拡散器パネル4の厚さ w が、第1および第2の表面 S_1 、 S_2 の面積の5%以下、好ましくは1%以下の平方値を有することが好ましい。

40

【0020】

より具体的には、図1に示された実施形態では、第1の拡散器パネル4がいわゆるレイリー拡散器として機能する。すなわち、第1の拡散器パネル4は、可視範囲の光を実質的に吸収せず、衝突する光（以後、衝突光）の長波長成分に対して短波長成分の方をより効率的に拡散させるパネル、例えば、可視範囲の光を実質的に吸収せず、波長 $\lambda = 450\text{nm}$ の光線（青）を、波長 $\lambda = 650\text{nm}$ の光線（赤）よりも少なくとも1.2倍、好ましくは少なくとも1.4倍、より好ましくは少なくとも1.6倍効率的に拡散させるパネルとして機能する。拡散効率、衝突光の放射パワー（radiant power）に対する拡散光の放射パワーの比によって与えられる。レイリー様拡散器の光学特性および微視的特徴は、本出願の出願人と同じ出願人の特許文献2にも詳細に記載されている。微視的特徴に関す

50

る他の洞察は以下にも記載されている。

【0021】

図1に示された実施形態では、第1の光源2が、第1の拡散器パネル4と垂直に整列する。すなわち、第1の光源2が、第1および第2の表面 S_1 、 S_2 の重心（図1には第1の表面 S_1 の重心がOで示されている）を通る、第1および第2の表面 S_1 、 S_2 に対して直角な軸Hに沿って位置する。そうではないと明示されている場合を除き、本明細書の説明では、用語「重心」が一般に、その物理的意味（質量中心）ではなく、その幾何学的意味において理解される。したがって、用語「重心」は、平面に対しても適用可能であり、実質的に無限小の厚さを有する物体にも適用可能である。したがって、用語「重心」は、「幾何学的中心」または「図心（centroid）」として理解されなければならない、無限小の厚さを有する物体（または表面）が与えられた場合、重心は、その物体が均一な密度および正確に無限小の厚さを有するとの仮定の下に計算されたその物体の質量中心と一致する。さらに、第1の光源2は第1の拡散器パネル4の全体を照明する。しかしながら、以下で説明するように、第1の光源2が、第1および第2の表面 S_1 、 S_2 の重心に対して軸外れで（off-axis）配置された実施形態も可能である。

10

【0022】

照明システム1は、環境、例えば部屋6に光学的に結合される。部屋6は、平行六面体として形づくられており、下壁 P_1 、上壁 P_2 および4つの側壁 P_1 によって境界画定されている。具体的には、一般性を失うことなく、上壁 P_2 がキャビティ（cavity）8を有することが仮定される。キャビティ8は、上から見ると、第1の拡散器パネル4の同じ形状を有し、第1の拡散器パネル4によって完全に塞がれる。いずれにしても、本発明は、キャビティ8のこの形状および／または配置だけに限定されない。一例として、別の実施形態（図示せず）によれば、側壁にキャビティを形成することもできる。さらに、本発明は、屋内空間で使用されることだけに限定されない。したがって、照明装置1が、昼間照明に似た夜間屋外照明用のシステムとして使用される実施形態も可能である。したがって、照明システム1を、屋外環境、すなわち壁が黒色である部屋または壁が無限遠の距離のところに配置された部屋と等価の環境に結合することができる。

20

【0023】

照明システム1は、第1の拡散器パネル4の第1の表面 S_1 とともに部屋6の外側の外部容積Vを境界画定する支持要素10を備える。第1の光源2は外部容積Vの内側に置かれる。示されてはいないが、外部容積Vが、部屋6の壁、例えば上壁 P_2 によって少なくとも部分的に境界画定されるような方式で、支持要素10が部屋6に機械的に結合された実施形態も可能である。

30

【0024】

支持要素10は、入射光放射を吸収することができる材料でできた内層12によって内側からコーティングされる。このような材料は例えば、黒色で、可視範囲における吸収係数が70%よりも高く、好ましくは90%よりも高く、より好ましくは95%よりも高く、よりいっそう好ましくは97%よりも高い材料である。内層12は、入射放射、例えば第1の光源2から直接に到来した入射放射、または第1の拡散器パネル4による反射過程および／もしくは散乱過程を経た入射放射、または第1の拡散器パネル4を通して部屋6から到来した入射放射を吸収することを目的とする。容積Vは、第1の拡散器パネル4の第1の表面 S_1 を除くその全体が、内層12によって内側からコーティングされていることが好ましい。言い換えると、支持要素10および内層12は一種のダーク・ボックス（dark box）（またはチャンバ（chamber））を画定する。用語「ダーク」は、後に説明するように、ボックスをほとんど見えなくするような、照明がほとんどない条件および／または光を吸収する能力に関係する。したがって、以下では、ダーク・ボックス10をさらに参照する。光は、第1の拡散器パネル4を通してしかダーク・ボックスに出入りすることができない。

40

【0025】

第1の拡散器パネル4を再び参照する。第1の拡散器パネル4から大きな距離のところ

50

にある点状 C I E (International Commission on Illumination (国際照明委員会)) D 6 5 標準光源によって光ビームが生み出され(したがってビームは互いに平行な光線によって構成されている)、そのビームが第 1 の表面 S_1 に対して直角に導かれると仮定すると、第 1 の拡散器パネル 4 はこのようなビームを 4 つの成分、具体的には以下の 4 つの成分に分離する。

— 透過成分。この成分は、第 1 の拡散器パネル 4 を通過した、偏向をあまり経ていない光線、すなわち 0.1° よりも小さな偏向を経た光線によって形成された成分であり、第 1 の拡散器パネル 4 に入射した全光束の部分 τ_{direct} である光束を有する。

— 前方拡散成分。この成分は、第 2 の表面 S_2 に対して直角な方向の周りに分布する方向(このような直角方向およびこのような直角方向から 0.1° よりも小さな角度だけ異なる方向は除く)に沿って第 2 の表面 S_2 を出た光線によって形成される成分であり、第 1 の拡散器パネル 4 に入射した全光束の部分 $\tau_{scattered}$ である光束を有する。

— 後方拡散成分。この成分は、第 1 の表面 S_1 に対して直角な方向の周りに分布する方向(このような直角方向およびこのような直角方向から 0.1° よりも小さな角度だけ異なる方向は除く)に沿って第 1 の表面 S_1 を出た光線によって形成される成分であり、第 1 の拡散器パネル 4 に入射した全光束の部分 $\rho_{scattered}$ である光束を有する。

— 反射成分。この成分は、第 1 の表面 S_1 に対するミラー・アングル (mirror angle) (例えばこの場合には直角または直角から 0.1° よりも小さな角度だけ異なる角度) の方向に沿って第 1 の表面 S_1 を出た光線またはこの方向に沿って第 1 の表面 S_1 から生じた光線によって形成された成分であり、第 1 の拡散器パネル 4 に入射した全光束の部分 ρ_{direct} である光束を有する。

【0026】

第 1 の拡散器パネル 4 は以下のような光学特性を有する。

— $\tau_{scattered}$ は、 $0.05 \sim 0.5$ 、好ましくは $0.07 \sim 0.4$ 、より好ましくは $0.1 \sim 0.3$ 、よりいっそう好ましくは $0.15 \sim 0.25$ の範囲にある。

— 前方拡散成分の平均相関色温度 (「CCT」) $CCT_{\tau_{scattered}}$ は、透過成分の平均相関色温度 $CCT_{\tau_{direct}}$ よりもかなり高い。すなわち、 $CCT_{\tau_{scattered}} > h \times CCT_{\tau_{direct}}$ であり、ここで $h = 1.2$ 、好ましくは $h = 1.3$ 、より好ましくは $h = 1.5$ である。

— 第 1 の拡散器パネル 4 は入射光をあまり吸収しない。すなわち、和 $\tau_{direct} + \tau_{scattered} + \rho_{direct} + \rho_{scattered}$ が、少なくとも、 0.8 、好ましくは 0.9 、より好ましくは 0.95 、よりいっそう好ましくは 0.97 に等しい。

— 第 1 の拡散器パネル 4 は大部分を前方へ散乱させる。すなわち、 $\tau_{scattered} > \eta \times \rho_{scattered}$ であり、ここで、 η は少なくとも 1.1 に等しく、好ましくは $\eta = 1.3$ 、より好ましくは $\eta = 1.5$ 、よりいっそう好ましくは $\eta = 2$ である。

— 第 1 の拡散器パネル 4 の反射は小さい。すなわち、 ρ_{direct} が < 0.09 、好ましくは < 0.06 、より好ましくは < 0.03 、よりいっそう好ましくは < 0.02 である。

【0027】

より詳細には、第 1 の拡散器パネル 4 は、第 1 の材料 (例えば、優れた光学的透明性を有する樹脂、例えば熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂、光硬化性樹脂、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂、ポリスチレン樹脂、ポリオレフィン樹脂、ポリアミド樹脂、ポリイミド樹脂、ポリビニルアルコール樹脂、ブチラール樹脂、フッ素ベースの樹脂、酢酸ビニル樹脂もしくはプラスチック、例えばポリカーボネート、液晶ポリマー、ポリフェニレンエーテル、ポリスルホン、ポリエーテルスルホン、ポリアリーレートもしくは無定形ポリオレフィン、またはこれらの混合物もしくはコポリマー) の固体マトリックスを含み、その中には、第 2 の材料 (例えば ZnO 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 、 Al_2O_3)

3などの無機酸化物)のナノ粒子が分散している。この第2の材料は、第1の材料の屈折率とは異なる屈折率を有する。第1の材料および第2の材料はともに、可視波長範囲の電磁放射を基本的に吸収しない。

【0028】

さらに、図1に示された実施形態では、第1の拡散器パネル4の任意の1つの点を考えた場合に、その点における第1の拡散器パネル4の物理的特徴がその点自体に依存しないという意味において、第1の拡散器パネル4が均一である。さらに、第1の拡散器パネル4はモノリシック(monolithic)である。すなわち、固体マトリックスが、接着または機械的結合に起因する不連続を特徴としない。しかしながら、第1の拡散器パネル4のこのような特徴は本発明の目的にとって必須ではないが、それらの特徴は、第1の拡散器パネル4の製造をより容易にする。

10

【0029】

より具体的には、ナノ粒子を単分散系とすることができる。ナノ粒子は球形としたまたは別の形状とすることができる。ナノ粒子の有効径D(非球形粒子の場合の定義については下記参照)は、[5nm~350nm]、好ましくは[10nm~250nm]、より好ましくは[40nm~180nm]、よりいっそう好ましくは[60nm~150nm]の範囲にある。有効径Dは、ナノ粒子の直径に第1の材料の屈折率を乗じることによって与えられる。

【0030】

さらに、ナノ粒子は、ナノ粒子の面密度、すなわち1平方メートル当たりのナノ粒子の数N、すなわち第1の表面S₁の面積1m²の部分によって境界画定された体積要素内のナノ粒子の数が、条件N≥N_{min}を満たすように、第1の拡散器パネル4内に分布する。この式で

20

【数1】

$$N_{\min} = v \frac{10^{-29}}{D^6} \cdot \left| \frac{m^2 + 2}{m^2 - 1} \right|^2$$

30

であり、上式で、vは、1メートル⁶に等しい次元定数であり、N_{min}は、数/メートル²として表され、有効径Dはメートルで表され、mは、第2の材料の屈折率と第1の材料の屈折率の比に等しい。

【0031】

ナノ粒子は、少なくとも面密度に関する限り均質に分布することが好ましく、すなわち、第1の拡散器パネル4上で面密度が実質的に均一であることが好ましいが、ナノ粒子の分布は、第1および第2の表面S₁、S₂に対して直角な方向に沿って変化してもよい。面密度は例えば、平均面密度の5%未満だけ変化する。ここでは空中密度が、0.25mm²よりも大きな面積にわたって定義される量として意図される。

40

【0032】

あるいは、第1の光源2によって照らされた第1の拡散器パネル4を横切る照明の差を補償するために面密度が変化する実施形態も可能である。例えば、式N(x, y) = N_{av} × I_{av} / I(x, y) ± 5%を介して、S₁内の点(x, y)における面密度N(x, y)を、第1の光源2によって点(x, y)に生み出される照度I(x, y)に関係づけることができる。この式で、N_{av}およびI_{av}は平均された照度および平均された面密度であり、これらの平均された照度および面密度は第1の表面S₁を横切って平均される。この場合、第1の拡散器パネル4の輝度は、第1の拡散器パネル4上における第1の光源2の照度プロファイルが不均一であるにもかかわらず、第1の拡散器パネル4上で等化される。この点に関して、輝度は、例えば規格ASTM(American Society for Te

50

sting and Materials (アメリカ材料試験協会) E 2 8 4 - 0 9 a に報告されている
とおり、所与の方向に表面から出る（または表面に入射する）ビームの、所与の方向から
見たその表面の単位投射面積当たり、単位立体角当たりの光束であることが思い起こされ
る。

【0033】

低Dおよび低体積分率 (volume fraction) (すなわち厚いパネル) の限界において、
 N N_{min} の面密度は、約5%の散乱効率を生み出すと予想される。単位面積当たりの
ナノ粒子の数が多くなるにつれ、散乱効率は、 N に比例して増大し、ついには多数の散乱
または干渉 (高体積分率の場合) が起こると予想され、このことが色品質 (color quali
ty) を危うくする可能性がある。したがって、ナノ粒子の数の選択は、特許文献2に詳細
に記載されているように、散乱効率と所望の色の間の妥協点の探索によってバイアスされ
る。さらに、ナノ粒子のサイズが大きくなるにつれて、前方光束と後方光束の比 $\eta = \tau_{scattered} / \rho_{scattered}$ が増大する。レイリー・リミットではこのよう
な比が1に等しい。さらに、 η が増大するにつれて、前方散乱円錐の開口は小さくなる。
したがって、 η の選択は、大きな角度で散乱する光を有することと後方散乱光の光束を最
小化することの間の妥協点の探索によってバイアスされる。しかしながら、 ρ_{direct}
を最小化する目的で、第1および第2の表面 S_1 および S_2 上に反射防止層 (図示せず)
を、それ自体が知られている方式で付着させることができる。そうすることにより、照
明システム1の発光効率は高められ、部屋6の中にいる観察者からの (物理的要素として
の) 第1の拡散器パネル4の可視性は低減される。

【0034】

しかしながら、ナノ粒子が球形でない実施形態も可能である。このような場合、有効径
Dは、等価の球形粒子の有効径、すなわち前述のナノ粒子と同じ体積を有する球形粒子の
有効径として定義することができる。

【0035】

さらに、ナノ粒子が多分散系である実施形態、すなわちナノ粒子の有効径が分布 $N(D)$
によって特徴づけられる実施形態も可能である。このような分布は、有効径Dの近くの
表面単位および有効径の単位間隔当たりのナノ粒子の数を記述する (すなわち、 D_1 と D_2
の間の有効径を有する表面単位当たりの粒子の数は

【数2】

$$N_{D_2-D_1} = \int_{D_1}^{D_2} N(D) dD$$

に等しい)。これらの有効径は [5 nm ~ 350 nm] の範囲に入ることができる。すな
わち、この分布はこの範囲内で非ヌル (non-null) であることができる。この場
合、散乱効率が、ほぼ、すなわち小粒子の限界において、ナノ粒子の直径の6乗とともに
増大することを考えると、この多分散分布は、ほぼ、

【数3】

$$D'_{eff} = \left\{ \frac{\int N(D) D^6 dD}{N} \right\}^{1/6}$$

10

20

30

40

50

として定義される代表直径 D'_{eff} を有する単分散分布として振る舞う。上式で、
【数 4】

$$N = \int N(D) dD$$

であり、 D'_{eff} は、 $[5 \text{ nm} \sim 350 \text{ nm}]$ 、好ましくは $[10 \text{ nm} \sim 250 \text{ nm}]$ 、より好ましくは $[40 \text{ nm} \sim 180 \text{ nm}]$ 、よりいっそう好ましくは $[60 \text{ nm} \sim 150 \text{ nm}]$ の範囲に入るように選択することができる。

【0036】

さらに、第 1 の拡散器パネル 4 は、第 1 の光源 2 から距離 d のところにある。距離 d は軸 H に沿って測定される。このような距離 d は、部屋 6 中の観察者の予想される位置に従って、観察者の予想される位置と第 1 の光源 2 の間の距離が少なくとも 5 メートル、好ましくは 7 メートルに等しくなるように変更することができる。例えば、天井型用途の場合には、距離 d を 3 メートルに等しくすることができる。観察者が第 2 の表面 S_2 に非常に近い場合には、念のため、距離 d を 5 メートルに等しくすることができる。

【0037】

図 2 に示された異なる実施形態によれば、第 1 の光源 2 は再び外部容積 V の内側に配置されるが、軸外れで配置される。すなわち、第 1 の光源 2 は、第 1 の拡散器パネル 4 に対して側方に配置される。すなわち、第 1 の光源 2 は、第 1 の拡散器パネル 4 を通過する、軸 H に平行な、どの線とも交差しない。さらに、照明システム 1 は、第 1 のミラー 22 を含む反射システム 20 を含む。反射システム 20 は、第 1 の光源 2 を第 1 の拡散器パネル 4 に接続する光路を形成する。言い換えると、第 1 の光源 2 によって生み出された光線は、反射システム 20 によって第 1 の表面 S_1 へ運ばれる。第 1 のミラー 22 は、第 1 の拡散器パネル 4 の前のこの光路の最後の偏向（すなわち最後の方向変化）を引き起こす。

【0038】

加えて、第 1 の光源 2 および反射システム 20 は、第 1 の光源 2 から到来した光線によって第 1 の拡散器パネル 4 の全体が照らされるようなものである。さらに、後により正確に説明する理由から、第 1 の拡散器パネル 4 および反射システム 20 は、それらが以下の幾何学的条件を満たすように配置される。光線 $RL1$ および光線 $RL2$ によって、

- 光線 $RL1$ が、（一例として部屋 6 から到来し）第 1 の拡散器パネル 4 を通り抜け、または第 1 の拡散器パネル 4 から生じ、
- 光線 $RL2$ が、反射システム 20 による光線 $RL1$ の反射であり、第 1 の表面 S_1 に再び衝突するように導かれる

ような態様の対が構成されることはない。

【0039】

光線 $RL1$ および $RL2$ に対する上述の幾何学的条件は、部屋 6 の内側で生み出され、第 1 の点で第 1 の表面 S_1 を横切った光線は、続いて、その光線が再び第 1 の表面 S_1 の第 2 の点に当たるような形で反射システム 20 によって反射されることはないと言っているのに等しい。あるいは、反射システム 20 は、第 1 の表面 S_1 を出、反射システム 20 に衝突した全ての上り光線が、上り光線が出射する第 1 の表面 S_1 内の位置にかかわらず、内層 12 上へ反射されるような態様で配置される。

【0040】

光線 $RL1$ および $RL2$ に関する前述の幾何学的条件は、主に照明システム 1 によって部屋 6 の外側で占有される容積に関して、照明の品質を損なうことなく、占有される容積を低減させることにつながる。具体的には、照明システム 1 は、垂直に占有される空間、

すなわち軸Hに沿って測定される空間の低減を特徴とする。多くの用途で垂直障害物の低減は前提条件であるため、上述の幾何学的条件は、実際の関心を引く多くの状況においてブレイクスルー効果を得ることを可能にする。簡潔にするため、以後、占有される空間の垂直寸法についての言及は一般に省かれる。

【0041】

より詳細には、反射システム20と第1の拡散器パネル4のこの相反的配置は、占有される空間の低減につながることに加えて、照明の自然品質(natural quality)を損なうる2つの現象の発生を防ぐ。

【0042】

図3に示されているように、万一、光線RL1およびRL2に対する前述の幾何学的条件に違背が生じた場合には、以下のことが起こることになる。

— 第1の光源2によって生み出された光線IR1は反射システム(ここでは30によって示される)に当たり、第1の拡散器パネル4上へ運ばれ、第1の拡散器パネル4を横切り、観察者に到達する。

— 第1の光源2によって生み出された光線IR2は反射システム30に当たり(1度目)、第1の拡散器パネル4上へ運ばれ(1度目)、第1の表面S₁によるフレネル反射によって部分的に反射され、反射システム30に当たり(2度目)、第1の拡散器パネル4上へ運ばれ(2度目)、第1の拡散器パネル4を横切り、光線IR1に関して異なる方向から観察者に到達する。

【0043】

この場合、観察者は、異なる方向に見える第1の光源2の2つの異なる像を見ることになるであろう。第1の像は、IR1およびIR1の近くの全ての光線、すなわち第1の拡散パネル4を1度だけ横切った光線によって形成される像である。第2の像は、光線IR2およびIR2の近くの全ての光線、すなわち第1の表面S₁によって部分的に反射され、反射システム30によって観察者に向かって再び導かれた光線によって形成される像である。フレネル反射は一部の光線の向きを変えるだけなので(例えば、ほぼ直角な入射およびPMM A材料については第1の拡散器パネル4のそれぞれの表面ごとに約4%)、第1の光源2の第2の像は第1の像よりも弱い。それにもかかわらず、その輝度は依然として非常に高く、したがって観察者は、太陽のただ1つの像の存在によって明白に特徴づけられる自然光との違いを知覚するであろう。

【0044】

同様に、万一、光線RL1およびRL2に対する前述の幾何学的条件が失われた場合、部屋6から到来した任意の色を有する光線は、第1の拡散器パネル4を横切り、反射システム30によって反射され、第1の拡散器パネル4を再び横切った後に、再び部屋6に入ることができる。そのような場合、観察者は、第1の拡散器パネル4の色とは異なる色を有する輝く物体の存在を、あたかもそれらの物体が第1の拡散器パネル4の向こう側に配置されているかのように知覚するであろう。さらに、いわゆる後方散乱のため、観察者は、第1の拡散器パネル4自体を直接に見るだけでなく、反射システム30を介しても見ることになるだろう。実際には、第1の拡散器パネル4は、ミラーの枠によって空間的に制限された光スポット(luminous spot)を生み出し、この光スポットは背景の均一性を損なうであろう。加えて、ミラーの縁で生じうる輝度の急な変化のため、観察者は、反射システム30の存在に気づきうる。これらの全ての効果によってこの照明は不自然に見え、第1の拡散器パネル4の像は自然の空の像とは異なるであろう。さらに、第1の拡散器パネル4の背後に物体またはミラーが知覚されることは、ブレイクスルー効果を得ることを妨げるであろう。

【0045】

図2に示されているように、第1のミラー22が平面であり、第1の拡散器パネル4に対して平行(すなわち第1および第2の表面S₁、S₂に対して平行)であり、その結果、占有される容積が最小化される実施形態が可能である。

【0046】

さらに、第1のミラー22の形状および傾斜にかかわらずなく、第1の光源2および第1のミラー22は、第1のミラー22の表面を反射面 S_r と呼ぶ場合に、 40° から 65° の間、好ましくは 42° から 50° の間、より好ましくは約 45° である軸Hに対する入射角AOを有する線によって、第1の表面 S_1 の重心Oと反射面 S_r の重心O'を結ぶことができるような方式で配置される。このようにすると、第1の拡散器パネル4が基本的に1.5に等しい屈折率を有し、入射角AOが 45° よりも大きいとの仮定の下で、照明システム1によって垂直に占有された、入射角AOが大きくなるにつれて小さくなる空間を最小化することと、第1の拡散器パネル4で起こる部分反射に起因する、入射角AOが大きくなるにつれて増大する光損失を最小化することとの間の妥協が成立する。実質的に 45° に等しい入射角AOで第1の拡散器パネル4を照明することの利益は、後に記載する実施形態およびミラーを使用しない実施形態を含む全ての可能な実施形態に及ぶことを記すことには価値がある。

10

【0047】

本出願の出願人はさらに、第1のミラー2が第1の拡散器パネル4に対して平行であるならば、第1のミラー22が平面であるときに、任意の入射角AOについて、照明システム1によって占有される垂直空間は最小化されることを確認した。

【0048】

説明に移る前に、「キャリア光線(carrier ray)」を、反射システム20を介して第1の光源2の放出面 S_f (後に定義する)の重心O''を第1の表面 S_1 の重心Oに接続する折り曲げられた光路、または、2つ以上の光路が存在する場合には、それらの光路の中で最も短い光路と定義する。反射システム20が結像光学構成部品として設計されている場合には1つの光路だけが存在する。

20

【0049】

さらに、デカルト基準系が導入される。このような基準系は、第1の表面 S_1 の重心Oに原点を有し、第1の表面 S_1 によって画定された平面内にx軸およびy軸を含み、x軸およびy軸は、y軸が、第1のミラー22の反射面 S_r 上へのキャリア光線の入射平面(すなわち、第1のミラー22と接触するキャリア光線の2つの線分と、その接触点に位置する反射面 S_r に対して直角な線とを含む平面)に対して直角になるように配置される。

【0050】

第1のミラー22の形状および傾斜にかかわらずなく、その長い方の軸がy軸と一致した長方形の形状または少なくとも細長い形状を第1の表面 S_1 が有する実施形態が可能である。本出願の出願人は、軸Hに沿った照明システム1のより小さな高さで、第1の拡散器パネル4がx軸に沿って細長くなくまたはx軸に沿って細長く、第1の拡散器パネル4の面積および入射角AOは同じである場合に対して、これらの実施形態が、光線RL1およびRL2に対する幾何学的条件を満たすことを可能にすることを確認した。言い換えると、これらの実施形態は、所与の高さの照明システム1および所与の入射角AOについて、第1の拡散器パネル4の面積を最大にすることを可能にする。実際、本出願の出願人は、所与の入射角AOでは、x軸に沿った第1の拡散器パネル4の最大幅が、軸Hに沿った照明システム1の最小高さに比例することに気づいた。入射角AOが約 45° であるときには比例係数が約1である。

30

40

【0051】

本出願の出願人はさらに、第1の光源2が、円形(図4a)または楕円形(図4b)の放出面 S_f を特徴とする場合、照明の自然品質がさらに向上することに気づいた。第1の光源2が指向性光源である場合、第1の光源2は、光度の絶対最大(absolute maximum)の方向である主方向と、輝度の絶対最大が生じる主平面とによって特徴づけられる。ここでは主平面が、主方向に対して直角な平面と定義される。放出面 S_f は、主方向に沿った輝度が光度のこの絶対最大の10%よりも高い主平面の部分である。放出面 S_f を囲む、放出面 S_f の面積よりも30%以下、好ましくは20%以下、より好ましくは10%以下だけ大きな面積を有する円周または楕円が存在する場合、その放出面 S_f は円形のまたは楕円であると言われる。

50

【0052】

光線は、第1の表面 S_1 の対応する入射点に当たり、第1の表面 S_1 に対して直角な、入射点を通る線との間に、対応する入射角を形成する。反射システム20、第1の光源2の配置および第1の拡散器パネル4の配置は、

ー 反射システム20を介して、放出面 S_f の重心 O'' を第1の表面 S_1 の重心 O に接続する光線 $RL3$ であって、第1の表面 S_1 に対して直角な、第1の表面 S_1 の重心 O を通る線に対して角度 θ_1 を形成する光線 $RL3$ と、

ー 反射システム20を介して、放出面 S_f の重心 O'' を、第1の表面 S_1 の重心 O から距離 X だけ離隔した第1の表面 S_1 の点に接続する光線 $RL4$ であって、第1の表面 S_1 に対して直角な、この点を通る線に対して角度 θ_2 を形成する光線 $RL4$ と

10

が与えられた場合に、式

【数5】

$$|\tan(\theta_1 - \theta_2)| \leq X \cdot \cos(\theta_1) / L$$

が成立するようなものである。上式で、 L は、少なくとも3メートルに等しく、 $X \ll L$ 、例えば $X < 10 \text{ cm}$ であることが好ましい。 L は、少なくとも4メートルに等しいことが好ましく、 L が少なくとも5メートルに等しいとよりいっそう好ましい。第1の光源2から第1の拡散器パネル4までの前述の距離 d が L に等しいとすれば、このような条件は、図1に示された実施形態によっても満たされることに留意されたい。

20

【0053】

このようにすると、これらの光線は、自然界で起こるのと同様に、ほぼ平行な方向から第1の表面 S_1 に衝突する。さらに、第1の光源2が、 L よりも小さい第1の拡散器パネル4からの物理的距離のところにあるときでも、反射システム20が収束鏡、すなわち物理的距離よりも大きな距離のところに第1の光源2の虚像を形成するように設計されたミラーを備える場合には、この条件を満たすことができる。

30

【0054】

本出願の出願人はさらに、ある種の用途では（例えば第1の拡散器パネル4が観察者から小さな距離だけ離して置かれる場合には）、 L が、第1の表面 S_1 の任意の2点間の最大距離の少なくとも50%、好ましくは少なくとも70%、よりいっそう好ましくは少なくとも100%に等しければ十分であることに気づいた。

【0055】

しかしながら、第1の光源2から第1の拡散器パネル4までの距離に関する上記の詳細にかかわらず、第1の拡散器パネル4上の照度の変動を制限するために、第1の表面 S_1 上の照度プロファイルが、 $ILLU_{max} \leq 3 \times ILLU_{min}$ である最小値 $ILLU_{min}$ と最大値 $ILLU_{max}$ の間で変化するように光源2が配置された実施形態も可能である。照度の均一性に関するこのような条件は、第1の光源2と第1の表面 S_1 の間にフリーフォーム（free-form）の光学部品を挿入することによって、および／または適当な距離の第1の表面 S_1 から間隔を置いて光源2を配置することによって達成することができる。一例として、関係

40

【数6】

$$|\tan(\theta_1 - \theta_e)| \leq 0.5 \cdot \cos(\theta_1)$$

50

が当てはまることによって、第1の光源2によって生成される第1の表面 S_1 上の照度が実質的に均一である実施形態が可能である。上式で、 θ_e は、第1の光源2の放出面 S_f の重心 O'' から生じた別の光線が、第1の表面 S_1 の境界の点に衝突する角度である。この点は、境界の点のうち、第1の表面 S_1 の重心 O からの距離が最大である点である。本出願の出願人はさらに、この場合も、観察者が第1の拡散器パネル4から小さい距離だけ離れて位置しているのであれば、 L が、第1の表面 S_1 の任意の2点間の最大距離の少なくとも50%、好ましくは少なくとも70%、よりいっそう好ましくは少なくとも100%に等しければ十分であることに気づいた。

【0056】

10

本出願の出願人はさらに、第1の光源2の最大輝度が、 10^6 cd/m^2 、好ましくは $0.1 \times 10^6 \text{ cd/m}^2$ 、より好ましくは $1 \times 10^6 \text{ cd/m}^2$ 、よりいっそう好ましくは $10 \times 10^6 \text{ cd/m}^2$ よりも大きいときには常に、照明の自然品質が向上することに気づいた。実際、このような値について、第1の光源2は、源自体を見ることが困難な十分なグレア (glare) を発生させ、それによって、観察者が、眼の焦点合わせ機構によって源の距離を評価することを妨げる。したがって、これらの輝度値は、無限のブレークスルー効果を得ることに寄与する。さらに、グレアは、第1の光源2の輝度プロファイルの可能な不均一を検出することを難しくする。したがって、第1の光源2の像と太陽の像の違いを検出することを難しくする。

【0057】

20

本出願の出願人はさらに、第1の光源2のサイズおよび形状が、放出面 S_f の周囲を第1の表面 S_1 の重心 O に接続する光線が与えられた場合に、その光線が上述の光線 $RL3$ との間に形成する角度が、 4° 、好ましくは 3° 、より好ましくは 1.2° 、よりいっそう好ましくは 1.0° よりも小さくなるようなものである場合には、照明の自然品質が向上することを確認した。実際、このような角度のより小さな値がより大きな輝度値に関連づけられているとき、照明の自然品質は向上する。この条件はより自然な知覚を得ることを可能にする。

【0058】

図5aおよび5bに示されているように、第1の拡散器パネル4の詳細から独立して、第1のミラー22を、凹形に湾曲したミラー、例えば放物型の曲率を有する凹形に湾曲したミラーとすることができる。具体的には、図5aおよび5bに示されているように、円形の放物面（以後、円形放物面）の一部分として、すなわち母放物線 (generator parabola) をその軸 A を軸に、軸 A を含む任意の平面との交線が同じ母放物線を画定するような態様で回転させることによって得られる表面の一部分として、第1のミラー22を形づくることができる。具体的には、円形放物面のこの部分が、 90° 以外の角度をなす軸 A と交差する割平面 (secant plane) で円形放物面の一部分を分割することによって得られる。簡潔にするため、以後、円形放物面の一部分によってこのミラーが形成されていることを明示的に述べることなく、円形放物面に言及する。

30

【0059】

この実施形態によれば、第1の光源2が円形放物面の焦点に配置される。より正確には、第1の光源の放出面の重心から到来した、円形放物面によって反射された光線が、全ての伝搬方向が軸 A に対して平行な形で第1の表面 S_1 に当たるように、第1の光源2の放出面 S_f の重心 O'' が円形放物面の焦点に配置される。このようにすると、観察者は、太陽の場合に起こるのと同様に、第1の光源2があたかも事実上無限の距離のところに配置されているかのように第1の光源2を知覚し、これによって照明の自然品質が強化される。言い換えると、第1の光源2の虚像は、観察者から無限の距離のところにある。

40

【0060】

さらに、観察者によって知覚される第1の光源2のサイズは、網膜上の第1の光源2の像のサイズによって与えられ、第1の光源2の物理的な寸法、ならびに眼レンズ (結晶体) および円形放物面によって形成される光学望遠鏡システムの拡大倍率だけに依存する。

50

このような光学望遠鏡システムは、それぞれ眼レンズの焦点および円形放物面の焦点に配置された像平面および物体平面を有する。上述の拡大倍率は、眼レンズの焦点距離と円形放物面の焦点距離の比によって与えられる。したがって、観察者によって知覚される第1の光源2のサイズは、照明システム1から観察者までの距離に依存しない。したがって、この追加の条件は、自然光効果を生み出すのに寄与する。知覚される太陽のサイズは観察者の位置に依存しないためである。

【0061】

本出願の出願人はさらに、放出面 S_f が円として形づくられている場合、観察者によって知覚される第1の光源2の像も円形であることに気づいた。図5aに示された光学システムは像をねじらないためである。

10

【0062】

図5aに示された実施形態は、円形放物面によって反射された光線が 45° の角度で第1の拡散器パネル4に当たり、上述の幾何学的条件が満たされる場合に、照明システム1によって占有される垂直空間が、x軸に沿った第1の拡散器パネル4のサイズにほぼ等しいことを特徴とする。

【0063】

図5aに示された変型実施形態によれば、第1の拡散器パネル4の第1および第2の表面 S_1 および S_2 は楕円の形状を有し、このような形状は、軸Aによって与えられる方向に沿ったxy平面上への円形放物面22の投影によって包囲される。したがって、円形放物面によってxy平面に形成される光スポットSPは、第1および第2の表面 S_1 および S_2 に外接することができ、それによって光損失が低減する。さらに、第1のミラー22は、円形の発散を有する光ビームを受け入れるようにカットされる。すなわち、第1のミラー22は、放出面 S_f の重心 O'' と円形放物面の頂点を接続する線と直交する平面上への第1のミラー22の投影が円形の形状を有するか、またはその投影が良好な近似で少なくとも円に外接するようにカットされる。しかしながら、第1のミラー22の他の形状、例えばy方向に沿って細長い形状も可能である。

20

【0064】

この円形放物面の使用は、太陽光が窓から入った場合に起こるのと同様に、第1の拡散器パネル4を通して部屋6に入った光が、部屋6の床に、第1の拡散器パネル4と同じ形状および同じサイズの光スポットを投射することを意味し、それによって自然光効果に寄与する。さらに、観察者は、総称光源の距離を、その光源が発生させる光ビームの発散に基づいて評価することができるため、図5aに示された照明システム1は、たとえ第1の光源2が直接に観察者の視野に入らない場合であっても、大きな被写界深度の効果を生み出す。

30

【0065】

図6に示されているように、第1のミラー22を、円柱対称性を有する放物面の部分として、すなわち放物柱の一部分として形づくることができる。この部分は、3つの割平面で放物柱を横切ることによって得られる。詳細には、母放物線および基準線Rが与えられた場合に、放物柱は、基準線Rに平行な、母放物線上に入射する線によって形成される線織面(ruled surface)であることが知られている。言い換えると、放物柱は、基準線Rに沿った母放物線の平行移動によって得られる。以下では、基準線Rを円柱軸とも呼ぶ。

40

【0066】

図6に示された実施形態では、放物柱が、x軸に平行な方向の母放物線の平行移動によって得られる。さらに、母放物線は、xH平面にその頂点を有し、その軸Aは、第1の表面 S_1 の重心Oと第1のミラー22の反射面 S_r の重心 O' とを接続する線の鏡面反射である線に沿った向きを有する。この実施形態では、母放物線の頂点で放物柱に接する平面がxy平面に対して平行である。さらに、3つの割平面のうちの2つの割平面は例えばyH平面に対して平行であり、第3の平面は例えば平面xyに対して実質的に平行である。以後、簡潔にするため、放物柱の一部分によってこのミラーが形成されていることを明示的に述べることなく、放物柱に言及する。

50

【0067】

図6に示された実施形態では、入射角AOが実質的に45°に等しくなるように、放物柱が、軸Hからx軸に沿って側方に間隔を置いて配置される。

【0068】

より詳細には、xH平面内の、放物柱を形成する放物線の焦点によって形成された線の近くの位置であって、y軸および放物柱の重心を含む平面内の光線の伝搬に関するもの、より一般的には、y軸に平行な線に沿って第1の拡散器パネル4と交差する全ての平面内の光線の伝搬に関するものについて、第1の拡散器パネル4に向かって導かれる光線の最良のコリメーション(collimation)を保証する位置に、放出面S_fの重心O[”]が配置される。以下では、単純にするため、y軸に平行な線に沿って第1の拡散器パネル4と交差するこれらの平面内の平均発散を、y軸方向に沿った発散と呼ぶ。

10

【0069】

図6に示された実施形態は、x軸に沿った長さよりもy軸に沿った長さの方がかなり長い第1の拡散器パネル4を使用することを可能にし、それによって第1の拡散器パネル4の面積を最大にし、それによって観察者がブレークスルー効果を知覚する角度を最大にすることを可能にする。より正確には、第1の拡散器パネル4のこのような大きな伸長が可能であるのは、この実施形態が、y軸方向の大きな伸長を特徴とし、同時に同じy軸方向の限られた(出力)発散を維持するミラーの使用に依拠しているためである。より具体的には、本出願の出願人は、y軸方向に沿った第1の光源2の知覚されるサイズ、すなわちy軸方向に沿った知覚される放出面S_fの直径は、観察者と第1の光源2の間の距離に依存せず、またはこの距離に非常に弱く依存することに気づいた。x軸方向に沿って観察者によって知覚される第1の光源2のサイズに関して、このサイズは観察者の位置に依存し、距離とともに低下する。したがって、第1の光源2の円形の形状が知覚されることを保証する目的で、楕円形の放出面S_fを有する光源を採用することができ、この楕円の偏心は、部屋6の内側の予想される観察点に応じて固定される。

20

【0070】

放物柱を使用することにより与えられる別の利点は、この種のミラーは、平面鏡箔、例えばアルミニウム・ミラー箔によって得ることができるため、製造が容易なことである。さらに、垂直に立って、中心位置から、すなわち第1の表面S₁の重心Oを通して第1の光源2を見ている観察者、したがってy軸方向に沿って整列した眼を有する観察者に関して、この観察者は、第1の光源2を遠くにあると知覚する。観察者の眼の輻輳は、高い輻輳が起こる両方の眼を含む平面内(すなわちy軸方向)でしか機能しないためである。このことは、直交方向の光線発散がある場合でも起こる。

30

【0071】

異なる実施形態(図示せず)では、第1の拡散器パネル4が天井に対してではなく垂直壁に対して平行になり、第1の光源2からの光ビームが、垂直壁に対して約45°の角度で、床に平行な部屋6に入るような形で、照明システム1が装着される。この実施形態では、放物柱が、x軸に対してではなくy軸に対して平行な方向への母放物線の平行移動によって得られ、これは、眼がx軸に沿って整列した観察者にとって最大の奥行知覚を可能にする構成である。さらにこの場合には、垂直壁を超える照明システム1の高さが与えられた場合に、y軸方向に引き伸ばされた形状を採用することによって、第1の拡散器パネル4の最大面積を得ることができる。

40

【0072】

異なる実施形態では、反射システム20が、例えば図7に示されているような第2のミラー24を含むことができる。すなわち、前述の第1のミラー22を、反射システム20の複数のミラーのうちの1つのミラーであって、第1の光源2によって生み出された光線がそれに沿って第1の拡散器パネル4上へ運ばれる光路の最後の偏向を引き起こすミラーとすることができる。

【0073】

第2のミラー24は、第1のミラー22と第1の光源2の間に光学的に挿入される。こ

50

の場合、上述の幾何学的条件は変わらない。この条件は、反射システム 20 の全体に関するものであるためである。したがって、光線 RL 2 が、第 1 のミラー 22 での光線 RL 1 の反射によって生み出されたものであるのか、または第 1 および第 2 のミラー 22、24 上での光線 RL 1 の反射によって生み出されたものであるのかは無関係である。同様に、反射システム 20 は、追加の反射要素（図示せず）を含むことができる。

【0074】

第 1 および第 2 のミラー 22、24 はいずれも平面とすることができ、または異なる形状を有することができる。具体的には、図 8 に示されているように、第 1 のミラー 22 と第 2 のミラー 24 の両方が、2 つの対応する放物柱の部分として形づくられた実施形態が可能であり、それらの 2 つの対応する放物柱の部分は、母放物線によって生み出され、それらの母放物線は、直交する平面内にあり、直交方向に沿って平行移動され、したがって直交平面内で光のコリメーションを実行する。この実施形態では、例えば、第 1 のミラー 22 が、図 6 に示された放物柱と同様であり、第 2 のミラー 24 を形成する第 2 の放物柱が、xH 平面内の第 2 の母放物線を取り、その母放物線を y 軸方向に沿って平行移動させることによって得られる。したがって、第 2 の放物柱は、xH 平面内におけるビーム発散の低減を達成する。さらに、第 2 の母放物線の軸が、第 1 のミラー 22 の母放物線の軸に対して実質的に平行な方向に向けられているときには、それらの 2 つの放物柱が共通の焦点を共有し（または、より正確には、第 1 のミラー 22 の母放物線の焦点の位置がミラー 24 による反射を考慮している場合に、それらの 2 つの放物柱が共通の焦点を共有し）、このような共通の焦点に第 1 の光源 2 が実質的に配置されるようにこれらの 2 つの放物柱が配置されていれば、第 2 のミラー 24 によって第 1 のミラー 22 に向かって反射された光線の全ての方向の良好なコリメーションが得られることを本発明の出願人は確認した。

【0075】

図 8 に示された実施形態は、x 軸に沿った長さよりも y 軸に沿った長さの方がかなり大きい拡散器パネルを使用することを可能にし、したがって、第 1 の拡散器パネル 4 の面積を最大にすることを可能にする。この実施形態によって占有される垂直空間は、正方形パネルの場合に占有される垂直空間に等しい。さらに、この実施形態は、x 軸と y 軸の両方に沿った（すなわち x 軸に平行な線に沿って xy 平面と交差する平面および y 軸に平行な線に沿って xy 平面と交差する平面に沿った）低減された発散で第 1 の表面 S_1 に衝突する光ビームを発生させることを可能にする。したがって、透過光線は、太陽光線と同様の発散を有する。この条件は、たとえ第 1 の光源 2 が観察者の視野に入っていないときでも、大きな被写界深度知覚を生み出すのに寄与する。さらに、第 1 の光源 2 は共通の焦点の近くに配置されるため、観察者によって知覚される第 1 の光源 2 のサイズは距離に依存しない。最後に、ここでは、入射平面と直交平面の両方で実質的に同じ発散を有する第 2 のミラー 24 に衝突する光ビームから出発することによって、すなわち正方形のような断面を有する光ビームを発生させる光源を効率的に使用することによって、y 軸方向に沿って細長い拡散器パネルの照明が可能になる。これらの 2 つの直交方向の 2 つの別々のステップで初期ビーム発散の低減を実行することによって達成されるこの結果は、後述するように、非対称なビームが必要となる単一の放物柱の場合に対する利点を表す。

【0076】

第 1 の拡散器パネル 4 および反射システム 20 の詳細にかかわらず、第 1 の光源 2 は、前に説明したとおり、円または楕円の形状を有する放出面 S_f を有することができる。具体的には、反射システム 20 が、円柱対称性を有する少なくとも 1 つの放物面を含むときは常に、放出面 S_f は楕円の形状を有することができ、そのため、x 軸および y 軸に沿って導入される異なる拡大倍率が補償され、したがって観察者の網膜上に円形の光スポットを形成することが可能になる。

【0077】

図 9 a および 9 b に示されているように、第 1 の光源 2 を、一組の放出装置 50 によって形成することができる。それぞれの放出装置 50 は、LED 源 52 および対応する長方形型の複合放物集光器 (compound parabolic concentrator) (「CPC」) 54 によ

って形成され、C P C 5 4 は、入力開口 I N および出力開口 O U T を特徴とし、入力開口 I N および出力開口 O U T はそれぞれ、互いに平行で互いに整列した第 1 および第 2 の長方形として形づくることことができる。第 1 の長方形は第 2 の長方形よりも小さな面積を有する。さらに、第 1 の長方形の対称軸の長さ間の比は、第 2 の長方形のそれとは異なる。例えば、第 1 の長方形は第 2 の長方形よりも大きな比を有する。すなわち、第 1 の長方形は第 2 の長方形よりも細長い。L E D 源 5 2 は、L E D 放出器（図示せず）のアレイによって形成することができる。L E D 源 5 2 は、L E D 源 5 2 によって放出される放射が、入力開口 I N を通して C P C 集光器 5 4 に結合され、出力開口 O U T を出るような方式で、対応する入力開口 I N の近くに配置される。しかしながら、他のタイプの反射集光器も可能であり、同様に、L E D 以外の発光装置を使用することもできる。

10

【0078】

それぞれの放出装置 5 0 によって生み出される光ビームは長方形の断面を有し、この光ビームの発散は、ビーム自体の軸を含む平面内、すなわち、集光器 5 4 および対応する L E D 源 5 2 によって形成された対の光軸 5 6 と、図 9 a では 5 7 によって示された、出力開口 O U T によって画定される長方形の対称軸のうちの大きい方の対称軸とを含む平面内で最大である。異なる出力開口 O U T の場合、最大発散の平面は、伸長方向、すなわち出口 O U T の最大延長の方向と光軸 5 6 とによって張られることになる。

【0079】

最大発散平面およびその直交平面（この直交平面も光軸 5 6 を含む）内のビーム発散の量はそれぞれ、入力長方形の対応する辺の長さ $d_{I N}$ と出力長方形の対応する辺の長さ $d_{O U T}$ の比とともに増大／低減し、具体的には、この比のアークサイン、すなわち $\arcsin(d_{I N}/d_{O U T})$ の 2 倍に等しい。この点に関して、これらの直交する 2 つの平面内で発散が異なることを保証するため、入力開口と出力開口は、面積だけでなく形状も異なっていなければならない。

20

【0080】

入力開口 I N のサイズは、入力開口 I N が L E D 源 5 2 を取り囲むように選択されるべきである。図 9 a および 9 b の実施形態では、それぞれの集光器 5 4 が漏斗状の形状を有し、4 つの反射放物面によって形成される。それらの反射放物面はそれぞれ 1 次元的に湾曲しており、最大発散平面内またはその直交平面内にある母放物線を有する。全ての母放物線は、入力開口 I N がある入力平面内に焦点を有する。さらに、これらの 4 つの反射放物面は光軸 5 6 の方向に沿って同じ長さを有する。

30

【0081】

一実施形態によれば、放出装置 5 0 は全て等しく、集光器 5 4 は、入力開口 I N が同じ入力平面 $P_{I N}$ 内にあり、出力開口 O U T が同じ出力平面 $P_{O U T}$ 内にあるように配置される。具体的には、集光器 5 4 は、出力開口 O U T が互いに隣接するように互いに隣り合わせに配置される。すなわち、集光器 5 4 は、放出面 S_f の最大平均輝度が保証されるように密に束ねられる。さらに、集光器 5 4 の数および配置は、全ての出力開口 O U T の結合体によって構成される表面が円形の表面に近くなるような数および配置であるが、このように構成される表面が楕円形に近い実施形態も可能である。最後に、全ての放出装置 5 0 は、放出装置 5 0 の軸 5 6 が同じ方向を向くように配置される。この状況では、第 1 の光源 2 が、それ自体の「発散がより大きい方の平面」を有する。この平面は、放出面 S_f の重心 O'' を含み、放出装置 5 0 の最大発散の平面に対して平行な平面である。さらに、第 1 の光源 2 は、第 1 の光源 2 の発散がより大きい方の平面と第 1 の光源 2 の放出面 S_f との間の交線によって与えられる「発散がより大きい方の軸」5 8 を有する。複数の長方形の集光器 5 4 の場合に関してこの発散がより大きい方の軸が導入されたとしても、平行な軸 5 7 に沿って細長い出力開口を有する漏斗状集光器 5 4 の他の形状が、軸 5 7 に対して平行な発散がより大きい方の軸を依然として有する光源を与えることは明白である。

40

【0082】

図 9 a および 9 b に示された第 1 の光源 2 は、光ビームの諸特徴、具体的には光ビーム

50

の断面形状および発散を、損失を一切導入することなく、放出面 S_f の形状から切り離すことを可能にする。放出装置 50 が、長方形の断面を有する全く同じ「単位光ビーム」を生み出すこの場合には、出力開口 O U T の中心間の距離が、全ての単位光ビームの和 (summation) によって形成される合成光ビームの幅に比べて小さい。この和は、合成ビームの伝搬およびそれぞれの単位光ビームの発散によって起こる。実際には、これらの単位光ビームは、単一の単位光ビームと同じ長方形の断面および同じ発散を有する 1 つの合成光ビームになる。言い換えると、この合成光ビームは、互いにわずかにずらされた全く同じ複数の単位光ビームによって形成されるため、放出面 S_f の直径に対して大きな距離のところで、単一の放出装置 50 によって生み出されるビームの同じ形状および発散を有する。したがって、図 9 a および 9 b に示された実施形態は、合成ビーム自体の軸に対して直角で、第 1 の光源 2 から所望の距離のところにある平面内に、所望の面積および所望の形状の長方形である断面を有する合成ビームを生み出すことを可能にする。さらに、この実施形態は、任意の形状、例えば円または楕円の形状を有することができる放出面 S_f を有する光源を生み出すことを可能にする。以下では、この光源を「長方形ビーム源」と呼ぶ。例えば劇場に似た舞台光の標準投射器に対して実行されているようにナイフカット開口 (knife-cut aperture) および結像光学部品に頼ってはこの結果は得られないことは強調されるべきである。このビーム・カットは高い透過損失を生じさせる。したがって、この長方形ビーム源は、全体のエネルギー消費を最小化することを可能にする。

【0083】

示されていないが、第 1 の光源が複数の放出装置を備え、それぞれの放出装置が、正方形の形状を有する L E D 源および対応する正方形型の複合放物集光器によって形成され、複合放物集光器が、正方形の入力開口および正方形の出力開口を特徴とする、異なる実施形態が可能である。このようにすると、それぞれの放出装置は正方形のビームを発生させ、この正方形のビームは、2 つの直交方向において (すなわち集光器軸と出力開口の辺に平行な出力開口の 2 つの軸とを含む 2 つの平面内で) 同じ発散を有する。具体的には、この実施形態は、任意の形状の放出面 S_f について、所望の発散を有する正方形ビームを発生させることを可能にする。以下では、この第 1 の光源を「正方形ビーム源」と呼ぶ。

【0084】

別の異なる実施形態 (図示せず) では、第 1 の光源が複数の放出装置を備え、それぞれの放出装置が、円形の形状を有する L E D 源および対応する円形型の複合放物集光器 (図示せず) によって形成され、複合放物集光器が、円形の入力開口および円形の出力開口を特徴とする。この場合、第 1 の光源は、円対称性を有するビームを発生させる。したがって、この第 1 の光源は、任意の形状の放出面 S_f について、所望の発散を有する円形のビームを発生させることを可能にする。以下では、この第 1 の光源を「円形ビーム源」と呼ぶ。

【0085】

反射システム 20 が 1 つもしくは複数の平面鏡でできている場合、または反射システム 20 が、放物柱の形状を有する単一のミラーを含む場合、長方形ビーム源は、y 軸に沿って細長い光スポット S P、すなわち y 軸に沿って細長い長方形の形状を有する第 1 の拡散器パネル 4 の第 1 の表面 S_1 に外接する光スポット S P を得ることを可能にする。いずれにしても、長方形ビーム源は、反射システムのレイアウトの複雑さを低減させるために、その発散がより大きい方の軸 58 が、反射システム 20 によって y 軸上へ「マップされる」ような向きに向けられる。本発明の文脈では、放出面 S_f の重心 O'' から発し、発散がより大きい方の平面内にあるキャリア光線を含む幅の狭い光線束を考えたときに、反射システム 20 によって、この光線束が、y 軸に接する線に沿って第 1 の拡散器パネル 4 を横切る場合に、反射システムが、発散がより大きい方の軸を y 軸上へマップすると言う。例えば、反射システム 20 が、キャリア光線が単一の平面内で折り曲げられるような反射システムである場合、長方形ビーム源は、発散がより大きい方の軸 58 が y 軸に平行になるような向きに向けられる。

【0086】

反射システム 20 が、放物柱の形状を有し円柱軸が直交した 2 つのミラーを備える場合、正方形ビーム源の使用は有利である。この場合、実際には、y 軸に沿って細長い光スポット S P を得る目的で、第 1 の光源 2 からの異なる 2 つの距離のところで正方形ビームの初期発散が低減されることに依拠することが可能である。この実施形態は、典型的には正方形である市販の L E D 放出器と集光器との間の最適な結合を達成することを可能にする。

【0087】

さらに、反射システム 20 が、円形放物面の形状を有するミラーを備える場合には、円形ビーム源の使用が有利である。しかしながら、この場合には、光源 2 を、円形の L E D アセンブリに結合された単一の円形 C P C から構成することができる。この解決策は、円形の放出面 S_f を得ることを可能にする。

10

【0088】

図 10 は、この場合も第 1 の光源 2 が全く同じ C P C 集光器 54 によって形成された追加の実施形態を示し、C P C 集光器 54 の入力開口 I N および出力開口 O U T も例示的に長方形に形づくられている。しかしながら、この場合には、これらの出力開口 O U T によって形成される全体開口の上にマスク 60 が取り付けられている。出力平面 P_{OUT}にあるマスク 60 は、単一の出力開口 O U T の面積よりも大きな面積を有する丸められた長方形の形状を有するマスク開口 62 を画定する。具体的には、マスク開口 62 だけを通して放射が出力平面 P_{OUT}を横切ることができるように、マスク 60 は、光学的に吸収性の材料の層によって形成することができる。このようにしても、第 1 の光源 2 は依然として、円形の放出面 S_f を基本的に有するものとして知覚される。本出願の出願人はさらに、マスク 60 が、第 1 の表面 S₁ の平面内に形成される光スポット S P の形状を実質的に歪めないことに気づいた。

20

【0089】

反射システム 20 を形成するミラーの数および形状から独立して、照明システム 1 は第 2 の光源を含むことができる。この第 2 の光源は、拡散光を放出する層を備え、この層は、透明であるかまたは少なくとも部分的に透明である。使用時、この追加の光源は、第 1 の光源 2 によって照明されることから独立して放出層から拡散光を放出し、第 2 の光源の拡散光放出層を通して見た観察者は、この放出層の向こう側に第 1 の光源 2 を見ることができる。本明細書の説明では、いわゆる「シースルー (see through)」光学特性、すなわち像を形成する光を透過させる光学要素の特性を示すために、用語「透明」が使用される。より具体的には、拡散光放出層から大きな距離のところに置かれた点状 D 65 標準光源によって生み出された光ビーム（したがって互いに平行な光線によって構成されたビーム）であって、拡散光放出層の一部が D 65 標準光源によって生み出されたある光線束によって照明されるように拡散光放出層に対して直角に導かれた光ビームを考えると、8 ° 以下、好ましくは 4 ° 以下、最も好ましくは 2 ° 以下の F W H M 開口角を有する円錐内で、束の光線のうちの少なくとも 50 %、好ましくは 70 %、より好ましくは 85 % が拡散光放出層を透過する場合、その拡散光放出層は部分的に透明であると定義される。完全にするため、第 1 の拡散器パネル 4 も部分的に透明であることも述べておかなければならない。

30

40

【0090】

実際の観点から、円形の放出面から光を均一に放出する標準光源（例えば D 65 源）が使用され、標準観察者が、8 °、好ましくは 4 °、最も好ましくは 2 ° の円錐形の立体角の下で放出面を見るときと、部分的に透明な拡散光放出層が観察者と放出面の間に挿入されているときに観察者によって知覚される放出面の輝度はしたがって、拡散光放出層がないときに観察者によって知覚される対応する輝度の少なくとも 50 %、好ましくは少なくとも 70 %、より好ましくは少なくとも 85 % である。

【0091】

図 11 に示されているように、第 2 の光源（68 によって示されている）は、第 1 の拡散器パネル 4 に対して平行に、例えば第 1 の拡散器パネル 4 の上方に、例えば第 1 の拡散

50

器パネル4とじかに接触するように配置することができる。

【0092】

第2の光源68は、第2の拡散器パネル64および照明器66を備えることができる。照明器66によって放出された光が第2の拡散器パネル64の内側で導波モードで伝搬し、第2の拡散器パネル64がその光を均一に拡散するように、第2の拡散器パネル64は、照明器66によって側面が照らされる光ガイドとして形づくられ、照明器66は、一例として、複数のLEDからなる直線ストライプまたは蛍光管ランプによって形成される。第2の拡散器パネル64は例えば、例えば「Acrylite（登録商標）LED」または「Plexiglas（登録商標）LED EndLighten」としての側面照明に適した市販の拡散器とすることができる。さらに、図11に示されているように、第2の拡散器パネル64の軸Hに沿った厚さは、軸Hに対して直角な方向Kに沿った厚さに比べてごく小さい。

10

【0093】

特定の一構成では、第2の拡散器パネル64が、第3の材料（例えば第1の材料に関して以前に挙げた材料の中から選択された材料）によって形成され、この第3の材料の中には、第4の材料（例えばZnO、TiO₂、ZrO₂、SiO₂、Al₂O₃）の微粒子が分散している。このような第3および第4の材料は、可視範囲の波長を有する光を吸収しない。具体的には、微粒子の直径は2 μmから20 μmの範囲とすることができる。

【0094】

使用時、第2の拡散器パネル64によって案内された放射の部分は、第2の拡散器パネル64に沿って伝搬している間に、第4の材料の微粒子による拡散によって第2の拡散器パネル64を出る。第2の拡散器パネル64の軸Hに沿った厚さは、方向Kに沿った厚さに比べてごく小さいため、第2の拡散器パネル64は、軸Hに沿って伝搬している放射に対しては基本的に透明だが、方向Kに沿って伝搬している放射に対しては拡散器として機能する。

20

【0095】

さらに、第2の拡散器パネル64の上面および下面が、第3および第4の表面S₃、S₄によって境界画定されていると仮定すると、このような第3および第4の表面S₃、S₄のうちの少なくとも一方の表面に表面仕上げを実施して、粗さを導入することができる。このような粗さは、照明器66によって生み出された光の第2の拡散器パネル64による拡散に寄与し、この拡散過程は、方向Kに対して平行な任意の方向に沿って事実上均質である。照明器66によって生み出される光の大きな部分が、第3および第4の表面S₃、S₄のうちの一方の表面を主に通過して、具体的には第1の拡散器パネル4に向かって散乱するように、それ自体が知られている方式で、粗さを設計することができる。第3および第4の表面S₃、S₄のうちの少なくとも一方の表面が粗さを特徴とする場合には、第2の拡散器パネル64内に微粒子を分散させる必要はない。いずれの場合も、粗さは、第2の拡散器パネル64の第3と第4の表面S₃、S₄の両方に存在することができる。

30

【0096】

異なる一構成では、第2の光源68が、OLEDフィルムでできた実質的に透明な放出面を含む。OLEDフィルムは、制御された色および強度を有する拡散光を発生させることもでき、同時に、OLEDフィルムの表面に対して直角な方向に沿ってOLEDフィルムを横切る光に対して透明である。

40

【0097】

第2の光源68は、照明システム1によって生み出される拡散光成分の色および強度を、基本的に透過成分の色および強度を変化させることなく、変化させることを可能にする。この目的のために、第2の光源68によって放出される光の色および強度に働きかけることが可能である。

【0098】

例えば、遅い午後の光の特徴を再現することを目的に、低いCCTを有するランプ、例えばCCTが2500Kのランプを、第1の光源2として使用することができる。このようにすると、透過成分の色は、日没前の太陽光の色に似る。第2の光源68がない場合、

50

第1の拡散器パネル4だけによって散乱する成分の色は、対応する自然成分の色とは異なるであろう。実際、自然界で起こるのは、観察者の上方の空が、白色の太陽光によって、すなわちランプのCCTよりもはるかに高い値である6000Kにほぼ等しいCCTを有するまだ大気を横切っていない太陽光によって照らされるというものである。結果として、第1の拡散器パネル4を照明する第1の光源2が低いCCTを有する場合、午後の遅い時間に観察者の上方の空によって散乱する光のCCTは、第1の拡散器パネル4によって散乱する光のCCTよりもかなり高い。しかしながら、第2の光源68が使用される場合、具体的には、第2の拡散器パネル64が照明器66とともに使用され、照明器66が、赤、緑、青（「RGB」）のLED放出器の集合からなる場合には、そのような3つのそれぞれの要素に対する光束を調整することが可能であり、このことは、第1の拡散器パネル4を出、第1および第2の拡散器パネル4、64によって散乱した全体の成分が所望の色を有するような態様の色および強度を有する散乱成分を、第2の拡散器パネル64が発生させることを可能にする。言い換えると、第2の源68は、透過成分の色を散乱成分の色から切り離すことを可能にする。さらに、調整可能なCCTを有するランプが第1の光源2として使用される場合、日中のさまざまな時刻における自然光の変動を再現することができる。

10

【0099】

第1の光源2によって生み出された光が、第1の拡散器パネル4を通過してから第2の拡散器パネル64を通過するような方式で、第1の拡散器パネル4の下に第2の光源68が置かれた他の実施形態も可能である。さらに、第1の拡散器パネル4と第2の拡散器パネル64が物理的に分離された追加の実施形態も可能である。

20

【0100】

第1の拡散器パネル4なしで、すなわちレイリー・パネルなしで第2の光源68が使用される実施形態も可能である。この場合、軸Hは、拡散光放出層に対して直角な、拡散光放出層の重心を通る線である。

【0101】

以上のことを考慮すると、開示された実施形態は全て、第1の光源と、拡散光発生器と、ダーク・チャンバとを含み、拡散光発生器が、（ダーク・チャンバに面した）内面と（部屋に面した）外面とによって境界画定された層状の構成部品として形づくられており、第1の光源が、可視光ビームを放出するように構成されており、ダーク・チャンバが、拡散光発生器を介して部屋に光学的に結合されているシステムに関する。さらに、拡散光発生器は、可視光ビームを受け取り、可視光ビームに対して少なくとも部分的に透明であり、可視光ビームの少なくとも部分を透過させ、可視拡散光を外側から放出し、可視拡散光のCCTよりも低いCCTを有する透過光を発生させるように構成されている。拡散光発生器は、色吸収（chromatic absorption）または色反射（chromatic reflection）から、すなわち可視光スペクトルの限定された部分を別の部分よりも優先的に吸収または反射することから、実質的に自由であることができる。

30

【0102】

より具体的には、拡散光のCCTは透過光のCCTよりも高く、より具体的には、透過光のCCTは、第1の光源によって生み出される光ビームのCCT以下である。さらに、既に述べたとおり、本発明の文脈では、光学要素を「透過した」光が、光学要素に衝突した光線のうち、角偏向をあまり受けることなく光学要素を横切った部分、例えば0.1°よりも小さな角度だけ偏向して光学要素を横切った部分を意味する。したがって、衝突した光ビームが透過光成分を生成するとき、光学構成部品は、衝突した光ビームの「少なくとも一部分を透過させる」と言われる。

40

【0103】

上で説明したとおり、拡散光発生器は、レイリー拡散層、すなわち主光源から到来した光放射の短波長成分を選択的に拡散させる層によって形成することができる。このレイリー拡散層は、例えば（第1の拡散器パネル4の場合のような）平らなパネルとして、または湾曲したパネル（図示せず）として形づくられる。それに加えてまたはその代わりに、

50

拡散光発生器を、拡散光源、すなわち、主光源から受け取られる光から独立して軸Hと直交する延長された層から拡散光を放出する光源によって形成することもできる。拡散光源だけを使用する場合、この源は、例えば第1の拡散器パネル4によって生み出された拡散光の色を補正するには機能せず、照明システムによって放出される光の全拡散成分を発生させるように機能する。ある種の実施形態では、内面に内接する第1の円が、同じ内面に外接する第2の円よりも少なくとも1.5倍、好ましくは2倍小さい直径を有するという意味において、拡散光発生器が細長い形状を有する。

【0104】

さらに、レイリー拡散層および／または拡散光を放出する光源の存在に関するこれらの考慮事項は、以下で説明する変型実施形態にも当てはまる。

10

【0105】

本発明の照明システムによってもたらされる利点は、以上の説明によって明らかにされている。

【0106】

詳細には、本発明の照明システムは、空および太陽が窓を通して部屋を照明するとき自然界で起こることと同様に、観察者が、拡散光発生器の向こう側に無限の空間が存在すると知覚することを可能にする。このような結果は、拡散光発生器によって部屋に結合されたダーク・チャンバの存在に起因する。ダーク・チャンバは、第1の拡散器パネルおよび／または第2の拡散器パネルが観察されるあらゆる方向から均質な黒色の背景を知覚することを可能にする。さらに、このような効果は、観察者から源までの適当な距離（したがって第1のパネルから源までの適当な距離および／もしくは第2のパネルから源までの適当な距離）を採用することによって、ならびに／または限られた範囲の傾斜を特徴とするような方式で光線を反射する反射システムを使用することによって改良される。

20

【0107】

さらに、本発明のいくつかの実施形態は、前述のブレイクスルー効果を生じさせ、同時に、照明システムによって占有される空間を制限する。具体的には、図2に示された実施形態は、軸外れ照明システム、すなわち光源と第1の拡散器パネルが整列していないシステムであり、このことは、システム自体によって占有される空間を、照明の品質を損なうことなく低減することを可能にする。

【0108】

結局、添付の特許請求の範囲によって定義される本発明の範囲を逸脱しない範囲で、本照明システムに修正および変更を加えることができることは明白である。

30

【0109】

例えば、反射システムの光学要素の1つの／複数の焦点に対する光源の位置を、記載した位置とは異なる位置とすることができる。さらに、収束鏡の代わりにまたは収束鏡に加えて、反射システムが発散鏡を備えることもできる。加えて、発散の完全な除去を達成するため、少なくともy軸方向に沿って、ミラーのより複雑な形状（例えばフリーフォームの形状）を検討することもできる。

【0110】

さらに、ダーク構造体（dark structure）の形態を、以前に示したものとは異なるものにすることもできる。実際、実質的に均一な背景を提供するためには、その幾何学的特徴および／または光吸収特徴が、第1の光源2（および存在する場合には照明器66）がオンであるときには、図12を参照して以下に記載される第1の構造条件が当てはまるようなものであるダーク構造体を形成すれば十分である。単純にするため、一般性の損失なしに、図12には、点状光源型の第1の光源。さらに、ダーク構造体が300で示されており、一般性の損失を含意するものではなく、ダーク構造体はコーナを持たない。いずれにせよ、以下に記載される第1の構造条件は、例えば支持要素10および内層12の諸特徴にその条件を適用することによって、以前に記載した実施形態にも適用可能である。また、図12では角度が定性的に示されている。

40

【0111】

50

詳細には、上述の第1の構造条件は、少なくとも0.1ステラジアントップ・アングル (top angle) および束軸210を有する方向束 (direction sheaf) (例えば円錐形の束) 200が与えられた場合、第2の表面 S_2 の全面積の少なくとも50%、好ましくは少なくとも80%、よりいっそう好ましくは少なくとも100%に等しい面積を有する第2の表面 S_2 の少なくとも一部分の任意の第1の点220において、以後、第1の背景輝度および第2の背景輝度と呼ぶ第1の点220の第1の輝度と第2の輝度が、第1の背景輝度の50%以下だけ互いに異なると規定している。より詳細には、第1および第2の背景輝度がそれぞれ、第1および第2の観察方向230、240に測定され、第1の観察方向230が、方向束200の方向のうちどの方向に対しても平行であり、局所眩目方向 (local dazzling direciton) 250のうちどの方向に対しても平行ではなく、第2の観察方向240が、第1の観察方向230から0.3°と1°の間の範囲の角距離だけ離して設定され、局所眩目方向250のうちどの方向に対しても平行ではなく、局所眩目方向250が、第1の点220から第1の光源2の任意の点を見る任意の方向260から3°未満だけ離して設定された方向である (点状源を仮定すると1つの方向260だけが存在する)。より詳細には、第1および第2の背景輝度がそれぞれ、ダーク構造体に当たった、部屋6 (図12には示されていない) をこれまで通過しなかった、したがって部屋6から到来して第2の表面 S_2 をこれまで横切らなかった光線だけによって形成される。

10

【0112】

一例として、第1の背景輝度と第2の背景輝度のいずれかを参照すると、背景輝度は、第1の拡散器パネル4を可視範囲の第1のアネコイック・チャンバ (anechoic chamber) に結合するとの仮定の下で、すなわち、部屋6が衝突光の100%を吸収すると仮定することによって、および以下のステップを実行することによって測定することができる：

20

- － ダーク構造体300を可視範囲の第2のアネコイック・チャンバに置き換えた後に、上述の第1の点220の輝度 L_1 を、第1の観察方向230において測定するステップと、その後に、
- － 第2のアネコイック・チャンバを除去し、ダーク構造体300を提供するステップと、その後に、
- － 第1の点220の輝度 L_2 を、やはり第1の観察方向230において測定するステップと、
- － 輝度 L_2 と輝度 L_1 の差を計算するステップ。

30

【0113】

図12に示されているように、束軸210は、第1の点220から第1の光源2を見る方向260と一致することがある。さらに、方向束200および第1の拡散器パネル4に対する方向束200の姿勢 (attitude) は、第2の表面 S_2 上の上述の第1の点220の位置に対して不変である。

【0114】

以前に述べたとおり、第1の構造条件は、他の実施形態によっても満たされることがある。したがって、一例として、支持要素10および内層12は示したものとは異なるが、第1の構造条件をどんな形で満たすことも可能である。一例として、内層12が支持要素10の一部分だけをコーティングしてもよく、支持要素10が、2つ以上の部片で形成されてもよい。この点に関して、ダーク構造体の少なくとも部分を、第1の光源2のハウジングによって、または1つもしくは複数のスクリーンによって形成することができる。同様に、支持要素10は、例えば可視範囲において無光沢の対応する要素によって閉じられまたはれんが積み要素によって覆われた、1つまたは複数の光学開口を特徴とすることができる。

40

【0115】

ダーク構造体300はさらに、第2の構造条件を満たすように、すなわち第1の光源2がオンであるときに、上述の第1の背景輝度が、第1の点220の第1の観察方向230

50

の全輝度の30%に等しい輝度しきい値よりも大きくならないように、構成することができる。この全輝度は、部屋6から到来する光線がないとの仮定の下で測定され、したがって前述の第1のアネコーニック・チャンバによって測定される。さらに、第2の構造条件は満たされるが、第1の構造条件は満たされない実施形態も可能である。さらに、第2の構造条件は、他の実施形態によっても満たされることがある。したがって、一例として、支持要素10および内層12が示されたものとは異なるが、第2の構造条件をどんな形であれ満たすことも可能である。

【0116】

以前に記載した全ての実施形態に適用可能なダーク構造体の別の例が図13に示されている。この例では、吸収パッチ310と呼ぶ内層の対応する部分によって支持要素10の一部だけがコーティングされている。吸収パッチ310は、可視範囲の実質的に均一な吸収係数、および／または少なくとも70%、好ましくは少なくとも90%に等しい可視範囲の吸収係数を有し、さらに、吸収パッチ310はエッジ・フリー (edge-free) であることが好ましく、第1の表面 S_1 の少なくとも50%、好ましくは少なくとも80%に等しい面積を有する。

【0117】

別の実施形態が図14に示されている。この図では、単純にするため、第2の拡散器パネル64および照明器66がない場合を参照する。さらに、図14には、ダーク構造体および反射システムも示されていない。この実施形態では、第1の拡散器パネル4の下流に、例えば反射面320などの視覚基準要素 (visual reference element) が配置される。反射面320は、縁によって境界画定される。反射面320は、その少なくとも一部分が、縁の対応する部分とともに、第1の光源2によって生み出され第1の拡散器パネル4を透過した光によって照らされるように配置される。反射面320のこの部分は、反射面320の全面積の少なくとも50%、好ましくは少なくとも70%、よりいっそう好ましくは少なくとも100%に等しい面積を有する。さらに、反射面320のこの部分は、第1の光源2を反射面320に接続する光路のうちの最も短い光路が、反射面320のこの部分の任意の2点間の最大距離の少なくとも50%、好ましくは少なくとも70%、よりいっそう好ましくは少なくとも100%に等しい長さを有するような部分である。

【0118】

図15に示されているように、2つの部屋間の隔壁350によって視覚基準要素を形成することができる。隔壁350は、対応する開口を境界画定し、この開口は、それらの2つの部屋を光学的に連通した状態に置く。したがって、この開口は、(縁を除いて) 物質のない表面を形成し、縁の対応する部分によって境界画定された、反射面320の上述の部分に関して少し前に述べた要件を満たすそれぞれの部分を有する。

【0119】

実際には、図14および15に示された実施形態を参照すると、観察者が移動する速度と、視覚基準 (反射面320および隔壁350の開口の上述の部分の縁) に対して移動する第1の光源2を観察者が見る速度との比が1に近いほど、すなわち観察者が視覚基準に近いほど、いわゆる運動視差によって引き起こされる奥行効果は大きくなる。さらに、反射面320の上述の部分および隔壁350の開口の上述の部分は、一例として第2の表面 S_2 の面積の $1/10$ 、好ましくは $3/10$ 、よりいっそう好ましくは $1/2$ に等しい幅の狭い面積を有することができる。

【図 4 b】

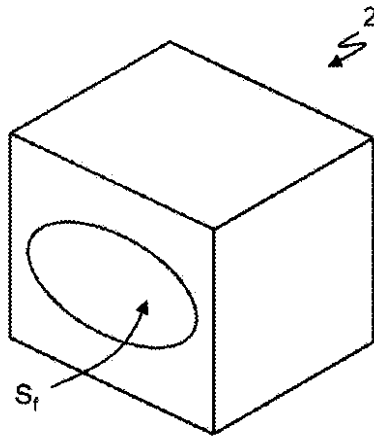


Fig.4b

【図 5 a】

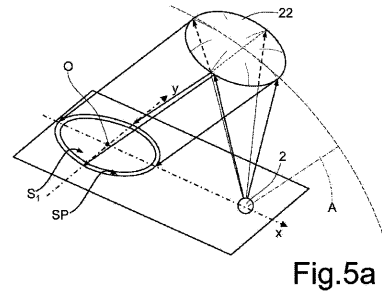


Fig.5a

【図 5 b】

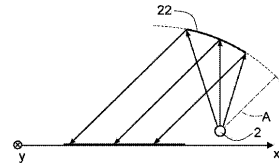


Fig.5b

【図 6】

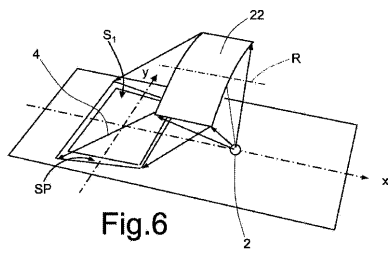


Fig.6

【図 8】

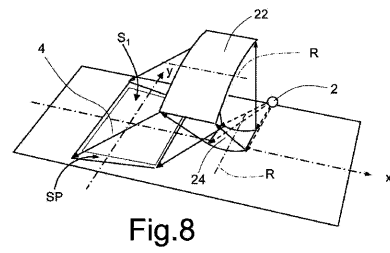


Fig.8

【図 7】

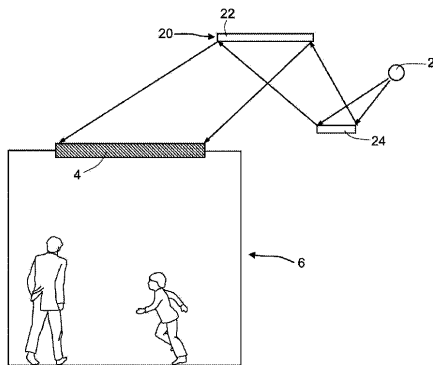


Fig.7

【図 9 a】

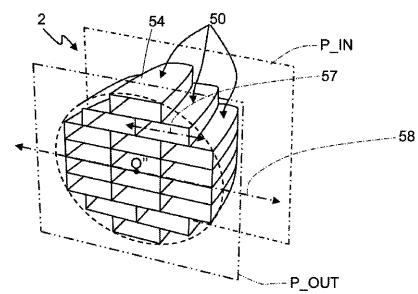


Fig.9a

【図 9 b】

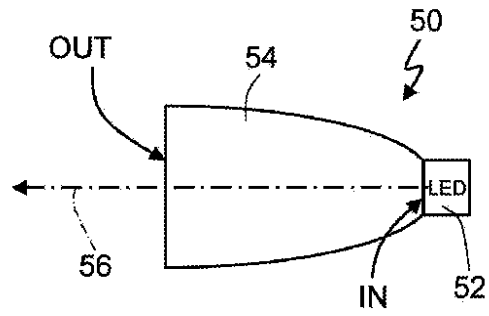


Fig.9b

【図 10】

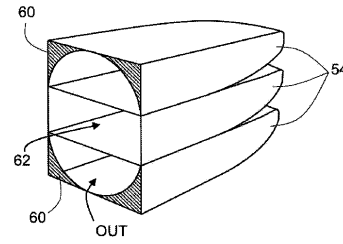


Fig.10

【図 11】

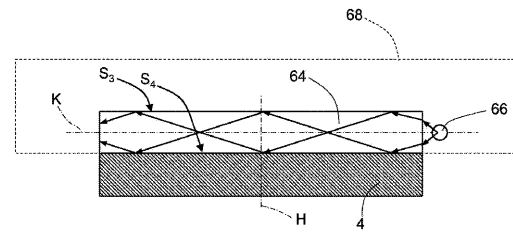


Fig.11

【図 12】

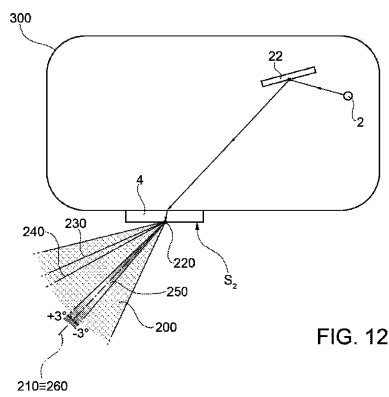


FIG. 12

【図 14】

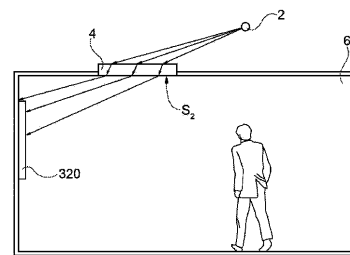


FIG. 14

【図 15】

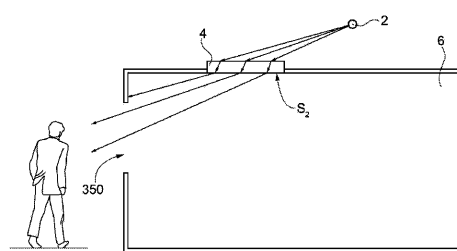


FIG. 15

【図 13】

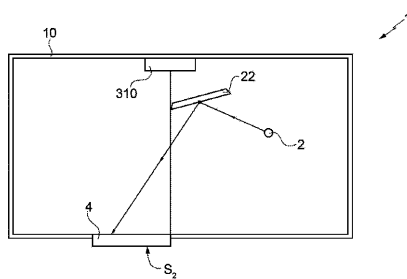


FIG. 13

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 2 1 Y 115/15 (2016.01) F 2 1 Y 115:15

(72)発明者 パオロ ディートラパニ
イタリア 22100 コモ ヴィア ジ. フェラーリ 14 シー/オー コエルクス ソシエ
タ ア レスポンサビリタ リミタータ

(72)発明者 ダビデ マガッティ
イタリア 22100 コモ ヴィア ジ. フェラーリ 14 シー/オー コエルクス ソシエ
タ ア レスポンサビリタ リミタータ

審査官 津田 真吾

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0194270 (US, A1)
特開平04-292801 (JP, A)
特開2001-167607 (JP, A)
国際公開第2011/152082 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 2 1 S 8/02
F 2 1 S 8/04
F 2 1 V 9/00