

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 1 月 30 日(30.01.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/017652 A1

- (51) 国際特許分類:
F21S 2/00 (2006.01) *F21V 13/02* (2006.01)
F21V 5/04 (2006.01) *F21Y 101/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/070379
- (22) 国際出願日: 2013 年 7 月 26 日(26.07.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-167663 2012 年 7 月 27 日(27.07.2012) JP
PCT/JP2013/068124 2013 年 7 月 2 日(02.07.2013) JP
- (71) 出願人: シャープ株式会社(SHARP KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒5458522 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 番 2 号 Osaka (JP). 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目 1 番 1 号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 内田 龍男(UCHIDA Tatsuo). 鈴木 芳人(SUZUKI Yoshito). 川上 徹(KAWAKAMI Tohru). 石鍋 隆宏(ISHINABE Takahiro). 江原 克典(EHARA Katsunori). 橋本 佳弘(HASHIMOTO Yoshihiro). 松岡 俊樹(MATSUOKA Toshiki). 中村 浩三(NAKAMURA Kozo). 伊藤 康尚(ITO Yas-

uhisa). 山元 良高(YAMAMOTO Yoshitaka). 石井 裕(ISHII Yutaka). モンゴメリー デイヴィッド(MONTGOMERY David).

(74) 代理人: 奥田 誠司(OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目 8 番 1 6 号 大阪証券取引所ビル 10 階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).

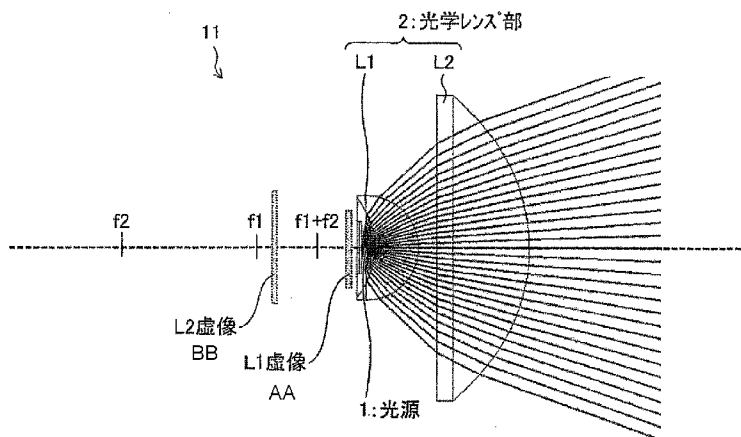
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: ILLUMINATION DEVICE

(54) 発明の名称: 照明装置



- 1 Light source
2 Optical lens unit
AA L1 virtual image
BB L2 virtual image

(57) Abstract: An illumination device (100) is provided with a surface light source (1), a first lens (L1) that has a first focal point (F1) and is disposed on the light-emission surface side of the surface light source, and a second lens (L2) that has a second focal point (F2) and is disposed on the light-emission surface side of the first lens. The surface light source, the first lens, and the second lens are configured so that a first virtual image (I1) is formed by the first lens and a second virtual image (I2) is formed by the second lens. The first virtual image (I1) is formed between the second focal point (F2) and the first lens. The second focal point (F2) is located further to the side opposite the light source than a prescribed focal point position (f').

(57) 要約: 照明装置 (100) は、面光源 (1) と、第 1 の焦点 (F1) を有し面光源の光出射面側に配置された第 1 レンズ (L1) と、第 2 の焦点 (F2) を有し第 1 レンズの光出射面側に配置された第 2 レンズ (L2) とを備え、第 1 レンズによって第 1 の虚像 (I1) が形成され、かつ、第 2 レンズによっ

て第 2 の虚像 (I2) が形成されるように、面光源、第 1 レンズおよび第 2 レンズが構成されており、第 2 の焦点 (F2) と第 1 のレンズとの間に第 1 の虚像 (I1) が形成され、第 2 の焦点 (F2) が、所定焦点位置 f' よりも光源側とは反対側に位置している。

WO 2014/017652 A1

WO 2014/017652 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：照明装置

技術分野

[0001] 本発明は、面光源を備える照明装置に関する。

背景技術

[0002] 一般的な照明装置として、例えば図 6 2 に示す照明装置 9 0 0 が知られている。

[0003] 上記照明装置 9 0 0 は、図 6 2 に示すように、メニスカスレンズ L 1 と非球面レンズ L 2 とを含むコリメート光学系 L C を有し、この光学系の焦点位置に L E D 光源 1 0 を配置した構成となっている。

[0004] ここで、L E D 光源 1 0 の光軸 A X 上に存在する一点から出射される光については、図 6 2 に示すように、上記光軸 A X に平行なコリメート光として取り出される。一方、L E D 光源 1 0 は点光源ではなく面光源である為、光軸 A X から外れた場所から出射される光も存在する。光軸 A X から外れた場所から出射された光は、光軸 A X と異なる方向に照射する為、前述の光軸 A X 上に存在する一点から出射された光と異なる場所に照射される。このため、照射面内での照度均一性が得られないという問題が生じる。

[0005] しかも、メニスカスレンズ L 1 と L E D 光源 1 0 が離れている為、L E D 光源 1 0 から大きな角度で発光する光がメニスカスレンズ L 1 に入射されないおそれがある。

[0006] 特許文献 1 および 2 には、L E D 発光体から出射される光の殆ど全てを利用できる光源が開示されている。

[0007] 特許文献 1 に記載の光源は、L E D 発光体と、L E D 発光体を内包する内部レンズと、これらを覆うメニスカスレンズとを有している。また、特許文献 2 に記載の光源は、L E D 発光体と、空隙を空けて L E D 発光体を覆うメニスカスレンズとを有している。これらの光源において、メニスカスレンズの内側面によって形成される虚像 $V 1_1$ は、L E D 発光体よりもさらに外側（

レンズの光出射面側)に生成される。

- [0008] 上記のように、メニスカスレンズ内側面によって形成される虚像 V_1 が、LED発光体よりもさらに外側に生成される場合、LED発光体から出射される光の殆どがメニスカスレンズに入射されるようになる。このことによって、LED発光体から出射される光の利用効率を高めることができる。

先行技術文献

特許文献

- [0009] 特許文献1：米国特許第7,798,678号
特許文献2：国際公開第2008/016908号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] しかしながら、特許文献1および2の光源では、上述のように、LED発光体から出射される光のほとんど全てを利用することができるものの、照射面の均一性を実現することは考慮されていない。例えば、レンズの光軸から外れた場所から発光する光は、光軸上から発光する光と異なる領域を照射してしまい、照射面の均一性は得られない可能性があった。また、面光源における光出射面で生じ得る強度のムラが、照射領域に反映してしまい、これによって、不均一な照射領域が形成されてしまう場合もあった。
- [0011] 本発明は、上記課題を解決するために為されたものであり、照射光強度の均一性が高い照明装置を提供することをその目的とする。

課題を解決するための手段

- [0012] 本発明の実施形態による照明装置は、光出射面を有する面光源と、第1の焦点を有し前記面光源の前記光出射面側に配置された第1レンズと、第2の焦点を有し前記第1レンズの光出射面側に配置された第2レンズとを備え、前記第1レンズによって第1の虚像が形成され、かつ、前記第2レンズによって第2の虚像が形成されるように、前記面光源、前記第1レンズおよび前記第2レンズが構成されている照明装置であって、前記第2の焦点と、前記

第1レンズとの間に、前記第1の虚像が形成され、前記第2の焦点は、前記第2レンズの主点から所定焦点距離 f' だけ離れた位置よりも前記面光源とは反対の側に位置しており、前記第2レンズの主点と前記第1の虚像の位置との間の距離を l' とし、前記第2レンズの有効径を D とし、前記面光源の光出射面のサイズまたは前記面光源に含まれる複数の発光素子の配列ピッチのいずれか一方である光源サイズファクタを ε とすると、前記所定焦点距離 f' は、 $l' = (D / (\varepsilon + D)) \cdot f'$ を満たす。

[0013] ある実施形態において、前記第1レンズによって形成される前記第1の虚像が、前記第2レンズの焦点よりも前記面光源側に位置している。

[0014] ある実施形態において、前記第1の焦点と前記第1レンズとの間に前記第1の虚像が形成され、かつ、前記第2の焦点と前記第2レンズとの間に前記第2の虚像が形成される。

[0015] ある実施形態において、前記第1レンズと前記第2レンズとの合成焦点と、前記第1レンズとの間において、前記第1の虚像および前記第2の虚像が形成される。

[0016] ある実施形態において、前記第1レンズと前記第2レンズとを含む第1の光学系の光出射側に、第2の光学系がさらに設けられている。

[0017] ある実施形態において、前記第2の光学系は、前記第1の光学系に対して最も近接する凹レンズと、前記第1の光学系に対して前記凹レンズの次に近接する凸レンズとを含む。

[0018] ある実施形態において、前記第1レンズの光出射面と前記第2レンズの光入射面とが接合している。

[0019] ある実施形態において、前記第1レンズと前記第2レンズとは、樹脂により一体成型されている。

[0020] ある実施形態において、前記第1レンズの前記面光源に対向する側のレンズ面は凹曲面であり、光軸上における前記面光源の光出射面から前記第1レンズの凹曲面までの距離を d 、前記第1レンズの前記凹曲面が有する曲率半径を R としたとき、前記光出射面を配置可能な位置の範囲幅 h は、 $h \leq 2\sqrt{Rd}$

($d(2R - d)$) で表される。

- [0021] ある実施形態において、前記第1レンズおよび第2レンズを含む光学レンズ部の主点から、前記光出射面までの距離を a 、前記光学レンズ部の主点から焦点位置までの距離を f としたとき、 $a < f/2$ を満たす。
- [0022] ある実施形態において、前記面光源は、互いに離間して配置された複数の発光素子を含む。
- [0023] ある実施形態において、前記第1レンズおよび前記第2レンズは、アップ数が54以上の材料から形成されている。
- [0024] ある実施形態において、前記第1レンズおよび前記第2レンズは、耐熱性を有する材料から形成されている。
- [0025] ある実施形態において、前記第1レンズおよび前記第2レンズのうちの少なくとも一方は、アクロマートレンズである。
- [0026] ある実施形態において、前記アクロマートレンズは、凹レンズと前記凹レンズに密着する凸レンズとから構成されており、前記凹レンズと前記凸レンズとの中央部における接合界面が平面である。
- [0027] ある実施形態において、前記面光源と前記第1レンズとの間に設けられた光拡散層をさらに有する。
- [0028] ある実施形態において、前記光拡散層のヘイズ値は5%～50%である。
- [0029] ある実施形態において、前記面光源は、ピッチ P で並べられた複数の発光素子と、前記複数の発光素子と重なるように配置された蛍光体とを含み、前記蛍光体のエッジと、前記蛍光体のエッジに最も近い位置に配置された発光素子のエッジとの間の距離を A としたとき、 $A \leq P$ を満たす。
- [0030] ある実施形態において、前記第2レンズの光出射側に配置され、前記第2レンズから出射された光の一部のみを遮るように設けられたフードをさらに備える。
- [0031] ある実施形態において、光軸上における、前記面光源の発光面の位置から前記フードの先端の位置までの距離 $L_{f1} + L_{f2}$ は、角度－相対照度グラフの傾きが -0.1 よりも小さくなる最小の角度を θ_1 とし、迷光領域の光

束／（照射領域の光束＋迷光領域の光束）で表される迷光割合が１％以下となる出射角度を θ_2 とし、前記フードの半径を R_f としたとき、 $R_f / \tan \theta_2 < L_{f1} + L_{f2} < R_f / \tan \theta_1$ を満たす。

[0032] ある実施形態において、前記第１レンズの光出射面および光入射面ならびに第２レンズの光出射面および光入射面のうちの少なくとも１つにおいて反射防止層が設けられている。

[0033] ある実施形態において、前記第１レンズおよび前記第２レンズの少なくとも一方のコバに、光吸収層がもうけられている。

[0034] ある実施形態において、前記面光源、前記第１レンズおよび前記第２レンズを収容する空間を有する筐体をさらに備え、前記収容する空間の外側を規定する筐体部分の少なくとも一部において光吸収層が設けられている。

[0035] ある実施形態において、上記のいずれかに記載の照明装置は、自動車のヘッドライトとして用いられる。

[0036] ある実施形態において、スクリーン上に光を照射したときに得られる照射角度－相対照度グラフにおいて、相対照度０．１０となる点の接線と照射角度を示す軸との交点よりも内側の領域を照射領域とし、前記照射領域の外側の領域を迷光領域としたときに、迷光領域の光束／（照射領域の光束＋迷光領域の光束）によって表される迷光割合が３％以下である。

[0037] 本発明の実施形態による照明装置によれば、光学レンズ部の光軸上に存在する発光部中心から射出される光と、発光部の中心から外れた位置から射出される光とを、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部から射出することが可能となる。従って、発光部中心から射出される光も発光部中心から外れた位置から射出される光も所定の照射領域の全域を同じように照射することができるので、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることが可能となる。

[0038] しかも、発光部中心から射出される光と発光部中心から外れた位置から射出される光は、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部から射出することが可能となるので、当該光学レンズ部に射出されない光を殆ど無くすることができ、この結果、高い光利用効率を実現することが可能となる。

- [0039] 従って、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができるという顕著な効果を奏する。
- [0040] 上記同様の効果を奏するには、例えば、発光部の光照射面側に、複数の光学レンズからなるレンズ部を配置した照明装置において、上記光学レンズ部を構成する各光学レンズの焦点を合成した合成焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、当該全ての虚像の上記発光部に対向する面とは反対側に存在していてもよい。
- [0041] 上記構成によっても、各レンズによる虚像を発光部に近い位置で発生させることができるので、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができるという顕著な効果を奏する。
- [0042] さらに上記構成によれば、光学レンズ部を構成する各光学レンズの焦点を合成した合成焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、当該全ての虚像の上記発光部に対向する面とは反対側に存在していることで、各レンズによる虚像を発光部に、さらに近い位置で発生させることができる。これにより、光学レンズ部から射出する光の角度を拡げることができるので、より広い照射領域の均一性を飛躍的に向上させることが可能となる。
- [0043] 上記光学レンズ部を第1光学レンズ部としたとき、上記第1光学レンズ部の光射出側に、第2光学レンズ部が設けられていてもよい。
- [0044] 上記構成によれば、第1光学レンズ部から射出された光の射出角を、第2光学レンズ部によって変更することが可能となる。つまり、第2光学レンズ部の光学特性を調整することにより、第1光学レンズ部から射出された光の射出角を狭めたり、あるいは拡げたりすることが可能となる。
- [0045] これにより、第2光学レンズ部の設計の仕方によって、光の照射領域の面

積を自由に変更させることができる。

[0046] 上記第2光学レンズ部は、第1光学レンズ部に一番近いレンズを凹レンズ、次に近いレンズを凸レンズで構成されていてもよい。

[0047] このように、凹レンズと凸レンズとの組み合わせにより、各レンズで発生する収差を補正し合うことができるので、第1光学レンズ部から射出される光の特性を壊さないようにすることができる。

[0048] これにより、第1光学レンズ部から射出される光の射出角が調整可能で、且つ、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができるという顕著な効果を奏する。

[0049] 上記光学レンズ部は、上記各レンズ界面の一部が一体的に形成されていてもよい。

[0050] このように、光学レンズ部を構成している各レンズの一部が一体的に形成されていることで、発光部の発光面と光学レンズ部との位置合わせを簡単にできる。

[0051] また、発光部と光学レンズ部との固定も簡単に行うことができる。

[0052] 2枚レンズの一体的な形成方法としては、樹脂による一体成型、接着剤による接着が考えられる。上記2枚レンズが樹脂により一体成型されていてもよい。

[0053] この場合、2枚レンズが樹脂により一体成型されていることで、光学レンズ部を形成する際の成型回数を2回（レンズ2枚の場合）から1回に減らすことができるため、製造コストの低下を図ることができる。

[0054] 上記光学レンズ部を構成するレンズのうち、上記発光部に最も近いレンズ面を、当該発光部に向かって窪んだ凹面とする第1光学レンズ、上記発光部の発光面から光軸上の第1光学レンズの界面までの距離を d 、上記第1光学レンズの内側レンズ曲率半径を R 、上記発光部の上記光軸上の配置範囲を h としたとき、 $h \leq 2\sqrt{d(2R-d)}$ であってよい。このように、発光

部の配置範囲 h が上記のように設定されていることで、当該発光部から射出される光が全て第 1 光学レンズに取り込まれるようになり、光利用効率を向上させることができる。

[0055] 上記光学レンズ部の主点から、発光部の発光面までの距離を a 、上記光学レンズ部の主点から焦点位置までの距離を f としたとき、 $a < f / 2$ を満たしていてもよい。

[0056] このように、光学レンズ部の主点から、発光部の発光面までの距離 a を、光学レンズ部の主点から焦点位置までの距離 f の半分より短くすることによって、常に、虚像位置を光学レンズ部の焦点位置よりも相対的に光学レンズ部へ近付けることが出来る。

[0057] 上記発光部は、複数の発光体を含んでいてもよい。この場合、発光部の発光面には、複数の発光体が配置されることになるが、各発光体の発光量にバラツキがあっても、照射面では、これらのバラツキを吸収するようにして光が照射される。つまり、どの発光体においても、同じ照射領域に光を照射するようになっているので、発光体の発光量にバラツキがあっても、このバラツキが吸収されることになる。

発明の効果

[0058] 本発明の実施形態による照明装置によれば、均一な照度分布を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0059] [図1]本発明の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図2]本発明の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図3]図 2 に示す照明装置における光線挙動を示す図である。

[図4] (a) は図 2 に示す照明装置の概略構成を示し、(b) は比較例の照明装置の概略構成を示す図である。

[図5] (a) は図 4 (a) に示す照明装置の光線挙動を示す図であり、(b) は図 3 (b) に示す照明装置の光線挙動を示す図である。

[図6]照明装置から 1 m 離れた距離に評価面を設置した例を示す図である。

[図7]図6に示す評価面における照射強度分布を示す図である。

[図8]図7に示す照射強度分布における相対照度と照射位置との関係を示すグラフである。

[図9](a)は微小発光面を複数配置した例を示し、(b)は微小発光面の一部が暗い場合の例を示し、(c)は同図(b)のときの照射強度分布を示す図である。

[図10]照明装置と評価面との関係を示す図である。

[図11](a)は図10に示す評価面aにおける2次元照度分布を示し、(b)は図10に示す評価面bにおける2次元照度分布を示す図である。

[図12](a)は図1に示す照明装置を実際に製作した光学レンズ条件を示し、(b)は図1に示す照明装置を実際に製作した場合に得られた照射領域における照度状態を示す図である。

[図13](a)は図2に示す照明装置を実際に製作した光学レンズ条件を示し、(b)は図2に示す照明装置を実際に製作した場合に得られた照射領域における照度状態を示す図である。

[図14]本発明の他の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図15]図14に示す照明装置の要部Aの拡大図である。

[図16]図14に示す照明装置における照射強度分布を示す図である。

[図17]本発明のさらに他の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図18]図17に示す照明装置の要部Bの拡大図である。

[図19]図17に示す照明装置における照射強度分布を示す図である。

[図20]本発明のさらに他の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図21]本発明のさらに他の実施の形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図22]照明装置と評価面との関係を示す図である。

[図23]図22に示す評価面における照射強度分布を示す図である。

[図24]照明装置と評価面との関係を示す図である。

[図25]図24に示す評価面における照射強度分布を示す図である。

[図26]本発明の照明装置における発光部の配置範囲を説明するための図であ

る。

[図27]第1レンズおよび第2レンズの焦点と、各レンズが形成する虚像の位置との関係を示す図であり、(a)～(e)はそれぞれ別の配置関係を示す。

[図28]面光源の光出射面に生じる照度ムラを示す図である。

[図29]基準焦点 f' と第2レンズの焦点 F_2 との位置関係を示す図である。

[図30](a)はパンフォーカス状態を説明するための図であり、(b)は照明装置に適用した場合を説明するための図である。

[図31]光源サイズファクタ(許容錯乱円) ε の大きさに応じて基準焦点 f' の位置が変化することを説明するための図である。

[図32]面光源における繰り返しピッチを説明するための図であり、(a)は3色のLEDが用いられる場合を示し、(b)は特性の異なる2種類のLED列が設けられる場合を示す。

[図33]LEDからの出射角度と、照射領域における照度の分布との関係を示す図である。

[図34]LEDからの出射角度と、分光スペクトル強度との関係を示す図である。

[図35]分光放射輝度の測定方法を説明するための図である。

[図36]実施形態4-1の照明装置を示す図である。

[図37](a)は図36に示す照明装置におけるBR差分の分布を示す図であり、(b)は参考例の照明装置におけるBR差分の分布を示す図である。

[図38]実施形態4-1の変形例の照明装置を示す図である。

[図39]図38に示す照明装置におけるBR差分の分布を示す図である。

[図40]実施形態4-1の別の変形例の照明装置を示す図である。

[図41]図40に示す照明装置におけるBR差分の分布を示す図である。

[図42]実施形態4-2の照明装置が備える光源を示す図であり、(a)および(b)はそれぞれ別の形態を示し、(c)は本実施形態で設ける光拡散層の配置を説明するための図である。

[図43] (a) は、比較例の照明装置の光源を示す図であり、(b) ～ (e) は、実施形態4-3の照明装置の光源を示す図である。

[図44] 図4-3 (c) に示す照明装置におけるBR差分の分布を示す図である。

[図45] 照射領域の周辺部における相対照度を示す図である。

[図46] 照射領域、迷光領域および迷光割合の定義を説明するための図である。

[図47] 実施形態4-4の照明装置を示す図である。

[図48] 照射領域および迷光領域における相対照度を示す図である。

[図49] 実施形態4-5の照明装置を示す図である。

[図50] 実施形態4-6の照明装置を示す図である。

[図51] 実施形態4-6の別の照明装置を示す図である。

[図52] 実施形態4-6のさらに別の照明装置を示す図である。

[図53] 照射エリアの端部（周辺）の色づきと照明装置の光線の挙動との関係について説明するための図であり、(a) は、本発明の実施の形態に係る照明装置の光線挙動を示す図であり、(b) は、参考例の照明装置の光線挙動を示す図であり、(c) は、レンズの構成材料と、屈折率およびアッペ数との関係を示す表である。

[図54] 本発明の実施の形態に係る照明装置の光学的特性を説明するための図であり、(a) は、本発明の実施の形態に係る照明装置において、照射光に電球色、青色、赤色の3種類の光を含めたときの照度分布を示し、(b) は、参考例の照明装置の照度分布を示し、(c) は、カラーチャートを示す

[図55] 照射エリアの端部（周辺）の色づきとアッペ数との関係を説明するための図であり、(a) は、レンズの構成材料と、屈折率およびアッペ数との関係を示す表であり、(b) は、アッペ数と、照射エリアの端部（周辺）における色変化の距離との関係を示すグラフである。

[図56] 本発明のさらに他の実施形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図57] 図5-6に示す照明装置の光学的特性を説明するための図であり、(a

）は、照明光の照射角度を狭角としたときの各レンズの配置を示し、（b）は、照明光の照射角度を広角としたときの各レンズの配置を示す。

[図58]図57（a）に示す照明装置の光学的特性を説明するための図であり、（a）は、照射光に電球色、青色、赤色の3種類の光を含めたときの照度分布を示し、（b）は、カラーチャートを示す。

[図59]図57（b）に示す照明装置の光学的特性を説明するための図であり、（a）は、照射光に電球色、青色、赤色の3種類の光を含めたときの照度分布を示し、（b）は、カラーチャートを示す。

[図60]本発明のさらに他の実施形態に係る照明装置の概略構成図である。

[図61]図60に示す照明装置の光学的特性を説明するための図であり、（a）は、照射光に電球色、青色、赤色の3種類の光を含めたときの照度分布を示し、（b）は、カラーチャートを示す。

[図62]従来の照明装置を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0060] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明するが、本発明はこれらに限られるものではない。

[0061] <実施の形態1>

図1、および図2は、本実施の形態に係る照明装置11の概略構成を示す図である。

[0062] 図3は、図2に示す照明装置11における光照射状態を示す図である。

[0063] （照明装置の構成）・・・図1、2、3

上記照明装置11は、図1に示すように、光源（発光部）1と、当該光源1の光取り出し側である、光出射面側の光軸AX上に配置された光学レンズ部2とを含み、上記光源1で発光された光を、光学レンズ部2を通して照射するように構成されている。

[0064] 上記光源1は、面発光を行う面発光体であるLED発光体を含む。なお、面発光を行う面発光体であれば、LED発光体に限定されるものではない。

[0065] 上記光学レンズ部2は、2枚の光学レンズL1、L2を備えており、上記

光源 1 に近い側から順に、光学レンズ L 1（第 1 レンズ L 1 と呼ぶことがある）、光学レンズ L 2（第 2 レンズ L 2 と呼ぶことがある）が配置された構造となっている。なお、光学レンズ L 1、L 2 は、それぞれの中心が上記光軸 A X を通るよう配置されている。

[0066] 上記光学レンズ L 1 は、少なくとも上記光源 1 の発光面の最大幅よりも大きな直径を有しており、上記光源 1 側の面が凹面形状となった光学レンズからなる。

[0067] 上記光学レンズ L 2 は、少なくとも 1 枚目の光学レンズである光学レンズ L 1 の最大径よりも大きな直径を有しており、光射出面側は凸形状となったレンズからなる。

[0068] ここで、上記光学レンズ L 1、L 2 の焦点位置、および各光学レンズ L 1、L 2 通過後に発生する虚像について説明する。

[0069] 光学レンズ L 1 の焦点位置を f_1 （焦点 F 1 と呼ぶことがある）、光源 1 からの光が光学レンズ L 1 を通過することによって発生する虚像を L 1 虚像（虚像 I 1 と呼ぶことがある）とする。また、光学レンズ L 2 の焦点位置を f_2 （焦点 F 2 と呼ぶことがある）、光学レンズ L 1 で発生した L 1 虚像からの光が光学レンズ L 2 を通過することによって発生する虚像を L 2 虚像（虚像 I 2 と呼ぶことがある）とする。さらに、光学レンズ L 1、L 2 の合成焦点位置を $f_1 + f_2$ （合成焦点 F（1 + 2）と呼ぶことがある）とする。

[0070] 図 1 に示す照明装置 1 1 では、光学レンズ部 2 を構成する光学レンズ L 1、L 2 の焦点 f_1 、 f_2 が、光学レンズ L 1、L 2 によって発生するそれぞれの虚像（L 1 虚像、L 2 虚像）に対して、それぞれの虚像（L 1 虚像、L 2 虚像）の光源 1 に対向する面とは反対側に存在するように、光学レンズ部 2 が設計されている。この構成において、焦点 f_1 とレンズ L 1 との間に第 1 の虚像 I 1 が形成され、かつ、焦点 f_2 とレンズ L 2 との間に第 2 の虚像 I 2 が形成されている。

[0071] また、本実施形態の他の設計による照明装置 1 1 は、図 2 に示すように、光源（発光部）1 と、当該光源 1 の光射出面側の光軸 A X 上に配置された光

学レンズ部2とを含み、光源1で発光された光を、光学レンズ部2を通して光照射するように構成されている。

[0072] 光源1は、面発光を行う面発光体であるLED発光体を含む。なお、面発光を行う面発光体であれば、LED発光体に限定されるものではない。

[0073] 光学レンズ部2は、2枚の光学レンズL1（第1光学レンズ）、L2を備えており、光源1に近い側から順に、光学レンズL1、光学レンズL2が配置された構造となっている。なお、光学レンズL1、L2は、それぞれの中心が光軸AXを通るように配置されている。

[0074] 光学レンズL1は、少なくとも光源1の発光面の最大幅よりも大きな直径を有しており、光源1側の面が凹面形状となった光学レンズからなる。

[0075] 光学レンズL2は、少なくとも1枚目の光学レンズである光学レンズL1の最大径よりも大きな直径を有しており、光射出面側は凸形状となったレンズからなる。

[0076] ここで、光学レンズL1、L2の焦点位置、および各光学レンズL1、L2通過後に発生する虚像について説明する。

[0077] 光学レンズL1の焦点位置を f_1 、光源1からの光が光学レンズL1を通過することによって発生する虚像をL1虚像とする。また、光学レンズL2の焦点位置を f_2 、光学レンズL1で発生したL1虚像からの光が光学レンズL2を通過することによって発生する虚像をL2虚像とする。さらに、光学レンズL1、L2の合成焦点位置を $f_1 + f_2$ とする。

[0078] 図2に示す照明装置11では、光学レンズ部2を構成する光学レンズL1、L2の焦点 f_1 、 f_2 を合成した合成焦点位置 $f_1 + f_2$ が、光学レンズL1、L2によって発生するそれぞれの虚像（L1虚像、L2虚像）に対して、当該全ての虚像（L1虚像、L2虚像）の光源1に対向する面とは反対側に存在するように、光学レンズ部2が設計されている。この構成において、レンズL1とレンズL2との合成焦点位置 $f_1 + f_2$ と、レンズL1との間において、L1虚像およびL2虚像が形成されている。

[0079] 光学レンズL1、L2の焦点位置、および各光学レンズL1、L2通過後

に発生する虚像が、図2に示すような関係にある照明装置11では、図3に示すように、光源1の発光面からの光線を全て光学レンズ部2に導き、照射面に対して効率よく光照射することが可能となる。つまり、上記構成の照明装置11によれば、高い光利用効率と照射面の均一性の向上との両立を図ることが可能となる。

[0080] 以下に、上記構成の照明装置11によって得られる効果について説明する。

[0081] (本実施形態のポイント)・・・図4、5

図4(a)は、図2の照明装置11のレンズ構成(2枚レンズ構成)における、各光学レンズL1、L2の焦点位置、および各光学レンズL1、L2通過後に発生するL1虚像、L2虚像についてのモデル図を示し、図4(b)は、別の形態における各光学レンズL1、L2の焦点位置、および各光学レンズL1、L2通過後に発生するL1虚像、L2虚像についてのモデル図を示している。

[0082] 照明装置11は、図4(a)に示すように、光源の位置に対して、各光学レンズL1、L2の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ が、各光学レンズL1、L2によって発生する虚像(L1虚像、L2虚像)の位置よりも光源側とは反対側に存在するように、光学レンズ部2が設計されている。

[0083] 上記構成において、各光学レンズL1、L2での虚像(L1虚像、L2虚像)は、光源の比較的近傍に形成されることになる。ここで、複数レンズ(光学レンズL1、L2)通過後の光は最終レンズによって発生する虚像(図4(a)ではL2虚像)から光が出射するものと見なせる為、L2虚像が光源付近に発生することによって、図5(a)に示すような効果が期待できる。

[0084] 図5(a)は、図4(a)に示すレンズ構成の場合における、光源中心から射出する光(図5(a)中の細線)と光源上端より発光する光(図5(a)中の太線)の経路を示している。ここで、光源の中心とは、光学レンズ部

2の中心を通る光軸AXを通る部分をいう。

[0085] 図5(a)に示すように、図4(a)に示すレンズ構成の場合、光源中心から出射する光と光源上端から出射する光とは、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部2を出射していることがわかる。これにより、図4(a)に示すレンズ構成によれば、光源中心から出射する光も、光源上端部から出射する光も、所定の照射領域の全域を同じように照射することができ、照射領域の均一性を向上させることが可能となる。

[0086] 一方、別の形態のレンズ構成では、図4(b)に示すように、2枚目の光学レンズL2によってL2虚像が比較的離れた位置に形成されており、上記図4(a)に示した形態とは異なり、光学レンズL2とその焦点位置 f_2 との間にL2虚像が配置されていない。また、光学レンズL2の焦点位置 f_2 は、L1虚像に比較的近い場所に配置されている。この構成では、L2虚像が、光学レンズL2の焦点位置 f_2 よりも光源から遠い場所に発生し、図5(b)に示すような結果となる場合がある。

[0087] ただし、後述するように、L2虚像が光源1から離れている場合であっても、少なくとも光学レンズL2の焦点位置 f_2 よりも光源側にL1虚像が形成され、かつ、光学レンズL1が形成する虚像I1、および、光学レンズL2の焦点位置 f_2 が、後述するように、光源1から所定の距離以上離れるように光学系が構成されている場合には、照射領域における照度の均一性を向上させ得る。

[0088] なお、図5(b)は、図4(b)のレンズ構成を採用した場合において、L1虚像が光源の近傍に形成される場合における、光源中心から出射する光(図5(b)中の細線)と、光源上端から出射する光(図5(b)中の太線)との経路の一例を示している。図5(b)に示す例では、図5(a)に示した場合と異なり、光源中心から出射する光と、光源上端から出射する光とが、それぞれ異なる角度分布で光学レンズL2を出射している。このような特性では、光源の異なる場所から出射した光が別々の範囲を照射することになり、照射領域の均一性が得られないおそれがある。

- [0089] 以上に説明したように、上記の図4（a）に示した実施形態では、光源の光出射面側に配置する光学レンズL1、L2の焦点位置 f_1 、 f_2 を、各光学レンズL1、L2が形成するL1虚像、L2虚像よりも後ろ側（レンズ射出側の反対方向）の遠くへ配置させている。これによって、光源、及び虚像位置を相対的に、光学レンズL1、L2へ近付けることができる。
- [0090] このような構成では、光学レンズ部の光軸上に存在する光源中心から出射される光と、光源の中心から外れた位置から出射される光とを、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部2の特に光学レンズL1に出射することが可能となる。このことによって、光源中心から出射される光も光源中心から外れた位置から出射される光も所定の照射領域の全域を同じように照射することができるので、照射領域の照度均一性を向上させることが可能となる。
- [0091] しかも、光源中心から出射される光と光源中心から外れた位置から出射される光とは、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部に出射することが可能となるので、当該光学レンズ部2に出射されない光を殆ど無くすることができ、その結果、高い光利用効率を実現することが可能となる。
- [0092] 従って、光源から出射される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、光源の異なる場所から出射する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となる。このことによって、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができる。
- [0093] さらに、各光学レンズL1、L2の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ が、光学レンズL1、L2によって発生するそれぞれの虚像（L1虚像、L2虚像）に対して、当該全ての虚像（L1虚像、L2虚像）の光源1に対向する面とは反対側に存在していることで、各レンズによる虚像を発光部に更に近い位置で発生させることができる。これにより、光学レンズ部から射出する光の角度を拡げることができるので、より広い照射領域の均一性を飛躍的に向上させることが可能となる。
- [0094] ただし、レンズL2によって形成される虚像I2の位置は、必ずしも光源1の近傍に形成される必要はなく、虚像I2が光源から比較的遠い位置に形

成されていてもよい。この場合、照明装置は、比較的狭角に光を照射する。ただし、このように狭角に光を照射する形態においては、第2レンズL2の焦点F2が、L1虚像I1または光源から所定の距離以上離れた位置に設けられていることが、照射領域の照度均一性を向上させるために好適である。

[0095] 図27(a)～(e)は、各レンズL1、L2の焦点F1、F2の位置と、虚像I1、I2との様々な位置関係を示す。図27(a)～(e)のいずれの形態においても、第1レンズL1とその焦点F1との間に光源1が配置されており、第1レンズL1によって光源の虚像I1が形成されている。また、この虚像I1は、第2レンズL2の焦点F2よりも内側（光源側）に存在している。これにより、第2レンズL2によって虚像I2が形成される。

[0096] ただし、虚像I1が、第2レンズの焦点F2の近傍に位置している場合、面光源1の発光面での強度および色度ムラや、発光面の形状自体が、スクリーン上の照射領域にも反映されるおそれがあることを本発明者らは見出した。

[0097] 図28は、図27(a)に示すように、第1レンズL1によって形成される光源1の虚像I1が、第2レンズL2の焦点F2の近傍にある場合における、スクリーン上での照射領域の様子を示す。焦点F2と虚像I1とが近づくと、第2レンズL2によって虚像I1がスクリーン上であたかも結像しているかのように、面光源1の発光面において複数の素子LEDによって形成される強度および色度ムラが、スクリーン上の照射領域においても観察されやすくなるおそれがある。

[0098] このようなあたかも結像している状態が生じることを避け、発光面での強度および色度ムラが照射領域に反映されにくくするためには、焦点F2が、虚像I1よりも、ある程度の距離以上だけ遠位側（光源側とは反対側）に存在することが好ましい。さらに、第2レンズL2の焦点F2の焦点距離は、所定の大きさ以上であることが好ましい。後述するように、第2レンズL2の焦点F2の位置は、例えば、面光源1のサイズによって応じて決定されていてよい。また、第2レンズL2の焦点F2の位置は、例えば、面光源1が

複数の発光素子を含む場合には、発光素子の配列ピッチに応じて決定されてもよい。

[0099] 図29は、第2レンズL2の焦点F2が、光軸上の所定の基準位置 f' （基準焦点 f' と呼ぶ場合がある）に対して遠位側にある場合（ $F2 < f'$ ）と、所定の基準位置 f' に対して近位側にある場合（ $F2 \geq f'$ ：焦点F2が基準位置 f' にある場合を含む）とを示す。本発明の実施形態による照明装置では、焦点F2が基準位置 f' よりも遠位側に存在するように、光学系が設計されている。

[0100] ここで、基準位置（または基準焦点） f' について説明する。基準位置 f' は、第2レンズの焦点F2がこの位置 f' よりも遠位側に存在する場合に、光照射領域において、面光源の形状や強度および色度ムラが視認されにくくなる位置である。

[0101] 逆に、焦点F2が、基準位置 f' と同じ位置、または、基準位置 f' よりも手前の位置に存在すると、第2レンズL2は、虚像I1を概ねピントが合った状態で像面上に投射することになる。この結果、発光面の形状や、発光面の強度および色度ムラが、照射領域において反映される現象が生じる。

[0102] この現象は、カメラなどの撮像装置で広角レンズ（焦点距離が比較的短いレンズ）を用い、絞りの調節によりF値を大きく設定した場合などにおいて、後側被写界深度が無限遠まで深くなる現象（パンフォーカスまたはディープフォーカスと呼ばれる）と類似の原理によって生じるものと考えられる。

[0103] 図30（a）は、上記のパンフォーカスを説明するための図である。ここでは、レンズの厚さを無視し、開口径Dを有し焦点 f' を有するレンズ（F値は、 $F_{no.} = f' / D$ で与えられる）が用いられているとする。また、被写体とレンズとの間の距離をsとし、レンズと像面との間の距離を s' とする。一般的に、ある被写体をあるレンズを用いて像面に結像させる場合、この像面にピントが合う被写体の位置は1つのみとなり、その前後に被写体がある場合はピントがずれてボケてしまうはずである。しかし、図30（a）に示すような場合において、平面上の被写体を光軸上である範囲内に前後に移

動させても、像面上ではあたかもピントが合っているように見える。これは像面上では実際にはピントが合わずボケているのであるが、ある大きさ以下のボケはボケとして検出できず、あたかもピントが合っているように見えるからである。ここで、像面の位置において、ボケの許容限界の大きさを許容錯乱円 ε として設定すると、許容錯乱円 ε 以下のサイズを有する点は、ピントのボケが生じていない点として見なしてよい。

[0104] また、ガウスの結像公式 $1/s' - 1/s = 1/f'$ から、 $s' = f' \cdot s / (f' + s)$ が導かれる。ここで、パンフォーカスが実現される条件は、レンズから被写体までの距離 $s = f'^2 / \varepsilon \text{ Fno.}$ (過焦点距離) にピントが合っているときである。

[0105] この過焦点距離 s を、レンズと像面との間の距離 s' について書き直すと、 $s' = (D / (\varepsilon + D)) \cdot f'$ が得られ、この関係式を満たすときにパンフォーカスを実現される。このような撮像装置におけるパンフォーカスが、本実施形態の照明装置でも実現され得ることを本発明者らは見出した。

[0106] 図30(b)は、本実施形態の照明装置において、上記パンフォーカスと同様の原理にて、面光源の像がボケずに、あたかもピントが合った状態で照射領域に形成される(すなわち、面光源の形状や、強度および色度ムラが照射領域に反映される)条件を説明するための図である。

[0107] 照明装置においては、上記の $s' = (D / (\varepsilon + D)) \cdot f'$ を、第2レンズ L_2 (レンズの厚みを考慮する場合には光源側主点) から虚像 I_1 までの距離を l' を用いて、 $l' = (D / (\varepsilon + D)) \cdot f'$ で表すことができる。この関係式において l' 、 D および ε を決定することによって、第2レンズ L_2 についての基準焦点 f' を求めることができる。

[0108] ここで、有効径 D は第2レンズ L_2 の有効径である。また、第2レンズ L_2 から虚像 I_1 までの距離 l' は、光源1から第2レンズ L_2 までの距離、および光源1から虚像 I_1 までの距離から計算することができる。また、光源1から虚像 I_1 までの距離は、光源1と第1レンズ L_1 との位置関係、および、第1レンズ L_1 の屈折率やレンズ面の形状などから計算することがで

きる。

[0109] また、パンフォーカスにおける許容錯乱円 ε は、本実施形態の照明装置に適用した場合、面光源の発光面サイズに応じて設定されるファクタと見なすことができる。あるいは、許容錯乱円 ε は、面光源が間隔を空けて配列された複数の発光素子を含む場合、それらの配列ピッチ（強度および色度ムラのピッチ）によって設定されるファクタと見なすこともできる。このように、本実施形態の照明装置に適用する場合、パンフォーカスにおける許容錯乱円 ε は、発光面のサイズや発光素子の配列ピッチによって規定されるので、これらを「光源サイズファクタ ε 」と称する場合がある。上記関係式から理解されるように、光源サイズファクタ ε をどのように設定するかによって、基準焦点 f' の位置も変化する。

[0110] 図31は、光源サイズファクタ ε の大きさに応じて、基準焦点 f' が変化する様子を示す。パターン（A）に示すように、LEDチップのピッチを光源サイズファクタ ε として考えた場合、ピッチのオーダーでの強度および色度ムラがスクリーン上で視認される条件としての基準焦点 f' は、比較的光源に近い側に設定される。また、パターン（B）に示すように、LEDチップのピッチよりも大きく、光源全体のサイズよりも小さいサイズを光源サイズファクタ ε として考えた場合、基準焦点 f' は、パターン（A）の場合よりは遠位に設定される。さらに、パターン（C）に示すように、光源全体のサイズを光源サイズファクタ ε として考えた場合、基準焦点 f' は、パターン（B）の場合よりさらに遠位に設定される。

[0111] つまり、光源サイズファクタ ε （以下、ファクタ ε と呼ぶ）を大きく設定すれば、基準焦点 f' は光源から遠ざかり、第2レンズ L_2 の焦点 F_2 は基準焦点よりもさらに光源から遠位に設定される。また、図において、2つの円によって示すように、発光面上におけるファクタ ε に対応する領域が、スクリーン上の所定の領域に集まる。

[0112] 上記の構成において、第2焦点 $F_2 = f'$ を満たす場合について形成される像について考察する。

[0113] パターン (A) に示すように、ファクタ ε が LED 発光面の強度および色度ムラ (LED 素子の配置の最小ピッチ) より小さい場合、その強度および色度ムラの像がスクリーン上に反映される。発光面上の 2 つの円のそれぞれで囲む領域で光出射特性が異なるため、スクリーン上の 2 つの円にそれぞれ到達する特性も異なり、それが LED チップの像として写ることになる。

[0114] また、好ましい例として、パターン (B) に示すように、ファクタ ε の範囲内に上記の強度および色度ムラが複数入る場合 (LED 素子の配置の最小ピッチ以上)、発光面上の 2 つの円で囲む領域の光出射特性は平均化され、スクリーン上でも強度および色度ムラの像が視認されない。しかし、LED 発光面のサイズが、ファクタ ε の範囲を超えていると、LED 発光面とその外側の領域との間の強度および色度の差 (つまり、LED 発光面の形状) が反映され、スクリーン上では LED 発光面の形状を有する像が写り、問題となる場合がある。

[0115] また、さらに好ましい例として、パターン (C) に示すように、ファクタ ε が発光面全体を包含する大きさである場合、発光面形状が反映されにくくなり、スクリーン上で良好な照射が実現される。

[0116] ただし、光源サイズファクタ ε は、他の形態によって設定されていても良い。光源サイズファクタ ε を他の形態によって設定する例を以下に説明する。

[0117] 図 3 2 (a) には、赤色 LED と、青色 LED と、緑色 LED とが、所定のパターンで配列されている形態が示されている。この場合、図に示すように、異なる 3 色の LED を 1 つのセットとして、繰り返し最小ピッチ P_a で、3 色 LED が配列されている。この場合、光源サイズファクタ ε として、繰り返しピッチ最小 P_a を選択することで、照射領域での上記 3 色 LED ごとの配列によるムラが観察されることが防止される。

[0118] また、図 3 2 (b) には、蛍光体の種類、濃度、厚さなどが異なる 2 種類の縦に延びる領域が列ごとに繰り返されるパターンで発光面が形成されている場合を示す。それぞれの発光素子の特性は同じであって良いが、蛍光体の

種類が異なる為、2種類の領域で発光面から射出する波長分光特性が異なっている。この場合、2列ごとの配列の繰り返しピッチ最小 P_b を光源サイズファクタ ε として設定しても良い。これによって、照射領域において波長分光特性の異なる2種類の領域が形成する縞状のムラの発生を防止することができる。なお、図32(a)および(b)は、LED素子の配列の一例を示しているに過ぎず、面内に発光強度、波長分光特性の異なる領域が存在する他の配列においても、繰り返し最小ピッチを光源サイズファクタ ε とすることができる。

[0119] また、図27(a)～(e)に示すように、第2レンズの焦点 F_2 と、第1レンズ L_1 による虚像 I_1 との位置関係によって、照射される光の角度範囲（照射領域の広さ）が変わる。一般的に、光学レンズは発光源が焦点位置に存在する場合に最も出射角度を狭くすることができ、発光源が焦点位置よりもレンズ側に近付く程、出射角度は広がりを持つ。換言すると、第2レンズの焦点 F_2 と、第1レンズ L_1 による虚像 I_1 との位置が近いほど、照射角度は狭くなり、虚像 I_1 が遠いほど、照射角度は広くなる。

[0120] この照射角度は、例えば、配向角によって表すことができる。ここで、配向角とは、スクリーン上に形成された照射領域において、その中心における照度を100%としたときに、照射領域の中心での照度に対して50%以上の照度を有する領域の幅（円形の照射領域が形成される場合には、その直径）と、光源とスクリーンとの間の距離とによって算出される角度である。配向角が小さい場合、照明装置が狭角に光を照射することを意味し、配向角が大きい場合、照明装置が広角に光を照射することを意味する。

[0121] 本実施形態の照明装置では、上記のように、第2レンズの焦点 F_2 が、基準位置 f' よりも遠位側に設けられており、この場合において、例えば、8度以上の配向角を有する照射光を照射する照明装置が得られる。

[0122] なお、図27(a)～(c)に示す形態では、第2レンズ L_2 の焦点 F_2 が、第1レンズ L_1 による虚像 I_1 と、第2レンズ L_2 による虚像 I_2 との間に存在している。ただし、焦点 F_2 は、焦点 F_1 よりも光源側に位置して

いる。これらの形態においても、上記の基準位置 f' よりも焦点 F_2 が遠位に設けられている限りにおいて、均一な照度分布の照度領域を形成することができる。

[0123] 一方、図 27 (d) および (e) に示すように、焦点 F_2 よりも焦点 F_1 が光源側に位置する場合であっても、均一な照度分布の照度領域を形成することができる。なお、図 27 (e) は、図 1 に示した実施形態における、各レンズの焦点 f_1 、 f_2 (F_1 、 F_2)、各虚像の位置 (l_1 、 l_2) および合成焦点 $f_1 + f_2$ ($F(1+2)$) の位置関係をそれぞれ示している。図 27 (e) からわかるように、図 1 に示した形態では、比較的大きい配向角で、発光面での強度及び色度ムラが目立たないように、広角に光を照射することができる。

[0124] 以上に説明したように、第 2 レンズの焦点を、上記発光面のサイズファクタ ε や第 2 レンズの有効径 D などから求められる基準焦点 f' よりも遠位側に設定することによって、ムラの低減された、すなわち均一性の高い照明を実現することができる。

[0125] なお、第 2 レンズ F_2 の有効口径 D を調節するための機構が設けられていてもよい。この場合、取り得る任意の有効口径 D に対して、発光面の形状や強度及び色度ムラが照射領域に反映されないように、第 2 レンズの焦点距離が設定されていることが好ましい。

[0126] 以上、第 1 レンズと第 2 レンズとから構成されている場合の光学設計について説明したが、より多数のレンズを用いて光学系が構成されていてもよい。この場合、光源側から n 個のレンズが並んでいると仮定すると、上記に説明した第 1 レンズを、1 個目～ $n-1$ 個目までのレンズ群が全体として有する特性を持つレンズとして考えればよく、第 2 レンズを、 n 個目のレンズとして考えればよい。

[0127] (レンズ形状の設計について)

上記照明装置 11 における光学レンズ部 2 に含まれる光学レンズ形状は、光軸近傍では焦点位置や虚像位置の配置により決定されてよい。ただし、光

軸外も含めたレンズ形状については、以下の設計方針によって決定することがより好ましい。

[0128] 具体的には、有限の大きさを有する光源 1 から射出する光の利用効率を最大限に引き出し、照射領域面内の照度均一性を確保する為に、光源 1 を出来る限り光源 1 近傍の光学レンズに近付け、近軸理論的には概ね等倍系の虚像関係を維持しながら、面光源の大きさに対して軸外のコマ収差を補正するようにし、且つ、スポット径が軸上像点も軸外像点も同型になるようにレンズ系を形成する。

[0129] 上記コマ収差とは、光軸から離れた 1 点から出た光が、像面で 1 点に集まらずに、尾を引いた彗星のような像になる現象のことをいい、像面での集光状態をスポット形状（スポットダイヤグラム）と称する。

[0130] 上記の軸とは、レンズの光軸を示しており、軸上とはレンズの光軸を通る場所、軸外とは光軸から離れた場所を示す。

[0131] ここで、「近軸理論的に概ね等倍系の虚像関係」とは、図 4（a）における L 1 虚像、L 2 虚像の大きさが光源に対して 1 ～数倍となり、かつ、光源付近に L 1 虚像、L 2 虚像を発生させる条件を示している。

[0132] また、「軸外のコマ収差を補正する」とは、光軸から離れた場所から出た光が像面で 1 点に集まるように軸外のレンズ形状を変化させて補正することである。

[0133] また、「スポット径が軸上像点も軸外像点も同型になる」とは、軸上から出た光と軸外から出た光の像面でのスポット形状の範囲を同等程度となるように、軸外のレンズ形状を変化させて補正することである。

[0134] （本実施形態の効果）・・・図 6 ～ 1 1

上記構成の照明装置 1 1 における効果の詳細について、図 6 ～ 1 1 を参照しながら以下に説明する。

[0135] 図 6 に示すように、図 2 のような照明装置 1 1 から 1 m 離れた距離に評価面を設置した場合、その評価面上での照度分布は図 7 に示す結果となった。図 7 では照度強度に応じてモノクロで面内分布を示しており、黒表示部は照

度最小、白表示部は照度最大を示している。

[0136] また、図 7 に示すように、中心部での照度分布の断面プロファイルを確認した結果、図 8 に示すように、照射領域内がほぼ均一な照度となることが確認できた。

[0137] 本実施形態の照明装置では、光源 1 の発光面全ての領域が均一に発光している場合だけでなく、図 9 (a) に示すように、たとえば、光源 1 の発光面上に複数の微小発光面を複数配置させた場合においても、所定の照明領域を均一に照明することが可能となる。例えば、光源 1 の発光面に複数の LED 発光体を配置することが考えられる。

[0138] また、図 9 (b) に示すように、光源 1 の発光面上に配置する複数の微小発光面において、一部の発光面で発光量が少ない場合においても、所定の照明領域を均一に照明することが可能となる。これは、図 5 (a) を用いて説明した場合のように、光源 1 の発光面において、光軸から外れた場所からの光であっても、光軸上からの光と同じ照射領域に光を照射することができるためである。つまり、発光面のどの場所から光も同じ照射領域に光を照射することができるので、発光面の一部に発光光量の少ない場所があっても、照射領域における照射の均一性に影響を及ぼさないためである。

[0139] 図 9 (c) は、図 9 (b) に示す光源 1 の発光面による照度分布を示す。この照度分布からも、照射領域における照射の均一性に影響を及ぼさないことがわかる。

[0140] また、図 9 (a) における複数の微小発光面が図 3 2 (a) や (b) に示すように、それぞれ異なる主波長の光を出射してもよいし、異なる主波長の光を出射する発光物を複数組合せてもよい。その場合において、それぞれ異なる色光が同一照明領域をほぼ均一に照射することにより、広い色再現性を持つ照明装置を実現することが可能となる。

[0141] このように、異なる主波長の光を出射する複数の発光物を組合せて用いることにより、広範囲の色度座標上の色を再現させることが可能となる。

[0142] ところで、LED 光源は発光体の製造プロセスでの様々なバラツキにより

、発光量、発光主波長や発光波長領域などの発光特性に大きなバラツキを持っている。現状、LED光源を用いる場合において、発光特性が似ているものを選別して使用しているが、この選別作業がコストアップ要因となっている。

[0143] ここで、図9(a)に示す光源1の一つの発光面を一つのLED光源で実現することを想定した場合、図9(b)に示すように、発光面を構成するLED光源の発光特性にバラツキがあっても、図9(c)に示すように、照射領域における照射の均一性に影響を及ぼさないので、LED光源のバラツキを照射領域内において平均化することが可能となる。これにより、LED光源の選別が不要となり、低コスト化が実現可能となる。

[0144] また、これらの結果より、複数の発光物を配置可能となる為、発光物が1つ故障により点灯不能となった場合においても、照射領域の均一性は変化しない。その為、照明機器全体を取りかえる必要が無く、照明機器の使用時間の延長化が見込まれる。

[0145] 図10に示すように、照明装置11から1m離れた距離、5m離れた距離のそれぞれの断面照度分布は、図11(a)および(b)に示すようになる。

[0146] 図11(a)は、照明装置11から1m離れた場所の断面照度分布を示し、図11(b)は、照明装置11から5m離れた場所の断面照度分布を示している。

[0147] なお、図示しないが、照明装置11から2m、3m、それ以外の任意の距離だけ離れた場所における断面照度分布においても、図11(a)および(b)と同様に、いずれも均一な照度分布を有している。

[0148] これらのことから、照明装置11から射出する光の断面照度分布は、ある距離以上離れていれば、どの位置においても均一な照度分布を有することがわかる。ここで、ある距離以上とは、照明装置11の光学レンズ部2を構成している光学レンズL1、L2の最大直径の2倍以上とする。

[0149] (実施例)・・・図12、図13

ここで、図 1 に示す照明装置 11 の試作例を図 12 の (a) に示す。

[0150] 光源 1 として、約 6 mm × 6 mm の白色 LED パッケージを用いた。

[0151] 光学レンズ部 2 の 1 枚目の光学レンズ L1 として、屈折率 $n_d =$ 約 1.585 のポリカーボネートを材料とし、光源側に配置される光入射面の曲率半径を 9.2 mm、光出射面の曲率半径を 6.0 mm、レンズ外形を 12 mm、レンズ厚みを 5 mm で製作した光学レンズを用いた。

[0152] 2 枚目の光学レンズ L2 として、屈折率 $n_d =$ 約 1.49 の PMMA (ポリメチルメタクリレート) を材料とし、光入射面を平面、光出射面の曲率半径を 20.966 mm、コーニック定数を 0.28119、4 次、6 次、8 次、10 次、12 次の高次の非球面係数をそれぞれ -5.2×10^{-7} 、 -1.8914×10^{-8} 、 3.4858×10^{-10} 、 -9.7419×10^{-13} 、 2.6235×10^{-16} とし、レンズ外形を 35 mm、レンズ厚みを 10.5 mm で製作した光学レンズを用いた。

[0153] 白色 LED パッケージ、1 枚目の光学レンズ L1、および 2 枚目の光学レンズ L2 の中心がそれぞれ光軸上と一致するように配置させ、かつ、光軸上における白色 LED パッケージの発光面と 1 枚目の光学レンズ L1 の光入射面との距離を 1.5 mm、また、光軸上における 1 枚目の光学レンズ L1 の光射出面と 2 枚目の光学レンズ L2 の入射面との距離を 2.0 mm として配置させた。

[0154] このとき、光学レンズ L1、L2 の焦点距離はそれぞれ 18.52 mm、42.47 mm であり、合成焦点距離は 14.12 mm であった。また、各光学レンズ L1、L2 の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ の位置は、光源部の発光面を 0 (原点) として、出射方向を + 方向に軸を取った場合、それぞれ -11.30 mm、 -26.94 mm、 -5.14 mm であった。

[0155] 一方、各光学レンズ L1、L2 によって発生する虚像 (L1 虚像、L2 虚像) の位置を計算により導出した結果、L1 虚像は -1.61 mm、L2 虚像は -9.74 mm であった。

[0156] これにより、照明装置 11 は、各光学レンズ部 2 を構成する光学レンズ L1、L2 の焦点 f_1 、 f_2 が、光学レンズ L1、L2 によって発生するそれぞれの虚像（L1 虚像、L2 虚像）に対して、それぞれの虚像（L1 虚像、L2 虚像）の光源 1 に対向する面とは反対側に存在していることになり、図 1 に示すように設計されていることを確認した。

[0157] 上記構成の照明装置 11 による照度実験を行った。

[0158] この実験結果を図 12（b）に示す。図 12（b）から、所定の照明領域が均一な照度で照らされていることが分かった。

[0159] また、図 2 に示す照明装置 11 の試作例について図 13 の（a）に示す。

[0160] 光源 1 として、直径 2 mm の白色 LED パッケージを用いた。

[0161] 光学レンズ部 2 の 1 枚目の光学レンズ L1 として、屈折率 $n_d = \text{約 } 1.806$ のガラス材料 SLAH53 を材料とし、光源側に配置される光入射面の曲率半径を 2.96 mm、光出射面の曲率半径を 2.69 mm、レンズ外形を 5 mm、レンズ厚みを 1.6 mm で製作した光学レンズを用いた。

[0162] 2 枚目の光学レンズ L2 として、屈折率 $n_d = \text{約 } 1.49$ の PMMA を材料とし、光源側に配置される光入射面の曲率半径を 65.4 mm、コーニック定数を -5.0、4 次、6 次、8 次の高次の非球面係数をそれぞれ -5.97×10^{-5} 、 -7.927×10^{-6} 、 -7.278×10^{-7} とした。また、光出射面の曲率半径を 8.0 mm、コーニック定数を 0.73、4 次、6 次、8 次、10 次、12 次の高次の非球面係数をそれぞれ 1.225×10^{-4} 、 -3.777×10^{-6} 、 -1.054×10^{-7} 、 -1.83×10^{-9} 、 4.2397×10^{-11} とし、レンズ外形を 10 mm、レンズ厚さを 3.0 mm で製作した光学レンズを用いた。

[0163] 白色 LED パッケージ、1 枚目の光学レンズ L1、および 2 枚目の光学レンズ L2 の中心がそれぞれ光軸上と一致するように配置させ、かつ、光軸上における白色 LED パッケージの発光面と 1 枚目の光学レンズ L1 の光入射面との距離を 0.5 mm、また、光軸上における 1 枚目の光学レンズ L1 の光射出面と 2 枚目の光学レンズ L2 の入射面との距離を 0.1 mm として配

置させた。

[0164] このとき、光学レンズL 1、L 2の焦点距離はそれぞれ9, 899 mm、14. 69 mmであり、合成焦点距離は5. 81 mmであった。また、各光学レンズL 1、L 2の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ の位置は、光源部の発光面を0（原点）として、射出方向を＋方向に軸を取った場合、それぞれ−6. 76 mm、−10. 68 mm、−2. 85 mmであった。

[0165] 一方、各光学レンズL 1、L 2によって発生する虚像（L 1虚像、L 2虚像）の位置を計算により導出した結果、L 1虚像は−0. 10 mm、L 2虚像は−0. 75 mmであった。

[0166] これにより、上記構成の照明装置11は、各光学レンズL 1、L 2の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ が、光学レンズL 1、L 2によって発生するそれぞれの虚像（L 1虚像、L 2虚像）に対して、当該全ての虚像（L 1虚像、L 2虚像）の光源1に対向する面とは反対側に存在していることになり、図2に示すように設計されていることを確認した。

[0167] 上記構成の照明装置11を用いて行った照度実験の結果を図13（b）に示す。図13（b）からわかるように、照明装置11によれば、所定の照明領域を均一な照度で照らすことができる。

[0168] <実施の形態2>

本発明の他の実施の形態について説明すれば以下の通りである。なお、説明の便宜上、前記実施の形態1と同一の機能を有する部材には、同一の番号を付記し、詳細な説明を省略する。

[0169] （照明装置の構成）・・・図14、15

図14は、本実施の形態に係る照明装置12の概略構成を示す図である。

[0170] 図15は、図14に示す要部Aの拡大図である。

[0171] 照明装置12は、図14に示すように、前記実施の形態1の光学レンズ部2の出射側に、更に光学レンズ3、4が追加された構造を有している。

[0172] つまり、照明装置12は、光学レンズ部2を第1光学レンズ部としたとき

、第1光学レンズ部の光射出側に、少なくとも2枚の光学レンズからなる第2光学レンズ部（光学レンズ3、4）が設けられている構造を有している。

[0173] 光学レンズ3は、凹レンズであり、光学レンズ部2に一番近く、且つ、凹面側を光学レンズ部2に向けて配置されている。

[0174] 光学レンズ4は、凸レンズであり、光学レンズ3よりも光学レンズ部2から遠い位置に配置されている。

[0175] このように、光学レンズ部2の外側にさらに光学レンズ3、4を配置することで、図15に示すように、照明装置12から照射される光の射出角度を狭くすることができる。

[0176] （本実施形態の効果）・・・図16～19

上記構成の照明装置12において、追加する光学レンズ3、4のレンズ形状を最適化することにより、図16に示すように、照射領域内を均一に照明することが可能となる。

[0177] この場合、出射角度の狭角度化と照明領域の均一化を両立する為には、上記のように、凹レンズと凸レンズとを組合せて用いることがより好ましい。これは、凹レンズと凸レンズとを組合せて用いることにより、各レンズで発生する収差を補正し合い、照射領域の均一性を実現させることが可能となるためである。

[0178] また、追加するレンズの配置は、図14の配置位置に限定されるものではなく、他の位置であってもよい。

[0179] 図17は、図14に示す光学レンズ3、4の配置とは異なる位置に、光学レンズ3、4を配置した場合の照明装置12の概略構成を示す図である。

[0180] 図18は、図17に示す要部Bの拡大図である。

[0181] 図17に示すように、図14において追加配置した光学レンズ3、4の一部を異なる場所へ配置させることで、この照明装置12から出射される光の角度分布を変化させることができる。

[0182] なお、角度分布を変化させた場合においても、図19に示すように、照射領域内をほぼ均一に照明することが可能となる。

[0183] 以上のように、前記実施の形態 1 で説明した照明装置 1 1 に対して、光出射側にさらに光学レンズ 3、4 を追加することによって、出射角度を狭くすることが可能となる。また、追加する光学レンズの配置を変化させることにより、出射角度を調整（制御）することも可能となる。

[0184] このように、光学レンズ 3、4 を追加して、出射角度を制御しても、図 1 6、図 1 9 に示すように、それぞれの場合においても、照射領域内の照度均一性を保つことが可能となる。

[0185] なお、第 2 光学レンズ部は、図 1 4 に示す光学レンズ 3、4 に限定されるものではなく、例えば、光学レンズ 3 の代わりに、光学レンズ 3 と同様の光学特性を持つように組合せられた複数の光学レンズを用いても良い。第 2 光学レンズ部を構成する光学レンズの枚数に特段の制限は設けない。

[0186] しかし、光学レンズの枚数が増加すると、面内均一性の向上、照射角度制御が容易になる一方、レンズ界面増加に伴う光透過率の低下、レンズ枚数増加に伴うコストアップなどの課題を考慮する必要がある。

[0187] <実施の形態 3>

本発明のさらに他の実施の形態について説明すれば以下の通りである。なお、説明の便宜上、前記実施の形態 1、2 と同一の機能を有する部材には、同一の番号を付記し、詳細な説明を省略する。ここでは、光学レンズ部 2 の 2 枚構成の光学レンズを一体化した例について説明する。

[0188] （照明装置の構成）・・・図 2 0、2 1

図 2 0 は、本実施の形態に係る照明装置 1 3 a の概略構成を示す図である。

[0189] 図 2 1 は、本実施の形態に係る照明装置 1 3 b の概略構成を示す図である。

[0190] 図 2 0 に示す照明装置 1 3 a では、光学レンズ L 1、L 2 を一体成型して光学レンズ部 2 2 を構成する例を示している。

[0191] 具体的には、アクリル材質等の樹脂を材料として用いて、金型によって光学レンズ L 1、L 2 を一体成型して光学レンズ部 2 2 としている。

[0192] 一方、図 2 1 に示す照明装置 1 3 b では、光学レンズ L 1、L 2 を接着して光学レンズ部 2 3 とした例を示している。

[0193] 具体的には、光源 1 の発光面に近いレンズ（光学レンズ L 1）と発光面から遠いレンズ（光学レンズ L 2）とをそれぞれ成型した後、各レンズの中心付近で接着させて光学レンズ部 2 3 としている。

[0194] ここで、実施の形態 1 で示した光学レンズ部 2（図 1）と、図 2 0 に示す光学レンズ部 2 2 との光学レンズ形状を比較すると、光源 1 から広角に出射する光においては、どちらも同じ 4 つの空気界面での屈折によって、光の進行方向を大きく変化させている。

[0195] 一方、図 1 における光源面に垂直な方向に出射する光は、光学レンズ部 2 の各空気界面において、概ね垂直に入射している。その為、図 2 0 のように、光学レンズ部 2 2 の中央付近の一部を接触または接合させても、射出角度分布に大きな影響を及ぼすことなく、照射領域の均一性が実現される。

[0196] （本実施形態の効果）・・・図 2 2、2 3

図 2 0 に示すように、光学レンズを一体成型した場合の光学レンズ部 2 2 を用いた照明装置 1 3 a において、図 2 2 に示すように、照明装置 1 3 a より 1 m 離れた場所に発光面と平行となるように評価面を配置する場合、図 2 3 に示すように、照射領域の照度分布は概ね均一となる。

[0197] このように、光学レンズを構成する 2 枚のレンズを接着する場合のメリットとしては、発光面と光学レンズとの位置合わせの簡素化による低コスト化が挙げられる。また、使用中における発光面と光学レンズとの固定方法においても、簡素化することが可能となる。

[0198] さらに、光学レンズを一体成型する場合のメリットとしては、前述した位置合わせ・固定方法の簡素化による低コスト化だけでなく、成型回数が 2 回から 1 回に減少することによる低コスト化も挙げられる。また、2 枚のレンズを接着するプロセスも省略することが可能となり、低コスト化に寄与する。

[0199] <変形例>・・・図 2 4、2 5

図24は、前記実施の形態1の照明装置11の光出射側に、六角形の開口（アパチャー）部5を設けた場合を示す。照明装置11から出射された光のうち、六角形の開口部5に向かう光のみがこれを透過し、それ以外の光は反射・吸収されることになる。

[0200] 図25は、照明装置11から1m離れた場所に評価面を配置した場合の2次元照度分布を示しているが、概ね開口部5と同じ形状で照明され、かつ、照射領域内は均一な照度で照明されることが可能となる。さらに、評価面を面光源照明装置から離れた場合においても、照射領域の形状、均一性は保たれたまま照明されることも可能である。

[0201] <補足説明>・・・図26

(1) 図26を用いて、光源1の配置範囲の制限について説明する。

[0202] 光源1の配置範囲は下記式を満たす範囲内に制限されることがより好ましい。

$$h \leq 2\sqrt{d(2R-d)}$$

[0203] ここで、hは発光部の配置範囲の幅、dは光源から光軸上の光学レンズL1界面との距離、Rは光学レンズL1の内側レンズ曲率半径を示している。

[0204] 上記範囲内に光源1を配置させることによって、光源1から射出する光を全て1枚目レンズである光学レンズL1に取込むことが可能となり、光利用効率を向上させることができる。

[0205] (2) 光学レンズ部2の焦点位置と虚像位置、光源位置との関係について説明する。

[0206] 上記構成のように、光源1の射出面側に配置する光学レンズ部2の焦点位置を各光学レンズL1、L2で発生するL1虚像、L2虚像の位置よりも後ろ側（レンズ射出側の反対方向）の遠くへ配置させることによって、光源1、及び虚像（L1虚像、L2虚像）位置を相対的に、光学レンズ部2へ近付けることができる。

[0207] このとき、光学レンズ部2のレンズ主点から焦点位置までの距離をf、レンズ主点から光源までの距離をa、レンズ主点から虚像までの距離をbとす

ると、以下の関係式が成立する。ここでレンズ主点とは、レンズに入射する光線と出射する光線の振るまいだけを代表させて、レンズ厚さの無視できる薄肉レンズで置き換えた場合の薄肉レンズの位置を示す。

$$1/a - 1/b = 1/f \quad \cdots (1)$$

[0208] 上記構成の照明装置 11 では、虚像位置を光学レンズ L1、L2 の焦点位置 f_1 、 f_2 よりも相対的に光学レンズ部 2 へ近付ける為、以下の関係式が成立する。

$$f > b \quad \cdots (2)$$

[0209] ここで、上記式 (1) より、以下の関係式が導かれる。

$$1/a = 1/b + 1/f = (b+f)/bf \quad \cdots (3)$$

[0210] さらに式 (3) を展開すると、以下の関係式となる。

$$a = bf/(b+f) = f/(1+f/b) \quad \cdots (4)$$

[0211] ここで、式 (2) より、以下の関係式が導かれる。

$$f/b > 1 \quad \cdots (5)$$

[0212] よって、式 (4) に式 (5) の関係式を代入すると、以下の関係式が成立する。

$$a < f/2$$

[0213] つまり、レンズ主点から光源までの距離 a を、レンズ主点から焦点位置までの距離 f の半分より短くすることによって、常に、虚像位置を光学レンズの焦点位置よりも相対的に光学レンズへ近付けることが出来る。

[0214] (3) 光学レンズ部 2 のレンズ界面にて一部の光が反射される為、各光学レンズのレンズ表面に反射防止用の表面処理を行う方がより好ましい。一般的な反射防止用の表面処理として、複数の屈折率の異なる薄膜を成膜させて表面反射を低減させる反射防止膜が挙げられる。また、その他の方法として、各光学レンズのレンズ表面上に 1 ミクロン以下の微小凹凸形状（モスアイ構造）を形成させて界面反射を低減させる方法も挙げられる。

[0215] 各光学レンズのレンズ表面での界面反射を低減させる方法については、上記の方法のみに限定されるものではない。

[0216] (4) 光源部の発光波長は可視光に限定されるものではない。紫外域や赤外域の波長を発する発光素子を用いても良い。

[0217] (5) 以上に説明した実施形態において、レンズ形状は全て回転対称系の形状としているがこれに限定されるものではなく、図面奥行き方向に一様な形状とするレンチキュラー形状であってもよい。これによれば、レンチキュラー形状のレンズ断面方向に平行な方向のみ効果が発せられる。例えば、冷陰極管や直列配置されたLEDランプを光源として用いる場合に適している。棒状の光源部とレンチキュラー形状の光学レンズを組み合わせることによって、均一照明領域を丸みを帯びた矩形とすることが可能となる。

[0218] 以下、本発明のさらに別の実施形態を説明する。

[0219] [照射領域の周辺部で発生する色付きや迷光を抑制するための形態]

上記のように構成された照明装置を用いることによって、均一な強度の照射領域を実現することができるが、一方で、照射領域の周辺部において、その中心部とは異なる色の環状の色つき領域が観察されることがある（イエローリング）。これは、レンズによる色収差が原因であると考えられる。

[0220] これとは別に、LED照明装置の分野において、照射領域の周辺部に黄色成分を多く含む光が到達し、照射領域周辺ほど黄色くなり、照射領域全体では色度むらとして観察されることが知られている（色むら）。さらに、この照射領域周辺部への照射光の黄色成分増加がレンズによる色収差に畳重されることによって、イエローリングがさらに強い色つきで形成されることが分かった。また、照射領域の周辺部では、光学系で発生する意図しない光の反射、散乱などによって、迷光が観察されることがある。

[0221] ここで、照射領域の周辺部において、異なる色合いの領域が形成される要因について説明する。

[0222] 図33は、LEDを用いて構成された面光源1からレンズを介しての光を照射する場合における、LEDからの光の出射角度と、照射位置との関係を示すグラフである。図33からわかるように、おおよそ正面方向（出射角度0〜30°）に出射された光は、照射領域の中央部にピークを持つ山型の強

度分布を形成する。これに対して、より大きい出射角度で出射された光は、照射領域の周辺領域での強度がより高くなるように強度分布が形成される。特に、出射角度 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ で出射された光は、照射領域の中央部に到達することはほとんどなく、その多くは照射領域の周辺部に照射される。

[0223] また、図34に示すように、LEDから出射された光は、その出射角度によって、分光スペクトルが変化する。より具体的には、出射角度が大きい（約 60° ）の光の波長約 610 nm での相対強度のピーク $P60$ は、正面方向（出射角度 0° ）の光の波長約 610 nm での相対強度のピーク $P0$ に比べて大きい。これは、出射角度がより大きい光は、LEDを覆うように設けられた蛍光体に対して斜めに入射するので、まっすぐに入射する光に比べて蛍光体を通過する距離が長く、これによって、蛍光を生じさせる確率が高くなるためであると考えられる。

[0224] 以上の説明からわかるように、LEDから大きい出射角度で出射された光は、長波長の成分を比較的多く含むとともに、その大部分が照射領域の周辺部に到達する。この結果、照射領域の中央部と比べて黄色づいた領域がその周辺部に形成されることになる。

[0225] また、イエローリング以外にも、照明装置の内部で意図しない光の反射、散乱などが生じ、これによって、照射領域の外側に迷光が発生することがある。

[0226] 照明装置の分野では、所定の照射領域以外の領域に光が照射されることは好ましくない。そこで、以下に説明する実施の形態4-1～4-6では、上記のような照射領域の周辺部で観察される所望としない照射光を防止する形態を説明する。

[0227] <実施の形態4-1：アクロマートレンズを用いる形態>

図36は、実施の形態4-1の照明装置410の構成を示す図である。照明装置410は、上記実施の形態1～3で説明した照明装置と同様に、面光源1と、面光源1の光出射側に配置された第1レンズL1と、第1レンズの光出射側に配置された第2レンズL2とを備える。

- [0228] 照明装置410も、実施の形態1～3で説明した照明装置と同様に、照射領域に均一に光が照射されるように構成されている。より具体的には、第1レンズL1によって形成される虚像I1が第2レンズL2の焦点F2よりも光源側に位置するように、光学系が構成されている。また、本実施形態においても、図29を用いて説明したように、第2レンズL2の焦点F2が、サイズファクタ ε を考慮して決定される基準位置 f' よりも遠位側に設けられている。これにより、均一な強度の照射領域を形成することができる。
- [0229] ただし、本実施形態では、第1レンズL1が、間に空気層を介さずに互いに密着するように配置された凹レンズL1-1と凸レンズL1-2とから構成されている。凹レンズL1-1と凸レンズL1-2とは、屈折率が異なる材料から形成されており、このような2つのレンズ組み合わせて用いることによって、色収差を補正するアクロマートレンズとして機能させることができる。
- [0230] 第2レンズL2もまた、材質の異なる凹レンズL2-1と凸レンズL2-2とから構成されており、アクロマートレンズとして機能させることができる。
- [0231] 色収差を補正するためには、組み合わせるレンズの材料を適切に選択する必要がある。例えば、凹レンズL1-1、L2-1を、屈折率が1.59のポリカーボネート樹脂(PC)から作製し、凸レンズL1-2、L2-2を、屈折率が1.49のポリメチルメタクリレート樹脂(PMMA)から作製する。
- [0232] ただし、凹レンズL1-1、L2-1および凸レンズL1-2、L2-2は、その他の樹脂材料、あるいは、ガラスなどの無機材料から形成されていてもよい。ただし、照射領域の周辺部で生じるイエローリングの発生を適切に抑制するためには、アクロマートレンズを構成する凹凸レンズの屈折率差が0.05以上であることが好ましい。また、比較的屈折率の高い材料を用いることによって、レンズの厚さを薄くし、光源1からの光を取り込みやすい光学系を得ることがより容易になる。

[0233] また、従来のアクロマートレンズは、色収差を補正し軸上で高精度に結像するように構成されているが、本実施形態では、特定の位置で結像させる必要はなく照射面周辺部へ照射される各波長の光線の方角を近づけることで効果が得られる。このため、従来の一般に使用される結像させる場合に比べて熱膨張などによるレンズ形状の変化に対して許容度が大きく、上記のようにガラスに比べて線膨張係数が大きい樹脂製のレンズの組み合わせを用いることができる。

[0234] 下記表 1 に、各レンズ L 1-1、L 1-2、L 2-1、L 2-2 の具体的な設計例を挙げる。なお、表 1 において、「座標」は、光源 1 の位置を原点とし、光出射側を正方向としたときの、光軸上における各レンズの光入射面の位置を示している。また、表 1 におけるコーニック（出射側）とは、非球面レンズを用いた場合において、非球面の形状を規定するための非球面関数に含まれるコーニック定数の値を示している。

[0235] [表1]

	L1-1	L1-2	L2-1	L2-2
材料	PC	PMMA	PC	PMMA
直径[mm]	28.0	28.0	70.0	70.0
厚み[mm]	1.0	9.5	1.5	33.0
座標[mm]	2.0	3.0	13.5	15.0
曲率(入射側)	24.0(凹)	45.0(凸)	190.0(凹)	72.0(凸)
曲率(出射側)	45.0(凹)	17.5(凸)	72.0(凹)	45.6(凸)
コーニック(出射側)	—	—	—	0.66

[0236] 図 3 7 (a) および (b) は、本実施形態の照明装置 4 1 0 と、アクロマートレンズを用いていない照明装置（参考例）とのそれぞれについて、照度領域の中心からの距離と、色つきの指標としての B R 差分 $(R - B) / (R$

+ B) との関係を示す図である。

[0237] ここで B R 差分とは、白色のスクリーンへ照射した場合における照射領域中心での B 光（波長 450 nm）と R 光（波長 610 nm）の分光放射輝度（規格化輝度）をそれぞれ 1 としたときの、各点での R 光の分光放射輝度（相対値）と B 光の分光放射輝度（相対値）を測定し、この測定結果から $(R - B) / (R + B)$ を計算したものである。

[0238] 図 37 (a) に示すように、アクロマートレンズを用いた場合、B R 差分 $(R - B) / (R + B)$ は、照射領域の中心から離れた周辺部において、比較的低い値を示す。一方で、図 37 (b) からわかるように、アクロマートレンズを用いなかった場合には、 $(R - B) / (R + B)$ が照射領域の周辺部において比較的高い値を示す。これらのグラフの違いから、アクロマートレンズを用いることで、照射領域の周辺部での色つきを低減できることがわかる。

[0239] また、イエローリングの発生を主観にて評価したところ、上記の B R 差分が 0.3 以下の場合に 100 ルクスの照度下でイエローリングを視認することはなく、B R 差分が 0.25 以下の場合に 50 ルクスの照度下でイエローリングを視認することはなかった。

[0240] なお、上記の分光放射輝度の測定は、図 35 に示すように、スクリーン法線方向に照明装置 410 を設置し、分光放射輝度計 S R 3 を左右に移動させてスクリーン上の各点の分光放射輝度を測定することによって行われた。各点で測定された 450 nm、610 nm の分光放射輝度を、照射領域の中央でのそれぞれの測定値によって規格化し、これによって B R 差分 $(R - B) / (R + B)$ を求めることができる。

[0241] 以下、本実施形態の変形例の照明装置 412 を説明する。

[0242] 図 38 は、変形例の照明装置 412 を示す。照明装置 412 は、光源 1 と第 1 のレンズ L 1 と第 2 のレンズ L 2 とを備える。本変形例では、第 1 のレンズ L 1 は、1 枚のメニスカスレンズによって構成されており、第 2 のレンズ L 2 としてのみ凹レンズ L 2-1 と凸レンズ L 2-2 との組み合わせから

なるアクロマートレンズが用いられている。なお、本変形例でも、第1のレンズL1によって形成される虚像が、第2のレンズL2の焦点F2よりも光源側に位置するように、光学系が設計されている。

[0243] 本変形例においても、図38に示すように、RB差分 $(R - B) / (R + B)$ は、照射領域の周辺部において比較的低い値を示す。このように、第2レンズL2としてアクロマートレンズを用いるだけでも、イエローリングの発生を適切に抑制し得る。

[0244] 下記の表2に、各レンズL1、L2-1、L2-2の具体的な設計例を挙げる。なお、表におけるコーニック（出射側）とは、非球面レンズを用いた場合のコーニック定数の値を示している。

[0245] [表2]

	レンズ1	レンズ2-1	レンズ2-2
材料	PMMA	PC	PMMA
直径[mm]	30.0	70.0	70.0
厚み[mm]	7.0	1.5	31.0
座標[mm]	2.5	13.5	15.0
曲率(入射側)	30.0(凹)	300.0(凹)	80.0(凸)
曲率(出射側)	16.0(凸)	80.0(凹)	45.5(凸)
コーニック(出射側)	—	—	0.52

[0246] 変形例の照明装置412では、レンズの貼り合わせ工程が少なくなるという製造上の利点を得られる。また、貼り合わせるレンズの数が少ないので、設計上、公差を大きく取ることができる。

[0247] なお、第2レンズを構成する凹レンズL2-1の端面に入射した光の一部は、端面をそのまま通過する。このような光は、照射領域には到達せず、迷光となる可能性がある。そこで、凹レンズL2-1の端面に、光吸収層や反

射層を設け、迷光を防止する構成としてもよい。

[0248] 上記の変形例では、第2レンズL2としてアクロマートレンズを用いる形態を説明したが、第1レンズL1としてアクロマートレンズを用い、かつ、第2レンズとしてアクロマートレンズを用いない形態も考えられる。しかし、この場合には、第2レンズL2を通過する光が屈折率波長分散の影響を受け、色収差が適切に補正されない場合がある。このため、少なくとも第2レンズL2としてアクロマートレンズを用いることが好ましい。

[0249] なお、第2レンズL2としては、回折レンズを用いることも可能である。この場合、第2レンズL2を薄型化および軽量化することができる。

[0250] 図39は、照明装置412が形成する照射領域において測定されたBR差分を示す。図39～わかるように、L2レンズのみにアクロマートレンズを用いた場合であっても、BR差分 $(R - B) / (R + B)$ は、照射領域の中心から離れた周辺部において、比較的低い値を示す。従って、イエローリングの発生が適切に防止される。

[0251] 本実施形態の照明装置において、レンズの周辺部分を透過する光に対して色収差を軽減できるようにレンズが構成されていればよく、必ずしも、光軸近傍を通過する光の色収差の補償は行われなくて良い。

[0252] そこで、以下にさらなる変形例として、レンズの周辺部のみが、アクロマートレンズ化されている形態を説明する。

[0253] 図40は、本変形例の照明装置414を示す。アクロマートが必要とされる領域（以下、アクロマート部分と呼ぶことがある）は、レンズ面の最周辺部でよく、例えば、レンズ半径において周辺の例えば50%がアクロマートレンズ化されていれば良い。これによりさらなる効果としてアクロマートレンズの軽量、薄型が実現される。

[0254] 以下の表3に、具体的な設計例を示す。照明装置414では、第2レンズL2の凹レンズL2-1の光軸近辺（レンズ中央部）での厚さを0.8mmに設定している。ただし、レンズ中央部での厚さを0mm、すなわち、中央部に空洞を有するドーナツ状のレンズ形状としてもよい。なぜなら、照射領

域の周辺部でB R差分を小さくする為には、少なくともレンズ外周領域を通過する光に対してアクロマート化すればよいからである。なお、本明細書では、その一部においてのみアクロマート部分が形成されているレンズもアクロマートレンズと呼ぶ場合がある。

[0255] [表3]

	レンズ L1	レンズ L2-1	レンズ L2-2
材料	PC	PC	PMMA
直径[mm]	13.0	40	40.0
厚み[mm]※光軸上	5.0	0.8	13.6
座標[mm]※光軸上	1.5	8.3	9.1
曲率(入射側)	9.6(凹)	300.0(凹)	55.0(凸)
コーニック(入射側)	—	—	—
曲率(出射側)	6.5(凸)	80.0(凹)	28.5 (凸)
コーニック(出射側)	—	—	0.9
平面幅	—	21.8mm	21.8mm

[0256] このように、レンズの周辺部のみをアクロマートレンズ化してもよく、周辺部のみの色収差を補正したときにも、イエローリングの発生を防止することができる。なお、通常のアクロマートレンズは、光軸上の色収差を補正するように設計されるが、本構成では、非軸光線の色収差を補正するように設計する点で、従来のアクロマートレンズと異なっている。

[0257] 図4 1は、照明装置4 1 4が形成する照射領域において測定されたB R差分を示す。図4 1からわかるように、L 2レンズの周辺部のみにアクロマートレンズを用いた場合であっても、B R差分 $(R - B) / (R + B)$ は、照射領域の中心から離れた周辺部において、比較的低い値を示す。従って、イエローリングの発生が適切に防止される。

[0258] <実施の形態4 - 2：光拡散層を光源とレンズとの間に設ける形態>

図４２（ａ）は、本実施形態の照明装置が備える光源１の近傍を示しており、複数のＬＥＤチップ１ａを封止する封止層１ｂの上に、透光性を有する拡散層４０ａが設けられている。拡散層４０ａは、その表面において、典型的には不規則に配置された多数の微細な凹凸を有している。

[0259] また、図４２（ｂ）は、変形例の照明装置が備える光源１の近傍を示しており、ＬＥＤチップ１ａを封止する封止層１ｂの上に、複数の微粒子を含む透明樹脂などから形成される拡散層４０ｂが設けられている。

[0260] 図４２（ｃ）に示すように、本実施形態では、光源１と、第１レンズＬ１との間に、光を散乱・拡散させる光学素子が配置されている。

[0261] 下記の表４に、図４２（ａ）および（ｂ）に対応する実施例（ａ）および（ｂ）、その他の実施例（ｃ１）～（ｃ５）について、周辺色度ムラ、着色の発生の結果および光利用効率を示す。その他の実施例では、拡散層を、実施例（ａ）および（ｂ）と同様に光源と第１レンズとの間に設けるとともに、拡散層のヘイズ値を３％～７０％の範囲でそれぞれ設定している。また、表４には、比較例として、第１レンズＬ１と第２レンズＬ２との間に拡散層を設けた場合も示している。

[0262] なお、表４において、色度ムラや着色が確認された場合を「×」で示し、確認されなかった場合を「○」で示し、わずかに確認された場合を「△」で示している。

[0263]

[表4]

	ヘイズ[%]	周辺色度むら	着色	効率
比較例		×	×	1.00
実施例(a)	20	○	○	0.93
実施例(b)	30	○	○	0.92
実施例(c1)	3	△	△	0.97
実施例(c2)	5	○	○	0.95
実施例(c3)	10	○	△	0.94
実施例(c4)	50	○	△	0.90
実施例(c5)	70	△	×	0.80

[0264] 表4からわかるように、ヘイズ値が5%の場合には、十分な着色解消の効果は得られず、ヘイズ値が60%の場合には、着色解消の効果は得られるものの効率低下を引き起こす。また、比較例に示されるように、第1レンズと第2レンズとの間に拡散層を設けた場合、照射領域の均一性、照射領域の境界の明確化、光利用効率の低下の問題が引き起こされ得る。

[0265] 本実施形態の構成では、光源からの出射角度とその光の照射位置には、従来の照明装置にはない強い相関関係があることがわかった。そして、本構成では、このスペクトルの出射角度依存性が照射面で色度むらとして視認される。これは、本構成で特有の問題であり、このような光源のスペクトルの出射角度依存性を低減させるためには、第1レンズと光源との間に光拡散層を設けることが好ましいことがわかった。

[0266] ただし、ヘイズ値が大きければ、周辺着色の低減効果はあるが、照射面の均一性の低下、最周辺部のきれの低下が発生する。

[0267] 本方式の配光特性において散乱層の効果的な特性を評価した結果、ヘイズ値が5%～50%に設定することが好ましいことが判明した。

[0268] さらに、ヘイズ値を5%～30%に設定した場合には、周辺着色解消と同時に照射領域内での色むらの解消の効果も得られる。

[0269] なお、「ヘイズ値」とは「曇り度」を示す値である。ヘイズ値は、全光線透過率を T_t (%) とし、拡散透過率を T_d (%) とした場合、以下の式で定義される。

$$\text{ヘイズ値 (\%)} = (T_d / T_t) \times 100$$

[0270] ここで、全光線透過率 T_t は、入射光（平行光線）強度に対する拡散透過光および平行透過光の合計強度の比率である。また、拡散透過率 T_d は、入射光（平行光線）強度に対する拡散透過光の強度の比率である。ヘイズ値が小さいほど光拡散層の明度は増し、ヘイズ値が大きいほど光拡散層の曇り度が強くなる。ヘイズ値は、例えば、積分球式光線透過率測定装置によって測定することができる。

[0271] <実施の形態4-3：蛍光体の配置範囲と光源のピッチとの関係>

図43(a)はLED照明装置に用いられる一般的な光源（比較例）を示し、図43(b)～(e)は、本実施形態の照明装置で用いられる種々の光源を示す。

[0272] 各光源において、複数のLEDが、ピッチPの間隔で、互いに離間されるように配置されている。また、光源には、LEDとともに、蛍光体が設けられている。蛍光体は、LEDからの光を受けて適切に蛍光を生じさせるように、例えば、複数のLEDを覆うように層状に設けられている。

[0273] ここで、図43(a)～(e)のそれぞれに示すように、最も外側のLEDと、このLEDの外側に存在する蛍光体のエッジとの間の距離のうち、最も長い距離をA、最も短い距離をBとする。このとき、図43(b)～(e)に示すように、LEDチップの配列ピッチP（不規則な配置の場合、または2種類以上の場合は平均）に対して、上記の距離 $A \leq P$ かつ $B \leq P$ であることが好ましい。なお、LEDチップの配置は図示するものに限定されない。

[0274] 図43(a)に示す比較例では、 $A \geq P$ かつ $B \geq P$ である。このように、LEDチップの外側の蛍光体領域が広い場合、そのスペクトルは黄色成分

が比較的多くなる傾向がある。これが、照射領域でのイエローリングの発生の要因の一つとなる。

[0275] これに対して、図43(b)に示すように、LED外側の蛍光体形成領域をより小さくする(ここでは、 $B \leq P$)ことによってイエローリングを低減することができる。ただし、図43(b)に示した例では、コーナー部とそれ以外とでは蛍光体の形成領域が異なる。その結果、イエローリングの濃淡が照射領域周辺で発生する場合がある。

[0276] したがって、さらに好ましい形態としては、図43(c)および(d)に示すように、任意の場所で、LEDの外側の蛍光体形成領域のエッジまでの距離が略同等に設定し、これをピッチP以下の距離となるようすることで(すなわち、 $A \leq P$ かつ $B \leq P$ に設定することで)、イエローリングをより効果的に低減することができる。また、図43(e)に示すように、遮光層を形成して、蛍光体の発光面を図43(d)に示す場合と同様にしてもよい。

[0277] このように、蛍光体の発光領域とLEDの配列ピッチPとを適切に設定することで、光源の周辺部から発せられる光のスペクトルの黄色成分を減らすことができ、イエローリングや色度むらの発生を抑制することができる。

[0278] 図44は、図43(c)に示した光源を用いた場合に形成される照射領域において測定されたBR差分を示す。図44からわかるように、BR差分($R - B$) / ($R + B$)は、照射領域の中心から離れた周辺部において、比較的低い値を示しており、従って、イエローリングの発生が適切に防止される。

[0279] <実施の形態4-4：レンズフードを設ける形態>

本実施形態では、図47に示すように、照明装置440の光出射側において遮光部材としての筒状のフード48を設ける。後述するように、照明装置440から発せられる光の配向角に応じて適切にフード48の長さ L_{f2} を調節することによって、光の利用効率を高くしたまま、照射領域周辺で発生する迷光を防止することができる。

[0280] まず、本実施形態の照明装置の詳細を説明する前に、フード48によって

遮断する迷光について説明する。

[0281] 図45は、照射領域の周辺部における相対照度を示す。上記のように均一な照射領域を形成する照明装置において、照射領域のエッジ部分で照度が急激に低下する。しかし、照射領域の周囲において迷光が形成する迷光領域が形成される。

[0282] 迷光は、光学系での意図しない光の反射やレンズの端面を透過する光などによって生じるものと考えられる。このような迷光は、意図する照射領域の周辺に観察されるものであり、照明装置では発生を防止することが望まれている。

[0283] ここで、本明細書で用いる「照射領域」、「迷光領域」、「迷光割合」の定義を説明する。

[0284] 照射領域は、図46に示すように、照明装置から1m離れたスクリーン（サイズ1m×1m）上に、光を照射したときに、図45に示す角度－相対照度グラフにおいて、相対照度0.10の接線とX軸（角度）の交点よりも内側の領域を意味するものとする。

[0285] また、迷光領域は、上記のようにして規定された照射領域の外側の領域を意味するものとする。

[0286] さらに、迷光割合とは、迷光領域の光束／（照射領域の光束＋迷光領域の光束）によって表される照射光全体における迷光の割合を意味するものとする。

[0287] 次に、図47を参照しながら本実施形態の照明装置440を説明する。

[0288] 照明装置440は、実施形態4-1で説明したように、光源1と、第1レンズL1と、アクロマートレンズである第2レンズL2とを備えている。第2レンズL2は、凹レンズL2-1と、これに組み合わされた凸レンズL2-2とから構成されている。光源1、第1レンズL1、第2レンズL2は、筐体47の収容空間内に保持されている。

[0289] 下記の表5に、第1レンズおよび第2レンズの設計例を示す。ただし、その他の種々の設計が可能であることは言うまでもない。なお、表における、

非球面係数 4 次および非球面係数 6 次とは、非球面レンズを用いた場合における、非球面を規定するための 4 次および 6 次の項の非球面係数をそれぞれ示している。

[0290] [表5]

	L1	L2-1	L2-2
材料	PC	PC	PMMA
直径[mm]	30.0	70.0	70.0
厚み[mm]	9.5	1.5	27.0
座標[mm]	2.5	12.5	14.0
曲率(入射側)	30.0(凹)	260.0(凹)	140.0(凸)
コーニック(入射側)	—	—	—
曲率(出射側)	15.0(凸)	140.0(凹)	48.0 (凸)
コーニック(出射側)	—	—	0.72
非球面係数 4 次	—	—	5.0×10^{-8}
非球面係数 6 次	—	—	1.5×10^{-9}

[0291] 照明装置 440 は、さらに、第 2 レンズ L2 の光出射面の周囲を囲うように設けられたフード 48 を有しており、フード 48 は筐体 47 に対して固定されている。フード 48 は、例えば、樹脂や金属材料から形成されており、典型的にはその内面側が光を吸収するように構成されている。

[0292] 従来より、照明装置において、照射範囲を制御するためにフードを設置する手法が利用されている。しかし、従来の照明装置においてフードを設置する場合、照射光が大きく損失する。これは、従来の照射装置の配光特性がガウシアン分布となっているためである。

[0293] これに対して、照明装置 440 では、例えば図 48 に示すように、所定の照射領域の内側では略均一な照度が実現されるとともに、照射領域の外側で急激に照度が低下する。このような照射光に対しては、フード 48 を設ける

ことによって、照射領域への照射される光の損失を抑制しつつ、迷光を効果的に低減することができる。

[0294] ここで、フード48の長さ L_f 2について説明する。

[0295] フード48を長くしすぎると、迷光だけでなく、照射光の一部をも吸収または散乱させてしまうので、光の利用効率が大きく低下する。一方でフードを短くしすぎると、照射領域の周辺に到達する迷光を防止することができない。

[0296] 例えば、下記の表6に示すように、フードがない場合、利用効率は高くなるものの、迷光割合が大きく、十分に迷光を抑制することができない。そこで、実施例4(a)および(b)に示すように40mmまたは60mmの長さのフードを設けると、利用効率を大幅に低下させることなく、迷光を防止することができ、迷光割合とし3%以下を実現できる。ただし、フード長が80mmと長いと、光利用効率が大幅に低下してしまうために好ましくない場合がある。

[0297] [表6]

	フード長	効率	迷光割合
比較例 4(a)	フード無	94%	3.56%
実施例 4(a)	40mm	92%	2.21%
実施例 4(b)	60mm	85%	0.88%
比較例 4(b)	80mm	68%	0.15%

[0298] 以下、より具体的なフードの長さのより詳細な設計について説明する。

[0299] フードの長さは、図47に示す出射角度 θ_1 、出射角度 θ_2 、および、フード半径 R_f に応じて決定されていてよい。

[0300] ここで、フードの長さの上限 L_{2y} は、スクリーン上での相対照度が急激に低下する出射角度 θ_1 を用いて規定できる。 θ_1 は、例えば、図48に示す角度－相対照度のグラフの傾きが -0.1 よりも小さくなる最小の角度に設

定されていてよい。例えば、図48に示すような照度分布が得られる場合、 θ_1 は 25° である。

[0301] この出射角度 θ_1 を用いて、フード長さ上限 L_{2y} は、下記の式によって求められる。

$$L_{2y} = R_f / \tan \theta_1 - L_{f1}$$

[0302] ここで、 L_{f1} は、光軸上における、面光源1から筐体端部（フード48との接続部）までの距離である。すなわち、光軸上における面光源1からフードの先端までの距離は $L_{f1} + L_{f2}$ で表すことができる。

[0303] フードが上限 L_{2y} よりも長い場合、照射領域に到達すべき光が、フードによって遮られることになる。したがって、光の利用効率が大幅に低下し、また、照射領域エッジでの照度の急峻な立下りが実現できなくなる可能性がある。

[0304] 他方、フードの長さの下限 L_{2s} は、上記に説明した迷光割合（＝迷光領域の光束／（照射領域の光束＋迷光領域の光束））が1%以下となる出射角度 θ_2 を用いて規定できる。 θ_2 は、例えば、図48に示すような照度分布が得られる場合、上記迷光割合が1%となる角度として $\theta_2 = 38^\circ$ が、照度の測定により決定される。

[0305] この出射角度 θ_2 を用いて、フード長さ下限 L_{2s} は、下記の式によって求められる。

$$L_{2s} = R_f / \tan \theta_2 - L_{f1}$$

[0306] フードが下限 L_{2s} よりも短い場合、照射領域の周辺に到達する光のうち、フードによって遮光される光がほとんどない。このため、下限 L_{2y} 以下の長さのフードでは、照射領域の周辺で生じる迷光を遮光することがほとんどできない。

[0307] 以上のように、フード単体の長さ L_{2f} （あるいは、面光源からフード端までの光軸上での距離 $L_{f1} + L_{2f}$ ）は、下記の式を満たすように設定されることが好ましい。

$$R_f / \tan \theta_2 - L_{f1} < L_{2f} < R_f / \tan \theta_1 - L_{f1}$$

[0308] 以下に例を挙げると、 $\theta 1 = 25^\circ$ 、 $\theta 2 = 38^\circ$ 、 $L f 1 = 28 \text{ mm}$ 、 $R f = 50 \text{ mm}$ の場合において、 $36.0 \text{ mm} < L f 2 < 79.2 \text{ mm}$ に設定すれば、光利用効率を低下させずに、照射領域周辺の迷光を効果的に防止することが可能になる。なお、光源からフード先端までの距離 $L f 1 + L f 2$ に書き直すと、 $64.0 \text{ mm} < L f 1 + L f 2 < 107.2 \text{ mm}$ を満たすように、フードの長さ等を適宜設定することが好ましい。

[0309] このように、本実施形態の照明装置では、配光特性がガウシアン分布ではなく、迷光領域と照射領域が区別されるので、フードの形状を適切な構成とすることにより迷光のみを効率よく低減させることができることができる。

[0310] <実施の形態4-5：レンズ面に反射層を設ける形態>

本実施形態では、図49に示すように、照明装置450に設けられた第1レンズL1の光入射側面および／または光出射側面において、また、第2レンズL2の両側面において反射防止層50（以下、AR層50と呼ぶことがある）を設ける形態を説明する。

[0311] 以下の表7に、第1レンズL1の出射側面、第1レンズL1の入射側面、第2レンズL2の両側面の少なくともいずれかにおいてAR層50を設けたときの、迷光割合、光利用効率などを示す。なお、表7におけるカップ反射率とは、第1レンズL1および第2レンズL2を収容する筐体47の内側面の反射率を示しており、本実施形態では特に反射防止処理を施していないため、全ての実施例で90%に設定されている。

[0312] また、比較例5として、第1レンズL1および第2レンズL2のいずれにもAR層を設けていない形態を示す。AR層を設けない場合、レンズ面の反射率は4%であることが示されている。

[0313] 実施例5(a)～5(c)では、第1レンズL1の出射側面の反射率が2%、1%、および、0.5%のそれぞれになるようにAR層50が設けられている。なお、表に記載の反射率は、D65光源における正面反射率である。

[0314] また、実施例5(d)～5(f)では、第1レンズL1の出射側面および

入射側面の両方の反射率が2%、1%、および、0.5%のそれぞれになるようにAR層50が設けられている。

[0315] さらに、実施例5(g)～5(i)では、第1レンズL1の出射側面および入射側面の両方、および、第2レンズL2の出射側面および入射側面の両方の反射率が2%、1%、および、0.5%のそれぞれになるようにAR層50が設けられている。

[0316] [表7]

	L1 出射側 反射率	L1 入射側 反射率	L2 両側 反射率	カップ 反射率	迷光割合	効率
比較例 5	4%	4%	4%	90%	3.56%	94.0%
実施例 5(a)	2%	4%	4%	90%	2.05%	94.8%
実施例 5(b)	1%	4%	4%	90%	1.62%	95.0%
実施例 5(c)	0.5%	4%	4%	90%	1.41%	95.1%
実施例 5(d)	2%	2%	4%	90%	2.02%	95.8%
実施例 5(e)	1%	1%	4%	90%	1.58%	96.1%
実施例 5(f)	0.5%	0.5%	4%	90%	1.36%	96.3%
実施例 5(g)	2%	2%	2%	90%	1.39%	97.6%
実施例 5(h)	1%	1%	1%	90%	0.70%	98.7%
実施例 5(i)	0.5%	0.5%	0.5%	90%	0.36%	99.2%

[0317] また、本実施形態における各レンズの設計例は下記の表8に示す通りである。

[0318]

[表8]

	L1	L2-1	L2-2
材料	PC	PC	PMMA
直径[mm]	30.0	70.0	70.0
厚み[mm]	9.5	1.5	27.0
座標[mm]	2.5	12.5	14.0
曲率(入射側)	30.0(凹)	260.0(凹)	140.0(凸)
コーニック(入射側)	—	—	—
曲率(出射側)	15.0(凸)	140.0(凹)	48.0(凸)
コーニック(出射側)	—	—	0.72
非球面係数 4 次	—	—	5.0×10^{-8}
非球面係数 6 次	—	—	1.5×10^{-9}

[0319] 本実施形態では、第1レンズL1は、光源に最も近いレンズである。なお、図49には、第1レンズL1としてメニスカスレンズを用いた形態が示されているが、これに限られない。第1レンズL1として凹凸2枚のレンズからなるアクロマートレンズが用いられている場合は、一体化されたものを第1レンズL1として考えることができる。また、3枚以上のレンズを用いて光学系が構成されている場合、光源に最も近いレンズを第1レンズL1として考え、その他のレンズのどちらか一方を第2レンズL2として考えればよい。

[0320] 図49からわかるように、本実施形態の照明装置450において、レンズと空気と界面は少なくとも4箇所存在する。また、一般に反射防止層を設置することは製造工程の増加、コスト増大の要因になる。

[0321] 最も反射防止層を設けることが好ましい面を特定するために、迷光の発生源を解析した結果、約80%以上の迷光が、第1レンズL1の出射側面のレンズー空気界面における反射によって生じていることがわかった。このため、少なくとも第1レンズL1の照射面側に反射防止層を設けることが好ましい。

[0322] 上記表7の実施例5(a)～(c)に示したように、第1レンズL1の照射面側にのみ反射防止層を設置することによって、迷光割合を十分に低下させながら、製造コストの上昇を防ぐことができる。これらの構成は、特に、蒸着法によるAR層を形成する場合、製造コスト面で、有利な構成であると言える。

[0323] また、上記表7の実施例5(d)～(i)に示したように、さらに他のレンズ面にもAR層を設けることで、迷光割合をさらに低下させ得る。なお、これらの構成は、特にDIP法によってAR層を形成する場合には、製造コストを大幅に上昇させることないので、有利な構成であると言える。

[0324] <実施の形態4-6：コバや筐体内部に光吸収層を設ける形態>

図50に示す本実施形態の照明装置460において、第1レンズL1および第2レンズL2のコバに吸収層Lsaが設けられている。なお、コバとは、レンズの縁の側面部分（典型的には円筒側面をなす面）を意味する。また、吸収層Lsaは、レンズのコバを黒塗りすることによって形成している。

[0325] 下記表9に、実施例および比較例を示す。比較例6は、レンズ面のAR層およびコバの吸収層を設けない構成である。また、実施例6(a)は、実施例5(b)の構成において、さらにコバに吸収層を設けた構成である。実施例6(b)、(c)は、実施例5(e)、実施例5(h)の構成において、さらにコバに吸収層Lsaを設けた構成である。また、実施例6(d)、(e)、(f)は、実施例5(c)、(f)、(i)の構成において、さらにコバに吸収層を設けた構成である。また、実施例6(g)、(h)、(i)は、実施例6(b)、(e)、(h)の構成において、さらにカップ（筐体内部）に吸収層を設けた構成である。カップに吸収層を設けることで、反射率は5%に低下する。

[0326]

[表9]

	L1 照射面側 反射率	L1 光源側 反射率	L2 レンズ 反射率	コバ 黒塗	カップ 反射率	迷光割合	効率
比較例 6	4%	4%	4%	無	90%	3.56%	94.0%
実施例 6(a)	1%	4%	4%	有	90%	1.55%	94.9%
実施例 6(b)	1%	1%	4%	有	90%	1.51%	96.0%
実施例 6(c)	1%	1%	1%	有	90%	0.66%	98.6%
実施例 6(d)	0.5%	4%	4%	有	90%	1.34%	95.0%
実施例 6(e)	0.5%	0.5%	4%	有	90%	1.30%	96.2%
実施例 6(f)	0.5%	0.5%	0.5%	有	90%	0.34%	99.1%
実施例 6(g)	1%	4%	4%	有	5%	0.64%	84.8%
実施例 6(h)	1%	1%	4%	有	5%	0.64%	90.0%
実施例 6(i)	1%	1%	1%	有	5%	0.45%	96.4%

[0327] 表9の結果からわかるように、コバに吸収層を設けることで、さらに迷光を低減することができ、迷光割合を1.6%以下にすることができる。なお、コバに吸収層を設ける代わりに、コバの表面を散乱させることによって迷光を低減させることができる。また、コバに設ける吸収層の反射率は10%以下に設定することが好ましい。さらに筐体内部の反射率を小さくすることによっても迷光を低減させることができる。

[0328] 以下、実施形態4-4～実施形態4-6の組み合わせによる形態を説明する。図51に示す照明装置462のように、実施形態4-4に示したフードを設けるとともに、さらに、実施形態4-5および4-6に示したようにレンズ面に反射層を設ける、及び／又は、コバに吸収層を設けてもよい。

[0329] 下記の表10に各実施例7(a)～(h)と比較例7とを示している。レンズ面にAR層を設け、コバおよびカップに吸収層を設け、さらにフードを併用することによって（実施例7(h)）、迷光割合を相当に低減することができる。

[0330] [表10]

	L1 照射面側 反射率	L1 光源側 反射率	L2 レンズ 反射率	コバ 黒塗	フード	カップ 反射率	迷光割合	効率
比較例 7	4%	4%	4%	無	無	90%	3.56%	94.0%
実施例 7(a)	4%	4%	4%	無	有	90%	1.44%	89.5%
実施例 7(b)	1%	4%	4%	無	有	90%	0.87%	91.8%
実施例 7(c)	1%	1%	4%	無	有	90%	0.82%	92.9%
実施例 7(d)	1%	1%	1%	無	有	90%	0.27%	95.9%
実施例 7(e)	1%	1%	4%	有	有	90%	0.78%	92.8%
実施例 7(f)	1%	1%	1%	有	有	90%	0.25%	95.8%
実施例 7(g)	1%	1%	4%	有	有	5%	0.20%	87.3%
実施例 7(h)	1%	1%	1%	有	有	5%	0.11%	93.7%

[0331] また、図 5 2 に示す照明装置 4 6 4 のように筐体内部を黒塗りすることによって迷光を低減することができ、迷光割合を 1. 5 % 以下にすることができる。下記表 1 1 には、各実施例 8 (a) ~ (l) と比較例 8 とを示している。筐体内部を黒塗りすることによって、カップ反射率は、9 0 % から 5 % に低下している。

[0332]

[表11]

	L1 照射面側 反射率	L1 光源側 反射率	L2 レンズ 反射率	コバ 黒 塗	フード	カップ 反射率	迷光割合	効率
比較例 8	4%	4%	4%	無	無	90%	3.56%	94.0%
実施例 8(a)	4%	4%	4%	無	無	5%	2.45%	82.8%
実施例 8(b)	2%	4%	4%	無	無	5%	1.09%	84.4%
実施例 8(c)	2%	2%	4%	無	無	5%	1.09%	88.7%
実施例 8(d)	2%	2%	2%	無	無	5%	0.97%	93.3%
実施例 8(e)	1%	4%	4%	無	無	5%	0.69%	84%
実施例 8(f)	1%	1%	4%	無	無	5%	0.68%	90.0%
実施例 8(g)	1%	1%	1%	無	無	5%	0.48%	96.4%
実施例 8(h)	0.5%	4%	4%	無	無	5%	0.48%	85.1%
実施例 8(i)	0.5%	0.5%	4%	無	無	5%	0.48%	90.7%
実施例 8(j)	0.5%	0.5%	0.5%	無	無	5%	0.24%	98.0%
実施例 8(k)	1%	1%	4%	無	有	5%	0.20%	87.3%
実施例 8(l)	1%	1%	1%	無	有	5%	0.11%	93.8%

[0333] 以上、照射領域の周辺部で発生するイエローリングや迷光を抑制するための種々の形態を説明したが、各実施形態を任意に組み合わせても良いことは言うまでもない。

[0334] 以下、本発明のさらに別の実施形態を説明する。

[0335] [レンズを構成する材料を選択することによって色ムラの発生の抑制する形態]

上記のように凸レンズおよびメニスカスレンズの組み合わせを用いた場合、レンズを構成する材料が適切に選択されていないと、照射エリアの端部が、中心付近と異なる色を呈する現象（色づき現象）が生じてしまう可能性があることを本発明者らは見出した。

[0336] 以下、このような色づき現象を防止するための形態を説明する。

[0337] <実施の形態 5 - 1>

本実施形態の照明装置は、図 1 に示した照明装置と同様の構成を有している。すなわち、照明装置は、図 1 に示すように、光源（発光部）1 と、光源 1 の光取り出し側である、光出射面側の光軸 A x 上に配置された光学レンズ部 2 a とを含み、光源 1 で発光された光を、光学レンズ部 2（第 1 光学レンズ部）a を通して光照射するようになっている。

[0338] （光源 1）

光源 1 は、面発光を行う面発光体である LED 発光体からなる。なお、面発光を行う面発光体であれば、LED 発光体に限定されるものではない。例えば、発光部として蛍光体を含む発光部を用い、光源と発光部とを分離したりリモートフォスファール構造を採用しても良い。なお、本実施形態の LED 発光体（面発光体）の発光面の形状は矩形形状であり、この矩形の面積は 6 mm × 6 mm 程度である。

[0339] （光学レンズ L 1）

光学レンズ L 1 は、少なくとも光源 1 の発光面の最大幅よりも大きな直径を有しており、光源 1 側の面が凹面形状となった光学レンズからなる。

[0340] より具体的には、光軸 A x 方向に対する厚み：5.0 mm、光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径：12.0 mm、入射面（凹）の曲率半径：9.2 mm、出射面（凸）の曲率半径：6.0 mm である。

[0341] 光学レンズ L 1 の構成材料は、透光性および／または耐熱性を有する樹脂材料またはガラス材料が好ましく、本実施形態では、PMMA（ポリメチルメタクリレート：アッベ数 $\nu = 58$ ）を用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA 以外の候補としては高アッベ数のレンズ材料であるクラウンガラス（例えば Schott 社製の BK7：アッベ数 64.7 など）や、オレフィン系樹脂（例えば日本ゼオン社製の ZEONEX、JSR 社製の ARTON、三井化学社製の APL：アッベ数 56 程度）などがある。これらは高アッベ数かつ耐熱性と透明性を両立しているため PMMA よりも好ましい。

[0342] （光学レンズ L 2）

光学レンズL 2は、少なくとも1枚目の光学レンズである光学レンズL 1の最大径よりも大きな直径を有しており、光射出面側は凸形状となったレンズからなる。

[0343] より具体的には、光軸A x方向に対する厚み：10.5 mm、光軸A xに垂直な断面（最大）の直径：35.0 mm、入射面：平面、出射面（凸）の曲率半径：21 mm、出射面（凸）のコーニック定数：-0.28、非球面係数4次： -5.2×10^{-7} 、非球面係数6次： -1.9×10^{-8} 、非球面係数8次： 3.5×10^{-10} 、非球面係数10次： -9.7×10^{-13} 、非球面係数12次： 2.6×10^{-16} である。

[0344] 光学レンズL 2の構成材料は、本実施形態では、光学レンズL 1と同様PMMAを用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA以外の候補としては上記のクラウンガラスや、オレフィン系樹脂などを例示することができる。

[0345] 白色LEDパッケージ、1枚目の光学レンズL 1、および2枚目の光学レンズL 2の中心がそれぞれ光軸上と一致するように配置させ、かつ、光軸上における白色LEDパッケージの発光面と1枚目の光学レンズL 1の光入射面との距離を1.5 mm、また、光軸上における1枚目の光学レンズL 1の光射出面と2枚目の光学レンズL 2の入射面との距離を2.0 mmとして配置させた。

[0346] このとき、光学レンズL 1、L 2の焦点距離はそれぞれ23.05 mm、42.47 mmであり、合成焦点距離は16.14 mmであった。また、各光学レンズL 1、L 2の焦点位置 f_1 、 f_2 、および合成焦点位置 $f_1 + f_2$ の位置は、光源部の発光面を0（原点）として、出射方向を+方向に軸を取った場合、それぞれ-15.20 mm、-26.94 mm、-6.44 mmであった。一方、各光学レンズL 1、L 2によって発生する虚像（L 1虚像、L 2虚像）の位置を計算により導出した結果、L 1虚像は-1.26 mm、L 2虚像は-8.76 mmであった。

[0347] ここで、本実施形態の照明装置において、光学レンズL 1、L 2のそれぞれ

れは、比較的高いアッペ数（ $\nu = 54$ 以上）の構成材料のものを採用することが好ましい。

[0348] より具体的には、本実施形態では、上記のようにレンズの構成材料として PMMA を用いており、この場合、波長 587.6 nm 、 486.1 nm 、および 656.3 nm の光に対する屈折率を、それぞれ、 n_d 、 n_F 、 n_C とすると、アッペ数 $\nu = (n_d - 1) / (n_F - n_C) = 58$ となる。

[0349] また、上記のように、光学レンズ L_1 、 L_2 のそれぞれの構成材料は、透光性を有する材料であれば良く、必ずしも無色透明である必要はない。

[0350] また、上記のように、光学レンズ L_1 、 L_2 のそれぞれの構成材料は、耐熱性を有する材料であることが好ましい。これにより、光学レンズ L_1 、 L_2 のそれぞれの周辺の温度上昇によりレンズが変形してしまうことを抑制することができる。

[0351] 次に、上記のように適切にアッペ数が選択されたレンズを用いることの利点を説明する。

[0352] 本発明者は、上記特許文献 1 の光源にて照射面を均一に近づけると、照射エリアの端部が中心付近と異なる色となる現象（色づき現象）が生じてしまうことを新たに見出した。そこで、本発明者が上記の色づき現象が生じる原因について鋭意検討したところ、レンズの構成材料のアッペ数が低いほど、色づきの程度が大きいことが新たに判明した。これは、定性的には、アッペ数が低いほど、レンズを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が大きくなるからであると考えられる。

[0353] そこで、本実施形態の照明装置では、光学レンズ L_1 、 L_2 のそれぞれの構成材料のアッペ数を 54 以上としている（比較的高いアッペ数；本実施形態では、PMMA を用いアッペ数 58 としている）。これにより、光学レンズ部 2a を構成する光学レンズ L_1 、 L_2 のそれぞれを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が小さくなるため、波長の異なる複数の光の光線間のずれが小さくなる。このため、照射エリアの中心付近と端部の色変化を小さくすることができる。

[0354] このように、本実施形態では、照射光の照射エリア（スポット）の中心付近と端部の色変化を小さくすることができるというさらなる効果が得られる。

[0355] （図 2 に示す照明装置と同様の構成）

また、本実施形態の照明装置は、図 2 に示した照明装置と同様の構成であっても良い。以下、本構成において、上記のように適切にアッペ数が選択されたレンズを用いることの利点を説明する。

[0356] 図 2 に示す照明装置と同様の構成を採用する場合においても、光学レンズ L 1、L 2 のそれぞれの構成材料のアッペ数を 54 以上としている（比較的高いアッペ数；本実施形態では、PMMA を用いアッペ数 58 としている）。これにより、光学レンズ部 2 a を構成する光学レンズ L 1、L 2 のそれぞれを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が小さくなるため、波長の異なる複数の光の光線間のずれが小さくなる。このため、照射エリアの中心付近と端部の色変化を小さくすることができる。

[0357] 従って、照射光の照射エリア（スポット）の中心付近と端部の色変化を小さくすることができるというさらなる効果が得られる。

[0358] 以下、図 5 3 を参照しながら、照射エリアの端部（周辺）の色づきと照明装置 1 1 a の光線の挙動との関係について説明する。

[0359] 図 5 3（a）は、本実施形態の照明装置 1 1 a の光線挙動を示す図である。また、図 5 3（b）は、参考例（sample 2）の照明装置（コリメート光学系 LC 2）の光線挙動を示す図である。さらに、図 5 3（c）は、各レンズの構成材料と、屈折率またはアッペ数との関係を示す表である。

[0360] ここでは、照明装置 1 1 a と、参考例の照明装置において、光源 1 から射出された赤色光（波長 700 nm；薄い実線）および青色光（波長 435 nm；濃い実線）の各光線の追跡結果を示す。

[0361] 図 5 3（b）に示す参考例の照明装置では、高屈折率（＝低アッペ数）の材料を使用しており、その波長分散性から赤色光と青色光の各光線が大きくずれていることがわかる。

- [0362] 一方、図53(a)に示す本実施形態の照明装置11aのように、アッペ数が高いレンズ材料を用いると、波長による屈折率の差が小さくなるため、赤色光と青色光の各光線のずれが少ないことがわかる。
- [0363] 次に、図54に基づき、本実施形態の照明装置11aの光学的特性について説明する。図54(a)は、照明装置11aにおいて、照射光に電球色(3000K)、青色(波長435nm)、赤色(波長700nm)の3種類の光を含めたときの照度分布を示す。また、図54(b)は、参考例のコリメート光学系LC2の照度分布を示す。さらに、図54(c)は、図54(a)に示す照明装置のカラーチャートを示す。
- [0364] 図54(a)および(c)に示すように、照明装置11aについては、照度エリアは均一であり、さらに赤色光と青色光の照度エリアの差も1000mm先でもほとんどないため、照射エリア(スポット)の中心付近と端部の色変化はほとんどわからない。
- [0365] 一方、レンズ位置・形状が照明装置11aと同じでも、コリメート光学系LC2の照明装置のように、低アッペ数の材料(光学レンズL1にポリカーボネイト(PC);アッペ数30)を使った場合、赤色光と青色光の各光線に差が発生するエリア(色変化の距離)が異なる。
- [0366] 例えば、照明装置11aにおいて色変化の距離が70mm程度に対して、コリメート光学系LC2では、色変化の距離が120mm程度、すなわち、照射エリアの周辺の色づきエリアが大きくなる。
- [0367] 次に、図55に基づき、照射エリアの端部(周辺)の色づきとアッペ数との関係(臨界的意義)について説明する。
- [0368] 図55(a)は、レンズの構成材料と、屈折率およびアッペ数との関係を示す表である。また、図55(b)は、アッペ数と、照射エリアの端部(周辺)における色変化の距離との関係を示すグラフである。
- [0369] 本発明者は、アッペ数の違いによる効果を確認するために、図55(a)の表に示す各材料について、アッペ数と、照射エリアの端部(周辺)における色変化の距離との関係について評価した。

[0370] その結果、図 5 5 (b) のグラフに示されているように、アッベ数が 5 4 付近を境界として、色変化の距離が急激に変化することが判明した。

[0371] 同図では、アッベ数が 5 4 未満のとき、色変化の距離は、ほぼ 1 1 2 mm 以上、もしくは、ほぼ 1 2 0 mm 以上となっている。一方、アッベ数が 5 4 以上のとき、色変化の距離は、9 6 mm 以下、もしくは、ほぼ 6 8 mm 以下となっている。

[0372] なお、アッベ数は、高ければ高いほど良いわけではなく、アッベ数が非常に高い材料（たとえば H O Y A 社製：F C D ガラス；アッベ数 8 2）では改善効果は収束する（不図示）。以上より、アッベ数は、5 4 以上 8 2 以下、より好ましくは、5 6 以上 6 5 以下であることが好ましい。

[0373] <実施の形態 5 - 2>

図 5 6 および図 5 7 は本実施の形態に係る照明装置 1 1 c の概略構成を示す図である。

[0374] （照明装置 1 1 c の構成）・・・図 5 6、5 7

照明装置 1 1 c は、上記の光学レンズ部 2 a の他に、さらに 2 枚の照射角度調整用レンズである光学レンズ L 3、L 4 からなる光学レンズ部 2 b が、光学レンズ部 2 a の光射出側に設けられている点で、上記の照明装置 1 1 a、1 1 b と異なっている。

[0375] 光学レンズ部 2 a については、上述したとおりなので、以下では、光学レンズ部 2 b について説明する。

[0376] （光学レンズ部 2 b）

光学レンズ部 2 b は、2 枚の光学レンズ L 3、L 4 からなり、光学レンズ部 2 a の光射出側に近い側から順に、光学レンズ L 3、光学レンズ L 4 が配置された構造となっている。なお、光学レンズ L 3、L 4 は、それぞれの中心が光軸 A x を通るように配置されている。

[0377] （光学レンズ L 3）

光学レンズ L 3 は、少なくとも光学レンズ L 2 の光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径よりも大きな直径を有しており、光学レンズ L 2 側の面が凹面

形状となった光学レンズからなる。

[0378] より具体的には、光軸 A x 方向に対する厚み：10 mm、光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径：50 mm、入射面（凹）の曲率半径：78 mm、出射面（凸）の曲率半径：180 mm である。

[0379] 光学レンズ L 3 の構成材料は、光学レンズ L 1、L 2 と同様、高アッベ数のものが好ましく、本実施形態では PMMA を用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA 以外の候補としては上記のクラウンガラスや、オレフィン系樹脂などを例示することができる。

[0380] また、光学レンズ L 2、L 3 間の距離は、光学レンズ L 2、L 4 と干渉しない範囲で可変となっており、図 5 7（a）および（b）に示すように、この距離を変化させることで照射角度調整して、広角または狭角への変更が可能となっている。

[0381] なお、図 5 7（a）は、照明光の照射角度を狭角としたときの各レンズの配置を示す。また、図 5 7（b）は、照明光の照射角度を広角としたときの各レンズの配置を示す。

[0382] （光学レンズ L 4）

光学レンズ L 4 は、少なくとも 1 枚目の光学レンズである光学レンズ L 3 の最大径よりも大きな直径を有しており、光射出面側は凸形状となったレンズからなる。

[0383] より具体的には、光軸 A x 方向に対する厚み：18 mm、光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径：100 mm、入射面（凹）の曲率半径：330 mm、出射面（凸）の曲率半径：90 mm である。

[0384] 光学レンズ L 4 の構成材料は、本実施形態では、光学レンズ L 1 と同様 PMMA を用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA 以外の候補としては上記のクラウンガラスや、オレフィン系樹脂などを例示することができる。

[0385] なお、図 5 6 に示す光学レンズ L 2～L 4 の距離は、50 mm 程度である。

[0386] (照明装置 1 1 c の効果)

照明装置 1 1 c によれば、発光部から出射される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から出射する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができ、照射光の照射エリア（スポット）の中心付近と端部の色変化を小さくしながら、広角または狭角への変更が可能となる。

[0387] 次に、図 5 8 および 5 9 に基づき、照明装置 1 1 c の光学的特性について説明する。

[0388] 図 5 8 (a) は、狭角のレンズ配置において、照射光に電球色（3 0 0 0 K）、青色（波長 4 3 5 n m）、赤色（波長 7 0 0 n m）の 3 種類の光を含めたときの照度分布を示す。また、図 5 8 (b) は、カラーチャートを示す。一方、図 5 9 (a) は、広角のレンズ配置において、照射光に電球色、青色、赤色の 3 種類の光を含めたときの照度分布を示す。さらに、図 5 9 (b) は、カラーチャートを示す。

[0389] これらの図に示すように、照明装置 1 1 c については、照度エリアは均一であり、さらに赤色光と青色光の照度エリアの差も 1 0 0 0 m m 先でもほとんどないため、照射エリア（スポット）の中心付近と端部の色変化はほとんどわからない。

[0390] <実施の形態 5 - 3>

本発明のさらに他の実施の形態について説明すれば以下の通りである。ここでは、光学レンズ部 2 の 2 枚構成の光学レンズを一体化した例について説明する。

[0391] (照明装置の構成)・・・図 6 0

図 6 0 は、本実施の形態に係る照明装置 1 1 d の概略構成を示す図である。

[0392] 同図に示すように照明装置 1 1 d は、光源 1（発光部）と、2 枚構成の光学レンズ L 1、L 2 が一体化された光学レンズ部 2 c とを備える。

[0393] (光源 1)

光源 1 は、面発光を行う面発光体である LED 発光体からなる。なお、面発光を行う面発光体であれば、LED 発光体に限定されるものではない。例えば、発光部として蛍光体を含む発光部を用い、光源と発光部とを分離した構造を採用しても良い。なお、本実施形態の LED 発光体（面発光体）の発光面の形状は、略円形状であり直径は 2 mm Φ である。

[0394] (光学レンズ部 2 c)

光源 1 の発光面に垂直な方向に射出する光は、光学レンズ L 2 の各空気界面において、概ね垂直入射している。その為、同図に示すように、光学レンズ L 1、L 2 の各レンズの中央付近の一部を接触または接合させても、射出角度分布に大きな影響を及ぼすことなく、照射領域の均一性が実現される。

[0395] (光学レンズ L 1)

光学レンズ L 1 は、少なくとも光源 1 の発光面の最大幅よりも大きな直径を有しており、光源 1 側の面が凹面形状となった光学レンズからなる。

[0396] より具体的には、光軸 A x 方向に対する厚み：2.0 mm、光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径：8.0 mm、入射面（凹）の曲率半径：6.6 mm、出射面（凸）の曲率半径：4.0 mm である。

[0397] 光学レンズ L 1 の構成材料は、本実施形態では、上記と同様 PMMA を用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA 以外の候補としては上記のクラウンガラスや、オレフィン系樹脂などを例示することができる。

[0398] (光学レンズ L 2)

光学レンズ L 2 は、少なくとも 1 枚目の光学レンズである光学レンズ L 1 の最大径よりも大きな直径を有しており、光射出面側は凸形状となったレンズからなる。

[0399] より具体的には、光軸 A x 方向に対する厚み：4.0 mm、光軸 A x に垂直な断面（最大）の直径：16 mm、入射面：平面、出射面（凸）の曲率半径：12 mm、出射面（凸）のコーニック定数：-0.20 である。

[0400] 光学レンズ L 2 の構成材料は、本実施形態では、光学レンズ L 1 と同様 P

MMAを用いているが、これに限定されない。例えば、PMMA以外の候補としては上記のクラウンガラスや、オレフィン系樹脂などを例示することができる。

[0401] (製造方法)

図60に示す照明装置11dでは、光学レンズL1、L2を一体成型または、光学レンズL1、L2を接合させて光学レンズ部2cとした例を示している。

(1) 一体成型：具体的には、アクリル材質等の樹脂（本実施形態では、アッペ数58のPMMAを使用）を金型によって光学レンズL1、L2を一体成型して光学レンズ部2cとする。

(2) 接合：一方、光源1の発光面に近いレンズ（光学レンズL1）と発光面から遠いレンズ（光学レンズL2）とをそれぞれ成型した後、各レンズの中心付近で接着させて光学レンズ部2cとしても良い。

[0402] より具体的には、照明装置11dの製造方法は、以下の工程を含む。

(a) レンズ作成工程：アッペ数が54以上の透光性材料を用いて複数の光学レンズのそれぞれを作成するレンズ作成工程。

(b) 接合工程：光学レンズ部2cを構成する各光学レンズのそれぞれの焦点位置が、各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、発光部に対向する面とは反対側に存在するように、(a)のレンズ作成工程で作成した複数の光学レンズのそれぞれを、光軸調整を行って接合する。

[0403] なお、本実施形態では、「接合」の一例として、接着剤を使用した接着によって、2枚構成の光学レンズを一体化しているが、これに限定されない。例えば、「接合」のその他の例として溶着、圧着などを挙示することができる。

[0404] 次に、図61に基づき、照明装置11dの光学的特性について説明する。

図61(a)は、照射光に電球色(3000K)、青色(波長435nm)、赤色(波長700nm)の3種類の光を含めたときの照度分布を示す。また、図61(b)は、カラーチャートを示す。

- [0405] これらの図に示すように、照度エリアは均一であり、さらに赤色光と青色光の照度エリアの差も1000mm先でもほとんどないため中心付近と端部の色変化はほとんどわからなくなる。
- [0406] 以上に説明したように、本実施形態の照明装置は、発光部の光取り出し側に、複数の光学レンズからなる光学レンズ部を配置した照明装置において、上記光学レンズ部は、各光学レンズのそれぞれの焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、上記発光部に対向する面とは反対側に存在しており、上記複数の光学レンズのそれぞれの構成材料のアッベ数が54以上であってよい。
- [0407] また、本実施形態の照明装置の製造方法は、発光部の光取り出し側に、複数の光学レンズからなる光学レンズ部を配置した照明装置の製造方法であって、アッベ数が54以上の透光性材料を用いて上記複数の光学レンズのそれぞれを作成するレンズ作成工程と、上記光学レンズ部を構成する各光学レンズのそれぞれの焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、上記発光部に対向する面とは反対側に存在するように、上記レンズ作成工程で作成した複数の光学レンズのそれぞれを、光軸調整を行って接合するレンズ接合工程と、を含んでいても良い。
- [0408] 上記構成または方法によれば、各レンズによる虚像を発光部に近い位置で発生させることができる。
- [0409] これにより、光学レンズ部の光軸上に存在する発光部中心から射出される光と、発光部の中心から外れた位置から射出される光とを、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部から射出することが可能となるので、発光部中心から射出される光も発光部中心から外れた位置から射出される光も所定の照射領域の全域を同じように照射することができるので、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることが可能となる。
- [0410] しかも、発光部中心から射出される光と発光部中心から外れた位置から射出される光は、ほぼ等しい角度分布で光学レンズ部から射出することが可能となるので、当該光学レンズ部に射出されない光を殆ど無くすることができ、

この結果、高い光利用効率を実現することが可能となる。

[0411] また、上記のように、本発明者は、上記特許文献1の光源にて照射面を均一に近づけると、照射エリアの端部が中心付近と異なる色となる現象（色づき現象）が生じてしまうことを新たに見出した。そこで、本発明者が上記の色づき現象が生じる原因について鋭意検討したところ、レンズの構成材料のアッベ数が低いほど、色づきの程度が大きいことが新たに判明した。これは、定性的には、アッベ数が低いほど、レンズを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が大きくなるからであると考えられる。

[0412] そこで、上記の構成または方法では、複数の光学レンズのそれぞれの構成材料のアッベ数を54以上（比較的高いアッベ数）としている。これにより、光学レンズ部を構成する複数の光学レンズのそれぞれを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が小さくなるため、波長の異なる複数の光の光線間のずれが小さくなる。このため、照射エリアの中心付近と端部の色変化を小さくすることができる。

[0413] 従って、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができ、照射光のスポットの中心付近と端部との色変化を小さくすることができる。

[0414] また、本実施形態による照明装置は、発光部の光照射面側に、複数の光学レンズからなるレンズ部を配置した照明装置において、上記光学レンズ部を構成する各光学レンズの焦点を合成した合成焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、当該全ての虚像の上記発光部に対向する面とは反対側に存在していても良い。

[0415] また、上記構成によれば、光学レンズ部を構成する各光学レンズの焦点を合成した合成焦点位置が、上記各光学レンズによって発生するそれぞれの虚像に対して、当該全ての虚像の上記発光部に対向する面とは反対側に存在していることで、各レンズによる虚像を発光部に、更に近い位置で発生させる

ことができる。これにより、光学レンズ部から射出する光の角度を拡げることができるので、より広い照射領域の均一性を飛躍的に向上させることが可能となる。

[0416] さらに、上記構成によっても、各レンズによる虚像を発光部に近い位置で発生させることができるので、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができる。また、上記構成によっても、光学レンズ部を構成する複数の光学レンズのそれぞれを通過する波長の異なる複数の光の波長の違いによる屈折率の差が小さくなるため、波長の異なる複数の光の光線間のずれが小さくなる。このため、照射エリアの中心付近と端部の色変化を小さくすることができる。

[0417] 上記複数の光学レンズのそれぞれの構成材料が、耐熱性を有する材料であっても良い。

[0418] 上記構成によれば、複数の光学レンズのそれぞれの周辺の温度上昇によりレンズが変形してしまうことを抑制することができる。

[0419] また、本実施形態による照明装置は、上記光学レンズ部を第1光学レンズ部としたとき、上記第1光学レンズ部の光射出側に、第2光学レンズ部が設けられていても良い。

[0420] 上記構成によれば、第1光学レンズ部から射出された光の射出角を、第2光学レンズ部によって変更することが可能となる。つまり、第2光学レンズ部の光学特性を調整することにより、第1光学レンズ部から射出された光の射出角を狭めたり、あるいは拡げたりすることが可能となる。

[0421] これにより、第2光学レンズ部の設計の仕方によって、光の照射領域の面積を自由に変更させることができる。

[0422] また、本実施形態による照明装置は、上記第2光学レンズ部は、第1光学レンズ部に一番近いレンズを凹レンズ、次に近いレンズを凸レンズで構成されていても良い。

- [0423] このように、凹レンズと凸レンズとの組み合わせにより、各レンズで発生する収差を補正し合うことができるので、第1光学レンズ部から射出される光の特性を壊さないようにすることができる。
- [0424] これにより、第1光学レンズ部から射出される光の射出角が調整可能で、且つ、発光部から射出される光のほぼ全ての光を利用することができ、高い光利用効率を実現するとともに、発光部の異なる場所から射出する光をほぼ等しい照射領域へ照射することが可能となり、照射領域の均一性を飛躍的に向上させることができる。
- [0425] また、本実施形態による照明装置は、上記光学レンズ部は、上記各レンズ界面の一部が一体的に形成されていても良い。
- [0426] このように、光学レンズ部を構成している各レンズの一部が一体的に形成されていることで、発光部の発光面と光学レンズ部との位置合わせを簡単にできる。
- [0427] また、発光部と光学レンズ部との固定も簡単に行うことができる。
- [0428] 2枚レンズの一体的な形成方法としては、樹脂による一体成型、接着剤による接着が考えられる。
- [0429] また、本実施形態による照明装置は、上記2枚レンズが樹脂により一体成型されていても良い。
- [0430] この場合、2枚レンズが樹脂により一体成型されていることで、光学レンズ部を形成する際の成型回数を2回（レンズ2枚の場合）から1回に減らすことができるため、製造コストの低下を図ることができる。
- [0431] また、本実施形態による照明装置は、上記光学レンズ部を構成するレンズのうち、上記発光部に最も近いレンズ面を、当該発光部に向かって窪んだ凹面とする第1光学レンズ、上記発光部の発光面から光軸上の第1光学レンズの界面までの距離を d 、上記第1光学レンズの内側レンズ曲率半径を R 、上記発光部の上記光軸上の配置範囲を h としたとき、 $h \leq 2\sqrt{d(2R-d)}$ を満たしていても良い。
- [0432] このように、発光部を上記配置範囲 h 内に配置することで、当該発光部が

ら射出される光が全て第1光学レンズに取り込まれるようになり、光利用効率を向上させることができる。

[0433] また、本実施形態による照明装置は、上記光学レンズ部の中心から、発光部の発光面までの距離を a 、上記光学レンズ部の中心から焦点位置までの距離を f としたとき、 $a < f/2$ を満たしていても良い。

[0434] このように、光学レンズ部の中心から、発光部の発光面までの距離 a を、光学レンズ部の中心から焦点位置までの距離 f の半分より短くすることによって、常に、虚像位置を光学レンズ部の焦点位置よりも相対的に光学レンズ部へ近付けることができる。

[0435] また、本実施形態による照明装置は、上記発光部は、複数の発光体からなっているとしても良い。

[0436] この場合、発光部の発光面には、複数の発光体が配置されることになるが、各発光体の発光量にバラツキがあっても、照射面では、これらのバラツキを吸収するようにして光が照射される。つまり、どの発光体においても、同じ照射領域に光を照射するようになっているので、発光体の発光量にバラツキがあっても、このバラツキが吸収されることになる。

[0437] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組合せて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

産業上の利用可能性

[0438] 本発明の実施形態による照明装置は、狭い範囲のみ照明するスポットライトや投光機、やや広範囲を均一に照らす街灯や読書灯、室内用間接照明や自動車の室内灯、より大光量タイプの自動車のヘッドライト等、多くの照明製品に利用することができる。また、舞台照明装置用として、円形以外の照射領域を形成するスポットライトとして好適に利用できる。

[0439] また、光源の発光波長は可視光だけではなく、赤外光を用いた赤外センサー用光源や、紫外光を用いたスポット露光照明、殺菌用照明などに利用でき

る。

符号の説明

[0440] 1 光源（発光部）

2 光学レンズ部

3 光学レンズ

4 光学レンズ

5 開口部

1 1 照明装置

1 2 照明装置

1 3 a 照明装置

1 3 b 照明装置

2 2 光学レンズ部

2 3 光学レンズ部

A X 光軸

L 1 光学レンズ（第1レンズ）

L 2 光学レンズ（第2レンズ）

f 1 第1の焦点位置

f 2 第2の焦点位置

F 1 第1レンズの焦点

F 2 第2レンズの焦点

請求の範囲

[請求項1]

光出射面を有する面光源と、

第1の焦点を有し、前記面光源の前記光出射面側に配置された第1レンズと、

第2の焦点を有し、前記第1レンズの光出射面側に配置された第2レンズと

を備え、

前記第1レンズによって第1の虚像が形成され、かつ、前記第2レンズによって第2の虚像が形成されるように、前記面光源、前記第1レンズおよび前記第2レンズが構成されている照明装置であって、

前記第2の焦点と、前記第1レンズとの間に、前記第1の虚像が形成され、

前記第2の焦点は、前記第2レンズの主点から所定焦点距離 f' だけ離れた位置よりも前記面光源とは反対の側に位置しており、

前記第2レンズの主点と前記第1の虚像の位置との間の距離を l' とし、前記第2レンズの有効径を D とし、前記面光源の光出射面のサイズまたは前記面光源に含まれる複数の発光素子の配列ピッチのいずれか一方である光源サイズファクタを ε とすると、

前記所定焦点距離 f' は、 $l' = (D / (\varepsilon + D)) \cdot f'$ を満たす、照明装置。

[請求項2]

前記第1レンズによって形成される前記第1の虚像が、前記第2レンズの焦点よりも前記面光源側に位置している、請求項1に記載の照明装置。

[請求項3]

前記第1の焦点と前記第1レンズとの間に前記第1の虚像が形成され、かつ、前記第2の焦点と前記第2レンズとの間に前記第2の虚像が形成される、請求項2に記載の照明装置。

[請求項4]

前記第1レンズと前記第2レンズとの合成焦点と、前記第1レンズとの間において、前記第1の虚像および前記第2の虚像が形成される

、請求項 3 に記載の照明装置。

[請求項5] 前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとを含む第 1 の光学系の光出射側に、第 2 の光学系がさらに設けられている、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の照明装置。

[請求項6] 前記第 2 の光学系は、前記第 1 の光学系に対して最も近接する凹レンズと、前記第 1 の光学系に対して前記凹レンズの次に近接する凸レンズとを含む、請求項 5 に記載の照明装置。

[請求項7] 前記第 1 レンズの光出射面と前記第 2 レンズの光入射面とが接合している、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の照明装置。

[請求項8] 前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとは、樹脂により一体成型されている、請求項 7 に記載の照明装置。

[請求項9] 前記第 1 レンズの前記面光源に対向する側のレンズ面は凹曲面であり、

光軸上における前記面光源の光出射面から前記第 1 レンズの凹曲面までの距離を d 、前記第 1 レンズの前記凹曲面が有する曲率半径を R としたとき、

前記光出射面を配置可能な位置の範囲幅 h は、

$$h \leq 2\sqrt{d(2R - d)}$$

で表される、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の照明装置。

[請求項10] 前記第 1 レンズおよび第 2 レンズを含む光学レンズ部の主点から、前記光出射面までの距離を a 、前記光学レンズ部の主点から焦点位置までの距離を f としたとき、

$$a < f / 2$$

を満たす、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の照明装置。

[請求項11] 前記面光源は、互いに離間して配置された複数の発光素子を含む請求項 1 から 10 のいずれかに記載の照明装置。

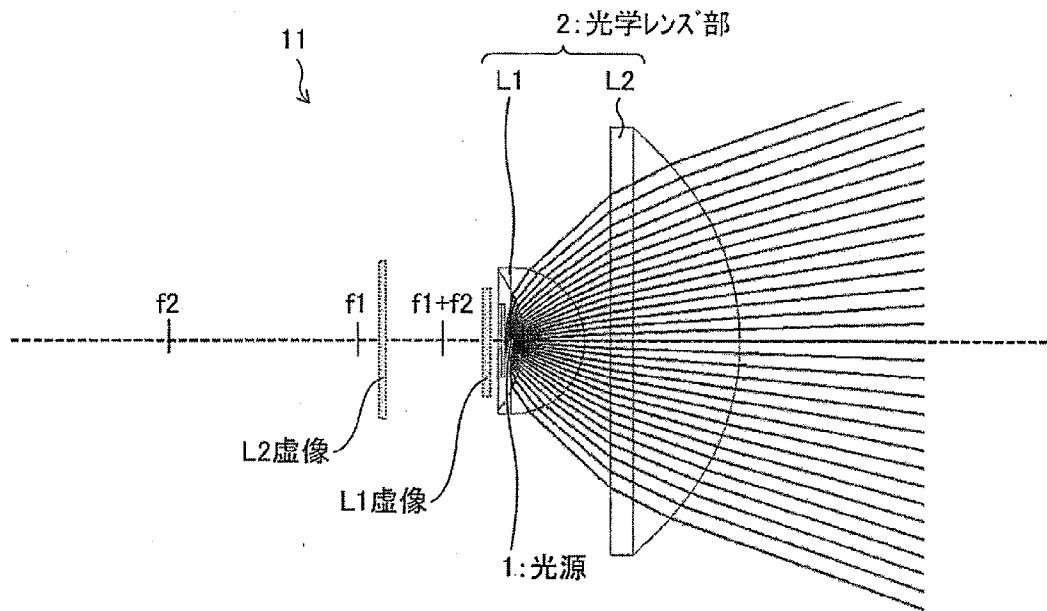
[請求項12] 前記第 1 レンズおよび前記第 2 レンズは、アッベ数が 54 以上の材料から形成されている、請求項 1 から 11 のいずれかに記載の照明装

置。

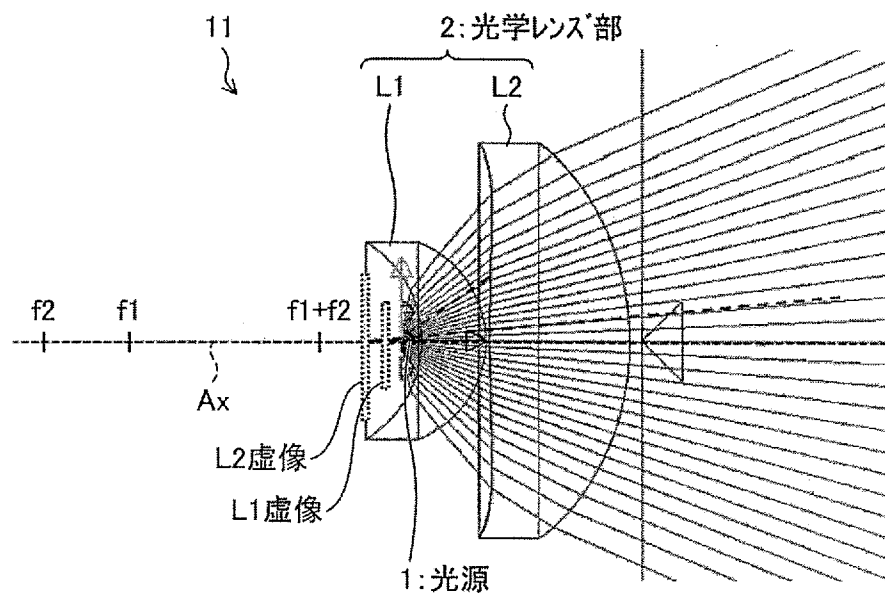
- [請求項13] 前記第1レンズおよび前記第2レンズは、耐熱性を有する材料から形成されている請求項12に記載の照明装置。
- [請求項14] 前記第1レンズおよび前記第2レンズのうちの少なくとも一方は、アクロマートレンズである請求項1から13のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項15] 前記アクロマートレンズは、凹レンズと前記凹レンズに密着する凸レンズとから構成されており、前記凹レンズと前記凸レンズとの中央部における接合界面が平面である、請求項14に記載の照明装置。
- [請求項16] 前記面光源と前記第1レンズとの間に設けられた光拡散層をさらに有する、請求項1から15のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項17] 前記光拡散層のヘイズ値は、5%～50%である請求項16に記載の照明装置。
- [請求項18] 前記面光源は、ピッチPで並べられた複数の発光素子と、前記複数の発光素子と重なるように配置された蛍光体とを含み、前記蛍光体のエッジと、前記蛍光体のエッジに最も近い位置に配置された発光素子のエッジとの間の距離をAとしたとき、 $A \leq P$ を満たす、請求項1から17のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項19] 前記第2レンズの光出射側に配置され、前記第2レンズから出射された光の一部のみを遮るように設けられたフードをさらに備える、請求項1から18のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項20] 光軸上における、前記面光源の発光面の位置から前記フードの先端の位置までの距離 $L_{f1} + L_{f2}$ は、角度-相対照度グラフの傾きが -0.1 よりも小さくなる最小の角度を θ_1 とし、迷光領域の光束/(照射領域の光束+迷光領域の光束)で表される迷光割合が1%以下となる出射角度を θ_2 とし、前記フードの半径を R_f としたとき、 $R_f / \tan \theta_2 < L_{f1} + L_{f2} < R_f / \tan \theta_1$ を満たす、請求項19に記載の照明装置。

- [請求項21] 前記第1レンズの光出射面および光入射面ならびに前記第2レンズの光出射面および光入射面のうちの少なくとも1つにおいて反射防止層が設けられている、請求項1から20のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項22] 前記第1レンズおよび前記第2レンズの少なくとも一方のコバに、光吸収層が設けられている請求項1から21のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項23] 前記面光源、前記第1レンズおよび前記第2レンズを収容する空間を有する筐体をさらに備え、前記収容する空間の外側を規定する筐体部分の少なくとも一部において光吸収層が設けられている請求項1から22のいずれかに記載の照明装置。
- [請求項24] 請求項1から23のいずれかに記載の照明装置をヘッドライトとして用いた自動車。
- [請求項25] スクリーン上に光を照射したときに得られる照射角度－相対照度グラフにおいて、相対照度0.10となる点の接線と照射角度を示す軸との交点よりも内側の領域を照射領域とし、前記照射領域の外側の領域を迷光領域としたときに、迷光領域の光束／（照射領域の光束＋迷光領域の光束）によって表される迷光割合が3%以下である照明装置。

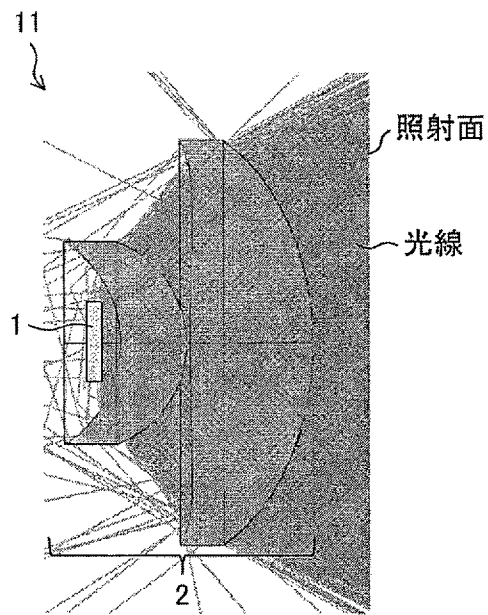
[図1]



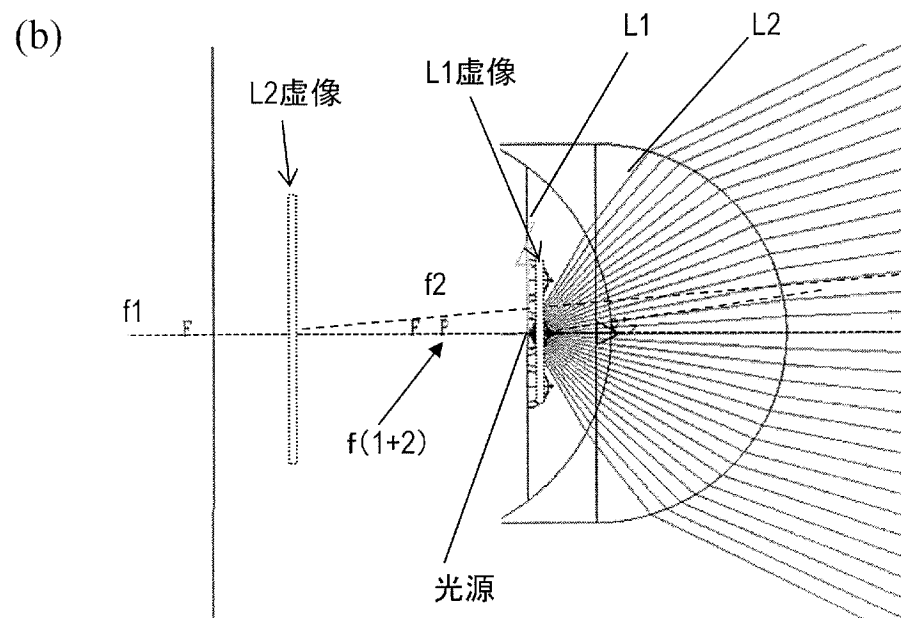
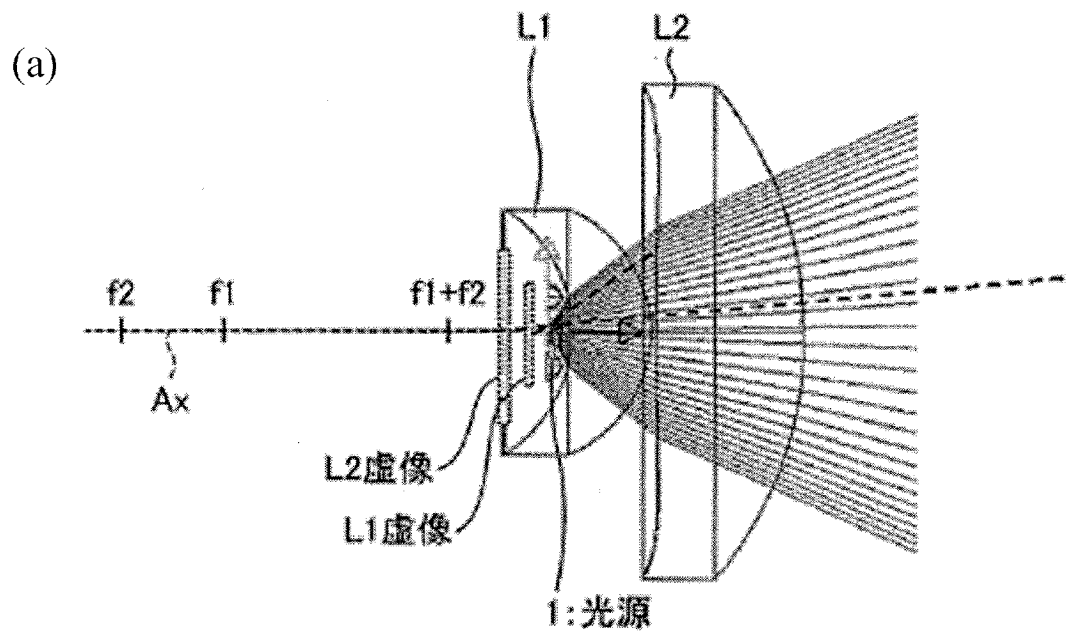
[図2]



[図3]

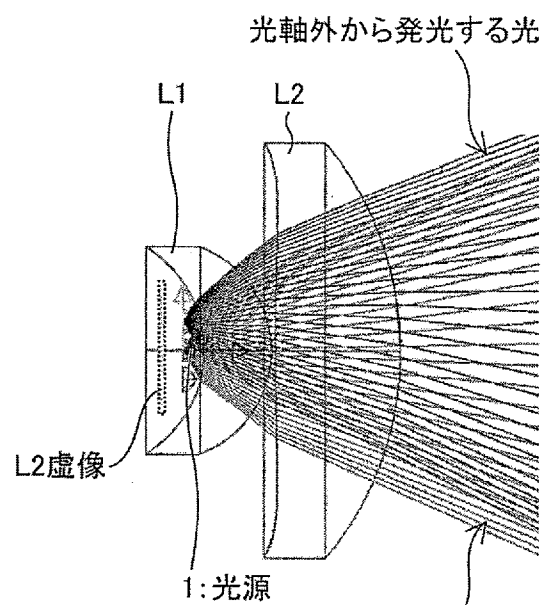


[図4]

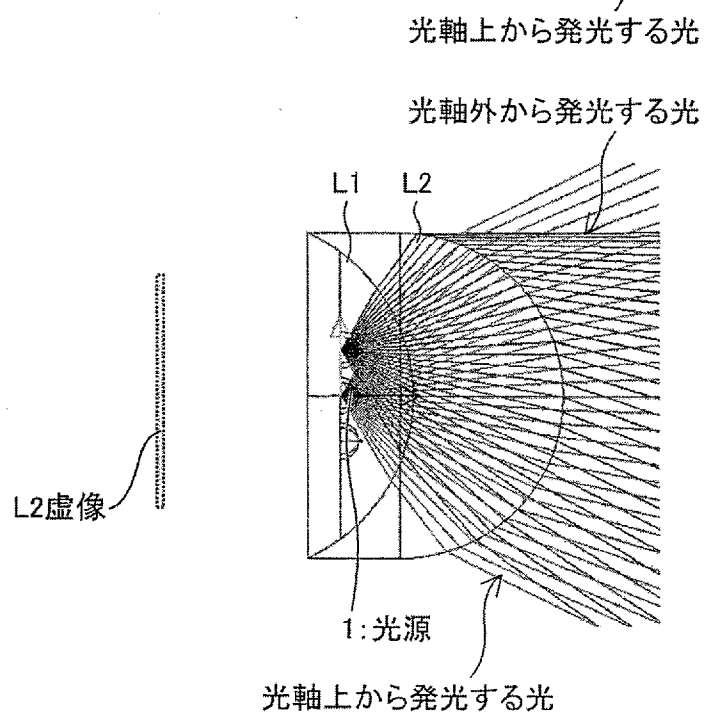


[図5]

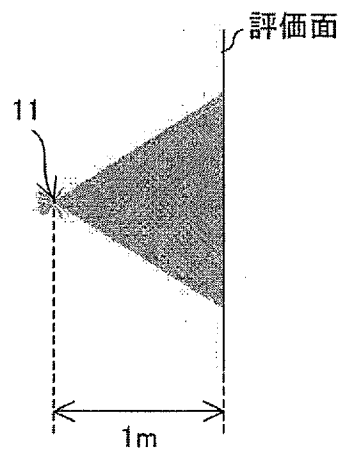
(a)



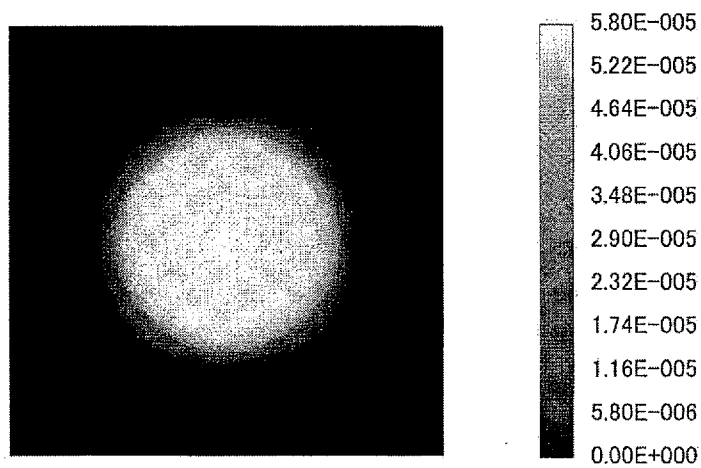
(b)



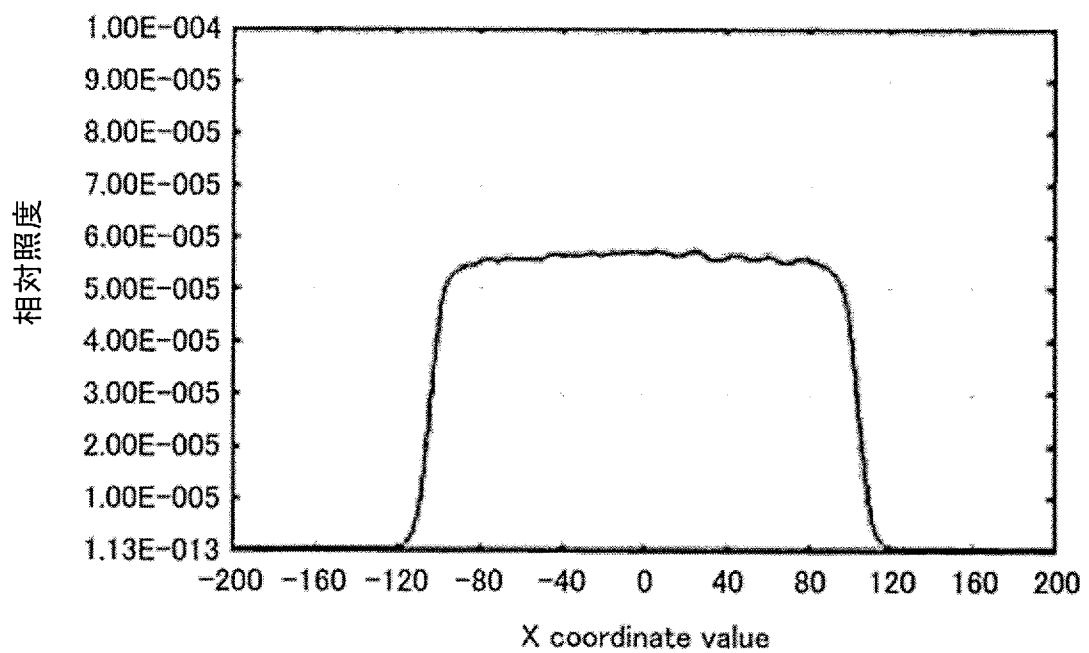
[図6]



[図7]

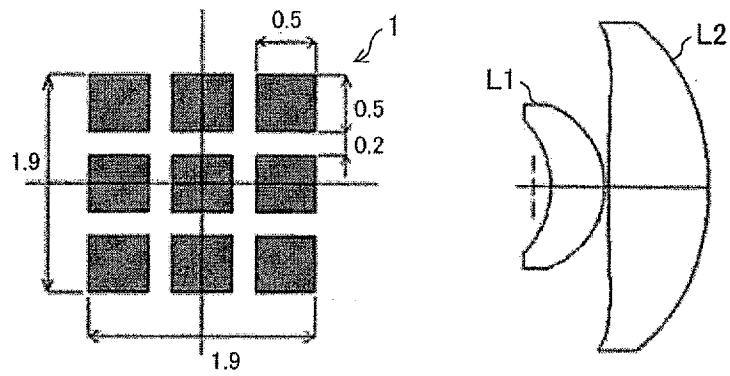


[図8]

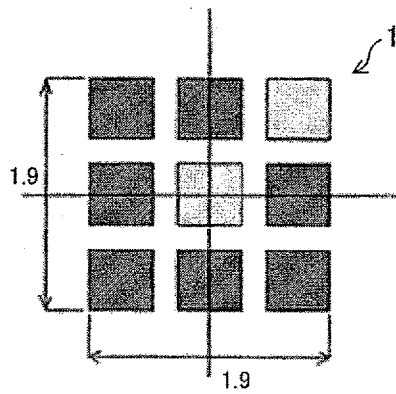


[図9]

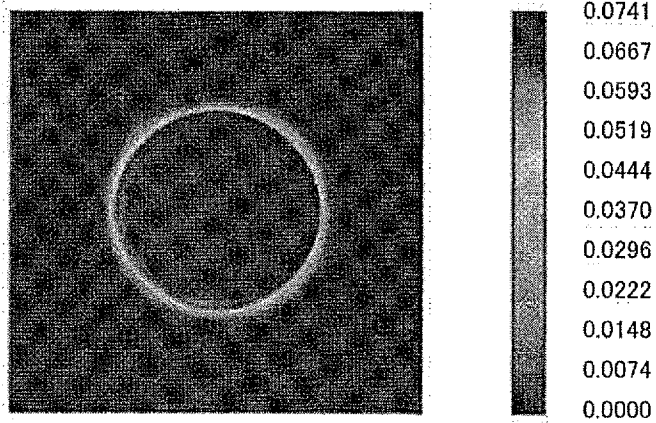
(a)



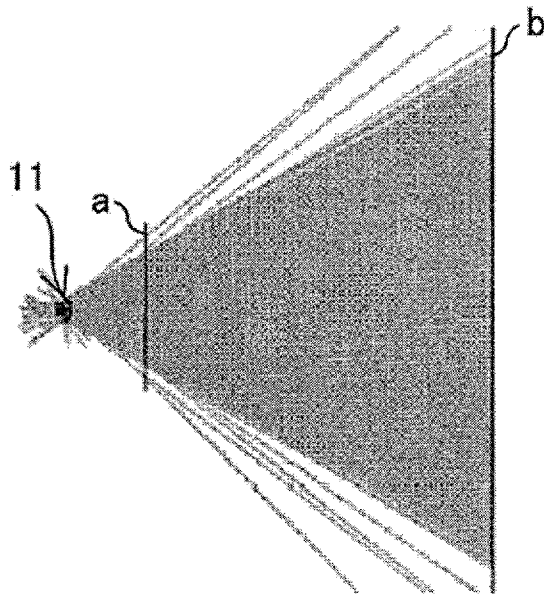
(b)



(c)



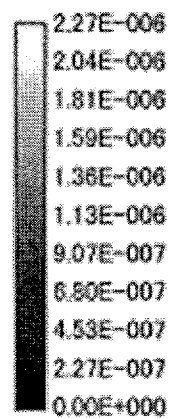
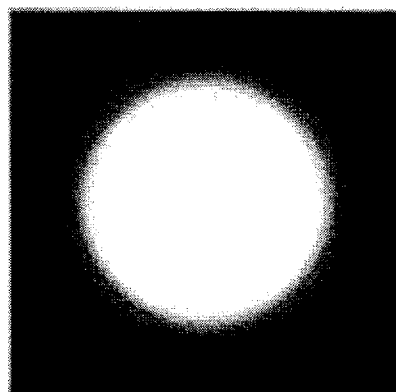
[図10]



[図11]

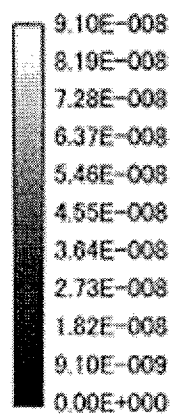
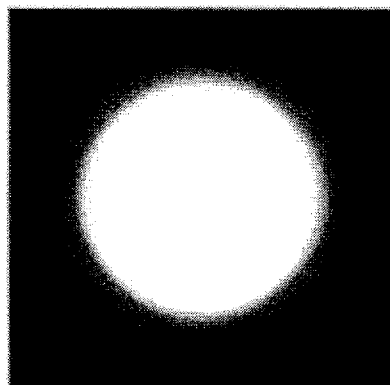
(a)

1m先での2次元照度分布



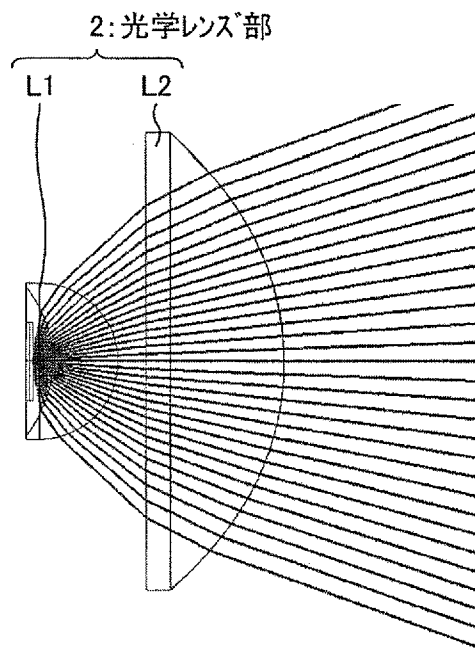
(b)

5m先での2次元照度分布

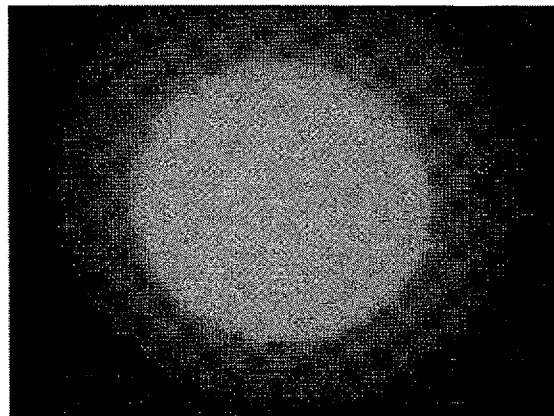


[図12]

(a)

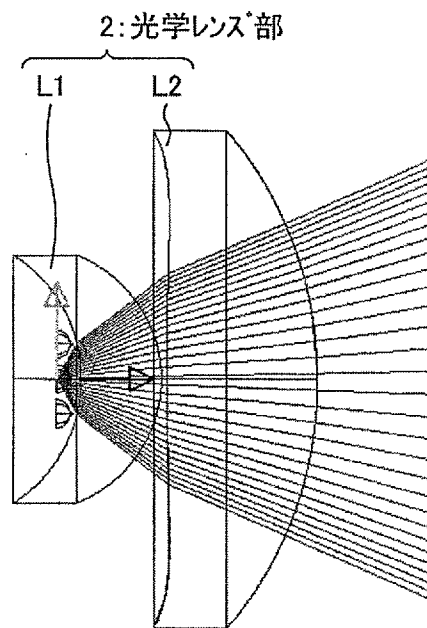


(b)

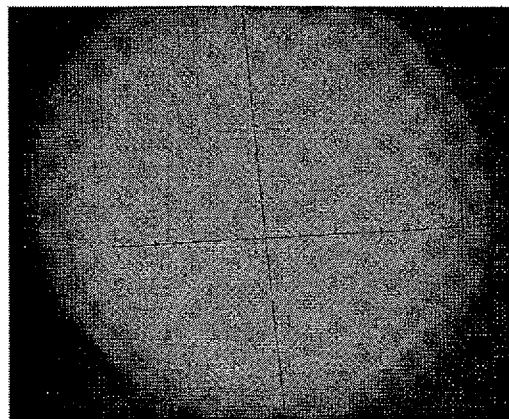


[図13]

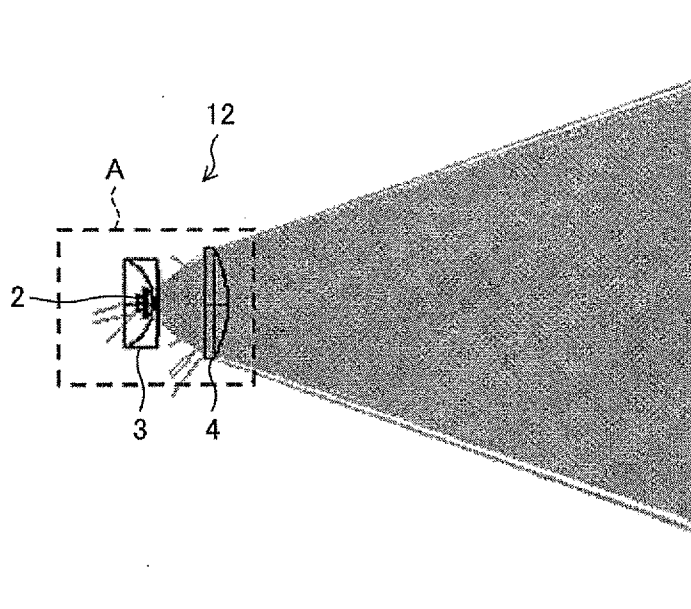
(a)



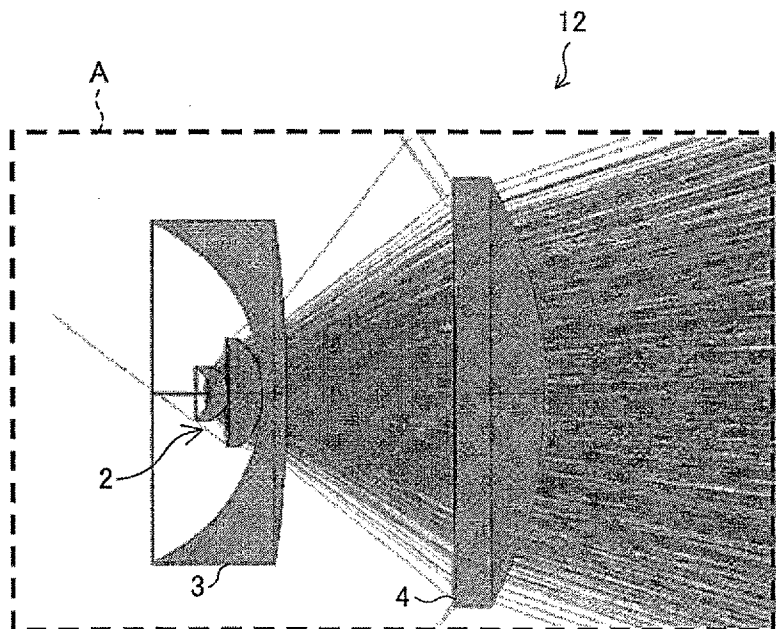
(b)



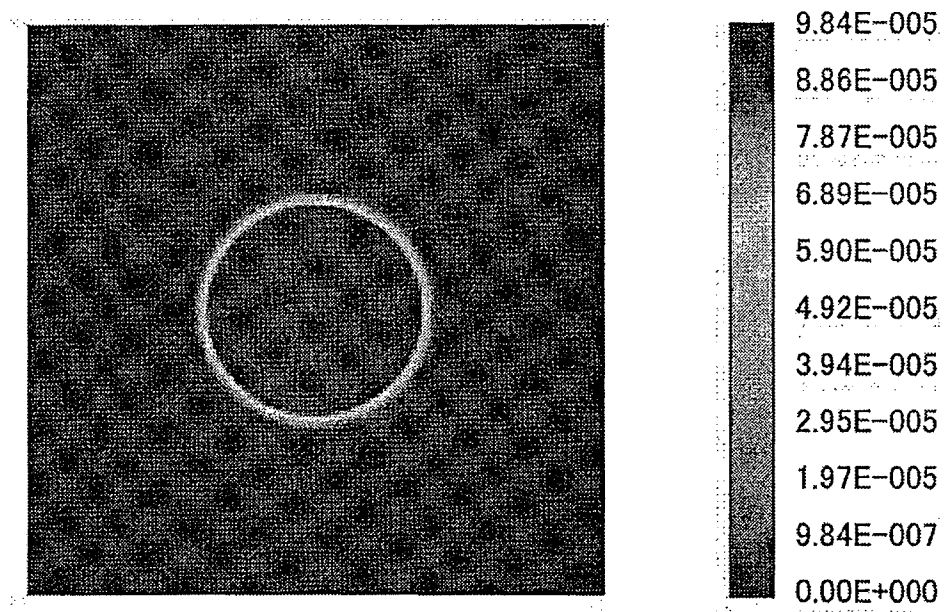
[図14]



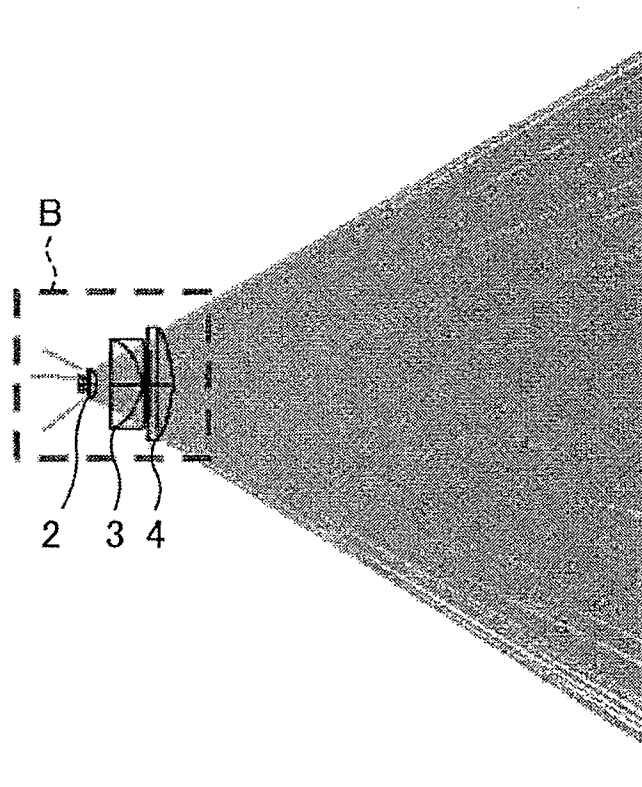
[図15]



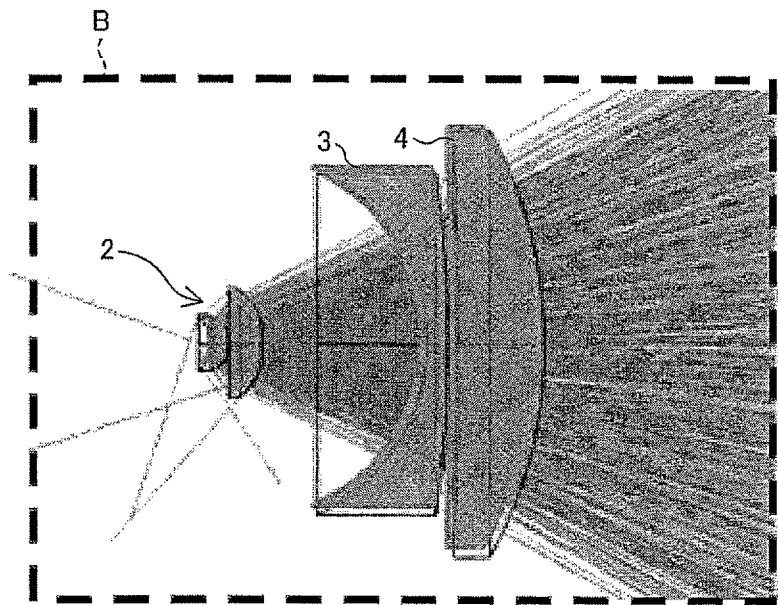
[図16]



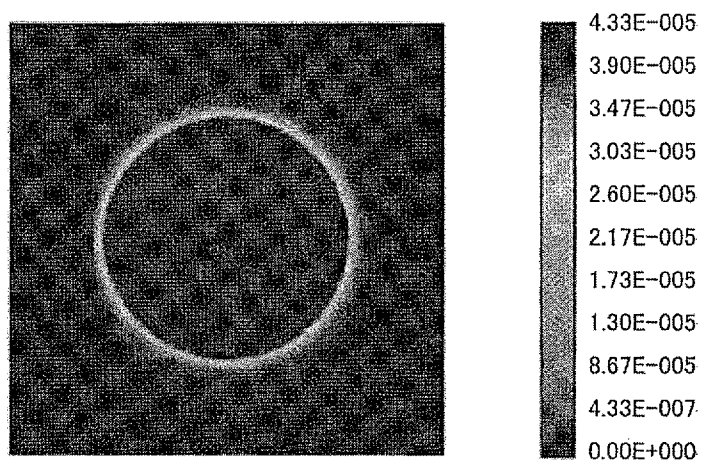
[図17]



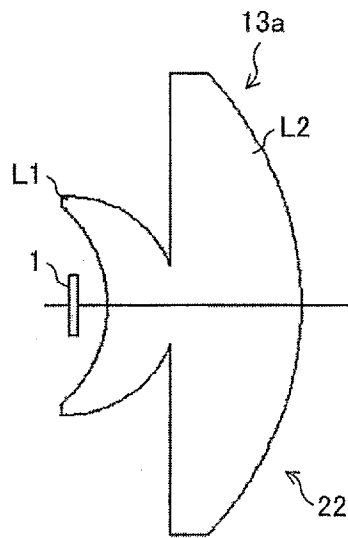
[図18]



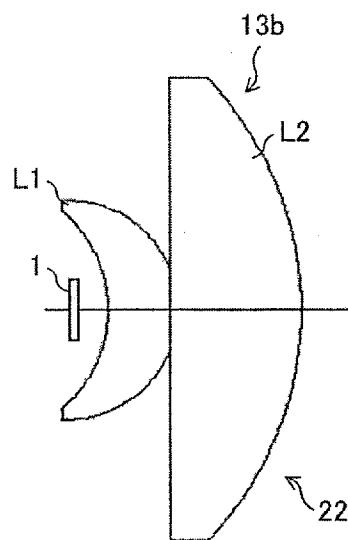
[図19]



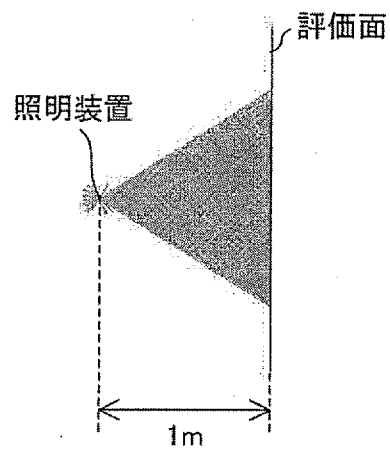
[図20]



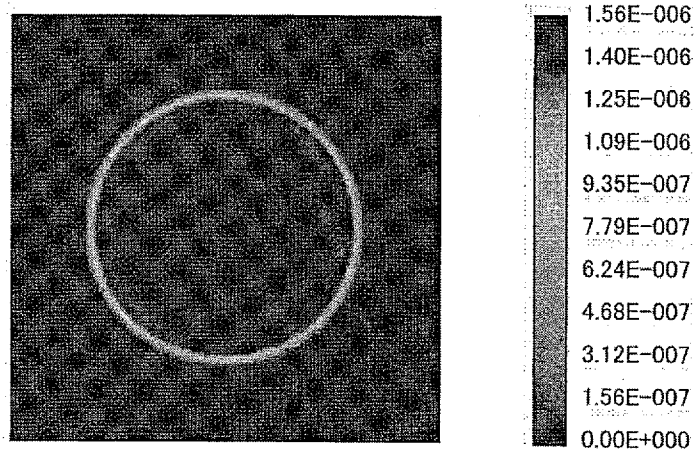
[図21]



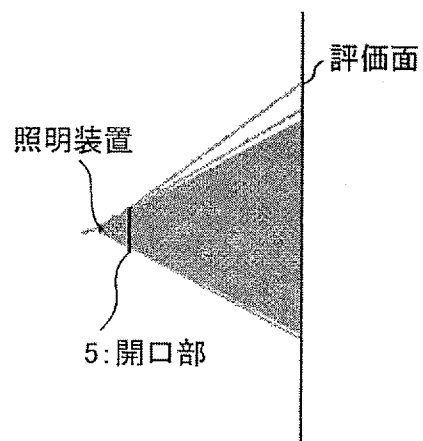
[図22]



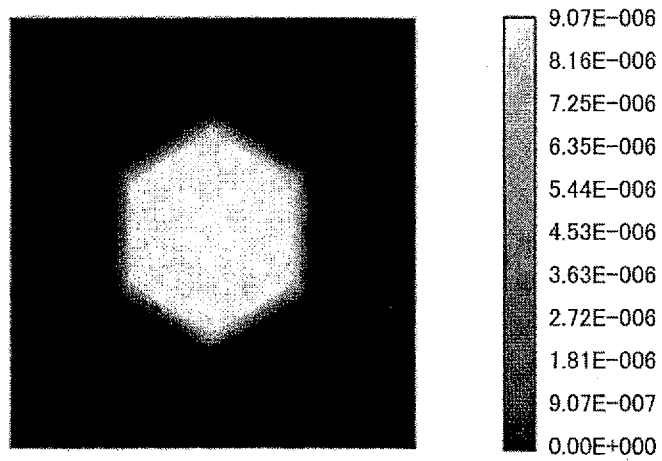
[図23]



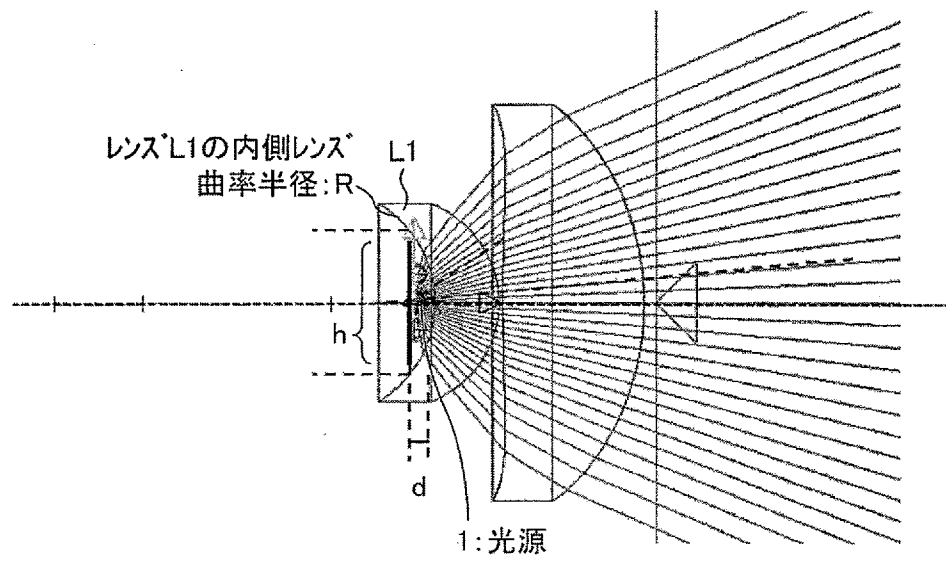
[図24]



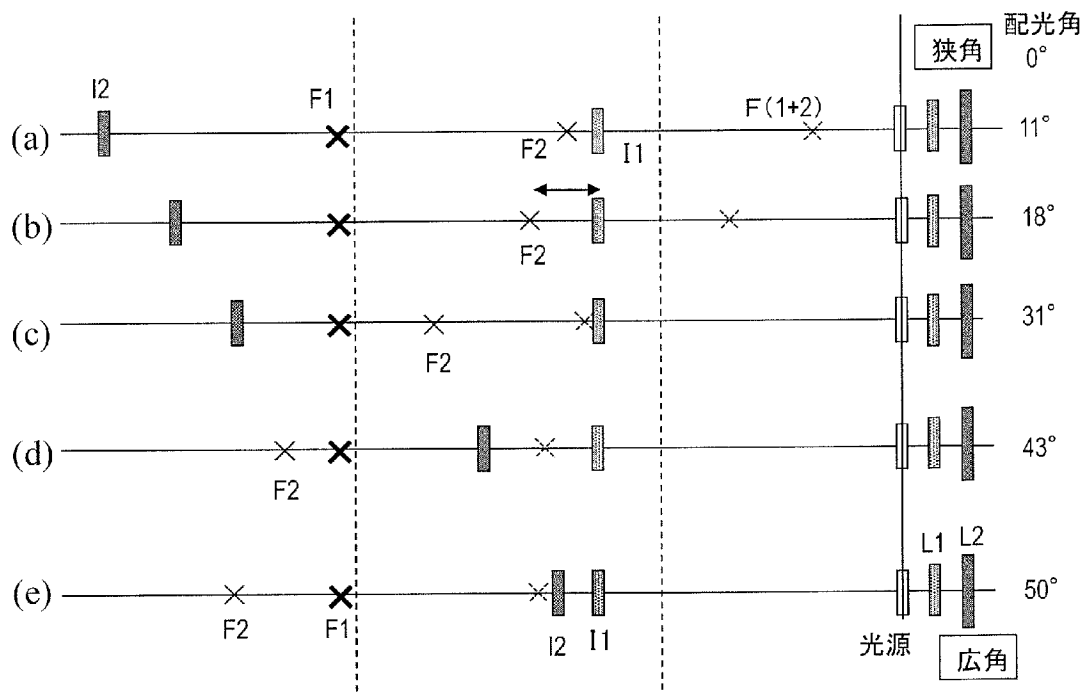
[図25]



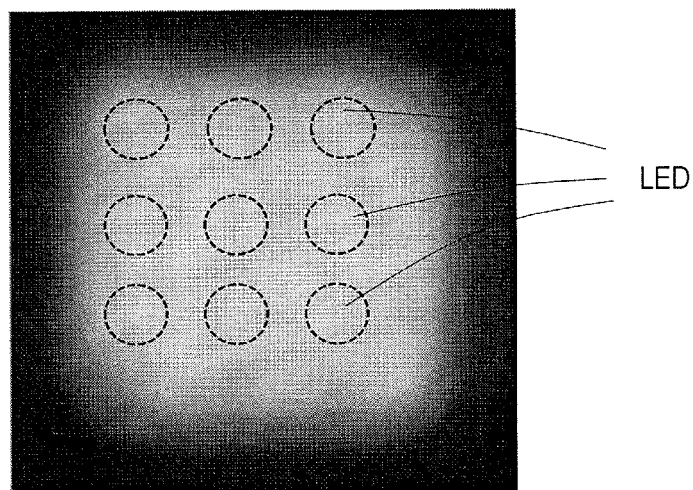
[図26]



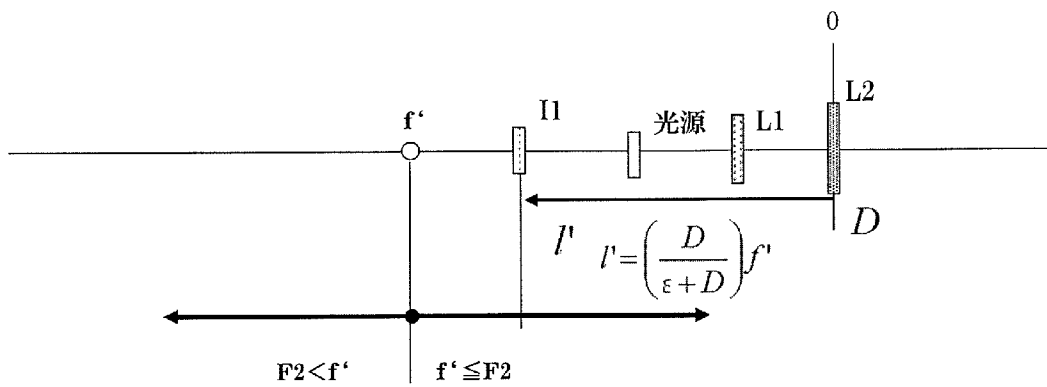
[図27]



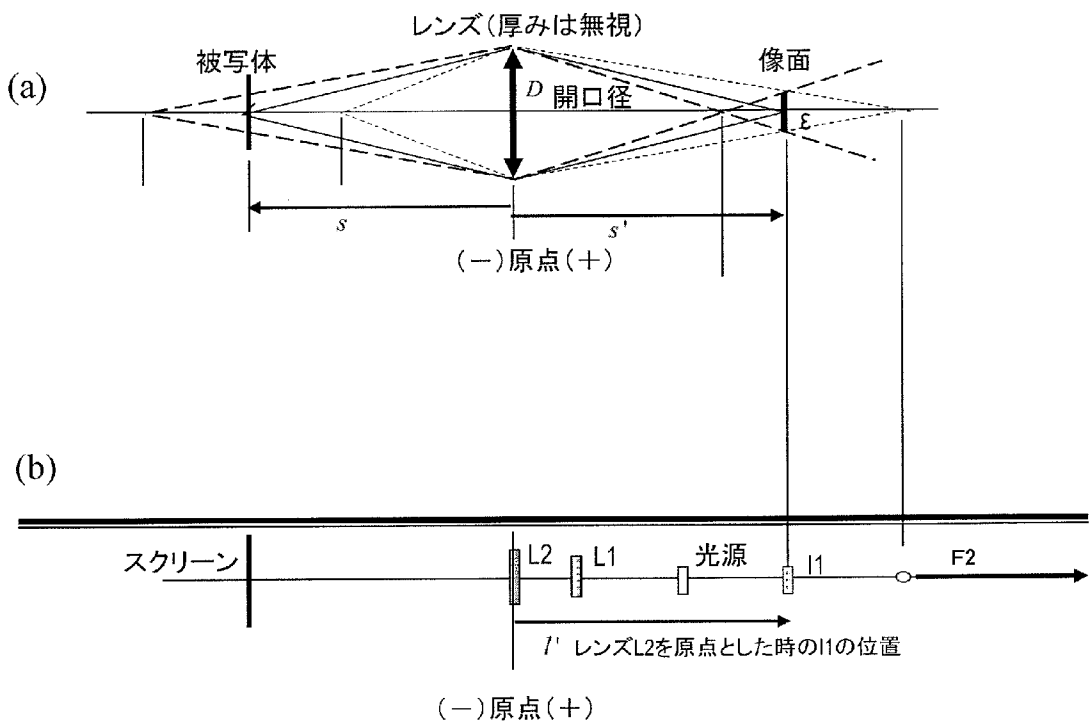
[図28]



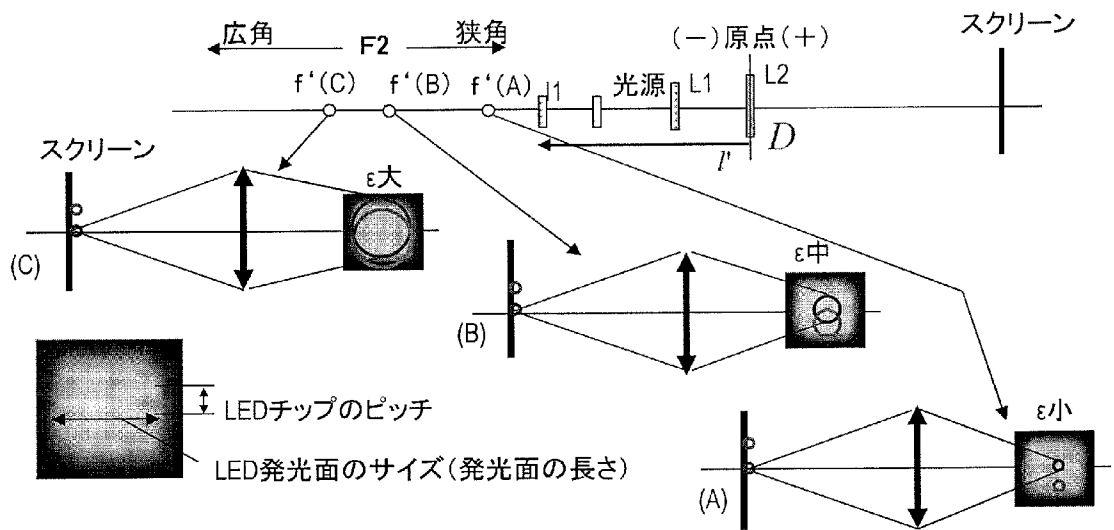
[図29]



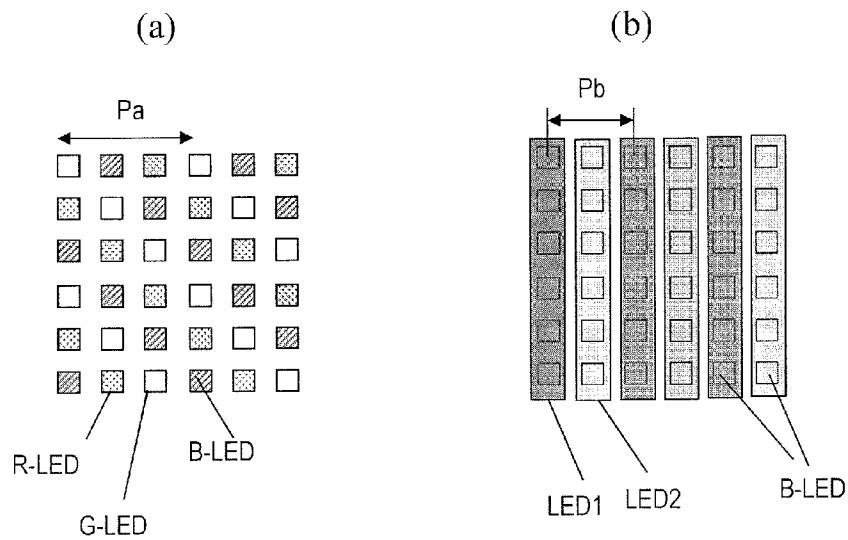
[図30]



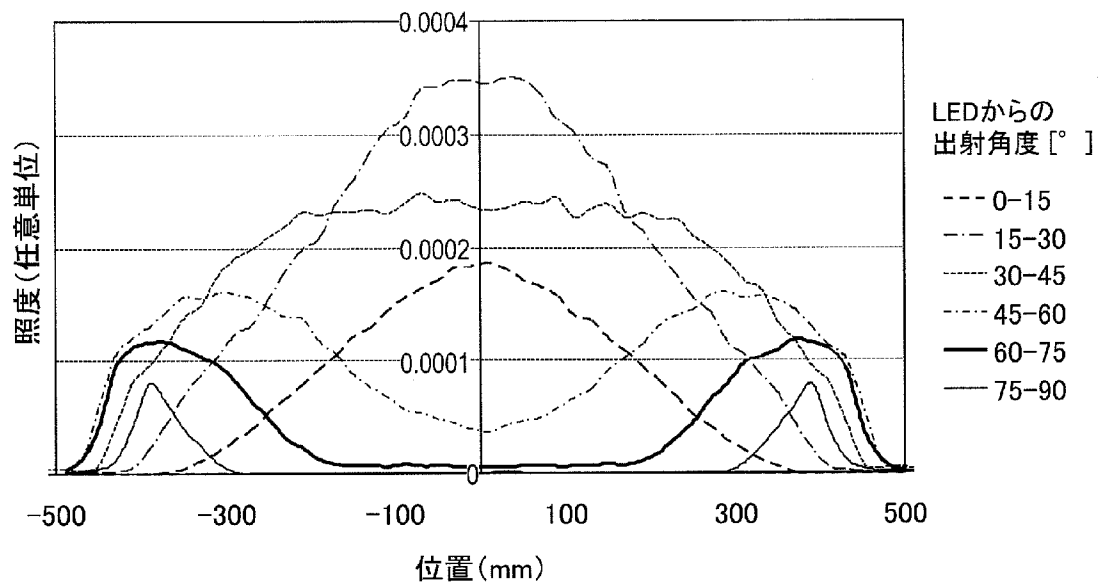
[図31]



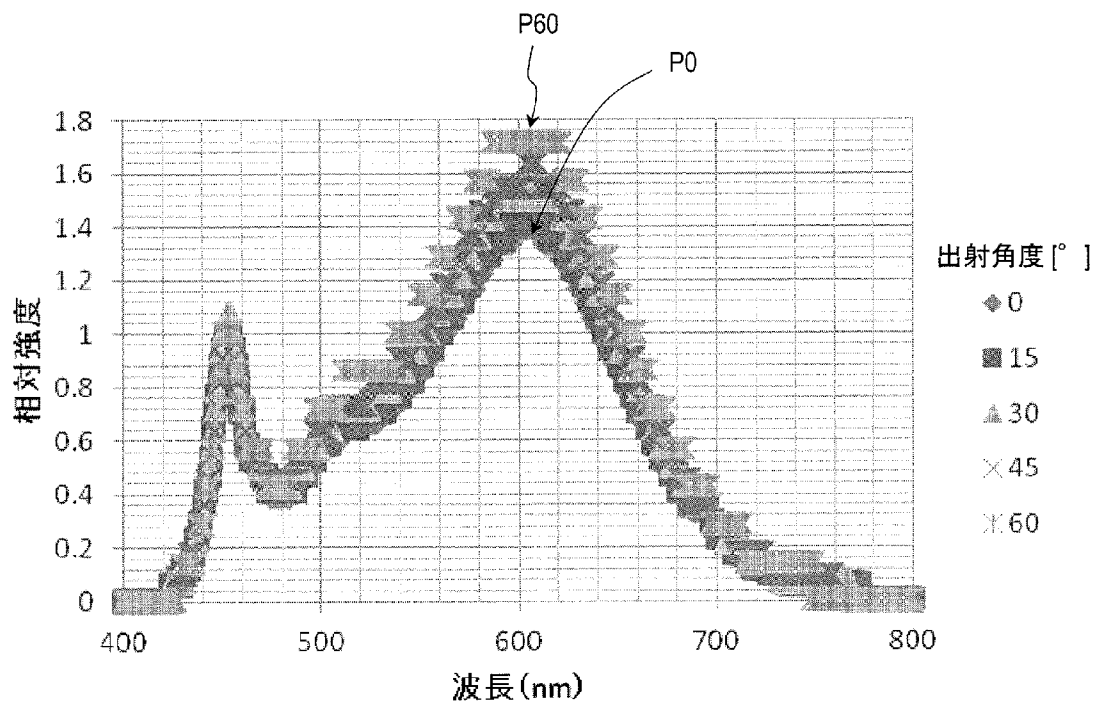
[図32]



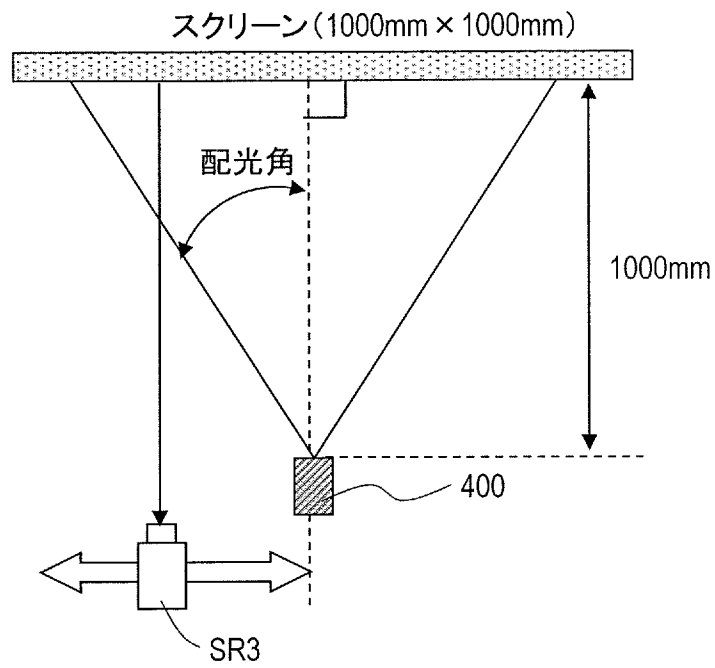
[図33]



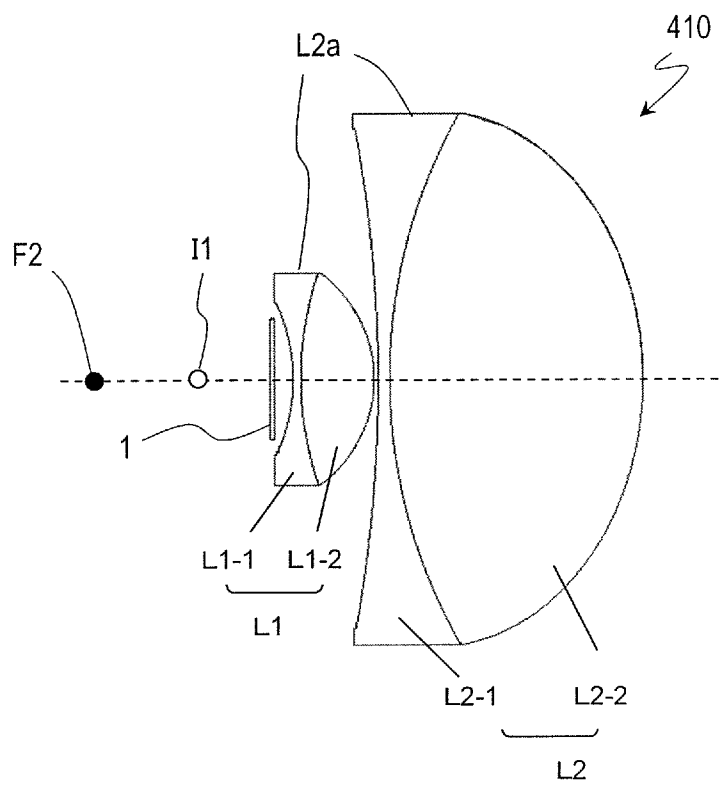
[図34]



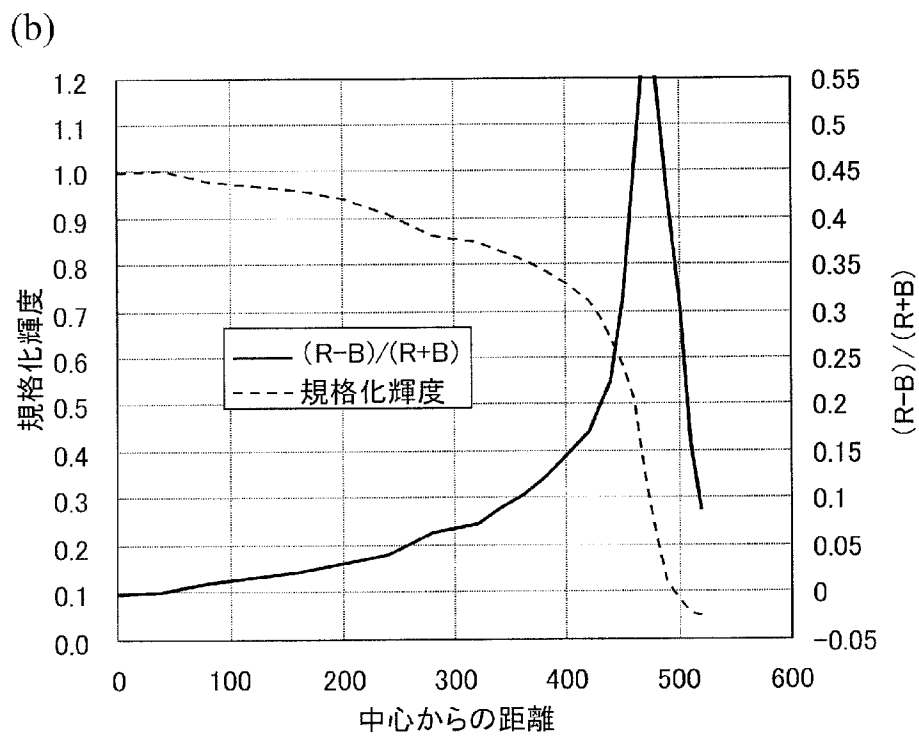
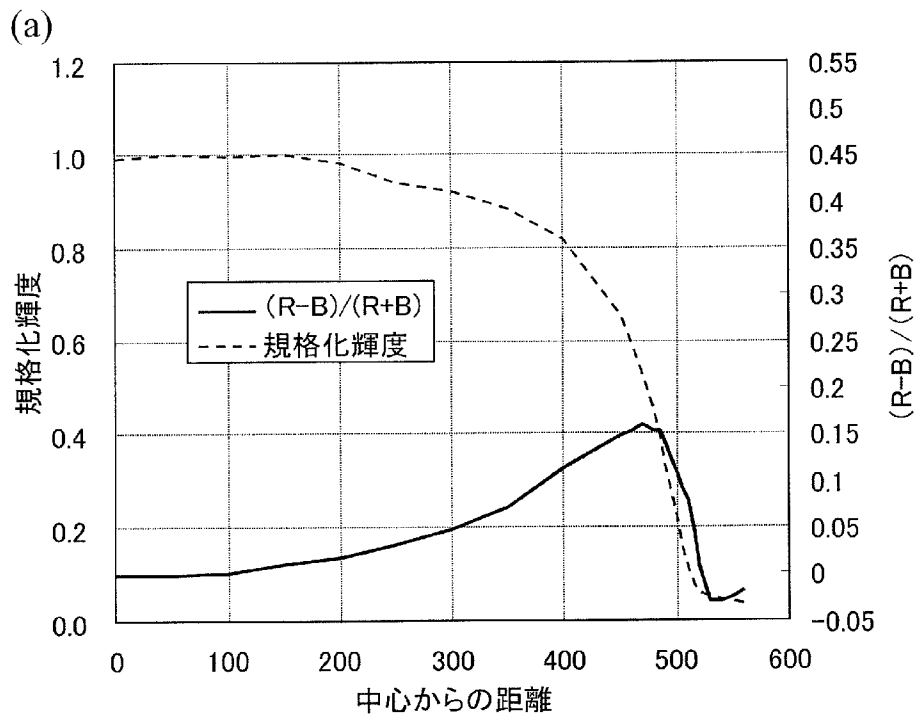
[図35]



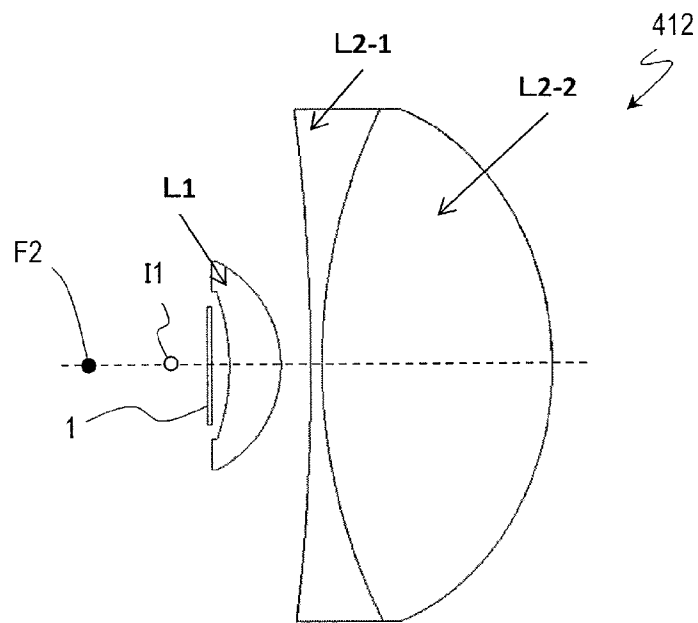
[図36]



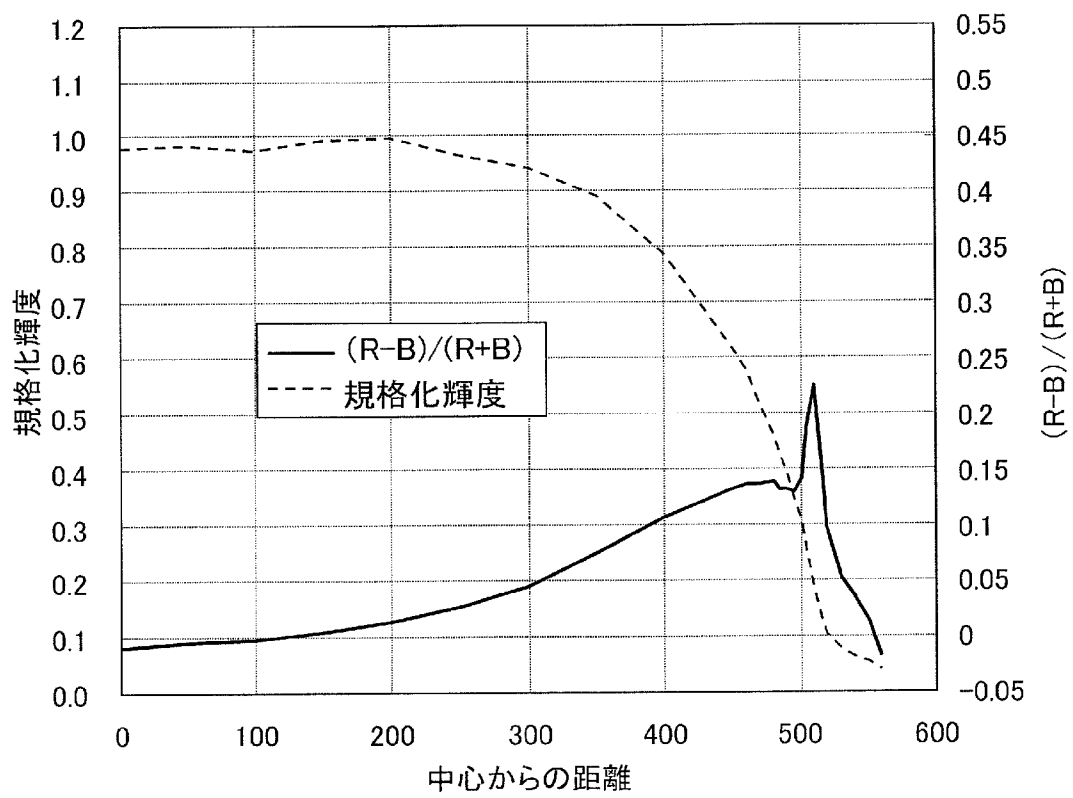
[図37]



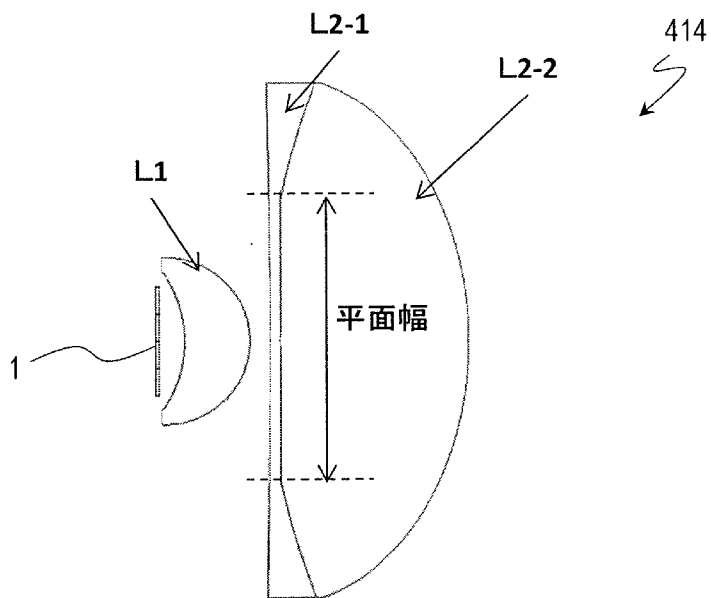
[図38]



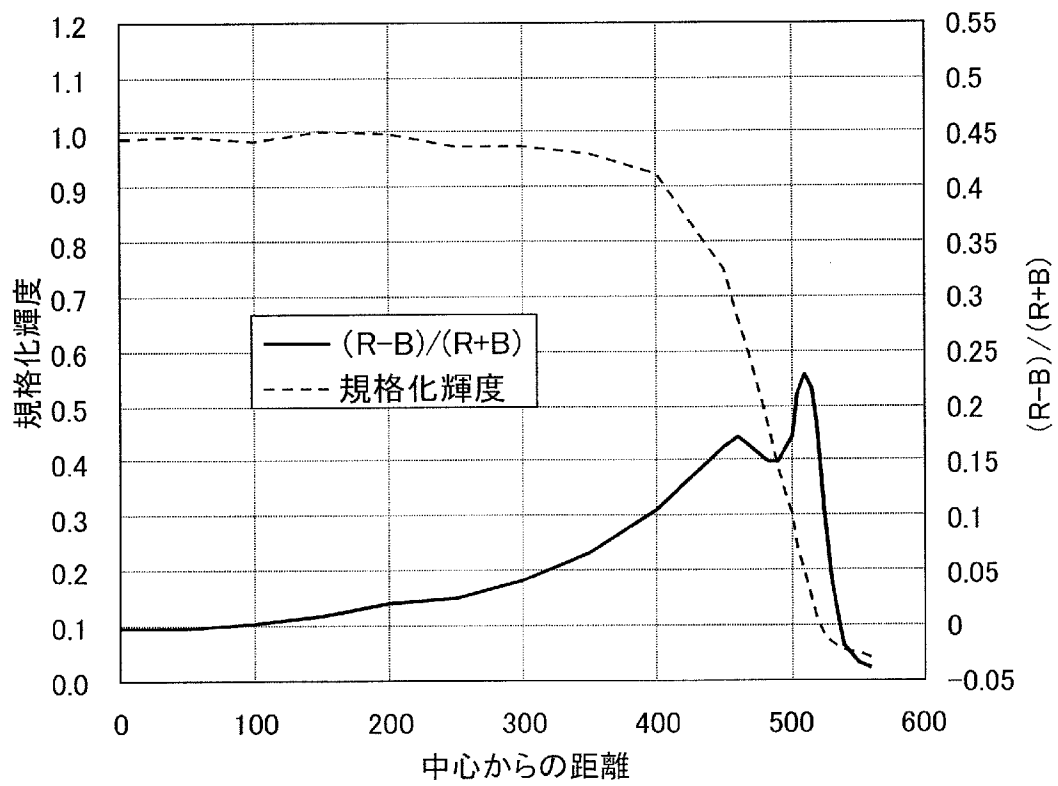
[図39]



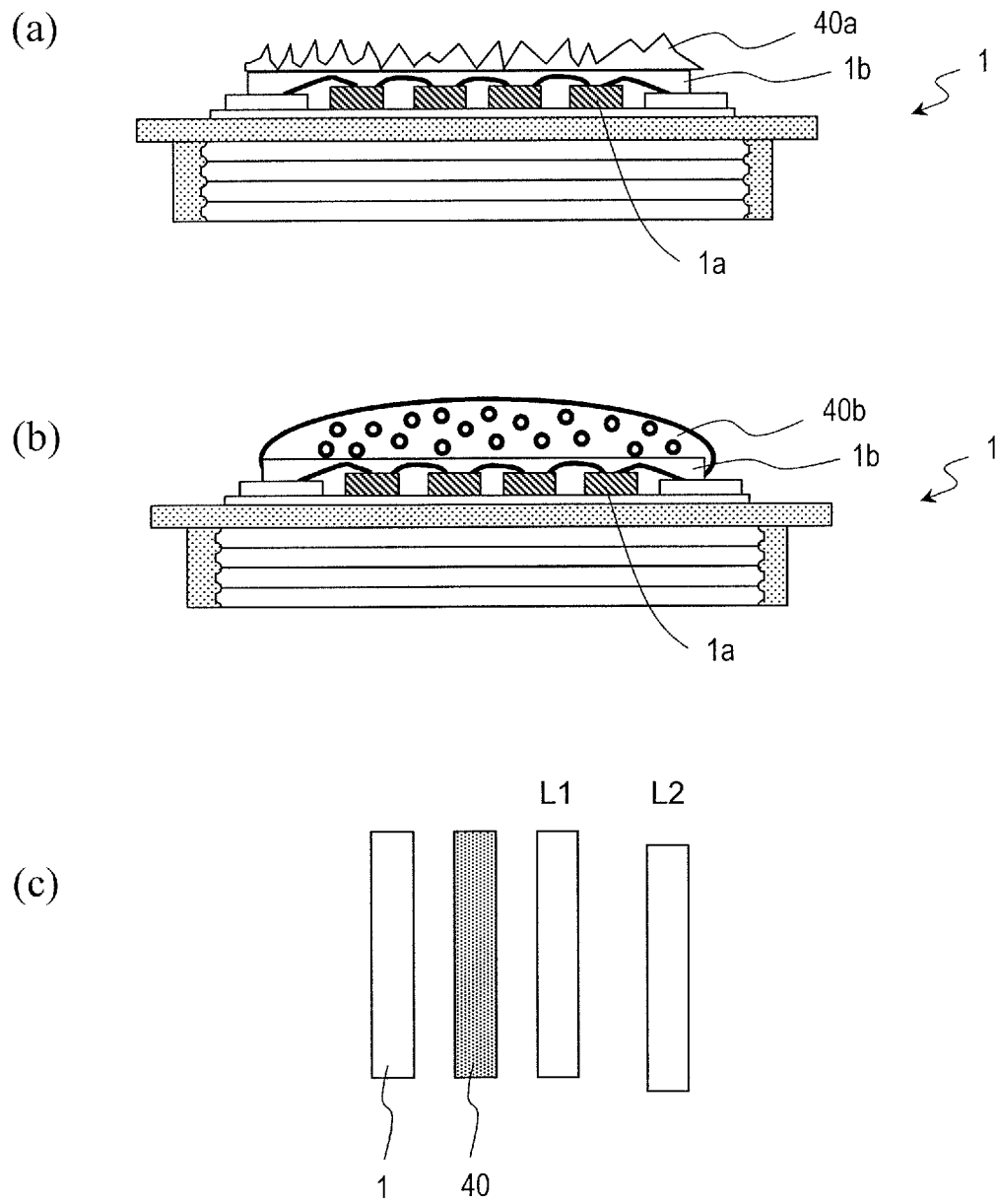
[図40]



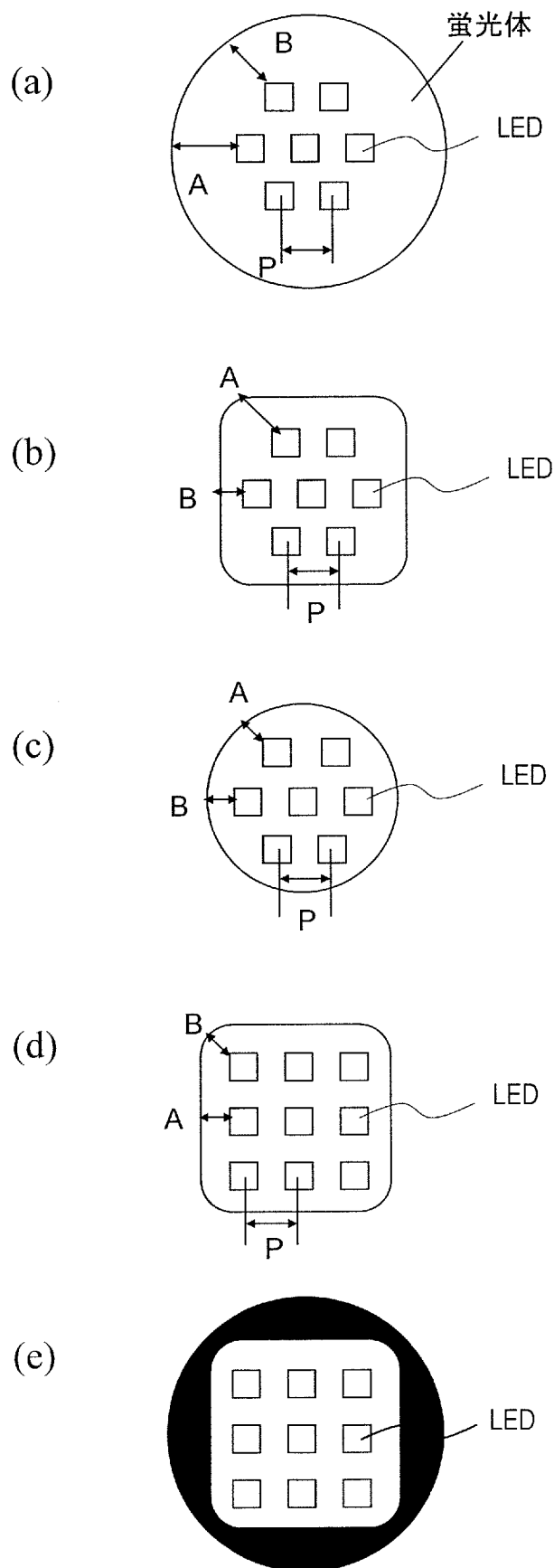
[図41]



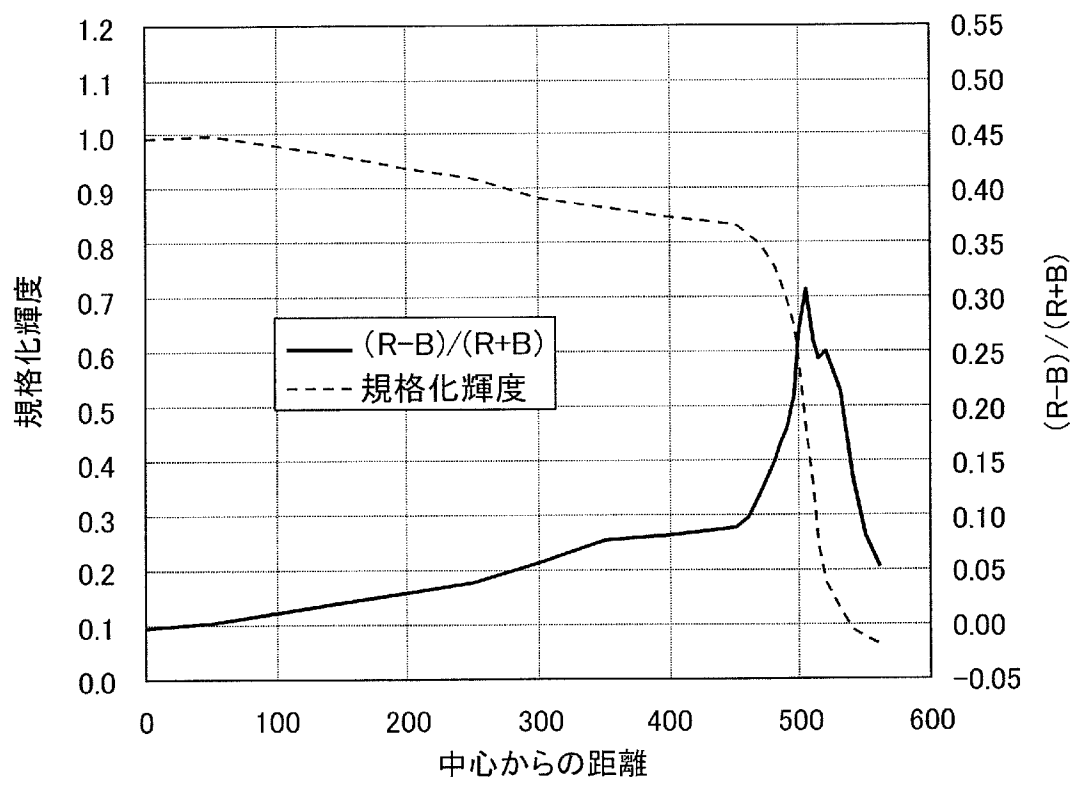
[図42]



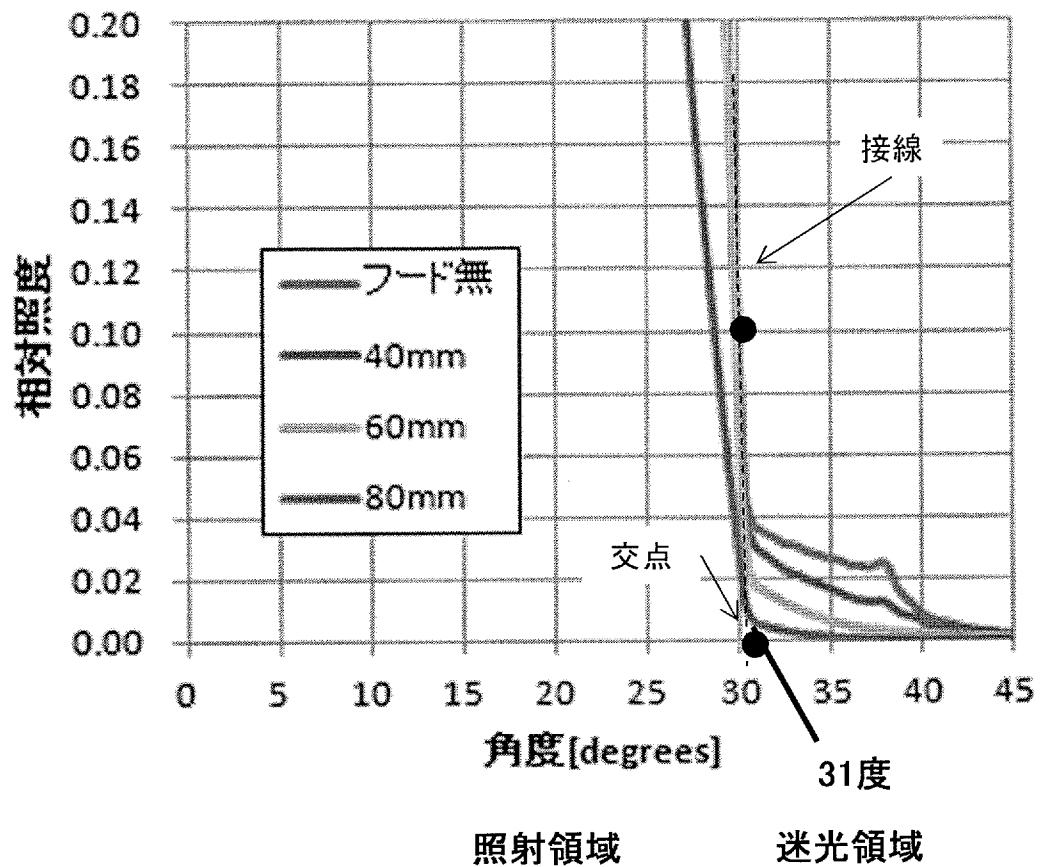
[図43]



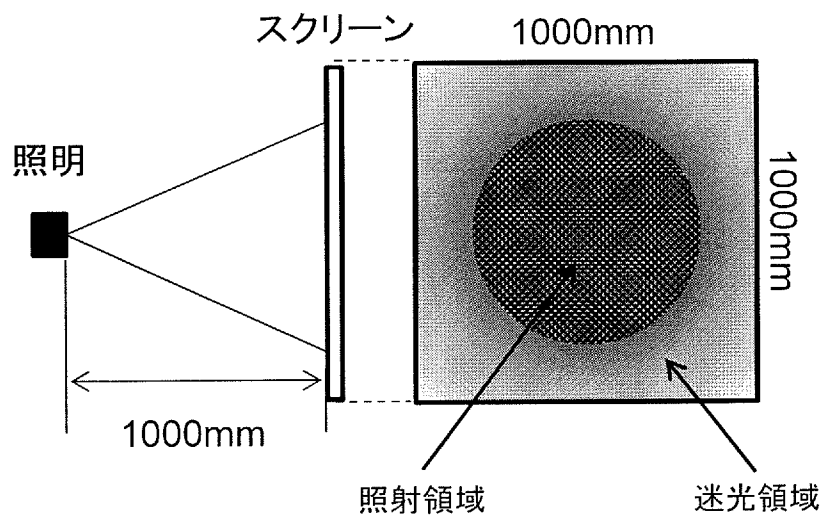
[図44]



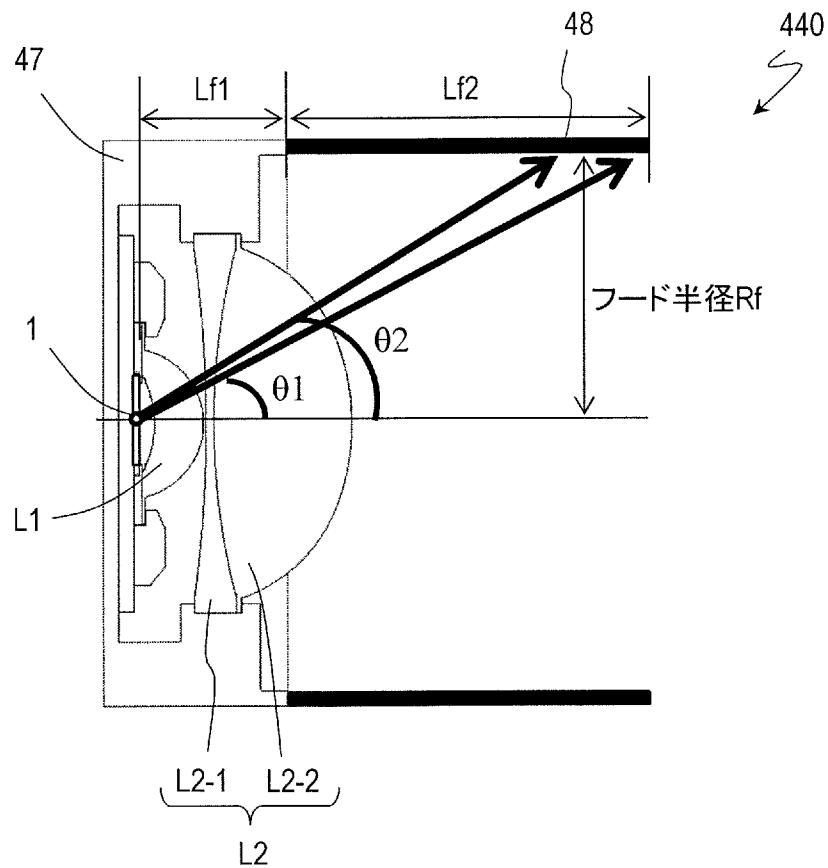
[図45]



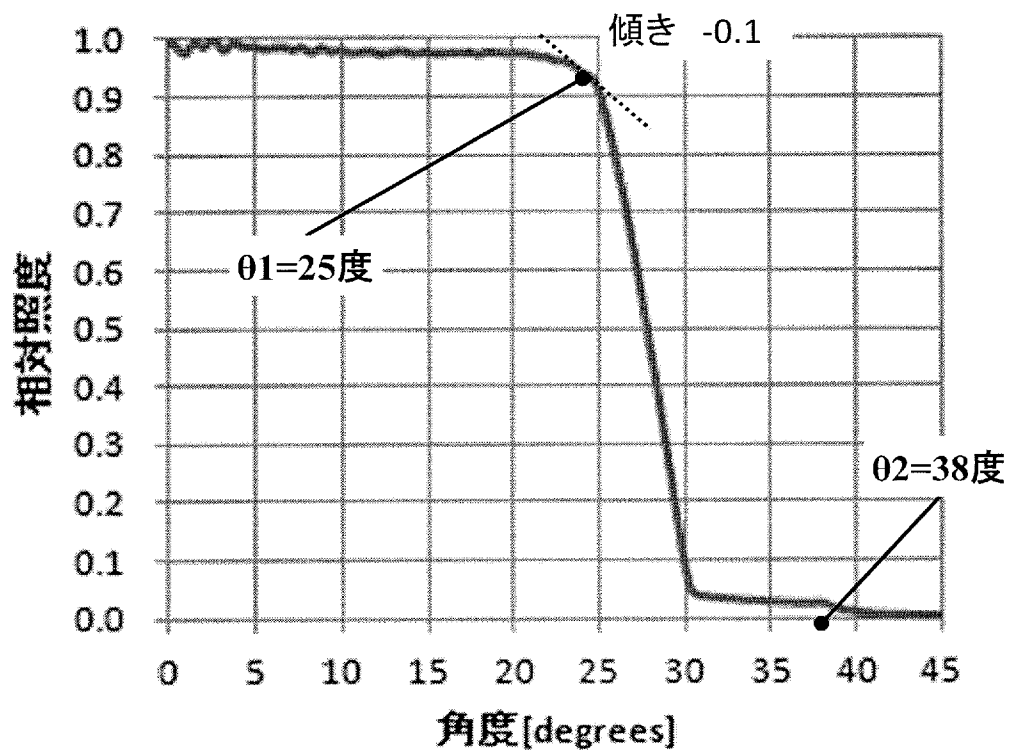
[図46]



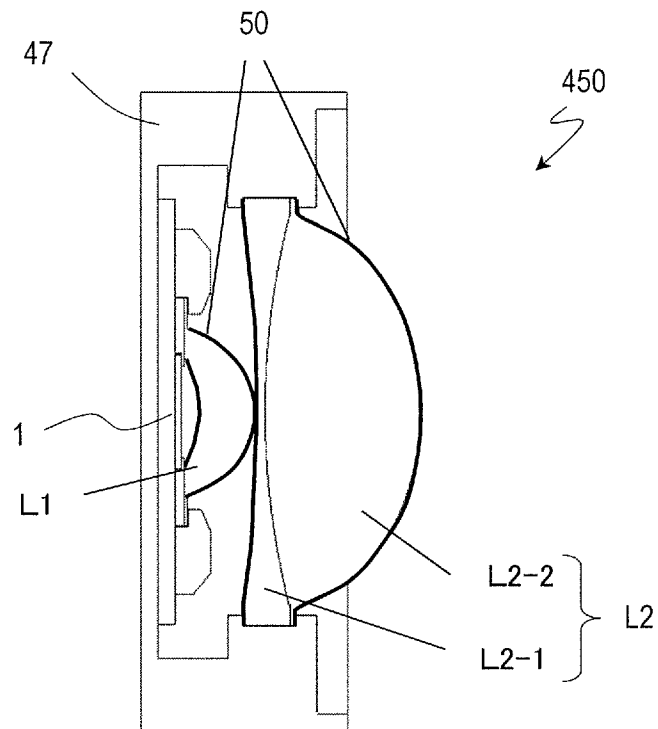
[図47]



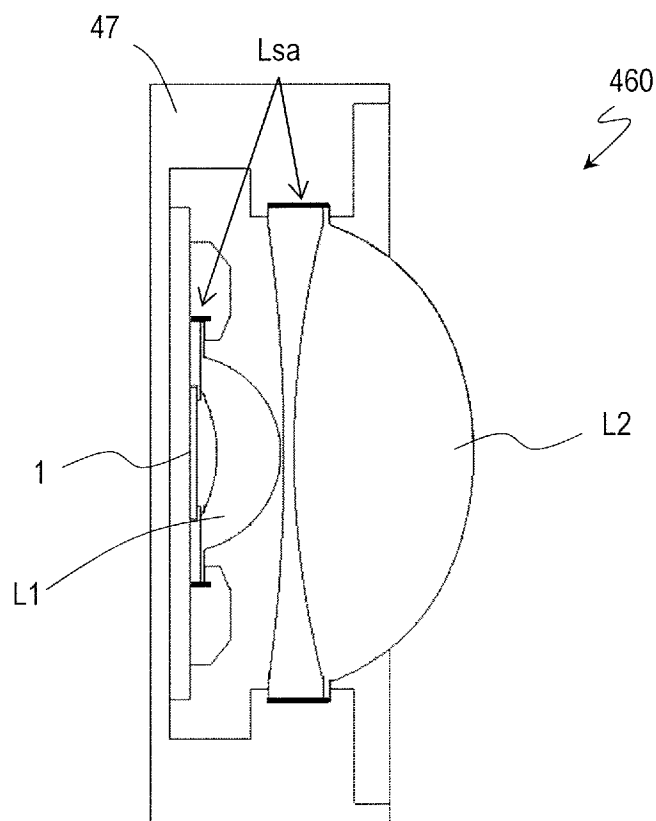
[図48]



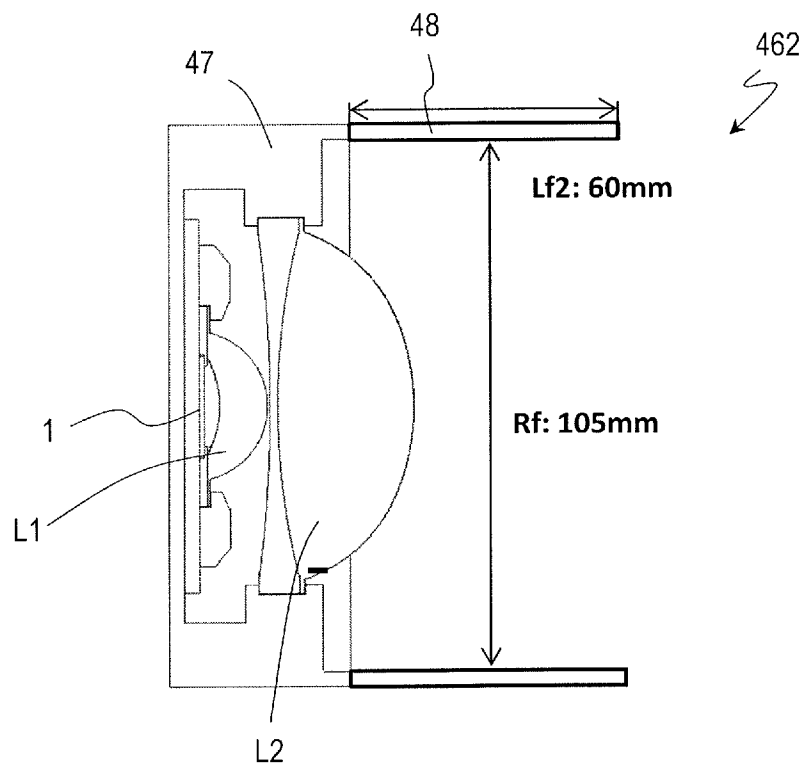
[図49]



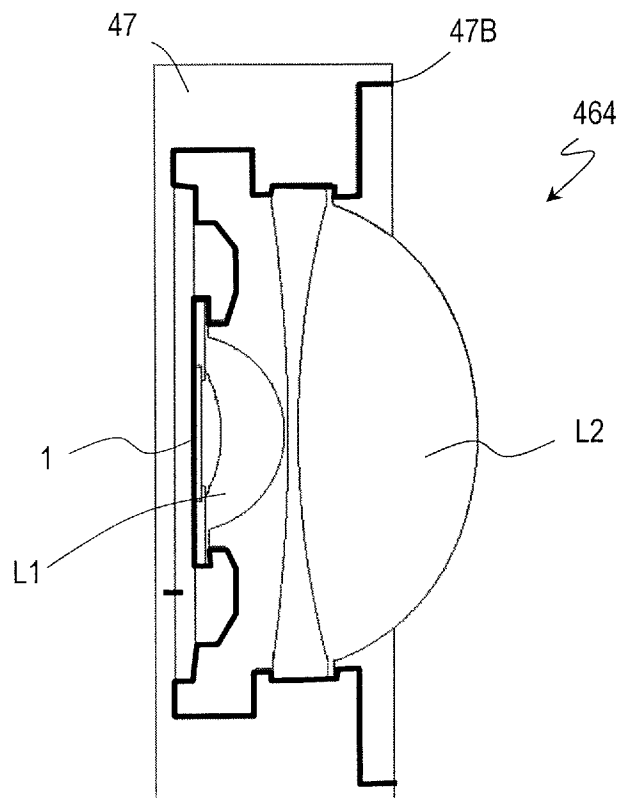
[図50]



[図51]

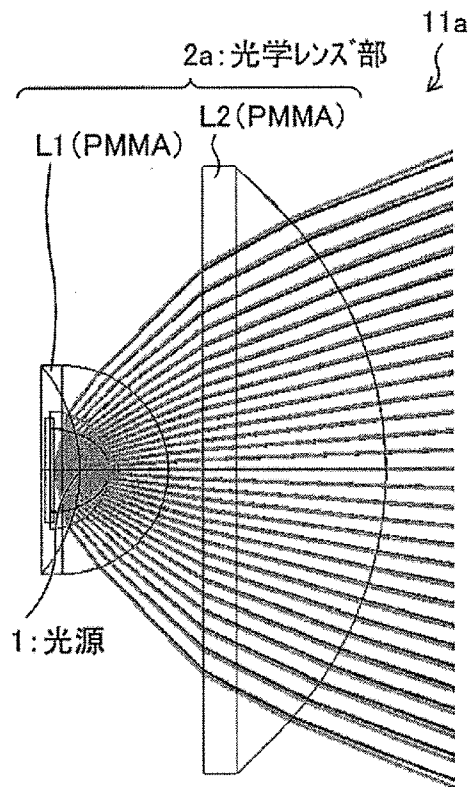


[図52]

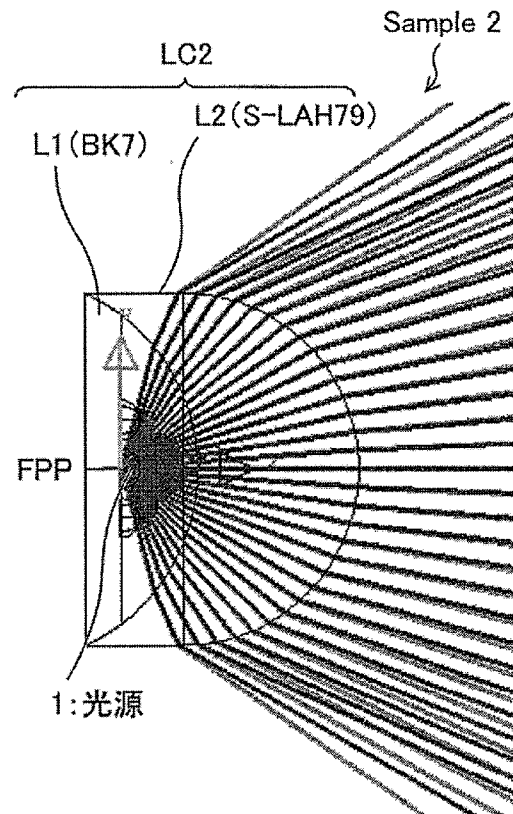


[図53]

(a)



(b)

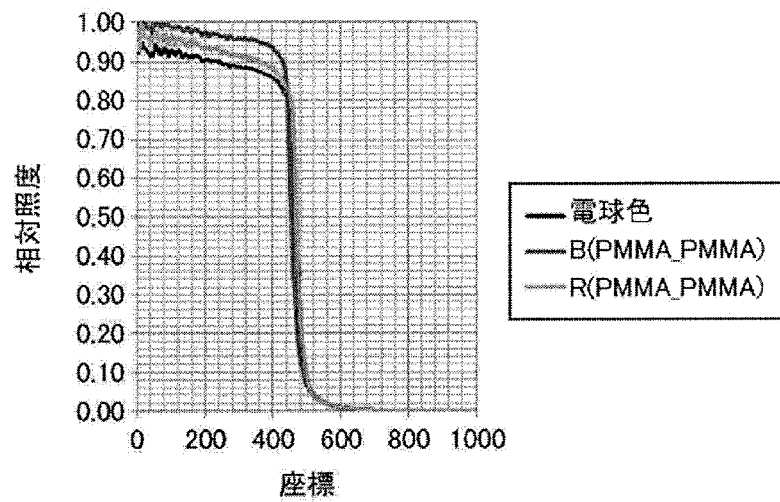


(c)

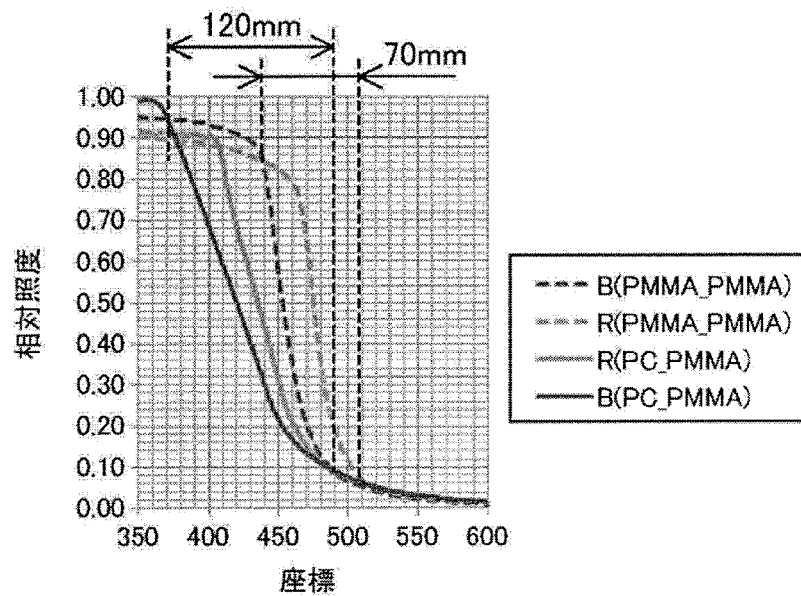
	屈折率	アッペ数
S-LAH79	2.0	28.3
BK7	1.52	64.7
PMMA(アクリル)	1.49	58

[図54]

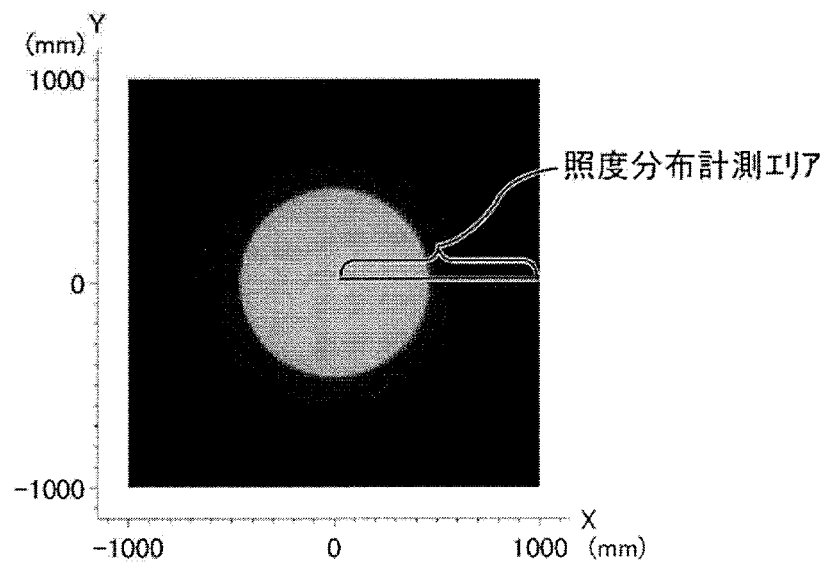
(a)



(b)



(c)

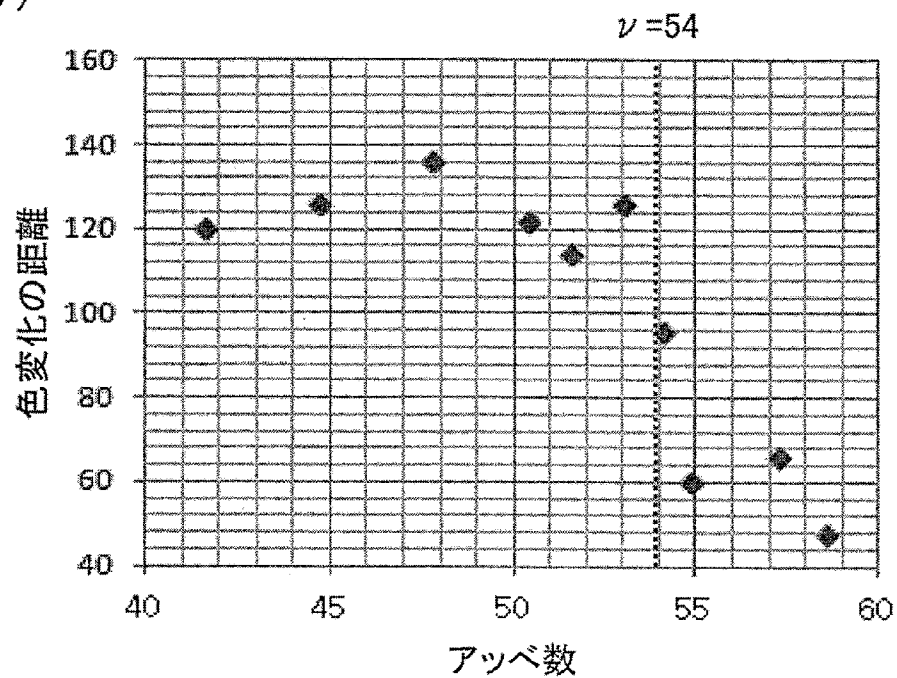


[図55]

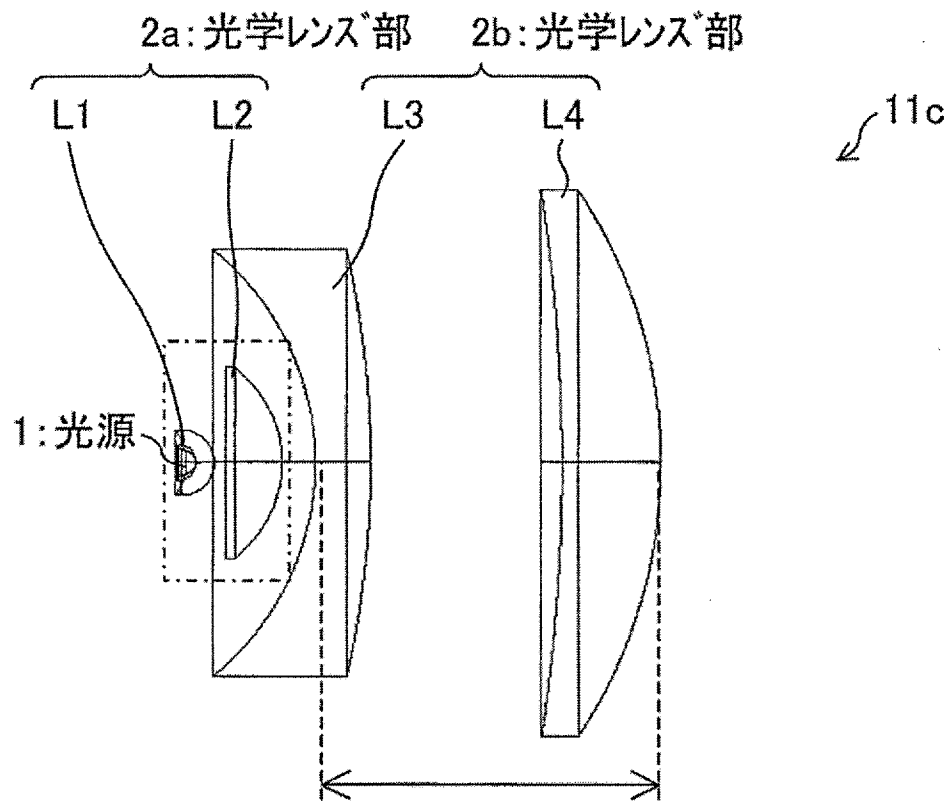
(a)

材料	屈折率	アッベ数
LAFN8	1.74	41.6
LAF2	1.74	44.6
LAF24	1.76	47.8
LAK10	1.72	50.4
LAKN16	1.74	51.7
LAKN19	1.76	53.1
LAKN18	1.73	54.2
LAKL12	1.68	54.9
LAK23	1.67	57.4
LAKN7	1.65	58.5

(b)

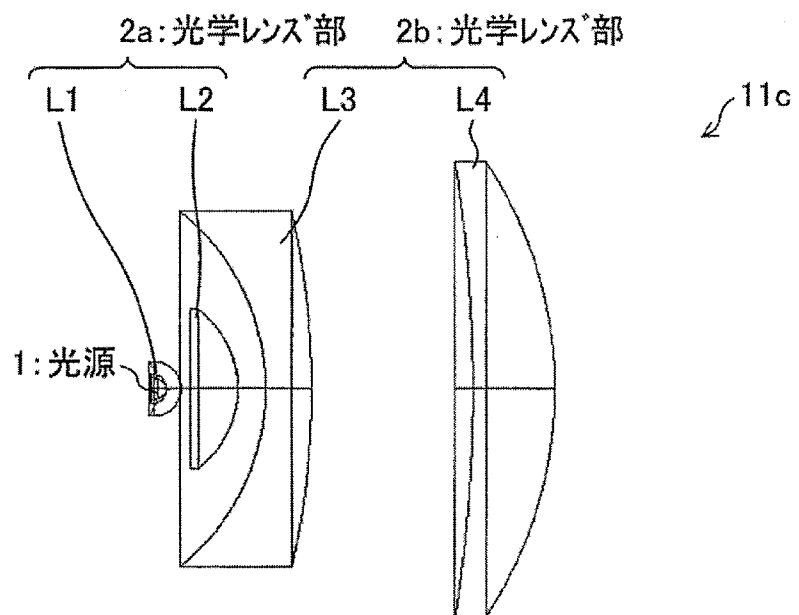


[図56]

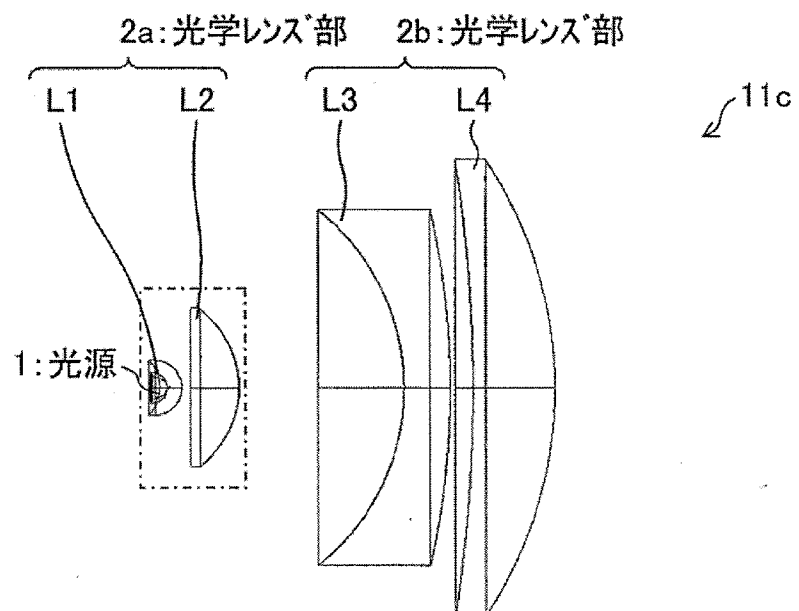


[図57]

(a)

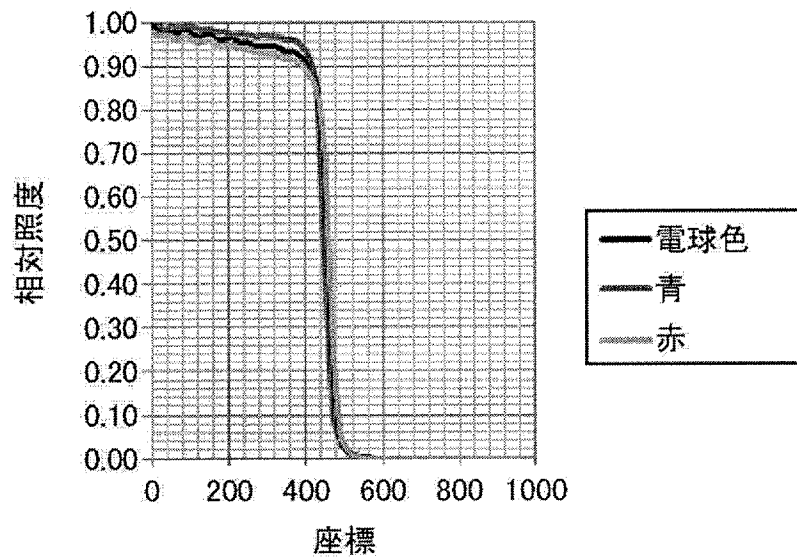


(b)

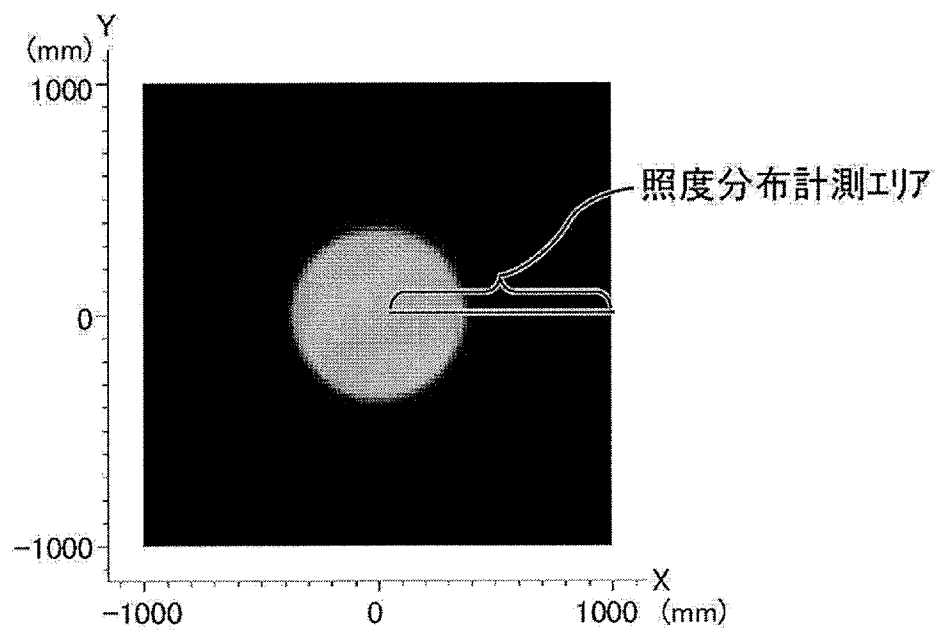


[図58]

(a)

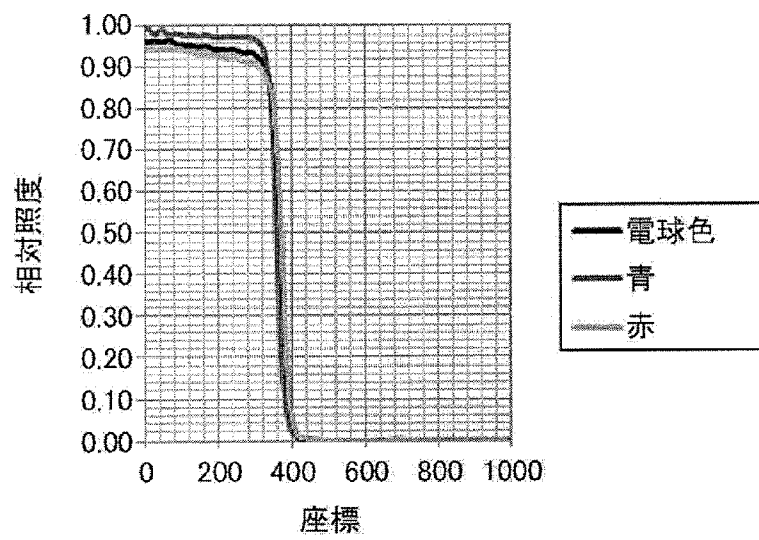


(b)

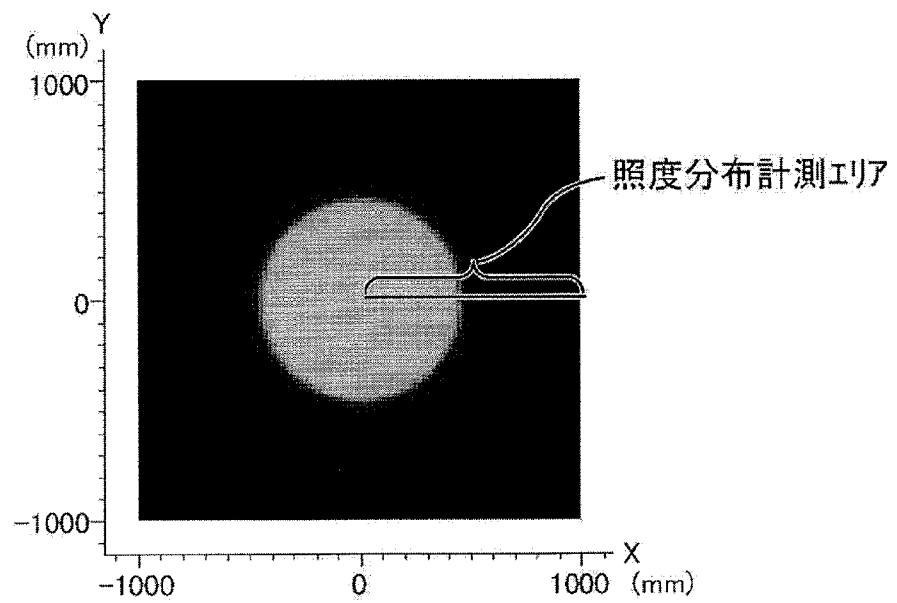


[図59]

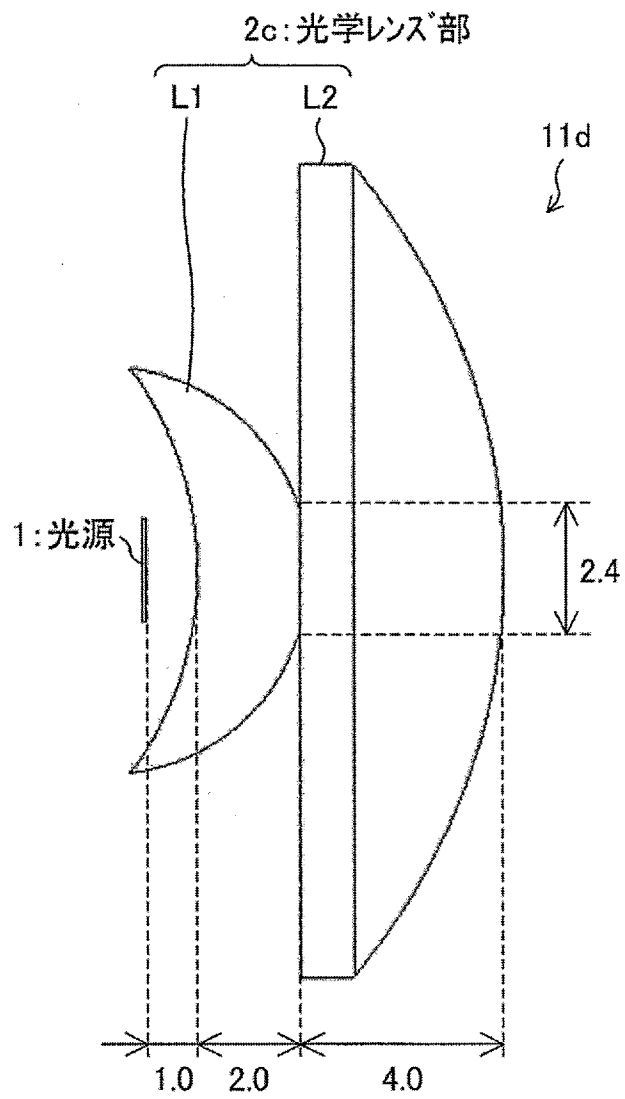
(a)



(b)

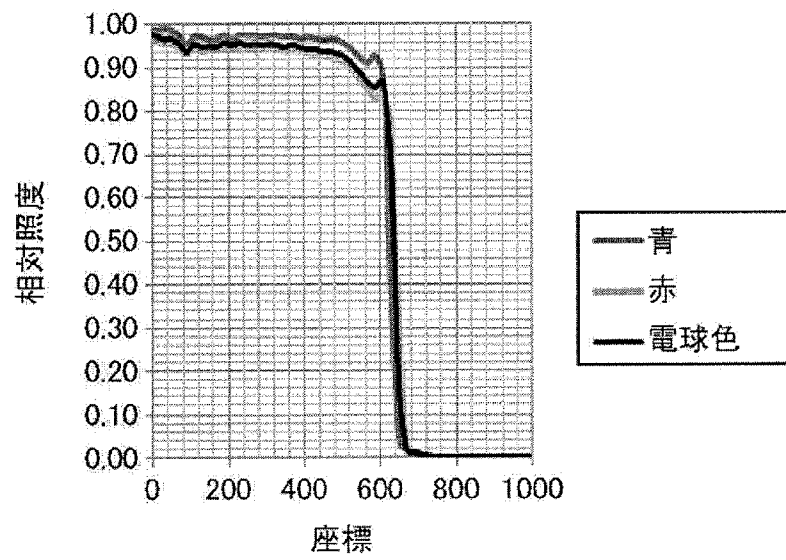


[図60]

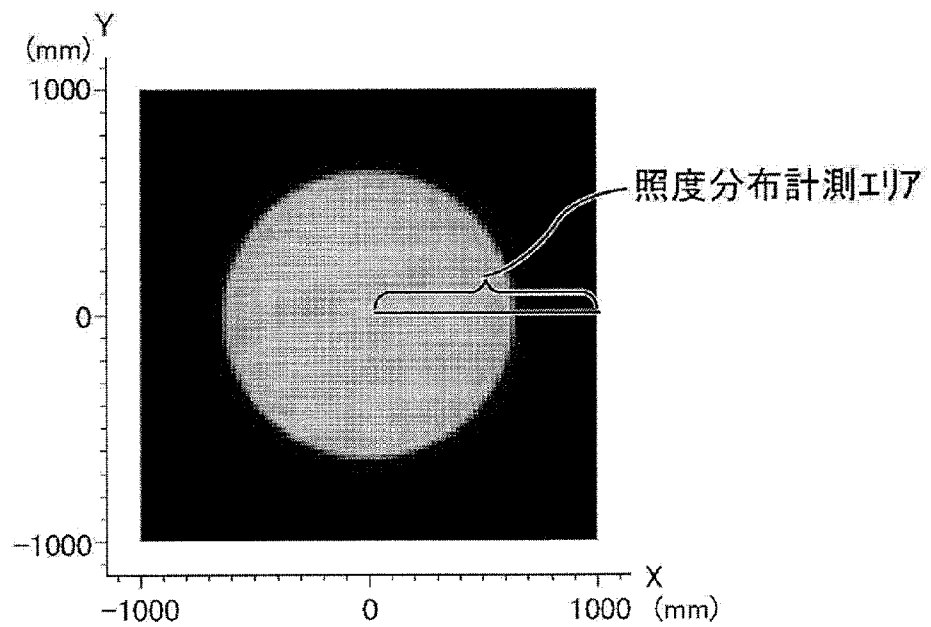


[図61]

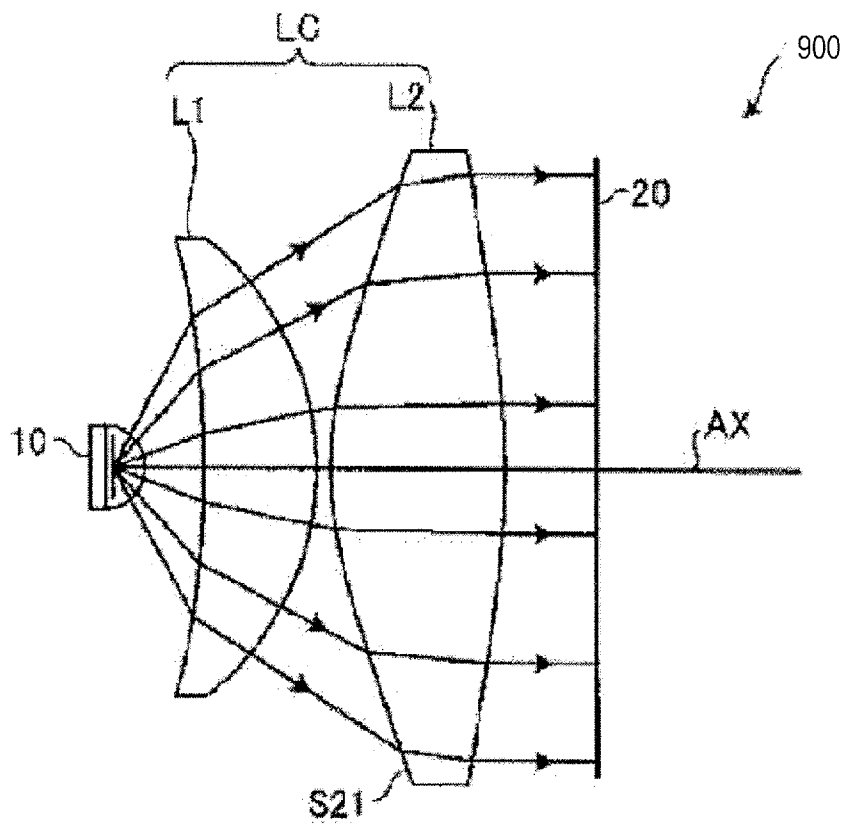
(a)



(b)



[図62]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/070379

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F21S2/00(2006.01)i, F21V5/04(2006.01)i, F21V13/02(2006.01)i, F21Y101/02(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F21S2/00, F21V5/04, F21V13/02, F21Y101/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2010-85493 A (Asahi Rubber Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), fig. 4 (Family: none)	25
A	JP 3148803 U (E-Pin Optical Industry Co., Ltd.), 05 March 2009 (05.03.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-25
A	JP 2011-505599 A (Digislide Holdings Ltd.), 24 February 2011 (24.02.2011), entire text; all drawings & US 2010/0245775 A1 & EP 2229604 A & WO 2009/070832 A1	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 September, 2013 (03.09.13)

Date of mailing of the international search report
17 September, 2013 (17.09.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F21S2/00(2006.01)i, F21V5/04(2006.01)i, F21V13/02(2006.01)i, F21Y101/02(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F21S2/00, F21V5/04, F21V13/02, F21Y101/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2010-85493 A (株式会社朝日ラバー) 2010.04.15, 第4図 (ファミリーなし)	2 5
A	JP 3148803 U (一品光学工業股▲ふん▼有限公司) 2009.03.05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 2 5
A	JP 2011-505599 A (デジスライド ホールディングス リミテッド) 2011.02.24, 全文, 全図 & US 2010/0245775 A1 & EP 2229604 A & WO 2009/070832 A1	1 - 2 5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 3 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 9 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

塚本 英隆

3 X

3 3 3 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 7 2