

【書類名】 特許願  
【整理番号】 48352JP  
【提出日】 令和 2年 7月30日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G02B 3/02  
【発明者】  
【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町3 6 番地1 国立大学法人京都大学  
内  
【氏名】 ズ ウレ  
【発明者】  
【住所又は居所】 京都府京都市左京区吉田本町3 6 番地1 国立大学法人京都大学  
内  
【氏名】 ブカン アントニー  
【特許出願人】  
【識別番号】 504132272  
【氏名又は名称】 国立大学法人京都大学  
【代理人】  
【識別番号】 100114557  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 河野 英仁  
【電話番号】 06(6944)4141  
【連絡先】 担当  
【選任した代理人】  
【識別番号】 100078868  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 河野 登夫  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 114145  
【納付金額】 14,000円  
【提出物件の目録】  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 要約書 1  
【物件名】 図面 1

【書類名】明細書

【発明の名称】レンズ設計方法、レンズ設計装置、コンピュータプログラム及びレンズ

【技術分野】

【0001】

本発明は、レンズ設計方法、レンズ設計装置、コンピュータプログラム及びレンズに関する。

【背景技術】

【0002】

屈折光学系においては、屈折率が波長に依存することによる色収差が発生する。色収差は、特に集束光学系や結像光学系において、光学性能を著しく低下させる。色収差を補整する方法としては、例えば、光軸上に複数のレンズを配置することにより、複数の波長の光線それぞれの光軸上の焦点距離を同一にすることができる。

【0003】

また、特許文献1には、光入射面又は光出射面に複数の不連続エリアを設け、不連続エリアそれぞれに赤色フィルタ膜、緑色フィルタ膜、又は青色フィルタ膜を配置することにより、各色のフィルタ膜によって赤色、緑色及び青色の光学距離を制御して、色収差を補整するレンズが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-242288号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の色収差の補整方法は、光軸上での焦点距離を調整することができ、入射角度が0°の光線束については色収差を改善することができるが、光軸と直交する平面上での焦点距離の調整は考慮されていないため、従来の色収差の補整方法では、所要の全視野において、色収差を改善することができない。このように、従来、単一のレンズのみでは、光学特性を複合的に調整することに限界があった。

【0006】

本発明は斯かる事情に鑑みてなされたものであり、光学特性を複合的に調整することができるレンズ設計方法、レンズ設計装置、コンピュータプログラム及びレンズ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】

【0007】

本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、その一例を挙げるならば、レンズ設計方法は、プロセッサが、複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光線の設定を受け付け、前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の所要位置に到達する際の光路に基づいて、前記入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定し、特定されたベクトルに基づいて各レンズ素子の入射面形状を決定する。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、光学特性を複合的に調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本実施の形態のレンズ設計装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】第1実施形態での特定パラメータの設定例の模式図である。

【図3】本実施の形態のレンズの構造の一例を示す模式図である。

【図4】各セグメントの配置例の一例を示す模式図である。

- 【図 5】 レンズの X Z 平面での側面図である。
- 【図 6】 入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法の一例を示す説明図である。
- 【図 7】 入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法の一例を示す説明図である。
- 【図 8】 入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法の一例を示す説明図である。
- 【図 9】 入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法の一例を示す説明図である。
- 【図 10】 入射点及び法線ベクトルの最適化方法の一例を示す模式図である。
- 【図 11】 レンズの一構成であるハニカムモデルを示す模式図である。
- 【図 12】 レンズ素子の入射面形状の一例を示す模式図である。
- 【図 13】 特定の視野角での集束性能の一例を示す説明図である。
- 【図 14】 本実施の形態のレンズによる異なる入射角度での集束性能の一例を示す説明図である。
- 【図 15】 結像性能の一例を示す説明図である。
- 【図 16】 結像性能の他の例を示す説明図である。
- 【図 17】 レンズの評価システムの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 18】 レンズの設計方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。
- 【図 19】 レンズの設計方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。
- 【図 20】 第 2 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 21】 第 3 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 22】 複合レンズによる焦点深度の認識方法の一例を示す模式図である。
- 【図 23】 焦点距離とスポットサイズの関係を示す模式図である。
- 【図 24】 第 4 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 25】 第 4 実施形態のレンズの構成の他の例を示す模式図である。
- 【図 26】 第 5 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 27】 第 6 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 28】 金膜上で発生するマランゴニ対流の一例を示す模式図である。
- 【図 29】 第 7 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 30】 第 8 実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。
- 【図 31】 本実施の形態のレンズ設計の構成の他の例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

(第 1 実施形態)

以下、本発明をその実施の形態を示す図面に基づいて説明する。図 1 は本実施の形態のレンズ設計装置 100 の構成の一例を示すブロック図である。レンズ設計装置 100 は、装置全体を制御する制御部 11、入力部 12、記憶部 13、入射点特定部 14、法線ベクトル特定部 15、接平面特定部 16、出力部 17、表示パネル 18、操作部 19、及び自由曲面決定部 20 を備える。レンズ設計装置 100 は、例えば、パーソナルコンピュータ (PC) で構成することができる。

【0011】

制御部 11 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory) 及び RAM (Random Access Memory) などで構成することができる。

【0012】

入力部 12 は、入力データを取得する。入力データは、レンズの設計に必要なパラメータを含む。入力データには、例えば、レンズの厚さ (具体的には、レンズの中央及び周辺部の厚みが同一な部分の厚み、すなわち円盤状プレートの厚み)、開口径、視野 (視野角)、入射光線分布、セグメント構造、オフセット値、像面 (撮像面) の目標位置、レンズの機能を特定する特定パラメータなどが含まれる。特定パラメータは、入射角度、光の波長、光の位相、偏光 (具体的には、偏光による電界ベクトル又は磁界ベクトルの方位角)、焦点距離、光の強度などを含む。セグメントは、レンズを複数のレンズ素子で構成する際の各レンズ素子に対応する領域である。各セグメントは、お互いに隣接して配置される。本明細書では、セグメントは六角形状であり、各セグメントをハニカム状に配置する

ことにより、隙間なく高い充填率を実現できる。なお、セグメントの形状は六角形に限定されるものではなく、三角形、四角形、五角形などの形状でもよく、また、扇形、リング状（リングの一部を含む）であってもよい。オフセット値は、各セグメントの自由曲面（回転非対称の自由形状）を生成する際の開始点とレンズの出射面との距離である。また、入力部12は、受付部としての機能を有し、複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光線であって、複数の入射角度毎に所定数の入射光線の設定を受け付けることができる。入力データの詳細は後述する。

#### 【0013】

記憶部13は、半導体メモリ又はハードディスク等で構成され、入力部12で取得した入力データ、レンズ設計装置100による処理の結果、得られたデータなどを記憶することができる。

#### 【0014】

入射点特定部14は、入射光線分布に基づく入射光線が各レンズ素子に入射する入射点を特定する。入射点の特定方法の詳細は後述する。

#### 【0015】

法線ベクトル特定部15は、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の目標位置（所要位置）に到達するための光路に基づいて、入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定する。法線ベクトルの特定方法の詳細は後述する。

#### 【0016】

接平面特定部16は、特定された入射点を含み、法線ベクトルと直交する接平面を特定する。接平面の特定方法の詳細は後述する。

#### 【0017】

自由曲面決定部20は、セグメント毎に、特定された入射点及び法線ベクトルに基づいて、各レンズ素子の入射面形状を決定する。入射面形状は、回転非対称の自由形状とすることができる。

#### 【0018】

出力部17は、出力データを出力する。出力データは、入力データに基づいて設計されたレンズの設計データを含み、具体的には、各レンズ素子の自由曲面を決定するためのデータや数式を含む。

#### 【0019】

表示パネル18は、液晶パネル又は有機EL (Electro Luminescence) ディスプレイ等で構成することができる。

#### 【0020】

操作部19は、ハードウェアキーボード、マウスなどで構成することができる。なお、操作部19は、表示パネル18に組み込まれたタッチパネルで構成してもよい。表示パネル18は、レンズの設計者（ユーザ）が、レンズの機能に応じて機能を特定する特定パラメータの設定値を受け付ける入力画面を表示することができる。特定パラメータの設定値を受け付ける入力画面は、CCD (Charge Coupled Device) の各ピクセルのような、像面上の所要位置（光の照射点）を、縦横のマトリクス状に並べ、各所要位置での特定パラメータの値を設定することができるような画面であれば、どのような画面でもよい。特定パラメータの設定値は、特定の値でもよく、特定の数値範囲でもよい。特定パラメータの設定値は、操作部19を用いて入力することができる。また、特定パラメータの設定値の複数の候補を選択可能に表示し、表示された候補の中から所要の設定値を選択してもよい。

#### 【0021】

図2は第1実施形態での特定パラメータの設定例の模式図である。なお、便宜上、像面上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置（ピクセルなど）は多数存在している。図2に示すように、第1実施形態では、特定パラメータは、光の波長（ここでは、R（赤）、G（緑）、B（青））及び入射光線の入射角度 $\theta$ である。所要位置の特定パラメータは、 $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B) (\theta_{1,1})$ の如く表すことができる。

他の所要位置の特定パラメータも同様である。所要位置毎に、波長の設定値 (RGB) 及び入射角度  $\theta$  の設定値は異なってもよい。レンズの設計者は、設計対象のレンズの機能に応じて、特定パラメータである波長及び入射角度を所要の値に設定することができる。なお、R (赤)、G (緑)、B (青) の波長は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。

#### 【0022】

図3は本実施の形態のレンズの構造の一例を示す模式図である。レンズは、複数のレンズ素子群を備え、各レンズ素子群は、複数のレンズ素子を備える。図3の例では、各レンズ素子は、入射面側から見た形状が六角形であり、各レンズ素子は、ハニカム状に隣接して配置されている。すなわち、各レンズ素子は、お互いに隣接して配置されている。図3の例では、R (赤)、G (緑)、B (青) に対応する波長の光線を透過するように設定された3つのレンズ素子群が配置されている。すなわち、各レンズ素子群は、レンズ素子群毎に異なる波長 (例えば、R、G、B) に対応付けられた複数のレンズ素子を備える。なお、レンズ素子群に割り当てる波長は、R、G、Bに限定されるものではなく、任意の色を割り当てることができる。

#### 【0023】

一般的なプラノ・コンベックス (平凸) レンズと異なり、本実施の形態のレンズは、平面 (出射面) を基準にして各レンズ素子の入射面が回転非対称の自由形状として最適設計されている。各レンズ素子は、R、G、又はBのいずれか1色 (単色) が割り当てられているので、割り当てられた単色のみについて焦点設計をすればよい。これにより、各レンズ素子は、自然光のように色収差の問題を生じさせることがない。レンズ (各レンズ素子) は、同じ入射角度の入射光線束を像面上の目標位置に集光することができる。図3の例では、入射角度 = 0 のR、G、Bの光線は、光軸上の同一位置に集光している。入射角度  $\neq 0$  のR、G、Bの光線は、光軸と直交する撮像面の同一位置に集光している。また、レンズ (各レンズ素子) は、入射光線束の入射角度に応じて、入射光線束を像面上の異なる目標位置に集光することができる。図2の例では、入射角度が0か0以外かで、R、G、Bの光線は、撮像面上の異なる位置に集光している。このように、本実施の形態のレンズは、入射角度  $\neq 0$  のR、G、Bの光線を撮像面上の同一位置に集光できるので、所要の全視野において、色収差を改善することができる。

#### 【0024】

以下、レンズの設計、すなわち、自由形状であって連続変形で移り変われる各セグメントの連続生成方法について説明する。本実施の形態では、開放F値が2.5であり、 $4^\circ \times 4^\circ$  全FOV (Field of View) で動作するコンパクトなモノリシックレンズ (直径16mm、厚さ4.5mm) を設計する。

#### 【0025】

図4は各セグメントの配置例の一例を示す模式図である。レンズの光軸をZ軸とし、光軸に直交する面をXY平面とすると、図4に示すセグメントの配置は、XY平面上の配置例を示す。図4では、便宜上、7つのセグメントを図示しているが、セグメントは、XY平面上で外側に向かって増やす (拡張する) ことができる。六角形のセグメントを中心から隣接する領域に隙間なく並べ、特定の色 (例えば、R、G、B) の波長を割り当てる。 $m$ 番目のセグメントの中心は、グローバル座標系XYZにおいて、 $(r_m, \alpha_m)$  で表す。セグメントの中心を基準として、セグメントに入射する入射光線束は、ローカル座標系  $x_m y_m z_m$  で表すことができる。具体的には、各セグメントは、光軸周りにJ個に区分し、半径方向にP個に区分する。これにより、各セグメントは、 $J \times P$  個の小領域に区分できる。図の例では、小領域を点で表し、 $J = 17$  とし、 $P = 8$  としている。全FOVに含まれる入射光線束の異なる入射角度の数をKとすると、各セグメントに入射する入射光線の総数Iは、 $I = J \times P \times K$  で表すことができる。

#### 【0026】

上述のように、隣接配置される複数のセグメントは、特定の光学パラメータ (例えば、光の波長など) が対応付けられた複数のセグメントを有するセグメント群に区分されてい

る。

### 【0027】

図5はレンズのXZ平面での側面図である。図に示すように、レンズは、初期プラノと称する円盤状プレートの出射面と反対側の面上に、中央から周辺部に向かって、中央レイヤ（第1レイヤ）、第2レイヤ、第3レイヤを備える。中央レイヤは、図4の中央のセグメントに対応し、第2レイヤは、中央のセグメントの右下側のセグメントに対応し、第3レイヤは、中央のセグメントの右隣のセグメントに対応している。入射面と出射面との距離は、光軸の径方向に向かって短くなる。符号P31で示す点は、出射面からのオフセット値で決定することができ、第3レイヤの入射面を生成する際の最初の入射点を示す。符号P21で示す点は、第2レイヤの入射面を生成する際の最初の入射点を示し、符号P11で示す点は、中央レイヤの入射面を生成する際の最初の入射点を示す。なお、図5の例では、中央レイヤ、第2レイヤ、第3レイヤの表面がZ方向に沿って連続しているが、Z方向に沿ってギャップ（段差）があってもよい。

### 【0028】

次に、入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法について説明する。図6、図7、図8及び図9は入射点、法線ベクトル及び接平面の特定方法の一例を示す説明図である。図6に示すように、便宜上、入射光線の異なる入射角度の数Kを、 $K=3$ とする。入射角度に応じて、入射光線をR1～R7、R11～R17、R21～R27とする。

### 【0029】

図7に示すように、符号P1で示す点を最初の入射点とする。入射点P1は、出射面からのオフセット値で決定される。入射点P1に入射する入射光線として入射光線R1を選択する。レンズ素材の屈折率に応じて、入射光線R1は、スネルの法則に従って、入射面及び出射面で屈折し、撮像面の目標位置T1に到達する。屈折光線の光路は、光は最短時間で到着する経路を通して伝播するというフェルマーの原理によって決定できる。入射点P1における法線ベクトルN1は、入射点P1と屈折光線が出射面と交差する点を結ぶ線分方向によって特定できる。また、入射点P1における接平面TP1は、入射点P1を含み、法線ベクトルN1と直交する平面によって特定できる。

### 【0030】

次に、接平面TP1と交差する未使用の入射光線の中から、入射点P1に最も近い入射光線を特定する。図8の例では、入射光線R2が入射点P1に最も近い。特定済の入射点（図8の例では、入射点P1）から入射光線R2までの距離が最小の垂線を見つけ、垂線と入射光線R2の交点を、次の入射点P2として特定する。図8の例では、接平面TP1と入射光線R2との交点が入射点P2となっている。

### 【0031】

入射光線R2は、スネルの法則に従って、入射面及び出射面で屈折し、撮像面の目標位置T2に到達する。入射点P2における法線ベクトルN2は、入射点P2と屈折光線が出射面と交差する点を結ぶ線分方向によって特定できる。また、入射点P2における接平面TP2は、入射点P2を含み、法線ベクトルN2と直交する平面によって特定できる。なお、撮像面の目標位置は、入射光線の入射角度が異なると、撮像面の目標位置は異なる。すなわち、異なる入射角度毎に異なる所要位置を用いることができる。

### 【0032】

次に、接平面TP2と交差する未使用の入射光線の中から、入射点P2に最も近い入射光線を特定する。図9の例では、入射光線R22が入射点P2に最も近い。特定済の入射点（図9の例では、入射点P1、P2）から入射光線R22までの距離が最小の垂線を見つけ、垂線と入射光線R22の交点を、次の入射点P3として特定する。図9の例では、接平面TP2と入射光線R22との交点が入射点P3となっている。以下、同様の処理をすべての入射光線に対して繰り返すことにより、各セグメントについて、すべての入射光線の入射点と、各入射点での法線ベクトルを特定することができる。

### 【0033】

上述のように、各レンズ素子の入射面形状は、入射光線が像面上の所要位置に到達する

ように屈折した屈折光線のベクトルに基づいて決定されている。また、レンズ設計装置100は、像面上の所要位置毎に、入射光線の入射角度の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、入射光線の入射角度が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。また、レンズ設計装置100は、像面上の所要位置毎に、入射光線の波長の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、入射光線の波長が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

#### 【0034】

なお、前述の処理を繰り返すためには、各セグメントについて最初の入射点が既知である必要がある。具体的には、出射面との光軸上の距離が最も小さい最低点（Z座標の値が最小）を最初の入射点とすることができる。最初の入射点は、出射面からのオフセット値によって決定できる。例えば、図5の場合、点P31、P21、P11それぞれを、第3レイヤに対応するセグメント、第2レイヤに対応するセグメント、中央レイヤに対応するセグメントの最初の入射点とすることができる。また、図4の場合、点P1<sup>m</sup>を第mセグメントの最初の入射点とすることができる。隣り合うセグメント間では、出射面に近い方のセグメントの最高点を、出射面から遠い方のセグメントの最低点に一致するようにオフセット値を決定することにより、隣り合うセグメントの境界部分において、光軸（Z軸）方向の段差（ギャップ）を無くすことができる。これにより、入射面に不連続な部分が発生することを防止でき、レンズの生産性を向上させることができる。

#### 【0035】

前述の処理によって、各セグメントについて、すべての入射光線の入射点と、各入射点での法線ベクトルを特定することができる。これにより、全てのセグメントの入射面形状を決定することができる。以下では、入射点と法線ベクトルの最適化について説明する。

#### 【0036】

図10は入射点及び法線ベクトルの最適化方法の一例を示す模式図である。図10には、あるセグメントに対して決定された自由曲面を図示している。便宜上、入射点をP(i-1)、P(i)、P(i+1)、P(i+2)の4点だけ図示する。実際には、入射点の数は多い。入射点P(i-1)、P(i)、P(i+1)、P(i+2)それぞれに入射する入射光線をR(i-1)、R(i)、R(i+1)、R(i+2)とし、入射光線R(i-1)、R(i)、R(i+1)、R(i+2)それぞれの実施の焦点位置をT(i-1)、T(i)、T(i+1)、T(i+2)とする。ここで、暫定目標位置を設定する。入射光線R(i-1)の暫定目標位置は、例えば、 $T(i-1) + \delta \{T - T(i-1)\}$ の如く設定できる。Tは目標位置である。同様に、入射光線R(i)の暫定目標位置は、例えば、 $T(i) + \delta \{T - T(i)\}$ の如く設定でき、入射光線R(i+1)の暫定目標位置は、例えば、 $T(i+1) + \delta \{T - T(i+1)\}$ の如く設定でき、入射光線R(i+2)の暫定目標位置は、例えば、 $T(i+2) + \delta \{T - T(i+2)\}$ の如く設定できる。暫定目標位置が目標位置に近づくように、入射点及び法線ベクトルを更新する処理を繰り返す。暫定目標位置と目標位置との差が許容範囲内になるまで更新を繰り返すことができる。なお、入射光線の入射角度によって目標位置は異なるので、入射点及び法線ベクトルの更新は、入射角度毎に行うことができる。

#### 【0037】

図11はレンズの一構成であるハニカムモデルを示す模式図である。レンズは、7個のレンズ素子で構成され、各レンズ素子をハニカム状に配置している。#1及び#4がR（赤色波長）に対応し、#2、#5及び#7がG（緑色波長）に対応し、#3及び#6がB（青色波長）に対応している。

#### 【0038】

図12はレンズ素子の入射面形状の一例を示す模式図である。前述の入射点及び法線ベクトルの最適化を行うことにより、各レンズ素子の入射面形状を決定することができる。図12の例は、六角形のセグメント1で特定された入射点及び法線ベクトルによって決定される入射面形状をXYZ座標系の3次元で模式的に図示している。本実施の形態のレン

ズ設計方法によって設計されたレンズは、様々な視野から（異なる入射角度）の光線を像面の所要の場所に柔軟に集光することができる。別言すれば、像面の様々な場所に集光できるように柔軟にレンズを設計することができる。

【0039】

レンズ素子の入射面形状は、式（1）で定式化することができる。

【0040】

【数1】

$$z^m = \frac{c(x^2+y^2)}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2(x^2+y^2)}} + \sum_{s=1}^S w_s f_s(x, y), s=1, \dots, S \quad \dots(1)$$

【0041】

式1において、mはレンズ素子（セグメント）の識別子を示し、x、yはxy平面での座標値を示す。cは曲率を示し、kは円錐定数を示し、通常、非球面係数として使用される。f<sub>s</sub>(x、y)は、s次の回転非対称項を示し、例えば、XY多項式、ゼルニケ多項式、チェビシェフ多項式などを含む。なお、計算を容易にするために、高次元の非線形の円錐項を省略してもよい。

【0042】

上述のように、本実施の形態のレンズは、お互いに隣接して配置された複数のレンズ素子を備え、各レンズ素子の入射面は、入射光線が像面上の所要位置に到達するように入射光線が屈折した屈折光線のベクトルに基づいて決定されている。また、レンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、同じ入射角度の入射光線束を像面上の所要位置に集光し、入射光線束の入射角度に応じて、入射光線束を像面上の異なる所要位置に集光することができる。また、複数のレンズ素子は、入射光線の異なる波長に対応付けられた複数のレンズ素子群に区分されている。

【0043】

本実施の形態のレンズの製造方法は、例えば、以下のようにすることができる。PMM A (Poly Methyl Methacrylate) などのアクリル樹脂のブロック（例えば、大まかな形状が16mm×16mm×5mm：高さ2mmの球形キャップを備えた厚さ3mmの基板）を最初に準備する。次に、本実施の形態の設計方法によって設計された3Dモデルの輪郭に沿ったスパイラルパスを生成する。微細加工プロセスは、例えば、シングルポイントダイヤモンド施削機械を用い、スピンドル速度が毎分5回転、半径方向の送り速度が1回転当たり5μmとすることができる。なお、製造方法は、前述の方法に限定されるものではなく、業界で広く利用されている既存の製造方法を用いることができる。また、金型を用いてレンズを製造してもよい。これにより、様々な材料に対して新しい設計を柔軟に行うことができる。

【0044】

次に、本実施の形態のレンズの評価結果について説明する。

【0045】

図13は特定の視野角での集束性能の一例を示す説明図である。図中、左から右に向かって、6つの視野角（0°、0°）、（1°、0°）、（2°、0°）、（0°、1°）、（0°、2°）、（1.414°、1.414°）を表す。入射光線は、637nm（赤）、520nm（緑）、480nm（青）の3色の波長を使用している。図中、小さな矩形の寸法は、30μm×30μmである。

【0046】

比較例1は、F値が2.5の従来の回折制限非球面（DLA）レンズを使用した場合を示す。比較例1では、緑色光線の集光スポット（図中の中央部）は視野角（0°、0°）では良好であるが、他の視野角（0でない視野角）ではコマ収差が顕著になる。コマ収差とは、軸外物点から出た光線が像面上の1点に集まらず、彗星のように尾を引いた非対称

なボケを生成することをいう。また、赤色光線及び青色光線の集束スポット（図中の円状の点線）は、 $300\mu\text{m}$ 程度の領域に大きく広がっており、色収差を補正することができない。

#### 【0047】

比較例2は、F値が2.5、焦点距離が40.5mmであって、セグメント化されていない軸上自由形状レンズを使用した場合を示す。比較例2では、3つの色すべてにおいて、集束劣化が存在している。

#### 【0048】

比較例3は、2枚のレンズで構成されるダブルットレンズを使用した場合を示す。比較例3では、比較例1に比べて、色収差は低減されているものの、0でない視野角では、コマ収差が生じている。また、視野角が大きくなると集束性能が低下していることが分かる。

#### 【0049】

本実施の形態は、入射光線パラメータを、 $J=18$ 、 $P=10$ 、入射角度の数 $K=13$ として選択し、セグメント数 $M=7$ とし、RGBの3色に対応する波長としている。レンズは直径が16mm、焦点距離が40.5mm、視野角を $4^\circ$ としている。本実施の形態では、全ての視野角において、非常に狭い共通スポットに3色の光線を集束することができる。

#### 【0050】

図14は本実施の形態のレンズによる異なる入射角度での集束性能の一例を示す説明図である。図14では、XY平面上の像面の焦点位置を示す。焦点位置は、入射光線の入射角度に応じて異なっている。図中、13個のスポットは、入射角度が $(0^\circ, 0^\circ)$ 、 $(0^\circ, \pm 1^\circ)$ 、 $(0^\circ, \pm 2^\circ)$ 、 $(\pm 1^\circ, 0^\circ)$ 、 $(\pm 2^\circ, 0^\circ)$ 、 $(\pm 1^\circ, \pm 1^\circ)$ 、 $(\pm 1.414^\circ, \pm 1.414^\circ)$ に対応する。例えば、XY座標が(1.52mm, 0mm)は、入射角度 $(0^\circ, 2^\circ)$ に対応する。図14から分かるように、ハニカム構造のレンズを通過する3色の光線は、全て同じ位置に焦点が合っている。

#### 【0051】

図15は結像性能の一例を示す説明図である。図15(A)は、従来の回折制限非球面(DLA)レンズを使用した場合の画像を示し、図15(B)は本実施の形態のレンズを使用した場合の画像を示す。図15(A)の場合には、比較的大きな入射角度において明らかな色収差が生じ、特に画像の端部で色収差が顕著となる。例えば、符号C1で示す煙突、及び符号C2で示すトートバックでは、緑色に対する色収差が見られる。図15(B)に示すように、本実施の形態では、色収差がなく、符号C1及びC2の領域においても色収差がない。

#### 【0052】

図16は結像性能の他の例を示す説明図である。図16(A)は、従来の回折制限非球面(DLA)レンズを使用した場合の画像を示し、図16(B)は本実施の形態のレンズを使用した場合の画像を示す。図16(A)の場合、赤色の円と青色の円は非常にぼやけており、軸上色収差によってシフトしている。一方、図16(B)の場合、3色の円形画像はすべて鮮明であり、色収差もない。

#### 【0053】

図17はレンズの評価システムの構成の一例を示す模式図である。赤色、緑色及び青色のレーザ光は、ファイバーポートに入り、ビームエキスパンダによって拡大される。各色のレーザは、ハニカムレンズのレンズ素子(セグメント)と位置合わせされたフィルタ(マスク)を通過する。フィルタは、レンズ素子に割り当てられた色だけが当該レンズ素子を通過するように構成されている。レンズは5軸調整可能なケージシステムに収容され、撮像素子上での焦点を調整することができる。これにより、異なる色の光線を色収差なしで撮像素子の同じスポットに集束させることができる。また、ケージシステムは、X軸方向のFOV、及びY軸方向のFOVを調整することができる。

#### 【0054】

図18及び図19はレンズの設計方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。以下では、便宜上、処理の主体を制御部11として説明する。制御部11は、入力データを取得し(S11)、入射光線束を設定する(S12)。入射光線束の設定は、ユーザ(レンズの設計者)から受け付けることができ、例えば、複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光線であって、複数の入射角度(例えば、K個)毎に所定数(例えば、 $J \times P$ )の入射光線の設定を行うことができる。入射光線の総数は、いずれのセグメントも、 $I = J \times P \times K$ となる。

#### 【0055】

制御部11は、入力されたデータに基づいてセグメントを設定する(S13)。セグメントの設定は、例えば、セグメントの数、形状(例えば、六角形など)、割り当てる光の波長、セグメントの中心座標などを設定することができる。

#### 【0056】

制御部11は、セグメントの順番を特定する識別子mを1にセットし(S14)、第1セグメントの最初の入射点及び入射光線を選択する(S15)。制御部11は、入射光線が屈折する屈折光線を特定し、屈折光線の法線ベクトル(ベクトル)を特定する(S16)。

#### 【0057】

制御部11は、入射点において法線ベクトルに直交する接平面を特定し(S17)、接平面と交差する未使用の入射光線の中から次の入射光線を特定する(S18)。制御部11は、特定済の入射点から、特定した次の入射光線への最小長の垂線が当該入射光線と交差する点を次の入射点として特定する(S19)。

#### 【0058】

制御部11は、すべての入射光線について処理が完了したか否かを判定し(S20)、完了していない場合(S20でNO)、ステップS16以降の処理を続ける。すべての入射光線について処理が完了した場合(S20でYES)、制御部11は、特定した入射点及び法線ベクトルに基づいて、セグメントの自由曲面を生成する(S21)。

#### 【0059】

制御部11は、生成した入射面(自由曲面)に実際に入射する入射点を算出する(S22)。ここでは、ステップS12で設定した入射光線束を用いることができる。制御部11は、入射点から入射した光線の実際の焦点位置を算出し(S23)、算出した焦点位置と目標位置との誤差が許容範囲内であるか否かを判定する(S24)。

#### 【0060】

誤差が許容範囲内でない場合(S24でNO)、制御部11は、法線ベクトル及び入射点を更新し(S25)、ステップS21以降の処理を繰り返す。誤差が許容範囲内である場合(S24でYES)、制御部11は、すべてのセグメントについて処理が完了したか否かを判定する(S26)。

#### 【0061】

すべてのセグメントについて処理が完了していない場合(S26でNO)、制御部11は、識別子mに1を加算し(S27)、ステップS15以降の処理を続ける。すべてのセグメントについて処理が完了した場合(S26でYES)、制御部11は、レンズの自由曲面(入射面の形状)を決定し(S28)、処理を終了する。

#### 【0062】

上述のように、本実施の形態のレンズ設計方法は、単純な平面から開始して、最終的にハニカム状に配置されたレンズ素子の入射面形状をxyzの3D座標で決定することができる。また、本実施の形態のレンズは、回折限界と色収差のない集束と結像を実現することができる。モノリシック一体型構造は、拡張可能な六角形の自由曲面の配列で構成され、様々な波長を含む多波長集束用のレンズを構成することができる。

#### 【0063】

本実施の形態によれば、単一のレンズ素材を用いたモノリシック設計により、設計のトポロジカルな自由度が増加し、複数のレンズを組み合わせる際のアセンブリやアライメン

トに関連するエラーのない高度に統合された屈折光学系を実現することができる。色収差を改善するために、従来、2つのレンズをカスケード接続する構成や、3つのレンズを組み合わせたものが提案されているが、いずれも光学システム全体の形状や体積が増加し、組立が複雑になり、製造コストが上昇する。一方、本実施の形態のモノリシックレンズは、色収差を低減でき、単一のレンズで構成され、レンズの形状や体積が小さく、複雑な組立も必要としないので、低コストを実現できる。また、レンズの体積を大幅に低減できるので、光学デバイスの小型化に貢献し、産業用及び消費者向けの様々なアプリケーションにとって非常に望ましいレンズを提供することができる。本実施の形態のレンズは、特に、色収差の低減、集束の高性能化を実現できるとともに、レンズの小型化が可能であり、また簡単な製造方法を適用することができるので、小型カメラ、ウェアラブルデバイスなどの幅広い分野での光学機器等に利用することができる。

#### 【0064】

上述の実施の形態では、入射光線の色をRGBの3色として説明したが、入射光線の色は、RGBに限定されるものではなく、UVから赤外線の間までN(4以上)色の入射光線に対しても柔軟に適用できる。

#### 【0065】

(第2実施形態)

第1実施形態では、共通の目標位置にRGBの各波長の光線を集束することができるレンズ及びレンズの設計方法を説明したが、設計者は、撮像素子のどの位置にどの波長の光を集束させるかを自由に設計することができる。第2実施形態では、撮像素子のRGBそれぞれのピクセルにRGBそれぞれの波長の光を集束させる場合について説明する。

#### 【0066】

第1実施形態の場合と同様に、表示パネル18は、レンズの設計者(ユーザ)が、レンズの機能に応じて機能を特定する特定パラメータの設定値を受け付ける入力画面を表示することができる。特定パラメータの設定値は、特定の値でもよく、特定の数値範囲でもよい。

#### 【0067】

図20は第2実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図20(A)は、第2実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(ピクセルなど)は多数存在している。図20(A)に示すように、第2実施形態では、特定パラメータは、光の波長(ここでは、R(赤)、G(緑)、B(青))及び入射光線の入射角度 $\theta$ である。所要位置の特定パラメータは、 $(\lambda_R)(\theta_{1,1})$ 、 $(\lambda_G)(\theta_{1,1})$ 、 $(\lambda_B)(\theta_{1,1})$ のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。所要位置毎に、R(赤)、G(緑)及びB(青)のいずれか1つ及び入射角度 $\theta$ の値を設定することができる。なお、R(赤)、G(緑)、B(青)の波長は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。撮像素子は、RGBそれぞれのピクセルで構成されている。設計者は、撮像素子のピクセルの構成に応じて、レンズの設計を柔軟に行うことができる。図20(A)に示すように、設計者は、撮像素子の各ピクセルのRGBそれぞれに対応して、RGBの波長の光をそれぞれのピクセルに集束するようにレンズを設計することができる。図20(B)に示すように、非球面マイクロレンズアレイの各マイクロレンズは、RGBの3色のいずれかの色が割り当てられている。非球面マイクロレンズアレイは、第1実施形態で説明した設計方法により設計することができる。

#### 【0068】

上述のように、制御部11(CPU、プロセッサ)は、入射光線の波長毎の所要位置の設定を設計者から受け付け、設定された所要位置を用いることができる。光学パラメータとして、入射光線の波長を選定し、各レンズ素子群の各レンズ素子それぞれは、同じ入射角度であって、レンズ素子群毎に異なる特定の波長の入射光線束それぞれを像面上の特定の波長毎に区分されたそれぞれの所要位置に集光することができる。

#### 【0069】

上述のように、第2実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、同じ入射角度であって、レンズ素子群毎に異なる波長の入射光線束それぞれを像面上の波長毎に区分されたそれぞれの所要位置に集光することができる。

#### 【0070】

(第3実施形態)

第3実施形態では、特定パラメータとして焦点距離を取り上げる。これにより、深度(焦点深度)を認識することができる撮像装置を実現することができる。

#### 【0071】

表示パネル18は、レンズの設計者(ユーザ)が、レンズの機能に応じて機能を特定する特定パラメータの設定値を受け付ける入力画面を表示することができる。第3実施形態では、特定パラメータは、焦点距離及び入射角度である。

#### 【0072】

図21は第3実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。撮像素子は、#1～#4の4つの区画に区分され、レンズは、撮像素子に対応して4つの#1～#4の4つの区画に区分された複合レンズである。図21(A)は、第3実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(ピクセルなど)は多数存在している。図21(A)に示すように、第3実施形態では、特定パラメータは、焦点距離及び入射光線の入射角度 $\theta$ である。所要位置の特定パラメータは、 $(FL1)(\theta_{1,1})$ のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。図21(A)に示すように、設計者は、撮像素子の各区画#1～#4の焦点距離 $FL1 \sim FL4$ それぞれに対応して、複合レンズの各区画#1～#4を通る光線が撮像素子上で集束するようにレンズを設計することができる。図21(B)に示すように、複合レンズは、4つの区画#1～#4に焦点距離 $FL1 \sim FL4$ が割り当てられている。複合レンズは、第1実施形態で説明した設計方法により設計することができる。

#### 【0073】

図22は複合レンズによる焦点深度の認識方法の一例を示す模式図である。光軸方向に沿って、複合レンズに近い順にレンズ#1、#2、#3、#4を配置してある。レンズの焦点距離は、レンズ#1、#2、#3、#4の順に長くなるとする。図22(A)の例では、レンズ#1、#2、#3、#4の順にCCDでのスポットサイズが大きくなっている。また、図22(B)の例では、レンズ#3、#4、#2、#1の#2、#3、#4の順にCCDでのスポットサイズが大きくなっている。

#### 【0074】

図23は焦点距離とスポットサイズの関係を示す模式図である。図中、横軸は焦点距離を示し、縦軸はスポットサイズを示す。符号Aで示す曲線は、図22(A)の4つのレンズ#1～#4で得られたスポットサイズをプロットしたものであり、符号Bで示す曲線は、図22(B)の4つのレンズ#1～#4で得られたスポットサイズをプロットしたものである。それぞれの曲線A、B上でスポットサイズが最も小さくなる位置に対応する焦点距離が複合レンズによって認識することができる。これにより、光源の光軸上の移動に応じて、正確な焦点深度を認識することができる。

#### 【0075】

上述のように、制御部11(CPU、プロセッサ)は、焦点距離毎の所要位置の設定を設計者から受け付け、設定された所要位置を用いることができる。光学パラメータとして、焦点距離を選定し、各レンズ素子群の各レンズ素子それぞれは、レンズ素子群毎の入射光線束それぞれを光軸上の異なる像面上の所要位置(焦点距離が異なる位置)に集光することができる。

#### 【0076】

上述のように、レンズ設計装置100は、複数のセグメントそれぞれは、特定の焦点距離が対応付けられ、像面上の所要位置毎に、焦点距離の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、セグメントに対応する焦点距離が設定された所要位

置に到達するように光路を決定することができる。また、レンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、入射光線束それぞれを光軸上の異なる像面上の所要位置に集光することができる。

#### 【0077】

前述の第1実施形態、第2実施形態及び第3実施形態では、像面としてCCDの撮像面を用いた例を説明したが、像面はCCDの撮像面に限定されるものではない。例えば、像面は、フィルム、スクリーン、プレート、ウェハなどの様々な材料の面とすることができる。以下、具体的に説明する。以下の第4実施形態から第8実施形態において、表示パネル18は、レンズの設計者（ユーザ）が、特定パラメータの設定値を受け付ける入力画面を表示することができる。特定パラメータの設定値は、特定の値でもよく、特定の数値範囲でもよい。

#### 【0078】

（第4実施形態）

図24は第4実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図24(A)は、第4実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面（例えば、フィルム）上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置（光の照射点など）は多数存在している。図24(A)に示すように、第4実施形態では、特定パラメータは、光の波長 $\lambda$ （ここでは、波長の設定値として、UV光の波長 $\lambda_1$ 、及び赤色光の波長 $\lambda_2$ とする）である。所要位置の特定パラメータは、 $(\lambda_{UV})$ 、あるいは $(\lambda_R)$ のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。なお、模様の有無は、波長が異なることを分かりやすく示したものである。所要位置毎に、波長の値を設定することができる。なお、波長 $\lambda$ は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。この場合、本実施の形態のレンズ設計アルゴリズムは、自動的に入射角を割り当てるので、特定パラメータとしての入射角を設定しなくてもよい。

#### 【0079】

図24(B)に示すように、便宜上、レンズは、7個のレンズ素子で構成されているとする。なお、レンズ素子の数は7個に限定されるものではない。点光源は、UV光と赤色光を送出することができる。複数のレンズ素子のうち、斜線が付されているレンズ素子は、UV光の波長 $\lambda_1$ に対応し、残りのレンズ素子は、赤色光の波長 $\lambda_2$ に対応している。レンズ素子と波長との対応付けは、レンズ素子の入射面側に波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ それぞれを透過させるフィルタを設ければよい。

#### 【0080】

フィルムは、光応答性を有するポリマーを含有する水を含むフィルタである。フィルムにUV光が照射されると、照射されたポリマーは高粘性の状態となり、赤色光が照射されると、照射されたポリマーは低粘性の状態となり、ポリマーを含有する水を流動させることができる。このように、設計者がフィルム上の所要位置での波長の値を設定することにより、レンズ設計装置100は、微細な流路が形成されたフィルムを設計することができる。微細な流路が形成されたフィルムは、マイクロデバイスとして、例えば、抗菌薬と被検菌液との混合液をインキュベートし、流路における観察エリアを顕微鏡で観察することにより、菌の抗菌薬に対する感受性を確認できる検査システムなどに利用することができる。また、微細な流路が形成されたフィルムは、微量の液体を制御するマイクロフルディスク技術として、様々な薬液の混合分離や化学反応などを行うことができ、医療診断、薬品製造、化学分析などの様々な分野で利用可能である。

#### 【0081】

レンズの設計方法は、第1実施形態の場合と同様であるが、レンズ設計装置100は、像面上の所要位置毎に、光の波長の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、光の波長が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

#### 【0082】

また、第4実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、波長が異なる入

射光線束それぞれを像面上の波長に対応する異なる所要領域に集光することができる。

### 【0083】

図25は第4実施形態のレンズの構成の他の例を示す模式図である。図25の例は、レンズの一部を、入射光線の分布を動的に制御可能な光学部材で覆う構成を示す。光学部材は、図25に示すように、スリットが設けられた円盤状のマスクとすることができる。また、図示していないが、光学部材は、例えば、光の透過・非透過を制御可能な液晶板(LCD)でもよく、DLP(Digital Light Processor)でもよく、あるいは、入射光線の分布を制御できるものであれば他の部材でもよい。図25に示すように、マスクを回転させてスリットの位置を変えることにより、複数のレンズ素子が配置されたレンズへの入射光線の分布を制御することができ、フィルムに照射されるUV光と赤色光を動的に変更することができる。これにより、フィルムに形成する流路の形状(流れの方向)を柔軟に変更することができる。

### 【0084】

(第5実施形態)

図26は第5実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図26(A)は、第5実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面(例えば、スクリーン)上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(光の照射点など)は多数存在している。図26(A)に示すように、第5実施形態では、特定パラメータは、光の波長 $\lambda$ 及び光の強度 $I$ である。所要位置の特定パラメータは、( $I_0$ ) ( $\lambda_0$ )、あるいは( $I_1$ ) ( $\lambda_1$ )のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。なお、模様の有無は、光の強度及び波長が異なることを分かりやすく示したものである。所要位置毎に、波長 $\lambda$ の値及び強度 $I$ の値を設定することができる。なお、波長 $\lambda$ 及び強度 $I$ は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。この場合、本実施の形態のレンズ設計アルゴリズムは、自動的に入射角を割り当てるので、特定パラメータとしての入射角を設定しなくてもよい。

### 【0085】

図26(B)に示すように、便宜上、レンズは、7個のレンズ素子で構成されているとする。なお、レンズ素子の数は7個に限定されるものではない。点光源は、白色光を送出することができる。複数のレンズ素子それぞれは、特定の波長に対応付けられている(図ではレンズ素子に付与した模様の違いで波長の違いを表している)。レンズ素子と波長の対応付けは、レンズ素子の入射面側に特定の波長を透過させるフィルタを設ければよい。

### 【0086】

スクリーン上には、光の波長及び強度に応じて様々な文字や図形、模様、テクスチャを表示させることができる。図26(B)の例では、「KYOTO」の文字が表示され、文字の部分毎に波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ に応じて色や色味、明暗などの表現を変えることができる。光の強度は、例えば、 $I_1 > I_2$ とすることができる。なお、波長の数は3つに限定されない。また、強度も強弱の2つに限定されるものではない。

### 【0087】

第5実施形態のスクリーンは、デジタルサイネージ(電子看板)、広告表示、案内表示など、店舗や公共施設等におけるディスプレイ装置に利用することができる。

### 【0088】

レンズの設計方法は、第1実施形態の場合と同様であるが、レンズ設計装置100は、像面上の所要位置毎に、光の強度及び光の波長の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、光の強度及び光の波長が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

### 【0089】

また、第5実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、波長及び強度が異なる出射光線を像面上の波長及び強度に対応する異なる所要領域に集光することができる。

**【0090】****(第6実施形態)**

図27は第6実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図27(A)は、第6実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面(例えば、ガラスの表面に金膜を形成したプレート)上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(光の照射点など)は多数存在している。図27(A)に示すように、第6実施形態では、特定パラメータは、光の強度 $I$ である。所要位置の特定パラメータは、 $(I_0)$ 、あるいは $(I_1)$ のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。なお、模様の有無は、光の強度が異なることを分かりやすく示したものである。所要位置毎に、強度 $I$ の値を設定することができる。なお、強度 $I$ は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。この場合、本実施の形態のレンズ設計アルゴリズムは、自動的に入射角を割り当てるので、特定パラメータとしての入射角を設定しなくてもよい。金膜が形成されたガラス板は、水などの液体中に配置されている。

**【0091】**

図27(B)に示すように、便宜上、レンズは、7個のレンズ素子で構成されているとする。なお、レンズ素子の数は7個に限定されるものではない。点光源は、特定の波長のレーザ光を送出することができる。複数のレンズ素子それぞれは、各入射点で入射したレーザ光を金膜上の所要位置に照射する。これにより、レンズは、金膜上の焦点パターン上にレーザ光を集光することができる。焦点パターンの各所要位置には、光の強度 $I$ が設定されている。図27(B)では、レーザ光の一部として、光の強度が $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ のレーザ光線が照射されている状態を図示している。光の強度は、レンズ素子の厚み、具体的には、レンズ素子の入射点とレーザ光がレンズ素子から出射する出射点との間の光路長によって調整することができる。なお、金膜上の焦点パターン以外の部分は、光の強度が、後述のマランゴニ対流が発生しない程度に小さくすることができるが、レーザ光が照射されないようにレンズ素子の入射面形状を設計してもよい。

**【0092】**

図28は金膜上で発生するマランゴニ対流の一例を示す模式図である。図28(A)は、ガラス板の側面から見た状態を示す。金膜上に照射されたレーザ光は、照射点及びその近傍の温度を上昇させ高温となる。一方、レーザ光が照射されていない部分では、低温となる。高温部分では液体表面に作用する表面張力が小さくなり、低温部分では表面張力が大きくなる結果、表面張力の不均一が生じる。この表面張力の差によって引き起こされる流れ(マランゴニ対流)が発生する。

**【0093】**

図28(B)は、金膜の上側から見た状態を示す。焦点パターンの間隔が短い部分では、大きなマランゴニ対流が発生する。また、焦点パターンの間隔が長い部分では、比較的小さなマランゴニ対流が発生する。この結果、符号Rで示す向きに対流を発生させることができる。このように、焦点パターンの形状、間隔などを適宜設定することにより、様々な状態の対流を発生させることができる。

**【0094】**

このように、第6実施形態のレンズは、少量の液体を自在に動かすことができ、化学分野、医療分野、小さな液滴やカプセルを作成する技術、電子部品の冷却技術、高純度の半導体結晶の生成技術など、様々な分野で利用することが期待される。

**【0095】**

レンズの設計方法は、第1実施形態の場合と同様であるが、レンズ設計装置100は、像面上の所要位置毎に、光の強度の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、光の強度が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

**【0096】**

また、第6実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、像面上の所要位置に応じて異なる強度の出射光線を所要位置に集光することができる。

**【0097】****(第7実施形態)**

図29は第7実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図29(A)は、第7実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面(例えば、ウエハ)上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(光の集光点など)は多数存在している。図29(A)に示すように、第7実施形態では、特定パラメータは、光の位相 $\Phi$ である。具体的には、位相 $\Phi$ は、各レンズ素子を透過する光の位相 $\phi_i$ を合計して求めることができる。所要位置の特定パラメータは、 $\phi_{i, 1, 1}$ を $i = 1 \sim 6$ まで合計した値とすることができる。他の所要位置も同様である。後述するように、所要位置毎の位相 $\Phi$ には、レンズ素子の数に対応して、6個の設定値を設定することができる。なお、位相 $\Phi$ は、入射する際の位相が揃ったUV光の位相を基準として、どの程度位相がシフトしているかを示す位相差(シフト量)でもよい。

**【0098】**

図29(B)に示すように、便宜上、レンズは、6個のレンズ素子で構成されているとする。なお、レンズ素子の数は6個に限定されるものではない。光源は、コヒーレント(可干渉性)な平行UV光を送出することができる。平行UV光は、光波の位相及びエネルギーがそろっている。複数のレンズ素子それぞれは、入射したUV光を像面上の全ての所要位置に照射することができる。また、複数のレンズ素子#1~#6の特定の入射点に入射したUV光は、それぞれ位相が $\Phi 1 \sim \Phi 6$ のUV光を同一の所要位置に集光する。なお、位相 $\Phi 1 \sim \Phi 6$ は、それぞれのUV光の光路長によって決定される。位相 $\Phi 1 \sim \Phi 6$ は、像面上の所要位置での位相である。例えば、位相 $\Phi 1 \sim \Phi 6$ が、(0, 0, 0, 0, 0, 0)の場合、UV光の位相が揃っている(位相差が0である)ので、UV光は所要位置で干渉して強め合う。また、位相 $\Phi 1 \sim \Phi 6$ が、(0, 60, 120, 180, 240, 300)の場合、UV光は所要位置で干渉して弱め合う。

**【0099】**

このように、第7実施形態のレンズは、超微細な回路パターン(ナノパターン)をウエハ上に転写する半導体リソグラフィ技術に用いることができる。

**【0100】**

レンズの設計方法は、第1実施形態の場合と同様であるが、レンズ設計装置100は、複数のセグメントそれぞれに光の位相が対応付けられ、像面上の所要位置毎に、光の複数の位相の設定値を受け付け、セグメント毎に、それぞれの入射点で入射した複数のコヒーレントな入射光線が、複数の位相(又は位相差、位相シフト量など)が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

**【0101】**

また、第7実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、コヒーレントな入射光線の入射点毎に入射光線の位相を所要値だけシフトして像面上の所要位置に集光することができる。

**【0102】****(第8実施形態)**

図30は第8実施形態のレンズの構成の一例を示す模式図である。図30(A)は、第8実施形態での特定パラメータの設定例を模式的に示す。なお、便宜上、像面(例えば、偏光を利用できる光学材料などのプレート)上の所要位置を、 $6 \times 6$ のマトリクスで図示しているが、実際の所要位置(光の集光点など)は多数存在している。図30(A)に示すように、第8実施形態では、特定パラメータは、偏光による偏光による電界ベクトル又は磁界ベクトルの方位角 $\chi$ である。所要位置の特定パラメータは、 $(\chi_{1, 1})$ のように表すことができる。他の所要位置の特定パラメータも同様である。なお、方位角 $\chi$ は、特定の値でもよく、特定の範囲でもよい。

**【0103】**

図30(B)に示すように、便宜上、レンズは、7個のレンズ素子で構成されているとする。なお、レンズ素子の数は7個に限定されるものではない。各レンズ素子の材質は、

ダイクロイッククリスタルであり、各レンズ素子は、特定の波長の光を透過することができる。光源は、平行白色光を送出することができる。白色光の場合、偏光した光がばらばらに重なり合うので全体としては偏光状態が観測されない。レンズ素子は、特定の波長の光を透過させるので、特定の波長の光は、レンズ素子及び空气中を進行する際に、進行方向に垂直な面内で電界ベクトル又は磁界ベクトルの振動（偏り）の先端が、例えば、円軌道を描く（円偏光）。レンズ素子を透過した光は、像面上の所要位置において、設定された方位角の偏光した光であるので、光学材料上で偏光マップが生成される。偏光マップの矢印は、方位角と関連付けられている。

#### 【0104】

第8実施形態のレンズは、光を使って物質の性質を調べる際に利用することができる。例えば、偏光による電場によって物質中の電子状態を変化させ、あるいは、偏光による磁場によって物質中の磁化状態を変化させ、これらの電子状態の変化や磁化状態の変化を観測し、観測結果に基づいて物質中の対象部の状態を推定する、等の分析を行うことができる。例えば、光学材料として、対象の細胞が含まれる試料に対して、レンズを使って光を照射することにより、細胞の配列を観測するような技術に応用できる。

#### 【0105】

レンズの設計方法は、第1実施形態の場合と同様であるが、レンズ設計装置100は、複数のセグメントは、特定の波長の光を透過し、像面上の所要位置毎に、偏光による電界ベクトル又は磁界ベクトルの方位角の設定値を受け付け、セグメント毎に、各入射点で入射した平行な入射光線が、方位角が設定された所要位置に到達するように光路を決定することができる。

#### 【0106】

また、第8実施形態のレンズにおいて、複数のレンズ素子それぞれは、特定の波長の光を透過し、入射点毎に入射光線の入射点から像面上の所要位置までの光路長を異ならせている。光路長が異なることにより、偏光による方位角を変化させることができる。入射点から像面上の所要位置までの光路長を調整するためには、レンズ素子の入射点から出射点までの光路長（レンズ素子の厚み）を調整することができる。

#### 【0107】

上述のように、各実施形態によれば、光学特性を複合的に調整することができる。

#### 【0108】

上述の第1実施形態から第8実施形態のレンズにおいて、レンズの入射面の形状は、平面でもよく、球面でもよく、非球面でもよい。

#### 【0109】

上述の実施形態においては、異なる光の位相及び偏光を得るために、位相や偏光に対応させて異なる材料を用いる構成であるが、これに限定されるものではない。例えば、レンズの入射面又は出射面に、階層的サブ波長レベルのナノ構造アレイを配置して、光の位相又は偏光による方位角を変えるようにしてもよい。これにより、位相や偏光に対応させてレンズの材料を異ならせる必要がない。

#### 【0110】

図31はレンズ設計装置の構成の他の例を示す説明図である。図31において、符号110は、通常のコンピュータである。コンピュータ110は、制御部111、入力部116、出力部117、及び外部I/F（インタフェース）部118を備える。制御部111は、CPU112、ROM113、RAM114、及びI/F（インタフェース）115を備える。

#### 【0111】

入力部116は、レンズ設計のための入力データを取得する。出力部117は、設計後のレンズを製造するために必要なデータを出力する。I/F115は、制御部111と、入力部116、出力部117及び外部I/F部118それぞれとの間のインタフェース機能を有する。

#### 【0112】

外部 I / F 部 1 1 8 は、コンピュータプログラムを記録した記録媒体 M (例えば、DVD などのメディア) からコンピュータプログラムを読み取ることが可能である。コンピュータプログラムは、例えば、図 1 8 及び図 1 9 に示す処理手順を含む。外部 I / F 部 1 1 8 は、半導体メモリ又はハードディスク等で構成される記憶部を備え、コンピュータプログラムを保持することができる。

【0 1 1 3】

なお、図示していないが、記録媒体 M に記録されたコンピュータプログラムは、持ち運びが自由なメディアに記録されたものに限定されるものではなく、インターネット又は他の通信回線を通じて伝送されるコンピュータプログラムも含めることができる。また、コンピュータには、複数のプロセッサを搭載した 1 台のコンピュータ、あるいは、通信ネットワークを介して接続された複数台のコンピュータで構成されるコンピュータシステムも含まれる。

【0 1 1 4】

本実施の形態において、レンズと、レンズ素子群毎に異なる特定の波長の光を透過させる光学フィルタとを組み合わせるレンズユニットを構成してもよい。また、レンズと、撮像素子とを組み合わせる撮像装置を構成してもよい。

【符号の説明】

【0 1 1 5】

- 1 1 制御部
- 1 2 入力部
- 1 3 記憶部
- 1 4 入射点特定部
- 1 5 法線ベクトル特定部
- 1 6 接平面特定部
- 1 7 出力部
- 1 8 表示パネル
- 1 9 操作部
- 2 0 自由曲面決定部
- 1 0 0 レンズ設計装置
- 1 1 0 コンピュータ
- 1 1 1 制御部
- 1 1 2 CPU
- 1 1 3 ROM
- 1 1 4 RAM
- 1 1 5 I / F
- 1 1 6 入力部
- 1 1 7 出力部
- 1 1 8 外部 I / F 部

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

プロセッサが、  
複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光線の設定を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の所要位置に到達する際の光路に基づいて、前記入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定し、  
特定されたベクトルに基づいて各レンズ素子の入射面形状を決定する、  
レンズ設計方法。

【請求項 2】

プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、レンズの機能を特定する特定パラメータの設定値を受け付ける

、  
請求項 1 に記載のレンズ設計方法。

【請求項 3】

前記特定パラメータは、  
入射光線の入射角度、波長、焦点距離、光の位相、光の強度、及び偏光による電界ベクトル若しくは磁界ベクトルの方位角の少なくとも 1 つを含む、  
請求項 2 に記載のレンズ設計方法。

【請求項 4】

プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、入射光線の入射角度の設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、前記入射光線の入射角度が設定された所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

【請求項 5】

プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、入射光線の波長の設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、前記入射光線の波長が設定された所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

【請求項 6】

前記複数のセグメントは、  
特定の波長が対応付けられたセグメントを複数有するセグメント群に区分されている、  
請求項 4 又は請求項 5 に記載のレンズ設計方法。

【請求項 7】

前記複数のセグメントそれぞれは、特定の焦点距離が対応付けられ、  
プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、焦点距離の設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、前記セグメントに対応する焦点距離が設定された所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

【請求項 8】

プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、光の強度及び光の波長の少なくとも 1 つの設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が、光の強度及び光の波長の少なくとも 1 つが設定された所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

【請求項 9】

前記複数のセグメントそれぞれに光の位相が対応付けられ、

プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、光の複数の位相の設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、それぞれの入射点で入射した複数のコヒーレントな入射光線が、  
前記複数の位相が設定された所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

**【請求項 1 0】**

前記複数のセグメントは、特定の波長の光を透過し、  
プロセッサが、  
像面上の所要位置毎に、偏光による電界ベクトル又は磁界ベクトルの方位角の設定値を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した平行な入射光線が、前記方位角が設定された  
所要位置に到達するように光路を決定する、  
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載のレンズ設計方法。

**【請求項 1 1】**

複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光  
線の設定を受け付ける受付部と、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の所要位置に到達する際の  
光路に基づいて、前記入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定する特定  
部と、  
特定されたベクトルに基づいて各レンズ素子の入射面形状を決定する決定部と  
を備える、  
レンズ設計装置。

**【請求項 1 2】**

コンピュータに、  
複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光  
線の設定を受け付け、  
前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の所要位置に到達する際の  
光路に基づいて、前記入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定し、  
特定されたベクトルに基づいて各レンズ素子の入射面形状を決定する、  
処理を実行させるためのコンピュータプログラム。

**【請求項 1 3】**

お互いに隣接して配置された複数のレンズ素子を備え、  
各レンズ素子の入射面は、  
入射光線が像面上の所要位置に到達するように前記入射光線が屈折した屈折光線のベク  
トルに基づいて決定されている、  
レンズ。

**【請求項 1 4】**

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
同じ入射角度の入射光線束を像面上の所要位置に集光し、  
入射光線束の入射角度に応じて、前記入射光線束を前記像面上の異なる所要位置に集光  
する、  
請求項 1 3 に記載のレンズ。

**【請求項 1 5】**

前記複数のレンズ素子は、入射光線の異なる波長に対応付けられた複数のレンズ素子群  
に区分されている、  
請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載のレンズ。

**【請求項 1 6】**

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
同じ入射角度であって、前記レンズ素子群毎に異なる波長の入射光線束それぞれを像面  
上の波長毎に区分されたそれぞれの所要位置に集光する、

請求項 1 5 に記載のレンズ。

【請求項 1 7】

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
入射光線束それぞれを光軸上の異なる像面上の所要位置に集光する、  
請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載のレンズ。

【請求項 1 8】

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
波長が異なる入射光線束それぞれを像面上の前記波長に対応する異なる所要領域に集光する、  
請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載のレンズ。

【請求項 1 9】

前記複数のレンズ素子に入射する入射光線束の分布を動的に制御可能な光学部材を備える、  
請求項 1 8 に記載のレンズ。

【請求項 2 0】

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
像面上の所要位置に応じて異なる強度の出射光線を前記所要位置に集光する、  
請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載のレンズ。

【請求項 2 1】

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
波長及び強度が異なる出射光線を像面上の前記波長及び強度に対応する異なる所要領域に集光する、  
請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載のレンズ。

【請求項 2 2】

前記複数のレンズ素子それぞれは、  
コヒーレントな入射光線の入射点毎に前記入射光線の位相を所要値だけシフトして像面上の所要位置に集光する、  
請求項 1 3 に記載のレンズ。

【請求項 2 3】

前記複数のレンズ素子それぞれは、特定の波長の光を透過し、  
入射点毎に前記入射光線の入射点から所要位置までの光路長を異ならせている、  
請求項 1 3 に記載のレンズ。

【書類名】 要約書

【要約】

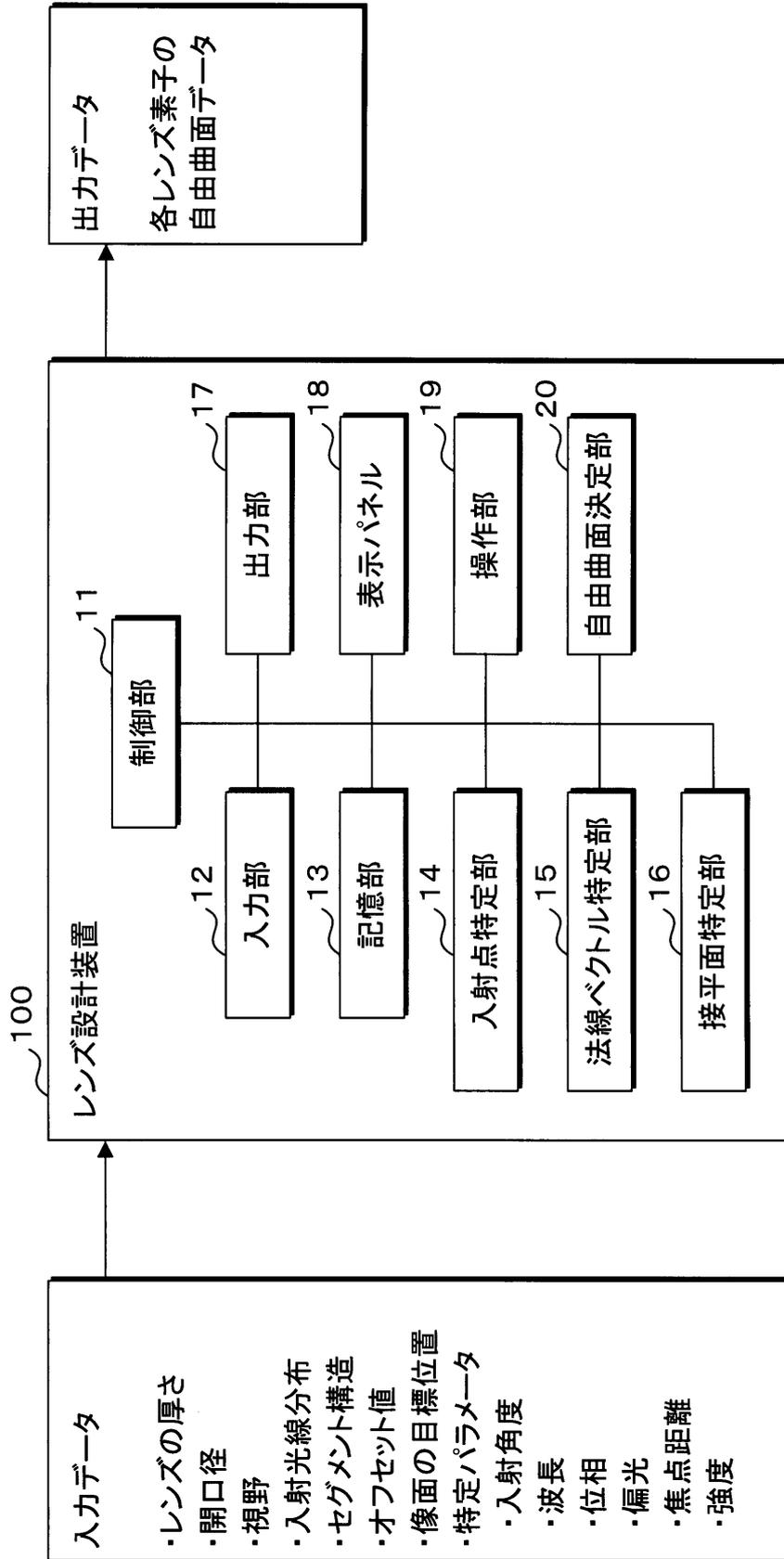
【課題】 所要の全視野において、色収差を改善することができるレンズ設計方法、レンズ設計装置、コンピュータプログラム及びレンズを提供する。

【解決手段】 レンズ設計方法は、プロセッサが、複数のレンズ素子に倣って隣接配置される複数のセグメントそれぞれに入射する入射光線の設定を受け付け、前記セグメント毎に、各入射点で入射した入射光線が像面上の所要位置に到達する際の光路に基づいて、前記入射光線が屈折した屈折光線のベクトルを入射点毎に特定し、特定されたベクトルに基づいて各レンズ素子の入射面形状を決定する。

【選択図】 図 1

【書類名】 図面

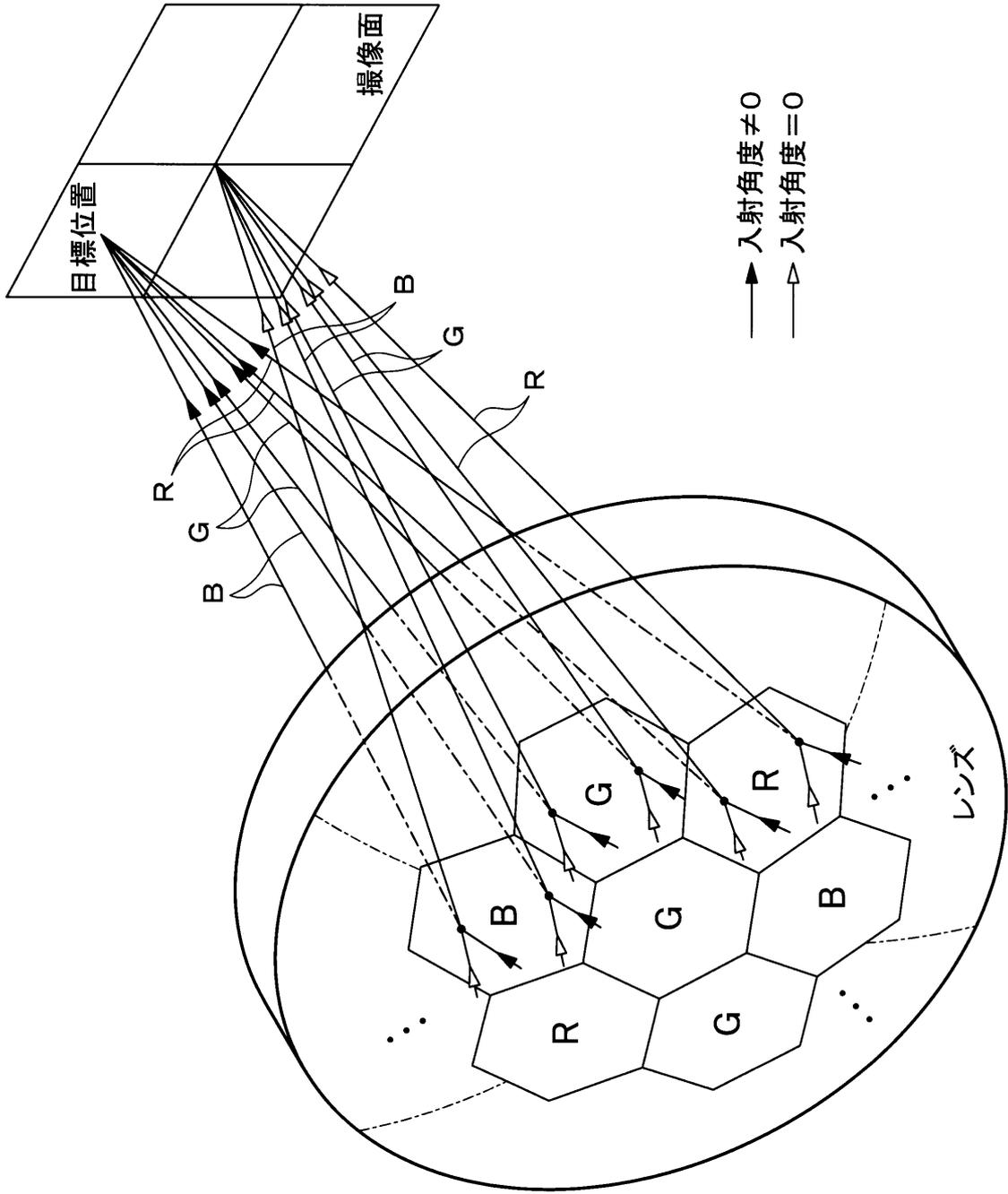
【図 1】



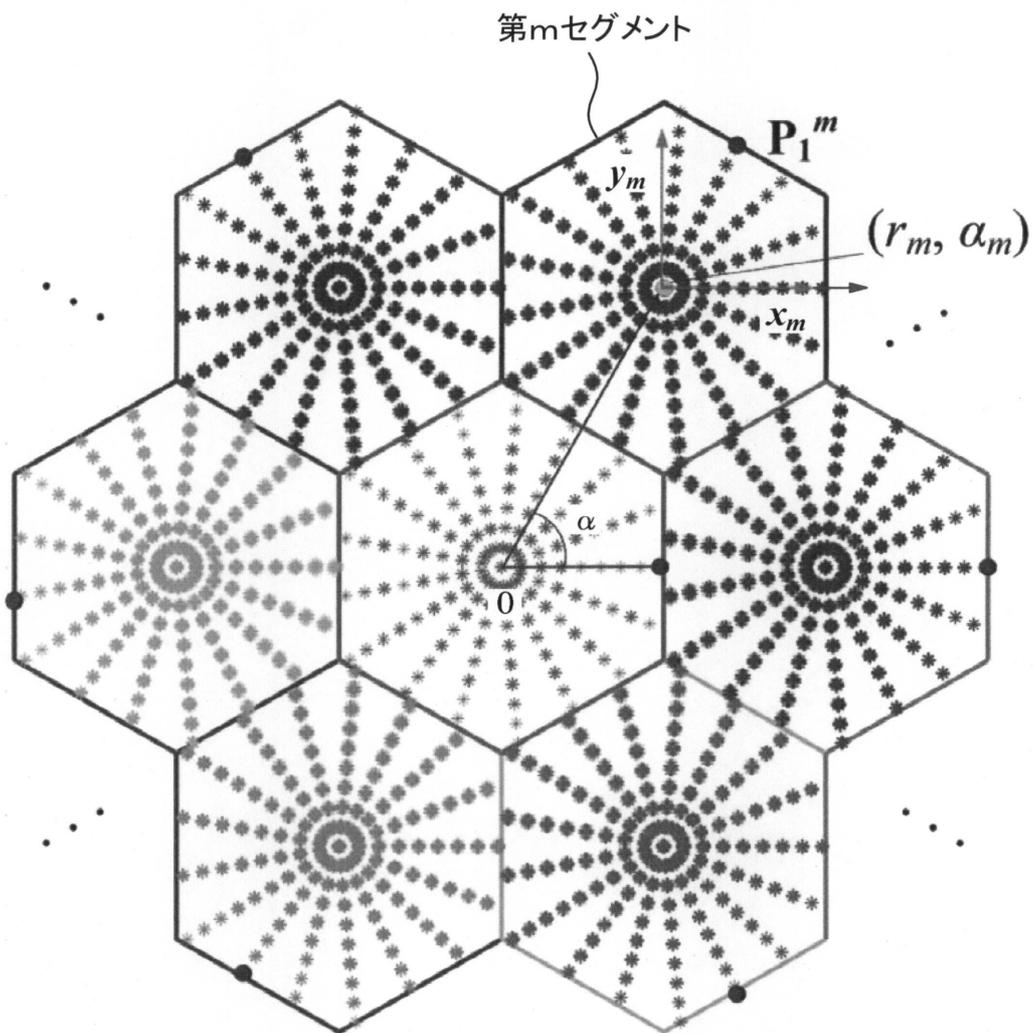
【図 2】

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{1,6})$ |
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{2,6})$ |
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{3,6})$ |
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{4,6})$ |
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{5,6})$ |
| $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,1})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,2})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,3})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,4})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,5})$ | $(\lambda_R + \lambda_G + \lambda_B)(\theta_{6,6})$ |

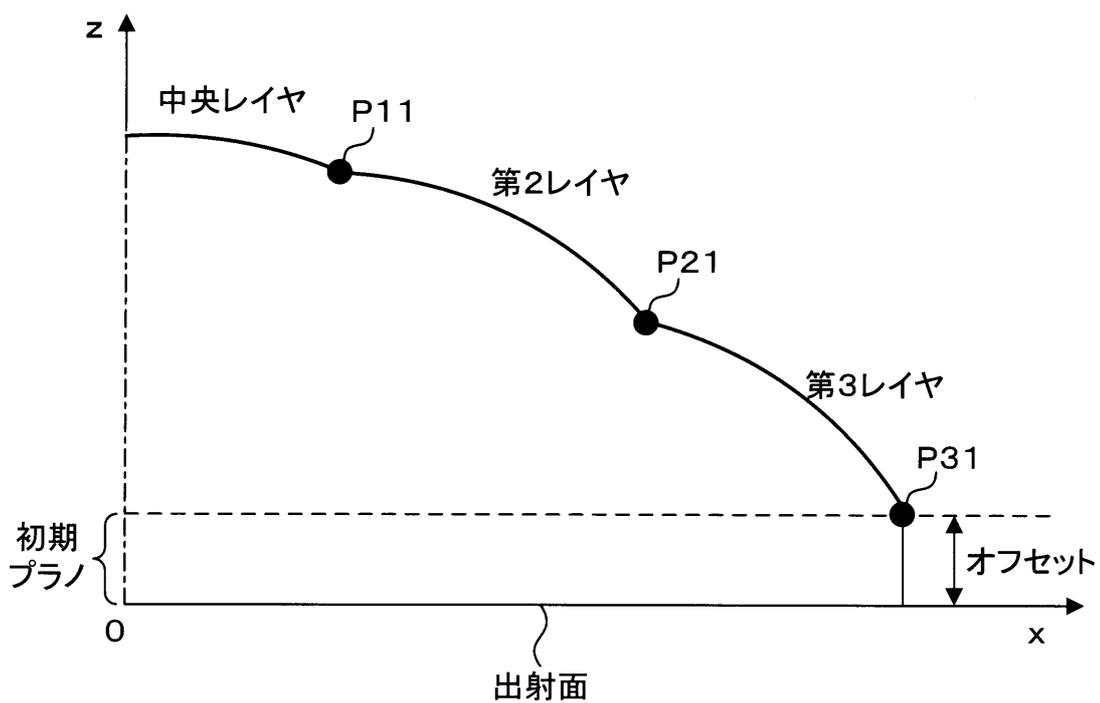
【図3】



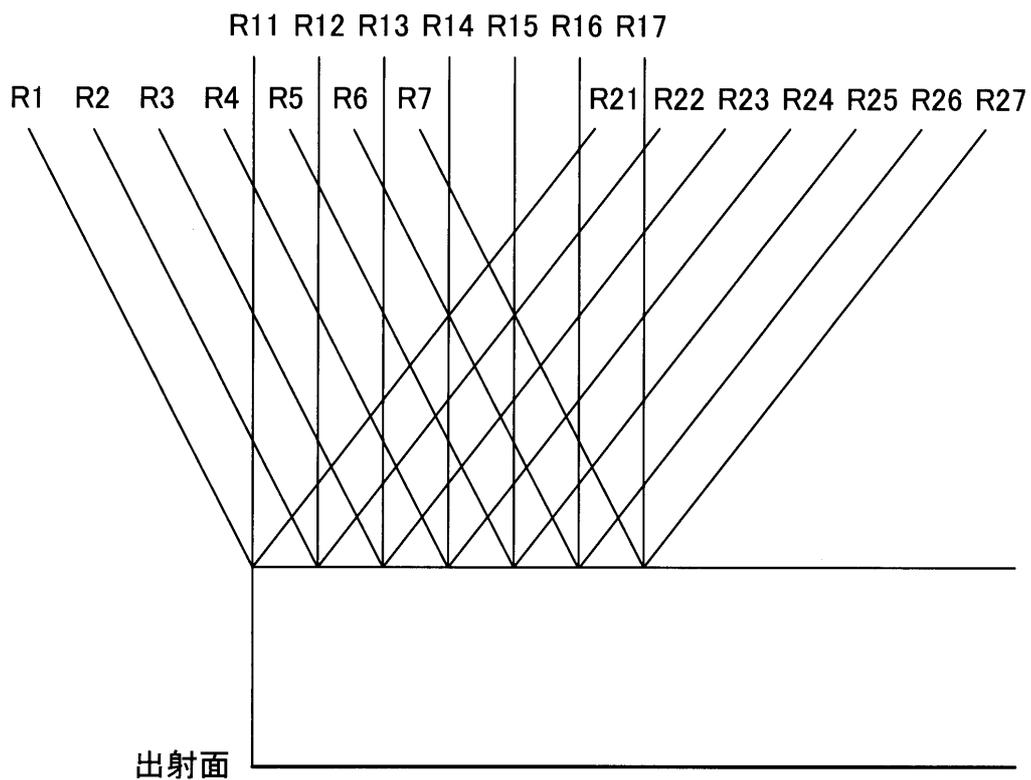
【図4】



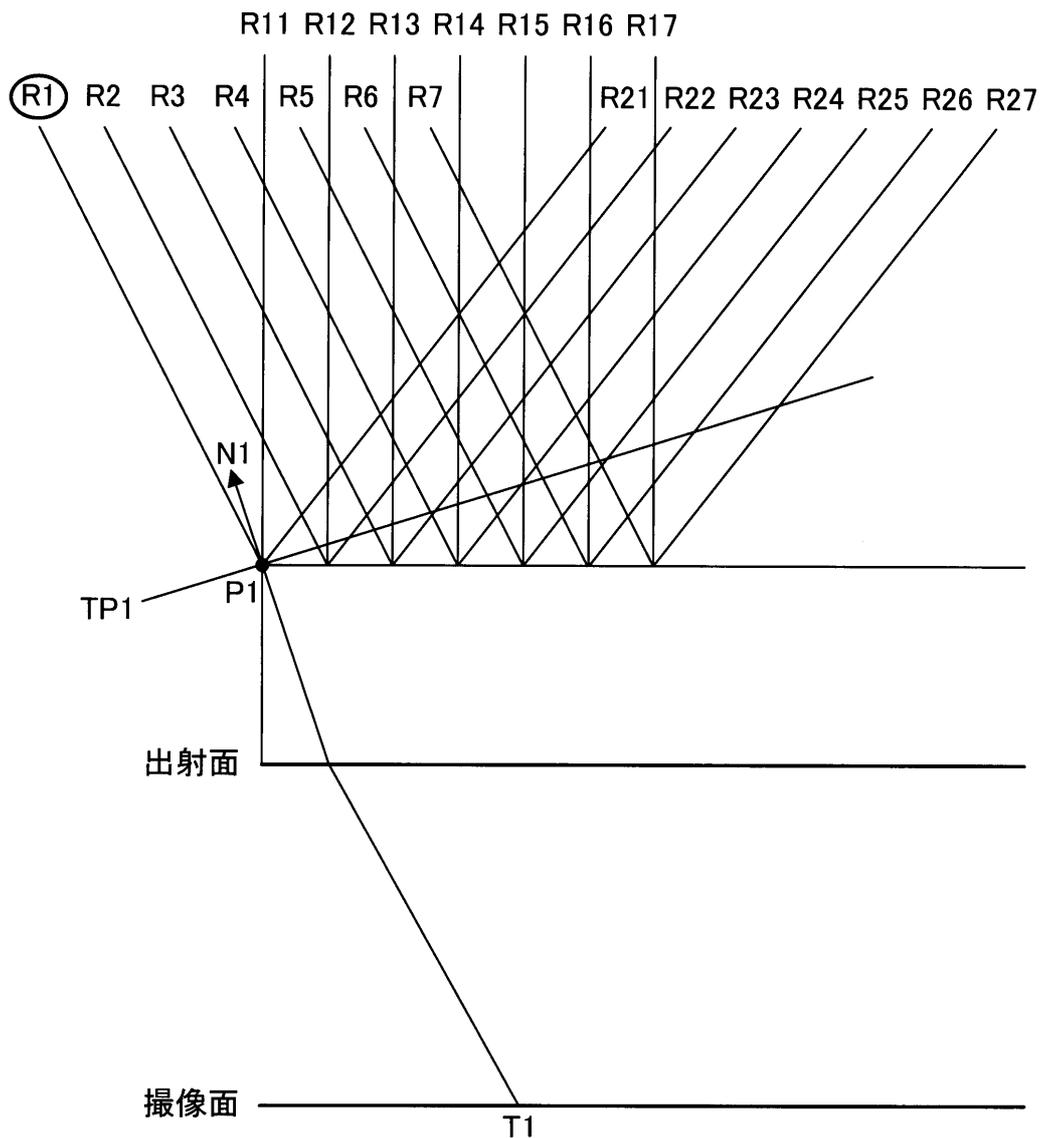
【図5】



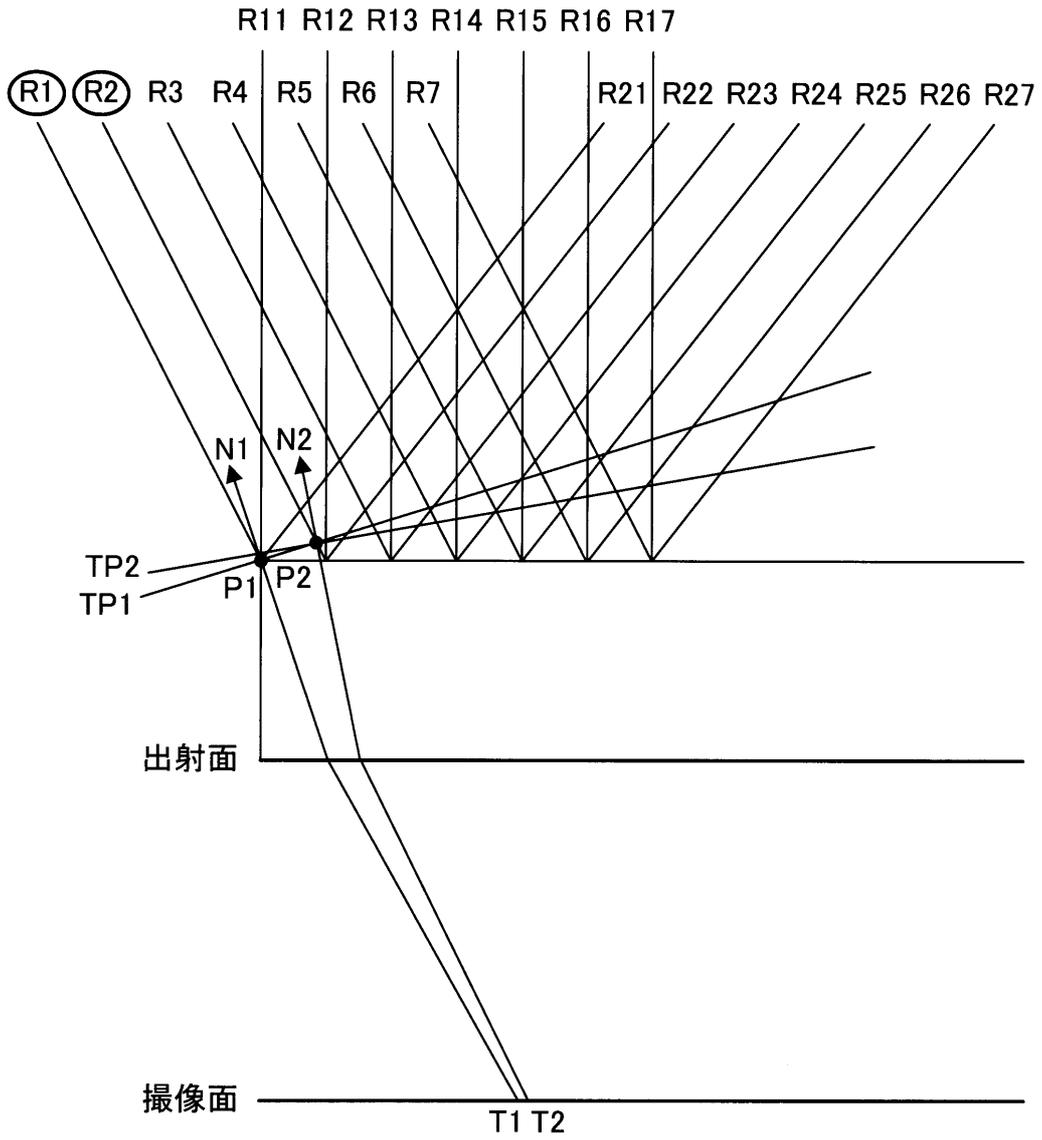
【図6】



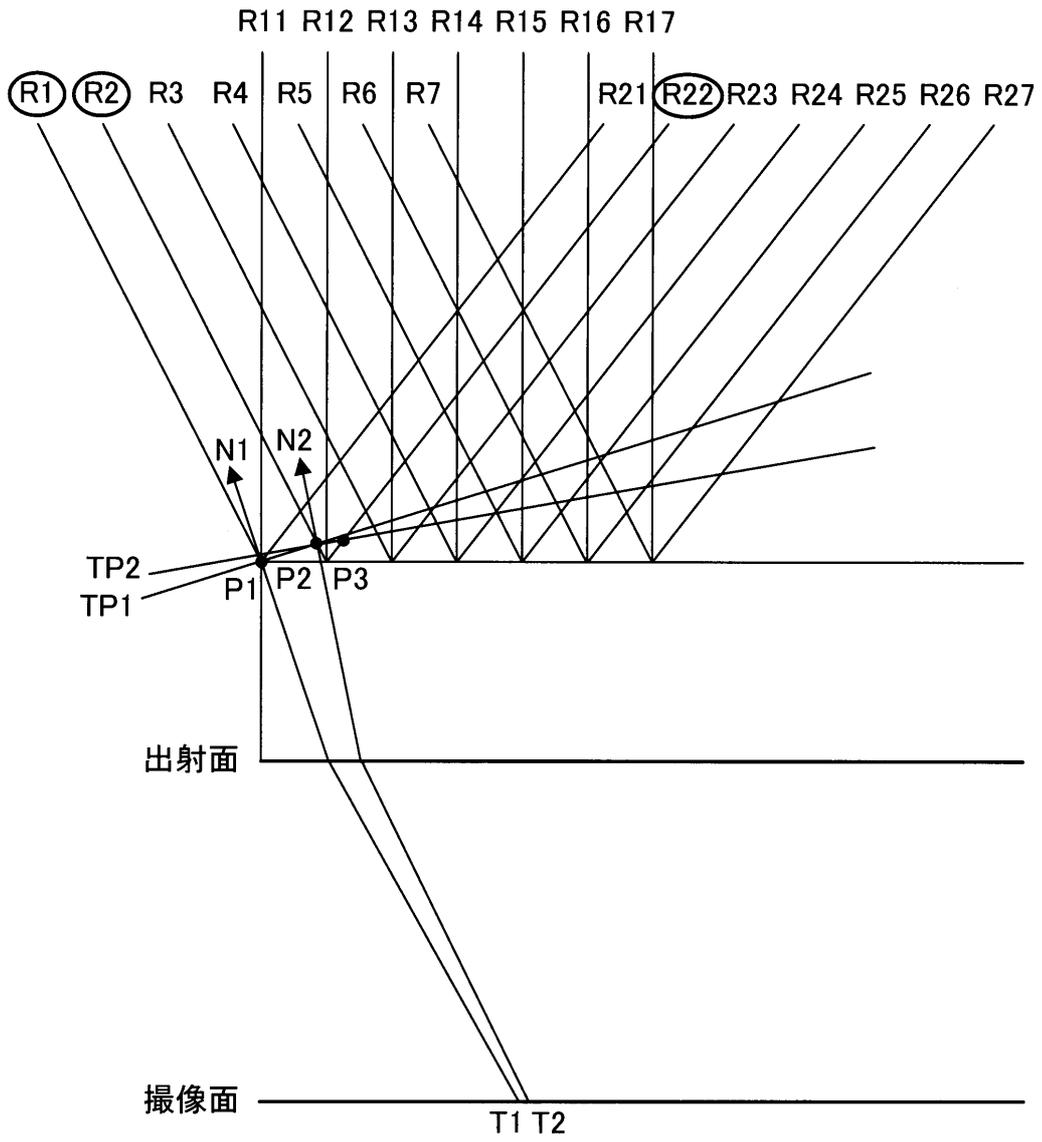
【図7】



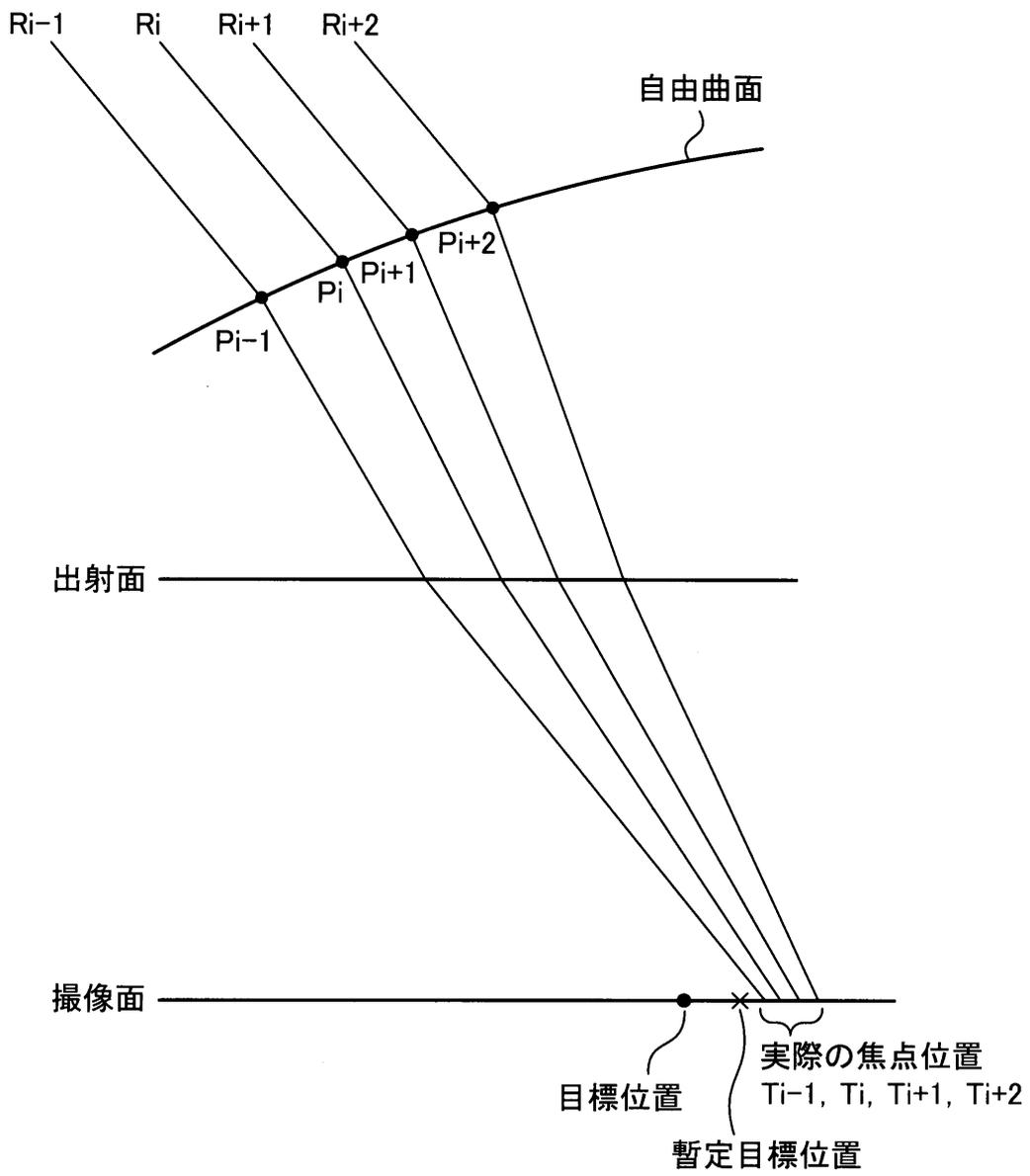
【図8】



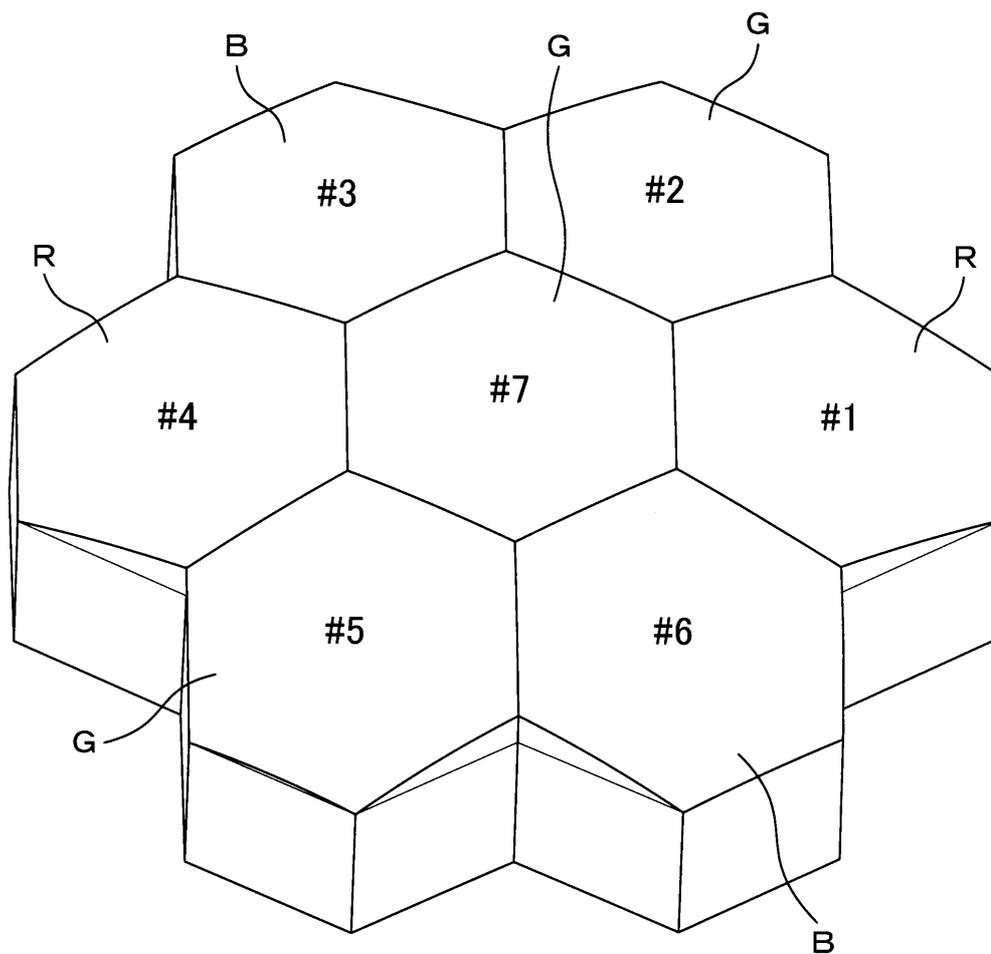
【図9】



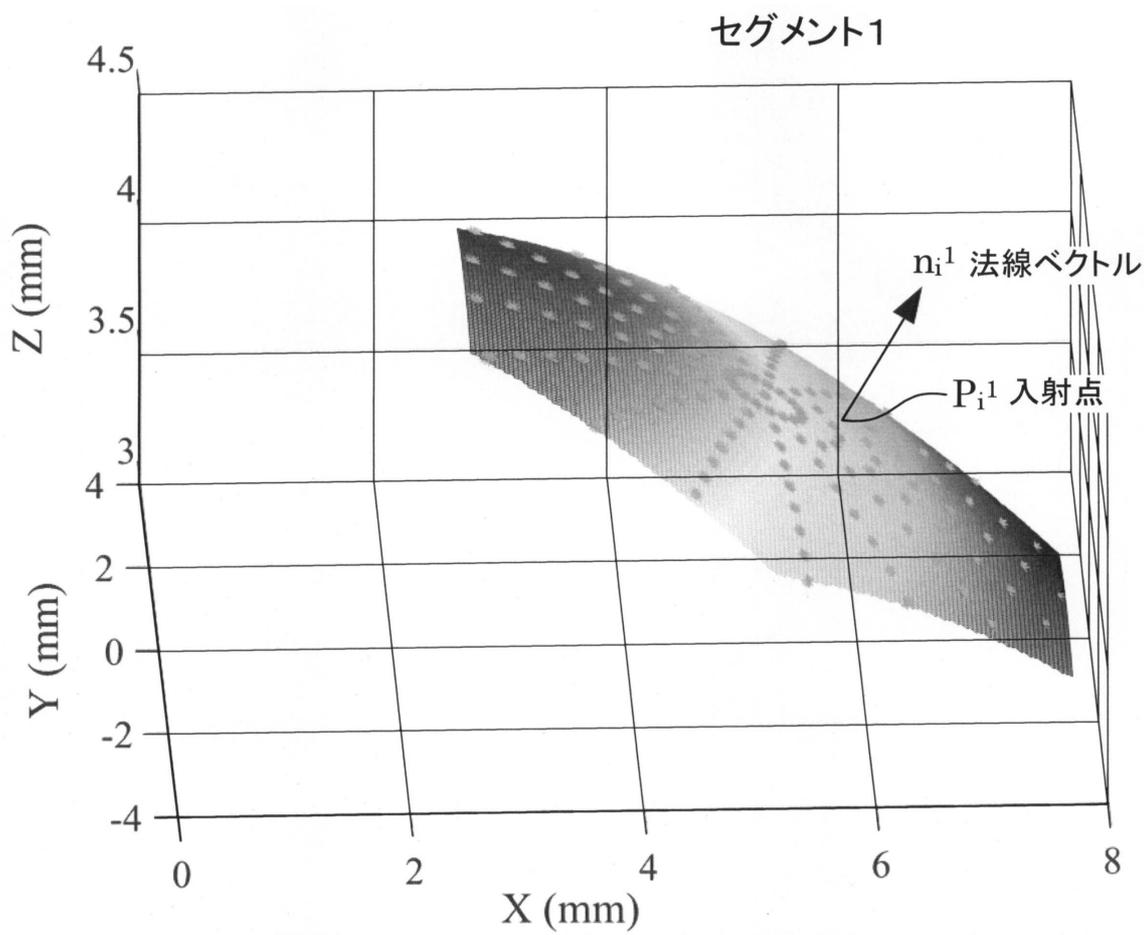
【図10】



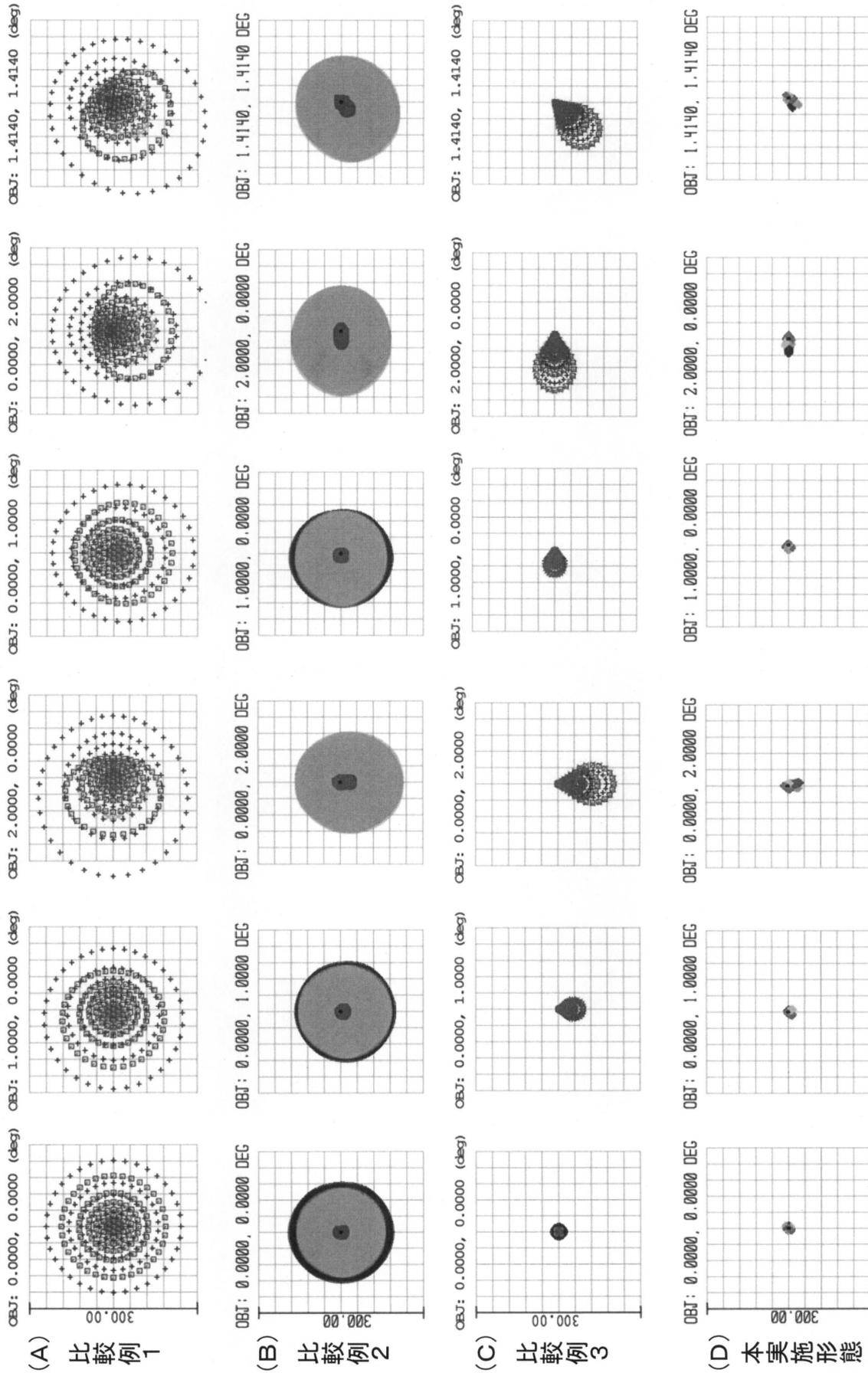
【図 1 1】



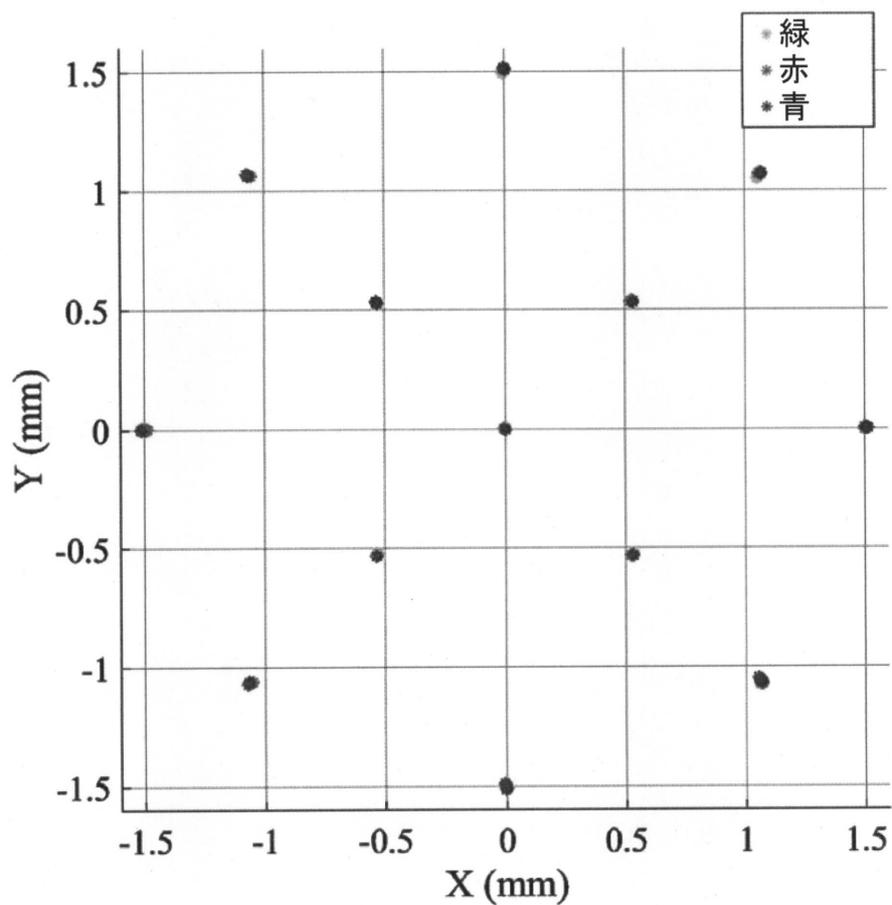
【図 1 2】



【図 13】



【図 1 4】



【図15】

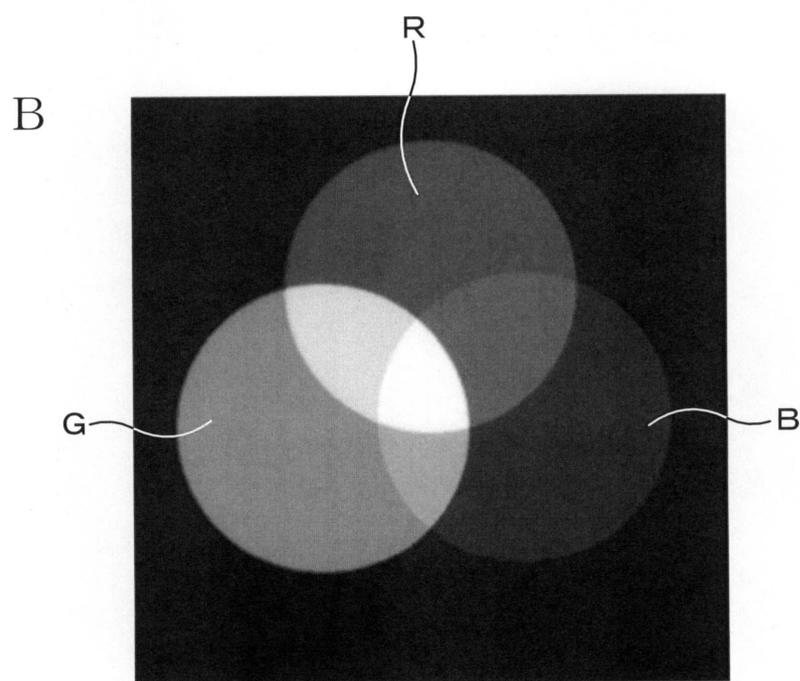
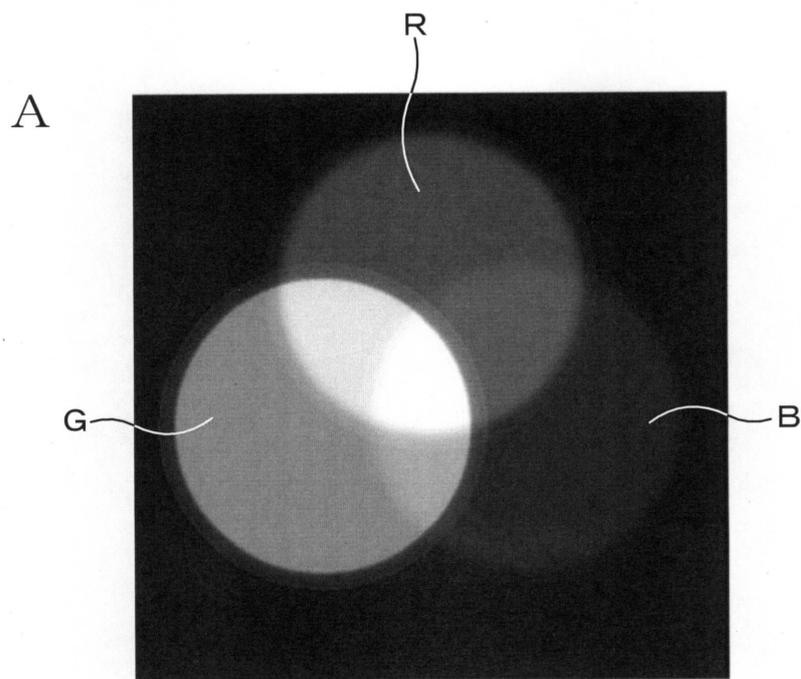
A



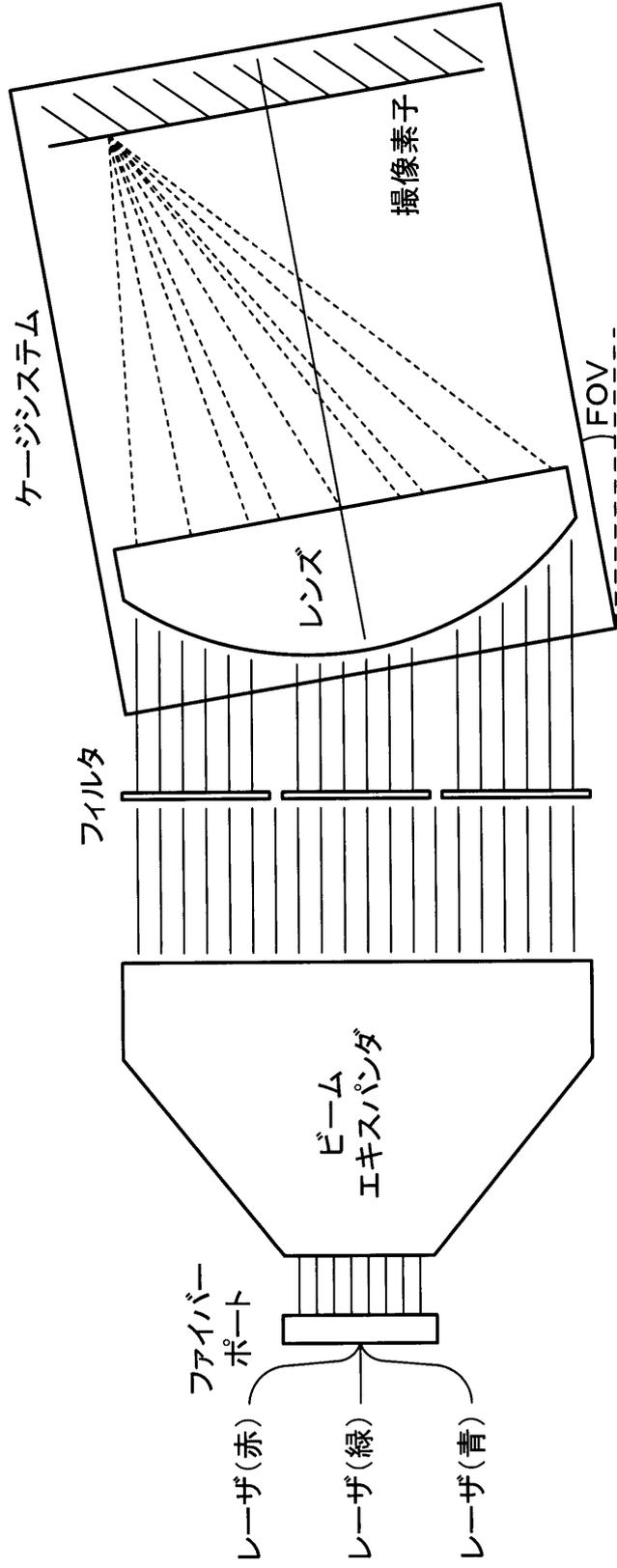
B



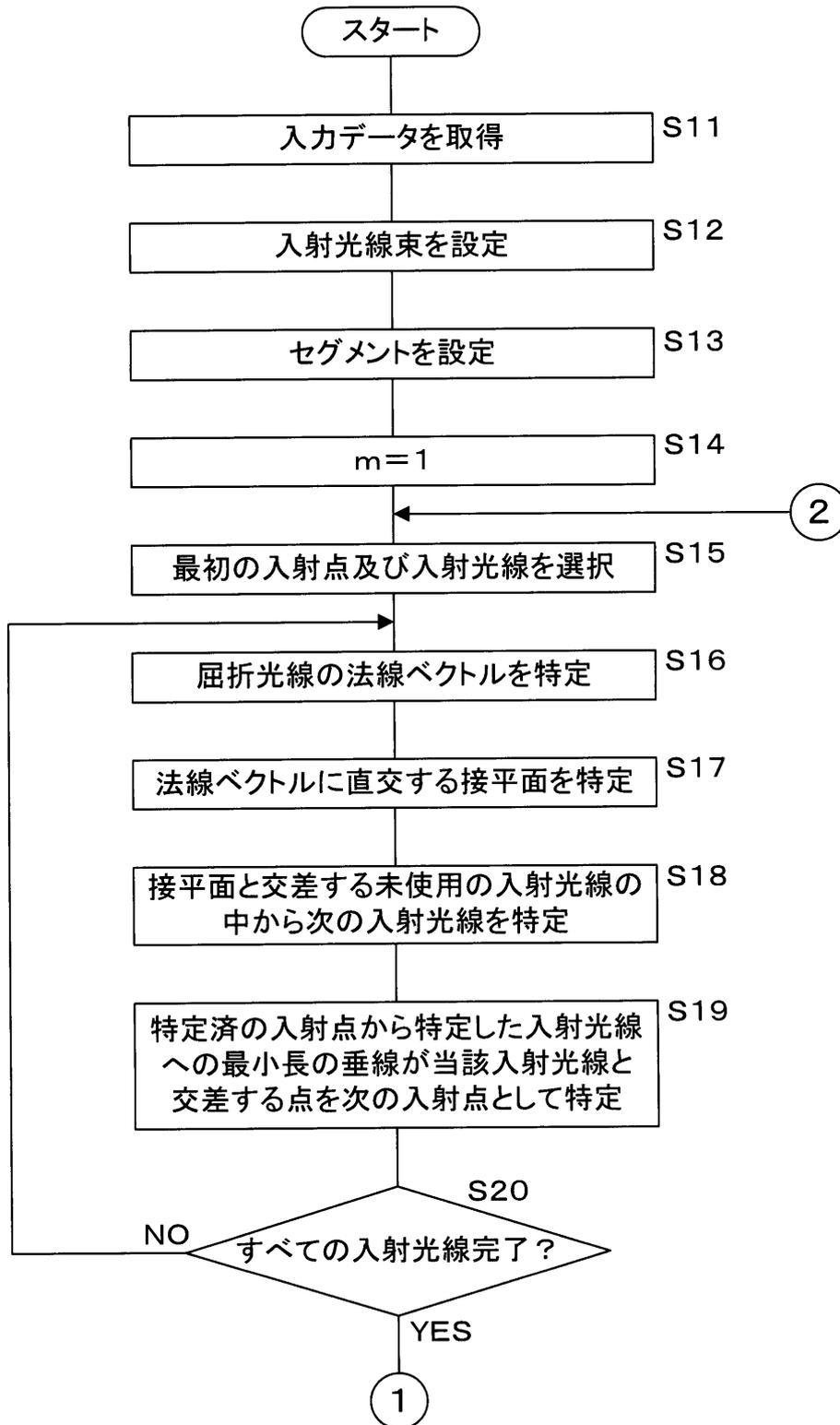
【図16】



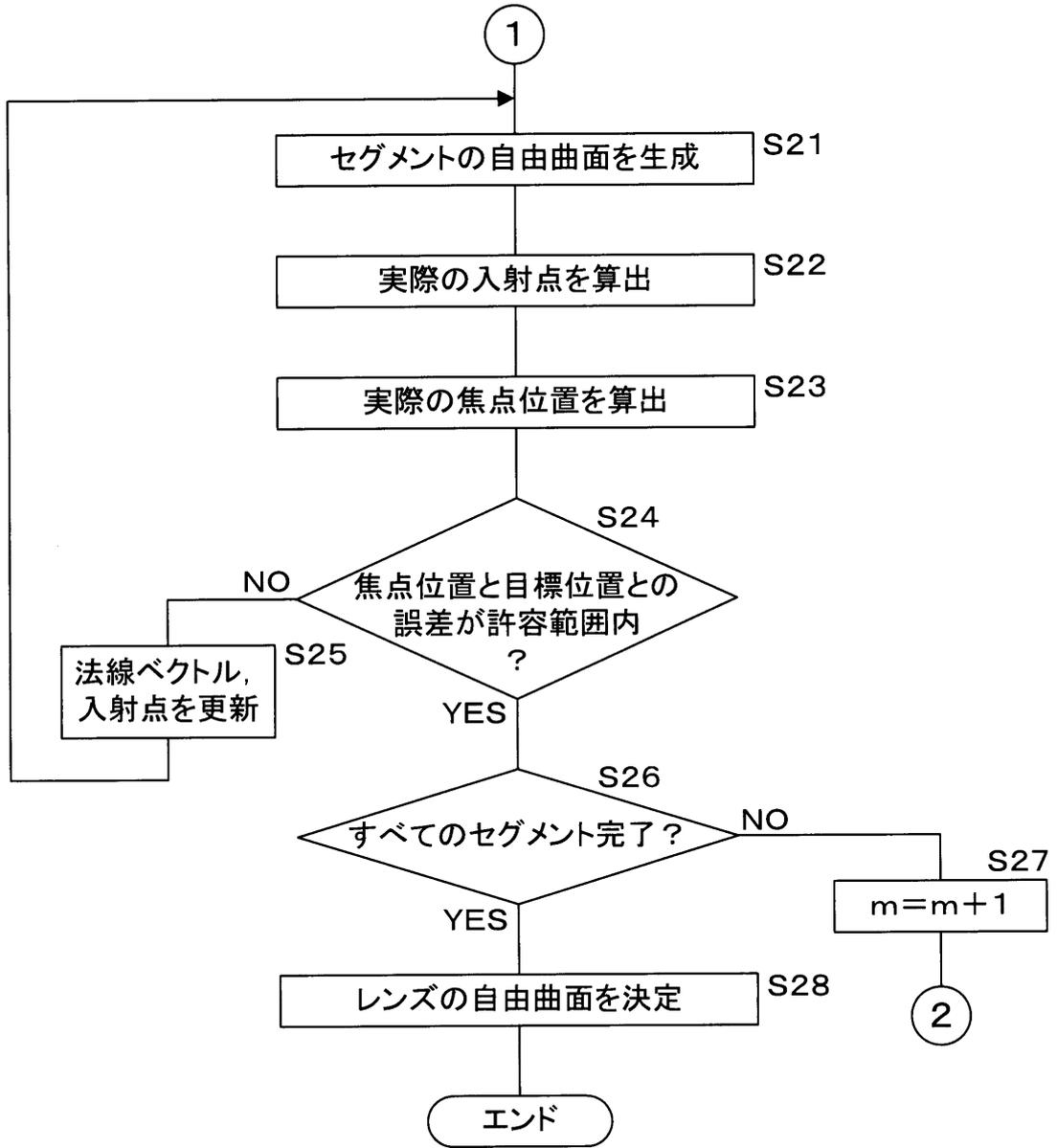
【図17】



【図18】



【図19】

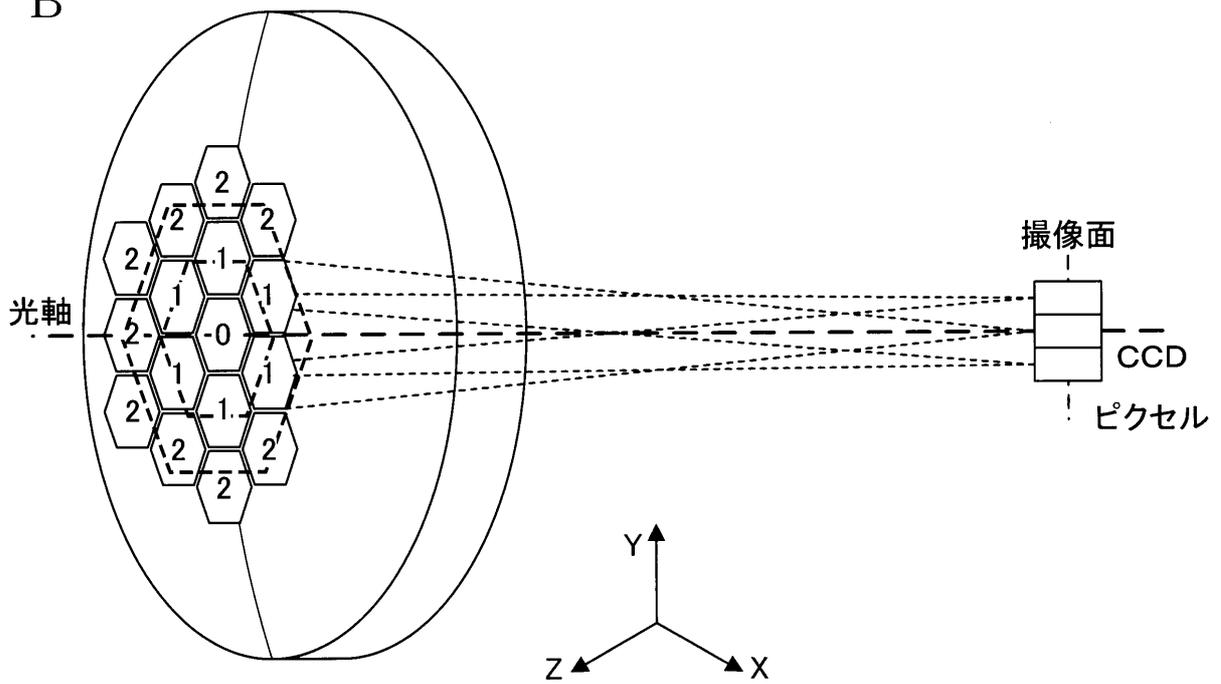


【図 20】

A

|                             |                             |                             |                             |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| $(\lambda_R)(\theta_{1,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{1,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{1,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{1,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{1,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{1,2})$ |
| $(\lambda_R)(\theta_{2,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{2,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{2,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{2,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{2,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{2,2})$ |
| $(\lambda_R)(\theta_{3,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{3,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{3,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{3,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{3,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{3,2})$ |
| $(\lambda_R)(\theta_{4,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{4,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{4,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{4,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{4,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{4,2})$ |
| $(\lambda_R)(\theta_{5,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{5,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{5,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{5,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{5,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{5,2})$ |
| $(\lambda_R)(\theta_{6,1})$ | $(\lambda_G)(\theta_{6,1})$ | $(\lambda_B)(\theta_{6,1})$ | $(\lambda_R)(\theta_{6,2})$ | $(\lambda_G)(\theta_{6,2})$ | $(\lambda_B)(\theta_{6,2})$ |

B

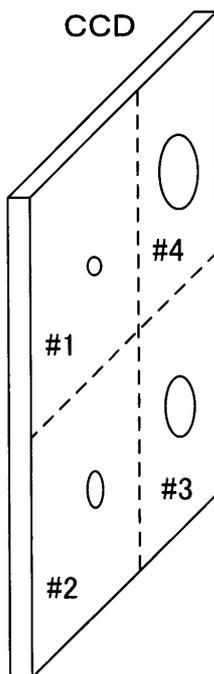


【図 2 1】

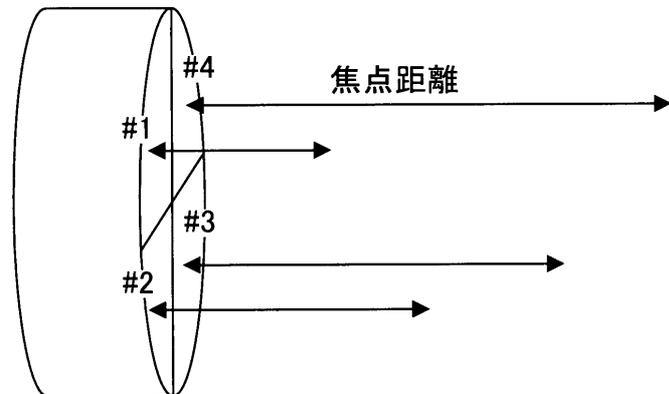
A

|                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $(FL1)(\theta_{1,1})$ | $(FL1)(\theta_{1,2})$ | $(FL1)(\theta_{1,3})$ | $(FL4)(\theta_{1,1})$ | $(FL4)(\theta_{1,2})$ | $(FL4)(\theta_{1,3})$ |
| $(FL1)(\theta_{2,1})$ | $(FL1)(\theta_{2,2})$ | $(FL1)(\theta_{2,3})$ | $(FL4)(\theta_{2,1})$ | $(FL4)(\theta_{2,2})$ | $(FL4)(\theta_{2,3})$ |
| $(FL1)(\theta_{3,1})$ | $(FL1)(\theta_{3,2})$ | $(FL1)(\theta_{3,3})$ | $(FL4)(\theta_{3,1})$ | $(FL4)(\theta_{3,2})$ | $(FL4)(\theta_{3,3})$ |
| $(FL2)(\theta_{1,1})$ | $(FL2)(\theta_{1,2})$ | $(FL2)(\theta_{1,3})$ | $(FL3)(\theta_{1,1})$ | $(FL3)(\theta_{1,2})$ | $(FL3)(\theta_{1,3})$ |
| $(FL2)(\theta_{2,1})$ | $(FL2)(\theta_{2,2})$ | $(FL2)(\theta_{2,3})$ | $(FL3)(\theta_{2,1})$ | $(FL3)(\theta_{2,2})$ | $(FL3)(\theta_{2,3})$ |
| $(FL2)(\theta_{3,1})$ | $(FL2)(\theta_{3,2})$ | $(FL2)(\theta_{3,3})$ | $(FL3)(\theta_{3,1})$ | $(FL3)(\theta_{3,2})$ | $(FL3)(\theta_{3,3})$ |

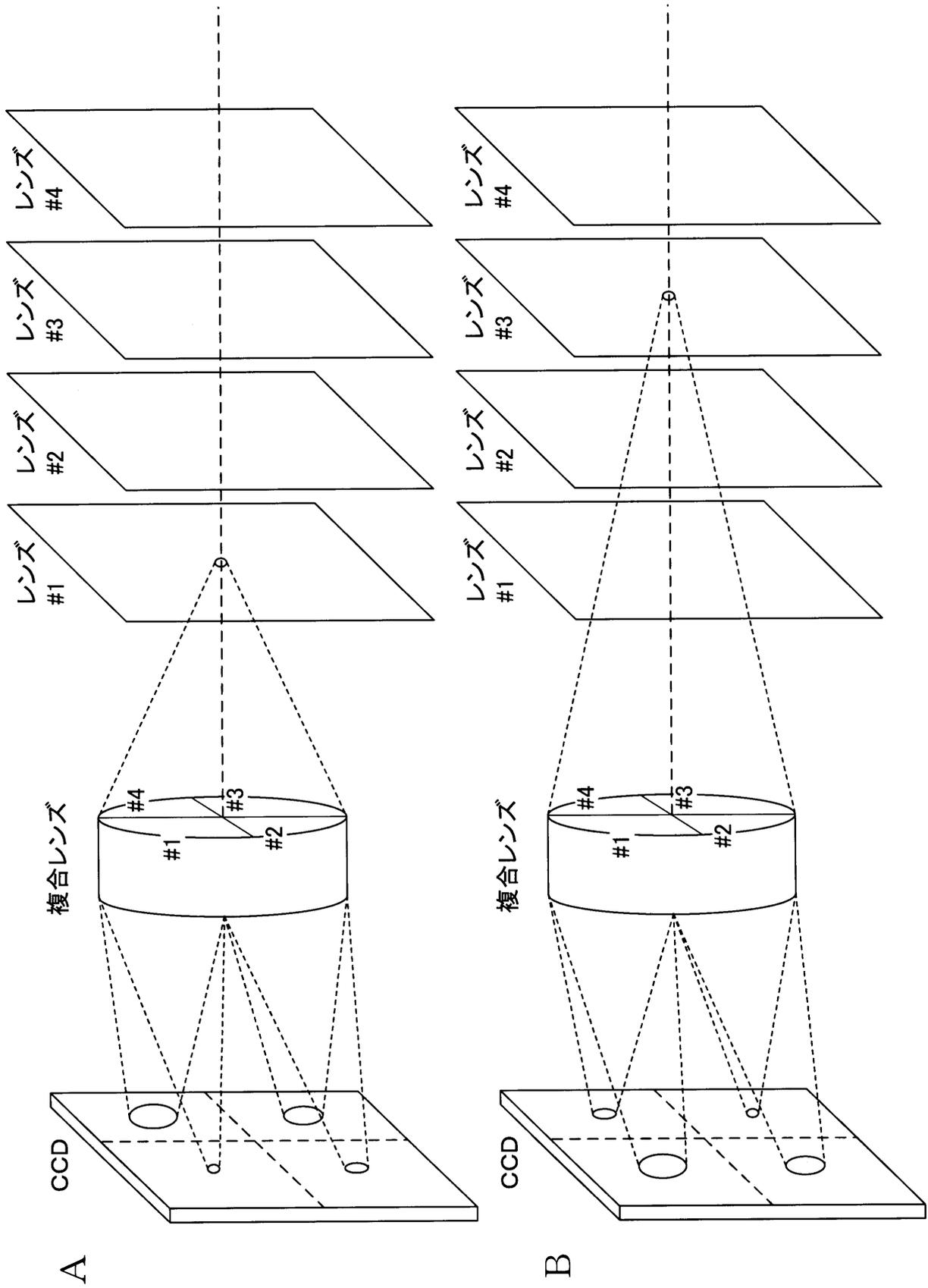
B



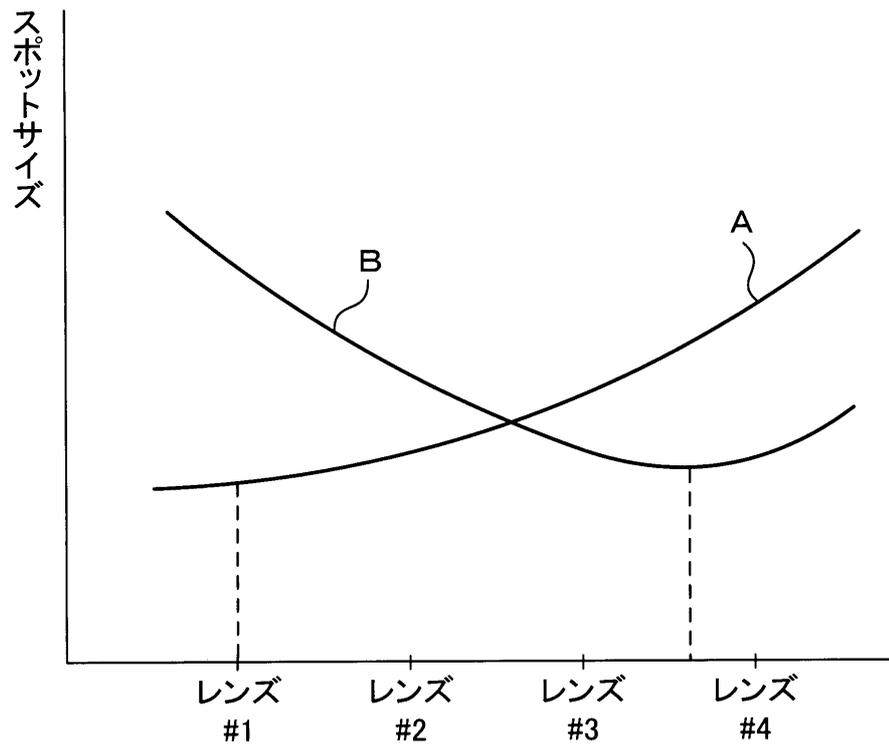
複合レンズ



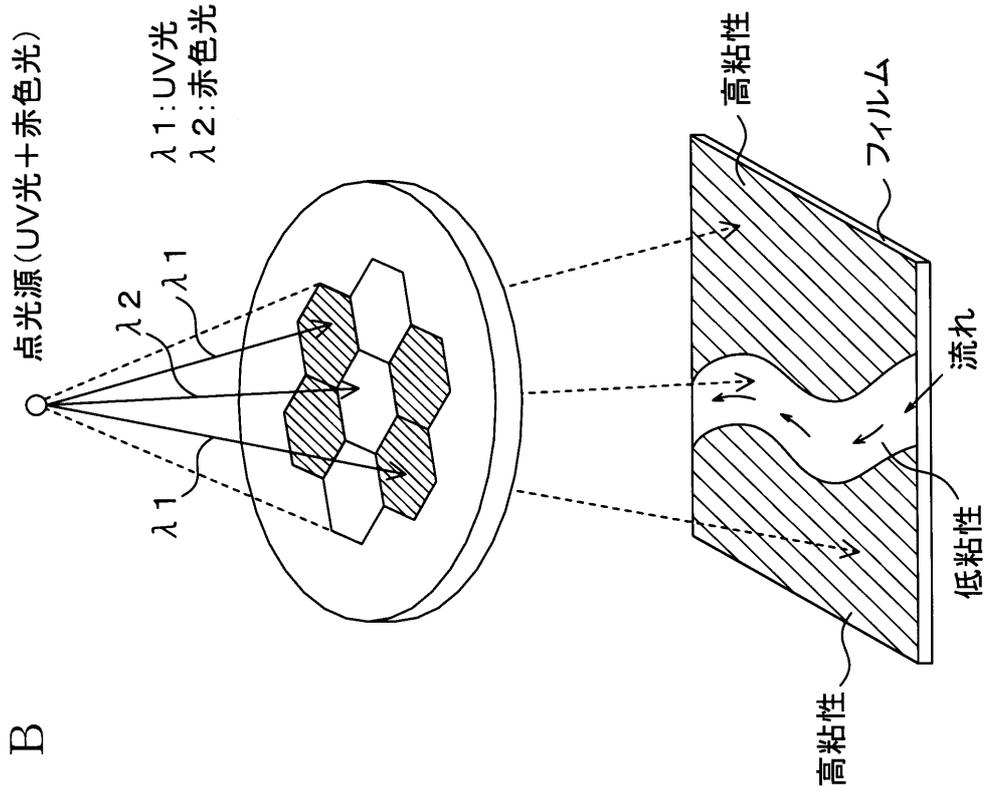
【図 2 2】



【図 2 3】



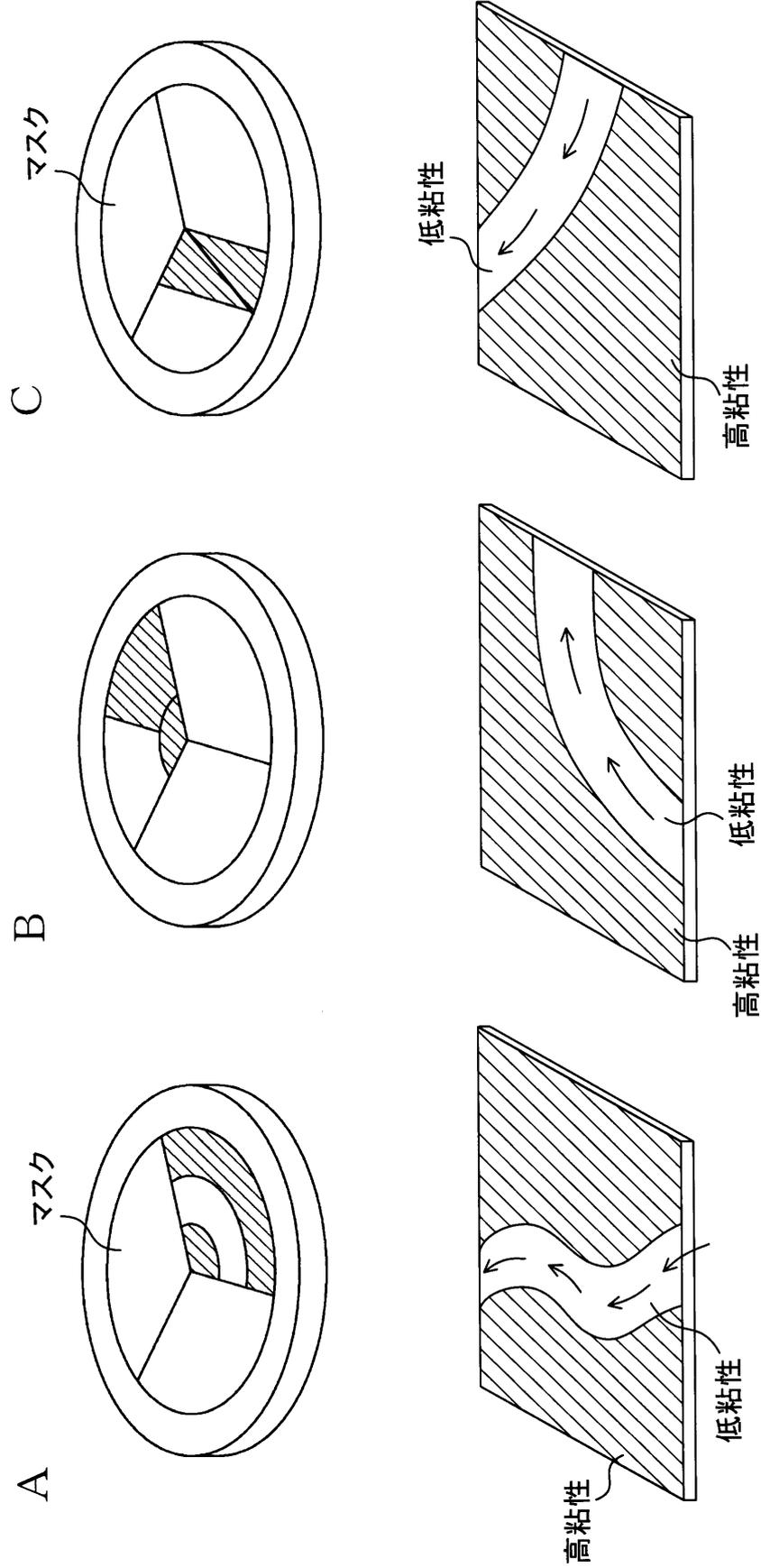
【図 2 4】



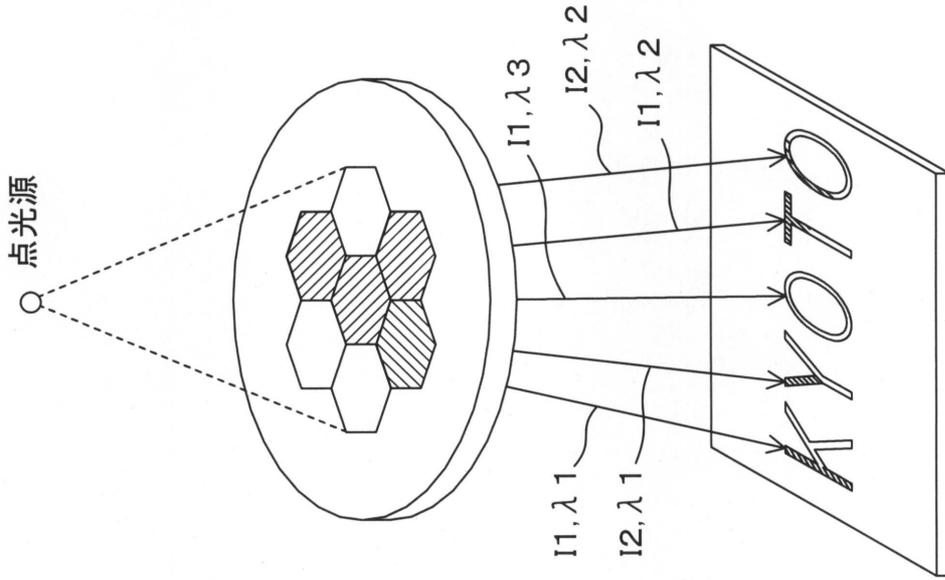
A

|                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_R)$    | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_R)$    | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_R)$    | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |
| $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ | $(\lambda_{UV})$ |

【図 25】



【図 26】



B

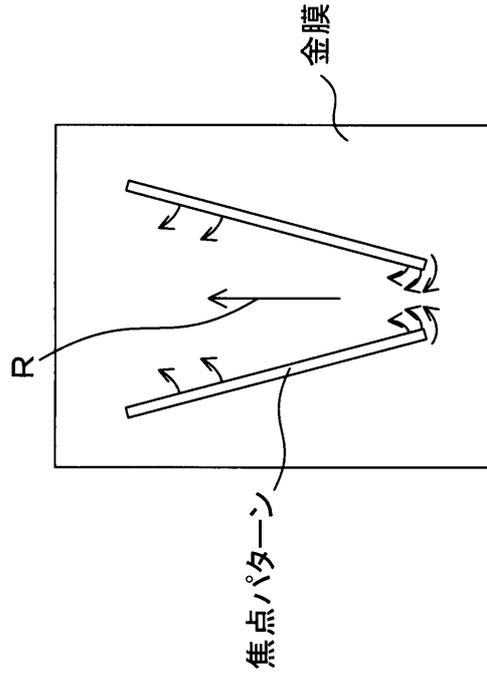
|                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |
| $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_1)/(\lambda_1)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_2)/(\lambda_2)$ | $(I_0)/(\lambda_0)$ |

A

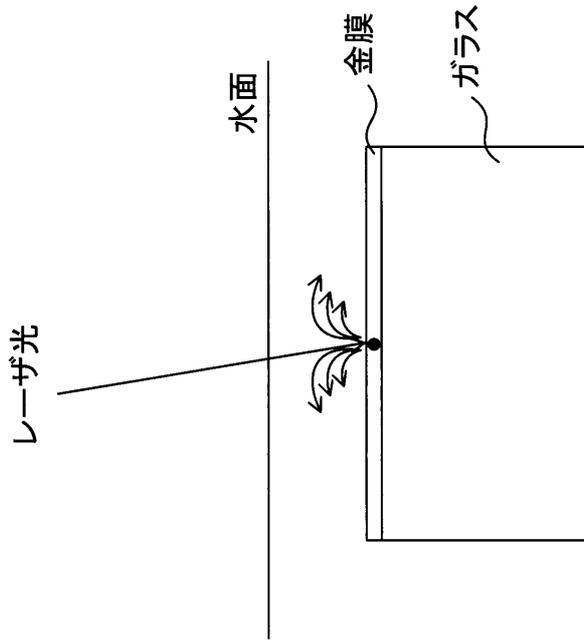


【図 28】

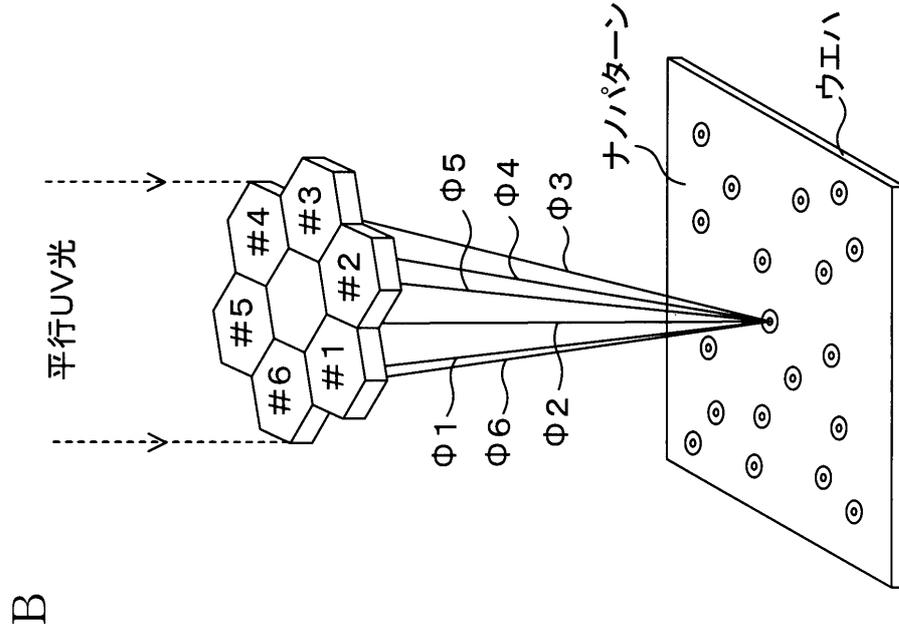
B



A



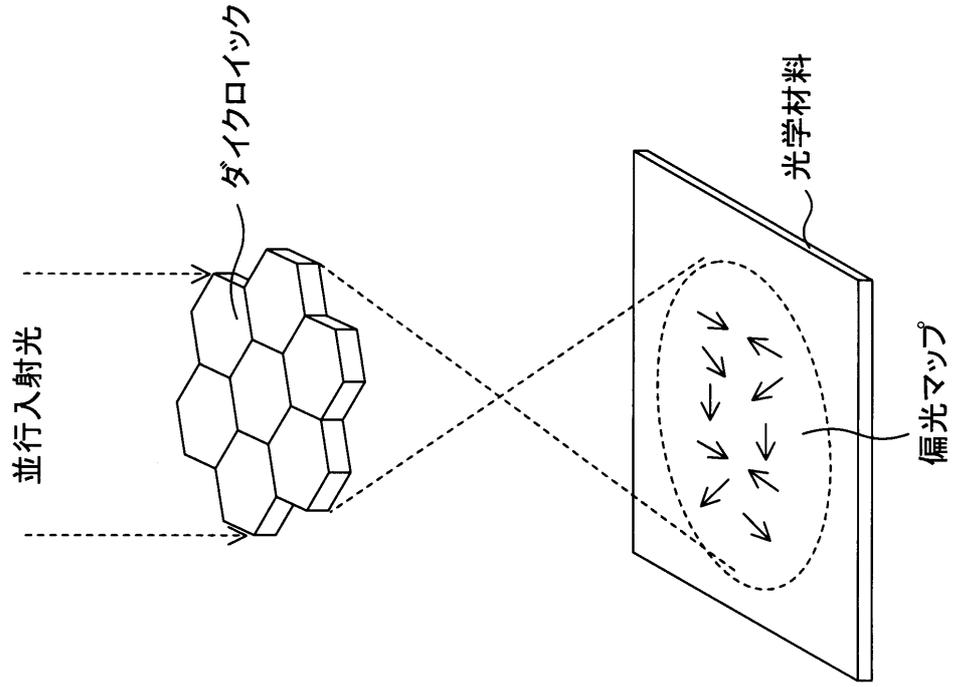
【図 29】



A

|                                |                                |                                |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,1,6}$ |
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,2,6}$ |
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,3,6}$ |
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,4,6}$ |
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,5,6}$ |
| $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,1}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,2}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,3}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,4}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,5}$ | $\sum_{i=1}^6 \varphi_{i,6,6}$ |

【図30】

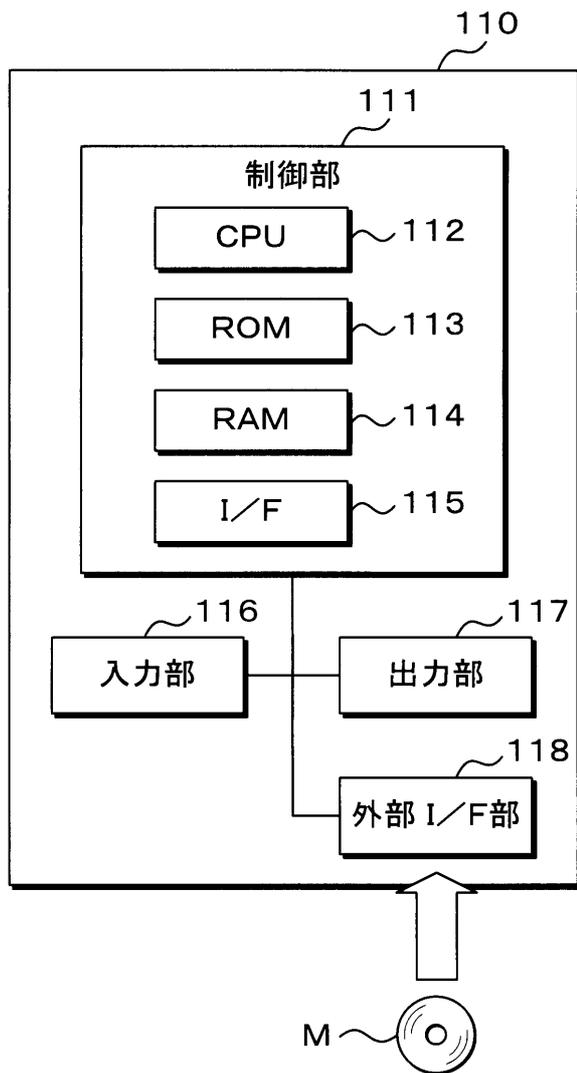


B

|             |             |             |             |             |             |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $(X_{1,1})$ | $(X_{1,2})$ | $(X_{1,3})$ | $(X_{1,4})$ | $(X_{1,5})$ | $(X_{1,6})$ |
| $(X_{2,1})$ | $(X_{2,2})$ | $(X_{2,3})$ | $(X_{2,4})$ | $(X_{2,5})$ | $(X_{2,6})$ |
| $(X_{3,1})$ | $(X_{3,2})$ | $(X_{3,3})$ | $(X_{3,4})$ | $(X_{3,5})$ | $(X_{3,6})$ |
| $(X_{4,1})$ | $(X_{4,2})$ | $(X_{4,3})$ | $(X_{4,4})$ | $(X_{4,5})$ | $(X_{4,6})$ |
| $(X_{5,1})$ | $(X_{5,2})$ | $(X_{5,3})$ | $(X_{5,4})$ | $(X_{5,5})$ | $(X_{5,6})$ |
| $(X_{6,1})$ | $(X_{6,2})$ | $(X_{6,3})$ | $(X_{6,4})$ | $(X_{6,5})$ | $(X_{6,6})$ |

A

【図 3 1】



## 受領書

令和 2年 7月30日  
特許庁長官

識別番号 100114557  
氏名(名称) 河野 英仁 様

以下の書類を受領しました。

| 項番 | 書類名 | 整理番号    | 受付番号        | 提出日        | 出願番号通知(事件の表示) | アクセスコード |
|----|-----|---------|-------------|------------|---------------|---------|
| 1  | 特許願 | 48352JP | 52001555330 | 令 2. 7. 30 | 特願2020-129621 | 24DD    |

以 上