(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 12 月 11 日(11.12.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/196449 A1

(51) 国際特許分類:
A61B 3/10 (2006.01) *G01M 11/02* (2006.01)
G01J 9/00 (2006.01) *G02F 1/01* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/064295

(22) 国際出願日: 2014 年 5 月 29 日(29.05.2014)

(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 2013-119858 2013 年 6 月 6 日(06.06.2013) JP

(71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(**HAMAMATSU PHOTONICS K.K.**) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ Shizuoka (JP).

(72) 発明者: 黄 洪欣(**HUANG Hongxin**); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 井上 卓(**INOUE Takashi**); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町１１２６番地の１ 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(**HASEGAWA Yoshiki** et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

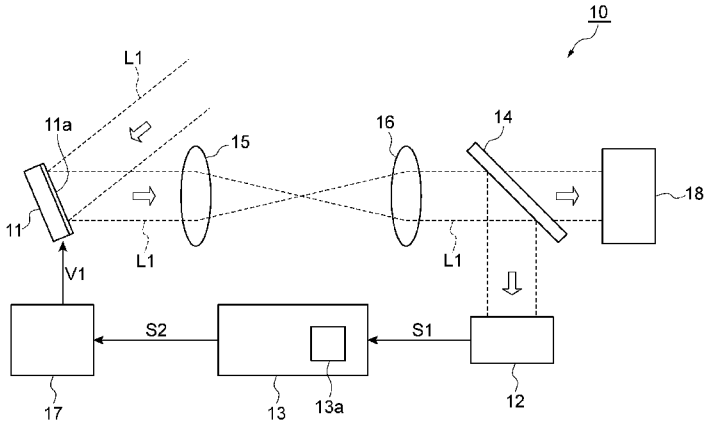
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) **Title**: CORRESPONDENCE RELATION SPECIFYING METHOD FOR ADAPTIVE OPTICS SYSTEM, ADAPTIVE OPTICS SYSTEM, AND STORAGE MEDIUM STORING PROGRAM FOR ADAPTIVE OPTICS SYSTEM

(54) 発明の名称 : 補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、および補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体



(57) **Abstract**: This adaptive optics system is provided with a spatial light modulator which spatially modulates the phase of an optical image incident on a modulation surface that includes N regions arranged in two dimensions, and with a wavefront sensor which receives the optical image from the spatial light modulator after modulation and which comprises a lenslet array of N lenslets arranged two-dimensionally and corresponding to the N regions, and an optical detection element that detects the light intensity distribution including M spots formed by the lenslet array. On the basis of the wavefront shape of the optical image obtained from the light intensity distribution, this adaptive optics system compensates for wavefront distortion by controlling the phase pattern displayed by the spatial light modulator, and, during compensation of the wavefront distortion, specifies the correspondence relation between the regions of the spatial light modulator and the spots formed on the wavefront sensor.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/196449 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

二次元状に配列されたＮ個の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、前記Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、前記空間光変調器から変調後の前記光像を受ける波面センサとを備え、前記空間光変調器に表示される位相パターンを、前記光強度分布から得られる前記光像の波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する補償光学システムにおいて、前記波面歪みの補償を実行中に、前記空間光変調器の前記領域と、前記波面センサに形成される前記集光スポットとの対応関係を特定する

明　細　書

発明の名称 ：

補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、および補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体

技術分野

[0001] 本発明の一側面は、補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、および補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体に関するものである。

背景技術

[0002] 特許文献１には、光波の波面を計測する波面センサに関する技術が記載されている。この波面センサでは、複数のレンズを通る光のそれぞれに特徴（例えば、光強度）を付加し、これらの光を受けたＣＣＤ等の受光素子から画像データを得る。そして、この画像データから計測スポット位置を演算するとともに、集光スポットの特徴を検出し、その特徴を有する集光スポットに対応する基準スポット位置と計測スポット位置とを対応付けし、対応付けされた基準スポット位置と計測スポット位置とから波面を演算する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平９－１５０５７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 補償光学技術は、波面センサを用いて光学的な収差（波面歪み）を計測し、その結果を基に波面変調素子（空間光変調器）を制御することで動的に収差を除去する技術である。この補償光学技術によって、結像特性や集光度、画像のＳＮ比、計測精度を向上させることができる。従来、補償光学技術は、主として天体望遠鏡や大型レーザ装置に使われていた。近年になって、補

償光学技術は、眼底カメラ、走査型レーザ検眼鏡、光干渉断層装置、レーザ顕微鏡などにも応用されつつある。このような補償光学技術を用いたイメージングは、従来にない高い分解能での観察を可能にする。例えば、眼の奥（眼底）を観察する眼底イメージング装置に補償光学技術を適用することによって、眼球による収差が除去され、例えば視細胞、神経繊維、毛細血管といった眼底の微細構造を鮮明に描出することができる。眼疾患だけでなく、循環器系疾病の早期診断にも応用することができる。

[0005] 上記のような補償光学技術を実現するための補償光学システムは、空間光変調器、波面センサ、及びこれらを制御する制御装置によって主に構成される。そして、波面センサとして、例えば二次元状に配列された複数のレンズを備え、各レンズによって形成される集光スポットの基準位置からの位置ずれに基づいて、波面を計測する方式のもの（いわゆるシャックハルトマン型波面センサ）を用いることができる。

[0006] このような補償光学システムでは、波面センサの複数のレンズと、検出された複数の集光スポットとの対応関係を正確に知ることが重要である。図２２は、或る波面Ｗを有する光像が波面センサに入射したときの、複数のレンズ１０１と複数の集光スポットＰとの対応関係について説明するための図である。図２２（ａ）に示されるように、波面Ｗの収差が小さい場合、各集光スポットＰの位置ずれ量が小さいため、複数のレンズ１０１と対向する検出面１０３上の複数の領域１０４の内部に、対応するレンズ１０１により形成された集光スポットＰが位置することとなる。この場合、波面Ｗの収差がゼロであるときに形成されるべき集光スポットの位置、すなわち基準位置と、該基準位置と同じ領域１０４内に形成された集光スポットＰの位置との距離（位置ずれ量）に基づいて、当該領域における収差が算出される。

[0007] しかしながら、図２２（ｂ）に示されるように、波面Ｗの収差が大きい場合、次の問題が生じる。すなわち、このような場合には集光スポットＰの位置ずれ量が大きくなるので、該集光スポットＰを形成しているレンズ１０１に対向する領域１０４の外に、該集光スポットＰが位置する場合がある。し

たがって、或る領域１０４には集光スポットＰが存在せず、また別の領域１０４には複数の集光スポットＰが存在するといった状況が生じてしまう。また、図２２（ｃ）に示されるように、波面Ｗが大きく傾斜している場合には、各レンズ１０１により形成される集光スポットＰが、各レンズ１０１に対向する領域１０４に隣接する領域１０４内に位置する場合がある。

[0008] 図２２（ｂ）や図２２（ｃ）に例示されたような状況下では、集光スポットＰとレンズ１０１との対応関係が不明確となるので、その集光スポットＰの位置に基づいて制御されるべき空間光変調器の変調面上の領域を特定することが困難となる。したがって、波面歪み補償の精度が低下するか、或いは、補償可能な波面歪みの大きさが制限されてしまう。例えば眼底イメージング装置に補償光学システムを適用する場合には、眼球による収差が測定対象者毎に大きく異なる場合があり、また、眼球の位置や、近視若しくは遠視を補正するための光学系の位置によっては、収差が大きくなる場合がある。それらの場合には、上記の問題が顕在化することとなる。

[0009] なお、特許文献１に記載された方式では、次の問題がある。特許文献１には、波面センサの複数のレンズを通る光のそれぞれに特徴を付加する方式として、各レンズに対応する領域毎に厚さが異なる光学板をレンズの前方に配置する方式、各レンズに対応する領域毎に透過率が異なる光学板をレンズの前方に配置する方式、及び液晶シャッタをレンズの前方に配置する方式が示されている。しかし、これらの方式では、被計測光の光路上に光学板等を新たに配置することとなり、部品点数が増加してしまう。また、光学板等を通過する際に被計測光に損失が生じるため、波面検出精度が低下するおそれがある。また、仮に、光学板等を必要に応じて挿抜し得る機構を設けたとしても、レンズとの相対位置を調整することは難しく、装置も大型化してしまう。

[0010] 本発明の一側面は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、被計測光の損失の増加を抑制しつつ、簡易な構成でもって、波面センサの集光スポットと、その位置に基づいて制御されるべき空間光変調器の変調面上の領

域との対応関係を正確に特定して、より大きな波面歪みを精度良く補償することが可能な補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、および補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体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

[0011] 上述した課題を解決するために、本発明の一側面に係る補償光学システムの対応関係特定方法は、二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、空間光変調器から変調後の光像を受けて、光強度分布に基づいて該光像の波面形状を計測する波面センサとを備え、空間光変調器に表示される位相パターンを波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する補償光学システムにおいて、波面歪みの補償を実行中に、空間光変調器の領域と、波面センサに形成される集光スポットとの対応関係を特定する方法であって、空間光変調器のＮ個の領域のうちの特定対象領域に、波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第１検出ステップと、第１検出ステップの前又は後に、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第２検出ステップと、第１検出ステップと第２検出ステップとの間の光強度分布の変化に基づいて、Ｍ個の集光スポットのうち特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第１特定ステップとを備える。

[0012] 上記の方法では、空間光変調器及び波面センサを備える補償光学システムにおいて、第１検出ステップとして、空間光変調器の特定対象領域に波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、波面センサの光検出素子において光強度分布を検出する。この第１検出ステップでは、特定対象領域に対応する集光スポットが、光検出素子上の何処かの位置に形成される。また、

その前又は後に、第２検出ステップとして、上記特定対象領域に空間的に非線形な位相パターンを表示させた状態で、波面センサの光検出素子において光強度分布を検出する。この第２検出ステップでは、特定対象領域に表示された非線形の位相パターンによって光が拡散し、特定対象領域に対応する集光スポットが形成されないか、或いはその光強度が微弱となる。

[0013] その後、第１特定ステップにおいて、第１検出ステップ及び第２検出ステップのそれぞれにおいて得られた光強度分布を相互に比較すると、第１検出ステップで得られた光強度分布には特定対象領域に対応する集光スポットが明瞭に存在するが、第２検出ステップで得られた光強度分布には特定対象領域に対応する集光スポットが存在しないか、集光スポットの明瞭さが第１検出ステップと比較して各段に劣ることとなる。したがって、第１検出ステップと第２検出ステップとの間の光強度分布の変化に基づいて、特定対象領域に対応する集光スポットを正確に特定することができる。

[0014] このように、上記の対応関係特定方法によれば、波面センサの集光スポットと、該集光スポットの位置から算出される収差に基づいて制御されるべき空間光変調器の変調面上の領域との対応関係を正確に特定することができる。したがって、より大きな波面歪みを精度良く補償することが可能となる。また、上記の対応関係特定方法によれば、特許文献１に記載された構成のように光学板等の新たな部品を追加する必要がないので、部品点数の増加を抑制できるとともに、被計測光の損失の増加を抑制して波面検出精度を維持することができる。

[0015] また、補償光学システムの対応関係特定方法は、波面歪み補償用の位相パターンを特定対象領域に表示させ、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域とは別の特定対象領域に表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第３検出ステップと、第２検出ステップと第３検出ステップとの間の光強度分布の変化に基づいて、別の特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第２特定ステップとを更に備えてもよい。このような方法によれば、空間的に非線形な位相パターンを空間光変調器の複数の領域に順

次表示させながら、各領域と集光スポットとの対応関係を効率良く特定することができる。

[0016] また、補償光学システムの対応関係特定方法は、第１検出ステップにおいて、Ｎ個の領域全てに波面歪み補償用の位相パターンを表示させてもよい。このような方法であっても、空間光変調器の特定対象領域と集光スポットとの対応関係を特定することができる。

[0017] また、補償光学システムの対応関係特定方法は、第２検出ステップにおいて検出された光強度分布から得られる波面形状に基づいて波面歪みを補償してもよい。すなわち、この方法では、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で計測された波面形状に基づいて、波面歪みを補償する。この場合、特定対象領域には波面歪み補償用の位相パターンは表示されないが、特定対象領域を空間光変調器のＮ個の領域のうち僅かな部分に限定することにより、特定対象領域による影響を抑えて波面歪みを十分に補償することができる。また、この場合、空間光変調器に表示させる位相パターンを算出する際に、計測された波面形状のうち特定対象領域に対応する部分を除いたものを用いてもよい。

[0018] また、補償光学システムの対応関係特定方法は、第２検出ステップにおいて特定対象領域に表示される空間的に非線形な位相パターン（すなわち、空間的に非線形な位相プロファイルを有する位相パターン）が、位相の大きさの分布が不規則であるランダム分布を含んでもよい。或いは、補償光学システムの対応関係特定方法は、第２検出ステップにおいて特定対象領域に表示される空間的に非線形な位相パターンが、集光スポットを拡径するデフォーカス分布を含んでもよい。これらのうち何れかの分布を位相パターンが含むことにより、空間的に非線形な位相パターンを実現することができる。

[0019] また、補償光学システムの対応関係特定方法は、空間光変調器のＮ個の領域のうち互いに隣接しない複数の領域を特定対象領域に設定してもよい。これにより、空間光変調器の複数の特定対象領域と複数の集光スポットとの対応関係を一度に特定できるので、対応関係の特定に要する時間を短縮するこ

とができる。

[0020] また、本発明の一側面に係る補償光学システムは、二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、空間光変調器から変調後の光像を受けて、光強度分布に基づいて該光像の波面形状を計測する波面センサと、空間光変調器に表示される位相パターンを波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する制御部とを備え、制御部が、波面歪みの補償を実行中に、空間光変調器のＮ個の領域のうちの特定対象領域に波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で光検出素子より第１の光強度分布を取得し、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で光検出素子より第２の光強度分布を取得し、第１の光強度分布と第２の光強度分布との間の変化に基づいて、Ｍ個の集光スポットのうち特定対象領域に対応する集光スポットを特定する。

[0021] この補償光学システムによれば、制御部が、空間光変調器の特定対象領域に波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態、および特定対象領域に空間的に非線形な位相パターンを表示させた状態のそれぞれにおいて、光強度分布を取得する。したがって、前述した対応関係特定方法と同様に、これらの光強度分布の間の変化に基づいて、特定対象領域に対応する集光スポットを正確に特定することができ、波面歪み補償の精度を向上させることが可能となる。また、光学板等の新たな部品を追加する必要がないので、部品点数の増加を抑制でき、また被計測光の損失の増加を抑制して波面検出精度を維持することができる。

[0022] また、補償光学システム用プログラムは、二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列さ

れたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、空間光変調器から変調後の光像を受ける波面センサと、空間光変調器に表示される位相パターンを、光強度分布から得られる光像の波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する制御部とを備える補償光学システムにおいて、波面歪みの補償を実行中に、空間光変調器の領域と、波面センサに形成される集光スポットとの対応関係を制御部に特定させるためのプログラムであって、空間光変調器のＮ個の領域のうちの特定対象領域に、波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第１検出ステップと、第１検出ステップの前又は後に、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第２検出ステップと、第１検出ステップと第２検出ステップとの間の光強度分布の変化に基づいて、Ｍ個の集光スポットのうち特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第１特定ステップと、を制御部に実行させる。

[0023] また、本発明の一側面に係る補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体は、二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、空間光変調器から変調後の光像を受けて、光強度分布に基づいて該光像の波面形状を計測する波面センサと、空間光変調器に表示される位相パターンを波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する制御部とを備える補償光学システムにおいて、波面歪みの補償を実行中に、空間光変調器の領域と、波面センサに形成される集光スポットとの対応関係を制御部に特定させるための補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体であって、補償光学システム用プログラムは、空間光変調器のＮ個の領域のうちの特定対象領域に、波面歪み

補償用の位相パターンを表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第１検出ステップと、第１検出ステップの前又は後に、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で、光検出素子により光強度分布を検出する第２検出ステップと、第１検出ステップと第２検出ステップとの間の光強度分布の変化に基づいて、Ｍ個の集光スポットのうち特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第１特定ステップとを制御部に実行させる。

[0024] この補償光学システム用プログラム及びそれを記憶すする記録媒体は、前述した対応関係特定方法と同様の第１検出ステップないし第１特定ステップを備えている。したがって、特定対象領域に対応する集光スポットを正確に特定することができ、波面歪み補償の精度を向上させることが可能となる。また、光学板等の新たな部品を追加する必要がないので、部品点数の増加を抑制でき、また被計測光の損失の増加を抑制して波面検出精度を維持することができる。

発明の効果

[0025] 本発明の一側面に係る補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、および補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体によれば、部品点数の増加および被計測光の損失の増加を抑制しつつ、波面センサの集光スポットと、その位置に基づいて制御されるべき空間光変調器の変調面上の領域との対応関係を正確に特定して、より大きな波面歪みを精度良く補償することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]一実施形態に係る補償光学システムの構成を概略的に示す図である。

[図2]一実施形態の波面センサの構成を概略的に示す断面図であって、光像の光軸に沿った断面を示している。

[図3]波面センサが備えるレンズアレイを光像の光軸方向から見た図である。

[図4]一実施形態の空間光変調器の一例として、ＬＣＯＳ型の空間光変調器を概略的に示す断面図であって、光像の光軸に沿った断面を示している。

[図5]空間光変調器と波面センサとの関係を簡略化して示す図である。

[図6]空間光変調器の変調面の正面図である。

[図7]変調面上の領域と集光スポットとの対応関係を特定する方法の原理を説明するための概念図である。

[図8]変調面に表示される位相パターンを概念的に示す図である。

[図9]波面センサのイメージセンサによって検出される光強度分布データ（シャックハルトマングラム）を概念的に示す図である。

[図10]一実施形態の補償光学システムの動作および波面補償方法を示すフローチャートである。

[図11]制御部において実行される波面計測処理の一例を示すフローチャートである。

[図12]対応関係特定ステップにおいて、集光スポットと、変調面上の領域との対応関係を特定する方法の一例を示すフローチャートである。

[図13]空間的に非線形な位相パターンの例として、位相の大きさの分布が不規則であるランダム分布を示す図である。

[図14]空間的に非線形な位相パターンの例として、集光スポットを拡径するデフォーカス分布を示す図である。

[図15]空間的に非線形な位相パターンの例として、光像に大きな球面収差を生じさせる分布を示す図である。

[図16]空間的に非線形な位相パターンの例として、光像に大きな高次収差を生じさせる分布を示す図である。

[図17]第１変形例に係る補償光学システムの制御部の動作および対応関係特定方法を示すフローチャートである。

[図18]第２変形例に係る波面計測ステップを示すフローチャートである。

[図19]補償光学システムの動作および波面補償方法を示すフローチャートである。

[図20]特定対象領域が一度に複数個設定された例を示す図である。

[図21]レンズアレイの変形例を示す図である。

[図22]或る波面を有する光像が波面センサに入射したときの、複数のレンズと複数の集光スポットとの対応関係について説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0027] 以下、添付図面を参照しながら本発明の一側面に係る対応関係特定方法、補償光学システム、補償光学システム用プログラム、及び補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、以下の説明において、「位相分布」とは、二次元に分布する位相値を指し、「位相パターン」とは、位相分布（二次元の位相値）を、ある基準を基にコード化したものを指し、「位相プロファイル」とは、位相分布における或る方向（線）に沿った位相値の分布を指すものとする。

[0028] 図１は、本実施形態に係る補償光学システム１０の構成を概略的に示す図である。補償光学システム１０は、例えば眼科検査装置、レーザ加工装置、顕微鏡装置、または補償光学装置などに組み込まれる。この補償光学システム１０は、空間光変調器（Spatial Light Modulator；ＳＬＭ）１１、波面センサ１２、制御部１３、ビームスプリッタ１４、リレーレンズ１５及び１６、並びに制御回路部１７を備えている。

[0029] 空間光変調器１１は、位相パターンを表示する変調面１１ａに光像Ｌ１を受け、光像Ｌ１の波面形状を変調して出力する。空間光変調器１１に入射する光像Ｌ１は、例えばレーザ光源やスーパールミネッセントダイオード（ＳＬＤ）から発する光、或いは、光が照射された観察物から発生した反射光、散乱光、蛍光等である。波面センサ１２は、空間光変調器１１から到達した光像Ｌ１の波面形状（典型的には光学系の収差によって現れ、波面の歪み、すなわち基準波面からの波面のずれを表す）に関する情報を含むデータＳ１を制御部１３に提供する。制御部１３は、波面センサ１２から得られたデータＳ１に基づいて、空間光変調器１１に適切な位相パターンを表示させるための制御信号Ｓ２を生成する。一例では、制御部１３は、波面センサ１２からデータＳ１を入力する入力部、データＳ１から収差を算出する収差算出部

、空間光変調器１１に表示させる位相パターンを算出する位相パターン算出部、及び算出した位相パターンに応じて制御信号Ｓ２を生成する信号生成部を含む。制御回路部１７は、制御部１３から制御信号Ｓ２を受けて、この制御信号Ｓ２に基づく電圧Ｖ１を空間光変調器１１の複数の電極に与える。

[0030] ビームスプリッタ１４は、波面センサ１２と空間光変調器１１との間に配置され、光像Ｌ１を分岐する。ビームスプリッタ１４は偏光方向非依存型、偏光方向依存型、或いは、波長依存型（ダイクロイックミラー）のビームスプリッタのいずれでもよい。ビームスプリッタ１４によって分岐された一方の光像Ｌ１は、例えばＣＣＤや光電子増倍管、アバランシェ・フォトダイオードといった光検出素子１８に送られる。光検出素子１８は、例えば走査型レーザ検眼鏡（Scanning Laser Ophthalmoscope；ＳＬＯ）、光断層撮影装置（Optical Coherence Tomography；ＯＣＴ）、眼底カメラ、顕微鏡、望遠鏡等に組み込まれたものである。また、ビームスプリッタ１４によって分岐された他方の光像Ｌ１は、波面センサ１２に入射する。

[0031] リレーレンズ１５及び１６は、波面センサ１２と空間光変調器１１との間において光軸方向に並んで配置される。これらのリレーレンズ１５，１６によって、波面センサ１２と空間光変調器１１とが、互いに光学的な共役関係に保たれる。なお、波面センサ１２と空間光変調器１１との間には、光学結像レンズ及び／又は偏向ミラーなどが更に配置されてもよい。

[0032] 図２は、本実施形態の波面センサ１２の構成を概略的に示す断面図であって、光像Ｌ１の光軸に沿った断面を示している。また、図３は、波面センサ１２が備えるレンズアレイ１２０を光像Ｌ１の光軸方向から見た図である。

[0033] 波面センサ１２には干渉型と非干渉型とがあるが、本実施形態では、波面センサ１２として、レンズアレイ１２０及びイメージセンサ（光検出素子）１２２を有する非干渉型のシャックハルトマン型波面センサを用いる。このような非干渉型の波面センサ１２を用いると、干渉型の波面センサ１２を用いる場合と比較して、耐震性が優れており、また、波面センサの構成及び計測データの演算処理を簡易にできる利点がある。

[0034] 図３に示されるように、レンズアレイ１２０は、Ｎ個（Ｎは自然数）のレンズ１２４を有する。Ｎ個のレンズ１２４は、例えばＮａ行Ｎｂ列（Ｎａ，Ｎｂは２以上の整数）の二次元格子状に配置されている。

[0035] また、図２に示されるイメージセンサ１２２は、レンズアレイ１２０を構成するＮ個のレンズ１２４の後焦点面と重なる位置に受光面１２２ａを有しており、Ｎ個のレンズ１２４によって形成されるＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットＰを含む光強度分布を検出する。一般的には、レンズアレイ１２０に照射される光は、レンズアレイ１２０の一部のレンズ１２４に入力されるため、集光スポットＰは入力光が照射されたレンズ１２４によって形成される。従って、レンズアレイ１２０を構成するＮ個のレンズ１２４のうち、入力光の照射範囲内に存在するレンズ１２４の個数Ｎ’は、集光スポットＰの個数Ｍと等しい。もちろん、レンズアレイ１２０全体に入力光が照射される場合には、個数Ｎと個数Ｎ’とが等しくなり、Ｎ＝Ｍとなる。後述する制御部１３では、この光強度分布に基づいて、光像Ｌ１の波面形状（位相勾配の分布）が計測される。すなわち、レンズ１２４による集光スポットＰの位置と基準位置とのずれの大きさは、レンズ１２４に入射する光像Ｌ１の局所的な波面の傾きに比例する。したがって、基準位置からの集光スポットＰの位置ずれの大きさをレンズ１２４毎に算出し、この集光スポットＰの位置ずれに基づいて、光像Ｌ１の波面形状を計測することができる。

[0036] なお、イメージセンサ１２２の受光面１２２ａを構成する各画素も二次元格子状に配置されており、その水平方向および垂直方向はレンズアレイ１２０の水平方向および垂直方向とそれぞれ一致する。但し、イメージセンサ１２２の画素ピッチは、基準位置からの集光像位置のずれの大きさを高い精度で検出できるように、レンズアレイ１２０のピッチよりも十分に小さくなっている。

[0037] また、集光像位置のずれの大きさを計算する為に用いられる基準位置としては、複数のレンズ１２４それぞれの光軸と、イメージセンサ１２２の受光面１２２ａとが交わる位置とすることができる。この位置は、平行平面波を

各レンズ１２４に垂直入射させて得られる集光像を用いて、重心計算により容易に求められる。

[0038] 空間光変調器１１は、光源若しくは観察対象物からの光像Ｌ１を受け、その光像Ｌ１の波面を変調して出力する素子である。具体的には、空間光変調器１１は、二次元格子状に配列された複数の画素（制御点）を有しており、制御部１３から提供される制御信号Ｓ２に応じて各画素の変調量（例えば位相変調量）を変化させる。空間光変調器１１には、例えば、ＬＣＯＳ（Liquid Crystal On Silicon）型空間光変調器、液晶表示素子と光アドレス式液晶空間光変調器とが結合されて成る電気アドレス式の空間光変調器、微小電気機械素子（Micro Electro Mechanical Systems；ＭＥＭＳ）、といったものがある。なお、図１には反射型の空間光変調器１１が示されているが、空間光変調器１１は透過型であってもよい。

[0039] 図４は、本実施形態の空間光変調器１１の一例として、ＬＣＯＳ型の空間光変調器を概略的に示す断面図であって、光像Ｌ１の光軸に沿った断面を示している。この空間光変調器１１は、透明基板１１１、シリコン基板１１２、複数の画素電極１１３、液晶部（変調部）１１４、透明電極１１５、配向膜１１６ａ及び１１６ｂ、誘電体ミラー１１７、並びにスペーサ１１８を備えている。

[0040] 透明基板１１１は、光像Ｌ１を透過する材料からなり、シリコン基板１１２の主面に沿って配置される。複数の画素電極１１３は、シリコン基板１１２の主面上において二次元格子状に配列され、空間光変調器１１の各画素を構成する。透明電極１１５は、複数の画素電極１１３と対向する透明基板１１１の面上に配置される。液晶部１１４は、複数の画素電極１１３と透明電極１１５との間に配置される。配向膜１１６ａは液晶部１１４と透明電極１１５との間に配置され、配向膜１１６ｂは液晶部１１４と複数の画素電極１１３との間に配置される。誘電体ミラー１１７は配向膜１１６ｂと複数の画素電極１１３との間に配置される。誘電体ミラー１１７は、透明基板１１１から入射して液晶部１１４を透過した光像Ｌ１を反射して、再び透明基板１

１１から出射させる。

[0041] また、空間光変調器１１は、複数の画素電極１１３と透明電極１１５との間に印加される電圧を制御する画素電極回路（アクティブマトリクス駆動回路）１１９を更に備えている。画素電極回路１１９から何れかの画素電極１１３に電圧が印加されると、該画素電極１１３と透明電極１１５との間に生じた電界の大きさに応じて、該画素電極１１３上の液晶部１１４の屈折率が変化する。したがって、液晶部１１４の当該部分を透過する光像Ｌ１の光路長が変化し、ひいては、光像Ｌ１の位相が変化する。そして、複数の画素電極１１３に様々な大きさの電圧を印加することによって、位相変調量の空間的の分布を電気的に書き込むことができ、必要に応じて様々な波面形状を実現することができる。

[0042] 再び図１を参照する。この補償光学システム１０では、まず、図示しない光源若しくは観察対象物からの光像Ｌ１が、ほぼ平行な光として空間光変調器１１に入射する。そして、空間光変調器１１によって変調された光像Ｌ１は、リレーレンズ１５及び１６を経てビームスプリッタ１４に入射し、２つの光像に分岐される。分岐後の一方の光像Ｌ１は、波面センサ１２に入射する。そして、波面センサ１２において光像Ｌ１の波面形状（例えば位相分布）を含むデータＳ１が生成され、データＳ１は制御部１３に提供される。制御部１３は、波面センサ１２からのデータＳ１に基づいて、必要に応じて光像Ｌ１の波面形状（位相分布）を算出し、光像Ｌ１の波面歪みを適切に補償するための位相パターンを含む制御信号Ｓ２を空間光変調器１１へ出力する。その後、空間光変調器１１によって補償された歪みのない光像Ｌ１は、ビームスプリッタ１４により分岐され、図示しない光学系を経て光検出素子１８に入射し、撮像される。

[0043] ここで、図５は、空間光変調器１１と波面センサ１２との関係を簡略化して示す図である。上記の構成を備える補償光学システム１０において、波面センサ１２において光像Ｌ１の波面形状を正確に検出するためには、Ｎ個のレンズ１２４のそれぞれによって形成されるＭ個の集光スポットＰと、Ｍ個

の集光スポットＰの位置ずれ情報に基づいてそれぞれ制御されるべき空間光変調器１１の変調面１１ａ上のＮ個の領域１１ｂとの対応関係を正確に特定する必要がある。

[0044] なお、図６は、空間光変調器１１の変調面１１ａの正面図である。図６に示されるように、変調面１１ａ上に想定されるＮ個の領域１１ｂは、Ｎ個のレンズ１２４と同様に二次元状（例えばＮａ行Ｎｂ列）に配列され、それぞれＮ個のレンズ１２４と一対一で対応している。また、各領域１１ｂには、複数の画素が含まれている。

[0045] 以下、Ｍ個の集光スポットＰと、変調面１１ａ上のＮ個の領域１１ｂとの対応関係を特定する方法について詳細に説明する。なお、この特定方法は、例えば制御部１３において、波面歪み補償動作の実行中に併せて実行される。具体的には、図１に示された制御部１３の記憶領域１３ａの内部にこの特定方法がプログラムとして記憶され、制御部１３がこのプログラムを読み出して実行する。

[0046] 図７は、本実施形態における特定方法の原理を説明するための概念図である。図７には、空間光変調器１１の変調面１１ａ及び波面センサ１２（レンズアレイ１２０及びイメージセンサ１２２）に加えて、リレーレンズ１５及び１６、変調面１１ａへ入射される光像の波面Ｗ１、変調面１１ａから出射される光像の波面Ｗ２、波面センサ１２に入射される光像の波面Ｗ３が示されている。また、図７には、変調面１１ａ上の或る領域１１ｂから出射して、当該領域１１ｂに対応する波面センサ１２のレンズ１２４に達する光像Ｌ１が示されている。

[0047] いま、波面歪み補償動作の実行中であり、変調面１１ａ上の全ての領域１１ｂにおいて、波面歪み補償用の位相パターンが表示されているとする。このとき、入射波面Ｗ１に、その位相パターンに応じた波面が加えられた波面Ｗ２が空間光変調器１１から出射され、波面センサ１２には、リレーレンズ１５及び１６を含む共役光学系を経た波面Ｗ３が入射される。

[0048] ここで、変調面１１ａ上の或る領域１１ｂ（以下、特定対象領域と称する

）において、波面歪み補償用の位相パターンに代えて、空間的に非線形な位相パターン（例えば、位相の大きさの分布が不規則であるランダム分布や、集光スポットを拡径するデフォーカス分布など）を表示させる。すると、出射波面Ｗ２のうち特定対象領域に相当する部分の波面が乱れる（図７の部分Ａ１）。そして、この波面の乱れは、波面センサ１２への入射波面Ｗ３のうち、特定対象領域と一対一で対応するレンズ１２４に入射する部分にも生じることとなる（図７の部分Ａ２）。これにより、当該レンズ１２４によって形成されていた集光スポットＰが拡散し、集光スポットＰが形成されないか、或いはその光強度が微弱となる。

[0049] 図８は、変調面１１ａに表示される位相パターンを概念的に示す図である。図８において、領域Ｂ１は波面歪み補償用の位相パターンが表示される領域であり、領域Ｂ２は空間的に非線形な位相パターンが表示される領域（すなわち特定対象領域）である。このように、本実施形態では、Ｎ個の領域１１ｂのうち或る一つの特定対象領域Ｂ２において、空間的に非線形な位相パターンが表示される。

[0050] 図９は、波面センサ１２のイメージセンサ１２２によって検出される光強度分布データ（シャックハルトマングラム）を概念的に示す図である。図９（ａ）は、変調面１１ａのＮ個の領域１１ｂにおいて波面歪み補償用の位相パターンが表示されている場合の光強度分布データＤ１を示しており、図９（ｂ）は、Ｎ個の領域１１ｂのうち一つの特定対象領域において空間的に非線形な位相パターンが表示され、他の領域において波面歪み補償用の位相パターンが表示されている場合の光強度分布データＤ２を示している。

[0051] 図９（ａ）に示されるように、Ｎ個の領域１１ｂに波面歪み補償用の位相パターンが表示されている場合には、各領域１１ｂに対応するＭ個の集光スポットＰが光強度分布データに含まれる。一方、図９（ｂ）に示されるように、一つの特定対象領域において空間的に非線形な位相パターンが表示されている場合には、他の（Ｎ－１）個の領域に対応する集光スポットＰが形成されるが、特定対象領域に対応する集光スポットは、形成されないか、或い

は形成されてもその最大強度が減少したものとなる（図中のＣ部分）。従って、図９（ａ）に示された光強度分布データＤ１から、図９（ｂ）に示された光強度分布データＤ２への変化（または、逆の変化）に基づいて、特定対象領域に対応する集光スポットＰを特定することができる。

[0052] 以上に説明した、変調面１１ａの各領域１１ｂと集光スポットＰとの対応関係を特定する方法を含む、補償光学システム１０の動作および波面補償方法について図１０を参照しつつ説明する。図１０は、本実施形態の補償光学システム１０の動作および波面補償方法を示すフローチャートである。なお、制御部１３の記憶領域１３ａの内部に記憶されたプログラムは、以下の方法を制御部１３に実行させる補償光学システム用プログラムである。なお、制御部１３は、ＣＰＵ、主記憶装置であるＲＡＭ及びＲＯＭ、通信を行うための通信モジュール、並びに、ハードディスク等の補助記憶装置等のハードウェア資源を備えるコンピュータを主体として構成され得る。補償光学システム用プログラムは、そのコンピュータに挿入されてアクセスされる記録媒体、或いは、そのコンピュータが備える記録媒体に記憶されている。このような記録媒体としては、例えば、磁気ディスク、光ディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＵＳＢメモリ、コンピュータに内蔵されるメモリ（記憶領域１３ａ）等が該当する。

[0053] 補償光学システム１０では、まず、制御部１３の初期処理が行われる（ステップＳ１１）。この初期処理ステップＳ１１では、例えば計算処理に必要なメモリ領域の確保や、パラメータの初期設定などが行われる。

[0054] 次に、波面計測（収差計測）を行う（ステップＳ１２）。この波面計測ステップＳ１２では、波面センサ１２によって取得された光強度分布データに基づいて、制御部１３が波面形状を求める。ここで、図１１は、制御部１３において実行される波面計測処理の一例を示すフローチャートである。図１１に示されるように、制御部１３は、先ず、波面センサ１２のイメージセンサ１２２によって作成される光強度分布データを取得する（ステップＳ２１、本実施形態における第１検出ステップ）。図９（ａ）に示されたように、

この光強度分布データには、Ｎ個のレンズ１２４によって形成されたＭ個の集光スポットＰが含まれている。次に、制御部１３は、光強度分布データに含まれるＭ個の集光スポットＰそれぞれの重心（光強度の１次モーメント）を計算することによって、Ｍ個の集光スポットＰそれぞれの位置座標を特定する（ステップＳ２２）。この重心計算の際、所定の閾値よりも小さいデータ値の排除や、ノイズ低減処理等を併せて行ってもよい。続いて、Ｍ個の集光スポットＰの評価値を算出する（ステップＳ２３）。評価値とは、例えば各集光スポットＰの最大光強度やスポット径（拡がり具合）、光強度の高次モーメント、スポット径内の最小の光強度、スポット径内の光強度の総和などといった、各集光スポットＰの信頼性を表す数値である。以降のステップでは、この評価値が所定の条件を満たす集光スポットＰに関する情報のみが計算に使用される。続いて、各集光スポットＰの位置座標と基準位置との距離（位置ずれ量）を集光スポットＰ毎に算出する（ステップＳ２４）。その後、ステップＳ２４において算出された各集光スポットＰの位置ずれ量を波面方程式に適用することにより、波面歪み（収差）を算出する（ステップＳ２５）。

[0055] 再び図１０を参照する。続いて、制御部１３は、空間光変調器１１の変調面１１ａに表示させるべき波面歪み補償用の位相パターン（制御パターン）の計算を行う（ステップＳ１３）。このステップＳ１３では、例えば、先の波面計測ステップＳ１２において算出された波面歪み（収差）をゼロに近づける位相パターンが、負帰還制御のアルゴリズムを基にして算出される。そして、算出された位相パターンに応じた制御信号Ｓ２が制御部１３から制御回路部１７へ出力される。制御回路部１７は、この制御信号Ｓ２に応じた制御電圧Ｖ１を空間光変調器１１に供給する。

[0056] 続いて、制御部１３は、変調面１１ａの各領域１１ｂと集光スポットＰとの対応関係の特定を行うか否かの判断を行う（ステップＳ１４）。この対応関係の特定を行う場合（ステップＳ１４；Ｙｅｓ）、制御部１３は、図１２に示される処理を行う（ステップＳ１５、対応関係特定ステップ）。図１２

は、対応関係特定ステップＳ１５において、集光スポットＰと、変調面１１ａ上の領域１１ｂとの対応関係を特定する方法の一例を示すフローチャートである。

[0057] 図１２に示されるように、先ず、制御部１３は、図８に示されたように、変調面１１ａ上の或る特定対象領域において、波面歪み補償用の位相パターンに代えて、空間的に非線形な位相パターンを表示させる（ステップＳ３１）。次に、制御部１３は、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で、波面センサ１２のイメージセンサ１２２によって作成される光強度分布データを取得する（ステップＳ３２、本実施形態における第２検出ステップ）。図９（ｂ）に示されたように、特定対象領域に対応する集光スポットが形成されない場合は、この光強度分布データには、（Ｎ－１）個のレンズ１２４によって形成された（Ｍ－１）個の集光スポットＰが含まれる。なお、特定対象領域に対応する集光スポットが弱い強度で形成された場合であっても、ステップＳ２３で計算される評価値が十分に大きい場合には、この光強度分布データに含まれる集光スポットＰの数は、Ｍ個となる。続いて、制御部１３は、第１検出ステップＳ２１において取得された光強度分布データ（例えば図９（ａ））と、第２検出ステップＳ３２において取得された光強度分布データ（例えば図９（ｂ））とを比較する（ステップＳ３３）。この比較は、例えば、第１検出ステップＳ２１において取得された光強度分布データ（例えば図９（ａ））と、第２検出ステップＳ３２において取得された光強度分布データ（例えば図９（ｂ））との差分あるいは比を計算すれば良い。または、それぞれの光強度分布データにステップＳ２３のような重心演算を施し、これによって算出される集光スポットの重心やスポット径、スポット径内の光強度の総和などの特徴量を用いてもよい。なお、第１検出ステップＳ２１では、特定対象領域を含むＮ個の領域１１ｂの全てに波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で光強度分布データを取得するので、その光強度分布データには、特定対象領域に対応する集光スポットＰが含まれている。そして、この比較において光強度分布データの光強

度や特徴量が顕著に変化した集光スポットＰを特定し、その集光スポットＰを、特定対象領域に対応する集光スポットであると判定する（ステップＳ３４、本実施形態における第１特定ステップ）。その後、制御部１３は、変調面１１ａ上の更に別の領域について集光スポットとの対応関係を特定する必要があるか否かを判断する（ステップＳ３５）。特定する必要がある場合（ステップＳ３５；Ｙｅｓ）、制御部１３は、上述したステップＳ３１～Ｓ３４を別の領域について繰り返す。また、特定する必要がない場合（ステップＳ３５；Ｎｏ）、制御部１３は処理を終了する。

[0058] 再び図１０を参照する。制御部１３は、対応関係特定ステップＳ１５において集光スポットＰと領域１１ｂとの対応関係を特定したのち、若しくはステップＳ１４において集光スポットＰと領域１１ｂとの対応関係の特定が不要であると判断した場合に、波面補償動作を終了するか否かの指令信号を外部から受け付ける（ステップＳ１６）。この指令信号は、例えば補償光学システム１０を含む装置を操作する者から入力される。そして、終了指令があった場合には（ステップＳ１６；Ｙｅｓ）、終了処理ステップＳ１７を経て終了する。また、終了指令がない場合には（ステップＳ１６；Ｎｏ）、前述したステップＳ１２～Ｓ１６を繰り返し実行する。なお、終了処理ステップＳ１７では、例えば制御部１３のメモリ領域の開放などが行われる。

[0059] 以上に説明した本実施形態の補償光学システム１０、その対応関係特定方法、補償光学システム用プログラム、及び補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体によって得られる効果について説明する。

[0060] 本実施形態では、第１検出ステップＳ２１において、空間光変調器１１の特定対象領域に波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、波面センサ１２のイメージセンサ１２２において光強度分布を検出する。この第１検出ステップＳ２１では、特定対象領域に対応する集光スポットＰが、イメージセンサ１２２上の何処かの位置に形成される。また、第２検出ステップＳ３２として、上記特定対象領域に空間的に非線形な位相パターンを表示させた状態で、波面センサ１２のイメージセンサ１２２において光強度分布を

検出する。この第２検出ステップＳ３２では、特定対象領域に表示された非線形の位相パターンによって光が拡散し、特定対象領域に対応する集光スポットＰが形成されないか、或いはその光強度が微弱となる。

[0061] その後、第１特定ステップＳ３４において、第１検出ステップＳ２１及び第２検出ステップＳ３２のそれぞれにおいて得られた光強度分布を相互に比較すると、第１検出ステップＳ２１で得られた光強度分布には特定対象領域に対応する集光スポットＰが明瞭に存在するが、第２検出ステップＳ３２で得られた光強度分布には特定対象領域に対応する集光スポットＰが存在しないか、集光スポットＰの明瞭さが第１検出ステップＳ２１と比較して各段に劣ることとなる。したがって、第１検出ステップＳ２１と第２検出ステップＳ３２との間の光強度分布の変化に基づいて、特定対象領域に対応する集光スポットＰを正確に特定することができる。

[0062] このように、本実施形態の補償光学システム１０、その対応関係特定方法、補償光学システム用プログラム、及び補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体によれば、波面センサ１２の集光スポットＰと、該集光スポットＰの位置から算出される収差に基づいて制御されるべき空間光変調器１１の変調面１１ａ上の領域１１ｂとの対応関係を、波面補償動作を実行中に正確に特定することができる。したがって、補償光学システム１０が組み込まれる装置の動作を継続しながら、より大きな波面歪みを精度良く補償することが可能となる。また、特許文献１に記載された構成のように光学板等の新たな部品を追加する必要がないので、部品点数の増加を抑制できるとともに、光像Ｌ１の損失の増加を抑制して波面検出精度を維持することができる。

[0063] ここで、ステップＳ３１において変調面１１ａに表示される「空間的に非線形な位相パターン」の例を示す。図１３～図１６は、このような位相パターンの例を示す図であって、位相の大きさが明暗によって示されており、最も暗い部分の位相は０（ｒａｄ）であり、最も明るい部分の位相は２π（ｒａｄ）である。

[0064] 図１３は、位相の大きさの分布が不規則であるランダム分布を示している。このような位相パターンが特定対象領域に表示されると、当該部分の光像Ｌ１が拡散し、明瞭な集光スポットＰが形成されなくなるか、最大の光強度が減少する。また、図１４は、集光スポットＰを拡径するデフォーカス分布を示している。このような位相パターンが特定対象領域に表示されると、当該部分の光像Ｌ１が集光されず逆に拡大されるので、明瞭な集光スポットＰが形成されなくなるか、最大の光強度が減少する。また、図１５は、光像Ｌ１に大きな球面収差を生じさせる分布を示している。球面収差を生じる位相パターンの代わりに、大きな非点収差やコマ収差を生じる位相パターンを用いてもよい。図１６は、光像Ｌ１に球面収差・非点収差・コマ収差より大きな次数の高次収差を含む収差を生じさせる分布を示している。図１５や図１６に示された位相パターンが特定対象領域に表示された場合にも、明瞭な集光スポットＰが形成されなくなる。空間的に非線形な位相パターンは、これらの分布のうち少なくとも一つを含んでもよく、或いは、これらの分布のうち少なくとも一つと、線形な位相パターンとを重ね合わせた合成パターンを含んでもよいし、或いは、これらの分布のうち少なくとも一つと、波面計測された波面歪みを補償するための位相パターンとを重ね合わせた合成パターンを含んでも良い。

[0065] また、空間光変調器としては、正六角形の複数の画素が隙間無く並んでいるようなものを用いても良い。また、上述した実施形態は、液晶を用いた空間光変調器を例に説明したが、液晶以外の電気光効果を有する材料を用いた空間光変調器や、画素が微小ミラーで形成されている空間光変調器、あるいは膜ミラーをアクチュエーターで変形させる可変鏡などを用いても良い。

[0066] 本実施形態では第１検出ステップＳ２１の後に第２検出ステップＳ３２を行っているが、この順序は逆であってもよい。すなわち、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に先ず表示させ、その状態でイメージセンサ１２２により光強度分布を検出したのち、波面歪み補償用の位相パターンを特定対象領域に表示させ、その状態でイメージセンサ１２２により光強度分布

を検出してもよい。このような形態であっても、上述した効果を同様に得ることができる。

[0067] （第１の変形例）上記の実施形態では、対応関係特定ステップＳ１５内のステップＳ３３において、Ｍ個の集光スポットＰが全て含まれる光強度分布（図９（ａ））と、特定対象領域に対応する集光スポットＰが形成されない光強度分布（図９（ｂ））とを比較している。しかしながら、ステップＳ３３では、特定対象領域に対応する集光スポットＰが形成されている光強度分布と、形成されていない光強度分布とを比較すれば足りる。したがって、例えば複数の特定対象領域のためにステップＳ３１～Ｓ３４が繰り返し実行される場合には、前回以前のステップＳ３２において取得された光強度分布を比較対象に用いてもよい。

[0068] 図１７は、本変形例に係る補償光学システム１０の制御部１３の動作および対応関係特定方法を示すフローチャートである。図１７に示されたフローチャートにおいて図１２と異なる点は、ステップＳ３５の分岐後にステップＳ３６～Ｓ４０を備える点である。すなわち、本変形例では、先ずステップＳ３１～Ｓ３４を実行したのち、別の領域について対応関係を特定する場合には（ステップＳ３５；Ｙｅｓ）、ステップＳ３６～Ｓ４０を実行する。

[0069] ステップＳ３６では、ステップＳ３１において選択された特定対象領域とは別の特定対象領域において、制御部１３が、波面歪み補償用の位相パターンに代えて、空間的に非線形な位相パターンを表示させる。同時に、ステップＳ３１において選択された特定対象領域を含む他の領域１１ｂにおいて、制御部１３が、空間的に非線形な位相パターンに代えて、波面歪み補償用の位相パターンを表示させる。

[0070] 次に、ステップＳ３７では、制御部１３が、上記の位相パターンを表示させた状態で、波面センサ１２のイメージセンサ１２２によって作成される光強度分布データを取得する（本変形例における第３検出ステップ）。そして、制御部１３は、第３検出ステップＳ３７において取得された光強度分布データと、第２検出ステップＳ３２において取得された光強度分布データとを

比較する（ステップＳ３８）。制御部１３は、この比較において光強度やスポット径が顕著に変化した集光スポットＰを特定し、その集光スポットＰを、上記別の特定対象領域に対応する集光スポットであると判定する（ステップＳ３９、本実施形態における第２特定ステップ）。その後、制御部１３は、変調面１１ａ上の更に別の特定対象領域について集光スポットとの対応関係を特定する必要があるか否かを判断する（ステップＳ４０）。特定する必要がある場合（ステップＳ４０；Ｙｅｓ）、制御部１３は、上述したステップＳ３６～Ｓ３９を更に別の特定対象領域について繰り返す。なお、ステップＳ３６～Ｓ３９を繰り返す際には、ステップＳ３８において、特定済みの特定対象領域に関してステップＳ３７において得られた光強度分布データと、特定しようとする特定対象領域に関してステップＳ３７において得られた光強度分布データとを比較してもよい。なお、特定する必要がない場合（ステップＳ４０；Ｎｏ）、制御部１３は処理を終了する。

[0071] 本変形例では、上記実施形態の対応関係特定方法に加えて、更に第３検出ステップＳ３７および第２特定ステップＳ３８を備えている。これにより、空間的に非線形な位相パターンを空間光変調器１１の複数の領域１１ｂに順次表示させながら、各領域１１ｂと集光スポットＰとの対応関係を効率良く特定することができる。

[0072] （第２の変形例）上記実施形態の波面計測ステップＳ１２では、ステップＳ２１においてＭ個の集光スポットＰが全て含まれる光強度分布データ（図９（ａ））を取得し、この光強度分布データを使用して波面形状を計測している（ステップＳ２２～Ｓ２５）。しかしながら、対応関係特定ステップＳ１５が既に一回以上行われている場合には、波面計測ステップＳ１２において、対応関係特定ステップＳ１５の第２検出ステップＳ３２において取得された光強度分布データを使用し、波面形状を計測してもよい。この方法によれば、波面計測ステップＳ１２のステップＳ２１を省略することができる。

[0073] 図１８は、本変形例に係る波面計測ステップを示すフローチャートである。図１８に示されるように、制御部１３は、先ず、既に実行された対応関係

特定ステップＳ１５の第２検出ステップＳ３２において取得された光強度分布データ（例えば図９（ｂ）を参照）に含まれる（Ｍ－１）個の集光スポットＰそれぞれの重心を計算することによって、Ｎ個以下の集光スポットＰそれぞれの位置座標を特定する（ステップＳ５１）。続いて、Ｎ個以下の集光スポットＰの評価値を算出し（ステップＳ５２）、各集光スポットＰの位置座標と基準位置との距離（位置ずれ量）を集光スポットＰ毎に算出する（ステップＳ５３）。なお、ステップＳ５２及びＳ５３の詳細は、上記実施形態と同様である。その後、ステップＳ５３において算出された各集光スポットＰの位置ずれ量を波面方程式に適用することにより、波面歪み（収差）を算出する（ステップＳ５４）。

[0074] 本変形例では、第２検出ステップＳ３２において検出された光強度分布データから得られる波面形状に基づいて、波面歪みを補償する。すなわち、本変形例の方法では、空間的に非線形な位相パターンを特定対象領域に表示させた状態で計測された波面形状に基づいて、波面歪みを補償する。この場合、特定対象領域には波面歪み補償用の位相パターンは表示されないが、特定対象領域を空間光変調器１１のＮ個の領域１１ｂのうち僅かな部分に限定することにより、特定対象領域による影響を抑えて波面歪みを十分に補償することができる。また、本変形例では、空間光変調器１１に表示させる位相パターンを算出する際に、計測された波面形状のうち特定対象領域に対応する部分を除いたものを用いてもよい。或いは、計算された波面形状の全部を用い、空間光変調器１１の特定対象領域においては、計測された波面形状に空間的非線形な位相パターンを合成して全体の位相パターンを構成しても良い。

[0075] また、上記実施形態において、波面計測ステップＳ１２とは別に、対応関係の特定（ステップＳ１５）の後、改めて図１８に示された波面計測ステップを行ってもよい。図１９は、そのような場合の補償光学システム１０の動作および波面補償方法を示すフローチャートである。

[0076] 図１９に示される方法では、まず、上記実施形態と同様に、初期処理（ス

テップＳ１１）、波面計測（ステップＳ１２）、及び波面歪み補償用の位相パターンの計算（ステップＳ１３）が行われる。続いて、制御部１３が、変調面１１ａの各領域１１ｂと集光スポットＰとの対応関係の特定を行うか否かの判断を行う（ステップＳ１４）。この対応関係の特定を行う場合（ステップＳ１４；Ｙｅｓ）、制御部１３は、対応関係特定ステップＳ１５（図１２を参照）を行ったのち、図１８に示されたステップＳ５１～Ｓ５４を含む第２の波面計測ステップＳ６１を行う。そして、この第２の波面計測ステップＳ６１において計測された波面歪みに基づいて、波面歪み補償用の位相パターンの計算を再び行う（ステップＳ６２）。

[0077] 制御部１３は、ステップＳ６２において波面歪み補償用の位相パターンの計算を行ったのち、若しくはステップＳ１４において集光スポットＰと領域１１ｂとの対応関係の特定が不要であると判断した場合に、波面補償動作を終了するか否かの指令信号を外部から受け付ける（ステップＳ１６）。この指令信号は、例えば補償光学システム１０を含む装置を操作する者から入力される。そして、終了指令があった場合には（ステップＳ１６；Ｙｅｓ）、終了処理ステップＳ１７を経て終了する。また、終了指令がない場合には（ステップＳ１６；Ｎｏ）、対応関係特定付きの波面歪み補償を実行するか否かを選択し（ステップＳ６３）、実行しない場合には（ステップＳ６３；Ｎｏ）前述したステップＳ１２に移行し、実行する場合には（ステップＳ６３；Ｙｅｓ）前述したステップＳ１５に移行する。

[0078] （第３の変形例）上記実施形態では、図８に示されたように、変調面１１ａにおいて特定対象領域Ｂ２を一つだけ設定しているが、特定対象領域Ｂ２は、一度に複数個設定されてもよい。図２０は、特定対象領域Ｂ２が一度に複数個設定された例を示す図である。なお、図２０において、領域Ｂ１は波面歪み補償用の位相パターンが表示される領域である。図２０に示されるように、本変形例では、互いに隣接しない複数の領域１１ｂが特定対象領域Ｂ２に設定され、空間的に非線形な位相パターンが表示される。

[0079] 本変形例によれば、空間光変調器１１の複数の特定対象領域Ｂ２と複数の

集光スポットＰとの対応関係を一度に特定できるので、対応関係の特定に要する時間を短縮することができる。なお、複数の特定対象領域Ｂ２間の間隔は、光像Ｌ１の収差が大きいほど長く設定されてもよい。また、第２変形例のように対応関係特定ステップＳ１５において取得された光強度分布データを使用して波面形状を計測する場合には、特定対象領域Ｂ２の数が少ないほど、波面形状の計測精度が向上する。

[0080] 本発明の一側面に係る対応関係特定方法、補償光学システム、補償光学システム用プログラム、及び補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体は、上述した実施形態に限られるものではなく、他に様々な変形が可能である。例えば、前述した実施形態および各変形例では、波面センサ１２のレンズアレイ１２０として、図３に示されたように、複数のレンズ１２４が二次元格子状に配列された形態を例示したが、波面センサ１２のレンズアレイはこのような形態に限られない。例えば、図２１に示されるように、レンズアレイ１２０は、正六角形の複数のレンズ１２８が隙間無く並んだハニカム構造を有していてもよい。

産業上の利用可能性

[0081] 本発明の一側面に係る補償光学システムの対応関係特定方法、補償光学システム、補償光学システム用プログラム、及び補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体によれば、部品点数の増加および被計測光の損失の増加を抑制しつつ、波面センサの集光スポットと、その位置に基づいて制御されるべき空間光変調器の変調面上の領域との対応関係を正確に特定して、より大きな波面歪みを精度良く補償することが可能となる。

符号の説明

[0082] １０…補償光学システム、１１…空間光変調器、１１ａ…変調面、１１ｂ…領域、１２…波面センサ、１３…制御部、１３ａ…記憶領域、１４…ビームスプリッタ、１５，１６…リレーレンズ、１７…制御回路部、１８…光検出素子、１２０…レンズアレイ、１２２…イメージセンサ、１２４…レンズ、Ｌ１…光像、Ｐ…集光スポット。

請求の範囲

[請求項1] 二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、前記Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、前記空間光変調器から変調後の前記光像を受ける波面センサとを備え、前記空間光変調器に表示される位相パターンを、前記光強度分布から得られる前記光像の波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する補償光学システムにおいて、前記波面歪みの補償を実行中に、前記空間光変調器の前記領域と、前記波面センサに形成される前記集光スポットとの対応関係を特定する方法であって、

前記空間光変調器の前記Ｎ個の領域のうちの特定対象領域に、波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、前記光検出素子により前記光強度分布を検出する第１検出ステップと、

前記第１検出ステップの前又は後に、空間的に非線形な位相パターンを前記特定対象領域に表示させた状態で、前記光検出素子により前記光強度分布を検出する第２検出ステップと、

前記第１検出ステップと前記第２検出ステップとの間の前記光強度分布の変化に基づいて、前記Ｍ個の集光スポットのうち前記特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第１特定ステップと、

を備える補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項2] 波面歪み補償用の位相パターンを前記特定対象領域に表示させ、空間的に非線形な位相パターンを前記特定対象領域とは別の特定対象領域に表示させた状態で、前記光検出素子により前記光強度分布を検出する第３検出ステップと、

前記第２検出ステップと前記第３検出ステップとの間の前記光強度分布の変化に基づいて、前記別の特定対象領域に対応する集光スポッ

トを特定する第２特定ステップと、

を更に備える請求項１に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項3] 前記第１検出ステップにおいて、前記Ｎ個の領域全てに波面歪み補償用の位相パターンを表示させる請求項１または２に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項4] 前記第２検出ステップにおいて検出された前記光強度分布から得られる前記波面形状に基づいて波面歪みを補償する請求項１～３のいずれか一項に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項5] 前記第２検出ステップにおいて前記特定対象領域に表示される空間的に非線形な位相パターンが、位相の大きさの分布が不規則であるランダム分布を含む請求項１～４のいずれか一項に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項6] 前記第２検出ステップにおいて前記特定対象領域に表示される空間的に非線形な位相パターンが、前記集光スポットを拡径するデフォーカス分布を含む請求項１～４のいずれか一項に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項7] 前記空間光変調器の前記Ｎ個の領域のうち互いに隣接しない複数の領域を前記特定対象領域に設定する請求項１～６のいずれか一項に記載の補償光学システムの対応関係特定方法。

[請求項8] 二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、

前記Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、前記空間光変調器から変調後の前記光像を受ける波面センサと、

前記空間光変調器に表示される位相パターンを、前記光強度分布か

ら得られる前記光像の波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する制御部と、

を備え、

前記制御部が、前記波面歪みの補償を実行中に、前記空間光変調器の前記Ｎ個の領域のうちの特定対象領域に波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で前記光検出素子より第１の前記光強度分布を取得し、空間的に非線形な位相パターンを前記特定対象領域に表示させた状態で前記光検出素子より第２の前記光強度分布を取得し、前記第１の光強度分布と前記第２の光強度分布との間の変化に基づいて、前記Ｍ個の集光スポットのうち前記特定対象領域に対応する集光スポットを特定する補償光学システム。

[請求項9] 二次元状に配列されたＮ個（Ｎは自然数）の領域を含む変調面に入射した光像の位相を空間的に変調する空間光変調器と、前記Ｎ個の領域に各々対応するＮ個のレンズが二次元状に配列されたレンズアレイ、並びに該レンズアレイによって形成されたＭ個（Ｍは自然数であり、Ｍ≦Ｎ）の集光スポットを含む光強度分布を検出する光検出素子を有し、前記空間光変調器から変調後の前記光像を受ける波面センサと、前記空間光変調器に表示される位相パターンを、前記光強度分布から得られる前記光像の波面形状に基づいて制御することにより波面歪みを補償する制御部とを備える補償光学システムにおいて、前記波面歪みの補償を実行中に、前記空間光変調器の前記領域と、前記波面センサに形成される前記集光スポットとの対応関係を前記制御部に特定させるための補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体であって、

前記補償光学システム用プログラムは、

前記空間光変調器の前記Ｎ個の領域のうちの特定対象領域に、波面歪み補償用の位相パターンを表示させた状態で、前記光検出素子により前記光強度分布を検出する第１検出ステップと、

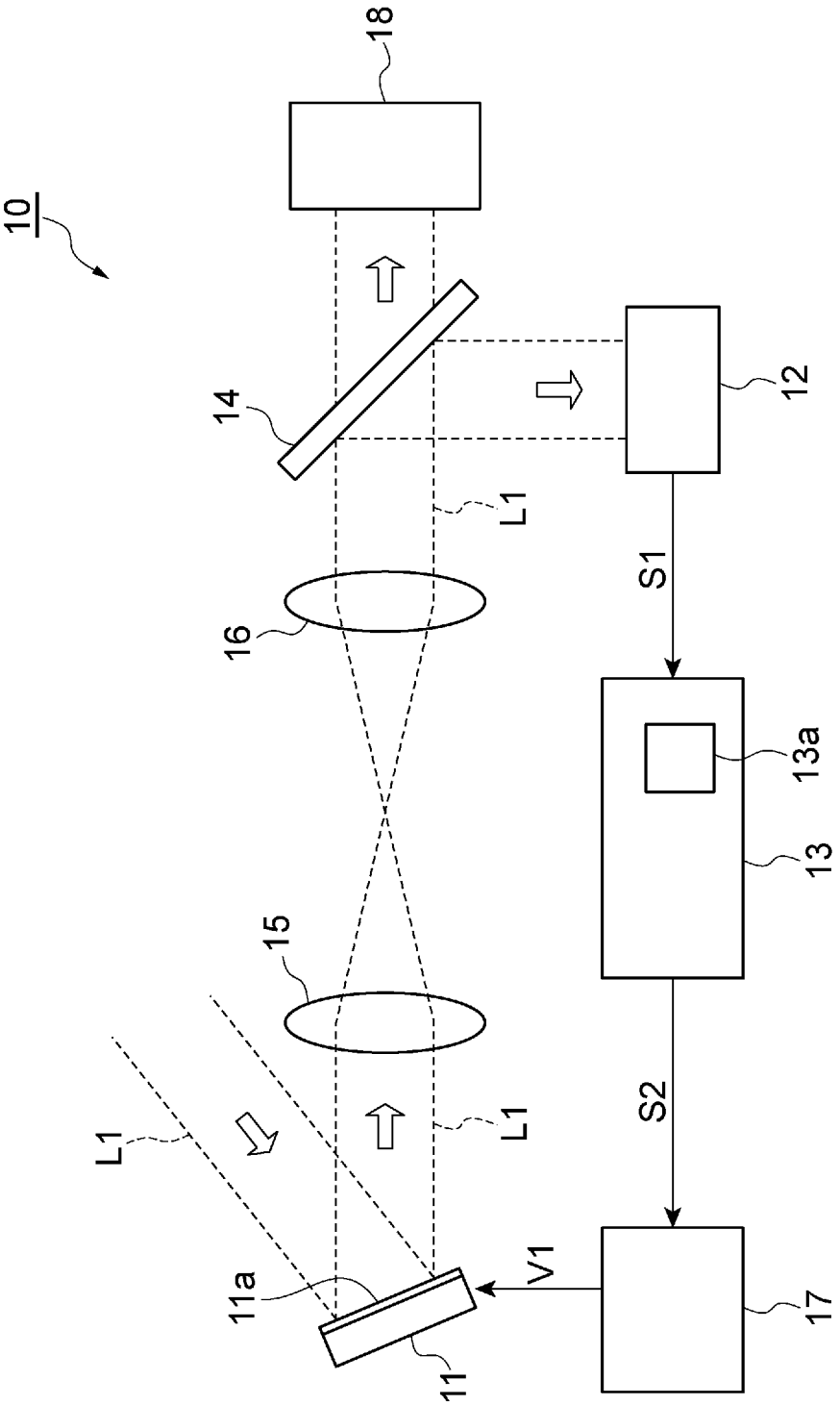
前記第１検出ステップの前又は後に、空間的に非線形な位相パターンを前記特定対象領域に表示させた状態で、前記光検出素子により前記光強度分布を検出する第２検出ステップと、

前記第１検出ステップと前記第２検出ステップとの間の前記光強度分布の変化に基づいて、前記Ｍ個の集光スポットのうち前記特定対象領域に対応する集光スポットを特定する第１特定ステップと、

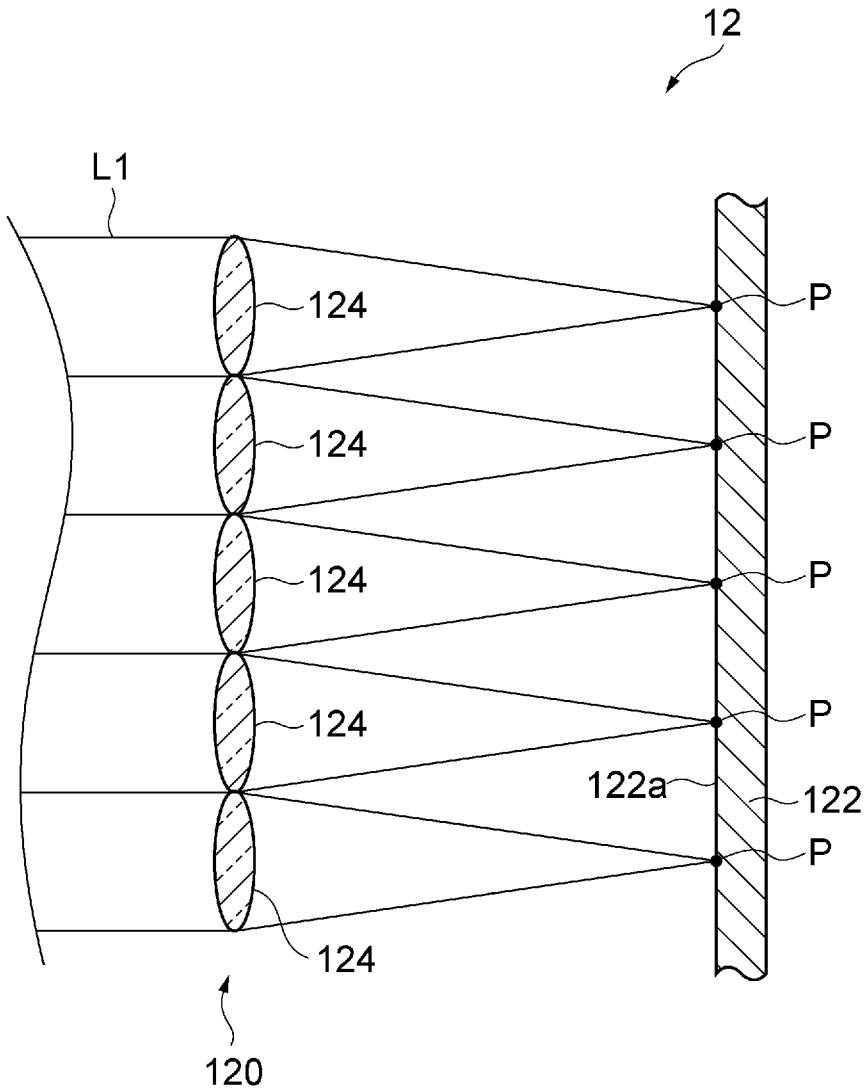
を前記制御部に実行させる、

補償光学システム用プログラムを記憶する記録媒体。

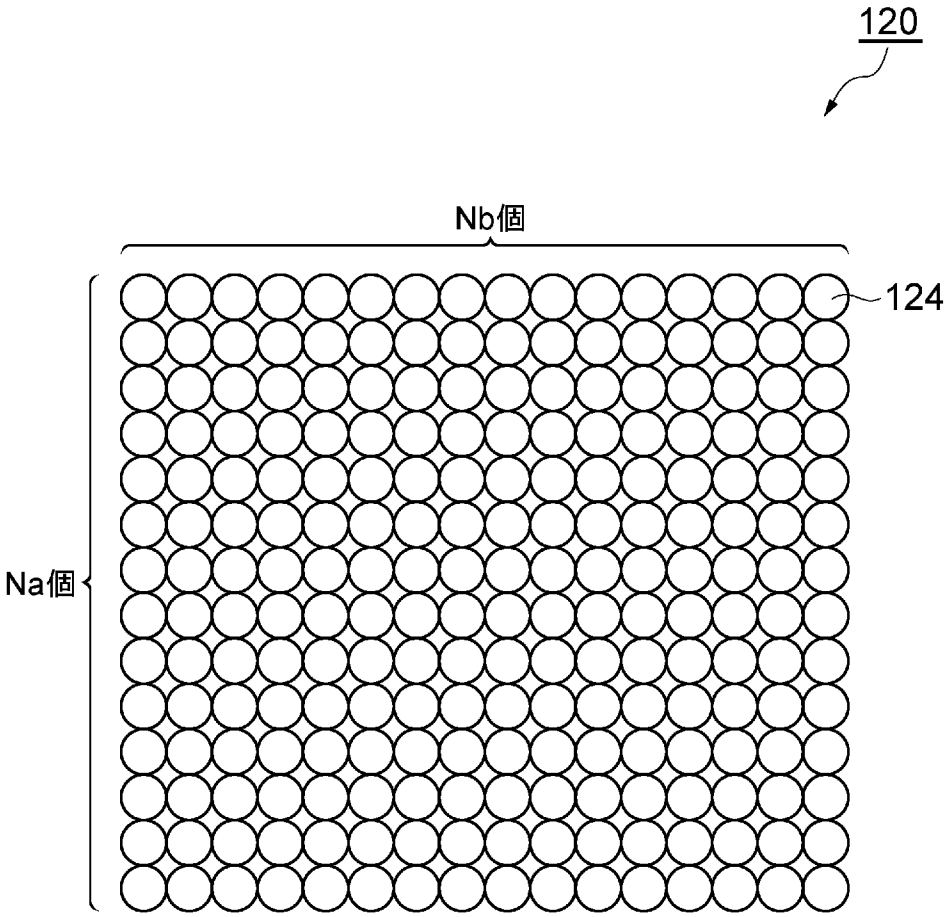
[図1]



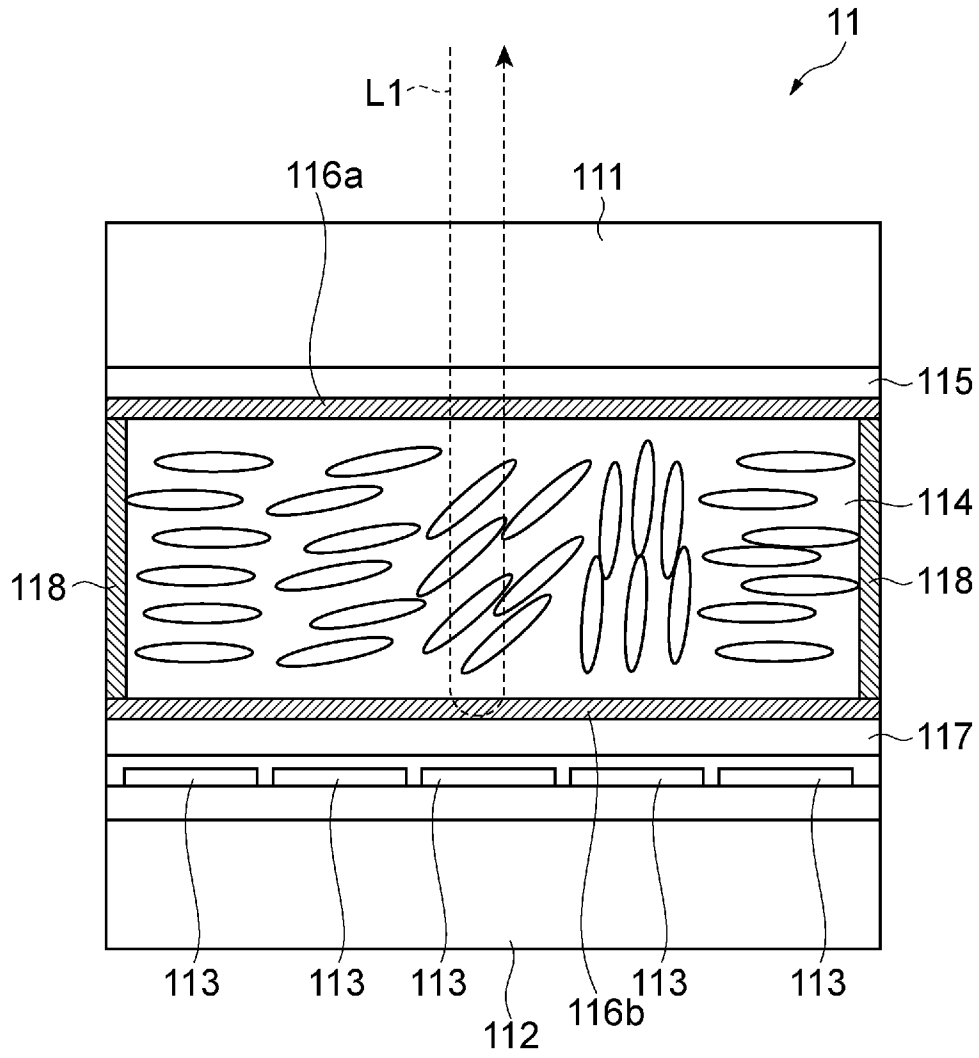
[図2]



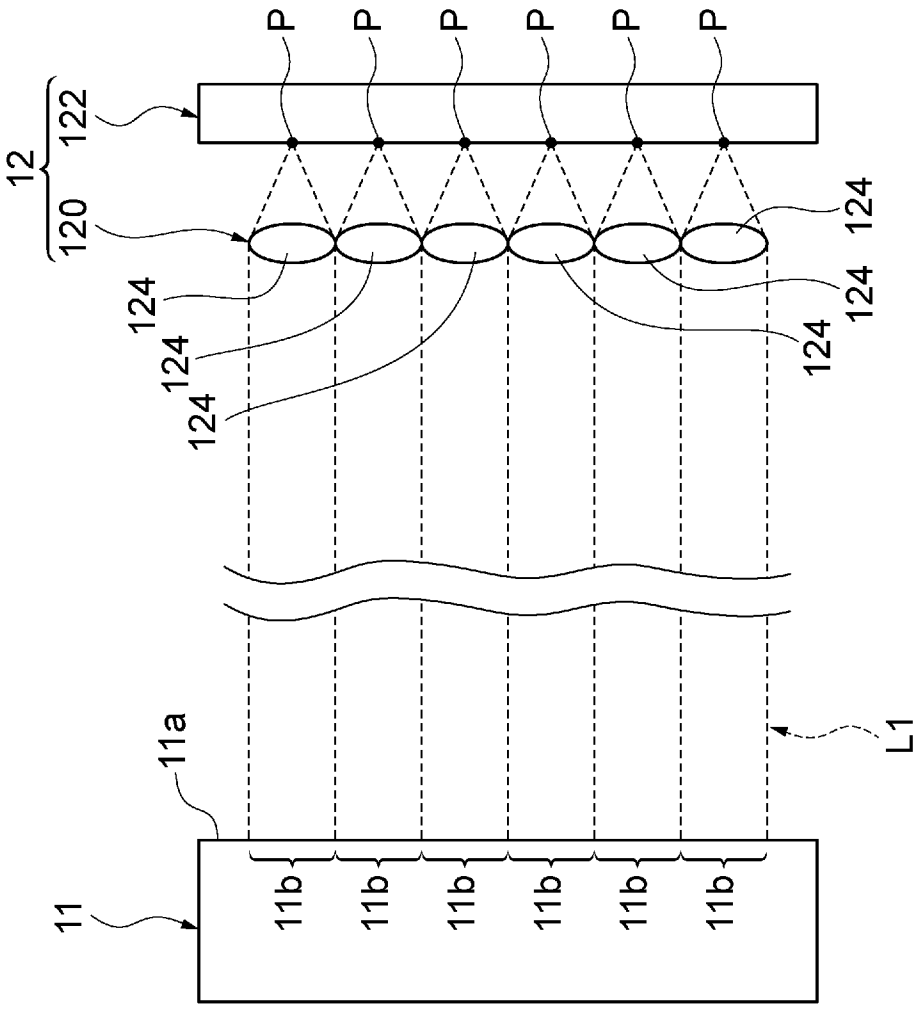
[図3]



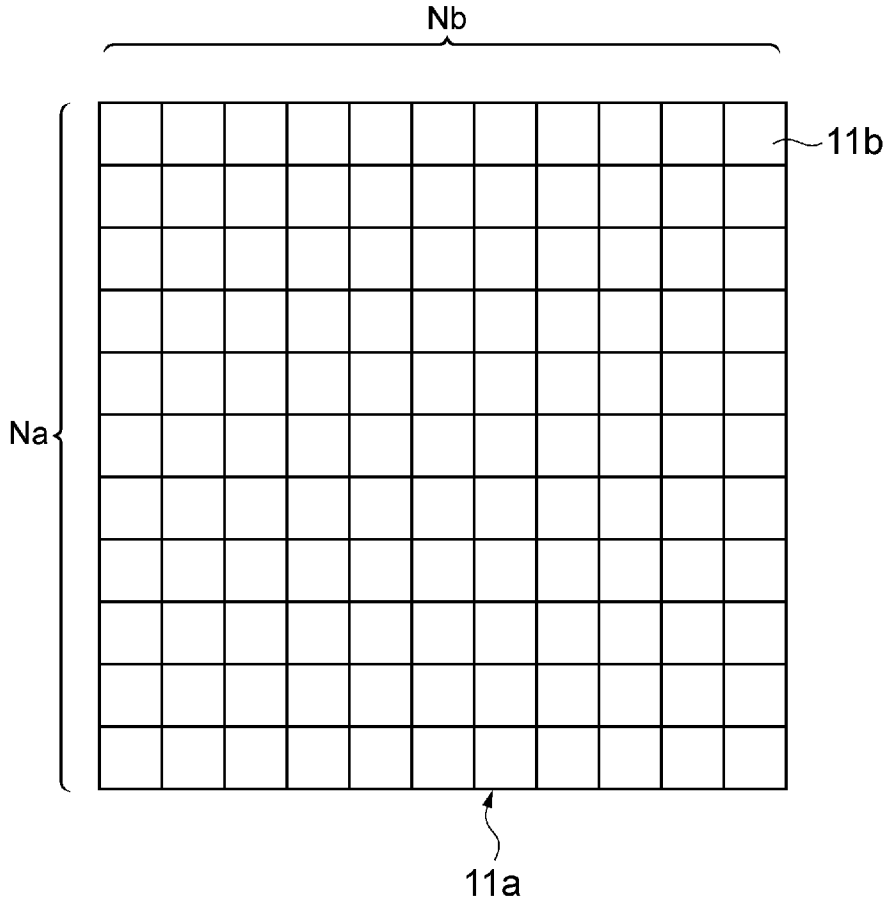
[図4]



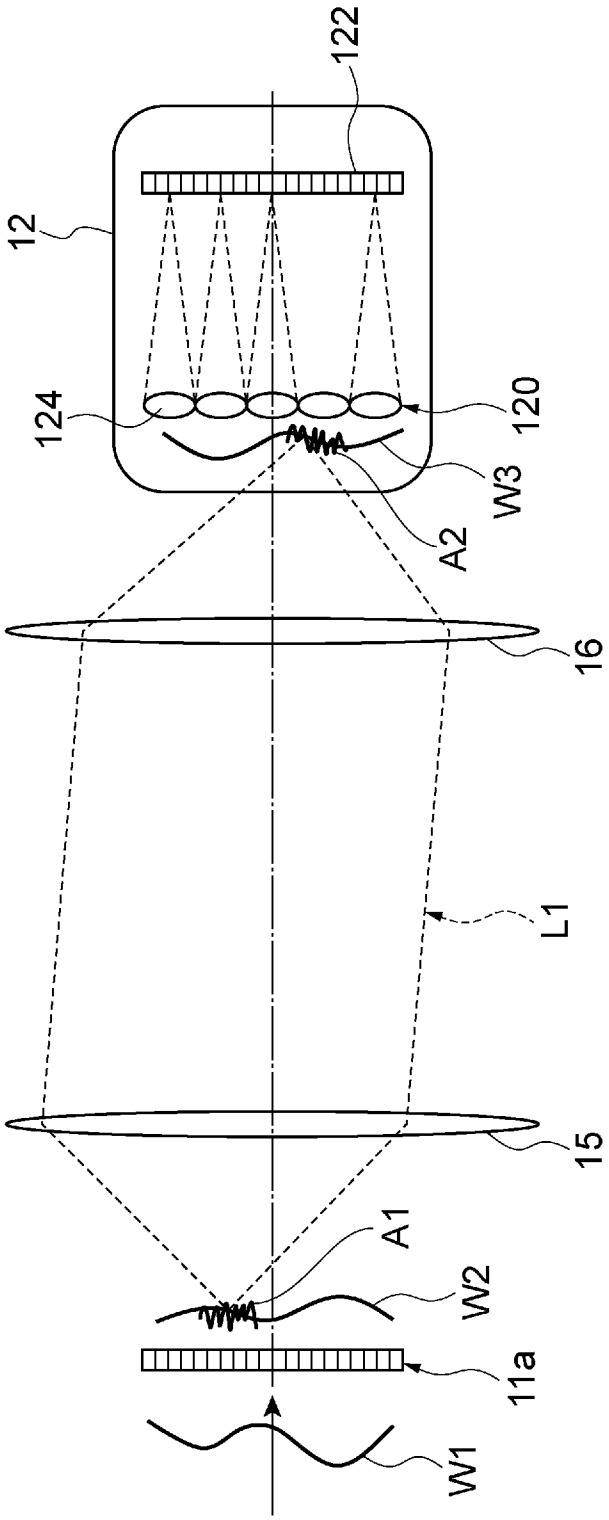
[図5]


P
P
P
P
P
P
12
122
120
124
124
124
124
124
124
11a
L1
11
11b
11b
11b
11b
11b
11b

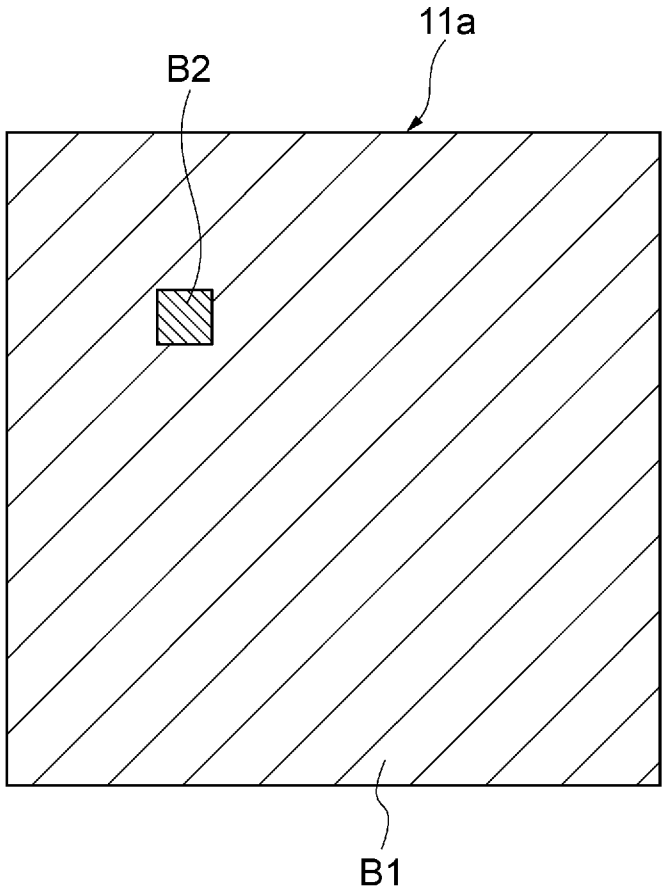
[図6]



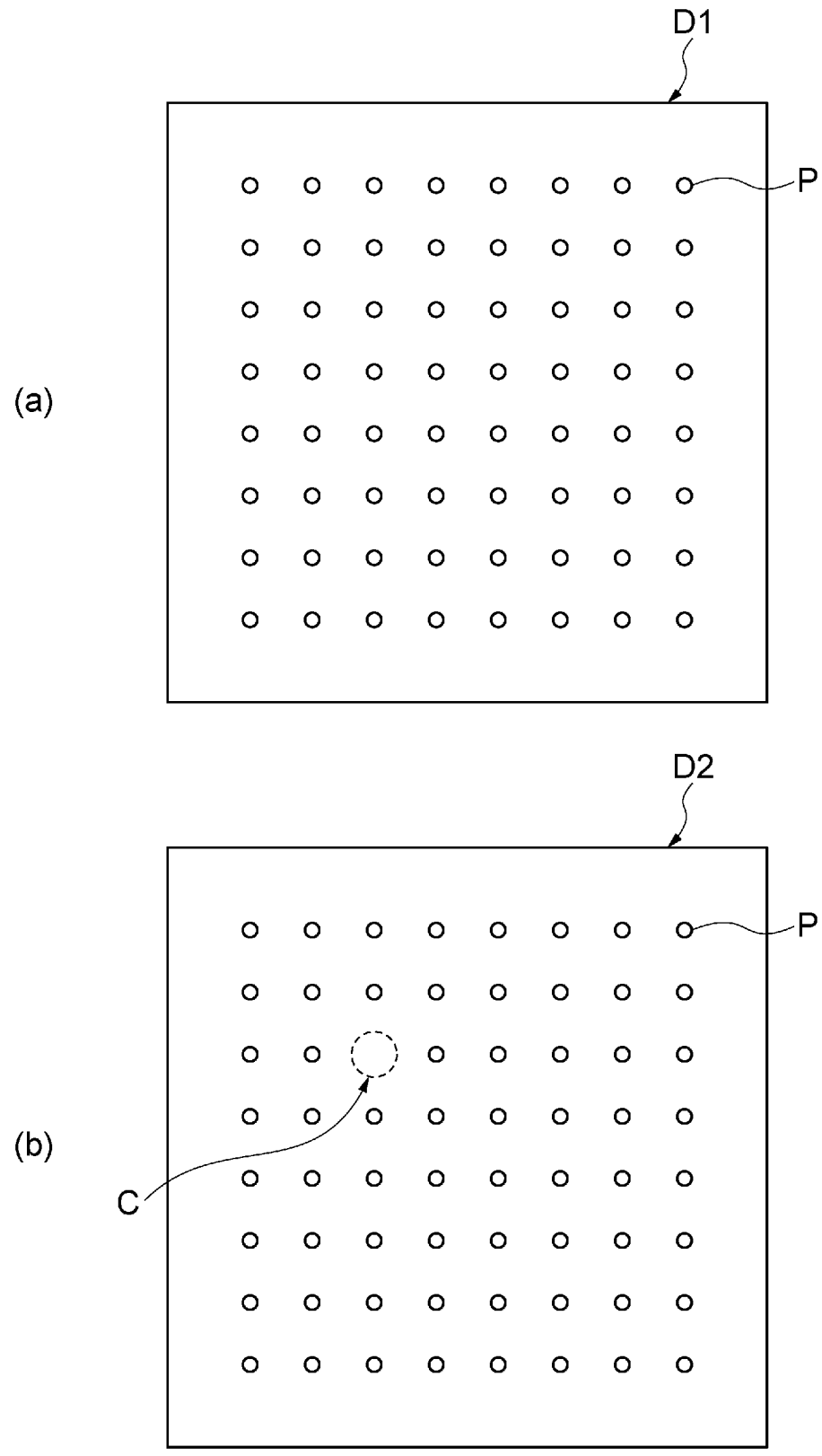
[図7]



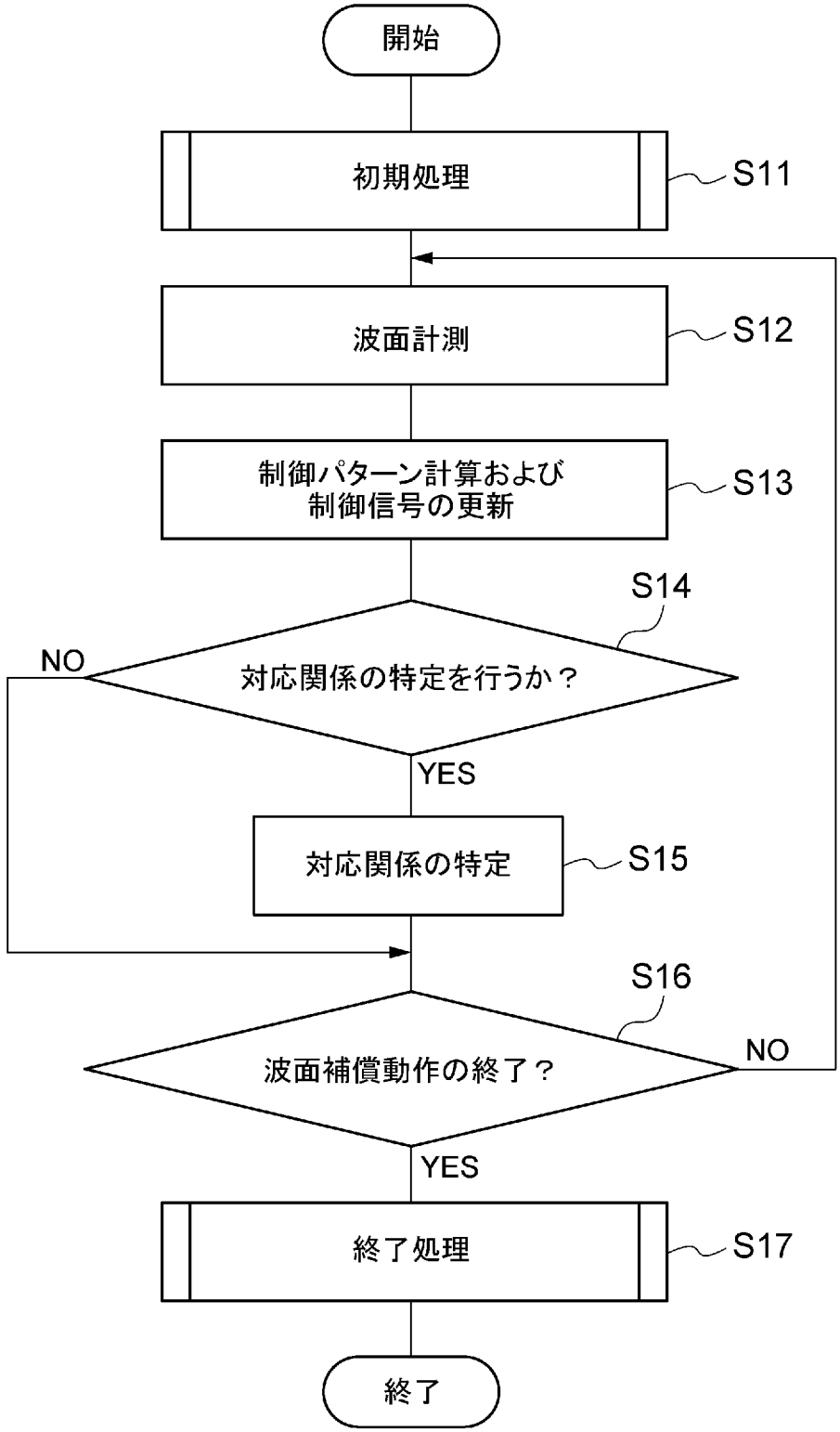
[図8]



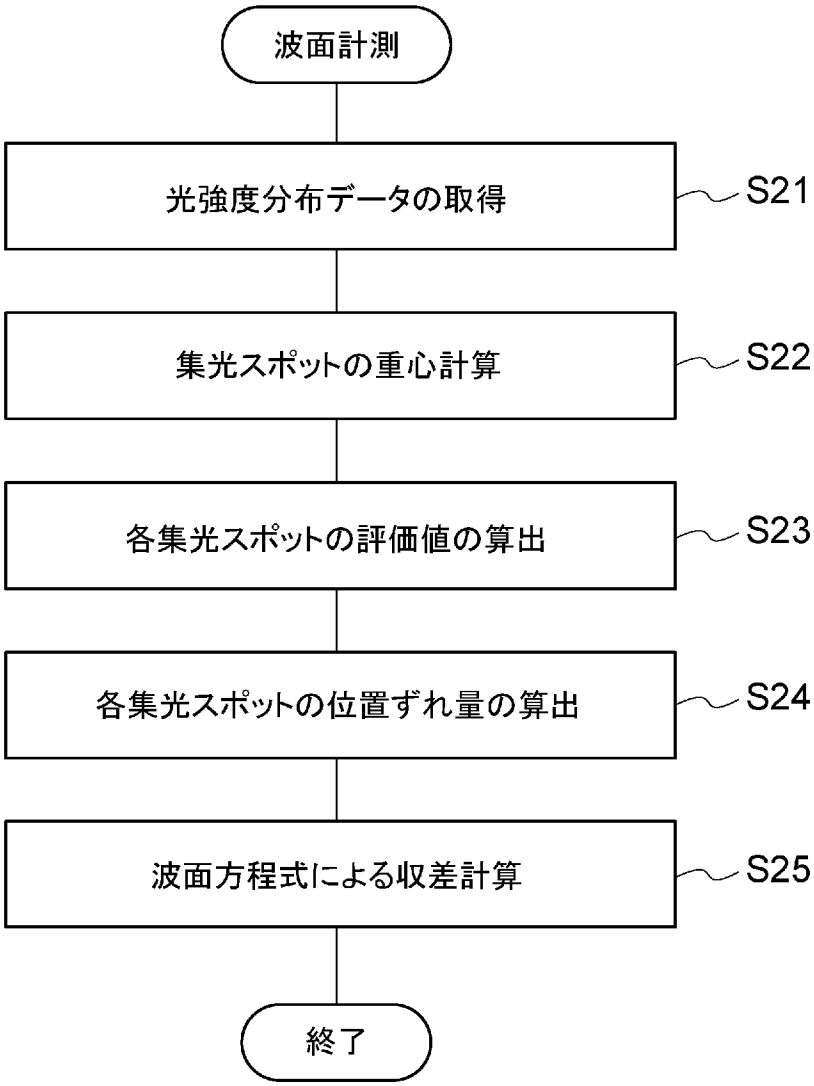
[図9]



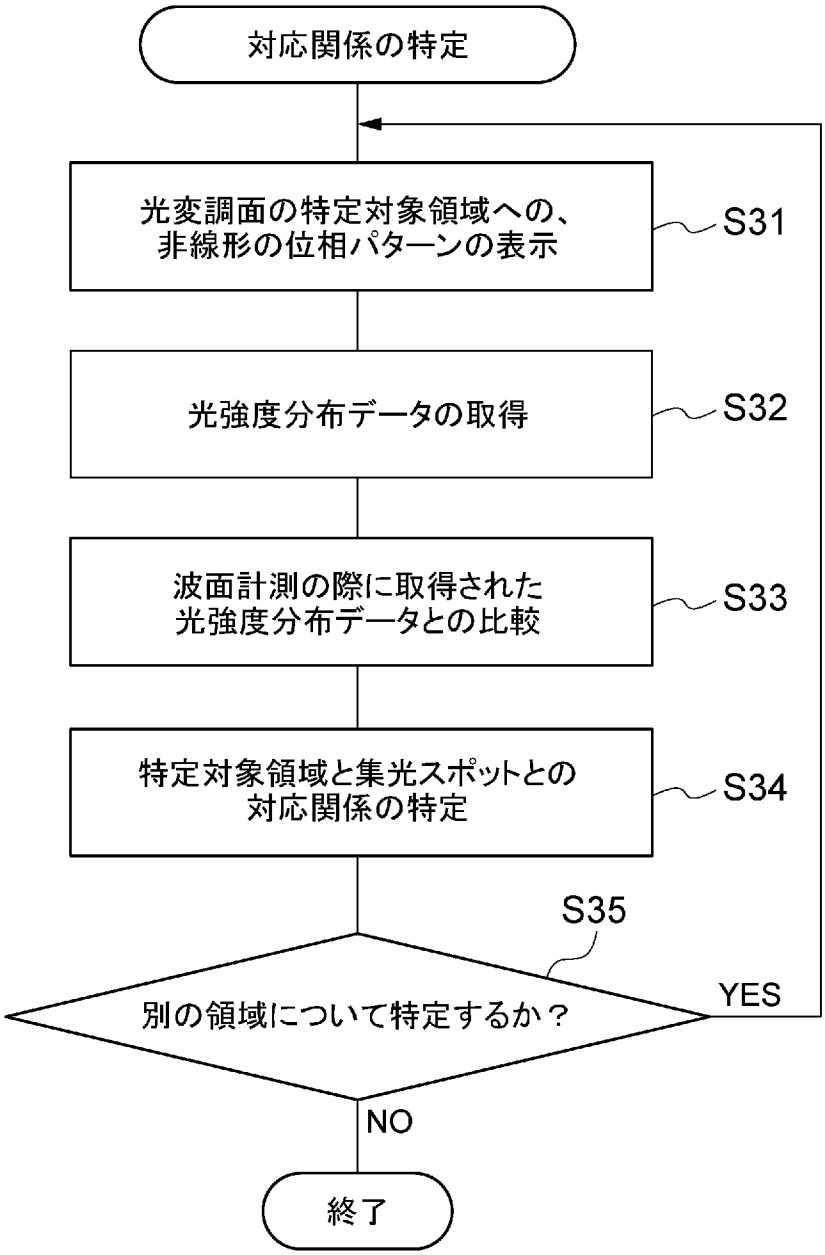
[図10]


開始
初期処理
S11
波面計測
S12
制御パターン計算および
制御信号の更新
S13
S14
対応関係の特定を行うか？
NO
YES
対応関係の特定
S15
S16
波面補償動作の終了？
NO
YES
終了処理
S17
終了

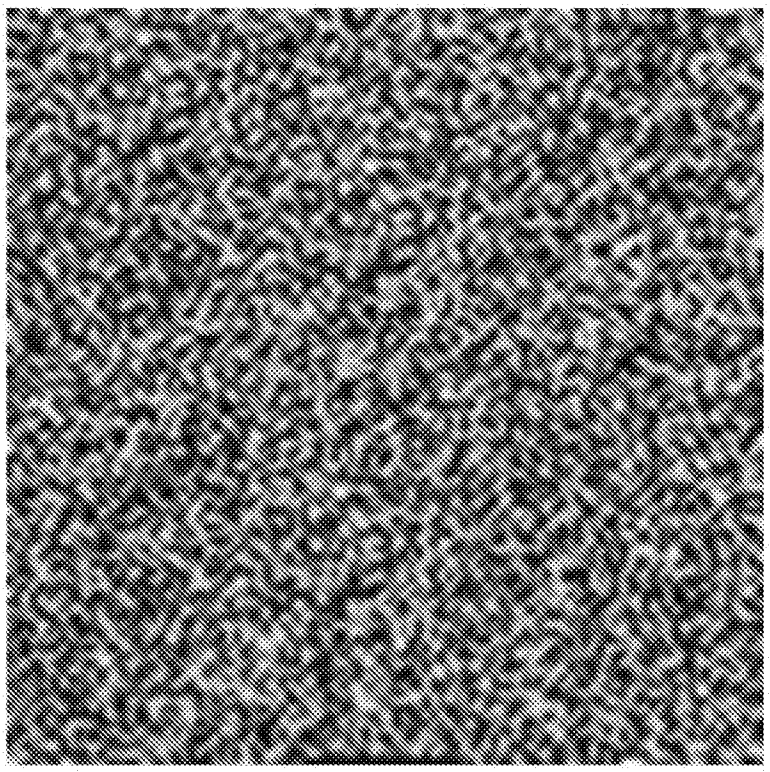
[図11]


波面計測
光強度分布データの取得
S21
集光スポットの重心計算
S22
各集光スポットの評価値の算出
S23
各集光スポットの位置ずれ量の算出
S24
波面方程式による収差計算
S25
終了

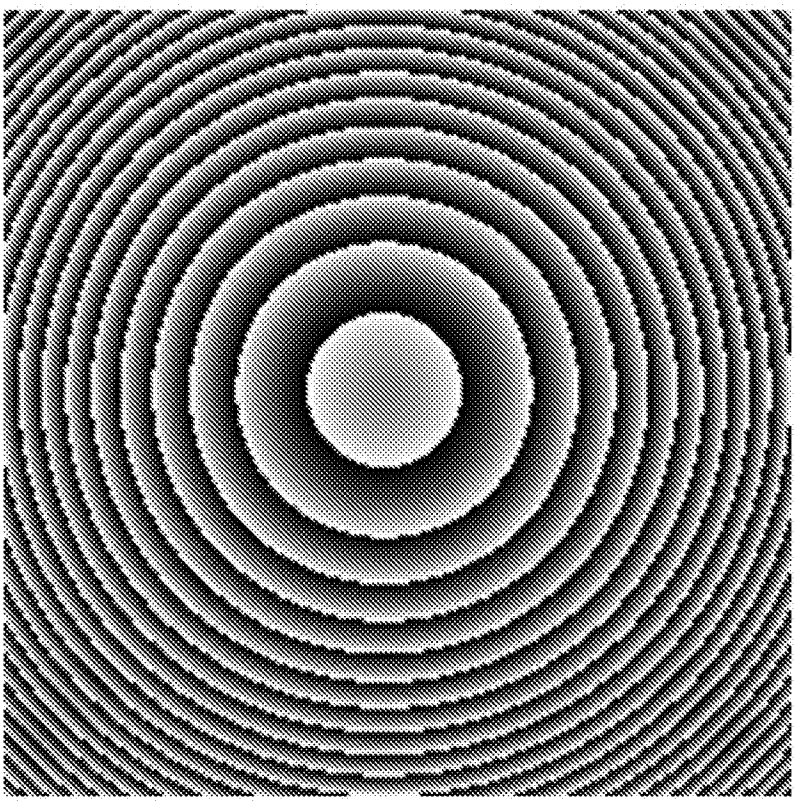
[図12]


対応関係の特定
光変調面の特定対象領域への、
非線形の位相パターンの表示
S31
光強度分布データの取得
S32
波面計測の際に取得された
光強度分布データとの比較
S33
特定対象領域と集光スポットとの
対応関係の特定
S34
S35
別の領域について特定するか？
YES
NO
終了

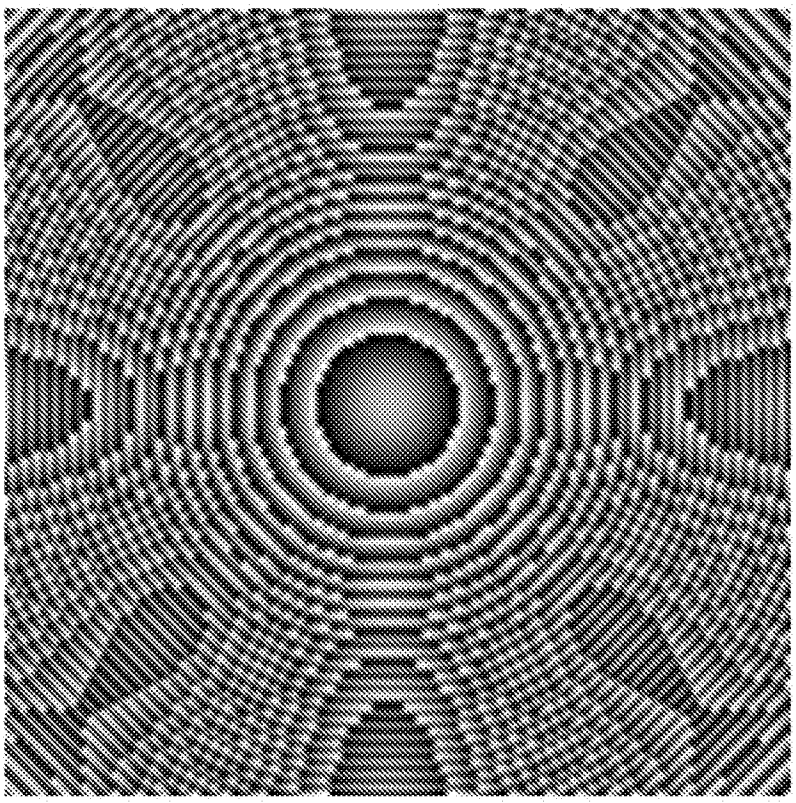
[図13]



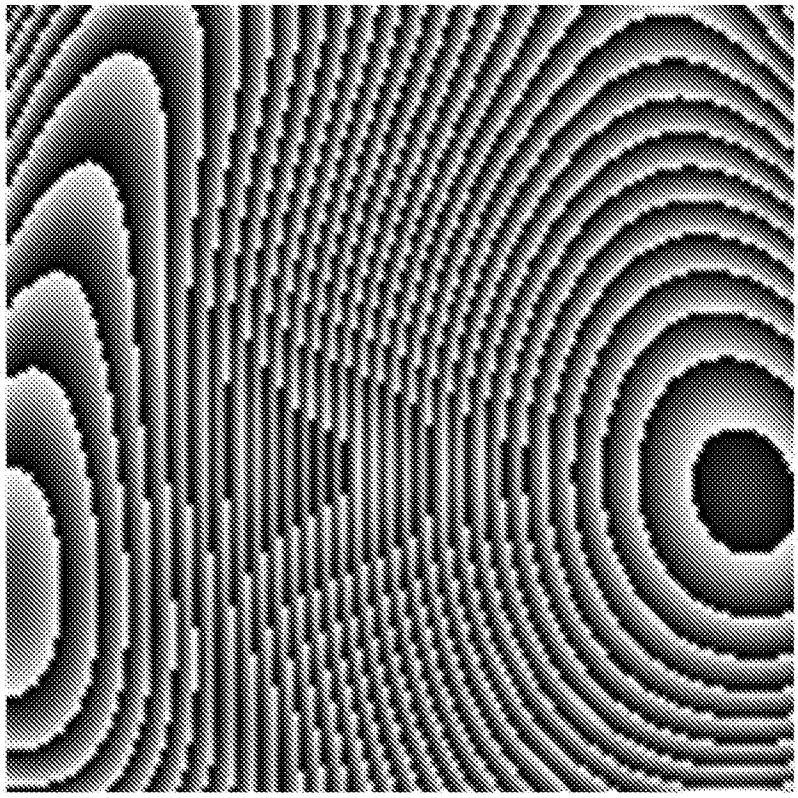
[図14]



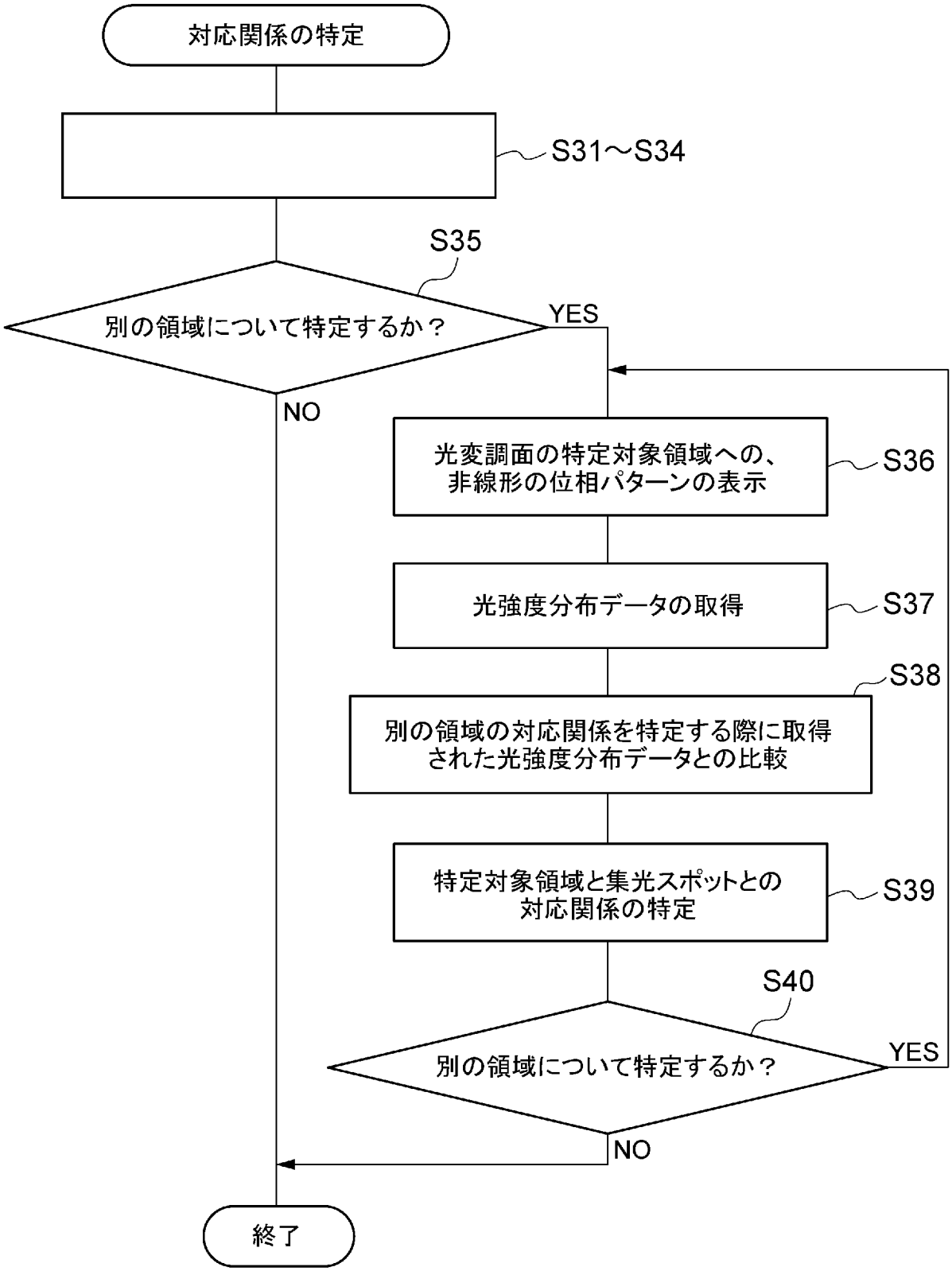
[図15]



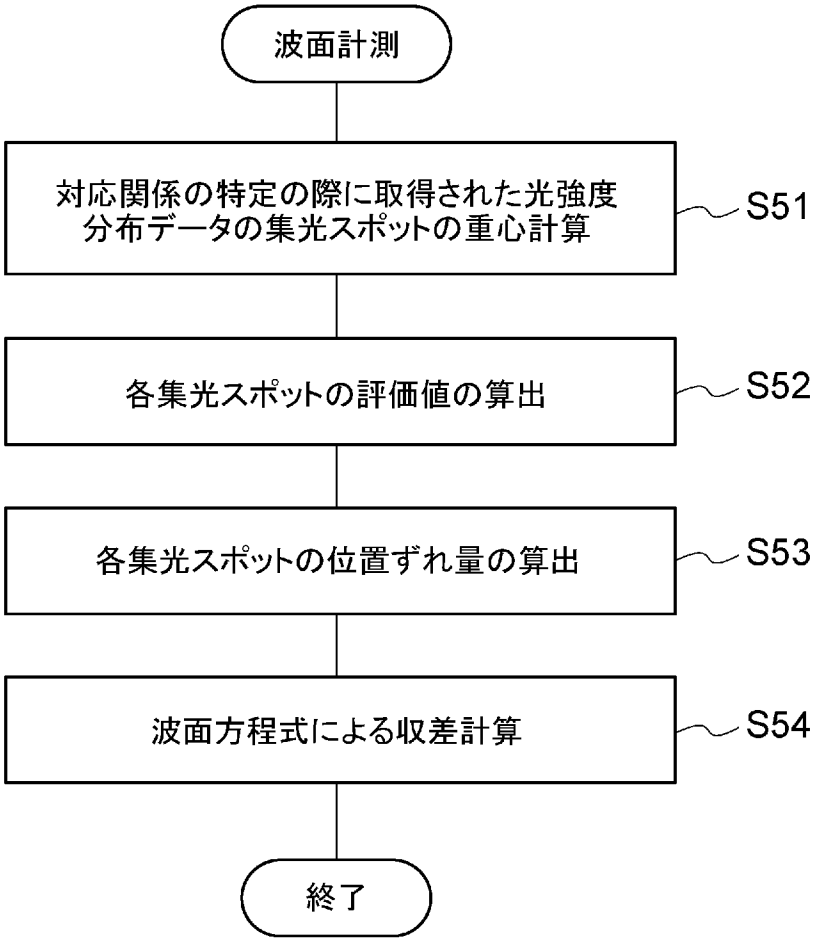
[図16]



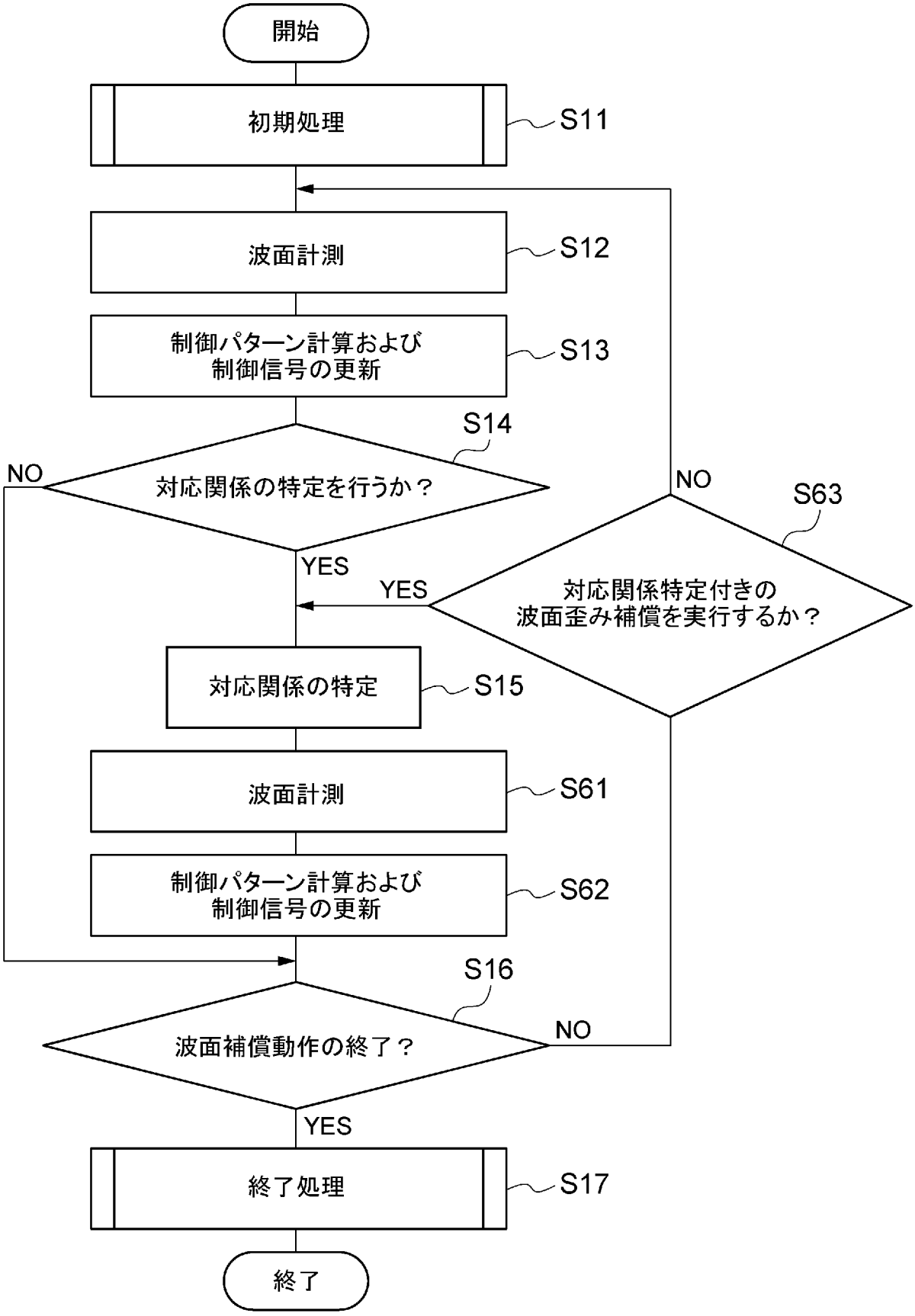
[図17]


対応関係の特定
S31～S34
S35
別の領域について特定するか？
YES
NO
光変調面の特定対象領域への、
非線形の位相パターンの表示
S36
光強度分布データの取得
S37
S38
別の領域の対応関係を特定する際に取得
された光強度分布データとの比較
特定対象領域と集光スポットとの
対応関係の特定
S39
S40
別の領域について特定するか？
YES
NO
終了

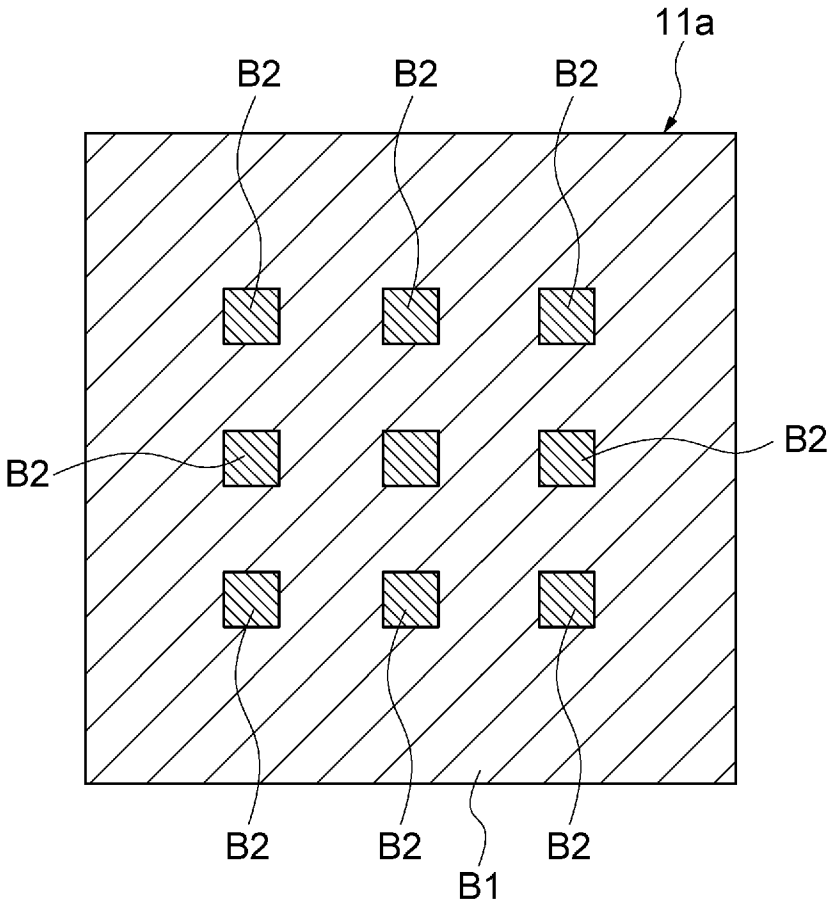
[図18]


波面計測
対応関係の特定の際に取得された光強度分布データの集光スポットの重心計算
S51
各集光スポットの評価値の算出
S52
各集光スポットの位置ずれ量の算出
S53
波面方程式による収差計算
S54
終了

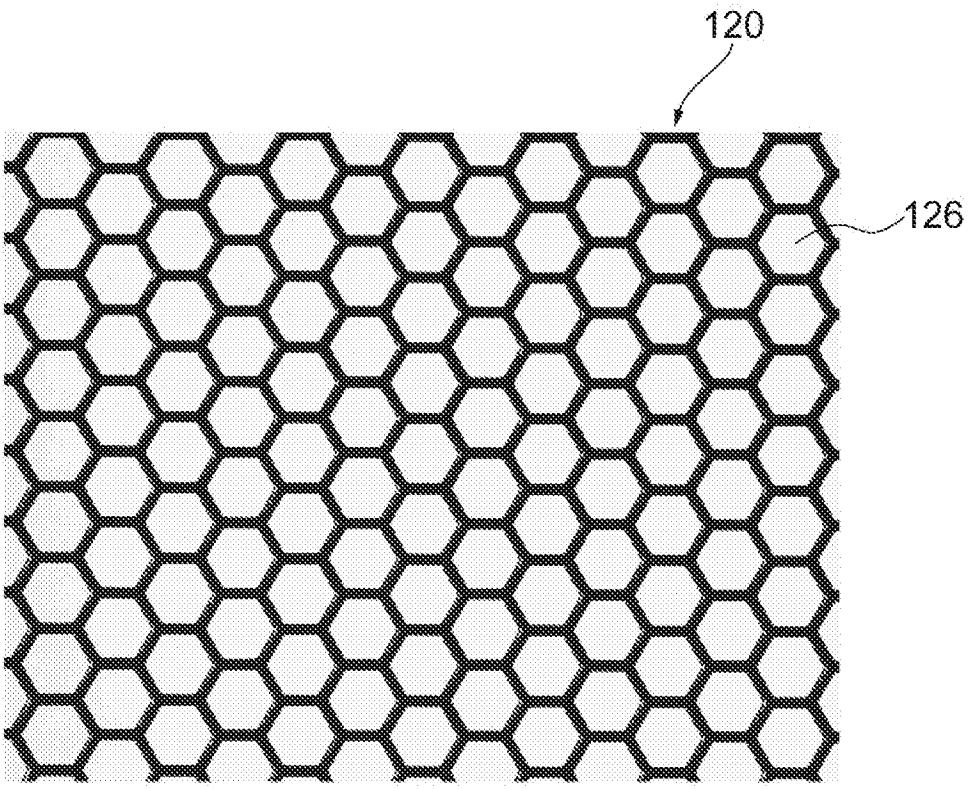
[図19]


開始
初期処理
S11
波面計測
S12
制御パターン計算および
制御信号の更新
S13
S14
対応関係の特定を行うか？
NO
YES
S63
対応関係特定付きの
波面歪み補償を実行するか？
NO
YES
対応関係の特定
S15
波面計測
S61
制御パターン計算および
制御信号の更新
S62
S16
波面補償動作の終了？
NO
YES
終了処理
S17
終了

[図20]

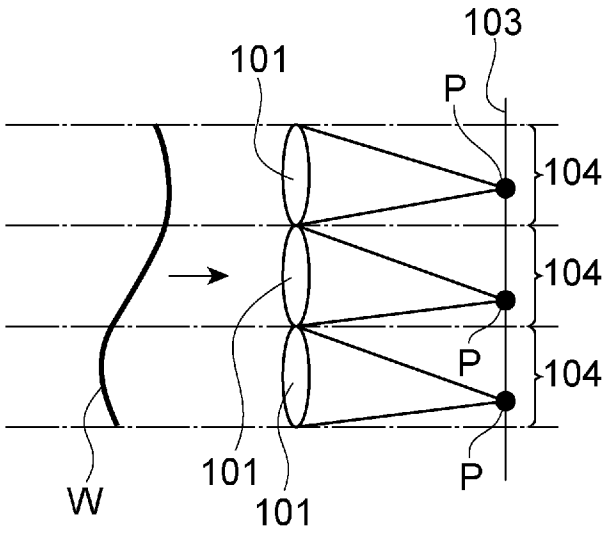


[図21]

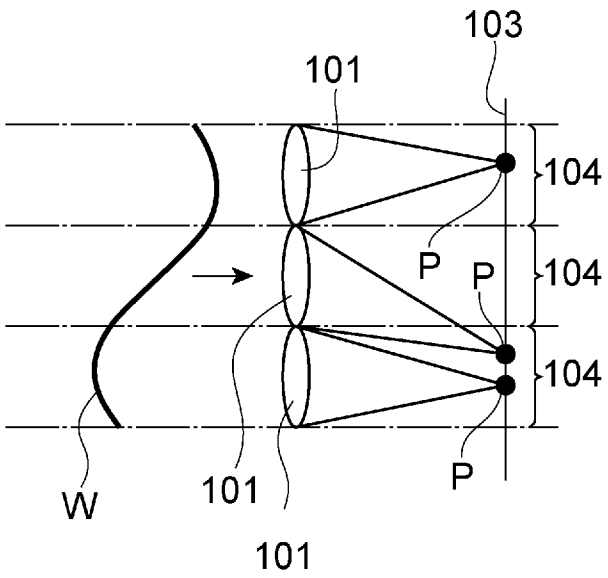


[図22]

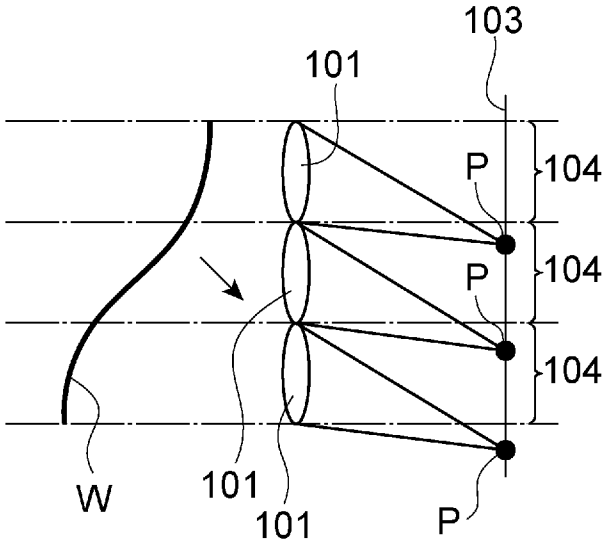
(a)


103
101
P
104
104
104
P
P
W
101
101

(b)


103
101
104
104
104
P
P
P
W
101
101

(c)


103
101
P
104
P
104
104
W
101
101
P

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/064295

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
A61B3/10(2006.01)i, *G01J9/00*(2006.01)i, *G01M11/02*(2006.01)i, *G02F1/01*(2006.01)i

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)
A61B3/10, G01J9/00, G01M11/02, G02F1/01

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-261810 A (Mitsubishi Electric Corp.), 18 November 2010 (18.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2009-162614 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 July 2009 (23.07.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2010-530615 A (ASML Netherlands B.V.), 09 September 2010 (09.09.2010), entire text; all drawings & JP 4991009 B2 & US 2008/0309899 A1 & WO 2008/151848 A1 & CN 101681122 A	1-9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
19 June, 2014 (19.06.14)	01 July, 2014 (01.07.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０６４２９５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　A61B3/10(2006.01)i, G01J9/00(2006.01)i, G01M11/02(2006.01)i, G02F1/01(2006.01)i

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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　A61B3/10, G01J9/00, G01M11/02, G02F1/01

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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）

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamⅢ)

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
A	JP 2010-261810 A (三菱電機株式会社) 2010.11.18, 全文、全図（ファミリーなし）	１－９
A	JP 2009-162614 A (三菱電機株式会社) 2009.07.23, 全文、全図（ファミリーなし）	１－９
A	JP 2010-530615 A (エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．) 2010.09.09, 全文、全図 & JP 4991009 B2 & US 2008/0309899 A1 & WO 2008/151848 A1 & CN 101681122 A	１－９

☐　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	国際調査報告の発送日
１９．０６．２０１４	０１．０７．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
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）　２Ｑ　４４０４
九鬼　一慶
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９２