

(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
2020年2月6日(06.02.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/026432 A1

(51) 国際特許分類:
G01M 11/02 (2006.01) H04N 5/235 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/029221

(22) 国際出願日: 2018年8月3日(03.08.2018)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 鈴木 将 敬 (SUZUKI, Masataka); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 柳

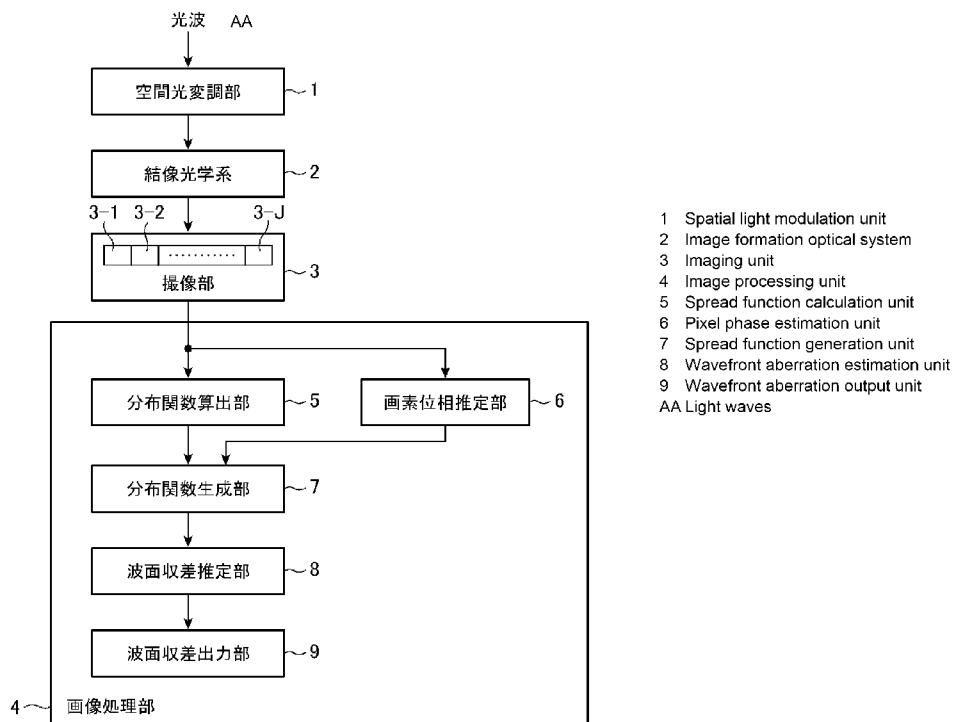
澤 隆行(YANAGISAWA, Takayuki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:田澤 英昭, 外(TAZAWA, Hideaki et al.); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目12番4号 赤坂山王センタービル5階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: OPTICAL SYSTEM EVALUATION DEVICE AND OPTICAL SYSTEM EVALUATION METHOD

(54) 発明の名称: 光学系評価装置及び光学系評価方法



(57) Abstract: This optical system evaluation device comprises a spatial light modulation unit (1) for adding wavefront aberration to the light from a plurality of point light sources, a spread function calculation unit (5) for using electrical signals generated by imaging elements (3-1 to 3-J) to calculate point image spread functions indicating the intensity distributions of point images corresponding to the light from the respective light sources, a pixel phase estimation unit (6) for using the electrical signals generated by the imaging elements (3-1 to 3-J) to estimate point image pixel phases for

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, ST, 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).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the point images corresponding to the light from the respective light sources, and a spread function generation unit (7) for using the point image pixel phases estimated by the pixel phase estimation unit (6) to generate a high-resolution PSF having a higher resolution than the plurality of PSFs calculated by the spread function calculation unit (5). A wavefront aberration estimation unit 8 estimates the wavefront aberration of an image formation optical system on the basis of the high-resolution PSF generated by the spread function generation unit (7).

(57) 要約: 複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加える空間光変調部(1)と、撮像素子(3-1~3-J)により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出する分布関数算出部(5)と、撮像素子(3-1~3-J)により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する画素位相推定部(6)と、画素位相推定部(6)により推定された点像画素位相に基づいて、分布関数算出部(5)により算出された複数のPSFから、複数のPSFよりも分解能が高い高分解能PSFを生成する分布関数生成部(7)と備え、波面収差推定部8が、分布関数生成部(7)により生成された高分解能PSFから、結像光学系の波面収差を推定するように、光学系評価装置を構成した。

明 細 書

発明の名称：光学系評価装置及び光学系評価方法

技術分野

[0001] この発明は、結像光学系の波面収差を推定する光学系評価装置及び光学系評価方法に関するものである。

背景技術

[0002] リモートセンシングに用いられる撮像装置の特性は、振動の影響又は周囲の環境の影響で、変化し易い。

したがって、従来、リモートセンシングに用いられる撮像装置については、その運用中に継続的に高品質の撮像画像を得られるように、随時、撮像装置の特性を補正する処理を行う技術が、知られている。撮像装置の特性を適切に補正するためには、画像を撮影する際の撮像装置の特性を把握する必要がある。撮像装置の特性の把握は、運用中の撮像装置が撮像した画像を評価することによって行われる。

[0003] 結像光学系の波面収差は、撮像装置の特性を評価する指標の1つとして用いられることがある。

撮像装置の特性を評価する指標として、波面収差が用いられる場合、光学系を評価するための装置（以下「光学系評価装置」という。）によって波面収差が測定される。測定された波面収差に基づき、例えば、波面収差が0に近づくように結像光学系が変形されることによって、波面収差による解像度劣化が補償される。

[0004] 以下の非特許文献1には、複数の評価用の光源が既知の間隔で並ぶように、複数の評価用の光源を地上に配置して、上空から複数の光源を撮像し、撮像した画像に含まれている複数の点像から高分解能な点像分布関数（P S F : P o i n t S p r e a d F u n c t i o n）を得る手法が開示されている。

P S F は、複数の評価用の光源から放射されたそれぞれの光に対応する点

像の強度分布を示す関数である。

先行技術文献

非特許文献

- [0005] 非特許文献1：“In-Flight Performance Assessment of Imaging Systems Using The Specular Array Radiometric Calibration (SPARC) Method,” 11th Annual Joint Agency Commercial Imagery Evaluation (JACIE) Workshop (2012)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 非特許文献1に開示されている手法は、複数の評価用の光源を地上に配置して、上空から複数の光源を撮像することを前提とするが、光源の上空に雲が存在する場合、上空からは、複数の光源を撮像することができない。

したがって、非特許文献1に開示されている手法では、推定の実行が天候に左右されるため、波面収差を即応的に推定できないことがあるという課題があった。

- [0007] この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、評価用の光源を地上に配置することなく、結像光学系の波面収差を推定することができる光学系評価装置及び光学系評価方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] この発明に係る光学系評価装置は、複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加える空間光変調部と、空間光変調部により波面収差が加えられたそれぞれの光を結像する結像光学系と、結像光学系により結像されたそれぞれの光を変換して電気信号を生成する複数の撮像素子と、複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出する分布関数算出部と、複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の画素位相を推定する画素位相推定部と、画素位相推定部により推定された画素位相に基づいて、分布

関数算出部により算出された複数の点像分布関数から、複数の点像分布関数よりも分解能が高い高分解能点像分布関数を生成する分布関数生成部と、分布関数生成部により生成された高分解能点像分布関数から、結像光学系の波面収差を推定する波面収差推定部とを備えるようにしたものである。

発明の効果

[0009] この発明によれば、評価用の光源を地上に配置することなく、結像光学系の波面収差を推定することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施の形態1による光学系評価装置を示す構成図である。

[図2]画像処理部4のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

[図3]画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

[図4]画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

[図5]周囲に向かって均等に広がる形状を有する複数の点像、及び、中心対称性が高い形状のPSFを示す説明図である。

[図6]周囲に向かって不均等に広がる形状を有する複数の点像、及び、中心対称性が低い形状のPSFを示す説明図である。

[図7]それぞれの光に対応する点像(1)～(3)、点像強度分布及び撮像素子3-1～3-Jにより生成された電気信号である画素値を示す説明図である。

[図8]点像画素位相と撮像素子の画素値との関係を示す説明図である。

[図9]分布関数生成部7による高分解能PSFの生成処理を示す説明図である。

[図10]実施の形態2による光学系評価装置を示す構成図である。

[図11]画像処理部31のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

[図12]画像処理部31がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、この発明をより詳細に説明するために、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

[0012] 実施の形態 1.

図 1 は、実施の形態 1 による光学系評価装置を示す構成図である。

図 1 において、空間光変調部 1 は、複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加えるものである。ここで、点光源には、それ自体が光を放射する物体、又は、入射してきた光を反射する物体が含まれる。

空間光変調部 1 は、例えば、空間光変調器によって実現される。空間光変調器とは、当該空間変調器に入射した光について、当該光の位相、偏波方向、振幅又は強度などを変調させることが可能な光学素子を有する装置である。

また、空間光変調部 1 は、鏡面の形状を変形可能な形状可変鏡によって実現されるものであってもよい。

また、空間光変調部 1 は、複数の撮像素子について、それぞれの撮像素子の位置をずらすことが可能な焦点位置の調整機構によって実現されるものであってもよい。撮像素子の位置が焦点位置からずれることで、それぞれの光に対応する点像にデフォーカスが与えられ、焦点の合った状態での点像と異なる点像が得られる。

[0013] 結像光学系 2 は、レンズ又はミラーなどによって実現される。

結像光学系 2 は、空間光変調部 1 により波面収差が加えられたそれぞれの光を複数の撮像素子 3-1 ~ 3-J の結像面に結像する。J は、2 以上の整数である。

撮像部 3 は、複数の撮像素子 3-1 ~ 3-J を有している。撮像素子 3-1 ~ 3-J は、結像光学系 2 により、当該撮像素子 3-1 ~ 3-J の結像面に結像された光を変換して電気信号を生成する。撮像素子 3-1 ~ 3-J は、生成した電気信号を後述する分布関数算出部 5 及び後述する画素位相推定部 6 のそれぞれに出力する。

[0014] 画像処理部 4 は、分布関数算出部 5、画素位相推定部 6、分布関数生成部 7、波面収差推定部 8 及び波面収差出力部 9 を備えている。

画像処理部 4 は、撮像部 3 の撮像素子 $3-1 \sim 3-J$ により生成された電気信号を解析して、結像光学系 2 の波面収差を推定する処理を実施する。

図 2 は、画像処理部 4 のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

[0015] 分布関数算出部 5 は、例えば、図 2 に示す分布関数算出回路 11 によって実現される。

分布関数算出部 5 は、撮像素子 $3-1 \sim 3-J$ により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数 (PSF: Point Spread Function) を算出する。以下、複数の光のそれぞれに対応する複数の点像のそれぞれについて算出された、複数の点像分布関数を、単に「複数の PSF」という。

分布関数算出部 5 は、算出した複数の PSF を分布関数生成部 7 に出力する。

[0016] 画素位相推定部 6 は、例えば、図 2 に示す画素位相推定回路 12 によって実現される。

画素位相推定部 6 は、撮像素子 $3-1 \sim 3-J$ により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の画素位相（以下「点像画素位相」という。）を推定する。以下、複数の光のそれぞれに対応する複数の点像のそれぞれについて推定された、複数の点像画素位相を、単に「複数の点像画素位相」という。

画素位相推定部 6 は、推定した複数の点像画素位相を分布関数生成部 7 に出力する。

[0017] 分布関数生成部 7 は、例えば、図 2 に示す分布関数生成回路 13 によって実現される。

分布関数生成部 7 は、画素位相推定部 6 により推定された複数の点像画素位相に基づいて、分布関数算出部 5 により算出された複数の PSF から、当該複数の PSF のそれぞれよりも分解能が高い PSF（以下「高分解能 PSF

F」 という。) を生成する。

分布関数生成部 7 は、生成した高分解能 P S F を波面収差推定部 8 に出力する。

[0018] 波面収差推定部 8 は、例えば、図 2 に示す波面収差推定回路 1 4 によって実現される。

波面収差推定部 8 は、分布関数生成部 7 により生成された高分解能 P S F から、結像光学系 2 の波面収差を推定する。

波面収差推定部 8 は、推定した結像光学系 2 の波面収差を波面収差出力部 9 に出力する。

[0019] 波面収差出力部 9 は、例えば、図 2 に示す波面収差出力回路 1 5 によって実現される。

波面収差出力部 9 は、波面収差推定部 8 により推定された波面収差を外部の記憶装置などに格納する。

また、波面収差出力部 9 は、波面収差推定部 8 により推定された波面収差を示す画像又は波面収差を示す係数などを図示しないディスプレイ等の出力装置に出力する。

[0020] 図 1 では、画像処理部 4 の構成要素である分布関数算出部 5、画素位相推定部 6、分布関数生成部 7、波面収差推定部 8 及び波面収差出力部 9 のそれぞれが、図 2 に示すような専用のハードウェアで実現されるものを想定している。即ち、画像処理部 4 が、分布関数算出回路 1 1、画素位相推定回路 1 2、分布関数生成回路 1 3、波面収差推定回路 1 4 及び波面収差出力回路 1 5 で実現されるものを想定している。

ここで、分布関数算出回路 1 1、画素位相推定回路 1 2、分布関数生成回路 1 3、波面収差推定回路 1 4 及び波面収差出力回路 1 5 のそれぞれは、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、A S I C (A p p l i c a t i o n S p e c i f i c I n t e g r a t e d C i r c u i t)、F P G A (F i e l d - P r o g r a m m a b l e G a t e A r r a y)、又は、これらを組み合わせ

せたものが該当する。

[0021] 画像処理部4の構成要素は、専用のハードウェアで実現されるものに限るものではなく、画像処理部4がソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせで実現されるものであってもよい。

ソフトウェア又はファームウェアは、プログラムとして、コンピュータのメモリに格納される。コンピュータは、プログラムを実行するハードウェアを意味し、例えば、CPU (Central Processing Unit)、中央処理装置、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、プロセッサ、あるいは、DSP (Digital Signal Processor) が該当する。

[0022] 図3は、画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合のコンピュータのハードウェア構成図である。

画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合、分布関数算出部5、画素位相推定部6、分布関数生成部7、波面収差推定部8及び波面収差出力部9の処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムがメモリ22に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ21がメモリ22に格納されているプログラムを実行する。

図4は、画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

[0023] また、図2では、画像処理部4の構成要素のそれぞれが専用のハードウェアで実現される例を示し、図3では、画像処理部4がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される例を示している。しかし、これは一例に過ぎず、画像処理部4における一部の構成要素が専用のハードウェアで実現され、残りの構成要素がソフトウェア又はファームウェアなどで実現されるものであってもよい。

[0024] 次に、図1に示す光学系評価装置の動作について説明する。

空間光変調部1に入射する光は、複数の点光源のそれぞれによって放射又

は反射された光である。

複数の点光源は、地球から遠方に存在する多数の星又は夜間の都市部における多数の灯などでよい。

図 1 に示す光学系評価装置が例えば人工衛星に搭載されている場合、撮像部 3 は、天候に左右されずに、多数の星を撮像することが可能である。

地球から遠方に存在する星の見込み角は、撮像部 3 の瞬時視野角よりも十分小さいため、地球から遠方に存在する星は、点光源とみなすことが可能である。

撮像部 3 が、夜間の都市部における多数の灯などを撮像する場合、ある都市部の上空に雲が存在しているために、その都市部における多数の灯などを撮像できないことがある。しかし、光学系評価装置を搭載している人工衛星が、軌道上を周回しているときには、撮像部 3 が、上空に雲が存在している都市部とは別の、雲が存在していない都市部の灯などを撮像してもよいので、地上に配置されている複数の評価用の光源を撮像する場合よりも、撮像機会が増えて、天候の影響が小さくなる。

[0025] 空間光変調部 1 は、複数の点光源からの光が入射すると、入射したそれぞれの光に波面収差を加える。

空間光変調部 1 によりそれぞれの光に加えられる波面収差は、図 5 に示すように、それぞれの光に対応する点像を周囲に向かって均等に広がる形状とするような波面収差である。

即ち、空間光変調部 1 は、撮像素子 3-1 ~ 3-J の結像面における点像強度分布の座標に対する点像強度の変化がなだらかになるように、それぞれの光に対応する点像にデフォーカスを与える。あるいは、空間光変調部 1 は、中心対称性が高い 3 次の非点収差をそれぞれの光に対応する点像に与える。

図 5 は、いずれも周囲に向かって均等に広がる形状を有する複数の点像、及び、中心対称性が高い形状の P S F を示す説明図である。

図 6 は、いずれも周囲に向かって不均等に広がる形状を有する複数の点像

、及び、中心対称性が低い形状のPSFを示す説明図である。

図5及び図6の内容については後述する。

[0026] 結像光学系2は、空間光変調部1により波面収差が加えられたそれぞれの光が入射すると、それぞれの光を撮像素子3-1～3-Jの結像面に結像させる。

撮像素子3-1～3-Jは、結像光学系2により結像されたそれぞれの光を変換して電気信号を生成する。

撮像部3は、撮像素子3-1～3-Jにより生成された電気信号を分布関数算出部5及び画素位相推定部6のそれぞれに出力する。

図7は、それぞれの光に対応する点像(1)～(3)、点像強度分布及び撮像素子3-1～3-Jにより生成された電気信号である画素値を示す説明図である。

図7は、図面の簡単化のため、撮像素子3-1～3-Jが1次元に配置されているような態様を図示している。しかし、実際には、撮像素子3-1～3-Jは、2次元に配置されている。

図7は、 $J=14$ である例を示しており、同図7には、14個の撮像素子3-1～3-14が表記されている。

また、図7は、光の数が3個である例を示しており、同図7には、3個の点像(1)～(3)が表記されている。

[0027] 点像(1)は、撮像素子3-2～3-4の結像面に結像されている。点像(1)の中心位置が、概ね撮像素子3-3の中心位置と一致しているため、点像(1)の大部分が撮像素子3-3の結像面に結像されている。

したがって、撮像素子3-3の画素値が、撮像素子3-2及び撮像素子3-4におけるそれぞれの画素値と比べて大きい。撮像素子3-2の画素値及び撮像素子3-4の画素値は、ほぼ同じである。

点像(2)は、撮像素子3-7～3-9の結像面に結像されている。点像(2)の中心位置は、撮像素子3-8の結像面内に存在しているが、撮像素子3-8の中心位置よりも図中右側に少しだけずれている。点像(2)につ

いても、その大部分は、撮像素子 3-8 の結像面に結像されている。しかし、点像 (2) の中心位置が、撮像素子 3-8 の中心位置よりも右側に少しだけずれているため、点像 (2) の中心位置が撮像素子 3-8 の中心位置と一致する場合と比べて、点像 (2) のより多くの部分が、撮像素子 3-9 の結像面にも結像される。

したがって、撮像素子 3-8 の画素値は、撮像素子 3-7 及び撮像素子 3-9 におけるそれぞれの画素値のいずれと比べても大きく、かつ、撮像素子 3-9 の画素値は、撮像素子 3-8 の画素値よりは小さいが、撮像素子 3-7 の画素値よりは大きい。

[0028] 点像 (3) は、撮像素子 3-11 ~ 3-14 の結像面に結像されている。点像 (3) の中心位置は、撮像素子 3-12 の結像面内に存在しているが、撮像素子 3-12 の中心位置よりも図中右側に大きくずれている。点像 (3) の中心位置が、撮像素子 3-12 の中心位置よりも右側に大きくずれているため、点像 (3) の大部分が撮像素子 3-12 及び撮像素子 3-13 におけるそれぞれの結像面に結像されている。

したがって、撮像素子 3-11 ~ 3-14 の画素値の中で、撮像素子 3-12 の画素値が最も大きく、次に、撮像素子 3-13 の画素値が大きい。ただし、撮像素子 3-12 の画素値と撮像素子 3-13 の画素値との差は少ない。

撮像素子 3-11 及び撮像素子 3-14 におけるそれぞれの画素値は、撮像素子 3-12 及び撮像素子 3-13 のいずれの画素値よりも小さい。

[0029] 分布関数算出部 5 は、撮像素子 3-1 ~ 3-14 から電気信号を受けると、電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す P S F を算出する (図 4 のステップ S T 1)。

図 7 に示すように、3 個の点像 (1) ~ (3) がある場合、点像 (1) の強度分布を示す P S F は、撮像素子 3-2 ~ 3-4 の画素値の系列によって表される。

点像 (2) の強度分布を示す P S F は、撮像素子 3-7 ~ 3-9 の画素値

の系列によって表され、点像（３）の強度分布を示す P S F は、撮像素子 3-11 ~ 3-14 の画素値の系列によって表される。

分布関数算出部 5 は、それぞれの光に対応する P S F を分布関数生成部 7 に出力する。

[0030] 画素位相推定部 6 は、撮像素子 3-1 ~ 3-14 から電気信号を受けると、電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定し、それぞれの点像画素位相を分布関数生成部 7 に出力する（図 4 のステップ S T 2）。

画素位相推定部 6 が点像画素位相を推定している理由は、複数の点光源が等間隔に並んでいなくても、後述する分布関数生成部 7 が、高分解能 P S F を生成できるようにするためである。

点像画素位相は、図 8 に示すように、点像の中心位置に相当する。

図 8 は、点像画素位相と撮像素子の画素値との関係を示す説明図である。

1 つの点像強度分布に対する R（R は、2 以上の整数）個の撮像素子におけるそれぞれの画素値が、 $G_0 \sim G_R$ であるとする、点像画素位相に相当する点像の中心位置は、画素値 $G_0 \sim G_R$ 全体の重心位置に対応する。

したがって、画素位相推定部 6 は、重心位置を計算することで、点像画素位相を推定することができる。重心位置を計算することで、画素位相を推定すること自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

また、画素位相推定部 6 は、点像強度分布と同様の形状を有するフィッティング関数を用いることで、1 画素未満の精度で点像画素位相を推定することができる。フィッティング関数を用いて、画素位相を推定すること自体は、公知の技術であるため詳細な説明を省略する。

[0031] 画素位相推定部 6 が、フィッティング関数を用いて、点像画素位相を推定する場合、フィッティング関数としては、結像光学系 2 の P S F を用いることが可能である。しかし、図 1 に示す光学系評価装置では、結像光学系 2 の P S F が未知である。

画素位相推定部 6 は、結像光学系 2 の P S F が未知である場合、フィッテ

ィング関数として、ガウス関数又はシンク関数などの対称関数を用いる。

結像光学系 2 の P S F が、図 6 に示すように、中心対称性が低い形状の P S F である場合、画素位相推定部 6 が、フィッティング関数として対称関数を用いても、点像画素位相を高精度に推定することができない。中心対称性が低い形状の P S F である場合、画素位相推定部 6 が、重心位置を計算することで、点像画素位相を推定する場合も同様に、画素位相を高精度に推定することができない。

[0032] 図 1 に示す光学系評価装置では、フィッティング関数として対称関数を用いても、点像画素位相を高精度に推定することができるように、空間光変調部 1 が、入射したそれぞれの光に波面収差を加えている。

即ち、空間光変調部 1 が、点像を周囲に向かって均等に広がる形状とするような波面収差を加えることで、結像光学系 2 の P S F を、図 5 に示すように、中心対称性が高い形状の P S F としている。

結像光学系 2 の P S F が、図 5 に示すように、中心対称性が高い形状の P S F である場合、画素位相推定部 6 が、フィッティング関数として対称関数を用いることで、点像画素位相を高精度に推定することができる。中心対称性が高い形状の P S F である場合、画素位相推定部 6 が、重心位置を計算することで、点像画素位相を推定する場合も同様に、点像画素位相を高精度に推定することができる。

[0033] 分布関数生成部 7 は、分布関数算出部 5 から算出された複数の P S F を受け、画素位相推定部 6 から推定された複数の点像画素位相を受ける。

分布関数生成部 7 は、図 9 に示すように、画素位相推定部 6 により推定された複数の点像画素位相に基づいて、分布関数算出部 5 により算出された複数の P S F から、当該複数の P S F のそれぞれよりも分解能が高い高分解能 P S F を生成する（図 4 のステップ S T 3）。

分布関数生成部 7 は、生成した高分解能 P S F を波面収差推定部 8 に出力する。

図 9 は、分布関数生成部 7 による高分解能 P S F の生成処理を示す説明図

である。

以下、図9を参照しながら、分布関数生成部7による高分解能PSFの生成処理を具体的に説明する。

[0034] 図9では、分布関数生成部7が、N個の点像 P_n ($n=0, 1, \dots, k, k+1, \dots, N-1$) それぞれについてのPSFである複数のPSFから、当該複数のPSFよりも分解能がN倍高い高分解能PSFを生成している例を示している。

点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ は、例えば、互いに点像画素位相が $\delta = 1/N$ [pixel] だけずれている点像群であるとする。

例えば、点像 P_0 の点像画素位相は、0 [pixel]、点像 P_1 の点像画素位相は、 δ [pixel]、点像 P_k の点像画素位相は、 $k \times \delta$ [pixel]、点像 P_{N-1} の点像画素位相は、 $(N-1) \times \delta$ [pixel] である。

図9では、説明の簡単のため、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ それぞれについてのPSFが有するM個の画素値が1次元に並んでいるように表記している。実際には、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ それぞれについてのPSFが有する画素値は $M \times M$ 個であり、2次元に並んでいる。

例えば、点像 P_0 についてのPSFが有するM個の画素値は、 $P_0(0)$, $P_0(1)$, $\dots$, $P_0(M-1)$ である。

例えば、点像 P_1 についてのPSFが有するM個の画素値は、 $P_1(0)$, $P_1(1)$, $\dots$, $P_1(M-1)$ である。

例えば、点像 P_k についてのPSFが有するM個の画素値は、 $P_k(0)$, $P_k(1)$, $\dots$, $P_k(M-1)$ である。

例えば、点像 P_{N-1} についてのPSFが有するM個の画素値は、 $P_{N-1}(0)$, $P_{N-1}(1)$, $\dots$, $P_{N-1}(M-1)$ である。

[0035] まず、分布関数生成部7は、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ それぞれについてのPSFが有するM個の画素値のうち、図中、左から1番目の画素値 $P_0(0)$, $P_1(0)$, $\dots$, $P_k(0)$, $\dots$, $P_{N-1}(0)$ に着目する。

分布関数生成部7は、着目した画素値 $P_0(0)$, $P_1(0)$, $\dots$, P_k

(0), ..., $P_{N-1}(0)$ を、図中左側から、それぞれの画素値を有する点像の点像画素位相が小さい順に並べる。

次に、分布関数生成部 7 は、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ それぞれについての P S F が有する M 個の画素値のうち、図中、左から 2 番目の画素値 $P_0(1)$, $P_1(1)$, ..., $P_k(1)$, ..., $P_{N-1}(1)$ に着目する。

分布関数生成部 7 は、着目した画素値 $P_0(1)$, $P_1(1)$, ..., $P_k(1)$, ..., $P_{N-1}(1)$ を、先に並べた画素値 $P_{N-1}(0)$ の右側に、上記と同様に点像画素位相が小さい順に並べる。

[0036] 分布関数生成部 7 は、図中、左から 3 番目以降の M 個の画素値についても、2 番目の M 個の画素値と同様に並べる。

例えば、M-1 番目の画素値 $P_0(M-1)$, $P_1(M-1)$, ..., $P_k(M-1)$, ..., $P_{N-1}(M-1)$ については、分布関数生成部 7 によって、先に並べた画素値 $P_{N-1}(M-2)$ の右側に、点像画素位相が小さい順に並べられる。

[0037] 分布関数生成部 7 は、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ それぞれについての P S F が有する M 個の画素値を上記のように並べることで、以下のように画素値が並んでいる P S F を得る。

$P_0(0)$, $P_1(0)$, ..., $P_{N-1}(0)$, $P_0(1)$, $P_1(1)$, ..., $P_{N-1}(1)$, ..., $P_0(M-1)$, $P_1(M-1)$, ..., $P_{N-1}(M-1)$

分布関数生成部 7 は、上記のように画素値が並んでいる P S F を得ると、例えば、画素値の合計が 1 となるようにそれぞれの画素値を規格化することで、点像 $P_0 \sim P_{N-1}$ におけるそれぞれの P S F よりも分解能が N 倍高い高分解能 P S F を生成する。

[0038] 波面収差推定部 8 は、分布関数生成部 7 から高分解能 P S F を受けると、この高分解能 P S F から、結像光学系 2 の波面収差を推定する（図 4 のステップ S T 4）。

P S F から波面収差を推定する処理自体は、公知の技術であるため、詳細

な説明を省略する。

波面収差推定部 8 は、結像光学系 2 の波面収差を波面収差出力部 9 に出力する。

[0039] 波面収差出力部 9 は、波面収差推定部 8 から結像光学系 2 の波面収差を受けると、波面収差を外部の記憶装置などに格納する。

また、波面収差出力部 9 は、波面収差を示す画像又は波面収差を示す係数などを図示しないディスプレイ等の出力装置に出力する。

[0040] 以上の実施の形態 1 は、複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加える空間光変調部 1 と、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出する分布関数算出部 5 と、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する画素位相推定部 6 と、画素位相推定部 6 により推定された点像画素位相に基づいて、分布関数算出部 5 により算出された複数の P S F から、複数の P S F よりも分解能が高い高分解能 P S F を生成する分布関数生成部 7 と備え、波面収差推定部 8 が、分布関数生成部 7 により生成された高分解能 P S F から、結像光学系の波面収差を推定するように、光学系評価装置を構成した。したがって、光学系評価装置は、評価用の光源を地上に配置することなく、結像光学系の波面収差を推定することができる。

[0041] 実施の形態 2.

実施の形態 2 では、波面収差推定部 35 が、分布関数生成部 34 により生成された複数の P S F から、結像光学系 2 の波面収差を推定する光学系評価装置について説明する。

[0042] 図 10 は、実施の形態 2 による光学系評価装置を示す構成図である。

図 10 において、図 1 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

空間光変調部 30 は、図 1 に示す空間光変調部 1 と同様に、複数の点光源のそれぞれによって放射又は反射された光が入射すると、それぞれの光に波

面収差を加える空間光変調器である。

空間光変調部 30 は、図 1 に示す空間光変調部 1 と異なり、複数の点光源からのそれぞれの光に加える波面収差を変化させながら、波面収差を加えたそれぞれの光を結像光学系 2 に繰り返し出力する。

[0043] 画像処理部 31 は、分布関数算出部 32、画素位相推定部 33、分布関数生成部 34、波面収差推定部 35 及び波面収差出力部 9 を備えている。

画像処理部 31 は、撮像部 3 の撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号を解析して、結像光学系 2 の波面収差を推定する処理を実施する。

図 11 は、画像処理部 31 のハードウェアを示すハードウェア構成図である。

図 11 において、図 2 と同一符号は同一又は相当部分を示すので説明を省略する。

[0044] 分布関数算出部 32 は、例えば、図 11 に示す分布関数算出回路 41 によって実現される。

分布関数算出部 32 は、図 1 に示す分布関数算出部 5 と同様に、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する P S F を算出する。

分布関数算出部 32 は、図 1 に示す分布関数算出部 5 と異なり、撮像素子 3-1 ~ 3-J によりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する P S F を算出する。

分布関数算出部 32 は、算出した複数の P S F を分布関数生成部 34 に出力する。

[0045] 画素位相推定部 33 は、例えば、図 11 に示す画素位相推定回路 42 によって実現される。

画素位相推定部 33 は、図 1 に示す画素位相推定部 6 と同様に、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する。

画素位相推定部 33 は、図 1 に示す画素位相推定部 6 と異なり、撮像素子 3-1 ~ 3-J によりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する。

画素位相推定部 33 は、推定した複数の点像画素位相を分布関数生成部 34 に出力する。

[0046] 分布関数生成部 34 は、例えば、図 11 に示す分布関数生成回路 43 によって実現される。

分布関数生成部 34 は、図 1 に示す分布関数生成部 7 と同様に、画素位相推定部 33 により推定された複数の点像画素位相に基づいて、分布関数算出部 32 により算出された複数の P S F から、当該複数の P S F のそれぞれよりも分解能が高い高分解能 P S F を生成する。

分布関数生成部 34 は、図 1 に示す分布関数生成部 7 と異なり、分布関数算出部 32 により複数の P S F が算出され、かつ、画素位相推定部 33 により複数の点像画素位相が推定される毎に、当該複数の P S F のそれぞれよりも分解能が高い高分解能 P S F を生成する。

分布関数生成部 34 は、生成した高分解能 P S F を波面収差推定部 35 に出力する。

[0047] 波面収差推定部 35 は、例えば、図 11 に示す波面収差推定回路 44 によって実現される。

波面収差推定部 35 は、分布関数生成部 34 により生成された複数の高分解能 P S F から、結像光学系 2 の波面収差を推定する。

波面収差推定部 35 は、推定した結像光学系 2 の波面収差を波面収差出力部 9 に出力する。

[0048] 図 10 では、画像処理部 31 の構成要素である分布関数算出部 32、画素位相推定部 33、分布関数生成部 34、波面収差推定部 35 及び波面収差出力部 9 のそれぞれが、図 11 に示すような専用のハードウェアで実現されるものを想定している。即ち、画像処理部 31 が、分布関数算出回路 41、画

素位相推定回路 4 2、分布関数生成回路 4 3、波面収差推定回路 4 4 及び波面収差出力回路 1 5 で実現されるものを想定している。

ここで、分布関数算出回路 4 1、画素位相推定回路 4 2、分布関数生成回路 4 3、波面収差推定回路 4 4 及び波面収差出力回路 1 5 のそれぞれは、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC、FPGA、又は、これらを組み合わせたものが該当する。

[0049] 画像処理部 3 1 の構成要素は、専用のハードウェアで実現されるものに限るものではなく、画像処理部 3 1 がソフトウェア、ファームウェア、又は、ソフトウェアとファームウェアとの組み合わせで実現されるものであってもよい。

画像処理部 3 1 がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合、分布関数算出部 3 2、画素位相推定部 3 3、分布関数生成部 3 4、波面収差推定部 3 5 及び波面収差出力部 9 の処理手順をコンピュータに実行させるためのプログラムが図 3 に示すメモリ 2 2 に格納される。そして、コンピュータのプロセッサ 2 1 がメモリ 2 2 に格納されているプログラムを実行する。

図 1 2 は、画像処理部 3 1 がソフトウェア又はファームウェアなどで実現される場合の処理手順を示すフローチャートである。

[0050] 次に、図 1 0 に示す光学系評価装置の動作について説明する。

空間光変調部 3 0 は、複数の点光源からのそれぞれの光に加える波面収差を変化させながら、波面収差を加えたそれぞれの光を結像光学系 2 に繰り返し出力する。

図 1 0 に示す光学系評価装置では、空間光変調部 3 0 が、入射した光に、異なる波面収差を H 回加えるものとする。H は、2 以上の整数である。

空間光変調部 3 0 により加えられる波面収差は、図 5 に示すように、それぞれの光に対応する点像を周囲に向かって均等に広がる形状とするような波面収差である。

空間光変調部 30 は、それぞれの光に波面収差を加える毎に、波面収差を加えたそれぞれの光を結像光学系 2 に出力する。

[0051] 結像光学系 2 は、空間光変調部 30 により波面収差が加えられたそれぞれの光が入射すると、それぞれの光を撮像素子 3-1 ~ 3-J の結像面に結像させる。

撮像素子 3-1 ~ 3-J は、結像光学系 2 により結像されたそれぞれの光を変換して電気信号を生成する。

撮像部 3 は、撮像素子 3-1 ~ 3-J により生成された電気信号を分布関数算出部 32 及び画素位相推定部 33 のそれぞれに出力する。

[0052] 分布関数算出部 32 は、撮像素子 3-1 ~ 3-J から電気信号を受ける毎に、図 1 に示す分布関数算出部 5 と同様に、受けた電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す P S F を算出する（図 12 のステップ S T 1 1）。

分布関数算出部 32 は、算出した P S F を分布関数生成部 34 に出力する。

[0053] 画素位相推定部 33 は、撮像素子 3-1 ~ 3-J から電気信号を受ける毎に、図 1 に示す画素位相推定部 6 と同様に、受けた電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する（図 12 のステップ S T 1 2）。

画素位相推定部 33 は、推定した点像画素位相を分布関数生成部 34 に出力する。

[0054] 分布関数生成部 34 は、分布関数算出部 32 から算出された複数の P S F を受け、画素位相推定部 33 から推定された複数の点像画素位相を受ける。

分布関数生成部 7 は、図 1 に示す分布関数生成部 7 と同様に、画素位相推定部 33 により推定された複数の点像画素位相に基づいて、分布関数算出部 32 により算出された複数の P S F から、当該複数の P S F のそれぞれよりも分解能が高い高分解能 P S F を生成する（図 12 のステップ S T 1 3）。

分布関数生成部 34 は、生成した高分解能 P S F を波面収差推定部 35 に

出力する。

[0055] 分布関数生成部34により生成された高分解能PSFの個数がH個未満であれば（ステップST14：NOの場合）、ステップST11～ST13の処理が繰り返し実施される。

波面収差推定部35は、分布関数生成部34により生成された高分解能PSFの個数がH個であれば（ステップST14：YESの場合）、分布関数生成部34により生成されたH個の高分解能PSFから、結像光学系2の波面収差を推定する（図12のステップST15）。

波面収差推定部35は、例えば、公知のフェーズダイバーシティ法を用いることで、H個の高分解能PSFから波面収差を推定することができる。

H個の高分解能PSFから推定された波面収差は、図1に示す波面収差推定部8により推定された波面収差よりも精度が向上する。

以下の非特許文献2及び非特許文献3には、フェーズダイバーシティ法が開示されている。

[非特許文献2]

J. J. Green, D. C. Redding, S. B. Shaklan, S. A. Basinger, “Extreme wave front sensing accuracy for the Eclipse coronagraphic space telescope,” Proc. SPIE 4860, 266, (2003).

[非特許文献3]

R. G. Paxman, T. J. Schulz, and J. R. Fienup, “Joint estimation of object and aberrations by using phase diversity,” J. Opt. Soc. Vol. 9, No. 7 (1992).

[0056] 以上の実施の形態2の光学系評価装置は、空間光変調部30が、複数の点光源からのそれぞれの光に加える波面収差を変化させながら、波面収差を加えたそれぞれの光を結像光学系2に繰り返し出力する。分布関数算出部32が、撮像素子3-1～3-Jによりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示すPSFを算出する。画素位相推定部33が、撮像素子3-1～

3-Jによりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像について点像画素位相を推定する。分布関数生成部34が、分布関数算出部32により複数のPSFが算出され、かつ、画素位相推定部33により点像画素位相が推定される毎に、画素位相推定部33により推定された点像画素位相に基づいて、分布関数算出部32により算出された複数のPSFから、当該複数のPSFのそれよりも分解能が高い高分解能PSFを生成する。波面収差推定部35が、分布関数生成部34により生成された複数の高分解能PSFから、結像光学系2の波面収差を推定する。したがって、実施の形態2の光学系評価装置は、実施の形態1の光学系評価装置よりも、波面収差の推定精度を高めることができる。

[0057] なお、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、あるいは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

産業上の利用可能性

[0058] この発明は、結像光学系の波面収差を推定する光学系評価装置及び光学系評価方法に適している。

符号の説明

[0059] 1 空間光変調部、2 結像光学系、3 撮像部、3-1～3-J 撮像素子、4 画像処理部、5 分布関数算出部、6 画素位相推定部、7 分布関数生成部、8 波面収差推定部、9 波面収差出力部、11 分布関数算出回路、12 画素位相推定回路、13 分布関数生成回路、14 波面収差推定回路、15 波面収差出力回路、21 プロセッサ、22 メモリ、30 空間光変調部、31 画像処理部、32 分布関数算出部、33 画素位相推定部、34 分布関数生成部、35 波面収差推定部、41 分布関数算出回路、42 画素位相推定回路、43 分布関数生成回路、44 波面収差推定回路。

請求の範囲

- [請求項1] 複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加える空間光変調部と、
- 前記空間光変調部により波面収差が加えられたそれぞれの光を結像する結像光学系と、
- 前記結像光学系により結像されたそれぞれの光を変換して電気信号を生成する複数の撮像素子と、
- 前記複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出する分布関数算出部と、
- 前記複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の画素位相を推定する画素位相推定部と、
- 前記画素位相推定部により推定された画素位相に基づいて、前記分布関数算出部により算出された複数の点像分布関数から、前記複数の点像分布関数よりも分解能が高い高分解能点像分布関数を生成する分布関数生成部と、
- 前記分布関数生成部により生成された高分解能点像分布関数から、前記結像光学系の波面収差を推定する波面収差推定部と
- を備えた光学系評価装置。
- [請求項2] 前記空間光変調部は、前記複数の点光源からのそれぞれの光に加える波面収差を変化させながら、波面収差を加えたそれぞれの光を前記結像光学系に繰り返し出力し、
- 前記分布関数算出部は、前記複数の撮像素子によりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、前記複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出し、
- 前記画素位相推定部は、前記複数の撮像素子によりそれぞれの光が変換されて電気信号が生成される毎に、前記複数の撮像素子により生

成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の画素位相を推定し、

前記分布関数生成部は、前記分布関数算出部により複数の点像分布関数が算出され、かつ、前記画素位相推定部により画素位相が推定される毎に、前記画素位相推定部により推定された画素位相に基づいて、前記分布関数算出部により算出された複数の点像分布関数から、前記高分解能点像分布関数を生成し、

前記波面収差推定部は、前記分布関数生成部により生成された複数の高分解能点像分布関数から、前記結像光学系の波面収差を推定することを特徴とする請求項1記載の光学系評価装置。

[請求項3] 前記空間光変調部は、前記点像が周囲に向かって均等に広がる波面収差を光に加えることを特徴とする請求項1記載の光学系評価装置。

[請求項4] 空間光変調部が、複数の点光源からのそれぞれの光に波面収差を加え、

結像光学系が、前記空間光変調部により波面収差が加えられたそれぞれの光を結像し、

複数の撮像素子が、前記結像光学系により結像されたそれぞれの光を変換して電気信号を生成し、

分布関数算出部が、前記複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の強度分布を示す点像分布関数を算出し、

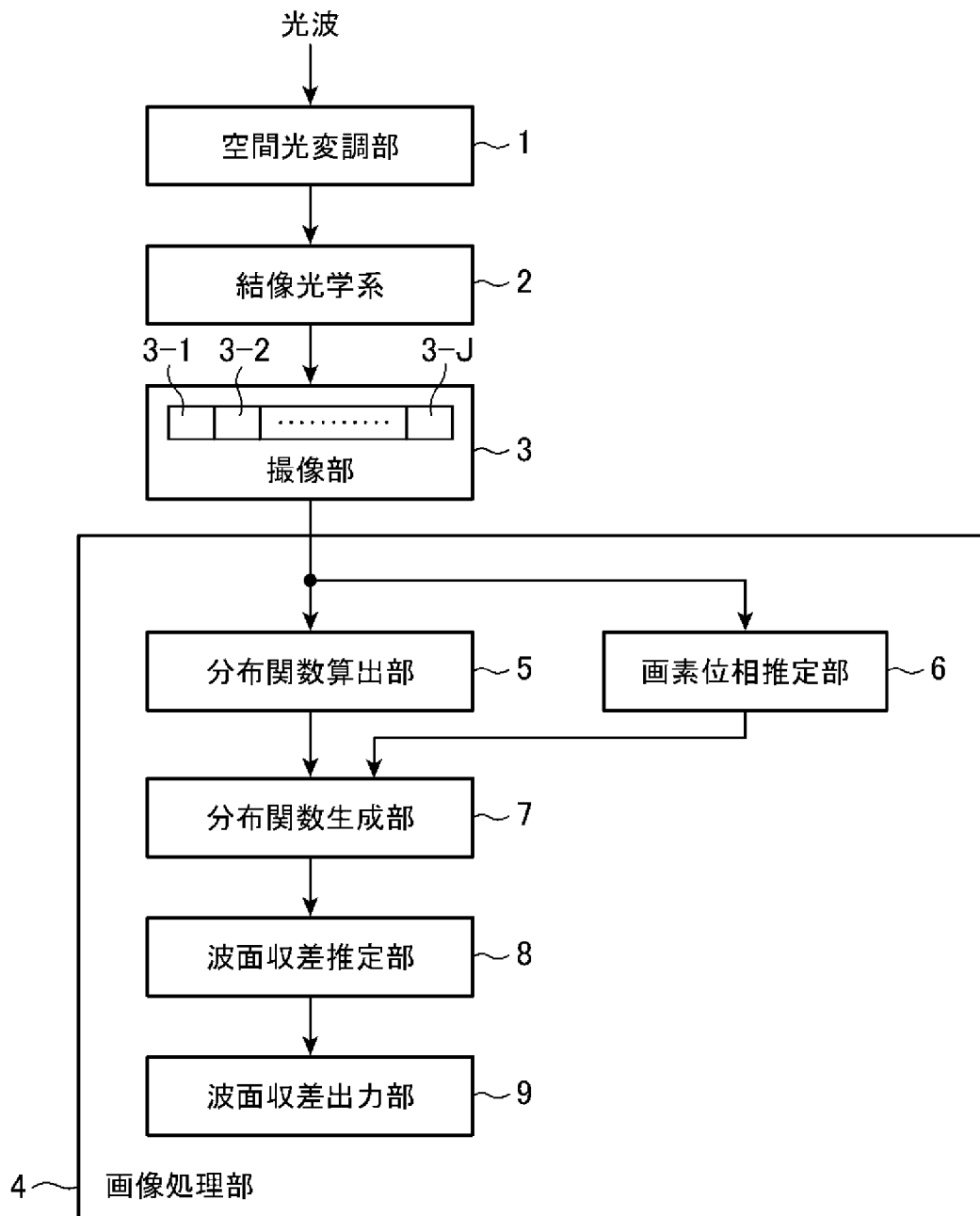
画素位相推定部が、前記複数の撮像素子により生成された電気信号から、それぞれの光に対応する点像の画素位相を推定し、

分布関数生成部が、前記画素位相推定部により推定された画素位相に基づいて、前記分布関数算出部により算出された複数の点像分布関数から、前記複数の点像分布関数よりも分解能が高い高分解能点像分布関数を生成し、

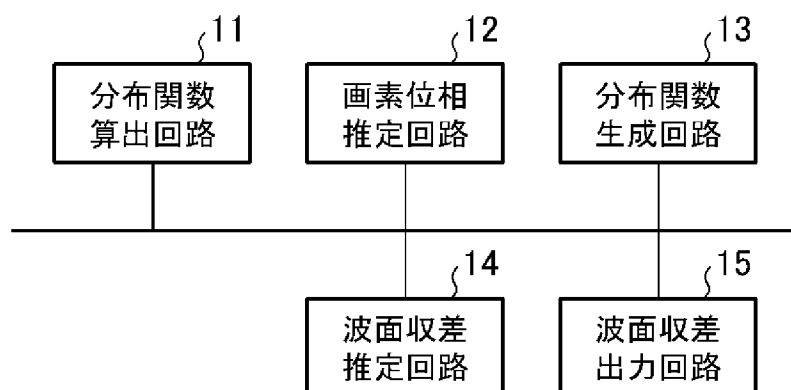
波面収差推定部が、前記分布関数生成部により生成された高分解能

点像分布関数から、前記結像光学系の波面収差を推定する
光学系評価方法。

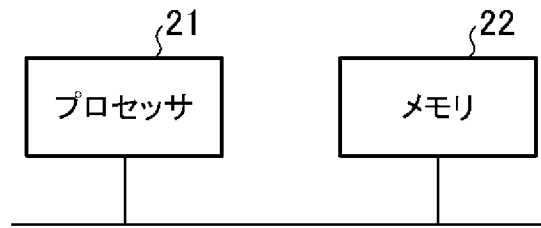
[図1]



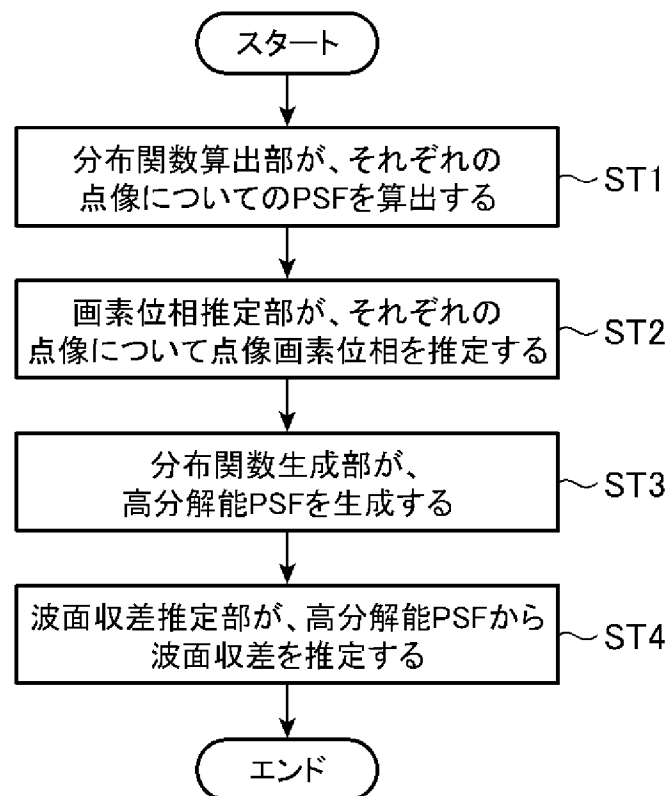
[図2]



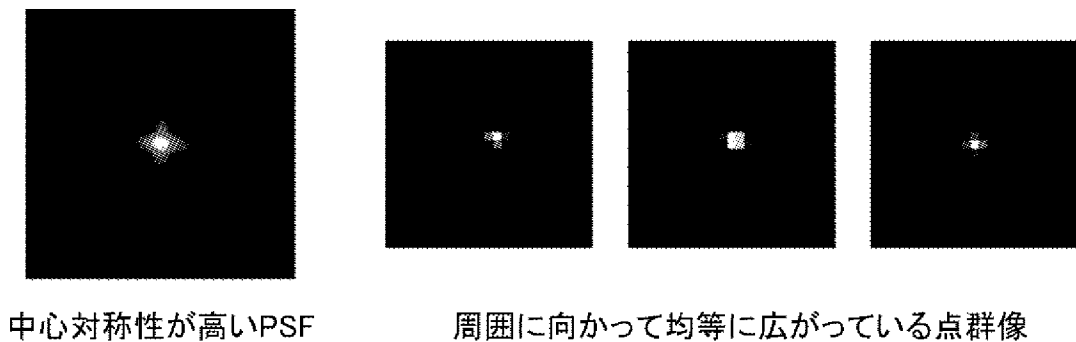
[図3]



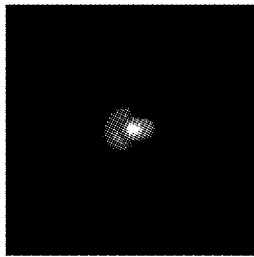
[図4]



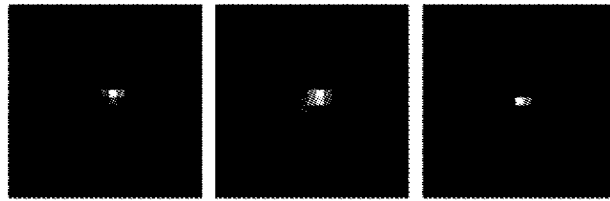
[図5]



[図6]

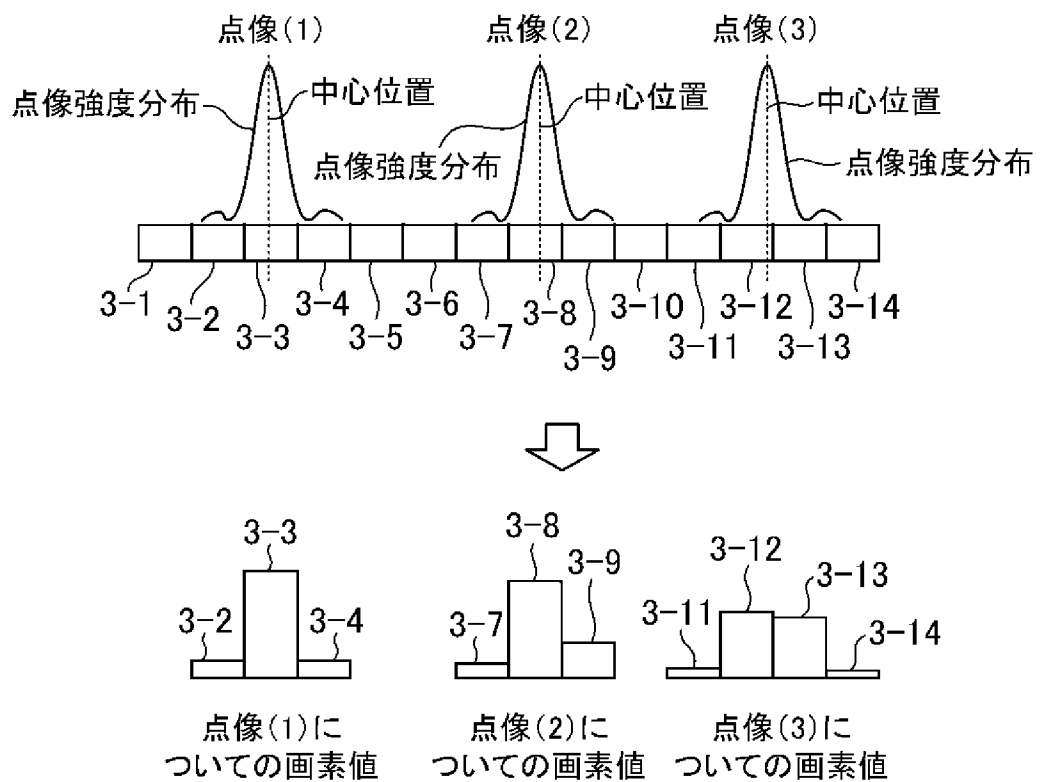


中心対称性が低いPSF

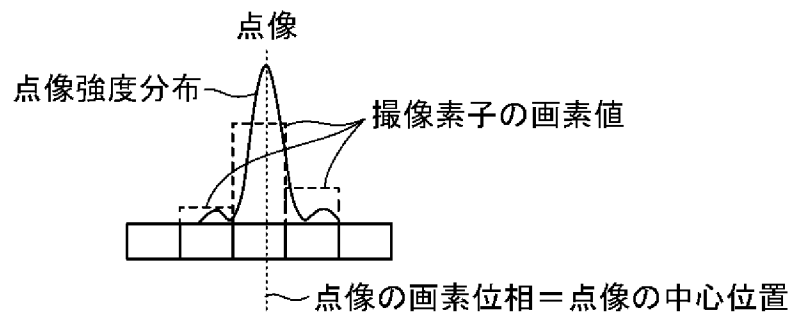


周囲に向かって不均等に広がっている点群像

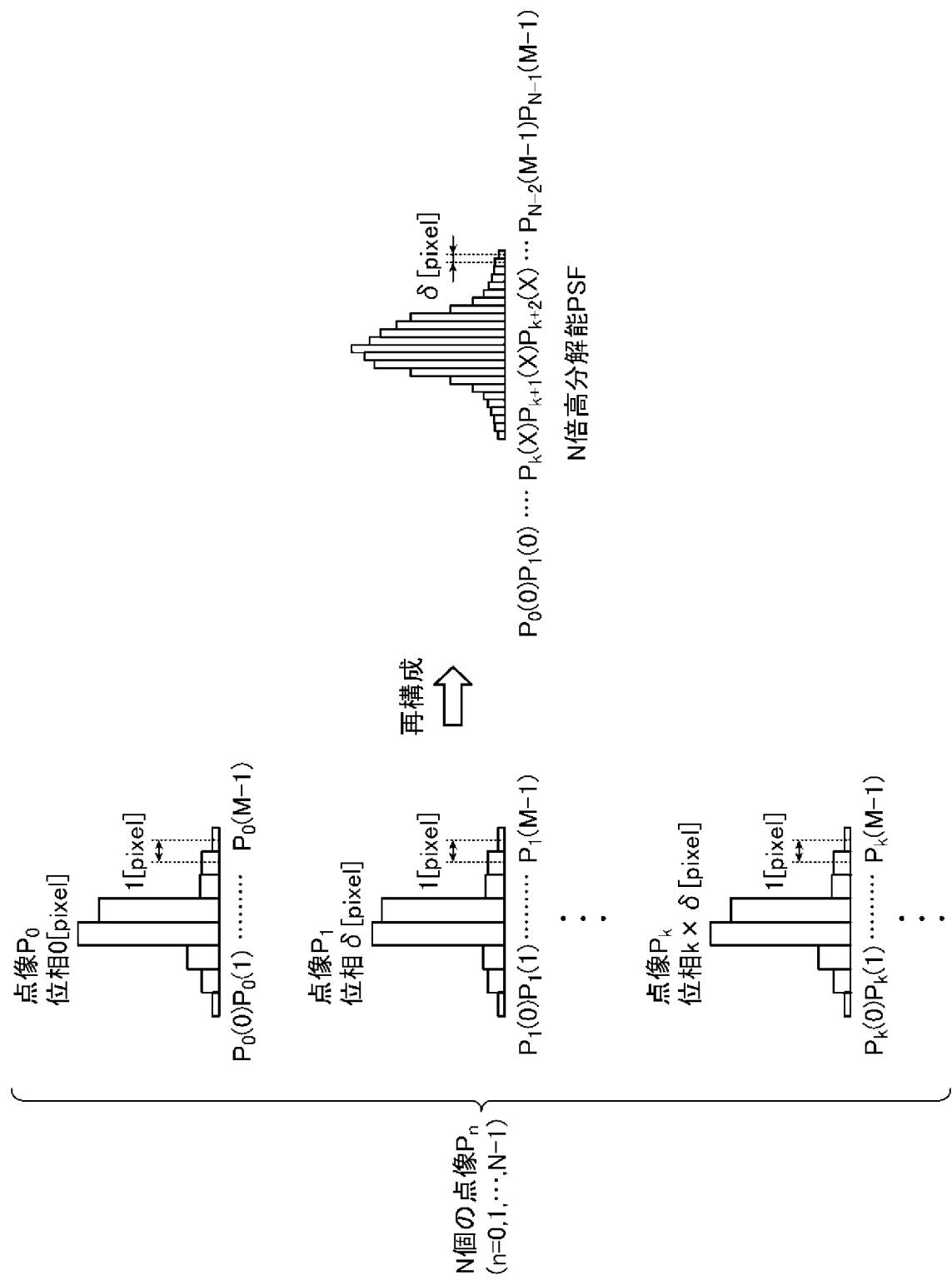
[図7]



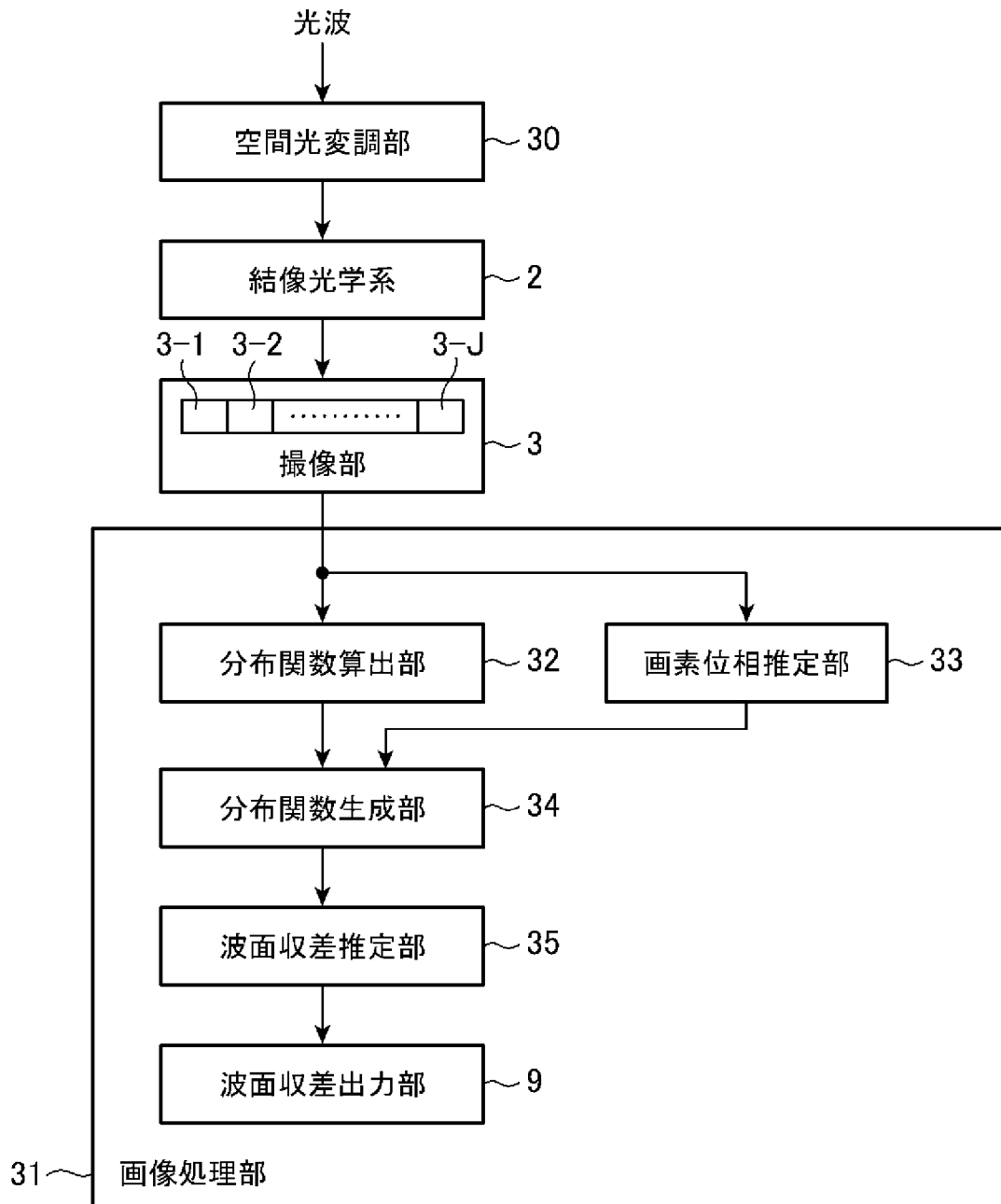
[図8]



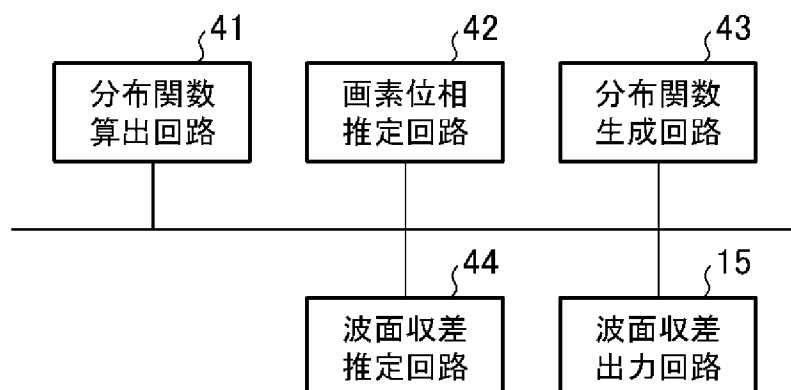
[図9]



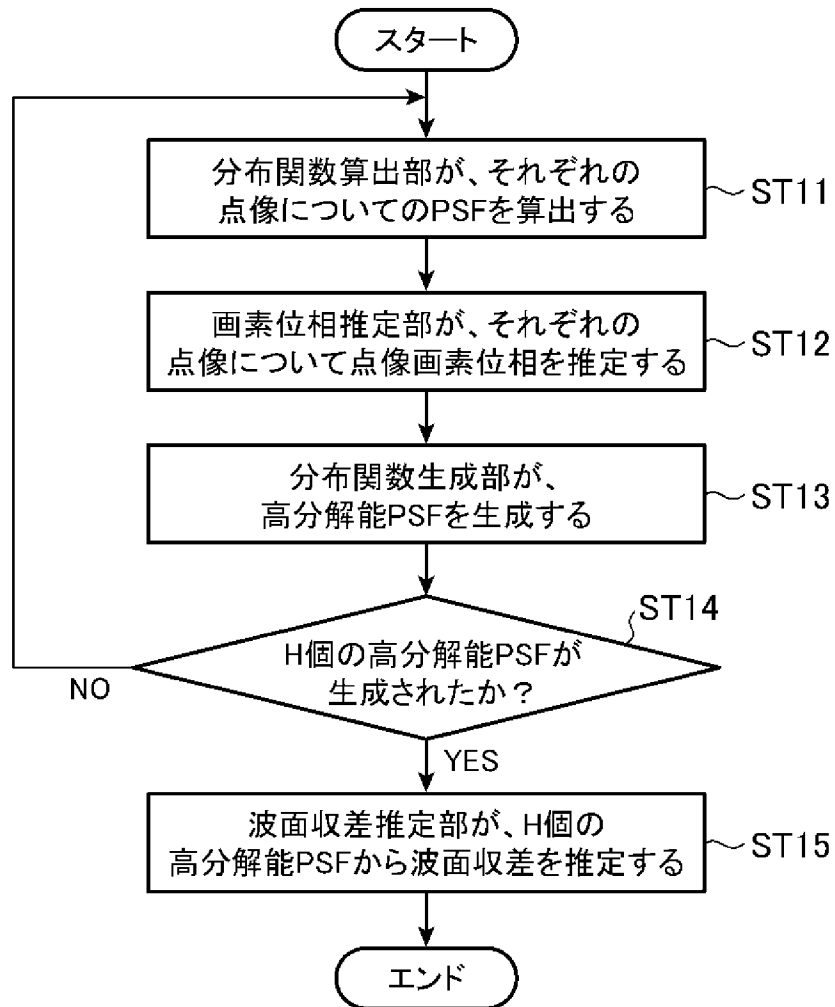
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/029221

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01M11/02 (2006.01) i, H04N5/235 (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)

Int.Cl. G01M11/00-11/02, G01J1/02, H04N5/222-5/257, H04N7/18, H04N17/00-17/06, B64G1/00-1/68, B64G3/00

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2014-531160 A (RAYTHEON CO.) 20 November 2014, paragraphs [0007], [0023]-[0044], [0054], fig. 1-4 & WO 2013/066457 A2, paragraphs [0005], [0026]-[0047], [0057], fig. 1-4 & US 2013/0088633 A1	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
23.09.2018

Date of mailing of the international search report
09.10.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/029221

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-164004 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORP.) 08 September 2014, paragraphs [0044]-[0047], fig. 21, 22 (Family: none)	1-6
Y	JP 2014-224766 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 04 December 2014, paragraphs [0011], [0012], fig. 1 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01M 11/02(2006.01)i, H04N 5/235(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. G01M 11/00-11/02, G01J 1/02, H04N 5/222-5/257, H04N 7/18,
H04N 17/00-17/06, B64G 1/00-1/68, B64G 3/00

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	J P 2014-531160 A (レイセオン カンパニー) 2014. 11. 20, 段落番号【0007】、【0023】-【0044】、【0054】、 第1-4図 & WO 2013/066457 A2 段落番号【0005】、【0026】-【0047】、 【0057】、第1-4図 & US 2013/0088633 A1	1-6

☒ 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 | 「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 |
| 「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 | 「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 |
| 「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） | 「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 |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

23. 09. 2018

国際調査報告の発送日

09. 10. 2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
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）

平田 佳規

2W

9807

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 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
Y	J P 2014-164004 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2014.09.08, 段落番号【0044】-【0047】, 第21-22図 (ファミリーなし)	1-6
Y	J P 2014-224766 A (三菱電機株式会社) 2014.12.04, 段落番号【0011】-【0012】, 第1図 (ファミリーなし)	1-6