

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6396638号  
(P6396638)

(45) 発行日 平成30年9月26日(2018.9.26)

(24) 登録日 平成30年9月7日(2018.9.7)

(51) Int. Cl.	F 1	
<b>GO2B</b> 3/04 (2006.01)	GO2B	3/04
<b>GO3B</b> 11/00 (2006.01)	GO3B	11/00
<b>B6OR</b> 1/00 (2006.01)	B6OR	1/00 A
<b>HO4N</b> 5/232 (2006.01)	HO4N	5/232

請求項の数 5 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2013-72388 (P2013-72388)	(73) 特許権者	317015179 マクセル株式会社
(22) 出願日	平成25年3月29日 (2013.3.29)		京都府乙訓郡大山崎町大山崎小泉1番地
(65) 公開番号	特開2014-197115 (P2014-197115A)	(74) 代理人	110000176 一色国際特許業務法人
(43) 公開日	平成26年10月16日 (2014.10.16)	(72) 発明者	島野 健 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内
審査請求日	平成27年9月18日 (2015.9.18)	(72) 発明者	崎田 康一 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内
		(72) 発明者	太田 光彦 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 横浜研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位相フィルタ、撮像光学系、及び撮像システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光軸を中心同心円状に断面形状が略放物線状の凹レンズとして作用する凹面を有する複数列の輪帯が形成された位相フィルタと、

一つの焦点を有する凸レンズである結像レンズとからなり、

前記位相フィルタの各輪帯に入射する光軸に平行な光束は、それぞれ前記結像レンズの前記焦点位置を通るとともに、

前記各凹面は入射光束をそれぞれ局所的に発散し、

それぞれの光束を、前記結像レンズの前記焦点位置を含む光軸の前後に拡大された範囲でオーバーラップさせることを特徴とする撮像光学系。

【請求項2】

光軸を中心同心円状に複数列の輪帯が形成された位相フィルタと、

一つの焦点を有する凸レンズである結像レンズと、を有する撮像光学系であって、

前記位相フィルタの前記複数列の輪帯は、入射光束に対して凹レンズとして作用し入射光束を屈折させそれぞれ局所的な発散光とするもので、

前記発散光が、前記結像レンズを透過することにより、局所的にそれぞれ略平行光束となるように、前記結像レンズとの関係で、前記位相フィルタの前記輪帯の断面形状が設定されており、

前記のそれぞれの略平行光束が、前記結像レンズの前記焦点位置を通るとともに、前記焦点位置を含む光軸の前後に拡大された範囲でオーバーラップすることを特徴とする撮像

光学系。

【請求項 3】

前記位相フィルタの輪帯の幅が光軸近傍より周縁部の方が狭いことを特徴とする請求項 2 に記載の撮像光学系。

【請求項 4】

前記位相フィルタの前記輪帯により加わる位相差が、光軸近傍より周縁部の方が大きいことを特徴とする請求項 2 に記載の撮像光学系。

【請求項 5】

請求項 2 に記載の撮像光学系により撮像した物体の画像に対し、デコンボリューション画像処理を行って焦点深度拡大画像を取得し、前記焦点深度拡大画像に所定の画像認識アルゴリズムを適用して、互いに異なる距離に存在する複数物体を同時に検知する画像認識装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、位相フィルタ、撮像光学系、及び撮像システムに関するものであり、具体的には、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制可能とする技術に関する。

【背景技術】

【0002】

撮像カメラ光学系の瞳面において、瞳面内座標に対して 3 次関数で与えられる位相分布を与えることによって焦点ずれに対する点像のぼけを均一化し、均一なぼけをデコンボリューションと称される画像処理によって除去して光学系の被写界深度や焦点深度を拡大する Wavefront Coding (以下 WFC と略す) と呼ばれる技術が提案されている。

20

【0003】

こうした WFC に関する従来技術として、例えば、撮像カメラの光学系に 3 次位相関数を実現した位相フィルタによって、瞳孔関数を位相変調し、撮像された画像に対して画像処理を施すことによって光学系の焦点深度を拡大する技術 (特許文献 1 参照) などが提案されている。また、光学的伝達関数 (OTF) を変調させる位相フィルタとして、光軸に直交する  $x$ 、 $y$  座標とするとき、それらの任意のべき乗の積で表される関数の級数によって 3 次関数を一般化した形の位相分布を与え、撮像された画像に対して画像処理を施すことによって光学系の焦点深度を拡大する技術 (特許文献 2 参照) なども提案されている。一方、撮像光学系ではないが、アキシコンと呼ばれる円錐プリズムを用いて非回折ビームを生成し、レーザーの波長変換の高効率化を図る技術 (特許文献 3 参照) なども提案されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特許 3 2 7 5 0 1 0 号公報

40

【特許文献 2】特開 2 0 1 1 - 1 2 0 3 0 9 号公報

【特許文献 3】特開平 8 - 2 7 1 9 4 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述の従来技術においては、瞳面内座標の  $x$  軸や  $y$  軸に対して 3 次関数またはそれと類似した関数によって位相フィルタの位相分布を与えている。このように、光軸に対して回転対称でない位相フィルタを用いて焦点ずれに対する点像の均一化を図る場合、焦点ずれ量によって点像の位置がずれるという問題がある。

【0006】

50

たとえば3次関数では規格化瞳面座標  $x$ 、 $y$  に対して、位相分布は係数 を用いて、

$$W(x, y) = \alpha \cdot (x^3 + y^3) \dots \dots \text{(式1)}$$

によって表される。ここに焦点ずれの波面収差が加わると、規格化瞳半径座標 を用いて、

$$\begin{aligned} W(x, y) + W_{20} \rho^2 &= \alpha \cdot (x^3 + y^3) + W_{20} (x^2 + y^2) \\ &= \alpha \left\{ \left( x + \frac{W_{20}}{3\alpha} \right)^3 + \left( y + \frac{W_{20}}{3\alpha} \right)^3 \right\} - \frac{W_{20}^2}{3\alpha} (x + y) - \frac{2W_{20}^3}{27\alpha^2} \\ &\dots \dots \text{(式2)} \\ &\text{のように表される。} \end{aligned} \quad 10$$

ここで  $W_{20}$  は焦点ずれ、すなわちデフォーカスの収差係数である。第1項は3次関数位相分布が瞳面内で  $x$ 、 $y$  方向ともに  $W_{20} / 3$  だけずれて加わることを意味している。これは、基本的には焦点面上では位相ずれに相当するため点像強度分布には影響しない。第2項は  $x$ 、 $y$  の1次関数の位相分布であるため、いわゆる波面チルトに相当し、 $W_{20}^2 / 3$  に比例して焦点面上の像点位置がずれることを意味する。第3項は定数項のため点像強度分布に影響しない。したがって3次関数位相分布があると、焦点ずれの波面収差は点像分布の横ずれに変換されることになる。したがってこの横ずれだけを許容すれば焦点ずれがあっても点像分布が実質的に変化しないことになり、ぼけ方が焦点ずれによらず一様になる。これによってデコンボリューションが可能となる。これがWFCの原理である。しかしそのため焦点ずれによって点像のずれが生じるため、点像の位置によって物体の位置の計測を行うような用途では問題となる。

#### 【0007】

また、3次関数分布のような、光軸に対して回転対称でない位相分布を発生させる光学面は、基本的に同様の非球面光学面が必要である。非球面はバイトによる回転旋盤加工によって加工される金型により、プラスチック射出成形や、ガラスモールドプレス成形などが広く普及している。しかし旋盤加工は軸対称な形状が必須であり、3次関数非球面のような非軸対称な形状では、回転研削バイトによる2次元の数値制御加工が必要となり、加工コストや加工時間が増すという問題がある。

#### 【0008】

また、3次関数分布のような連続関数で記述される位相フィルタでは、少なくとも数十波長以上の凹凸形状が必要であり、画角のある光線が入射する場合に、位相シフト量が所望のシフト量からずれるという問題がある。

#### 【0009】

またアキシコンを用いる光学系では、アキシコンの底面に入射する平行ビームが屈折されオーバーラップする範囲で、レーザビームが細いビームに集光されたまま回折せずに伝播する。しかしこのレンズは平行ビームに対して用いられるもので、撮像カメラのようたたくさんの結像点を同時に得ることが必要な光学系に用いることはできない。

#### 【0010】

そこで本発明の目的は、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制可能とする技術を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

上記課題を解決する本発明の位相フィルタは、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え

10

20

30

40

50

、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有していることを特徴とする。これによれば、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制できる。

【0012】

また、本発明の撮像光学系は、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを、結像光学系に搭載したことを特徴とする。これによれば、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制できることとなり、当該撮像光学系を、点像の位置によって物体位置の計測を行う用途に用いることが可能となる。

10

【0013】

また、本発明の撮像システムは、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを、結像光学系に搭載した撮像光学系にて撮像された画像に対し、デコンボリューション画像処理を行い、焦点深度拡大画像を得ることを特徴とする。これによれば、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制できることとなり、当該撮像システムを、点像の位置によって物体位置の計測を行う用途に用いることが可能となる。

【0014】

また、本発明の車両走行支援装置は、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを結像光学系に搭載した撮像光学系にて撮像した、車両周囲物体の画像に対し、デコンボリューション画像処理を行って焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に所定の画像認識アルゴリズムを適用して、車両から一定距離内において互い異なる距離に存在する複数物体を同時に検知することを特徴とする。これによれば、車両から近い位置にある障害物も遠い位置にある障害物も同時に検知することが可能となり、車両走行上の安全性向上の効果がある。

20

【0015】

また、本発明の監視装置は、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを結像光学系に搭載した撮像光学系にて撮像した、監視対象領域の画像に対し、デコンボリューション画像処理を行って焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に所定の画像認識アルゴリズムを適用して、監視対象領域において前記撮像光学系から異なる距離に存在する複数診療対象領域を同時に検知することを特徴とする。これによれば、撮像光学系からの所在距離によらず、監視対象領域に侵入した、あるいは所在する不審者や犯罪者等の認識率が向上する。

30

【0016】

また、本発明の認証装置は、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを結像光学系に搭載した撮像光学系にて複数回撮像した、同一認証対象領域の各画像に対し、デコンボリューション画像処理を行って焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に所定の画像認識アルゴリズムを適用して、前記撮像光学系からの撮影距離が異なる各画像から前記同一認証対象領域を認証することを特徴とする。これによれば、撮像光学系に対する認証対象（人の指紋、静脈、虹彩等）の距離が認証を行う毎に変化する状況があっても、そうした距離のばらつきを適宜吸収して、ひいては認証精度の向上が可能となる。

40

【0017】

また、本発明の医療装置は、光軸に対して回転対称な輪帯構造を備え、各輪帯が入射光束を焦点面上で一様に拡大し相互にオーバーラップさせる略放物断面形状を有した位相フィルタを結像光学系に搭載した撮像光学系にて撮像した、人体における診療対象領域の画

50

像に対し、デコンボリューション画像処理を行って焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に所定の画像認識アルゴリズムを適用して、診療対象領域において前記撮像光学系から異なる距離に存在する複数部位の画像を同時に出力することを特徴とする。これによれば、撮像光学系からの患部の遠近によらず、医療従事者における患部の同時視認性が高まることとなる。このことは医療用カメラ等における光学系の設計を容易化し、レンズ必要枚数の削減等も可能となり、製造コスト削減にもつながる。

【0018】

なお、上述の車両走行支援装置、監視装置、認証装置、および医療装置の、いずれの装置においても、レンズとセンサ面との調整精度が緩和され、製造コストの削減を図ることができる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制できる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】第1実施形態の位相フィルタを搭載した撮像光学系の模式図である。

【図2】第1実施形態における位相フィルタの構造を示す平面図である。

【図3】第1実施形態における位相フィルタの構造を示す側断面図である。

【図4】アキシコンプリズムによる屈折光線を示す図である。

【図5】第1実施形態の位相フィルタを用いた撮像光学系と、撮像光学系で撮像される画像に対して画像処理を施す撮像システムの構成例を示す図である。

【図6】放物断面の形状を定式化するための模式図である。

【図7】デコンボリューション演算の説明に伴う結像光学系の模式図である。

【図8】第1実施例の位相フィルタの有無による撮像画像の処理結果比較例を示す図である。

【図9】第1実施例の位相フィルタによる瞳面の波面収差を示す図である。

【図10】第1実施例の位相フィルタによる点像分布の計算結果1を示す図である。

【図11】第1実施例の位相フィルタによる点像分布の計算結果2を示す図である。

【図12】第1実施例の位相フィルタによる点像分布の計算結果3を示す図である。

【図13】第1実施例の位相フィルタによる点像分布の計算結果4を示す図である。

【図14】第1実施例の位相フィルタによる点像分布の計算結果5を示す図である。

【図15】第2実施例の位相フィルタの構造を示す平面図である。

【図16】第2実施例の位相フィルタの構造を示す側断面図である。

【図17】第2実施例の位相フィルタによる光路差分布の一例である。

【図18】第2実施例によるデコンボリューション結果画像である。

【図19】第3実施例の位相フィルタの構造を示す平面図である。

【図20】第3実施例の位相フィルタの構造を示す側断面図である。

【図21】第3実施例の位相フィルタによる光路差分布の一例である。

【図22】第3実施例によるデコンボリューション結果画像である。

【図23】第2実施形態における車両走行支援装置の構成例を示す図である。

【図24】第2実施形態における車両走行支援装置が備える情報処理装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図25】第2実施形態における車両走行支援装置が実行する処理フロー例を示す図である。

【図26】第3実施形態における監視装置の構成例を示す図である。

【図27】第3実施形態における監視装置が備える情報処理装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図28】第3実施形態における監視装置が実行する処理フロー例を示す図である。

【図29】第4実施形態における認証装置の構成例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図30】第4実施形態における認証装置が備える情報処理装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図31】第4実施形態における認証装置が実行する処理フロー例を示す図である。

【図32】第5実施形態における医療装置の構成例を示す図である。

【図33】第5実施形態における医療装置が備える情報処理装置のハードウェア構成例を示す図である。

【図34】第5実施形態における医療装置が実行する処理フロー例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下に本発明の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。図1は第1実施形態における位相フィルタ101とそれを搭載した撮像光学系150の模式図であり、図2は第1実施形態における位相フィルタ101の構造を示す平面図、図3は同じく側断面図である。なお、図1にて示す撮像光学系150が含む、位相フィルタ101および結像レンズ102はいずれも側断面の形状を示したものとなっている。

10

【0022】

図1～3にて示すように、位相フィルタ101は、外形が円盤状で光軸1を中心とした回転対称な形状となっている。また、この位相フィルタ101は、放物線状の断面形状を有する溝すなわち凹面112が、上述の光軸1を中心に同心円状に略等間隔で複数列形成されている。このように光軸1を中心に同心円状に形成された凹面112を輪帯111とし、輪帯111らを輪帯構造110と総称する。図1～3にて示す位相フィルタ101の例では、2列の輪帯111からなる輪帯構造110を有している。輪帯111は当該輪帯111に入射する光線に対して瞳面の半径方向に凹レンズとして作用する凹面となる。なお、ここで示す位相フィルタ101における輪帯111の幅は各輪帯間で等しいものとなっている。

20

【0023】

撮像光学系150においては、上述の位相フィルタ101と光軸1を共通にするよう、結像レンズ102が配置されている。この結像レンズ102は位相フィルタ101が無い場合、物体空間の像を光軸1上の所定位置に結像させることができるレンズである。こうした結像レンズ102に位相フィルタ101を組み合わせた構成で撮像光学系150をなすことで、位相フィルタ101に入射する光線103（入射光束）は、上述した凹面112によって屈折され、局所的に発散光となる。この発散光が結像レンズ102によって（紙面上）局所的に略平行な光束となるよう、位相フィルタ101における凹面112の曲率は設定されている。局所的に略平行とは、各凹面112を通過した凹面112毎の光線が、結像レンズ102の通過後に略平行となっている状態を指す。

30

【0024】

この局所的な略平行光束の伝播方向は輪帯111の中心を通る光線2の屈折方向に沿って元の焦点位置3に向かう。なぜなら輪帯111の中心での凹面112（放物断面）に対する仮想的な接平面は、結像レンズ102の光軸1に垂直であり、そこを通る光線は位相フィルタ101で屈折せずに結像レンズ102に入射するため、その光線は位相フィルタ101がない場合の焦点位置3を通ることが明らかであるからである。このように複数の輪帯111からの略平行光束が焦点3の近傍において光軸方向に範囲104でオーバーラップする。説明の便宜上、上記では各輪帯111からの、発散し結像レンズ102によって屈折された光束を、略平行光束と述べたが、実際には光軸1を中心に回転対称であるから、実際の伝播形態は円錐の側面に沿って伝播するような光束である。

40

【0025】

このような光束は、図4に示すアキシコン201による屈折光線と同様の光束となる。アキシコン201は、第1面が平面たる底面202であり、第2面が円錐になっている円錐レンズ（conical lens）であり、アキシコンプリズムとも呼ばれている。図4では、こうしたアキシコン201の側断面と光軸1、入射する平行光束203の関係を模式的に示している。アキシコン201の底面202から入射する平行光束203は、

50

傾斜するアキシコン 201 の側面 204 で屈折し、仮想的な円錐面に沿うような光路で一樣に収束される。両側から角度を持って入射する光束 203 が、図中、ひし形状にオーバーラップする範囲 202 では、円錐を 2 つ、その底面を互いに対向させて貼り合わせたような領域 205 が形成される（図 4 では、該当領域を明示する意図で着色して示している）。この領域 205 内では光軸方向の範囲 202 において非回折ビームが形成される。上述した図 1 の位相フィルタ 101 における各輪帯 111 からの光束は、図 4 に例示するアキシコン 201 の光束が、異なる角度で複数オーバーラップすることに対応し、複数の非回折ビームが重なり合っ て点像分布の焦点方向への平滑化が達成される。

#### 【0026】

続いて、位相フィルタ 101 を用いた撮像光学系 150 と、当該撮像光学系 150 にて撮像される画像に対し画像処理を施す撮像システム 300 の構成について図 5 に基づき説明する。ここでは、撮像光学系 150 から比較的近い距離に物体 301 が存在し、遠い距離に物体 302 が存在している状況を想定する。

#### 【0027】

この場合、上述の物体 301、物体 302 の反射光が、撮像光学系 150 における位相フィルタ 101 を介して結像レンズ 102 に入射し、光軸 1 の方向にぼけ方が均一（上述した点像分布の焦点方向への平滑化による）な像 303、304 を形成することになる。そこで撮像システム 300 においては、像 303、304 らが光軸方向にオーバーラップする位置に画像センサ 305 を配置した構成となっている。

#### 【0028】

また、撮像システム 300 は、上述の画像センサ 305 からの出力信号を、画像センサ 305 で出力可能な最高解像度の情報を保ったまま、適宜な静止画または動画の画像フォーマットに変換し画像信号として出力する画像信号出力回路 306 を備えている。また、撮像システム 300 は、画像信号出力回路 306 で出力した画像信号を受けて、これをディスプレイ出力可能なフォーマットに変換し、モニタディスプレイ 308 で出力させるモニタ出力生成回路 307 を備えている。モニタディスプレイ 308 で表示される画像は、図 5 にて模式的に示す通り、近い物体 301 も、遠い物体 302 も一樣にぼけた画像 303、304 が得られる。ただし、撮像システム 300 として、こうしたモニタ出力処理は必須ではないため、モニタディスプレイ 308、およびモニタ出力生成回路 307 を含まない構成としても問題ない。

#### 【0029】

また、撮像システム 300 は、デコンボリューション前処理回路 309、およびデコンボリューションフィルタ回路 310 を備えている。撮像システム 300 においては、上述の画像信号出力回路 306 からの出力信号を分岐して、デコンボリューション前処理回路 309 に入力する。これにより、デコンボリューション前処理回路 309 において、デコンボリューションフィルタ回路 310 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換することとなる。また、このデコンボリューション前処理回路 309 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 310 にてフィルタ処理を行って第 2 のモニタ出力生成回路 311 に入力される。第 2 のモニタ出力生成回路 311 は、デコンボリューションフィルタ回路 310 からの入力信号を任意の一般の静止画、または動画の画像フォーマットに変換し、出力信号として第 2 のモニタディスプレイ 312 で出力表示させる。第 2 のモニタディスプレイ 312 で出力表示を行う場合、上述した、近い物体 301 にも遠い物体 302 にも焦点のあった画像が出力される。このとき、位相フィルタ 101 を用いているため、第 2 のモニタディスプレイ 312 での出力画像においては、撮像光学系 150 からの距離によって該当物体の画像位置がずれるようなことはなく、物体 301、302 の本来の位置を反映した位置に画像が形成される。

#### 【0030】

続いて、上述した位相フィルタ 101 を採用した際の焦点深度拡大効果を確認するシミュレーションについて説明する。図 6 は、位相フィルタ 101 における放物断面（すなわち凹面 112）の形状を定式化するための模式図である。この図では、横軸が瞳面の半径

10

20

30

40

50

座標、縦軸が位相フィルタ 1 0 1 の形状を示している。また、ここで表示しているのは 1 周期だけであり、半径 0 の光軸位置に先鋭な頂点を持つ場合を *even*、放物線の底が光軸上になる場合を *odd* と表示している。放物断面の深さは  $d$  である。この形状が半径方向に周期  $p$  で反復される。

【 0 0 3 1 】

このような形状は、

$$W(r) = \sum_{k=0}^m a_k \cos\left(\frac{2\pi k}{p}r\right) \quad (10)$$

$$= \begin{cases} \frac{4d}{p^2}r^2 & \left(\text{odd} : -\frac{p}{2} < r < \frac{p}{2}\right) \\ \frac{4d}{p^2}\left(r - \frac{p}{2}\right)^2 & \left(\text{even} : 0 < r < p\right) \end{cases} \dots\dots (式3)$$

のようにフーリエ級数展開すると、結局、

$$W(r) = \begin{cases} \frac{d}{3} + \frac{4d}{\pi^2} \sum_{k=1}^m \frac{(-1)^k}{k^2} \cos\left(\frac{2\pi k}{p}r\right) & (\text{odd}) \\ \frac{d}{3} + \frac{4d}{\pi^2} \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} \cos\left(\frac{2\pi k}{p}r\right) & (\text{even}) \end{cases} \dots\dots (式4) \quad (20)$$

のように表せる。ここで周期  $p$  は、

$$p = \begin{cases} \frac{2r_n}{2n-1} & (\text{odd}) \\ \frac{r_n}{n} & (\text{even}) \end{cases} \dots\dots (式5) \quad (30)$$

である。

ここで  $r_n$  は  $n$  番目の輪帯 1 1 1 の半径であり、撮像光学系 1 5 0 の瞳半径に相当する。このような輪帯構造 1 1 0 は、輪帯 1 1 1 の幅と位相差がすべて等しい輪帯構造となる。なお、位相フィルタ 1 0 1 は撮像光学系 1 5 0 の瞳面に配置することを仮定する。これは実際の撮像光学系 1 5 0 では絞り位置に配置すればよいことになる。 (40)

【 0 0 3 2 】

上述したように、位相フィルタ 1 0 1 において輪帯 1 1 1 の断面形状は放物断面形状であるしているが、これは必ずしも局所的な半径座標に対して 2 次関数で断面形状が記述されることに限定するものではない。例えば円形や楕円形の断面であってもよい。いずれも輪帯 1 1 1 の断面の頂点の近傍では半径に対する 2 次の展開項が支配的であることから放物断面と述べているものである。

【 0 0 3 3 】

次にデコンボリューション画像処理について説明する。図 7 に示すように焦点距離  $f$  の結像光学系 5 0 0 により、距離  $d_0$  に光強度分布  $O(x_0, y_0)$  で与えられる物体があ (50)

り、その光学像強度分布  $I(x, y)$  が、図中の結像公式に基づいて距離  $d$  の位置に結像されているとする。このとき、物体の光強度分布を点光源の集合と考えると、像  $I(x, y)$  を形成するのはその点光源の波動光学的な点像分布  $PSF(x, y)$  の重ね合わせである。この点像分布は結像光学系 500 の絞りの開口、すなわち瞳面の振幅透過率分布  $P(X, Y)$  としたとき、

$$PSF(x, y) = \frac{1}{(\lambda d)^2} |F[P(X, Y)]|^2 \dots \dots \text{(式6)}$$

で与えられる。ここで  $F$  は 2 次元フーリエ変換であり、

$$F[P(X, Y)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(X, Y) \exp\left\{-i \frac{2\pi}{\lambda d} (Xx + Yy)\right\} dXdY \dots \dots \text{(式7)}$$

と表せる。

フーリエ変換は一般によく知られているように、物理量の時間や空間分布を、その周波数スペクトルに変換する演算である。この点像分布を、物体面の光強度分布の幾何学的写像  $O(x, y)$  に対して重畳して積分することにより、像面の強度分布は、

$$I(x, y) = O(x, y) * PSF(x, y)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} O(x', y') PSF(x - x', y - y') dx' dy' \dots \dots \text{(式8)}$$

のように表せる。ここで  $*$  はコンボリューション積分の演算を意味する。さらにこの像面強度分布にフーリエ変換を施すことにより、

$$F[I(x, y)] = F[O(x, y) * PSF(x, y)] = F[O(x, y)] F[PSF(x, y)] = F[O(x, y)] OTF$$

強度分布にフーリエ変換を施すことにより、

$\dots \dots \text{(式9)}$

のように像面光強度分布の空間周波数スペクトルが物体面の空間周波数スペクトルと点像分布の空間周波数スペクトルの積であることが導ける。点像分布の空間周波数スペクトルは光学伝達関数  $OTF$  と呼ばれ、

$$OTF = F[PSF(x, y)] = F\left[|F[P(X, Y)]|^2\right] = P(X, Y) * P^*(X, Y)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(X', Y') P^*(X' - X, Y' - Y) dX' dY' \dots \dots \text{(式10)}$$

のように瞳関数の自己相関演算で表されている。上述の式9から像面強度分布は、

$$I(x, y) = F^{-1}\left[F[O(x, y)] OTF\right] \dots \dots \text{(式11)}$$

のように表せることから、逆に像面強度分布と  $OTF$  が既知であれば、像面上における物体面上光強度分布の幾何学的写像、すなわち理想光学像が、

$$O(x, y) = F^{-1}\left[\frac{F[I(x, y)]}{OTF}\right] \dots \dots \text{(式12)}$$

10

20

30

40

50

のように表せる。この演算がデコンボリューションと呼ばれている。デコンボリューションは式の形からもわかるように、OTFがゼロにならないことが必要である。また像面内に異なる物体距離の像が混在する場合でも、それらの点像分布が焦点ずれによらず同一であれば、デコンボリューションで様に理想光学像を得ることができる。

【0034】

図8に第1実施例の位相フィルタ101の有無による撮像画像の処理結果比較例を示す。図8にて示すシミュレーション結果510における、シミュレーション条件は、焦点距離50mm、有効径15.625mm、Fナンバー3.2、波長0.5μm、物体距離710mm、センササイズ15mm、輪帯ピッチ0.8mm、位相差4.24、Oddケース、近似次数8次、画像サイズ1024×1024である。デコンボリューションに用いたOTFはデフォーカス0mmと1mmのOTFの平均を用いている。カメラ(すなわち撮像光学系ないし撮像システム)で取得される画像の階調は12bitを仮定した。元画像は0と最大輝度のスポーク状のモノクロ画像であり、上段が位相フィルタ101なしの通常取得画像、中段が第1実施例の位相フィルタ101を適用した場合のカメラ取得画像、下段がデコンボリューション結果画像である。さらに列方向が、センサ面の焦点ずれ量で左から-2、-1、0、1、2mmである。この場合のマイナスは、センサがレンズに近く、プラスはセンサがレンズから遠いことを意味している。位相フィルタ101なしとデコンボリューション処理後の画像の左下には、白抜きの数字で、画像の評価指標値の計算結果を示している。画像の評価指標は、PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)と呼ばれる数値であり、

10

20

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \frac{Max}{\sqrt{\frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - O(i, j)]^2}}$$

..... (式13)

で定義される。ここでMaxは最大輝度、m、nは横方向、縦方向の画像サイズ、I(i, j)は評価画像、O(i, j)は元画像である。この結果から、焦点ずれなしの通常画像には及ばないものの、±2mmの焦点ずれの範囲で目立った画像劣化もなく、焦点深度が拡大していることがわかる。図9に第1実施例の位相フィルタ101による瞳面の波面収差、すなわち位相分布520を示す。ただしここでは、焦点ずれの波面収差は含んでいない。各輪帯111で放物断面状の位相シフトが加わっていることがわかる。

30

【0035】

また、図10~14にこのときの点像分布関数の計算結果を示す。各グラフにて、横軸は画像の画素位置、縦軸は輝度であり、計算領域範囲は0.938mmである。グラフは左上から右下にかけて焦点ずれ量を-2、-1、0、1、2mmとしたときの計算結果である。焦点ずれがない場合について集光スポットが絞られすぎている兆候があるが、その他は概ね同等のスポットサイズとなっていることがわかる。

40

【0036】

上述した第1実施例では、輪帯幅(ピッチ)の等しい輪帯構造110の位相フィルタ101について説明したが、位相フィルタ101における輪帯111の幅が輪体間で等しい必要はない。図15は、第2実施例の位相フィルタ101の構造を示す平面図であり、図16は第2実施例の位相フィルタ101の構造を示す側断面図である。以下の第2実施例では、位相フィルタ101における輪帯111の幅が、光軸1から周縁部25に向けて狭くなっている例について説明する。図15、16に示す例では、周縁部25に一番近い、すなわち最外周の輪帯111の幅115は、その内周の輪帯111の幅116より狭くなっている。また、この位相フィルタ101は、入射光束に対して瞳面の半径方向に凹レン

50

ズとして作用する凹面 1 1 2 を含む輪帯 1 1 1 と、凸レンズとして作用する凸面 1 1 3 を含む輪帯 1 1 4 とを交互に備えた輪帯構造 1 1 0 を有している。

【 0 0 3 7 】

こうした構造の位相フィルタ 1 0 1 による瞳面の波面収差、すなわち位相分布 5 8 0 を図 1 7 に示す。この位相分布 5 8 0 において、横軸は瞳面の規格化半径であり、縦軸は光路差 (  $\mu\text{m}$  ) を示している。この位相分布 5 8 0 において、瞳面の規格化半径が大きいほど、すなわち位相フィルタ 1 0 1 の周縁部 2 5 ほど輪帯 1 1 1 の幅が狭くなっていることがわかる。このような構造を位相フィルタ 1 0 1 にて採用すると、各輪帯の寄与する面積を均一化することができ、製造ばらつきの影響を受けにくくなる。また第 2 実施例では位相差はすべての輪帯 1 1 1 で等しい輪帯構造である。

10

【 0 0 3 8 】

なお、第 1 実施例の位相フィルタ 1 0 1 における輪帯 1 1 1 (凹レンズとして作用する輪帯) 間、すなわち急峻で鋭い凸状の部位に入射する光束には、輪帯 1 1 1 による屈折作用が作用しない。一方、上述したように凹レンズとして作用する輪帯 1 1 1 と凸レンズとして作用する輪帯 1 1 4 とが交互に配置された位相フィルタ 1 0 1 においては、輪帯 1 1 1 の凹面 1 1 2 のうち輪帯 1 1 4 直近の領域に入射する光束も、輪帯 1 1 4 の凸レンズ作用によって所望の屈折をさせることが可能となり、その位相分布 5 8 0 は第 1 実施例の位相分布 5 2 0 (図 9) にあるような先鋭なピークを示さず、滑らかな形状となる。こうした構造の位相フィルタ 1 0 1 であれば、上述したような急峻で鋭い凸状の部位が輪帯間に存在しないため、当該位相フィルタ 1 0 1 でのチッピングの発生を抑えることができる。

20

【 0 0 3 9 】

なお上記では便宜上、凹レンズの輪帯 1 1 1 と凸レンズの輪帯 1 1 4 と説明したが、実際上は両方が一体となった領域を 1 つの輪帯として輪帯幅を定義している。

【 0 0 4 0 】

図 1 8 は上述の第 2 実施例における位相フィルタ 1 0 1 を用いた場合のデコンボリューション後の画像を示す。ここで位相フィルタ以外の条件は第 1 実施例の場合と同じである。左側の画像 5 9 0 は焦点ずれなし (Just focus)、右側の画像 6 0 0 は焦点ずれ 2 mm の場合である。第 1 実施例と比べ、やや画質が劣るが、第 1 実施例同様の焦点深度拡大効果があることがわかる。

【 0 0 4 1 】

ここで、位相フィルタ 1 0 1 の凹面 1 1 2 の傾斜が大きいほど屈折光線の傾斜角が大きくなるのに対して、光軸 1 の近傍でも周縁部 2 5 でも凹面 1 1 2 の深さが同じである場合、光軸 1 に近いほど光線が光軸 1 と交わる点の変化が大きくなる。これは焦点深度拡大に対する寄与が光軸 1 に近いほど大きく、周縁部 2 5 ほど小さくなることに相当すると考えることができる。そこで、以下に周縁部 2 5 ほど凹面 1 1 2 の深さが深くなる位相フィルタ 1 0 1 の例について説明する。なお、輪帯 1 1 1 における凹面 1 1 2 の深さは光軸 1 から周縁部 2 5 に向けて深くなるが、輪帯幅はすべての輪帯で一定であるものとする。

30

【 0 0 4 2 】

図 1 9 は第 3 実施例の位相フィルタの構造を示す平面図であり、図 2 0 は第 3 実施例の位相フィルタの構造を示す側断面図である。図 1 9、2 0 に示す例では、周縁部 2 5 に一番近い、すなわち最外周の輪帯 1 1 1 における凹面 1 1 2 の深さ 1 1 7 は、その内周の輪帯 1 1 1 における凹面 1 1 2 の深さ 1 1 8 より深くなっている。また、この位相フィルタ 1 0 1 は、入射光束に対して瞳面の半径方向に凹レンズとして作用する凹面 1 1 2 を含む輪帯 1 1 1 と、凸レンズとして作用する凸面 1 1 3 を含む輪帯 1 1 4 とを交互に備えた輪帯構造 1 1 0 を有している。

40

【 0 0 4 3 】

こうした構造の位相フィルタ 1 0 1 による瞳面の波面収差、すなわち位相分布 6 1 0 を図 2 1 に示す。この位相分布 6 1 0 に示すように、位相フィルタ 1 0 1 における輪帯 1 1 1 の凹面 1 1 2 の深さが深いことに応じて光路差の変化が大きくなり、位相シフトの変化量も大きくなる。

50

## 【 0 0 4 4 】

図 2 2 は第 3 実施例における位相フィルタ 1 0 1 を用いた場合のデコンボリューション後の画像を示す。ここで位相フィルタ以外の条件は第 1 実施例の場合と同じである。紙面左側の画像 6 2 0 は焦点ずれ - 2 mm、中央の画像 6 3 0 は焦点ずれ - 1 mm、右側の画像 6 4 0 は焦点ずれ 0 mm の場合である。また、各画像下に示した dB 値は P S N R ( P e a k S i g n a l - t o - N o i s e R a t i o ) である。第 1 実施例とほぼ同等の画像品質が得られていることがわかる。

## 【 0 0 4 5 】

上述してきたように、位相フィルタ 1 0 1 は撮像光学系 1 5 0 の実効的な焦点深度を拡大させる技術となり、種々の適用用途が考えられる。以下にその適用用途に即して、位相フィルタ 1 0 1 を用いた装置例について説明する。

10

## 【 0 0 4 6 】

図 2 3 は第 2 実施形態における車両走行支援装置 7 0 0 の構成例を示す図であり、図 2 4 は第 2 実施形態における車両走行支援装置 7 0 0 が備える情報処理装置 7 1 0 のハードウェア構成例を示す図である。たとえば、位相フィルタ 1 0 1 を車載カメラに組み込んで車両周囲の障害物を撮影し、この車載カメラによる撮像画像に基づいて衝突防止のために障害物検知を行う装置、すなわち車両走行支援装置 7 0 0 が想定できる。

## 【 0 0 4 7 】

この車両走行支援装置 7 0 0 は、第 1 実施形態で示した撮像システム 3 0 0 と同様に、画像センサ 3 0 5、画像信号出力回路 3 0 6、デコンボリューション前処理回路 3 0 9、およびデコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 を備えている他、情報処理装置 7 1 0 を含んでいる。また、情報処理装置 7 1 0 での処理結果は車両が備えるカーナビゲーション装置 7 3 0 のモニタディスプレイにて表示されることとなる。

20

## 【 0 0 4 8 】

この場合、当該車両走行支援装置 7 0 0 を搭載した車両の周囲、例えば車両前方に存在する他車両 7 0 1、7 0 2 の反射光が、撮像光学系 1 5 0 における位相フィルタ 1 0 1 を介して結像レンズ 1 0 2 に入射し、光軸 1 の方向にぼけ方が均一な像 7 0 3、7 0 4 を形成することになる。そこで車両走行支援装置 7 0 0 においては、画像センサ 3 0 5 が像 7 0 3、7 0 4 からのセンシングデータを得て、これを画像信号出力回路 3 0 6 に提供する。また、デコンボリューション前処理回路 3 0 9 が画像信号出力回路 3 0 6 の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する。また、このデコンボリューション前処理回路 3 0 9 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 7 1 0 に入力され、所定の処理を経て、上述した近い他車両 7 0 1 にも遠い他車両 7 0 2 にも焦点のあった画像の表示や、それに応じた警告通知等の音声出力がカーナビゲーション装置 7 3 0 にてなされる。

30

## 【 0 0 4 9 】

こうした車両走行支援装置 7 0 0 の備える情報処理装置 7 1 0 のハードウェア構成は以下の如くとなる。情報処理装置 7 1 0 は、ハードディスクドライブなど適宜な不揮発性記憶装置で構成される記憶装置 7 0 1、RAM など揮発性記憶装置で構成されるメモリ 7 0 3、記憶装置 7 0 1 に保持されるプログラム 7 0 2 をメモリ 7 0 3 に読み出すなどして実行し装置自体の統括制御を行なうとともに各種判定、演算及び制御処理を行なう CPU 7 0 4、ユーザ入力受付や結果出力を行う 7 0 5 (ディスプレイやキーボード、マウス等) を備える。なお、プログラム 7 0 2 としては、車両走行支援装置 7 0 0 として必要な機能を実装する為の画像認識アルゴリズム 7 1 0 と、接近判定プログラム 7 1 1 が少なくとも記憶されている。プログラム 7 0 2 の処理に関しては後述する。

40

## 【 0 0 5 0 】

次に、図 2 5 に基づいて、車両走行支援装置 7 0 0 が実行する処理フローについて説明する。車両走行支援装置 7 0 0 における、撮像光学系 1 5 0 は車両周囲物体である他車両 7 0 1、7 0 2 の撮像を行い ( s 1 0 0 )、この撮像による像 7 0 3、7 0 4 を画像セン

50

サ 3 0 5 がセンシングして画像データを取得する ( s 1 0 1 ) 。

【 0 0 5 1 】

画像センサ 3 0 5 は、上述の画像データを画像信号出力回路 3 0 6 に画像信号として提供し、画像信号出力回路 3 0 6 では、画像センサ 3 0 5 で出力可能な最高解像度の情報を保ったまま、適宜な静止画または動画の画像フォーマットに変換し画像信号としてデコンボリューション前処理回路 3 0 9 に出力する ( s 1 0 2 ) 。

【 0 0 5 2 】

デコンボリューション前処理回路 3 0 9 は、画像信号出力回路 3 0 6 の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する ( s 1 0 3 ) 。また、このデコンボリューション前処理回路 3 0 9 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 7 1 0 に入力される ( s 1 0 4 ) 。

【 0 0 5 3 】

情報処理装置 7 1 0 は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 の出力データ、すなわち、焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に対して、車両認識用の画像認識アルゴリズム 7 1 0 を適用して、自車両から異なる距離に存在し、自車両から一定距離内にある他車両 7 0 1 、 7 0 2 から複数の物体を同時に検知する ( s 1 0 5 ) 。画像認識アルゴリズム 7 1 0 は、例えば、元画像を構成する画素について、予め定めた所定色彩の画素集合の形状やサイズの領域 ( 車両形状に対応したもの ) を特定し、強調表示する等の画像処理を行うアルゴリズムとなる。

【 0 0 5 4 】

情報処理装置 7 1 0 はステップ s 1 0 5 で検知した他車両 7 0 1 、 7 0 2 の像 7 0 3 、 7 0 4 を、カーナビゲーション装置 7 3 0 にて表示させると共に、これら他車両 7 0 1 、 7 0 2 と接近している旨を警告する通知メッセージをカーナビゲーション装置 7 3 0 にて表示ないし音声出力する ( s 1 0 6 ) 。こうした車両走行支援装置 7 0 0 によれば、自車両から近い位置にある障害物も遠い位置にある障害物も同時に検知することが可能となり、車両走行に際しての安全性向上が図られる。

【 0 0 5 5 】

他にも、位相フィルタ 1 0 1 を監視カメラに組み込んで所定の監視対象領域に所在する不審者、侵入者を撮影し、この監視カメラによる撮像画像に基づいて所定の監視処理を行う装置、すなわち監視装置 7 5 0 が想定できる。図 2 6 は第 3 実施形態における監視装置 7 5 0 の構成例を示す図であり、図 2 7 は第 3 実施形態における監視装置 7 5 0 が備える情報処理装置 7 6 0 のハードウェア構成例を示す図である。

【 0 0 5 6 】

この監視装置 7 5 0 は、第 1 実施形態で示した撮像システム 3 0 0 と同様に、画像センサ 3 0 5 、画像信号出力回路 3 0 6 、デコンボリューション前処理回路 3 0 9 、およびデコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 を備えている他、情報処理装置 7 6 0 を含んでいる。また、情報処理装置 7 6 0 での処理結果はモニタディスプレイ 7 8 0 にて表示されることとなる。

【 0 0 5 7 】

この場合、当該監視装置 7 5 0 の周囲に広がる監視対象領域に存在する人物 7 5 1 、 7 5 2 の反射光が、撮像光学系 1 5 0 における位相フィルタ 1 0 1 を介して結像レンズ 1 0 2 に入射し、光軸 1 の方向にぼけ方が均一な像 7 5 3 、 7 5 4 を形成することになる。そこで監視装置 7 5 0 においては、画像センサ 3 0 5 が像 7 5 3 、 7 5 4 からのセンシングデータを得て、これを画像信号出力回路 3 0 6 に提供する。また、デコンボリューション前処理回路 3 0 9 が画像信号出力回路 3 0 6 の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する。また、このデコンボリューション前処理回路 3 0 9 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 7 6 0 に入力され、所定の処理を経て、上述した近い人物 7 5 1 にも遠い人物 7 5 2 にも焦点のあった画像の表示や

10

20

30

40

50

、それに応じた警告通知等の音声出力がモニタディスプレイ780にてなされる。

【0058】

こうした監視装置750の備える情報処理装置760のハードウェア構成は以下の如くなる。監視装置750は、ハードディスクドライブなど適宜な不揮発性記憶装置で構成される記憶装置761、RAMなど揮発性記憶装置で構成されるメモリ763、記憶装置761に保持されるプログラム762をメモリ763に読み出すなどして実行し装置自体の統括制御を行なうとともに各種判定、演算及び制御処理を行なうCPU764、ユーザ入力受付や結果出力を行う765(ディスプレイやキーボード、マウス等)を備える。なお、プログラム762としては、監視装置750として必要な機能を実装する為の画像認識アルゴリズム770が少なくとも記憶されている。プログラム702の処理に関しては

10

【0059】

次に、図28に基づいて、監視装置750が実行する処理フローについて説明する。監視装置750における、撮像光学系150は監視対象領域に所在する人物751、752の撮像を行い(s200)、この撮像による像753、754を画像センサ305がセンシングして画像データを取得する(s201)。

【0060】

画像センサ305は、上述の画像データを画像信号出力回路306に画像信号として提供し、画像信号出力回路306では、画像センサ305で出力可能な最高解像度の情報を保ったまま、適宜な静止画または動画の画像フォーマットに変換し画像信号としてデコン

20

【0061】

デコンボリ्यूション前処理回路309は、画像信号出力回路306の出力たる画像信号を受けて、デコンボリ्यूションフィルタ回路310でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する(s203)。また、このデコンボリ्यूション前処理回路309の出力信号は、デコンボリ्यूションフィルタ回路310にてフィルタ処理を行って情報処理装置760に入力される(s204)。

【0062】

情報処理装置760は、デコンボリ्यूションフィルタ回路310の出力データ、すなわち、焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に対して、人物認識用の画像認識アルゴリズム770を適用して、監視装置750から異なる距離に存在し、当該監視装置750から一定距離内すなわち監視対象領域にある人物751、752ら複数人を同時に検知する(s205)。画像認識アルゴリズム770は、例えば、元画像を構成する画素について、予め定めた所定色彩の画素集合の形状やサイズの領域(人の外形に対応したもの)を特定し、強調表示する等の画像処理を行うアルゴリズムとなる。

30

【0063】

情報処理装置760はステップs205で検知した人物751、752の像753、754を、モニタディスプレイ780にて表示させると共に、これら人物751、752が監視対象領域に侵入している旨を警告する通知メッセージをモニタディスプレイ780にて表示ないし音声出力する(s206)。こうした監視装置750によれば、撮像光学系からの所在距離によらず、監視対象領域に侵入した、あるいは所在する不審者や犯罪者等の認識率が向上する。

40

【0064】

また他にも、位相フィルタ101を認証装置における認証対象の撮像装置に組み込んで、所定の認証対象を撮影し、この撮像装置よる撮像画像に基づいて所定の認証処理を行う装置、すなわち認証装置800が想定できる。図29は第4実施形態における認証装置の構成例を示す図であり、図30は第4実施形態における認証装置が備える情報処理装置のハードウェア構成例を示す図である。

【0065】

この認証装置800は、第1実施形態で示した撮像システム300と同様に、画像セン

50

サ 3 0 5、画像信号出力回路 3 0 6、デコンボリューション前処理回路 3 0 9、およびデコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 を備えている他、情報処理装置 8 1 0 を含んでいる。また、情報処理装置 8 1 0 での処理結果はモニタディスプレイ 8 3 0 にて表示されることとなる。

【 0 0 6 6 】

この場合、当該認証装置 8 0 0 にて認証対象（例：指紋認証や静脈認証の部位となる手指、手のひら、手首、虹彩認証の部位となる瞳など）となる指 8 0 1、8 0 2 の反射光が、撮像光学系 1 5 0 における位相フィルタ 1 0 1 を介して結像レンズ 1 0 2 に入射し、光軸 1 の方向にぼけ方が均一な像 8 0 3、8 0 4 を形成することになる。そこで認証装置 8 0 0 においては、画像センサ 3 0 5 が像 8 0 3、8 0 4 からのセンシングデータを得て、これを画像信号出力回路 3 0 6 に提供する。また、デコンボリューション前処理回路 3 0 9 が画像信号出力回路 3 0 6 の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する。また、このデコンボリューション前処理回路 3 0 9 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 8 1 0 に入力され、所定の処理を経て、撮像光学系 1 5 0 からの撮影距離が近かった機会での指 8 0 1 にも、或いは撮影距離が遠かった機会での指 8 0 2 にも焦点のあった画像の表示や、それに応じた認証処理結果の表示ないし音声出力がモニタディスプレイ 8 3 0 にてなされる。

【 0 0 6 7 】

こうした認証装置 8 0 0 の備える情報処理装置 8 1 0 のハードウェア構成は以下の如くとなる。情報処理装置 8 1 0 は、ハードディスクドライブなど適宜な不揮発性記憶装置で構成される記憶装置 8 1 1、RAM など揮発性記憶装置で構成されるメモリ 8 1 3、記憶装置 8 1 1 に保持されるプログラム 8 1 2 をメモリ 8 1 3 に読み出すなどして実行し装置自体の統括制御を行なうとともに各種判定、演算及び制御処理を行なう CPU 8 1 4、ユーザ入力受付や結果出力を行う 8 1 5（ディスプレイやキーボード、マウス等）を備える。なお、プログラム 8 1 2 としては、認証装置 8 0 0 として必要な機能を実装する為の画像認識アルゴリズム 8 8 0、および認証プログラム 8 8 1 が少なくとも記憶されている。プログラム 8 1 2 の処理に関しては後述する。

【 0 0 6 8 】

次に、図 3 1 に基づいて、認証装置 8 0 0 が実行する処理フローについて説明する。認証装置 8 0 0 における、撮像光学系 1 5 0 は認証対象 8 0 1、8 0 2 の撮像を行い（s 3 0 0）、この撮像による像 8 0 3、8 0 4 を画像センサ 3 0 5 がセンシングして画像データを取得する（s 3 0 1）。

【 0 0 6 9 】

画像センサ 3 0 5 は、上述の画像データを画像信号出力回路 3 0 6 に画像信号として提供し、画像信号出力回路 3 0 6 では、画像センサ 3 0 5 で出力可能な最高解像度の情報を保ったまま、適宜な静止画または動画の画像フォーマットに変換し画像信号としてデコンボリューション前処理回路 3 0 9 に出力する（s 3 0 2）。

【 0 0 7 0 】

デコンボリューション前処理回路 3 0 9 は、画像信号出力回路 3 0 6 の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する（s 3 0 3）。また、このデコンボリューション前処理回路 3 0 9 の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 8 1 0 に入力される（s 3 0 4）。

【 0 0 7 1 】

情報処理装置 8 1 0 は、デコンボリューションフィルタ回路 3 1 0 の出力データ、すなわち、焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に対して、認証対象認識用の画像認識アルゴリズム 7 7 0 を適用して、認証機会毎に撮像光学系 1 5 0 からの距離が異なってしまったが同一人物に属する認証対象 8 0 1、8 0 2 からの認証用データを得る（s 3 0 5）。認証用データとしては、指紋、静脈、虹彩等の像 8 0 3、8 0 4 に対応した画像

10

20

30

40

50

データとなる。画像認識アルゴリズム 770 は、例えば、元画像を構成する画素について、予め定めた所定色彩の画素集合の形状やサイズの領域（指紋や静脈、虹彩等の形状に対応したもの）を特定し、強調表示する等の画像処理を行うアルゴリズムとなる。

【0072】

情報処理装置 810 は、ステップ s 305 で得た認証対象 801、802 の画像データを認証プログラム 881 に入力し、当該認証プログラム 881 による特徴データの抽出と、当該抽出した特徴データと所定テンプレート（認証対象の人物毎に予め用意された認証基準のデータ）との照合、の各処理を実行して、一般的な認証処理を行う（s 306）。

【0073】

情報処理装置 810 は、ステップ s 306 で得た認証結果を、モニタディスプレイ 830 にて表示或いは音声出力する（s 307）。こうした認証装置 800 によれば、撮像光学系 150 に対する認証対象（人の指紋、静脈、虹彩等）の距離が認証を行う毎に変化する状況があっても、そうした距離のばらつきを適宜吸収して、ひいては認証精度の向上が可能となる。

【0074】

また他にも、位相フィルタ 101 を医療装置における診療対象領域の撮像装置に組み込んで、所定の診療対象領域を撮影し、この撮像装置による撮像画像に基づいて所定処理を行う装置、すなわち医療装置 850 が想定できる。図 32 は第 5 実施形態における医療装置 850 の構成例を示す図であり、図 33 は第 5 実施形態における医療装置 850 が備える情報処理装置 860 のハードウェア構成例を示す図である。

【0075】

この医療装置 850 は、第 1 実施形態で示した撮像システム 300 と同様に、画像センサ 305、画像信号出力回路 306、デコンポリューション前処理回路 309、およびデコンポリューションフィルタ回路 310 を備えている他、情報処理装置 860 を含んでいる。また、情報処理装置 860 での処理結果はモニタディスプレイ 880 にて表示されることとなる。

【0076】

この場合、当該医療装置 850 にて診療対象領域（例：診療、診察を行う臓器等）となる患部 851、852 の反射光が、撮像光学系 150 における位相フィルタ 101 を介して結像レンズ 102 に入射し、光軸 1 の方向にぼけ方が均一な像 853、854 を形成することになる。そこで医療装置 850 においては、画像センサ 305 が像 853、854 からのセンシングデータを得て、これを画像信号出力回路 306 に提供する。また、デコンポリューション前処理回路 309 が画像信号出力回路 306 の出力たる画像信号を受けて、デコンポリューションフィルタ回路 310 でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する。また、このデコンポリューション前処理回路 309 の出力信号は、デコンポリューションフィルタ回路 310 にてフィルタ処理を行って情報処理装置 860 に入力され、所定の処理を経て、撮像光学系 150 から距離が近い患部 851 にも、或いは距離が遠い患部 852 にも焦点のあった画像の表示がモニタディスプレイ 880 にてなされる。

【0077】

こうした医療装置 850 の備える情報処理装置 860 のハードウェア構成は以下の如くとなる。情報処理装置 860 は、ハードディスクドライブなど適宜な不揮発性記憶装置で構成される記憶装置 861、RAM など揮発性記憶装置で構成されるメモリ 863、記憶装置 861 に保持されるプログラム 862 をメモリ 863 に読み出すなどして実行し装置自体の統括制御を行なうとともに各種判定、演算及び制御処理を行なう CPU 864、ユーザ入力受付や結果出力を行う 865（ディスプレイやキーボード、マウス等）を備える。なお、プログラム 862 としては、医療装置 850 として必要な機能を実装する為の画像認識アルゴリズム 870 が少なくとも記憶されている。プログラム 862 の処理に関しては後述する。

【0078】

10

20

30

40

50

次に、図34に基づいて、医療装置850が実行する処理フローについて説明する。医療装置850における、撮像光学系150は診療対象領域にて患部851、852の撮像を行い(s400)、この撮像による像853、854を画像センサ305がセンシングして画像データを取得する(s401)。

【0079】

画像センサ305は、上述の画像データを画像信号出力回路306に画像信号として提供し、画像信号出力回路306では、画像センサ305で出力可能な最高解像度の情報を保ったまま、適宜な静止画または動画の画像フォーマットに変換し画像信号としてデコンボリューション前処理回路309に出力する(s402)。

【0080】

デコンボリューション前処理回路309は、画像信号出力回路306の出力たる画像信号を受けて、デコンボリューションフィルタ回路310でのフィルタ演算に適したデジタル画像データ形式に変換する(s403)。また、このデコンボリューション前処理回路309の出力信号は、デコンボリューションフィルタ回路310にてフィルタ処理を行って情報処理装置860に入力される(s404)。

【0081】

情報処理装置860は、デコンボリューションフィルタ回路310の出力データ、すなわち、焦点深度拡大画像を取得し、当該焦点深度拡大画像に対して、患部の画像認識アルゴリズム870を適用して、診療対象領域において撮像光学系150から異なる距離に存在する複数患部851、852らの画像データを得る(s405)。この画像認識アルゴリズム870は、例えば、元画像を構成する画素について、予め定めた所定色彩の画素集合の形状やサイズの領域(患部形状に対応したもの)を特定し、強調表示する等の画像処理を行うアルゴリズムとなる。

【0082】

情報処理装置860は、ステップs405で得た患部851、852の画像データを、モニタディスプレイ880にて表示する(s406)。こうした医療装置850によれば、撮像光学系150からの患部の遠近によらず、医療従事者における患部の同時視認性が高まることとなる。このことは医療用カメラ等における光学系の設計を容易化し、レンズ必要枚数の削減等も可能となり、製造コスト削減にもつながる。

【0083】

以上、本発明を実施するための最良の形態などについて具体的に説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。

【0084】

こうした本実施形態によれば、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれがなくなり、本実施形態の位相フィルタや当該位相フィルタを用いた光学系、及び撮像システムを、点像の位置によって物体位置の計測を行う用途に用いることが可能となる。さらに、位相フィルタとなる光学非球面は回転対称形状をなし、その成形に用いる金型も回転対称形状となり、金型製作に際して回転旋盤加工が可能となる。そのため、位相フィルタ用金型の製作時間の短縮や、製造コストの削減が可能となる。また、位相フィルタにおいて輪帯構造を導入することにより、大きな凹凸形状が不要すなわち素子の凹凸が少なくなり、画角のある光線に対する位相シフト量のずれなども緩和できる。また本実施形態の光学系において、アキシコンを輪帯状に構成することと等価な光学系が実現でき、撮像光学系への適用が可能となる。

【0085】

したがって、WFCの画像処理後の焦点深度拡大画像において、焦点ずれに応じた像点の面内位置ずれの発生を抑制できる。

【0086】

本明細書の記載により、少なくとも次のことが明らかにされる。すなわち、本実施形態の位相フィルタにおいて、輪帯は、入射光束に対して瞳面の半径方向に凹レンズとして作用する凹面を備えるとしてもよい。これによれば、位相フィルタとなる光学非球面が輪形

10

20

30

40

50

の凹面が同心円状に配置された回転対称形状をなすこととなり、その成形に用いる金型も回転対称形状となり、金型製作に際して回転旋盤加工が可能となる。そのため、位相フィルタ用金型の製作時間の短縮や、製造コストの削減が可能となる。また、位相フィルタにおいてこうした輪帯構造を導入することにより、大きな凹凸形状が不要すなわち素子の凹凸が少なくなり、画角のある光線に対する位相シフト量のずれなども緩和できる。

【0087】

また、本実施形態の位相フィルタにおいて、輪帯は、入射光束に対して瞳面の半径方向に凹レンズとして作用する凹面と凸レンズとして作用する凸面とを交互に備えるとしてもよい。これによれば、凹レンズとして作用する輪帯のみで輪帯構造を形成する場合と比較して、位相分布による瞳面の波面収差すなわち位相分布における先鋭なピークが解消され、位相分布が滑らかな形状となるため、製造する位相フィルタでチッピングの発生を抑えることができる。

10

【0088】

また、本実施形態の位相フィルタにおいて、輪帯の幅が各輪帯間で等しいとしてもよい。これによれば、位相フィルタにおける輪帯構造が簡潔なものとなるため、その成形に用いる金型の製作時間の短縮や製造コストの削減が可能となる。

【0089】

また、本実施形態の位相フィルタにおいて、輪帯によって加わる位相差が各輪帯間で等しいとしてもよい。これによれば、位相フィルタにおける各輪帯間で同様の位相シフトを加えることができる。

20

【0090】

また、本実施形態の位相フィルタにおいて、各輪帯の幅が、光軸から当該位相フィルタにおける周縁部に向けて狭くなっている、としてもよい。これによれば、各輪帯の寄与する面積を均一化して、製造ばらつきの影響を受けにくくできる。

【0091】

また、本実施形態の位相フィルタにおいて、輪帯によって加わる位相差が、光軸近傍より当該位相フィルタにおける周縁部の方が大きいとしてもよい。これによれば、位相フィルタの各輪帯における焦点深度拡大に対する寄与を光軸からの遠近に関わらず平準化することができる。

【0092】

なお、図1、5、23、26、29、32のいずれも片面平面、片面位相構造を持った位相板が挿入された構成になっているが、絞り、またはその結像位置である瞳面に近いレンズ面に位相構造を直接形成しても効果は同様になるので、位相フィルタはそのようなレンズ面上に一体に直接形成してもよい。

30

【0093】

本発明を適用するレンズ光学系としては、固定焦点距離のレンズだけでなく、焦点距離が可変なズームレンズ光学系でも適用できる。絞りまたは瞳面近傍に位相フィルタが配置されていれば、焦点深度拡大効果に多少の変化はあるが、基本的には適用可能である。撮影できる被写界深度の拡大とともに、像とセンサ面の焦点調整も容易となり、焦点調整機構が排除できる。

40

【符号の説明】

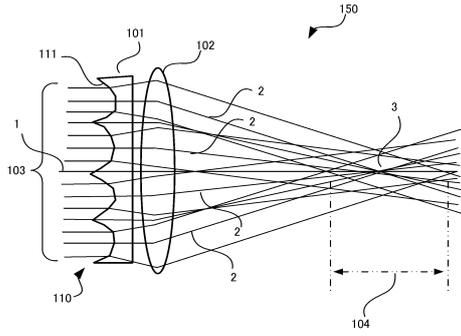
【0094】

- 1 光軸
- 2 輪帯中心を通る光線
- 25 位相フィルタ周縁部
- 101 位相フィルタ
- 102 結像レンズ
- 103 光線
- 104 光束オーバーラップ範囲
- 110 輪帯構造

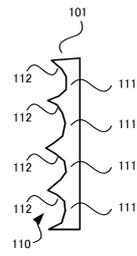
50

1 1 1	輪帯（凹レンズ）	
1 1 2	凹面	
1 1 3	凸面	
1 1 4	輪帯（凸レンズ）	
1 1 5	周縁部輪帯幅	
1 1 6	光軸付近輪帯幅	
1 5 0	撮像光学系	
2 0 1	アキシコン	
2 0 2	光束オーバーラップ範囲	
3 0 0	撮像システム	10
3 0 1	近い距離にある物体	
3 0 2	遠い距離にある物体	
3 0 3	近い距離にある物体の像	
3 0 4	遠い距離にある物体の像	
3 0 5	画像センサ	
3 0 6	画像信号出力回路	
3 0 7	モニタ出力生成回路	
3 0 8	モニタディスプレイ	
3 0 9	デコンボリューション前処理回路	
3 1 0	デコンボリューションフィルタ回路	20
3 1 1	第2のモニタ出力生成回路	
3 1 2	第2のモニタディスプレイ	
7 0 0	車両走行支援装置	
7 1 0、7 6 0、8 1 0、8 6 0	情報処理装置	
7 5 0	監視装置	
8 0 0	認証装置	
8 5 0	医療装置	

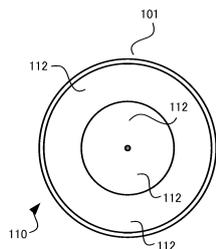
【図1】



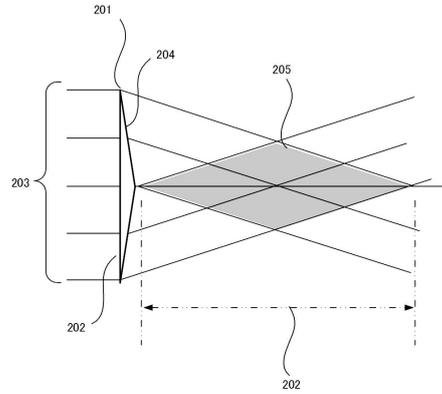
【図3】



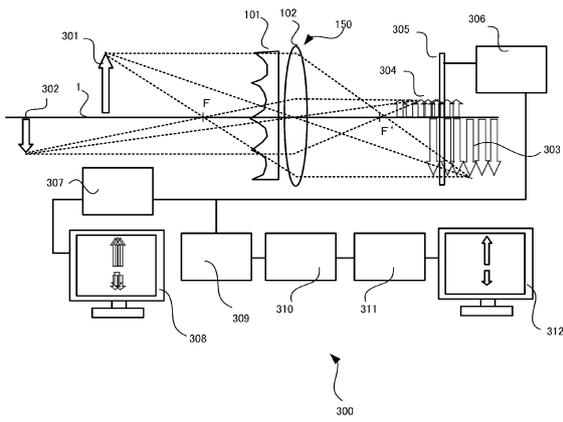
【図2】



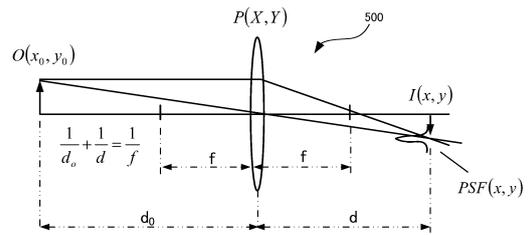
【図4】



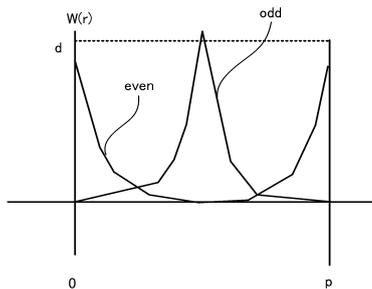
【図5】



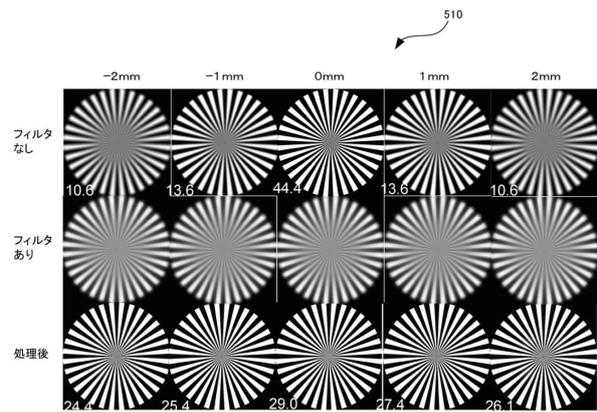
【図7】



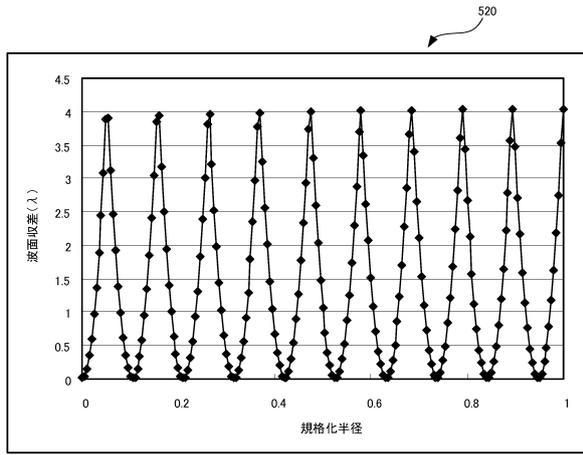
【図6】



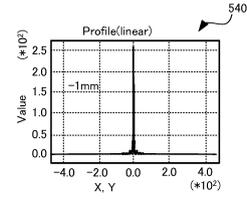
【図8】



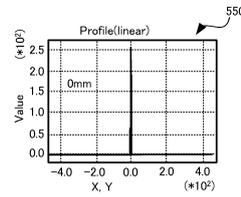
【 図 9 】



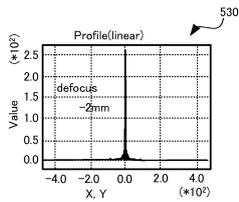
【 図 1 1 】



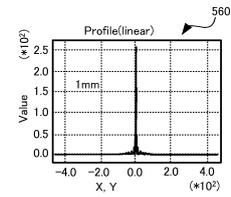
【 図 1 2 】



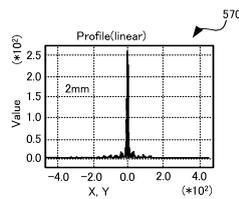
【 図 1 0 】



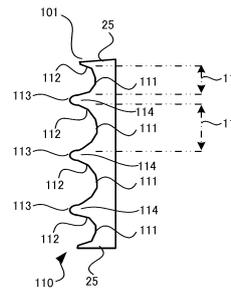
【 図 1 3 】



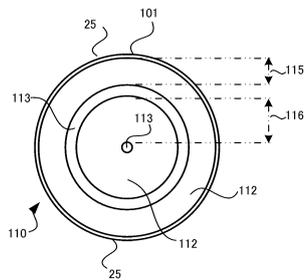
【 図 1 4 】



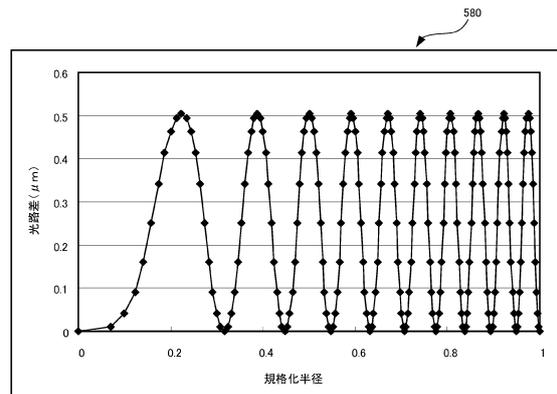
【 図 1 6 】



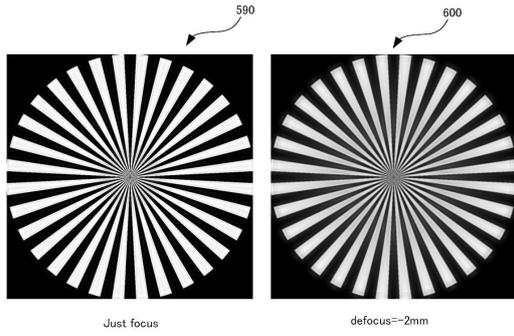
【 図 1 5 】



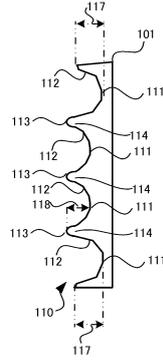
【 図 1 7 】



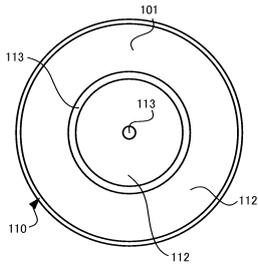
【図18】



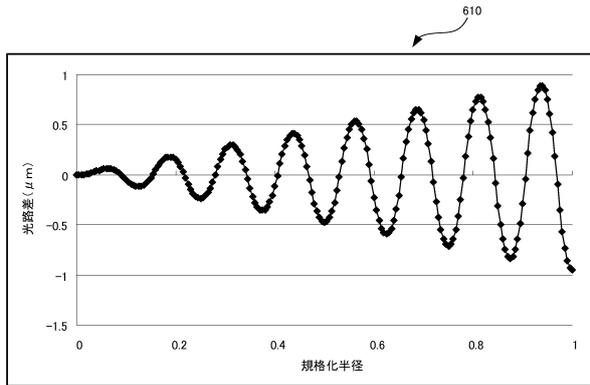
【図20】



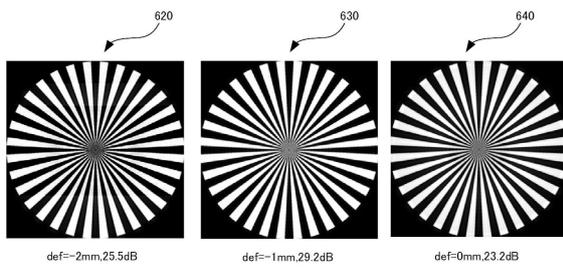
【図19】



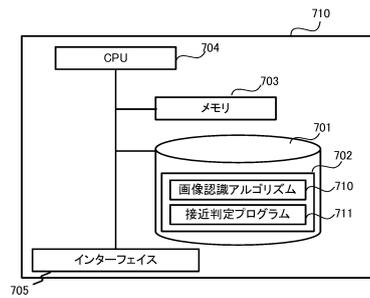
【図21】



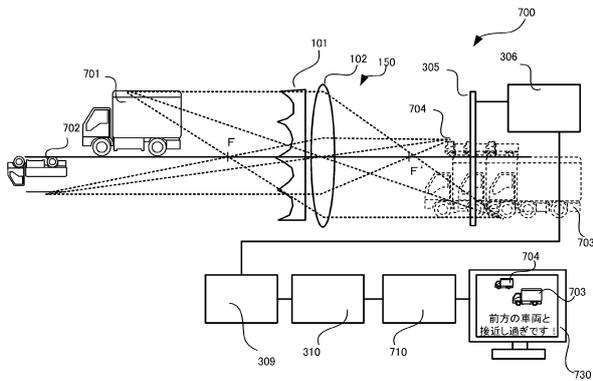
【図22】



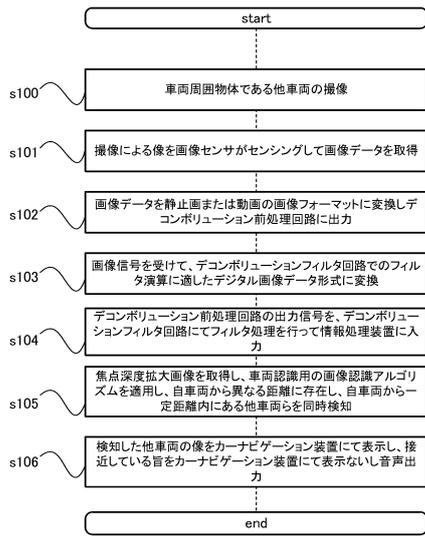
【図24】



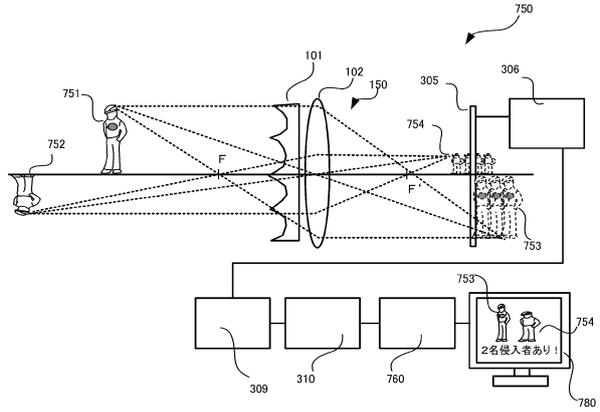
【図23】



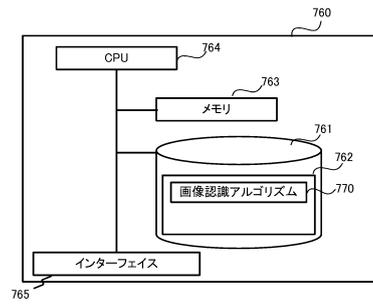
【図 25】



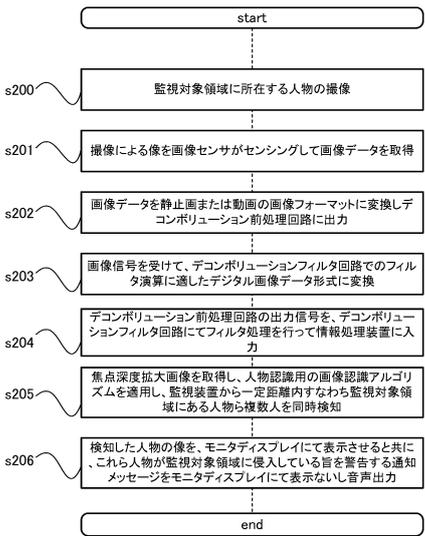
【図 26】



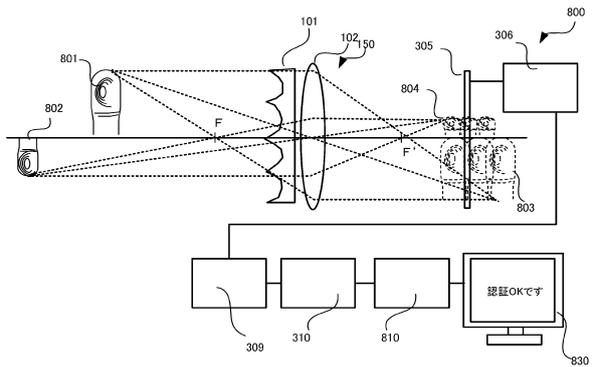
【図 27】



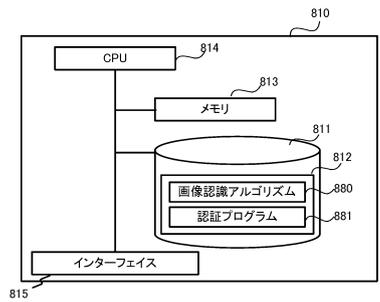
【図 28】



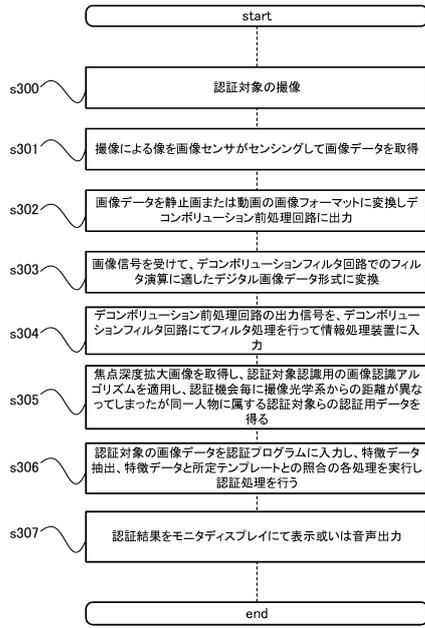
【図 29】



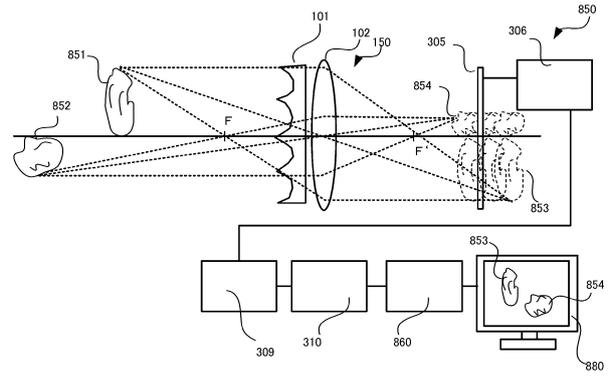
【図 30】



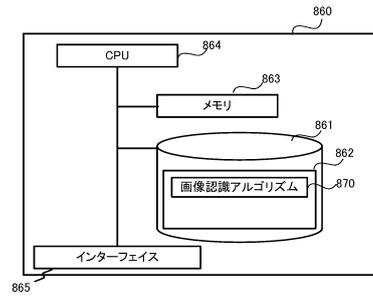
【図31】



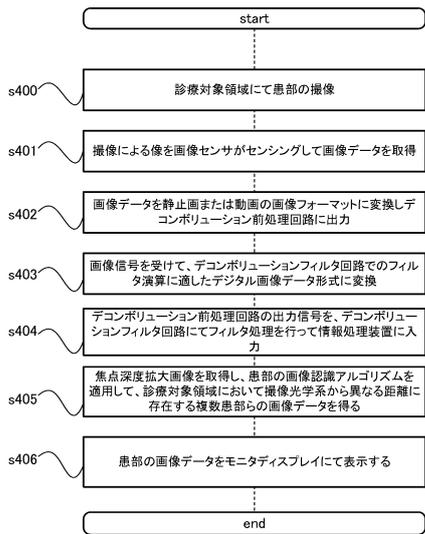
【図32】



【図33】



【図34】



---

フロントページの続き

審査官 山 崎 和子

- (56)参考文献 特開2009-271537(JP,A)  
特開2006-139246(JP,A)  
特開2007-327966(JP,A)  
特開2005-331784(JP,A)  
特開2011-128238(JP,A)  
米国特許出願公開第2010/0097487(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 1/00-1/08  
3/00-3/14  
5/00-5/136  
5/18、5/30、5/32  
9/00-21/36  
25/00-25/04、27/00  
G11B 7/12-7/22  
G03B 11/00  
B60R 1/00  
H04N 5/232  
A61B 5/103、10/00  
G08G 1/16  
G01B 11/00  
F21S 2/00