

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6873621号  
(P6873621)

(45) 発行日 令和3年5月19日(2021.5.19)

(24) 登録日 令和3年4月23日(2021.4.23)

(51) Int.Cl.

F 1

**G02F 1/13 (2006.01)**  
**G02F 1/13363 (2006.01)**  
**G02B 5/30 (2006.01)**  
**G03B 11/00 (2021.01)**  
**G01J 4/04 (2006.01)**

GO2 F 1/13 505  
 GO2 F 1/13363  
 GO2 B 5/30  
 GO3 B 11/00  
 GO1 J 4/04 A

請求項の数 14 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2016-137001 (P2016-137001)

(22) 出願日

平成28年7月11日(2016.7.11)

(65) 公開番号

特開2018-10049 (P2018-10049A)

(43) 公開日

平成30年1月18日(2018.1.18)

審査請求日

令和1年7月10日(2019.7.10)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(74) 代理人 100104628

弁理士 水本 敦也

(74) 代理人 100121614

弁理士 平山 優也

(72) 発明者 桃木 和彦  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
ヤノン株式会社内

審査官 岩村 貴

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学装置および撮像装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被写体からの光を撮像素子に導く光学装置であって、  
 遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に  $/2$  の相対位相差を与える第 1 の位相差板と、  
 遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に与える相対位相差を変更可能な第 2 の位相差板と、  
 前記撮像素子に導く偏光成分を抽出する偏光子とを有し、

前記第 1 の位相差板、前記第 2 の位相差板、および前記偏光子は、前記被写体の側から前記撮像素子の側へ順に配置され、

前記第 2 の位相差板の遅相軸方向は、前記第 1 の位相差板の遅相軸方向および進相軸方向に対して傾いており、

前記第 2 の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記撮像素子の短辺方向に対して平行であることを特徴とする光学装置。

## 【請求項 2】

前記第 2 の位相差板の遅相軸方向は、前記偏光子の透過軸方向に対して 45 度だけ傾いていることを特徴とする請求項 1 に記載の光学装置。

## 【請求項 3】

前記第 1 の位相差板の遅相軸方向は、前記偏光子の透過軸方向に対して平行であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学装置。

**【請求項 4】**

前記第2の位相差板は、液晶層を含むことを特徴とする請求項1から3の何れか一項に記載の光学装置。

**【請求項 5】**

前記液晶層の液晶分子の傾倒方向は、前記撮像素子の短辺方向に対して平行であることを特徴とする請求項4に記載の光学装置。

**【請求項 6】**

前記液晶層は、VA液晶層であることを特徴とする請求項4または5に記載の光学装置。

**【請求項 7】**

前記液晶層の液晶分子の傾倒方向が前記撮像素子の短辺方向に対して平行となるよう前に記載の光学装置を回転させる機構を更に有することを特徴とする請求項4から6の何れか一項に記載の光学装置。

**【請求項 8】**

前記光学装置の外形は矩形であり、前記液晶層の液晶分子の傾倒方向は前記光学装置の短辺方向に対して平行であることを特徴とする請求項4から7の何れか一項に記載の光学装置。

**【請求項 9】**

前記撮像素子と前記偏光子との間に配置され、複数の層からなる光学ローパスフィルタを更に有し

前記光学ローパスフィルタの最も前記偏光子の側の層による光分離方向は、前記偏光子の透過軸方向に対して45度だけ傾いていることを特徴する請求項1から8のうち何れか一項に記載の光学装置。

**【請求項 10】**

前記光学ローパスフィルタは、複屈折素子または偏光回折素子を含むことを特徴とした請求項9に記載の光学装置。

**【請求項 11】**

前記撮像素子と前記偏光子との間に配置される光学ローパスフィルタと、

前記光学ローパスフィルタと前記偏光子との間に配置され、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に $\pi/2$ の相対位相差を与える第3の位相差板とを有し、

前記第3の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光子の透過軸方向に対して45度だけ傾いていることを特徴とする請求項1から8のうち何れか一項に記載の光学装置。

**【請求項 12】**

前記第3の位相差板は、アクロマチック位相差板であることを特徴とする請求項11に記載の光学装置。

**【請求項 13】**

請求項1から12のうち何れか一項に記載の光学装置と、該光学装置からの光を受光する撮像素子とを備えることを特徴とする撮像装置。

**【請求項 14】**

前記第2の位相差板の相対位相差ごとに前記撮像素子に画像を取得させ、該画像から前記被写体の偏光情報を取得する制御手段を有することを特徴とする請求項13に記載の撮像装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、光学装置および撮像装置に関し、特に偏光情報を取得可能な光学装置およびそれを有する撮像装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

10

20

30

40

50

被写体からの光の偏光状態を観察することによって、被写体の所定の特徴を強調して検出可能な撮像装置が知られている。例えば、一眼レフカメラのレンズ前面に偏光フィルタ(偏光板)を装着して被写体を撮影することで、被写体の色やコントラスト等の質感を際立たせることや、水面等の反射光の写り込みを強調または軽減することができる。また、異なる偏光方向で撮影を行い、被写体のエッジや欠陥部を検出可能な検査装置等も知られている。

### 【0003】

特許文献1では、固体撮像素子上の各画素に対して異なる偏光を透過するワイヤーグリッド偏光板を有し、複数の画素から偏光情報を抽出する撮像素子の構成が開示されている。また、特許文献2では、 $/4$ 板、位相差を可変可能な2枚の位相差板、および偏光板を有し、位相差板の軸方向を変化させながら複数枚の画像を撮ることによりストークスパラメータの一部を取得する構成が開示されている。10

### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0004】

【特許文献1】特許第5682437号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2009/0079982号明細書

### 【発明の概要】

### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0005】

しかしながら、特許文献1では、複数の画素を偏光情報の取得に割り当てるため、解像度または色情報が失われる。また、特許文献2では、2枚の可変位相差板が必要であり、制御が煩雑化してコストも高くなる。さらに、一般的なデジタル一眼レフカメラ等で撮像素子の手前に配置される光学ローパスフィルタやオートフォーカス手段に偏光依存性が存在する場合、上記特許文献の構成では被写体の偏光情報を正しく取得できない可能性がある。20

#### 【0006】

このような課題に鑑みて、本発明は、簡易な構成で良好な偏光情報を取得可能な光学装置および撮像装置を提供することを目的とする。

### 【課題を解決するための手段】

#### 【0007】

本発明の一側面としての光学装置は、被写体からの光を撮像素子に導く光学装置であって、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に $/2$ の相対位相差を与える第1の位相差板と、遅相軸方向の偏光成分と進相軸方向の偏光成分との間に与える相対位相差を変更可能な第2の位相差板と、前記撮像素子に導く偏光成分を抽出する偏光子とを有し、前記第1の位相差板、前記第2の位相差板、および前記偏光子は、前記被写体の側から前記撮像素子の側へ順に配置され、前記第2の位相差板の遅相軸方向は、前記第1の位相差板の遅相軸方向および進相軸方向に対して傾いており、前記第2の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記撮像素子の短辺方向に対して平行であることを特徴とする。40

### 【発明の効果】

#### 【0008】

本発明によれば、簡易な構成で良好な偏光情報を取得可能な光学装置および撮像装置を提供することができる。

### 【図面の簡単な説明】

#### 【0009】

【図1】実施例1の撮像装置の構成図である。

【図2】可変位相差板の構成図である。

【図3】入射光の偏光状態と光強度の方位依存性の一例を示す図である。

【図4】入射光の偏光方向に対する偏光取得手段の透過率依存性を示す図である。50

【図5】可変位相差の位相差ごとの入射光の偏光成分に対する偏光取得手段の透過率依存性を示す図である。

【図6】可変位相差板の位相差に対応する最大透過角の偏光成分の状態変化図である。

【図7】偏光取得手段の偏光成分の光強度依存性を示す図である。

【図8】入射光束の模式図である。

【図9】入射角に対する透過光の光強度分布図である。

【図10】偏光取得手段の入射角に対する偏光情報の誤差分布を示す図である。

【図11】実施例2の撮像装置の外観図である。

【図12】実施例3の撮像装置の構成図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0010】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【実施例1】

【0011】

図1を参照して、本実施例の撮像装置100の構成について説明する。図1(a)は、本実施例の撮像装置100の構成を簡易的に示す概略図である。撮像装置100は、被写体からの光を撮像素子2上に結像させる光学系1、被写体の画像情報を取得する撮像素子2、光学系1と撮像素子2との間の光路上に配置された偏光取得手段7、およびマイクロコンピューター等である制御装置(制御手段)18を有する。なお、本実施例では、偏光取得手段7は光学系1と撮像素子2との間の光路上に配置されているが、本発明はこれに限定されない。偏光取得手段7は、撮像素子2より光入射側(被写体側)に配置されればよく、例えば、光学系1より光入射側や、光学系1が複数の光学要素から形成されている場合、複数の光学要素の途中に配置されてもよい。また、偏光取得手段7は、本実施例では撮像装置100内に設けられているが、図1(b)および図1(c)に示されるように、撮像装置100とは別の光学装置であるアダプタ20として構成されてもよい。アダプタ20は、共通のマウントを持つレンズやデジタルカメラに取り付け可能に構成され、偏光情報を取得する場合に図1(b)や図1(c)に示される位置でレンズ30やデジタルカメラ40と組み合わされて使用される。

20

【0012】

30

偏光取得手段7は、 $\lambda/4$ 板(第1の位相差板)3、可変位相差板(第2の位相差板)4、偏光板5、および位相差設定部(設定手段)6を有する。 $\lambda/4$ 板3、可変位相差板4、および偏光板5は、各軸が光学系1の光学軸に垂直な面内となるように配置される。

【0013】

$\lambda/4$ 板3は、延伸フィルムから構成され、入射光の直交する偏光成分間に $\lambda/2$ (rad)の相対位相差を与える。 $\lambda/4$ 板3が与える $\lambda/2$ の相対位相差は、不变(固定)である。本実施例では、 $\lambda/4$ 板を用いるが、 $\lambda/2$ の相対位相差を与えることが可能であれば $\lambda/4$ 板や可変位相差板であってもよい。

【0014】

可変位相差板4は、 $\lambda/4$ 板3と同様に入射光の直交する偏光成分間に相対位相差(以下、可変位相差板4の位相差という)を変更可能に与える。本実施例では、可変位相差板4は、液晶を用いた素子であり、印加される電圧に応じて可変位相差板4の位相差を変化させる。

40

【0015】

図2は可変位相差板4の構成図であり、図中の円形部分は液晶層の拡大図である。可変位相差板4は、基板11、電極層12、および配向膜13によって液晶層14を挟むよう構成されている。液晶層14は、VA方式の液晶層(VA液晶層)で、液晶分子15が配向膜13に倣う形で配向している。印加電圧を0[V]、A[V]、B(>A)[V]へと変更させると、液晶分子15の配向角度(チルト角度)は最小値 $m_{in}$ から中間値を経て最大値 $m_{ax}$ に変化する。位相差設定部6は、可変位相差板4に電圧を印加し

50

、液晶分子15のチルト角度、すなわち屈折率異方性を制御することで、可変位相差板4の位相差を変化させる。チルト角が<sub>m a x</sub>のときの位相差を最大位相差<sub>m a x</sub>(n m)、チルト角が<sub>m i n</sub>のときの位相差を最小位相差<sub>m i n</sub>(n m)とすると、位相変化量は最大位相差<sub>m a x</sub>と最小位相差<sub>m i n</sub>の差分で表される。可変位相差板4の位相差は、印加電圧に応じて最小位相差<sub>m i n</sub>以上、最大位相差<sub>m a x</sub>以下の範囲内で変更可能であるが、駆動速度や可変位相差板4の角度特性を考慮すると、最大位相差と最小位相差であることが好ましい。よって、測定時の位相差を2値以上に変える場合は、最大位相差と最小位相差のいずれか一方を含むように位相差を設定することが好ましい。また、最大位相差と最小位相差の両方を含むように位相差を設定することがより好ましい。なお、位相変化量は、液晶層14の膜厚にも依存する。チルト角<sub>m a x</sub>、<sub>m i n</sub>と液晶分子15の持つ屈折率異方性が一定でも、液晶層14の膜厚が増えれば位相変化量が大きくなる。位相変化量が大きくなると、偏光取得手段7の角度特性は低下する。

## 【0016】

なお、本発明では、VA方式の液晶を用いることが好ましいが、これに限定されない。例えば、TN方式やOCB方式等、種々の液晶を用いてもよい。また、位相差が波長分散を持つ場合、設計波長での位相差が上記位相変化量の条件を満たせばよい。設計波長は、使用波長域の中から任意に設定可能である。例えば、使用波長が可視波長域(400~700nm)である場合、設計波長を550nmとし、550nmの光に対して上記位相変化量の条件を満たせばよい。

## 【0017】

偏光板5は、入射光の偏光成分のうち透過軸方向(透過偏光方向)の成分を透過させる(抽出する)。偏光取得手段7は撮像装置100に用いられるため、偏光板5は不要光を吸収するタイプの偏光板を用いることが望ましい。不要光を反射するタイプの、例えばワイヤーグリッド偏光子のような偏光板を用いると、カットする側の偏光が反射されその光が迷光やゴーストとなって画像に悪影響を及ぼすため、撮像装置100の構成としては望ましくない。より好ましくは、ゴーストへの影響を抑えるため、偏光板5は使用波長域全域において、透過軸と直交する方向に振動する偏光のうち50%以上を吸収する特性を有するものが望ましい。このような偏光板としては、例えばヨウ素化合物を含有する樹脂部材を延伸したフィルム等があるが、このような材料に限らず、任意の吸収型偏光板を使用すればよい。

## 【0018】

位相差設定部6は、撮像装置100からの信号(指示)に応じて、可変位相差板4の位相差を設定(変更)する。なお、本実施例では、位相差設定部6は、偏光取得手段7内に設けられているが、撮像装置100内に偏光取得手段7とは別に設けてもよい。

## 【0019】

制御装置18は、偏光成分制御部8、信号記録部9、および信号処理部10を有し、撮像装置100による撮影を制御する。撮像装置100では、偏光板5の透過軸方向を固定して可変位相差板4の位相差を時間的に変えながら撮像することで、偏光状態の異なる複数の画像を撮影する。制御装置18は、撮影された複数の画像に基づいて被写体の偏光情報を取得する。偏光成分制御部8は、撮像素子2と同期して、可変位相差板4の位相差の制御信号を位相差設定部6に出力する。この制御によって、撮像素子2が受光する被写体からの光の偏光成分が変化し、被写体の偏光情報を有する画像の取得が可能となる。信号記録部9は、撮像素子2により得られた画像等を不図示の記録媒体(RAM等)に一時的に保管する。保管された画像は、そのまま複数の画像として出力されてもよいし、信号処理部10で所定の処理を行った後に1枚または複数枚の画像として出力されてもよい。そのまま複数の画像を出力する場合、複数の画像を別途、PCなどの外部の処理装置を用いて画像処理することで、より複雑な演算の必要な画像を取得することができる。また、信号処理部10が所定の特徴量を抽出する処理を行う場合、所望の画像を高速に取得することができる。

## 【0020】

10

20

30

40

50

次に、一般的な被写体からの光強度の方位依存性について述べる。図3(a)に示される楕円は、例示的な偏光状態の振幅の方位依存性を示す。 $\theta$ は、偏光方向のx軸方向に対する方位角(度)である。図3(b)は、方位角 $\theta$ を横軸、方位角 $\phi$ のときの図3(a)の楕円半径の2乗である光強度 $I(\phi)$ を縦軸とした図である。図3(a)の線種の異なる各矢印は、図3(b)の同じ線種の矢印に対応する。図3では、方位角 $\theta$ が45度である偏光成分の光強度が最も強い。そのため、方位角 $\theta$ が45度またはそれと直交する135度である偏光成分を抽出することで、被写体の特徴を最も強調した画像を取得できる。

#### 【0021】

次に、図4を参照して、偏光板5の透過軸方向を固定し、かつ、可変位相差板4の位相差を一定に設定した場合の偏光取得手段7に入射した入射光の振る舞いについて説明する。  
図4は、入射光の偏光方向に対する偏光取得手段7の透過率依存性を示す図である。図4では、可変位相差板4の位相差は $\pi/4$ に設定されている。偏光取得手段7の透過前後の矢印の方向と長さはそれぞれ、偏光方位と強度である。 $\pi/4$ 板3および可変位相差板4上の破線矢印は遅相軸方向を示し、偏光板5上の破線矢印は透過軸方向を示している。

#### 【0022】

$\pi/4$ 板3および偏光板5は、 $\pi/4$ 板3の遅相軸方向と偏光板5の透過軸方向が平行になるように配置される。ただし、厳密に平行である必要はなく、数度程度ずれても実質的に平行(略平行)とみなされる。また、 $\pi/4$ 板3の遅相軸方向および偏光板5の透過軸方向のx軸方向に対する方位角 $\theta$ は、135度である。ただし、厳密に135度である必要はなく、数度程度ずれても実質的に135度(略135度)とみなされる。

#### 【0023】

可変位相差板4は、遅相軸方向が $\pi/4$ 板3の遅相軸方向、および偏光板5の透過軸方向に対して45度だけ傾くように配置される。ただし、厳密に45度である必要はなく、数度程度ずれても実質的に45度(略45度)とみなされる。また、可変位相差板4の遅相軸方向のx軸方向に対する方位角 $\theta$ は90度である。ただし、厳密に90度である必要はなく、数度程度ずれても実質的に90度(略135度)とみなされる。

#### 【0024】

なお、 $\pi/4$ 板3および偏光板5は、 $\pi/4$ 板3の進相軸方向と偏光板5の透過軸方向が平行で、x軸方向に対して135度だけ傾くように配置されてもよい。この場合、可変位相差板4の進相軸方向のx軸方向に対する方位角 $\theta$ は90度である。

#### 【0025】

図4(a)は、方位角 $\theta$ が90度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、 $\pi/4$ 板3により左円偏光に変換される。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により偏光方向の方位角 $\theta$ が135度の直線偏光に変換され偏光板5の透過軸方向と平行となるため、偏光板5をほぼ損失なく透過する。

#### 【0026】

図4(b)は、方位角 $\theta$ が45度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、偏光方向が $\pi/4$ 板3の遅相軸方向と直交するため位相変化を受けずに $\pi/4$ 板3を透過する。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により左円偏光に変換されるため、偏光板5を透過すると入射光に対し約50%の強度の直線偏光となる。

#### 【0027】

図4(c)は、方位角 $\theta$ が0度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、 $\pi/4$ 板3により右円偏光に変換される。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により偏光方向の方位角 $\theta$ が45度の直線偏光に変換され偏光板5の透過軸方向と直交するため、偏光板5をほぼ透過しない。

#### 【0028】

図4(d)は、方位角 $\theta$ が135度である偏光成分が入射した場合を示している。この場合、入射光は、偏光方向が $\pi/4$ 板3の遅相軸方向と平行であるため位相変化を受けずに $\pi/4$ 板3を透過する。 $\pi/4$ 板3を透過した光は、可変位相差板4により右円偏光に変換されるため、偏光板5を透過すると入射光に対し約50%の強度の直線偏光となる。

10

20

30

40

50

## 【0029】

したがって、可変位相差板4の位相差が $\pi/4$ である場合、偏光取得手段7への入射光の偏光成分のうち、方位角 $\theta$ が90度である偏光成分の透過率が最大になる。以降、偏光取得手段7への入射光の偏光成分のうち透過率が最大になる偏光成分のX軸方向に対する角度(最大透過角)を $\phi_0$ (度)とする。

## 【0030】

図5は、可変位相差板4の位相差ごとの入射光の偏光成分の方位角 $\theta$ と偏光取得手段7の透過率 $T(\phi)$ の関係図である。図中の線(a)~(d)はそれぞれ、可変位相差板4の位相差が $\pi/4$ 、 $\pi/2$ 、 $3\pi/4$ 、 $0$ に設定された場合を示している。例えば、線(a)では、方位角 $\theta$ が90度のときに透過率 $T(\phi)$ が100%となっており、最大透過角 $\phi_0$ は90度となる。

10

## 【0031】

図6は、可変位相差板4の位相差に対応する最大透過角 $\phi_0$ の偏光成分の状態変化図である。 $\pi/4$ 板3および可変位相差板4上の破線矢印は遅相軸方向を示し、偏光板5上の破線矢印は透過軸方向を示している。図6(a)では、可変位相差板4の位相差は $\pi/4$ に設定されており、最大透過角 $\phi_0$ は90度である。図6(b)では、可変位相差板4の位相差は $\pi/2$ に設定されており、最大透過角 $\phi_0$ は45度である。図6(c)では、可変位相差板4の位相差は $3\pi/4$ に設定されており、最大透過角 $\phi_0$ は0度である。図6(d)では、可変位相差板4の位相差は0に設定されており、最大透過角 $\phi_0$ は135度である。

20

## 【0032】

換言すれば、図6(a)~図6(d)のいずれの状態においても、入射光が $\pi/4$ 板3と可変位相差板4を透過することで、入射光の所望の偏光成分は、偏光板5の透過軸方向と平行な直線偏光となり、偏光板5をほぼ損失なく透過する。さらに換言すれば、偏光取得手段7は、入射光の偏光成分のうち所望の偏光成分の方向を偏光板5の透過軸方向へ回転させ、所望の偏光成分をほぼ損失なく撮像素子2に導く。

## 【0033】

また、 $\pi/4$ 板3と可変位相差板4の遅相軸、および可変位相差板4の遅相軸と偏光板5の透過軸がそれぞれ45度をなしているため、入射光のもつ位相情報の影響は最小限となる。例えば、完全な円偏光が入射した場合には $\pi/4$ 板3により可変位相差板4の遅相軸と平行な方位角90度の直線偏光となるため、偏光取得手段7の透過率は可変位相差板4の位相差に関係なく偏光取得手段7の透過率は一定となる。橢円偏光の場合は、入射偏光の強度の方位依存性に応じた値が求められるため、強度についての情報は取得できる。

30

## 【0034】

また、制御装置18は、入射光について光強度が最大となる偏光成分を求めるために、撮像素子2からの入力値を偏光成分の強度として、入射光の光強度の方位依存性に対して適切な関数(例えば、Sin関数)で解析する。方位角 $i$ (度)の偏光成分の光強度 $I_i$ 、光強度 $I_i$ に対する可変位相差板4の位相差 $j$ (nm)での偏光取得手段7の透過率 $T_{ij}$ 、位相差 $j$ における入射光の全偏光成分の透過光強度 $T_j$ は、以下の行列式(1)を満足する。

40

$$\begin{bmatrix} T_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{ij} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I(\phi_i) \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 【0035】

透過光強度 $T_j$ の添え字 $j$ は位相差 $j$ に対応し、各位相差が偏光板の透過軸方向に対応する。また、透過率 $T_{ij}$ は、入射する直線偏光の振動方向と偏光取得手段7の構成が決まれば一意に求められる。よって、制御装置18は、あらかじめ透過率 $T_{ij}$ を取得した上で、位相差 $j$ を変えて取得できる透過光強度 $T_j$ を、入射光の偏光成分の振動方向に対する透過光強度プロットとして解析することで入射光の光強度の方位依存性を求めることができる。

50

## 【0036】

以上の方針を用いて、撮像装置100は、素子を回転駆動させることなく可変位相差板4を電気的に駆動することで光強度の方位依存性の情報を取得することが可能となる。

## 【0037】

撮像装置100により取得される画像は、それぞれが異なる偏光情報を有するものの画像処理等の演算処理を経ることなく、そのまま画像として用いることができる。また、異なる偏光情報を有する画像間で演算処理を行うことで、画素単位で被写体の特徴をより強調した画像を取得することができる。例えば、取得したデータのうち最も光強度の小さい値のみで画像を生成、または最も光強度の大きい値のみで画像を生成することで、被写体の散乱光成分を強調した画像や、被写体からの正反射成分を強調した画像を取得することができる。なお、偏光の光強度の値とは、偏光取得手段7で得られた画像の直接の値でもよいし、偏光解析からの内挿または外挿の値でもよい。内挿、外挿とは、得られた偏光強度の差を強調または抑制するように、解析結果からの推定値を用いることを意味する。10

## 【0038】

このように被写体の物体情報を光学的に取得することで、その特徴量を強調または抑制した画像が得られる。また、これらの組合せにより、撮影者の意図に合った画像を生成することが可能となる。さらには、画像の領域ごとに異なる偏光情報もしくは強調効果を持たせた画像にてもよい。例えば、主たる被写体と背景（例えば空など）に対して異なる偏光状態の画像を組み合わせることで、背景の色を均一化でき、また背景と主被写体それを強調した画像を取得することができる。他にも被写体の偏光の強度依存性を利用した様々な処理を行うことにより、目的に則した画像を取得することができる。20

## 【0039】

以下、本実施例の構成について、具体的なデータを当てはめて説明する。 / 4 板3や可変位相差板4の位相差について、 を被視感度の高い波長 550 nm とする。可変位相差板4は3つの位相差 ( $= 0, \pm 1/4, \pm 1/2$ ) (nm) を与え、位相変化量は  $\pm 1/2$  である。表1に、可変位相差板4の各位相差に対応する振動方向の異なる直線偏光に対する透過率、すなわち式(1)式における透過率 [ $T_{ij}$ ] を表す。表1の  $i$  (度) は、入射偏光の振動方向が x 軸方向となす角度を表し、数値は画像表示素子の中心付近の値であり、入射角 15 度の入射光束の偏光特性が平均化された値として取得される。また、各位相差における最大透過角  $\theta_0$  を表1の最下行に示す。例えば、位相差が  $\pm 1/4$  である場合の可変位相差板4を透過後の偏光状態は図4の状態となる。そのため、角度  $i$  が 90 度のとき最も高い透過率となり、それと直交する角度  $i$  が 0 度のとき最も低い透過率となる。また、最大透過角  $\theta_0$  と位相差 (度) の関係は、  $\theta_0 = -\pi/2 + 90$  と表すことができる。なお、他の波長に対しては、可変位相差板4の波長分散に応じて最大透過角  $\theta_0$  が変化するが、可変位相差板4の分散特性が既知であれば、任意の波長に対して最大透過角  $\theta_0$  を求めることができる。30

## 【0040】

ここで、図3に示した偏光成分の光が入射した場合を例に、入射偏光の光強度の方位依存性を見積もる方法について説明する。まず、図3(b)から、方位角  $i$  における光強度は  $I(0) = 0.75, I(45) = 1.0, I(90) = 0.75$  と読み取ることができる。式(1)に従い、これらの光強度を [ $I(j)$ ] として、表1の透過率 [ $T_{ij}$ ] との積を取ると、透過光強度 [ $T_j$ ] は  $T(j=0, i=0) = 1.500, T(j=1, i=0) = 1.746, T(j=2, i=0) = 1.500$  となる。最大値で規格化すると、 $T'(j=0) = 0.859, T'(j=1) = 1.000, T'(j=2) = 0.861$  となる。 $j = 0, 1, 2$  に対する最大透過角  $\theta_0$  はそれぞれ 90 度、45 度、0 度であるので、 $j$  を  $\theta_0$  に直した上で規格化後の透過光強度  $T'(\theta_0)$  を光強度  $I(\theta_0)$  に重ねてプロットしたグラフを図7(a)に示す。図7(a)の  $\theta_0$  で示されるプロットは偏光板5の透過軸方向を最大透過角  $\theta_0$  としたときに得られる光強度を示し、  $\theta_0$  で示されるプロットは偏光取得手段7により得られる光強度を示す。どちらのデータからも光強度が最大となる偏光成分の方位角が 45 度であることが、  $I(\theta_0) = A + B * \sin^2(\theta_0)$  である。40

10

20

30

40

50

$\sin^2(\phi_i)$ として最小2乗法等による A, B,  $\phi_i$  のフィッティングから得られる。しかしながら、図 7 で示されるプロットには光強度に比べてオフセットが多く乗っている。このオフセット分は、偏光情報取得過程における消光比の低下に起因するものであり、例えば、規格化後の透過率 T' の最小値を T( ) から減算した後に、再度規格化することで簡易的にある程度キャンセルすることが可能である。この処理を施した後の図 7(a) と同様のグラフを図 7(b) に示す。図 7(b) の各プロットは、図 7(a) に準拠している。図 7(b) では、図 7(a) に比べて入射強度のプロットを反映したデータが得られている。

## 【0041】

【表1】

10

	$\Delta = 0\lambda$	$\Delta = 1/4\lambda$	$\Delta = 1/2\lambda$
$\phi_i = 0$	0.5086	0.0000	0.4971
$\phi_i = 45$	0.0001	0.5000	1.0000
$\phi_i = 90$	0.4914	1.0000	0.4971
最大透過方位	$\phi = 135$	$\phi = 90$	$\phi = 45$

20

## 【0042】

次に、広がりのある光束が偏光取得手段 7 に入射した場合について説明する。図 8 は、入射光束の模式図である。図 9 は、図 8 に示される最外入射角  $\theta_i$  の広がりを有する光束が偏光取得手段 7 に入射する場合について、図 8 の位置 z 1 での光束を入射側から見たシミュレーションにより求められた入射角に対する透過光の光強度分布図である。シミュレーションでは、入射光の偏光状態は、方位角を 45 度、最大強度 1 の直線偏光、つまり、A<sub>i</sub> を 0、B<sub>i</sub> を 1、 $\phi_i$  を 45 度とし、角度  $\theta_i$  を 15 度としている。また、最小のチルト角  $\theta_{min}$  を 0°、最大のチルト角  $\theta_{max}$  を 90°、液晶の屈折率異方性 |n<sub>e</sub> - n<sub>o</sub>| を 0.085、液晶層の膜厚 d を 3.2 μm としている。図 9(a) は、シミュレーションに用いた入射光束を表している。図 9(b) ~ (d) は、可変位相差板 4 の位相差がそれぞれ 0、π/4、π/2 の場合の透過光強度分布を表している。図 9(b) ~ (d) に示されるように、可変位相差板 4 の位相変化量が π/2 である本実施例では、入射角によらず、ほぼ均一の透過光強度分布を取得することができる。

30

## 【0043】

次に、取得した透過光強度分布から、偏光情報 A、B、 $\phi_i$  の分布をフィッティングにより算出する。図 10 は、算出された偏光情報 A、B、 $\phi_i$  と、入射光の偏光情報 A<sub>i</sub> (= 0)、B<sub>i</sub> (= 1)、 $\phi_i$  (= 45 度)との絶対誤差 |A - A<sub>i</sub>|、|B - B<sub>i</sub>|、| $\phi_i$  -  $\phi_i$ | の分布図である。図 10 に示されるように、偏光情報 A、B は絶対誤差が 0.15 未満、偏光情報  $\phi_i$  の絶対誤差が 5 度未満で算出される。なお、図 10(a) ~ (c) は、可変位相差板 4 の位相差がそれぞれ 0、π/4、π/2 の場合の分布を表している。

40

## 【0044】

絶対誤差の入射光の入射角依存性に関しては、入射角による可変位相差板 4 の位相差の変化が支配的である。そのため、可変位相差板 4 の軸方向で入射角にしたがって絶対誤差が大きくなる。入射角による影響を最小限に抑えるためには、図 10 の破線で示されるように、可変位相差板 4 を遅相軸方向または進相軸方向が撮像素子 2 の短辺方向と平行となるように配置すればよい。より好ましくは、可変位相差板 4 を液晶層 14 の液晶分子の傾

50

倒方向が撮像素子 2 の短辺方向と平行となるように配置すればよい。ただし、厳密に平行である必要はなく、数度程度ずれても実質的に平行（略平行）とみなされる。具体的には、それは、 $\pm 10$  度以内で収まることが好ましいが、 $\pm 5$  度以内で収まることがより好ましい。なお、一般的なカメラでは画面サイズの縦横比は 2 : 3、または 3 : 4 であり、一眼レフカメラでは通常 2 : 3 である。本実施例では、入射角特性が悪い方向を撮像素子 2 の短辺に沿うように、そして入射角特性が比較的良好な方向を撮像素子 2 の長辺に沿うように可変位相差板 4 を配置することで、画面全体での入射角特性の影響を最小に抑えることができる。

#### 【実施例 2】

##### 【0045】

10

図 11 は、本実施例の撮像装置の概略図である。本実施例の撮像装置は、図 11 (a) に示されるように、アダプタ 20、レンズ 30、およびデジタルカメラ 40 を有する。アダプタ 20 は、図 11 (b) に示されるように、制御部 21、実施例 1 で説明した偏光取得手段 7 を備える偏光素子部 22、および制御部 21 および偏光素子部 22 を接続する接続コードを備える。図 11 (a) に示されるように、制御部 21 は接続部分 24 を介してデジタルカメラ 40 のアクセサリシュー 41 に取り付けられ、偏光素子部 22 はレンズ 30 に取り付けられる。

##### 【0046】

本実施例では、偏光素子部 22 は矩形であり、偏光取得手段 7 の液晶層 14 の液晶分子の傾倒方向は偏光素子部 22 の短辺方向と平行になるように構成されている。また、本実施例では、偏光素子部 22 は、デジタルカメラ 40 に対して光軸周りに回転可能な機構を備える。デジタルカメラ 40 内には、一般的なカメラと同様に、短辺方向が y 軸方向と平行となるように撮像素子 2 が設けられている。そのため、実際に使用する場合、偏光素子部 22 の短辺方向とデジタルカメラ 40 の短辺方向が一致するように偏光素子部 22 を回転させることで、液晶層 14 の液晶分子の傾倒方向と撮像素子 2 の短辺方向を平行にすることができる。

20

##### 【0047】

したがって、本実施例の撮像装置では、通常撮影時はレンズ 30 とデジタルカメラ 40 だけで撮影することができ、偏光取得時はさらにアダプタ 20 を組み合わせて撮影することができる。このように構成することで、共通のマウントを持つ様々なレンズ 30 およびデジタルカメラ 40 を用いて偏光情報を取得することができる。

30

#### 【実施例 3】

##### 【0048】

本実施例では、光学ローパスフィルタ等が配置された場合に生じる影響を考慮した撮像装置 200 について説明する。実施例 1 と重複する構成については、説明を省略する。

##### 【0049】

一般に、デジタル一眼レフカメラ等の撮像装置では、モアレや偽色防止のため撮像素子の近傍に光学ローパスフィルタが配置される。実施例 1 で説明した構成を用いても、撮像素子 2 の手前に配置された光学ローパスフィルタやオートフォーカス手段に偏光依存性が存在する場合、被写体の偏光情報を正しく取得できない場合がある。また、偏光取得手段 7 を単に光学ローパスフィルタとレンズの間に配置すると、偏光取得手段 7 の影響により光学ローパスフィルタとしての所望の効果が得られない場合がある。

40

##### 【0050】

図 12 は、光学ローパスフィルタ 17 を有する撮像装置 200 の概略図を示す。光学ローパスフィルタ 17 には、複屈折媒質が複数層積層されたものや偏光回折素子などの偏光特性を利用したものが用いられる。上述のような光学ローパスフィルタ等が配置された場合に生じる弊害に対し、本実施例では、偏光板 5 と光学ローパスフィルタ 17 の間にアクロマチック / 4 板 16（アクロマチック位相差板）を挿入し円偏光に変換する。通常の / 4 板を挿入することとしてもよいが、/ 4 板には波長分散があり使用波長域全域で均一な円偏光とならず、波長による位相ズレが色の変化として画像に表れる可能性がある

50

。そのため、挿入する / 4 板としては、使用波長域（例えば、可視波長域）において位相差が最小となるように設計されたアクロマチック / 4 板が望ましい。また、それ以外の対策として、光学ローパスフィルタ 17 の最も偏光取得手段 7 に近い層（積層構造となっている場合）の光分離方向と偏光板 5 の透過軸方向とが 45 度をなすように配置してもよい。この場合も、光学ローパスフィルタの特性と偏光取得手段 7 の特性を両立できる。いずれの対策を用いてもよいが、後者の方が簡易である。

#### 【0051】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

#### 【0052】

なお、可変位相差板 4 の位相差に示される  $\phi$  は、一般的な撮像装置の使用波長域は可視域（400 ~ 700 nm）であるため、そのような波長であればよく、例えば中心波長 550 nm とすればよい。または、撮像装置の使用波長域が赤外域（700 nm ~ 1100 nm）の場合は赤外域内の波長であればよく、例えば波長 900 nm とすればよい。その両方を含む場合には、可視域または赤外域内の波長であればよく、例えば波長 750 nm とすればよい。

#### 【符号の説明】

#### 【0053】

2 撮像素子

3 / 4 板（第 1 の位相差板）

4 可変位相差板（第 2 の位相差板）

5 偏光板（偏光子）

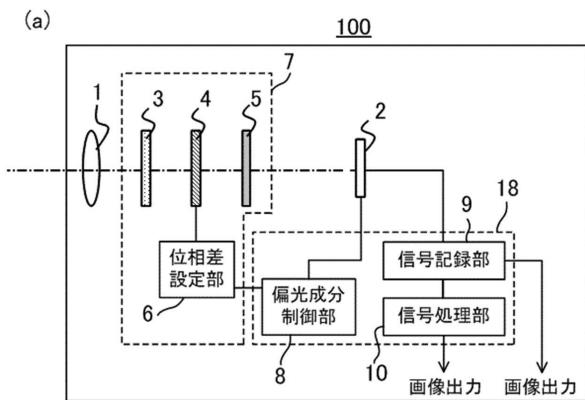
6 位相差設定部（設定手段）

7 偏光取得手段（光学装置）

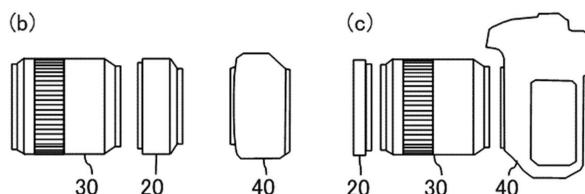
10

20

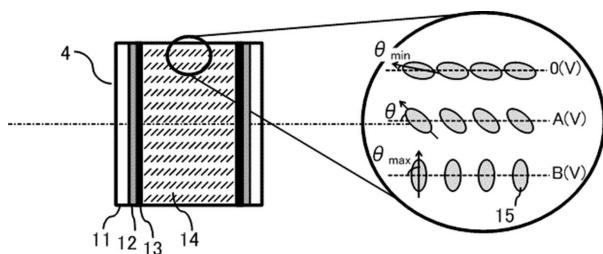
【図 1】



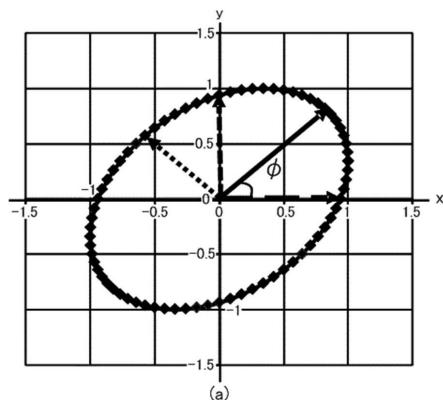
(b)



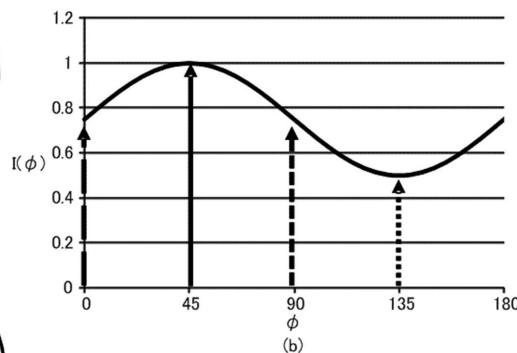
【図 2】



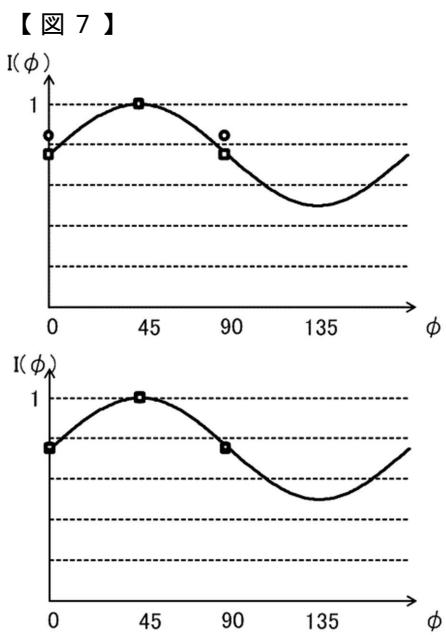
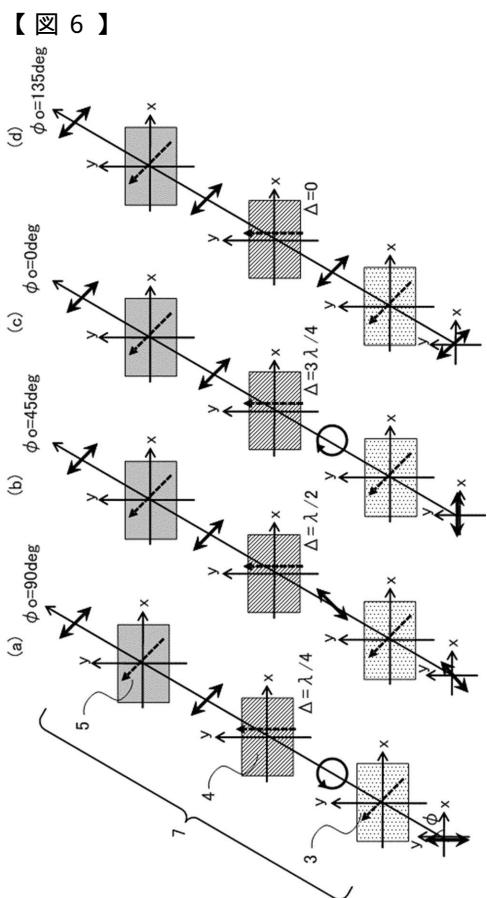
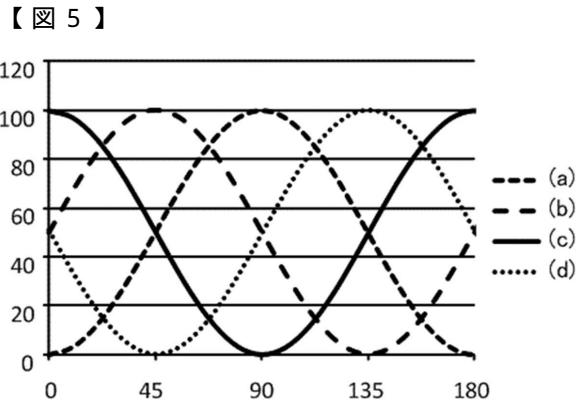
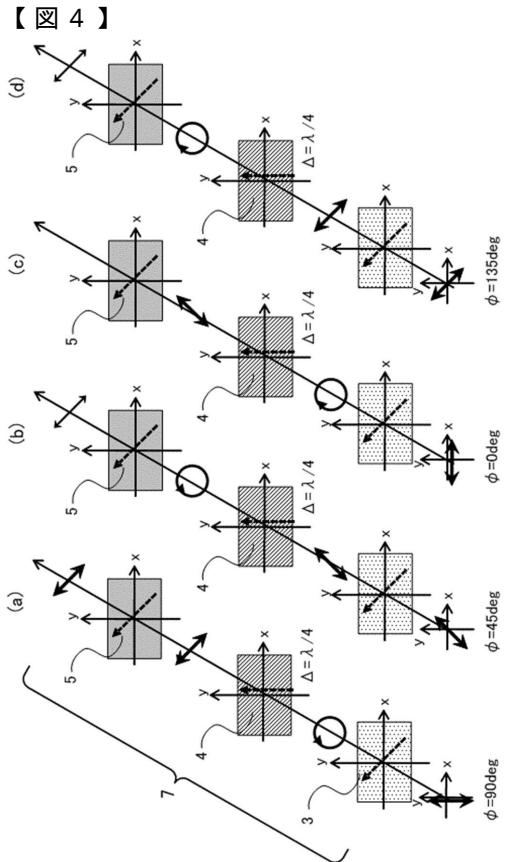
【図 3】



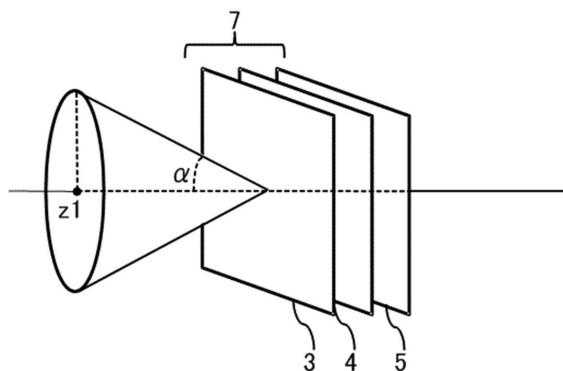
(a)



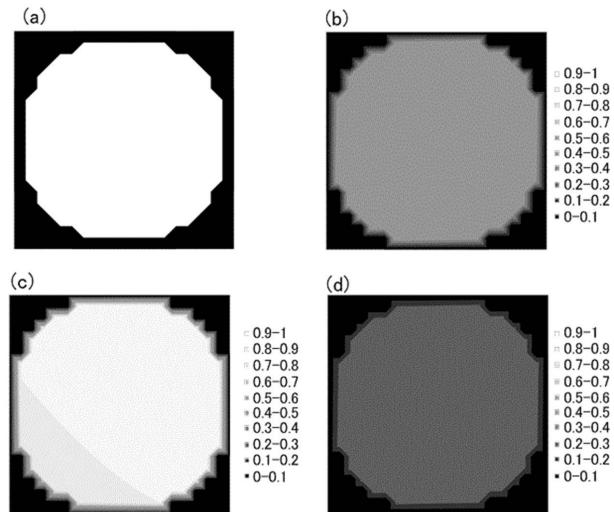
(b)



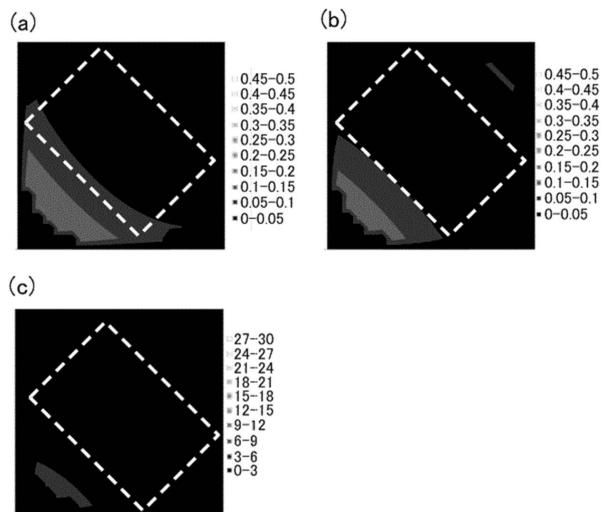
【図 8】



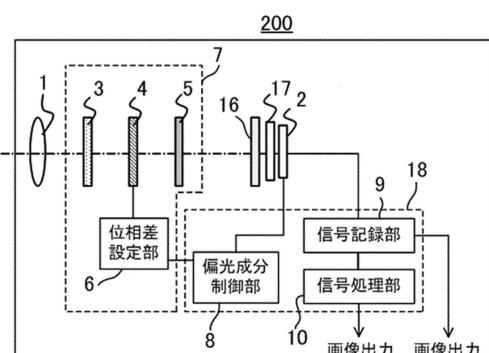
【図 9】



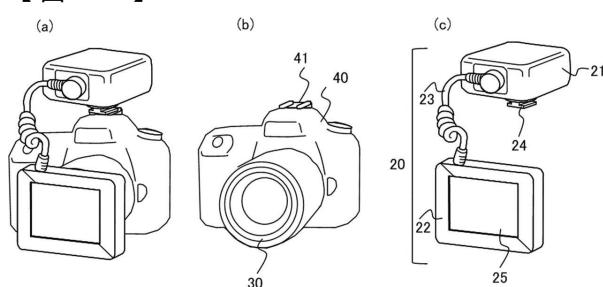
【図 10】



【図 12】



【図 11】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 4 N 5/225 (2006.01) H 0 4 N 5/225 5/225 4 0 0  
H 0 4 N

(56)参考文献 特開2010-124011(JP, A)  
特開2003-322504(JP, A)  
特開2005-181512(JP, A)  
米国特許出願公開第2009/0079982(US, A1)  
国際公開第2013/031100(WO, A1)  
特開2005-241406(JP, A)  
米国特許出願公開第2010/0157298(US, A1)  
中国特許出願公開第101539458(CN, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 F 1 / 1 3  
G 0 2 F 1 / 1 3 3 6 3  
G 0 2 B 5 / 3 0  
G 0 1 J 4 / 0 4  
H 0 4 N 5 / 2 2 5