

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-191986

(P2017-191986A)

(43) 公開日 平成29年10月19日(2017.10.19)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
HO4N 9/04 (2006.01)		HO4N 9/04	B	5C065
HO4N 9/64 (2006.01)		HO4N 9/64	R	5C066

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2016-79578 (P2016-79578)  
 (22) 出願日 平成28年4月12日 (2016.4.12)

(71) 出願人 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 倫也  
 (72) 発明者 石松 理絵  
 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  
 Fターム(参考) 5C065 AA03 BB01 CC01 CC02 CC03  
 5C066 AA01 EE01 GA01 GA02 HA03  
 KM01 KM05

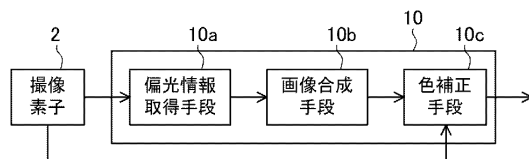
(54) 【発明の名称】 画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 簡易な構成で所望の画像を合成可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび記録媒体を提供すること。

【解決手段】 被写体からの光に与える位相差を変更することで取得された偏光状態の異なる複数のカラー画像に基づく被写体の偏光情報を用いて生成された合成画像に対して、複数のカラー画像から選択された基準画像に基づいて色補正を行う補正手段を有する。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被写体からの光に与える位相差を変更することで取得された偏光状態の異なる複数のカラー画像に基づく前記被写体の偏光情報を用いて生成された合成画像に対して、前記複数のカラー画像から選択された基準画像に基づいて色補正を行う補正手段を有することを特徴とする画像処理装置。

## 【請求項 2】

前記補正手段は、前記複数のカラー画像のうち前記位相差が最小である場合に取得された画像を前記基準画像として選択することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

## 【請求項 3】

前記補正手段は、露出条件が互いに異なる複数のカラー画像を合成して取得された画像を前記基準画像として選択することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の画像処理装置。

## 【請求項 4】

前記補正手段は、前記合成画像および前記基準画像の信号を輝度信号および色差信号に変換し、前記合成画像の色差信号と前記基準画像の色差信号との差分が所定値より小さくなるように前記合成画像の色差信号を補正し、補正後の色差信号に基づいて前記合成画像を補正することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

## 【請求項 5】

前記補正手段は、前記合成画像および前記基準画像の信号を RGB 信号から HSL 信号または YCbCr 信号に変換することを特徴とする請求項 4 に記載の画像処理装置。

## 【請求項 6】

前記複数のカラー画像から前記偏光情報を取得する取得手段と、  
前記偏光情報を用いて前記合成画像を生成する生成手段と、を更に有することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

## 【請求項 7】

偏光状態の異なる複数のカラー画像を取得する撮像素子と、  
請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置を有することを特徴とする撮像装置。

## 【請求項 8】

被写体からの光を前記撮像素子に導くとともに、前記被写体からの光に与える位相差を変更可能な光学装置を更に有することを特徴とする請求項 7 に記載の撮像装置。

## 【請求項 9】

前記光学装置は、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 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板と、を前記被写体の側から前記撮像素子の側へ順に備え、

前記第 1 の位相差板の遅相軸方向または進相軸方向は、前記偏光板の偏光方向と略平行であり、

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略 45 度だけ傾いていることを特徴とする請求項 8 に記載の撮像装置。

## 【請求項 10】

被写体からの光に与える位相差を変更することで取得された偏光状態の異なる複数のカラー画像を取得する取得ステップと、

前記複数のカラー画像に基づく前記被写体の偏光情報を用いて生成された合成画像に対して、前記複数のカラー画像から選択された基準画像に基づいて色補正を行う補正ステップと、を有することを特徴とする画像処理方法。

## 【請求項 11】

前記取得ステップは、前記複数のカラー画像のうち前記位相差が最小である場合に取得された画像を前記基準画像として選択するステップと、前記合成画像および前記基準画像

10

20

30

40

50

の信号を輝度信号および色差信号に変換するステップと、前記合成画像の色差信号と前記基準画像の色差信号との差分が所定値より小さくなるように前記合成画像の色差信号を補正するステップと、補正後の色差信号に基づいて前記合成画像を補正するステップと、を有することを特徴とする請求項 10 に記載の画像処理方法。

【請求項 12】

請求項 10 または 11 に記載の画像処理方法のステップをコンピュータに実行させるためのことを特徴とする画像処理プログラム。

【請求項 13】

請求項 12 に記載の画像処理プログラムを記録するコンピュータで読み取り可能な記録媒体。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

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を装着し、透過する偏光方向を変えて撮影することで、被写体の色やコントラスト等の質感を際立たせる効果や、水面等の反射光の写りこみを強調または軽減する効果を得ることができる。特許文献 1 では、偏光情報を利用して鏡面反射成分を除去する方法が開示されている。特許文献 2 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。特許文献 3 では、 $\lambda/4$  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の画像を生成することで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。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 3727758 号公報

【特許文献 2】特許第 5682437 号公報

【特許文献 3】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】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 では、専用の照明を用いる必要があるため、被写体や撮影条件が制限されてしまう。特許文献 2 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。特許文献 3 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。

40

【0005】

このような課題に鑑みて、本発明は、簡易な構成で所望の画像を合成可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび記録媒体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面としての画像処理装置は、被写体からの光に与える位相差を変更することで取得された偏光状態の異なる複数のカラー画像に基づく前記被写体の偏光情報を用いて生成された合成画像に対して、前記複数のカラー画像から選択された基準画像に基づい

50

て色補正を行う補正手段を有することを特徴とする。

【0007】

本発明の一側面としての画像処理方法は、被写体からの光に与える位相差を変更することで取得された偏光状態の異なる複数のカラー画像を取得する取得ステップと、前記複数のカラー画像に基づく前記被写体の偏光情報を用いて生成された合成画像に対して、前記複数のカラー画像から選択された基準画像に基づいて色補正を行う補正ステップと、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、簡易な構成で所望の画像を合成可能な画像処理装置、撮像装置、画像処理方法、画像処理プログラムおよび記録媒体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】入射光の偏光方向に対する偏光変調手段の透過率依存性を示す図である。

【図3】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変調手段の透過率依存性を示す図である。

【図4】可変位相差板の構成図である。

【図5】画像処理装置のブロック図である。

【図6】画像処理を示すフローチャートである。

【図7】方位角と輝度値の関係図である。

【図8】方位角と輝度値の関係図である。

【図9】合成画像を示す図である。

【図10】合成画像を示す図である。

【図11】色補正処理を示すフローチャートである。

【図12】実施例2の撮像装置の構成図である。

【発明を実施するための形態】

【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。図中の一点鎖線は、光学系1の光軸である。撮像装置100は、光学系1、撮像素子2、偏光変調手段7、および制御装置(制御手段)18を有する。光学系1は、被写体からの光を撮像素子2上に結像させる。撮像素子2は、各画素にカラーフィルタが配置され、少なくとも2枚以上の偏光状態(偏光方向)の異なるカラー画像を取得する。なお、本実施例では、偏光変調手段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。偏光変調手段7は、撮像素子2より光入射側(被写体側)に配置されていればよく、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、偏光変調手段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と組み合わせられて使用される。

【0012】

偏光変調手段7は、光入射側から順に、 $\lambda/4$ 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。 $\lambda/4$

10

20

30

40

50

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 ( x y 平面内 ) となるように配置されている。 / 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 / 2 ( r a d ) の相対位相差を与える。 / 4 板 3 が与える / 2 の相対位相差は、不変 ( 固定 ) である。本実施例では、 / 4 板を用いるが、 / 2 の相対位相差を与えることが可能であれば 3 / 4 板や可変位相差板であってもよい。可変位相差板 4 は、液晶を用いた素子であり、 / 4 板 3 と同様に入射光の直交する偏光成分間に、印加される電圧に応じて変調可能な相対位相差 ( 以下、可変位相差板 4 の位相差という ) を与える。可変位相差板 4 の位相差は、印加される電圧に応じて変更可能である。そのため、複数の位相板を入れ替えて使用する場合や、偏光板 1 枚を回転させる場合に比べて高速に可変位相差板 4 の位相差を変更することが可能である。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。偏光変調手段 7 は撮像装置 1 0 0 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 1 0 0 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 5 0 % 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。なお、使用波長域は、撮像装置 1 0 0 により取得される波長範囲であり、用途や撮像素子 2 の波長特性によって選択可能である。本実施例では、使用波長域を可視域 ( 4 0 0 n m ~ 7 0 0 n m ) としている。使用波長域は、撮像装置 1 0 0 の構成に基づいて、可視域 ( 4 0 0 ~ 7 0 0 n m ) 、近赤外域 ( 7 0 0 ~ 1 1 0 0 n m ) 、および近紫外域 ( 2 0 0 ~ 4 0 0 n m ) のうち少なくとも 1 つの領域を選択するようにすればよい。可変位相差板 4 の設計波長 ( n m ) は、適切な特性を有するように、撮像装置 1 0 0 により取得される使用波長域に応じて選択すればよい。位相差設定部 6 は、撮像装置 1 0 0 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、偏光変調手段 7 内に設けられているが、撮像装置 1 0 0 内に偏光変調手段 7 とは別に設けてもよい。

10

20

30

40

50

### 【 0 0 1 3 】

制御装置 1 8 は、マイクロコンピューター等であり、撮像装置 1 0 0 による撮影を制御する。制御装置 1 8 は、偏光成分制御部 8、信号記録部 9、および画像処理部 ( 画像処理装置 ) 1 0 を備える。撮像装置 1 0 0 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 1 8 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 から取得するカラー画像を不図示の記録媒体 ( R A M 等 ) に一時的に保管する。保管された画像は、それぞれ異なる偏光情報を有するが、画像処理等の演算処理を経ることなくそのまま複数の画像として出力してもよい。ただし、可変位相差板 4 の位相差が大きい状態で取得された画像は、本来被写体にはない色づきを伴う。よって、そのまま画像を出力する場合は、可変位相差板 4 の位相差が小さい状態で取得された画像であることが好ましい。画像処理部 1 0 は、撮像素子 2 から取得するカラー画像に所定の処理を行い、1 枚または複数枚の画像を出力する。

### 【 0 0 1 4 】

次に、図 2 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変調手段 7 に入射した入射光の振る舞いについて説明する。図 2 は、入射光の偏光方向に対する偏光変調手段 7 の透過率依存性を示す図である。図 2 では、可変位相差板 4 の位相差は / 4 に設定されている。偏光変調手段 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。本実施例では、各素子での表面反射や吸収損失等を見せず、偏光状態の変化の影響のみを考慮している。 / 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。すなわち、 / 4板3の遅相軸方向と偏光板5の透過軸方向は、y軸方向に平行となっている。ただし、厳密に平行である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に平行（略平行）とみなされる。また、 / 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（度）は90度となっている。ただし、厳密に90度である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に90度（略90度）とみなされる。可変位相差板4の遅相軸方向のx軸に対する方位角は45度となっている。ただし、厳密に45度である必要はなく、数度程度ずれていても実質的に45度（略45度）とみなされる。また、 / 4板3の進相軸方向を偏光板5の透過軸方向が、y軸方向に対して平行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は45度となっている。

10

## 【0015】

図2(a)は、方位角が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、偏光方向が / 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 / 4板3を透過する。 / 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。

## 【0016】

図2(b)は、方位角が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、 / 4板3により左円偏光に変換される。 / 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が90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。

20

## 【0017】

図2(c)は、方位角が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、偏光方向が / 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 / 4板3を透過する。 / 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。

## 【0018】

図2(d)は、方位角が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、 / 4板3により右円偏光に変換される。 / 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が0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。

30

## 【0019】

したがって、可変位相差板4の位相差が / 4である場合、偏光変調手段7への入射光の偏光成分のうち、方位角が45度である偏光成分の透過率が最大になる。以降、偏光変調手段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  $\theta_0$ （度）とする。

## 【0020】

図3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と偏光変調手段7の透過率T（%）の関係図である。なお、透過光強度は、各素子での表面反射や吸収損失等を見せず、偏光状態の変化の影響のみを考慮している。図中の線(a)～(d)はそれぞれ、可変位相差板4の位相差が0、 / 4、 / 2、 3 / 4に設定された場合を示している。例えば、線(a)では、方位角が90度のときに透過率T（%）が100%となっており、最大透過角  $\theta_0$  は90度となる。同様に、線(b)、(c)、(d)では、最大透過角  $\theta_0$  はそれぞれ45度、0度、135度（-45度）となる。以上より、最大透過角  $\theta_0$  と可変位相差板4の位相差  $\phi$ （度）は、以下の式(1)で表される。

40

## 【0021】

$$\theta_0 = 90 - \phi / 2 \quad (1)$$

したがって、可変位相差板4の位相差を式(1)に基づいて制御することで、透過する

50

偏光方向を制御することができる。

【0022】

次に、図4を参照して、可変位相差板4の構成について説明する。図4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を挟むように構成されている。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 $m_{min}$ から中間値を経て最大値 $m_{max}$ 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、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。

10

【0023】

チルト角が $m_{max}$ のときの位相差を最大位相差 $m_{max}$ (度)、チルト角が $m_{min}$ のときの位相差を最小位相差 $m_{min}$ (度)とすると、位相変化量は最大位相差 $m_{max}$ と最小位相差 $m_{min}$ の差分で表される。本実施例では、最大位相差 $m_{max}$ および最小位相差 $m_{min}$ はそれぞれ、360度および20度である。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 $m_{min}$ 以上、最大位相差 $m_{max}$ 以下の範囲内で変更可能であるが、最大位相差と最小位相差のうち少なくともいずれか一方を含むことが好ましい。また、可変位相差板4の位相差は、最大位相差 $m_{max}$ と最小位相差 $m_{min}$ の両方を含むことがより好ましい。これは、最大位相差 $m_{max}$ または最小位相差 $m_{min}$ に設定された場合の駆動制御性が中間値である位相差(中間位相差)に設定された場合の駆動制御性より優れているためである。また、最大位相差 $m_{max}$ または最小位相差 $m_{min}$ に設定された場合の入射角度による位相差の変化も中間位相差に設定された場合の位相差の変化より少ないためである。なお、本実施例で最小位相差 $m_{min}$ が0度でないのは、液晶がプレチルト角を持つためである。ただし、本発明はこれに限定されず、最小位相差 $m_{min}$ として0度を用いてもよい。その場合、例えば可変位相差板4の前に液晶のプレチルト角を補償するための位相板を具備してもよい。また、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。

20

【0024】

図5は、画像処理部10のブロック図である。画像処理部10は、偏光情報取得手段(取得手段)10a、画像合成手段(合成手段)10b、および色補正手段(補正手段)10cを備える。画像処理部10により実行される画像処理は、ソフトウェアおよびハードウェア上で動作するコンピュータプログラムとしての画像処理プログラムにしたがって実行される。本実施例では、画像処理部10が画像処理を実行するが、パーソナルコンピュータ(PC)や専用の装置が画像処理装置として画像処理を実行してもよい。また、画像処理プログラムに対応する回路を設け、回路を動作させることで画像処理を実行させてもよい。

30

【0025】

以下、図6のフローチャートを参照して、画像処理部10により実行される画像処理について説明する。図6は、画像処理を示すフローチャートである。図6のフローチャートは、コンピュータに各ステップの機能を実行させるための画像処理プログラムとして具現化が可能である。図6の各ステップは、画像処理部10により実行される。なお、図6の各ステップは、撮像装置とは別に設けられた画像処理装置により実行されてもよい。画像処理プログラムは、撮像装置100の不図示の記録部にインストールされていてもよいし、撮像装置100とは別の装置内にインストールされていてもよい。また、画像処理プログラムは、例えば、コンピュータに読み取り可能な記録媒体に記録されていてもよい。

40

【0026】

ステップS101では、画像処理部10は、撮像素子2から可変位相差板4の位相差を変更して撮像されたそれぞれ偏光状態(偏光方向)の異なる複数のカラー画像(撮影画像

50

)を取得する。

【0027】

ステップS102では、偏光情報取得手段10aは、撮像素子2から取得した複数のカラー画像から撮影画像の偏光情報を取得する。図7を参照して、偏光情報の取得方法について説明する。図7は、方位角と輝度値(光強度) $I(\theta)$ の関係の一例を示す図である。図7の(1)は、偏光方向が0度、45度、90度の撮影画像の所定の1画素の輝度値 $I(0)$ 、 $I(45)$ 、 $I(90)$ を示している。また、実線のカーブは、3つの測定値からフィッティングにより算出された方位角 $\theta$ に対する輝度値 $I(\theta)$ の変化を示している。算出された輝度値 $I(\theta)$ のうち最大輝度値を $I_{MAX}$ 、最小輝度値を $I_{MIN}$ 、最大輝度値 $I_{MAX}$ の方位角(最大方位角)を $\theta_{MAX}$ (度)とすると、方位角 $\theta$ に対する輝度値 $I(\theta)$ は以下の式(2)で表わされる。

10

【0028】

$$I(\theta) = (I_{MAX} - I_{MIN}) \cdot \cos^2(\theta - \theta_{MAX}) + I_{MIN} \quad (2)$$

したがって、3つの輝度値を測定することで、画素ごとに偏光情報(最大輝度値 $I_{MAX}$ 、最小輝度値 $I_{MIN}$ 、最大方位角 $\theta_{MAX}$ )を算出し、方位角 $\theta$ に対する輝度値 $I(\theta)$ の変化を求めることができる。なお、本実施例では、偏光情報取得手段10aは3つの撮影画像の輝度値から偏光情報を取得したが、本発明はこれに限定されない。式(2)を用いて4つ以上の撮影画像の輝度値をフィッティングすることで偏光情報を算出してもよい。その際、例えば最小二乗法等を使用することができる。

20

【0029】

ステップS103では、画像合成手段10bは、偏光情報取得手段10aが取得した偏光情報(最大輝度値 $I_{MAX}$ 、最小輝度値 $I_{MIN}$ 、最大方位角 $\theta_{MAX}$ )を用いて合成画像を生成する。画像合成手段10bは、例えば、最大輝度値 $I_{MAX}$ または最小輝度値 $I_{MIN}$ のみで合成画像を生成することで、被写体の散乱成分を強調した合成画像や、被写体からの正反射成分を強調した合成画像を生成することができる。また、画像合成手段10bは、式(2)の方位角 $\theta$ を変えて合成画像を生成することで、照明方向を変えたような画像を取得することができる。画像合成手段10bは、これらの組み合わせにより、撮影者の意図に沿った画像を生成することができる。なお、画像合成手段10bは、画像全体に一樣に合成画像を生成するだけでなく、領域ごとに異なる偏光情報または強調効果を持たせた合成画像を生成することも可能である。例えば、主被写体と背景(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、背景の色を均一化したり、背景と主被写体それぞれを強調した合成画像を生成することができる。他にも被写体の偏光強度依存性を利用した様々な処理を行うことにより、目的に応じた合成画像を生成することができる。

30

【0030】

一般的に、位相板の位相差 $\Delta\phi$ (度)は、入射光の波長や入射角度によって変化する。式(1)より最大透過角 $\theta_0$ も入射光の波長や入射角度によって変化する。その結果、偏光変調手段7を用いて取得される撮影画像には最大透過角 $\theta_0$ の波長依存性や角度依存性に起因する色づきが発生する。なお、位相差 $\Delta\phi$ が大きいほど入射光の波長や入射角度の影響が顕著になるため、撮影画像に発生する色づきも顕著になる。ただし、位相差 $\Delta\phi$ の波長分散や角度特性は事前に測定しておくことができるため、画像取得時の入射光の波長や入射角度が既知であれば、式(1)から最大透過角 $\theta_0$ を正しく求めることができる。その場合、撮影画像に色づきが発生していても、偏光情報を正しく取得することができるため、偏光情報に基づく合成画像は色づきの影響を受けない。

40

【0031】

しかしながら、例えば、1枚の撮像素子とRGBのカラーフィルタを用いて、被写体距離が未知の物体を撮影する場合、入射光の波長や入射角度は厳密に取得することができない。その結果、測定時の位相差 $\Delta\phi$ を正しく算出できない。これを解決するためには、最大透過角 $\theta_0$ や偏光情報を取得する際に位相差 $\Delta\phi$ の代表値を使用すればよい。例えば、カラーフィルタの透過率が最も高くなる波長を中心波長とし、入射光がその中心波長で素

50

子に垂直に入射した場合の位相差を測定時の位相差の代表値として最大透過角 $\theta_0$ を算出すればよい。ただし、位相差として代表値を用いると、算出される偏光情報に誤差が発生し、誤差を含んだ偏光情報に基づいて画像を合成すると画像の一部または全体に色づきが発生する場合がある。

#### 【0032】

以下、偏光情報取得手段10aが取得した偏光情報に基づいて画像合成手段10bが合成画像を生成する方法について具体的に説明する。この説明では、可変位相差板4の位相差を20度、180度、270度、360度の4値で取得された4つの撮影画像の輝度値から合成画像を生成する方法について説明する。

#### 【0033】

本実施例では、撮像素子2はR、G、Bのカラーフィルタを備えるため、4つの輝度値はR、G、Bの輝度情報を有する。そのため、偏光情報取得手段10aは、まず、式(1)から可変位相差板4の位相差ごとに、それぞれR、G、Bの輝度情報に対応する最大透過角 $\theta_0(R)$ 、 $\theta_0(G)$ 、 $\theta_0(B)$ を算出する。本実施例では、入射光が各カラーフィルタの最大透過率波長(R=610nm、G=530nm、B=470nm)で素子に垂直入射した場合の各位相差( $\theta_0(R)$ 、 $\theta_0(G)$ 、 $\theta_0(B)$ )を可変位相差板4の位相差の代表値として使用する。

#### 【0034】

次に、偏光情報取得手段10aは、各画像の画素ごとの輝度値を画像取得時の各最大透過角( $\theta_0(R)$ 、 $\theta_0(G)$ 、 $\theta_0(B)$ )に対してプロットし、画素ごとに偏光情報を算出する。図8は、所定の1画素の輝度値を最大透過角 $\theta_0$ に対してプロットした図である。図中の $I_{max}$ と $I_{min}$ はそれぞれ、測定値と偏光情報を用いて式(2)から算出された算出値を示している。図8(a)は画素の輝度値をそのまま使用した図であり、図8(b)は偏光変調手段7の透過率の影響を取り除いた画素の輝度値を使用した図である。図8(a)と図8(b)に示されるように、偏光情報の取得過程における消光比の低下は、偏光変調手段7の透過率の影響を考慮することで一部キャンセルできる。

#### 【0035】

画像合成手段10bは、算出された偏光情報を用いて合成画像を生成する。図9は、各画素の輝度値 $I$ を $I = I_{MIN} + x(I_{MAX} - I_{MIN})$ ( $x = 0, 0.5, 1.0, 1.5$ )として各画素を合成した合成画像である。図10は、各画素の輝度値 $I$ を $I = (I_{MAX} - I_{MIN}) \cdot \cos^2(\theta - \theta_0) + I_{MIN}$ ( $\theta = 0$ 度、30度、60度、90度、120度、150度)として各画素を合成した合成画像である。なお、画像合成手段10bが生成する合成画像はカラー画像であるが、図9および図10では合成画像を白黒に変換して示している。画像合成手段10bは、図9に示されるように、偏光情報のうち最大輝度値 $I_{MAX}$ と最小輝度値 $I_{MIN}$ に基づいて表面のテクリ感の異なる合成画像を生成することができる。また、画像合成手段10bは、図10に示されるように、偏光情報(最大輝度値 $I_{MAX}$ 、最小輝度値 $I_{MIN}$ 、最大方位角 $\theta_0$ )に基づいて任意の透過軸方位の合成画像を生成することができる。しかしながら、図9および図10では合成画像が白黒であるため表わされていないが、各合成画像の一部に不自然な色づきが発生している。

#### 【0036】

そこで、本実施例では、画像合成手段10bで生成された合成画像に発生する色づきを解消するために、色補正手段10cによりステップS104で合成画像に対して色補正処理を実行する。なお、画像処理部10は、色補正手段10cだけを備える構成であってもよい。その場合、偏光情報取得手段10aおよび画像合成手段10bは別の装置として設けられ、画像処理部10は、別の装置から出力される合成画像の色補正を行う。すなわち、画像処理部10は、本ステップの色補正処理だけを実行する。

#### 【0037】

以下、図11を参照して、画像合成手段10bで生成された合成画像に発生する色づきを解消するために、色補正手段10cにより実行される色補正処理について説明する。図

10

20

30

40

50

11は、色補正処理を示すフローチャートである。図11のフローチャートは、コンピュータに各ステップの機能を実行させるための画像処理プログラムとして具現化が可能である。図11の各ステップは、色補正手段10cにより実行される。なお、図11の各ステップは、撮像装置とは別に設けられた画像処理装置により実行されてもよい。画像処理プログラムは、撮像装置100の不図示の記録部にインストールされていてもよいし、撮像装置100とは別の装置内にインストールされていてもよい。また、画像処理プログラムは、例えば、コンピュータに読み取り可能な記録媒体に記録されていてもよい。

#### 【0038】

ステップS201では、色補正手段10cは、まず、合成画像に色づきが発生しているかどうかを判定する。色づきが発生している場合、ステップS202に進み、色づきが発生していない場合、本処理を終了する。なお、本ステップでは、色補正手段10cが合成画像に色づきが発生しているかどうかを判断しているが、撮影者が判断するようにしてもよい。

10

#### 【0039】

ステップS202では、色補正手段10cは、撮像素子2から取得する複数の撮影画像のうちいずれかの撮影画像を基準画像として選択する。本処理では、基準画像の色情報に基づいて合成画像の色づきを補正するため、色補正手段10cは基準画像の色情報を正しく取得する必要がある。上述したように、撮影画像を取得する際の可変位相差板4の位相差が大きいほど撮影画像の色づきが顕著になる、つまり撮影画像を取得する際の可変位相差板4の位相差が小さいほど撮影画像の色づきが発生しづらい。そのため、色補正手段10cは、可変位相差板4の位相差が小さい状態で取得される撮影画像を基準画像として選択することが好ましい。より具体的には、基準画像として選択する撮影画像を取得する際の可変位相差板4の位相差は $1/4$ 未満であることが好ましく、 $1/8$ 未満であることがより好ましい。複数の撮影画像がこのような条件を満たす場合、撮影画像を取得する際の可変位相差板4の位相差が最小である取得画像を基準画像として選択すればよい。本実施例では、色補正手段10cは、可変位相差板4の位相差が最小位相差  $M I N$  (=  $20$ 度) で取得した撮影画像を基準画像として選択する。なお、本実施例では、可変位相差板4の位相差は、入射光が波長  $550$  nm で偏光変調手段7に垂直に入射する場合の値としている。また、基準画像は、露出条件が異なる複数の撮影画像を合成したHDR (High Dynamic Range) 画像であってもよい。HDR画像は、露出条件が異なる複数の撮影画像から合成されるため、通常の画像に比べて画像内で白飛びや黒つぶれを抑制し、色情報が失われにくい。そのため、HDR画像を基準画像として使用することで、より多くの色情報を用いた合成画像の色補正が可能となる。

20

30

#### 【0040】

ステップS203では、色補正手段10cは、合成画像および基準画像をRGB信号から輝度信号および色差信号に変換する。例えば、色補正手段10cは、RGB信号をYCbCr信号やHSL信号に変換してから輝度信号および色差信号に変換してもよい。本実施例では、色補正手段10cは、RGB信号をYCbCr信号に変換した後、YCbCr信号を輝度信号Yおよび色差信号Cb、Crに変換する。

#### 【0041】

ステップS204では、色補正手段10cは、合成画像のCb値およびCr値が基準信号のCb値およびCr値に一致するように合成画像の色差信号を補正する。ただし、本発明はこれに限定されず、合成画像の色づきが解消されるように合成画像のCb値およびCr値が補正されればよい。例えば、色補正手段10cは、合成画像のCb値およびCr値と基準画像のCb値およびCr値との差分が所定値より小さくするように色差信号を補正してもよい。このとき、Cr値およびCb値で共通の所定値を設定してもよいが、より効果的に合成画像の色づきを解消するためにCb値とCr値で最適な所定値を設定してもよい。また、所定値は、あらかじめ設定された値を使用してもよいが、より合成画像の色づきを解消するために補正の効果を画像で確認しながら設定してもよい。

40

#### 【0042】

50

ステップ S 2 0 5 では、色補正手段 1 0 c は、調整後の合成画像を R G B 信号に変換する。本実施例では、色補正手段 1 0 c は、補正後の合成画像を Y C b C r 信号から R G B 信号に変換する。

【 0 0 4 3 】

以上の処理によって、本発明では、不自然な色づきが解消された合成画像を生成することができる。

【実施例 2】

【 0 0 4 4 】

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 2 0 0 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。

【 0 0 4 5 】

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、被写体の偏光情報が正しく取得できない場合がある。また、偏光変調手段 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、偏光変調手段 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。

【 0 0 4 6 】

図 1 2 は、光学ローパスフィルタ 1 7 を有する撮像装置 2 0 0 の概略図を示す。光学ローパスフィルタ 1 7 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、実施例 2 では、偏光板 5 と光学ローパスフィルタ 1 7 の間にアクロマチック / 4 板 1 6 (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变化として画像に表れる可能性がある。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 1 7 の最も偏光変調手段 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 4 5 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変調手段 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。

【 0 0 4 7 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの辞し形態に限定されず、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。

【 0 0 4 8 】

なお、可変位相差板 4 の位相差に示される は、一般的な撮像装置の使用波長域は可視域 ( 4 0 0 ~ 7 0 0 n m ) 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 5 5 0 n m とすればよい。または、撮像装置の使用波長域が赤外域 ( 7 0 0 n m ~ 1 1 0 0 n m ) の場合は赤外域内の波長であればよく、例えば波長 9 0 0 n m 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 7 5 0 n m とすればよい。

【符号の説明】

【 0 0 4 9 】

1 0 画像処理部 (画像処理装置)  
1 0 c 色補正手段 (補正手段)

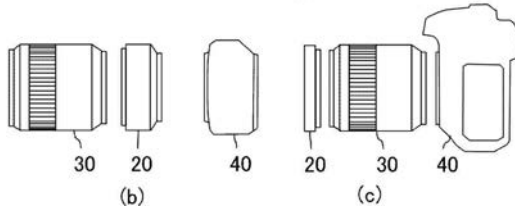
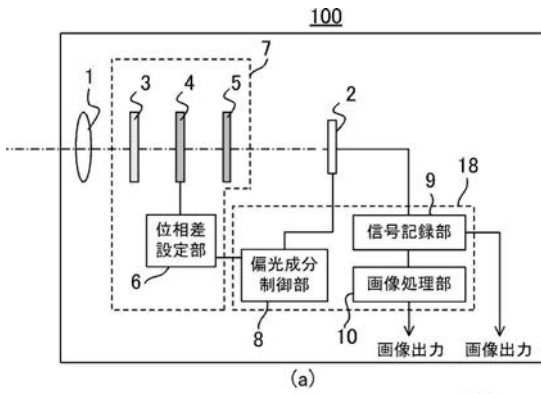
10

20

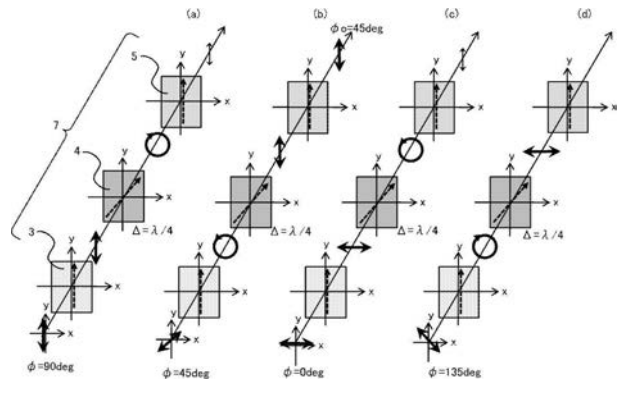
30

40

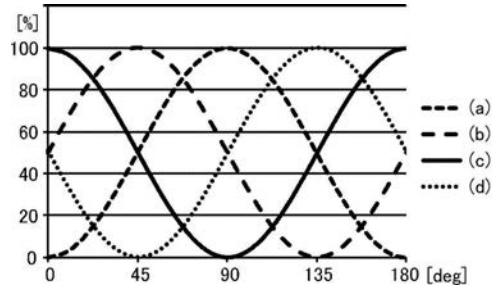
【 図 1 】



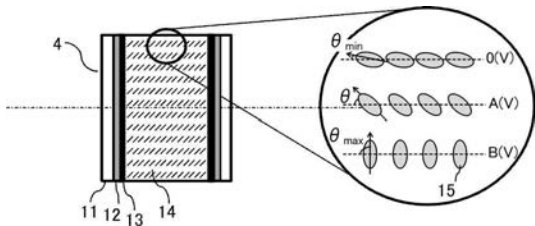
【 図 2 】



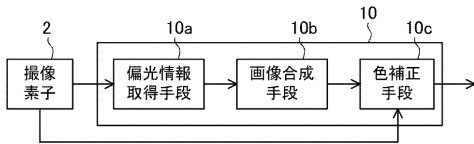
【 図 3 】



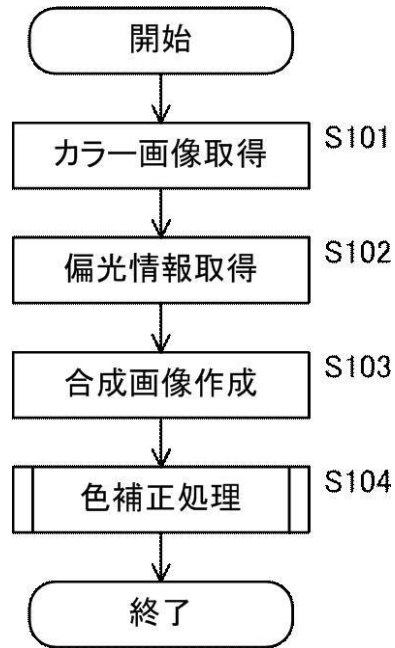
【 図 4 】

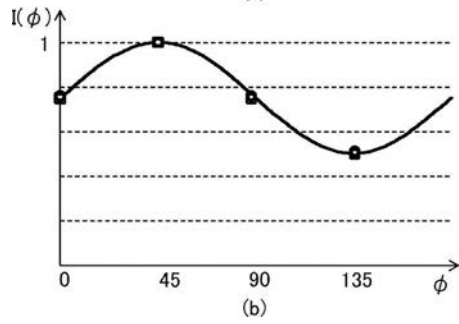
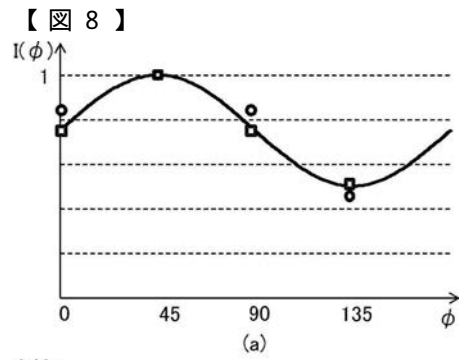
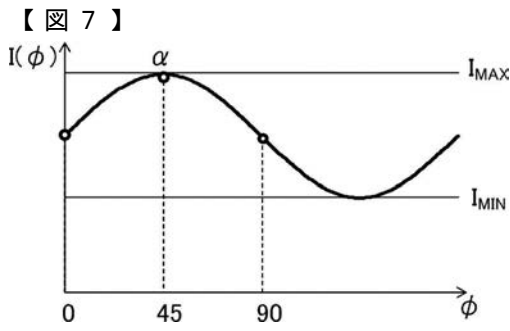


【 図 5 】



【 図 6 】





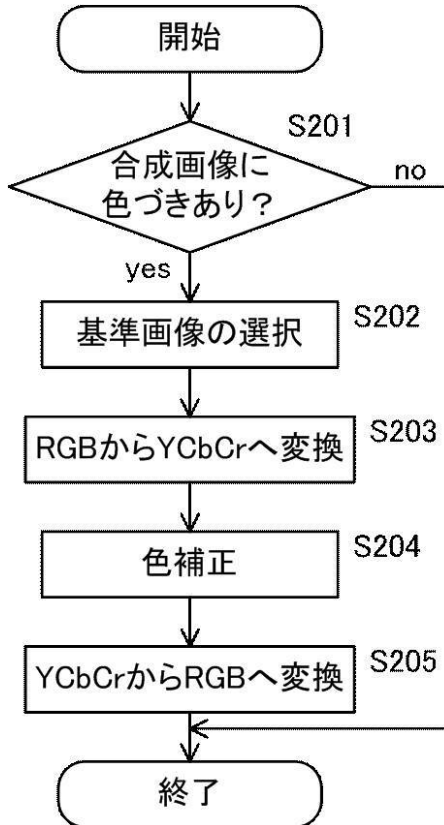
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 1 2 】

