

(19) 日本国特許庁 (JP)

再 公 表 特 許 (A1)

(11) 国際公開番号

W02012/073414

発行日 平成26年5月19日 (2014. 5. 19)

(43) 国際公開日 平成24年6月7日 (2012. 6. 7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 1/00 (2006.01)	A 6 1 B 1/00 3 O O D	2 H O 4 O
A 6 1 B 1/04 (2006.01)	A 6 1 B 1/04 3 7 O	4 C 1 6 1
G O 2 B 23/24 (2006.01)	G O 2 B 23/24 C	5 B O 4 7
G O 6 T 1/00 (2006.01)	G O 6 T 1/00 4 O O B	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 64 頁)

出願番号	特願2012-534172 (P2012-534172)	(71) 出願人	000005821
(21) 国際出願番号	PCT/JP2011/005293		パナソニック株式会社
(22) 国際出願日	平成23年9月20日 (2011. 9. 20)		大阪府門真市大字門真1006番地
(11) 特許番号	特許第5238098号 (P5238098)	(74) 代理人	100101683
(45) 特許公報発行日	平成25年7月17日 (2013. 7. 17)		弁理士 奥田 誠司
(31) 優先権主張番号	特願2010-267436 (P2010-267436)	(74) 代理人	100155000
(32) 優先日	平成22年11月30日 (2010. 11. 30)		弁理士 喜多 修市
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100180529
			弁理士 梶谷 美道
		(74) 代理人	100135703
			弁理士 岡部 英隆
		(74) 代理人	100125922
			弁理士 三宅 章子
		(74) 代理人	100152663
			弁理士 山口 美里

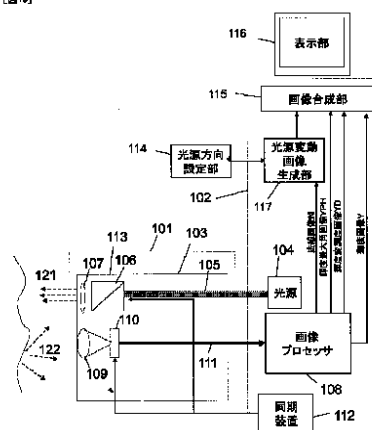
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置および画像処理装置の作動方法

(57) 【要約】

本発明の画像処理装置は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部120と、3種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに、順次、被写体を撮像する撮像部140と、画像処理部150とを備えている。画像処理部150は、撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部1302と、変動輝度処理部1302の出力に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部1305と、被写体表面の凹領域で2回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索部1306とを有する。画像処理部150は、多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する。

【図10】



104 Light source
 108 Image processor
 112 Synchronization device
 114 Light source direction setting unit
 115 Image synthesis unit
 116 Display unit
 117 Light source-variable image generation unit
 N Normal image
 YPH Brightness maximum angle image
 YD Brightness modulation factor image
 Y Brightness image

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、
、
前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、
前記被写体を撮像する撮像部と、
画像処理部と、
を備え、
前記画像処理部は、
前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、
前記変動輝度処理部の出力に基づいて前記凹領域で 2 回反射して戻り光となる前記多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定部と、
前記被写体表面の凹領域で 2 回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有し、
前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する、画像処理装置。

10

【請求項 2】

前記画像処理部は、
前記多重反射領域の各対からグループセグメントを生成し、前記グループセグメントを接続して前記凹領域の位置を推定する凹領域接続部と、
前記凹領域の断面形状を決定する断面形状モデル化部と、
を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

20

【請求項 3】

前記画像処理部は、前記多重反射領域における表面法線と前記 1 回反射領域における表面法線とを統合して法線画像を生成する法線再現部を備える請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

光源位置を設定する光源方向設定部と、
前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像を生成する光源変動画像生成部と、
、
前記光源変動画像と輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部と
を有する請求項 3 に記載の画像処理装置。

30

【請求項 5】

前記光源変動画像生成部は、前記法線画像および物理反射モデルを用いて前記被写体の輝度画像を生成する請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている請求項 1 から 5 のいずれかの画像処理装置。

40

【請求項 7】

前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が 3 種類以上に順次変化する直線偏光を照射する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記偏光照明部は、非偏光の光を前記偏光面変換素子に導くライトガイドを有している請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

50

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部を有する、請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 1】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変動度画像を生成する、請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載の画像処理装置。

10

【請求項 1 2】

前記輝度最大角画像、前記輝度変動度画像のいずれかと、輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部を有する請求項 1 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 3】

前記反射判定部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変動度画像に基づき、

前記輝度最大角を色相角、前記輝度変動度を彩度とする擬似カラー画像において、あらかじめ設定された値以上の輝度変動度を持つ画素を、前記多重反射領域を構成する画素として抽出する請求項 1 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 4】

前記凹領域接続部は、前記凹領域の表面法線の A z i m u t h (方位) 角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

20

【請求項 1 5】

前記断面形状モデル化部は、前記凹領域の断面形状を特定の関数にてモデル化し、

前記多重反射領域における表面法線の A z i m u t h 角が概略 4 5 度になる性質を利用して、前記凹領域における任意の位置における表面法線の Z e n i t h (天頂) 角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 6】

前記偏光照明部は、偏光面が 3 種類以上に順次変化する偏光面変換素子を透過させた光を、リレーレンズ光学系を経由して前記被写体に照射する請求項 1 に記載の画像処理装置。

30

【請求項 1 7】

前記偏光照明部は、同心円状態の複数のリング照明または面照明光源を偏光面変換素子と組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 8】

前記偏光照明部は、撮像系の光軸よりも内側向きの照明系光軸を有する面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 1 9】

前記偏光照明部は、無偏光広帯域ビームスプリッタと面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 2 0】

40

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明工程と、

前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、

画像処理工程と、

を含む画像処理方法であって、

前記画像処理工程は、

前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

前記変動輝度処理工程の結果に基づいて前記凹領域で 2 回反射して戻り光となる前記多

50

重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定工程と、

前記被写体表面の凹領域で 2 回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と

を含む、画像処理方法。

【請求項 21】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と

、

前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、

画像処理部と、

画像処理部の出力に基づいて画像を表示する表示部と、

を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の出力に基づいて疑似カラー画像を生成する疑似カラー画像変換部と、

を備え、

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変動画像を生成し、

前記疑似カラー画像変換部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変動画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変動を彩度とする疑似カラー画像を生成し、前記疑似カラー画像と輝度画像とを合成して前記表示部に表示させる、内視鏡装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像素子によって取得される 2 次元輝度画像から得られる情報を越えた表面凹凸情報を得ることができる画像処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

内視鏡は、粘膜で覆われた、生体の臓器器官の壁表面に対して照明を照射して撮像する。このような内視鏡の分野では、表面の色の変化と同時に、表面の微細な凹凸のテクスチャを確認する必要がある。しかし内視鏡では、被写体上に影の発生がなくなるように照明の光軸と撮像の光軸とのなす角はほぼ 0°としているため、表面の微細な凹凸構造を陰影でとらえることが難しい。この課題に対して既存のカラー輝度による内視鏡撮像系のまま画像処理の工夫で、画像の濃淡情報から表面凹凸を識別しようとする従来技術が提案されている。また、偏光照明と偏光撮像とを用いた偏光内視鏡も提案されている。

【0003】

前者の技術は、例えば特許文献 1 に開示されている。この技術は、撮影された、カラー画像の特定画素の信号レベル値とその周囲 8 画素の平均信号レベル値とを比較する。そして、特定画素の信号レベル値が低い場合は、被写体の対応部位は周囲から凹（窪んでいる）と判断する。そして、周囲から窪んでると判断された領域では、赤色画素信号および緑色画素信号の信号レベル値を低減することにより青色成分を強調する。これにより、モニタ装置に再現されるカラー画像は、あたかも通常の内視鏡検査で医師により実施される

10

20

30

40

50

青色系色素溶液撒布に類似した色コントラストを呈し、臓器表面の凹凸が明瞭になる。

【0004】

後者の技術は、特許文献2、および特許文献3がある。ここでは、特定の偏光成分の光を物体に照射する偏光照射部と、前記物体からの戻り光における、前記特定の偏光成分の光、および前記戻り光における前記特定の偏光成分と異なる偏光成分の光とを受光し、偏光撮像する偏光モザイク型の受光部とを備え、前記物体の表面の形状変化を示す形状変化画像を生成する内視鏡が開示されている。特に観察者が粘膜の表面凹凸を視認しやすくするため、偏光特性算出部が偏光方位を算出し表面の傾斜情報の2次元分布を生成できる、としている。

【0005】

特許文献4、特許文献5および非特許文献1は、偏光面を回転させることが可能なデバイスを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許3869698号公報

【特許文献2】特開2009-246770号公報

【特許文献3】特開2010-104424号公報

【特許文献4】特開平11-313242号公報

【特許文献5】US2009/0079982 A1

【特許文献6】特許第4235252号

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】Nicolas Lefaudeux, et. al : " Compact and robust linear Stokes polarization camera " , Proc. SPIE, Vol. 6972, 69720B, Polarization: Measurement, Analysis, and Remote Sensing VIII (2008)

【非特許文献2】池内克史：「反射率地図に基づき、二次元濃淡画像より三次元形状を再構成する2手法」、電子情報通信学会誌'82/7, Vol. J65-D No. 7, P P842-849

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来技術では、表面の凹部（溝）の明瞭化のため、通常の輝度画像処理において「凹部は隣接画素より暗い」という特徴を使っていることが多い。しかし、実際には、それが成り立たない形状の凹部も多い。本発明者の経験では、たとえば平坦な底面を有する凹部や、隣接する傾斜面で相互に光を反射しあうような形状を有する凹部においては、底部や斜面を形成する画素が、周囲の画素よりむしろ明るく反射する事実が判明している。このような形状の凹部では、従来の輝度画像処理は有効ではなく、判定誤りが多発してしまう。

【0009】

また偏光を使う従来技術は、円偏光成分の光を物体に照射し、物体からの戻り光に関する楕円偏光の方位に基づいて表面の傾きを算出できる。しかしながら、上記生体で見られるような定型のない一般的凹部においてその表面法線を求めることは困難であった。

【0010】

一方、推定された凹凸情報の表示について、従来技術は凹部（溝）の明瞭化を実施する表示技術として「擬似色素撒布処理」など凹部領域の2次元表示をしているが、これは表面凹凸の実感（リアリティ）が感じられないという課題があった。

【0011】

本発明は、上記の課題を解決するものであり、その目的は、輝度のみならず被写体表面

10

20

30

40

50

の微細凹凸をリアリティ高く再現できる小型で実現可能な画像処理装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の画像処理装置は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、画像処理部とを備える。前記画像処理部は、前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、前記変動輝度処理部の出力に基づいて前記凹領域で2回反射して戻り光となる前記多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部と、前記被写体表面の凹領域で2回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有する。前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する。

10

【0013】

ある実施形態において、前記画像処理部は、前記多重反射領域の各対からグループセグメントを生成し、前記グループセグメントを接続して前記凹領域の位置を推定する凹領域接続部と、前記凹領域の断面形状を決定する断面形状モデル化部とを有する。

【0014】

ある実施形態において、前記画像処理部は、前記多重反射領域における表面法線と前記1回反射領域における表面法線とを統合して法線画像を生成する法線再現部を備える。

20

【0015】

ある実施形態において、光源位置を設定する光源方向設定部と、前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像を生成する光源変動画像生成部と、前記光源変動画像と輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部とを有する。

【0016】

ある実施形態において、前記光源変動画像生成部は、前記法線画像および物理反射モデルを用いて前記被写体の輝度画像を生成する。

【0017】

ある実施形態において、前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている。

30

【0018】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が3種類以上に順次変化する直線偏光を照射する。

【0019】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、非偏光の光を前記偏光面変換素子に導くライトガイドを有している。

【0020】

ある実施形態において、前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している。

【0021】

ある実施形態において、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部を有する。

40

【0022】

ある実施形態において、前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変動画像を生成する。

【0023】

50

ある実施形態において、前記輝度最大角画像、前記輝度変調度画像のいずれかと、輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部を有する。

【0024】

ある実施形態において、前記反射判定部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像において、あらかじめ設定された値以上の輝度変調度を持つ画素を、前記多重反射領域を構成する画素として抽出する。

【0025】

ある実施形態において、前記凹領域接続部は、前記凹領域の表面法線の *A z i m u t h* (方位) 角を推定する。

【0026】

ある実施形態において、前記断面形状モデル化部は、前記凹領域の断面形状を特定の関数にてモデル化し、前記多重反射領域における表面法線の *A z i m u t h* 角が概略45度になる性質を利用して、前記凹領域における任意の位置における表面法線の *Z e n i t h* (天頂) 角を推定する。

【0027】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、偏光面が3種類以上に順次変化する偏光面変換素子を透過させた光を、リレーレンズ光学系を経由して前記被写体に照射する。

【0028】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、同心円状態の複数のリング照明または面照明光源を偏光面変換素子と組み合わせた光学系を有する。

【0029】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、撮像系の光軸よりも内側向きの照明系光軸を有する面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する。

【0030】

ある実施形態において、前記偏光照明部は、無偏光広帯域ビームスプリッタと面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する。

【0031】

本発明の画像処理方法は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明工程と、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、画像処理工程とを含む画像処理方法である。前記画像処理工程は、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて前記凹領域で2回反射して戻り光となる前記多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定工程と、前記被写体表面の凹領域で2回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程とを含む。

【0032】

本発明の内視鏡装置は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、画像処理部と、画像処理部の出力に基づいて画像を表示する表示部とを備える。前記画像処理部は、前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、前記変動輝度処理部の出力に基づいて疑似カラー画像を生成する疑似カラー画像変換部と、を備える。前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成し、前記疑似カラー画像変換部は、前記輝度最大角画像および前記輝

10

20

30

40

50

度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像を生成し、前記擬似カラー画像と輝度画像とを合成して前記表示部に表示させる。

【発明の効果】

【0033】

本発明の画像処理装置では、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、3種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに、順次、被写体を撮像する撮像部とを備えているため、特別な偏光撮像素子を新たに開発する必要なしにカラー画像と同時に表面の凹凸形状に応じた反射偏光状態に関する情報を取得することができる。こうして、本発明では、反射偏光状態から表面凹凸の情報を得る。通常カラー撮像素子をそのまま利用することができるので、高コストの偏光撮像素子を使う必要もなく、表面凹凸を視認するための情報を取得することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1A】本発明による画像処理装置の基本構成を示す図

【図1B】偏光面の角度が異なる3種類の直線偏光の偏光方向を模式的に示す斜視図

【図1C】本発明の実施形態1に関する画像処理装置の構成を示す図

【図2】偏光面制御素子の動作を示す図

【図3】偏光面角度の定義図

【図4】(a)および(b)は、本発明の実施形態1に関する撮像素子における光感知セル配置例を示す図

20

【図5】(a)および(b)は、入射光が被写体表面に対して直上から入射して1回反射をする図

【図6】横軸を入射角とした際のP波とS波のエネルギーのフレネル反射率を示すグラフ

【図7】(a)および(b)は、偏光照明の偏光面回転による画素ごとの輝度変動を示すグラフ

【図8】(a)および(b)は2回反射による偏光反射光の輝度変動の説明図

【図9】(a)最も単純なグループ(溝)の形状と(b)入射光の反射の様子を示す図

【図10】(a)底面と斜面とを有するグループ(溝)形状と(b)入射光の反射の様子を示す図

【図11】(a)隆起(凸部)が密集している形状と(b)入射光の反射の様子を示す図

30

【図12】(a)穴(凹部)形状と(b)入射光の反射の様子を示す図

【図13】本発明の実施形態1に関する画像処理プロセッサの構成を示すブロック図

【図14】4種類の偏光照明に対応する偏光輝度サンプルから余弦関数フィッティングをする図

【図15】1回・2回反射判定部の処理を説明するフローチャート

【図16A】撮影シーンとしての図11の形状を示す図

【図16B】分離された1回反射領域REF1を模式的に示す図

【図16C】分離された2回反射領域REF2を模式的に示す図

【図17A】鏡像探索部の処理を説明する図

【図17B】鏡像探索部の処理を説明する図

40

【図18A】鏡像探索部の処理を説明するフローチャート

【図18B】1つの反射領域におけるデータを示す図

【図19】被探索領域の探索の詳細を説明する図

【図20A】実被写体の輝度画像を示す図

【図20B】輝度最大角画像YPHと輝度変調度画像YDを1つの擬似カラー画像にした図

【図20C】量子化処理にて2回反射と判定された微小反射領域を示す図

【図20D】鏡像探索部の処理でグループセグメントが抽出された結果を示す図

【図21A】複数の鏡像対の発生原因を説明する図(断面図)

【図21B】複数の鏡像対の発生原因を説明する図(反射領域の図)

50

- 【図 2 2】凹領域接続部の処理を説明するフローチャート
- 【図 2 3 A】凹領域接続部におけるグループセグメントの設定処理結果を示す図
- 【図 2 3 B】凹領域接続部におけるグループセグメントの膨張処理結果を示す図
- 【図 2 3 C】凹領域拡張部における細線化の処理結果を示す図
- 【図 2 3 D】凹領域拡張部における法線決定の処理結果を示す図
- 【図 2 4 A】穴の場合における凹領域接続の処理結果を示す図（グループセグメントの設定）
- 【図 2 4 B】穴の場合における凹領域接続の処理結果を示す図（グループセグメントの膨張）
- 【図 2 4 C】穴の場合における凹領域接続の処理結果を示す図（細線化） 10
- 【図 2 4 D】穴の場合における凹領域接続の処理結果を示す図（法線推定）
- 【図 2 5】カメラ座標系における法線ベクトルの *A z i m u t h*（方位）角、*Z e n i t h*（天頂）角を説明する図
- 【図 2 6】法線推定部の処理を説明するフローチャート
- 【図 2 7】推定されたグループの平面図と断面図
- 【図 2 8】1 回反射領域における法線推定の原理図
- 【図 2 9 A】繰り返し法によって推定された表面法線と被写体断面図
- 【図 2 9 B】推定された法線画像を模式的に表現した図
- 【図 3 0】表面法線と光源、視点の幾何学的関係
- 【図 3 1】光源変動画像の例を示す図 20
- 【図 3 2 A】輝度画像と光源変動画像との合成部の構成例を示す図
- 【図 3 2 B】輝度画像と光源変動画像との合成を示す図
- 【図 3 3 A】輝度画像と擬似カラー画像の合成部の構成例を示す図
- 【図 3 3 B】輝度画像と擬似カラー画像の合成を示す図
- 【図 3 4】本発明の実施形態 1 の変形例に関する画像処理プロセッサの構成を示すブロック図
- 【図 3 5 A】*R E F* 1 領域が凸領域である場合を示す図
- 【図 3 5 B】*R E F* 1 領域が凹領域である場合を示す図
- 【図 3 6】本発明の第 2 の実施形態を示す図
- 【図 3 7】本発明の第 1、2 の実施形態の変形例を示す図 30
- 【図 3 8】本発明の第 1、2 の実施形態の変形例を示す図
- 【図 3 9】本発明の第 1、2 の実施形態の変形例を示す図
- 【図 4 0】本発明の第 1、2 の実施形態の変形例を示す図
- 【図 4 1】本発明の第 1、2 の実施形態の変形例を示す図
- 【発明を実施するための形態】
- 【0 0 3 5】
- 本発明による画像処理装置の例は、図 1 A に示すように、偏光照明部 1 2 0 と、撮像部 1 4 0 と、変動輝度処理部 1 3 0 2 と、反射判定部 1 3 0 5 と、鏡像探索部 1 3 0 6 とを備えている。変動輝度処理部 1 3 0 2、反射判定部 1 3 0 5、および鏡像探索部 1 3 0 6 は、画像処理部 1 5 0 に含まれている。 40
- 【0 0 3 6】
- 偏光照明部 1 2 0 は、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体 1 0 0 に照射する。本発明が撮像の対象とする被写体 1 0 0 の表面には、複数の凹領域 1 0 0 a が存在する。被写体 1 0 0 が例えば生体の臓器表面には、複数の凹領域が観察される。直線偏光は、被写体 1 0 0 の表面に存在する凹領域 1 0 0 a と、凹領域 1 0 0 a 以外の領域とによって反射され、撮像部 1 4 0 に入射する。撮像部 1 4 0 は、3 種類以上の直線偏光の各々によって被写体 1 0 0 が照射されているときに、順次、被写体 1 0 0 を撮像する。
- 【0 0 3 7】
- 図 1 B は、偏光面の角度が異なる 3 種類の直線偏光の偏光方向を模式的に示す斜視図で 50

ある。図示されている3つの偏光状態10、12、14は、それぞれ、角度の異なる偏光面を有している。図1Bの各偏光状態10、12、14を模式的に示すサークルの内部には、双方向の矢印が記載されている。この矢印は、直線偏光の偏光面を規定する電場ベクトルの振動方向を示している。

【0038】

図1Bには、右手系のXYZ座標を示している。本明細書では、撮像部140によって取得される画像面内にX軸およびY軸を設定し、Z軸の負の向きを視線（光軸）方向に設定する。直線偏光の偏光面は、振動する電場ベクトルに平行な、光軸を含む平面である。上記の座標系を採用する場合、直線偏光の電場ベクトルの振動方向はXY平面に平行である。このため、偏光面の角度（ Ψ ）は、X軸の正方向に対して偏光方向（電場ベクトルの振動方向）が形成する角度によって規定される。この角度 Ψ については、後に図3を参照して、より詳しく説明する。

10

【0039】

本発明では、偏光照明部120から、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光が、順次、被写体100に照射され、撮像部140が、3種類以上の直線偏光の各々によって被写体100が照射されているときに、順次、被写体100を撮像する。

【0040】

再び図1Aを参照する。変動輝度処理部1302は、撮像部140から出力される画素信号に基づいて、偏光面の角度と各画素の輝度値との関係性を求め、「輝度最大角画像」および「輝度変調度画像」を生成する。本明細書において、「輝度最大角画像」とは、撮像によって得られた画像を構成する各画素について、輝度値が最大となる偏光面の角度によって定義される画像である。例えば、ある座標（ x 、 y ）によって特定される画素P（ x 、 y ）の輝度値が、角度45°の偏光面を有する直線偏光によって被写体100が照射されたときに最大になる場合、その画素P（ x 、 y ）に対して、輝度最大角である45°の値が設定される。1つの「輝度最大角画像」は、このような輝度最大角の値を各画素に設定することによって構成される。一方、「輝度変調度画像」とは、各画素について偏光面の変化にともなう輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される画像である。ある画素P（ x 、 y ）における輝度変調度が0.3であるならば、この画素P（ x 、 y ）に対して0.3の値が設定される。1つの「輝度変調度画像」は、このような輝度変調度の値を各画素に設定することによって構成される。

20

30

【0041】

このように、本明細書における「画像」とは、人間の視覚によって直接的に認識される輝度画像を意味するだけでなく、複数の画素の各々に与えられた数値の配列を広く含むものとする。例えば1つの「輝度最大角画像」を表示する場合、「輝度最大角画像」の各画素に設定されている輝度最大角の値に応じた明度で画像を表示することができる。このようにして表現された「輝度最大角画像」は、人間の視覚によって認識できる明暗のパターンを含んでいるが、これは、被写体の輝度を示す通常の輝度画像とは異なるものである。また、本明細書では、簡単のため、各種の「画像」を示すデータそのものを「画像」と称する場合がある。

【0042】

図1Aに示される反射判定部1305は、変動輝度処理部1302の出力に基づいて、凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する。後述するように、被写体表面の凹領域と、凹領域以外の領域との間には、偏光反射状態に差異があるため、これらの領域を判別することができる。凹領域では、多重反射（典型的には2回反射）が生じるため、多重反射領域は、同様の偏光反射状態を示す対（ペア）を構成する。このような多重反射領域の典型的な一例は、断面がV字状のグループ（溝）であり得る。このようなグループの最も簡単な構造を有する例は、後述の図9に示すように、一方向に直線的に延びるグループである。しかし、多重反射領域を有する凹領域は、断面が概略的にV字状またはU字状に傾斜・湾曲する表面を有していればよく、他の形態を有し得る。後に説明するように、図10から図12に例

40

50

示されるような形態でも、その断面には概略的にV字状またはU字状に傾斜または湾曲する面が存在する。したがって、そのような面では多重反射が生じ、同様の偏光反射状態を示す領域の対が観察され得る。

【0043】

このような、同様の偏光反射状態を示す多重反射領域の対は、被写体の表面において連なり、より広い凹領域を形成している。この凹領域の典型例は、グループであるため、本明細書では、多重反射領域の対を含む凹領域を「グループ」と称する場合がある。しかし、本明細書における「グループ」は、被写体の表面において一方向に延長した溝状の凹領域に限定されない。本明細書における「グループ」は、厳密にはグループとは言えない形状（例えば、図11や図12に示されるような形状）を有する凹領域であり得る。

10

【0044】

鏡像探索部1306は、被写体表面の凹領域で2回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する。この対の決定方法については、後に詳しく説明する。画像処理部150は、多重反射領域の対に基づいて被写体表面の凹領域を示す画像を生成する。

【0045】

図1Cは、本発明の実施形態1における画像処理装置の全体構成を模式的に示す図である。

【0046】

本画像処理装置は、内視鏡101と制御装置102とを備える。内視鏡101は、撮像素子110を有する先端部113、ライトガイド105と映像信号線111を有する挿入部103とを有している。内視鏡101の挿入部103は、図示されているように左右に長く、フレキシブルに曲がり得る構造を有している。ライトガイド105は曲がった状態でも光を伝達することができる。

20

【0047】

制御装置102は、光源104と画像プロセッサ108とを備える。光源104から発した白色非偏光の光は、ライトガイド105を経由して先端部113の偏光面制御素子106に導かれ、被写体に照射される直線偏光の光121となる。偏光面制御素子106は、たとえば偏光板と液晶素子から構成されており、電圧により非偏光を任意の偏光面の直線偏光へと変換できる。

【0048】

偏光面制御素子106は、液晶を用いた偏光面を回転させることが可能なデバイスである。その構成例は、特許文献4、特許文献5ならびに非特許文献1等に既に開示されている。偏光面制御素子106は、例えば強誘電性液晶と、偏光フィルムと、1/4波長板などを組み合わせた電圧印加型液晶デバイスで構成され得る。そしてこの偏光照明は、照明レンズ107を通して被写体に照射される。

30

【0049】

同期装置112は、偏光面制御素子106に偏光面回転の指示信号を送り、照明の偏光面を回転させるとともに、撮像素子110に撮影開始信号を送って映像を取得し、以上の処理を複数回実施する。

【0050】

被写体からの戻り光122は、撮影レンズ109を通して撮像素子110上に結像する。撮像素子110は、モノクロ撮像素子、あるいはカラーモザイクを有する単板カラー撮像素子であってよい。撮像された映像信号は、映像信号線111を経由して画像プロセッサ108に到達する。

40

【0051】

本実施形態では、光源104、ライトガイド105、偏光面制御素子106、および照明レンズ107によって図1Aの偏光照明部120が実現されている。また、撮影レンズ109および撮像素子110によって図1Aの撮像部140が実現されている。図1Aの変動輝度処理部1302、反射判定部1305、および鏡像探索部1306は、画像プロセッサ108によって実現されている。

50

【0052】

次に、図2を参照して、偏光面制御素子106の動作を説明する。

【0053】

偏光面が0°状態203で第1の画像を撮像し、偏光面が45°状態204で第2の画像を撮像し、偏光面が90°状態205で第3の画像を撮像し、偏光面が135°状態206で第4の画像を撮像する。各偏光面が45°ずつずれている必要はなく、180°を3以上の整数で除算した角度ずれていればかまわない。撮像素子が高感度である場合、あるいは照明の照度が高い場合には露光時間が短縮できるので、回転角をより細かく設定できる。

【0054】

偏光面の回転に要する時間は、上記文献によれば、動作速度は20(ms)程度から40~100(μsec)程度的高速型まで存在する。高速型の液晶を用いてかつこの時間での撮像が可能な程度まで撮像素子の感度を上げれば4方向の偏光回転を実施して撮影しても、動画映像の撮影に十分な性能を持たせることが可能である。また画像処理は最低4フレームの画像撮像単位について実施されるが、処理をパイプライン処理にすることで実際かかる処理時間を1フレーム時間内に収めることが可能である。

【0055】

図1Cから明らかなように、照明レンズ107の光軸と撮影レンズ109の光軸は略等しい。これは内視鏡での観察時に被写体上になるべく影を発生させないためである。

【0056】

なお、内視鏡の通常の使い方では、非偏光を被写体に照射したい場合が多い。本発明では、例えば上記第1の画像から第4の画像までの別々の偏光画像を加算することによって非偏光の平均輝度画像を生成することができる。本発明者らの実験によると、偏光面の角度 ΨI が等間隔の複数の偏光を被写体に照射したときの戻り光の画像を加算すると、偏光の効果が打ち消されるため、結果的に非偏光照明を用いたのと同様の効果が得られることが判明している。

【0057】

図3は、偏光照明における偏光面の角度 ΨI の定義を示す図である。前述したように、被写体に向かってX-Y座標系を設定している。偏光面の角度 ΨI は、X軸の方向を0°として図3に示すように定義するものとする。角度 ΨI が反射において保存される場合には、反射光の偏光面の角度と入射光の偏光面の角度は同一となる。偏光面の角度 ΨI を増加または減少させていくと、180°の周期で同一の偏光状態が繰り返される。すなわち、偏光面の角度 ΨI を変数とする関数は、180°の周期を有する周期関数である。なお、本明細書において、偏光照明における偏光面の角度 ΨI を、「入射偏光面角度」と称する場合がある。

【0058】

図4(a)および(b)は、それぞれ、撮像素子110の撮像面の構成例を示す図である。図4(a)に示すように撮像面には、複数の光感知セル(フォトダイオード)が行および列状(X-Y方向)に規則的に配列されている。カラー撮像の場合には、図4(b)に示すようRGB3種の波長の光を透過するカラーモザイクフィルタが設置される。個々の光感知セルは、光電変換により、入射した光の量に応じて電気信号を生成する。この部分は一般的な単板カラー撮像素子を用いることができる。このように撮像素子110としては、従来の輝度画像用のものを利用できる。本実施形態では、照明光を直線偏光として、その偏光面を回転させながら撮像することによって被写体の表面情報を取得することが可能になる。このため、特許文献2および特許文献3に開示されているような偏光撮像をするための偏光モザイク形の受光素子などを使うと、偏光画像上にモアレなどのアーティファクトが発生することがよくあるが、本実施形態によれば、このような画質劣化要因がなくなる利点がある。

【0059】

次に、偏光照明の偏光面を回転した時の輝度の変動の性質について説明する。

【0060】

図5は、表面801に対して入射角がゼロに近い偏光が入射して直接反射をカメラで観測する様子を示している。図5(a)、(b)は、入射する偏光の偏光面が90°異なっている。しかし、反射光の直線偏光は、光の進行方向が変わるだけでエネルギーである輝度は変動することはない。これは以下の理由による。

【0061】

図6は、フレネル理論による鏡面反射率の入射角依存性を示すグラフである。横軸が入射角、縦軸がフレネル反射率を示す。屈折率は $n = 1.8$ を想定した。垂直入射とみなせる0°~15°付近の入射角度は、範囲601に相当する。グラフから読み取れるように、この入射角範囲601では、P波もS波も反射率がほぼ同一である。したがって、偏光がほぼ垂直に表面に入射した場合には、表面に対するP波とS波という偏光の区別がなくなって同じ挙動で反射する。すなわち戻り光の偏光状態は入射光と同じになる。従って偏光面変化により戻り光の輝度が変動することはない。なお、この事実は、屈折率 $n = 1.4 \sim 2.0$ の自然物体において、広く成立する。

【0062】

以上のように、滑らかな表面に対して入射角度がほぼゼロで偏光が入射し、それが1回反射して観測される場合、偏光照明の偏光面を角度 ΨI だけ回転させても反射光のエネルギーが変わらないため、観測される輝度 Y は不変となる。

【0063】

図7は、凹凸のある表面に対して偏光照明の偏光面の角度 ΨI が0°、45°、90°、135°のときに得られる、輝度画像の特定の画素における輝度 Y の変動を示している。このように凹凸表面では、輝度 Y は各偏光照明の偏光面の角度 ΨI に対して周期的に変動を示す。以下、この理由を詳述する。

【0064】

図8は、凹凸のある表面でグループ801が形成され、その斜面で2回の反射が発生している様子を示す。この多重反射は、表面の凹凸が多い被写体表面で常に発生していると考えられ、1回目と2回目の反射の性質が重要となる。幾何学的な配置によっては、極めてまれに2回反射とほぼ同じ位置に3回反射が発生することもあるが、その発生頻度はきわめて低いため、以降は2回反射のみに注目する。

【0065】

一般に反射の性質を鏡面反射と拡散反射に分離した場合、

- 1) 1回目：拡散反射 2回目：鏡面反射
- 2) 1回目：拡散反射 2回目：拡散反射
- 3) 1回目：鏡面反射 2回目：拡散反射
- 4) 1回目：鏡面反射 2回目：鏡面反射

の4通りの現象が想定できる。

【0066】

しかし実験によると、被写体表面が滑らかな場合、4)の1回目も2回目も鏡面反射という現象を主要な現象として考えればよいことが判明している。

【0067】

図8(a)に示すように、グループの主軸方向802に対して垂直に偏光した偏光照明はP波である。再び図6を参照すると、被写体グループの傾斜角が45°程度と仮定して、そこに真上から照明が入射すると602のフレネル反射率のグラフから読み取れるとおり、この入射角範囲では、S波にくらべてP波の反射率が極めて弱くなる。さらにP波は1回および2回反射を経由する間にさらに弱くなる。一方、図8(b)に示すS偏光は、2回の反射を経てもそれほど弱まらない。その結果、グループに対してP波となる入射偏光面においては、反射光はエネルギー的にも極めて弱くなり、輝度が低下する。一方、S波となる入射偏光面においては、反射光はそれほどエネルギーが減衰せず輝度も高い。

【0068】

以上のように表面グループを仮定すれば、実験にて得られた、入射光の偏光面の回転に

よる反射光の輝度変化が説明できる。

【0069】

グループにおける2回反射を偏光現象として検出し、これを、偏光回転照明を使って輝度変動として観測できる。しかし、上記のようなグループモデルはやや人工的な溝であった。生体の臓器、粘膜表面における凹凸はさまざまな形状を呈する。図9から図12は、このような現実の凹凸をモデル化したものである。

【0070】

図9は最も単純なグループ（溝）を示している。これは2種の斜面901のみから形成され略直上から入射した光は、斜面で2回反射（902）して戻り光となる。このモデル化では、グループにおいて2回反射現象のみが存在する。そこで、ある程度解像度が低い状況では、グループ中心は最も暗くなることが多く、従来の輝度による画像処理を用いても凹凸が検出可能である。

【0071】

しかし以下の形状では1回反射と2回反射が混在し、輝度による凹凸検出は困難になる。

【0072】

図10はグループが底面1001を有する場合であり、浅く広い陥没部などで見られる形状である。この場合、直上から入射した光は、斜面1004で2回反射（1002）して戻り光となるだけでなく、底面にて1回反射（1103）する。このため輝度で観測すると、グループの中心が最も明るくなり、凹部が周囲より暗くなるという常識に反する状態になり、輝度を用いた画像処理では凹凸判定は困難になる。

【0073】

図11は平坦部上の凸形状1105が密集している領域の形状であり、隆起状の腫瘍などが発生している場合に見られる形状である。凸部は簡単のため半球状にモデル化してあるが、凸部1105の間隙部1101は、凹部と見なすことができ、略直上から入射した光は図11（b）に示すように隣接する表面で2回反射（1102）して戻り光になる。

【0074】

隆起した部分では光が1回反射して非常に高い輝度領域となるが、間隙の凹部の底部にも、1回反射光が生じる領域1104が存在する。この領域1104は、しばしば非常に高輝度になる。したがって、輝度で観測すると凹部が周囲より明るくなるという状態になり、輝度による凹凸判定によっては図11に示すような凹領域を正確に検出することは困難になる。

【0075】

図12は、平坦部上に穴状の凹部1204が単独で存在する形状を示している。凹部1204は半球状の穴としてモデル化している。この場合も、対面する斜面の対が存在するため略直上から入射した光は2回反射（1201）して戻り光となる。しかし、入射光は底面にて1回反射（1202）するため、輝度で観測すると、凹部1204の中心1203が最も明るい状態となる。その結果、凹部1204が周囲より暗くなるという常識に反する状態になるため、輝度による凹凸判定によっては図12に示すような凹領域を正確に検出することは困難になる。

【0076】

輝度による画像処理では凹凸情報を得ることが困難な多様な形状に対して、本実施形態では、回転偏光照明を用いた情報から1回反射と2回反射現象を切りわけて表面凹凸情報を正しく検出することができる。

【0077】

図13は、画像処理プロセッサ108の構成を示すブロック図である。本実施形態で実行する画像処理は、偏光面が回転する偏光照明を照射して輝度変動を観測した情報から凹凸を検出する原理を用いている。照明の偏光面角度 Ψ Iを 0° 、 45° 、 90° 、 135° と変えた場合にそれぞれ撮像された4枚の輝度画像群1301が画像処理プロセッサ108に入力される。

【 0 0 7 8 】

偏光照明を回転した場合の輝度変動は周期 180° の余弦関数になることが判明しているので、変動輝度処理部 1302 は、これを余弦関数に最適フィッティングする。輝度変動は照明の偏光面の角度を Ψ_I として以下のように表現される。

【数 1】

$$Y(\psi_I) = Y_{\psi I_ave} + A_I \cos(2(\psi_I - \psi_0)) \quad (\text{式 1})$$

【 0 0 7 9 】

図 14 は、この輝度変動の余弦関数を示したもので上記の振幅 A_I 、位相 Ψ_0 、平均値 $Y_{\Psi I_ave}$ を表している。4 個のサンプル点は、簡単のため、この余弦関数上にちょうど載るように描かれている。4 つの等間隔の角度サンプルから余弦関数をフィッティングして上記の値を推定する手法は、以下のとおりである。まず非偏光照明下での原画像の輝度 $Y_{\Psi I_ave}$ を以下の式で求める。これは近似的に非偏光照明下での輝度画像を再現しており、この画像は内視鏡の通常観察画像として利用することができる。

【数 2】

$$\begin{aligned} Y_{\psi I_AVE} &= \frac{1}{4}(Y(\psi_I=0^\circ) + Y(\psi_I=45^\circ) + Y(\psi_I=90^\circ) + Y(\psi_I=135^\circ)) \\ &\approx \frac{1}{2}(Y_{\max} + Y_{\min}) \end{aligned} \quad (\text{式 2})$$

【 0 0 8 0 】

変動輝度処理部 1302 では、サンプルされた輝度から余弦関数への最小 2 乗誤差を用いた最適フィッティングを行う。ここでは、0°、45°、90°、135° という 4 方向のサンプルから実施する。余弦関数は振幅、位相、平均値の 3 種の情報で決定されるため、これらを決定するためには 3 点のサンプル以上であれば実際には何点でもかまわない。しかし 45° サンプルの場合には最適フィッティングが簡単になる性質がある。

【 0 0 8 1 】

まず偏光角度が 0°、45° ($= \pi/4$)、90° ($= \pi/2$)、135° ($= 3\pi/4$) における輝度 I_0 、 I_1 、 I_2 、 I_3 の 2 乗誤差 E を以下のように定義する。

【数 3】

$$\begin{aligned} E &= (Y(\psi_I=0) - I_0)^2 + (Y(\psi_I=\frac{\pi}{4}) - I_1)^2 + (Y(\psi_I=\frac{\pi}{2}) - I_2)^2 + (Y(\psi_I=\frac{3\pi}{4}) - I_3)^2 \\ &= (Y_{\psi I_AVE} + A_I \cos(2\psi_0) - I_0)^2 + (Y_{\psi I_AVE} + A_I \sin(2\psi_0) - I_1)^2 + \\ &\quad (Y_{\psi I_AVE} - A_I \cos(2\psi_0) - I_2)^2 + (Y_{\psi I_AVE} - A_I \sin(2\psi_0) - I_3)^2 \end{aligned}$$

(式 3)

【 0 0 8 2 】

この 2 乗誤差を最小化する余弦関数の位相 Ψ_0 は、以下の式から求められる。

【数 4】

$$\frac{\partial E}{\partial \psi_0} = 4A_I [(I_3 - I_1) \cos(2\psi_0) + (I_0 - I_2) \sin(2\psi_0)] = 0 \quad (\text{式 4})$$

【 0 0 8 3 】

この式から、解は、次の式で与えられる。

10

20

30

40

【数 5】

$$\begin{cases} \psi_o^{(+)} = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{c^2}{a^2 + c^2}} \right) \\ \psi_o^{(-)} = \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(-\sqrt{\frac{c^2}{a^2 + c^2}} \right) \end{cases} \quad (式 5)$$

10

【数 6】

$$\begin{cases} a \equiv (I_3 - I_1) \\ c \equiv (I_0 - I_2) \end{cases} \quad (式 6)$$

【0084】

逆三角関数などの数学関数では一般に以下のような制限が課されている。

【数 7】

$$0 \leq \arccos(x) \leq \pi \quad (式 7)$$

20

【0085】

この角度範囲を考慮すると、aとcの大小関係からの場合わけを行うことによって、最小値をとる角度と最大値をとる角度は以下のように計算できる。

【数 8】

$$\begin{cases} a < 0, c > 0 \text{ の場合} & \psi_{o\min} = \frac{\pi}{2} + \psi_o^{(+)} & \psi_{o\max} = \psi_o^{(+)} \\ a < 0, c < 0 \text{ の場合} & \psi_{o\min} = \frac{\pi}{2} + \psi_o^{(-)} & \psi_{o\max} = \psi_o^{(-)} \\ a > 0, c < 0 \text{ の場合} & \psi_{o\min} = \psi_o^{(+)} & \psi_{o\max} = \frac{\pi}{2} + \psi_o^{(+)} \\ a > 0, c > 0 \text{ の場合} & \psi_{o\min} = \psi_o^{(-)} & \psi_{o\max} = \frac{\pi}{2} + \psi_o^{(-)} \end{cases} \quad (式 8)$$

30

【0086】

この最大値をとる $\psi_{o\max}$ の値を、そのまま、輝度最大角画像 YPH とすればよい。

40

【数 9】

$$YPH = \psi_{o\max} \quad (式 9)$$

【0087】

次に、振幅の最大値と最小値を求める。まず、振幅 A_I を求めるため、以下の式を用いて 2 乗誤差の最小化を行う。

【数 1 0】

$$\frac{\partial E}{\partial A_I} = 0 \quad (\text{式 1 0})$$

【0 0 8 8】

振幅 A_I を用いて、振幅の最大値と最小値は以下のようになる。

【数 1 1】

$$Y_{\max} = Y_{\psi I_AVE} + A_I$$

$$Y_{\min} = Y_{\psi I_AVE} - A_I$$

10

$$A_I = \frac{1}{2} [(I_0 - I_2) \cos(2\psi_o) - (I_3 - I_1) \sin(2\psi_o)] \quad (\text{式 1 1})$$

【0 0 8 9】

(式 1 1) の振幅最大値 $Y_{\max}$ と最小値 $Y_{\min}$ を用いると、輝度変調度画像 YD は、以下の式 1 2 によって求められる。

【数 1 2】

$$YD = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}} \quad (\text{式 1 2})$$

20

【0 0 9 0】

なお、余弦関数への一般の最適フィッティングは 3 点以上のサンプルにおいて可能であり、その方法は例えば特許文献 6 に記載されている。

【0 0 9 1】

以上の処理によって輝度最大角画像 YPH と輝度変調度画像 YD が得られる。これらの情報は、図 1 3 に示されるように、反射判定部 1 3 0 5 に送られる。輝度最大角画像 YPH と輝度変調度画像 YD の 2 種類の画像は、擬似カラー画像として 1 つにまとめて表現することが多い。その場合、色の色相角を表現するのが輝度最大角画像 YPH であり、色の彩度を表現するのが輝度変調度画像 YD である。

30

【0 0 9 2】

また、図 1 3 に示されるように、異なる偏光照明下で撮影された画像群 1 3 0 1 は、輝度加算平均部 1 3 1 0 において加算平均され、非偏光照明下で撮影された画像と等価になる。これが通常のカラー画像として機能する輝度画像 Y となる。

【0 0 9 3】

反射判定部 1 3 0 5 は、輝度最大角画像 YPH 、輝度変調度画像 YD 、および、輝度画像 Y を用いて、被写体表面で発生した反射を 1 回反射と 2 回反射に識別判定する。

【0 0 9 4】

図 1 5 は、反射判定部 1 3 0 5 の処理を説明するフローチャートである。

40

【0 0 9 5】

ステップ $S1501$ では、輝度変調度画像 YD と輝度画像 Y とを入力する。ステップ $S1502$ では、輝度変調度画像 YD の各画素における値（変調度）が、所定の閾値レベル TH_YD 以上か否かを判定する。ステップ $S1504$ では、式 1 3 に示すように (i) 変調度が所定の閾値レベル TH_YD 以上の画素からなる画像領域 ($REF2 = YES$) を、2 回反射領域と判定する。一方、(ii) 変調度が所定の閾値レベル TH_YD より小さい画素からなる画像領域 ($REF2 = No$) を 2 回反射なしと判定する。こうして、所定の閾値レベル TH_YD 以上の輝度変調度が存在する反射領域のみを 2 回反射領域 $REF2$ の画素領域として分離できる。

50

【数 1 3】

$$REF2 = \begin{cases} YES & (YD \geq TH_YD) \\ NO & (YD < TH_YD) \end{cases} \quad (\text{式 1 3})$$

【0 0 9 6】

ステップ S 1 5 0 3 では、ステップ S 1 5 0 2 において R E F 2 = N o (2 回反射なし) と判定された領域の輝度値 Y が、所定の閾値 T H _ Y よりも大きいかどうかを判定する。画素の輝度値 Y が所定の閾値 T H _ Y 以上の場合 (式 1 4 R E F 1 = Y E S)、ステップ 1 5 0 5 では、そのような画素からなる領域を 1 回反射領域 R E F 1 と判定する。1 回反射領域 R E F 1 および 2 回反射領域 R E F 2 は、「鏡面反射領域」を構成する。なお、2 回反射領域 R E F 2 は、2 回以上の反射が生じる領域を含み得るため、「多重反射領域」と呼んでもよい。そして、画素の輝度値 Y が所定の閾値 T H _ Y よりも小さい (式 1 4 R E F 1 = N o) 場合、そのような画素からなる領域は、鏡面反射領域ではないとする。

10

【数 1 4】

$$REF1 = \begin{cases} YES & (Y \geq TH_Y) \\ NO & (Y < TH_Y) \end{cases} \quad (\text{式 1 4})$$

20

【0 0 9 7】

以上の処理によって 1 回反射領域 R E F 1 と 2 回反射領域 R E F 2 が画像上で分離される。また、1 回反射領域 R E F 1 および 2 回反射領域 R E F 2 のいずれでもない領域が、「鏡面反射領域」から区別される。

【0 0 9 8】

図 1 6 A は、平坦部上に隆起状の腫瘍などが発生しているシーン (図 1 1) について、反射判定部 1 3 0 5 の処理を行った結果を模式的に示している。図 1 6 B では、1 回反射領域がハッチングされた円形領域として記載されている。1 回反射領域は、隆起部の頂上付近と凹部の底面に存在する高輝度領域である。図 1 6 C に示すように、2 回反射領域 1 6 0 1、1 6 0 2、1 6 0 3 の各対は、隆起部どうしが接する凹部の斜面に位置している。

30

【0 0 9 9】

図 1 7 A、B は、この処理結果をさらに模式的に表現する図面である。分離抽出された各種の形状を有する微小反射領域 1 7 1、1 7 2、1 7 3、1 7 4、1 7 5 が、属性として輝度最大角 H を有する様子を示す。

【0 1 0 0】

輝度最大角 H は 1 8 0 度周期の角度である。輝度最大角 H の等しい領域が図 1 7 A、B では、パターンテクスチャにて表現されている。図 1 7 A に示される領域 1 7 1、1 7 2 は、角度 H 1 に相当する属性を有し、図 1 7 B に示される領域 1 7 3、1 7 4、1 7 5 は、角度 H 2 に相当する属性を有しているとする。言い換えると、領域 1 7 1、1 7 2 の輝度最大角 H は H 1、領域 1 7 3、1 7 4、1 7 5 輝度最大角 H は H 2 であるとする。

40

【0 1 0 1】

以下に示す鏡像探索では、まず、図 1 6 C の 2 回反射領域 1 6 0 1、1 6 0 2、あるいは 1 6 0 3 のような鏡像対となる領域を見つけて凹部を判定する。図 1 7 A の領域 1 7 1 と領域 1 7 2 という対を見つかる場合、その 2 値画像としての形状は信頼性が低く、あまり有用でない。しかしながら 2 回反射領域が有する角度 H 1 は大きな手がかりとなる。なぜなら、角度 H 1 はグループ主軸角度を示しているため、対となる領域は必ずグループ主軸と直交する方向に存在するからである。探索は、このグループ主軸と直交する直線上のみで行えばよい。このグループ主軸と直交する直線を探索線 1 7 6 と称するものとする。例えば、図 1 7 A の領域 1 7 1 に対する探索線 1 7 6 は、領域 1 7 1 の重心 1 7 8 を通り

50

、角度H 1に直交する線である。図1 7 Bの例において、領域1 7 3に対応する鏡像は、領域1 7 3の重心を通り、角度H 2に直交する直線（探索線1 7 7）上に位置する。したがって、領域1 7 3に対応する鏡像は、探索線1 7 7上のみを探索すればよい。図1 7 Bの例では、角度値H 2に等しい角度値を有する領域1 7 5が領域1 7 3の近傍に位置しているが、この領域1 7 5は探索線1 7 7上にはない。すなわち、領域1 7 3と領域1 7 5とは、2回反射領域の対を構成していない。探索線上を探索する方法によれば、領域1 7 5を、領域1 7 3と対を構成する領域であると間違えることはなくなる。

【0 1 0 2】

次に、図1 8 Aを参照しながら、鏡像探索部1 3 0 6の処理を説明する。図1 8 Aは、鏡像探索部1 3 0 6の処理の一例を示すフローチャートである。

10

【0 1 0 3】

ステップS 1 8 0 1において、2回反射領域画像を入力する。これは、図1 6 Cに例示されるような2回反射領域の対を示す2値画像と、輝度最大角画像Y P Hと、輝度変調度画像Y Dとを含むデータである。具体的なデータの例は後述する（図1 8 B）。以下、輝度最大角画像Y P Hの各画素における輝度最大角の値をY P H値と称し、輝度変調度画像Y Dの各画素における変調度をY D値と称する。

【0 1 0 4】

ステップ1 8 0 2では、反射判定部1 3 0 5における（式1 3）で説明した2値化処理のために発生した画像上の細かい分散した微小領域をノイズとして除去する。これは通常の2値画像の収縮・膨張処理を使えばよい。

20

【0 1 0 5】

ステップ1 8 0 3では、2値画像をラベリングして、領域ごとに画素数、重心座標、Y D値、Y P H値の平均値を計算する。ここで、Y D値とY P H値の平均計算には、Y D値を色の彩度、Y P H値を色の色相とすることによって表現される擬似カラー値（R，G，B）を用いる。

【0 1 0 6】

図1 8 Bは、1つの反射領域における擬似カラー値（R，G，B）の例を示している。この領域は、画像上のX軸座標2 7 5－2 7 8とY軸座標1 8 3－1 8 6に存在する1 1画素よりなる領域である。各画素はY D，Y P H値を擬似カラー値にて保持しており、これはRED、GREEN、BLUEの各プレーンの同じ座標の画素位置に8ビット値が格納されることで実現されている。たとえば、この領域を構成する（X，Y）＝（2 7 8，1 8 4）の画素には（RED，GREEN，BLUE）＝（2 5 5，2 3 1，2 2 7）が格納されている。上記ステップ1 8 0 3の計算において、重心位置と擬似カラー値の平均値を計算すると、この領域の重心座標は（GC X，GC Y）＝（2 7 6．5，1 8 4．6）、平均色は（RED__AVE，GREEN__AVE，BLUE__AVE）＝（2 5 5，2 2 8．0 9，2 2 3．4 5）となる。ここからグループ主軸角度Hは、よく知られたRGB__HSV変換などを用いることにより、H＝0．0 2 4 5、すなわち約8．8 2°を得る。この角度は、3 6 0度周期であるが、グループ主軸角度φは1 8 0度周期であるため、Hの1／2の値をグループ主軸角度φとすればよい。したがって、図1 8 Bの例におけるグループ主軸角度φは約4．4 1°となる。この状態で、領域番号nrとして領域がラベリングされた2値画像が得られており、各領域の属性、統計量が確定する。

30

40

【0 1 0 7】

次に実際の探索プロセスを説明する。

【0 1 0 8】

図1 8 AのステップS 1 8 0 4では、初期設定として、探索領域番号nrを1にセットする。ステップS 1 8 0 5では、探索領域に対して探索線を計算する。この探索線とは前述の説明どおり鏡像を探索するとき使う探索範囲を規定するものである。ステップS 1 8 0 6では被探索領域番号nr 1を1にセットし、ステップS 1 8 0 7で実際に探索を行う。

【0 1 0 9】

50

上記擬似カラー値の意味で「類似色」でかつ探索線との距離 D が小さい領域のみを鏡像候補 $M r r c a n d$ として、探索線上距離 $L e n$ をストアするという方法で行う。

【 0 1 1 0 】

図 19 は、この被探索領域の探索の詳細を説明する図である。

【 0 1 1 1 】

これから 2 回反射領域の対を構成する他方の領域の探索をする基準となる領域を探索領域 191 と設定し、グループ主軸方向は矢印 192 で表現される方向とする。まず探索領域 191 と被探索領域どうしでの主軸角度が類似しているかどうかを判定する式 15 を用いて、探索領域 191 と類似色の領域とが判定され、同時に探索線 193 が確定される。

【数 1 5】

$$\Delta H = \min(360 - |H(nr) - H(nr1)|, |H(nr) - H(nr1)|)$$

$$SEARCH_REGION = \begin{cases} YES & (\Delta H < TH_H) \\ NO & (\Delta H \geq TH_H) \end{cases} \quad (式 15)$$

【 0 1 1 2 】

探索線の方程式は現在の探索領域の重心座標と 2 回反射グループの主軸角度 ϕ を用いて以下のようにあらわされる。

【数 1 6】

$$\begin{cases} x \cos \phi + y \sin \phi - GCx \cdot \cos \phi - GCy \cdot \sin \phi = 0 \\ (GCx, GCy) \cdots \text{探索領域の重心座標} \\ \phi \cdots \text{探索領域の主軸角度} \end{cases} \quad (式 16)$$

【 0 1 1 3 】

よって探索領域（番号 $n r$ ）の探索線に対して被探索領域（番号 $n r 1$ ）と探索線との垂直距離 D の条件は以下になる。

【数 1 7】

$$SEARCH_REGION = \begin{cases} YES & (D < D_TH) \\ NO & (D \geq D_TH) \end{cases} \quad (式 17)$$

$$D = |(GCx(nr1) - GCx(nr)) \cos \phi + (GCy(nr1) - GCy(nr)) \sin \phi|$$

【 0 1 1 4 】

（式 15）と（式 17）の条件を両方満たした場合には、探索線上距離 $L e n$ を以下のように計算する。

【数 1 8】

$$Len = \sqrt{\mathbf{P}^t \mathbf{P}}$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \sin^2 \phi & -\sin \phi \cos \phi \\ -\sin \phi \cos \phi & \cos^2 \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GCx(nr1) - GCx(nr) \\ GCy(nr1) - GCy(nr) \end{bmatrix} \quad (式 18)$$

【 0 1 1 5 】

ステップ S 1809 で探索領域 $n r$ に対する全ての被探索領域の探索が終了したか否かを判定し、未終了であれば、次の被探索領域 $n r 1$ をセットする（S 1808）。

【 0 1 1 6 】

10

20

30

40

50

ステップ S 1 8 1 0 では、探索線上距離 $L e n$ をソートして短距離から 2 個を選択する。これが鏡像対になるが、あまりに距離の遠い鏡像対はありえない。そこでステップ S 1 8 1 1 にて短距離から 2 番目までが最大距離 $L E N _ T H$ より小さければ、鏡像の対と認定する。

【数 1 9】

$$MIRROR_IMAGE_REGION = \begin{cases} YES & (LenSort(2) < LEN_TH) \\ NO & (LenSort(2) < LEN_TH) \end{cases} \quad (式 19)$$

10

【0 1 1 7】

求めた鏡像対の領域からグループに相当する垂直 2 等分線を生成する。この線分をグループセグメントと称し、長さを $GRVLEN$ として以下のように表現できる。

【数 2 0】

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (GCx(nr) + GCx(mirror)) / 2 \\ (GCy(nr) + GCy(mirror)) / 2 \end{bmatrix} + t \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{bmatrix} \\ -GRVLEN \leq t \leq GRVLEN \end{cases} \quad (式 20)$$

20

【0 1 1 8】

ステップ S 1 8 1 2 にて全ての領域 $n r$ が探索されたことが確認されたら処理が終了し、未終了の場合には次の探索領域に進む（ステップ S 1 8 1 3）。

【0 1 1 9】

以上の処理が終了すれば、反射領域の群にその鏡像対を結びつけ、その中間位置に存在すると想定される、グループの局所的な細分化された候補であるグループセグメントを設定することができる。

【0 1 2 0】

図 2 0 A から図 2 0 D は、実被写体においてグループセグメントを抽出した実験画像を示す図である。

30

【0 1 2 1】

図 2 0 A は、被写体を回転偏光照明にて撮影した画像 4 枚から生成された輝度画像である。臓器表面の凹凸類似の形状と反射特性を有すると想定される魚卵、具体的には「すじこ」の集合体を用いている。表面には照明であるリング照明の 1 回反射の像および半透明の特性によるリング状の像が多数観察され、これは輝度画像処理においては重大なノイズになる。しかしながら本発明の偏光処理においては、処理結果の図 2 0 B から図 2 0 D のとおり、ほとんど問題にならず正常に処理が可能である。

【0 1 2 2】

図 2 0 B は、変動輝度処理部 1 3 0 2 の処理を実施した結果を示す図であり、輝度最大角画像 $Y P H$ と輝度変調度画像 $Y D$ とをまとめて 1 つの擬似カラー画像が示されている。

40

【0 1 2 3】

図 2 0 C は、反射判定部の結果を示す図であり、量子化処理にて 2 回反射と判定された微小反射領域が分離・抽出された結果を示す。これらの微小領域が図 1 6 C、図 1 7 A、1 7 B の各領域に相当する。

【0 1 2 4】

図 2 0 D は、鏡像探索部 1 3 0 6 の処理を実施した結果を示す図であり、魚卵の 1 個 1 個の輪郭線付近にグループセグメントが抽出されている。複数の平行線 2 0 0 1 が抽出される部分は複数の鏡像領域対が発見された部分に相当する。

50

【0125】

図21Aと図21Bは、この複数の鏡像対の発生原因を説明する図である。図21Aは被写体表面の凹凸の断面図であり、斜面が変曲点を有するカーブを描いているため、(A)点と(D)点で1つの2回反射、(B)点と(C)点で別の2回反射が発生している。そのために図21Bのように4個の2回反射領域が同一探索線上に観測され結果的に3本のグループセグメントが抽出される。この場合、別途のアルゴリズムによって本来のグループ中心が(B)と(C)の中点であることを判定してもよい。

【0126】

凹領域接続部1307は、推定されたグループセグメントどうしを接続することにより、1まとまりの凹領域を生成し法線のAzimuth(方位)角を確定する。

10

【0127】

次に、図22を参照しながら、凹領域接続部1307の処理を説明する。図22は、凹領域接続部1307の処理の流れを示すフローチャートである。

【0128】

図22に示すステップS221では、鏡像探索部1306でグループセグメント化した、画像内の全てのグループセグメントSを対象にする。ステップS222では、各グループセグメントSの有する方向に依存して2値画像処理の膨張処理を実行する。この膨張処理の方向は、個々のグループセグメントの方向に依存して決定され、グループセグメントの主軸とその垂直方向に対してほぼ均等に膨張させ、グループセグメントをグループの底としてグループの斜面領域を再生する。

20

【0129】

ステップS223では上記の膨張領域の近いものどうしを画像処理によって相互に接続し、微小反射領域に依存して離散的だったグループセグメントを大きな連続した接続グループ領域とする。ステップS224では、接続グループ領域を2値画像処理で細線化することにより、連続した接続グループ領域の底に対応する細線を確定する。ステップS225では、この細線の垂線でかつ細線に向かう向きのベクトルを設定し、これをグループの法線ベクトルのAzimuth(方位)角として推定する。

【0130】

ステップS226では、接続グループ領域内における断面形状を2次関数などの既存の関数形にてフィッティングをすることにより、グループのZenith(天頂)角を推定する。この際に微小反射領域の反射強度が拘束条件となる。これは、図10、図11、図12などからわかるように、各断面において強い2回反射が発生する斜面角度は垂線に対して約45度近傍であることを利用する。これらの処理を実施して接続グループ領域を推定し、その場所における表面法線ベクトル、すなわちAzimuth(方位)角とZenith(天頂)角とを推定する。以上の処理を実例に即して説明する。

30

【0131】

図23Aから図23Dは、湾曲したグループの例を示す図であり、このグループは、隆起した凸領域の周囲に存在するグループと考えてよい。図23Aは、微小反射領域151、152と設定されたグループセグメント179を示す。図23Bはグループセグメント179の膨張処理の結果を示す。図23Cは、他のグループセグメントと接続し、細線化処理が実施された様子を示す。この段階で接続グループ領域は画像の左下を中心に湾曲し、その谷である底面位置が細線で示されている。図23Dは、得られたグループに対して法線の方位角が推定された結果を示している。

40

【0132】

図24Aから図24Dは、平坦な面内にある窪み(穴)の例を示す図である。穴の形状は、グループが点対称になったものと考えられるため2回反射の鏡像対が理論的には無数に存在する。図24Aは、微小反射領域2000と微小反射領域2001とが鏡像対をなし、グループセグメント2004が推定される。また、微小反射領域2002と微小反射領域2003とが鏡像対をなし、グループセグメント2005が推定されている。図24Bは、グループセグメントを膨張処理させた結果を示している。その膨張領域が1つの十

50

文字状の閉領域をなすことがわかる。ここから細線化を実施すると底面の1点が推定される。図24Cでは、グループセグメントから求められた凹領域である穴と、その穴の底面における1点が図示されている。図24Dは、得られた穴の領域に対して法線の方位角が推定された結果を示している。

【0133】

断面形状モデル化部1308は、以上の処理によりAzimuth（方位）角が推定された結果を受けて、凹領域においてZenith（天頂）角を推定し、法線を表示する2つの角度を確定する。凹領域のAzimuth（方位）角およびZenith（天頂）角が決まると、凹領域の法線画像を生成する。

【0134】

図25は、方位角と天頂角につき説明する図である。法線ベクトルは3次元ベクトルであるが長さが1に正規化されているため自由度は2であり、角度で表現する場合には、画面内の方位角 ψ と視線に対する天頂角 θ にて表現する。通常の手系では、画像内にX-Y軸を設定し、Z軸の負の向きが視線（光軸）方向となる。法線の3成分（ N_x , N_y , N_z ）との関係は図に示すとおりである。すなわち偏光情報により方位角 ψ と天頂角 θ が求められたらその点での表面法線は以下ようになる。

【数21】

$$N_x = \cos \psi \sin \theta$$

$$N_y = \sin \psi \sin \theta \quad (\text{式 2 1})$$

$$N_z = \cos \theta$$

【0135】

図26は断面形状モデル化部1308の処理の流れを示す。ステップS2601では、すでにAzimuth（方位）角が推定された状態にて、Zenith（天頂）角を推定する。

【0136】

グループ断面は特定の関数形でフィッティングしてかまわないが、ここでは正規分布関数を用いる。

【0137】

図27は推定されたグループを被写体直上からみた平面図と断面を示す。簡単のためにグループは $X=0$ でY軸方向に延びているとする。ここで断面形状を σ というパラメータを用いた正規分布関数で表現するものとする。正規分布関数は、パラメータが σ 1個だけで表現され簡単であること、生体で一般的な各種のグループの形状に類似していることから図10から図12の各種断面形状を近似するものとして選定している。

【数22】

$$Z = -\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{式 2 2})$$

【0138】

ここで、断面形状の勾配を計算すると、これは法線の天頂角 θ を用いて以下のように表現できる。

10

20

30

40

【数 2 3】

$$\tan \theta = \frac{dZ}{dx} = \frac{x}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{式 2 3})$$

【0 1 3 9】

そこで最適フィッティングすべき微小反射領域 2 7 0 1 の位置を x 軸上で W とし、そこでの θ を最も反射強度が強くなる $\theta = 45$ 度と仮定すると、

【数 2 4】

$$e^{-\frac{W^2}{2\sigma^2}} = \frac{\sqrt{\pi}\sigma^3}{W} \quad (\text{式 2 4})$$

10

を得るのでここからパラメータ σ が求められる。以上のようにグループの断面形状が正規分布関数で表現され、同時にグループ底面の中心線 2 7 0 2 からのずれ値 W に従って Zenith (天頂) 角が決定する。なお、正規分布関数の値はグループ中心から離れるに従い漸近的に平坦部に移行する。したがって、このモデルは、胃などの粘膜表面における凹部のモデルとしては適している。

20

【0 1 4 0】

一旦この関数形が決定されれば、グループ中心線から距離 x の点における天頂角 θ は、

【数 2 5】

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{x}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \right) \quad (\text{式 2 5})$$

として求められる。なお、正規分布関数以外の断面形状モデルを用いてもよいことはいうまでもない。

30

【0 1 4 1】

ステップ S 2 6 0 2 では、求めた方位角 Ψ と天頂角 θ から (式 2 1) を用いてカメラ座標系における被写体表面の法線ベクトル (N_x , N_y , N_z) を求め、これを 2 次元的な法線画像とする。

【0 1 4 2】

いままでの説明からわかるように本発明では、偏光情報を使ってはいるが、Azimuth 角、Zenith 角のいずれについても不定性 (Ambiguity) が発生しない。これは通常の偏光画像処理とは大きく異なる利点であり、もともと凹部のみをモデル化して推定するという立場で考案されているためである。

40

【0 1 4 3】

以上の処理は被写体表面で 2 回反射を起こす凹領域における法線の推定処理であったが、次に 1 回反射を起こす領域の処理を説明する。

【0 1 4 4】

高輝度領域処理部 1 3 1 2 は、図 1 6 において被写体表面で非常に明るい輝度を有する領域 REF 1 として抽出された部分での法線を確定する。

【0 1 4 5】

図 2 8 は、法線確定の原理を示す図であり、1 回反射における鏡面反射で入射角と反射角が等しい性質から REF 1 領域における表面法線 N 1 は視点ベクトル V と光源ベクトル L との 2 等分ベクトルとして計算できる。

50

【0146】

以上の処理においてREF2（2回反射）領域とREF1（1回反射）領域における表面法線が確定できる。しかしこれらの法線は局所的にしか求められていない。そこで被写体表面全域にわたる大域的な法線を決定する。

【0147】

法線再現部1313は、理論的な表面反射モデルと観測された単一画像の輝度との関係から法線の連続性仮定を用いて法線未決定領域に対して法線を求めて、大域的な法線を決定する。この領域では2回反射はほとんど発生していないため、照明と法線と視線の方向から1回の反射にて輝度が決定され则认为よく、従来からよく使われているSFS（Shape From Shading）における陰影からの形状復元（非特許文献2）の手法を使うことができる。

10

【0148】

この手法ではまず3次元空間内のベクトルである表面法線（ N_x ， N_y ， N_z ）を（ p ， q ）勾配空間を經由して被写体の外縁線拘束を表現するのに便利な（ f ， g ）空間で表現しておく。この返還式には（式26）、（式27）を使えばよい。

【数26】

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{N_x}{N_z} \quad q = \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{N_y}{N_z} \quad (\text{式 2 6})$$

20

【数27】

$$f = \frac{2p}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}}, \quad g = \frac{2q}{1 + \sqrt{1 + p^2 + q^2}} \quad (\text{式 2 7})$$

【0149】

30

次に実際にある画素位置（ x ， y ）にて観測された輝度 $E(x, y)$ から法線（ f ， g ）を推定するために（式28）の関係を仮定する。このため法線と観測輝度との理論的關係 $R(f, g)$ が必要になる。これは、実験的に求めることも可能であるが、光源位置を既知として被写体の反射特性を近似する種々の物理反射モデルの式から得ることができる。たとえば鏡面反射モデルとして後述するクック＝トランスモデルを使うことができる。

【数28】

$$E(x, y) = R(f, g) \quad (\text{式 2 8})$$

【0150】

40

次に、被写体表面が滑らかであるという設定から以下の法線連続性の式を仮定する。

【数29】

$$f_x^2 + f_y^2 + g_x^2 + g_y^2 \rightarrow \min \quad (\text{式 2 9})$$

【0151】

そこで、（式28）と（式29）を両立させるため以下の積分を最小化する。

【数 3 0】

$$\iint \left[\lambda (E(x, y) - R(f, g))^2 + (f_x^2 + f_y^2 + g_x^2 + g_y^2) \right] dx dy \rightarrow \min \quad (\text{式 3 0})$$

【0 1 5 2】

この最小化問題は以下のオイラー方程式を解くことに帰着し離散的に繰り返し法を用いて解くことができる。

【数 3 1】

$$\begin{cases} \nabla^2 f = \lambda(E - R)R_f \\ \nabla^2 g = \lambda(E - R)R_g \end{cases} \quad (\text{式 3 1})$$

10

【0 1 5 3】

最後に求められた (f、g) 空間から (p、q) 空間を経由して法線ベクトルを逆変換して求める。

【0 1 5 4】

図 2 9 A は、この繰り返し法によって次第に表面の凸部分の法線が形作られていく様子を模式的に示す。初期の表面は 2 9 0 1 のように平坦であるが、繰り返し法を適用すると、2 9 0 2、2 9 0 3 のように次第に凸領域が形成されている。なお、グループ領域における法線群、R E F 1 領域における法線は拘束条件として用いることができる。以上の処理によって法線画像 N が生成できる。

20

【0 1 5 5】

図 2 9 B は法線画像を模式的に表現した図である。輝度画像の各画素にその場所における表面法線ベクトルのデータが付随している。以下の説明は、このようにして生成された画像を合成表示する部分に関する。

【0 1 5 6】

まず図 1 C に示すとおり、法線画像 N は光源変動画像生成部 1 1 7 に送られる。光源変動画像生成部 1 1 7 では、求められた法線画像に対して、カメラ視点方向と照明光源方向を与えることによって物理反射モデル式を用いて輝度画像を生成する。ここでは被写体の鏡面反射をよく表現するモデル式としてクック＝トランスモデルを使用する。それによ

30

【数 3 2】

$$I_s = K \frac{FG \frac{1}{4m^2 \cos^4 \alpha} \exp\left(-\frac{\tan^2 \alpha}{m^2}\right)}{\cos \theta_r} \quad (\text{式 3 2})$$

【0 1 5 7】

図 3 0 はクック＝トランスモデルを用いる場合のベクトルと角度の関係を示す図であり、表面法線 N と、光源ベクトル L と視点ベクトル V が描かれている。光源ベクトル L と視点ベクトル V の 2 等分ベクトル H を用いると、上式における α は、2 等分ベクトル H と法線 N とのなす角度であり、 θ_r は視線ベクトルと法線 N のなす角度である。フレネル係数 F および幾何減衰率 G は以下の式で表現される。

40

【数 3 3】

$$F = \frac{1}{2} \frac{(g-c)^2}{(g+c)^2} \left(1 + \frac{[c(g+c)-1]^2}{[c(g-c)+1]^2} \right) \quad (\text{式 3 3})$$

【数 3 4】

$$G = \min \left\{ 1, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot V)}{(V \cdot H)}, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot L)}{(V \cdot H)} \right\} \quad (\text{式 3 4})$$

【0 1 5 8】

また係数 K は入射照度に関する係数である。このクック＝トランスモデルを使えば、表面法線画像から輝度画像を生成することができるが、そのためには屈折率 n のほかに、視線ベクトル V 、光源ベクトル L などの幾何学的な設定を与える必要がある。

【0 1 5 9】

光源方向設定部 1 1 4 は、この光源ベクトルを設定するためのマンマシン・インタフェースであって、内視鏡診断などにおいては観察するユーザである医師が自由に設定する。この設定は照明光源を実際の内視鏡の光源以外の場所、たとえば向かって左側、右側、上側、下側から照射するような仮想的な設定であり、対象の表面凹凸をリアリティ豊かに画像化できる。

【0 1 6 0】

図 3 1 は、このような光源変動された画像を模式的に示す。この画像は推定された法線画像に基づいているために照明変更がコンピュータ上で自在に替えることができ、内視鏡の欠点の 1 つである照明位置の変更ができないため表面凹凸の観察が困難である、という課題を解決することができる。

【0 1 6 1】

実際にはクックトランスモデルで表現される画像は光沢部のみの鏡面反射画像である。たとえば、カラー画像の場合には、鏡面反射画像は白色光源のみによるためモノクロ画像となってしまう、これだけではリアリティに欠ける。そこで画像合成部 1 1 5 において、輝度画像 Y と合成表示する。

【0 1 6 2】

図 3 2 A は、この合成処理を説明する図である。

【0 1 6 3】

輝度画像 Y と光源変動画像 $S Y$ は、画像合成部 1 1 5 に送られ、まず画像成分分離部 3 2 0 2 にて拡散反射画像 $D Y$ が分離される。これは、輝度画像 Y から、光源を撮影時と同じ状態に設定した鏡面反射画像である光源変動画像 $S Y$ を減算することによって実施される。前記のカラー成分などは、この拡散反射画像 $D Y$ に残存する。次に光源を任意の位置に変化させた場合の光源変動画像 $S Y$ を生成し、これに重み係数設定部 3 2 0 4 にて重み付けして加算部 3 2 0 3 で加算合成する。合成画像は表示部へ送られる。

【0 1 6 4】

図 3 2 B は、以上の合成処理にて実現される表示画像の例である。光源 3 2 0 6 は仮想的に設定される任意の平行光源である。これを図 3 2 B の (A) から (D) のように方向を自在に設定すると、被写体画像が画像 3 2 0 8 A から 3 2 0 8 D のように変化する。特に 1 回反射の鏡面反射部 3 2 0 7 とシャドウ部 3 2 0 9 が光源の位置変化と共に移動する点で視覚的に凹凸を感知させることができる。医師は通常の輝度画像に加えて凹凸をリアリティ豊かに強調した画像を見ることができ診断に有効な情報を得ることができる。

【0 1 6 5】

10

20

30

40

50

図 3 3 A は合成処理の別の形態を示す図である。この場合には法線画像 N から生成される輝度画像ではなく、そこまで加工する以前の情報である輝度最大角画像 Y P H、および輝度変調度画像 Y D から生成される擬似カラー画像を合成している。輝度最大角画像 Y P H と輝度変調度画像 Y D は画像合成部 1 1 5 に入力されると、まず擬似カラー変換部 3 3 0 1 によって擬似カラー画像 C に変換される。この変換には、よく知られた H S V - R G B 変換などを利用できる。

【0166】

次に、この画像は重み付け部 3 3 0 3 にて重み付けされて、同じく重み付け部 3 3 0 2 にて重み付けされた輝度画像と共に加算部 3 3 0 4 に送られて加算合成される。この場合に擬似カラー表示は、その色相が表面のグルーブの A z i m u t h (方位) 角を示している。

10

【0167】

図 3 3 B は、以上の合成処理にて実現される表示画像の例である。たとえば、各擬似カラー表示 3 3 0 5、3 3 0 6、3 3 0 7 は、それぞれ A z i m u t h 角 = 4 5 °、9 0 °、1 3 5 ° の方向にグルーブがあることを示す。これによって医師は表面の溝の状態や、どこが穴になっているのかなどを知ることができる。図 3 1 の場合と比較するとやや直感的ではないが、画像処理を行う前の情報を直視できる利点がある。なお、ここでは擬似カラー画像を合成したが、輝度最大角 Y P H 画像、および輝度変調度 Y D 画像をモノクロ画像として合成することも可能である。

【0168】

20

なお、図 1 C で示す画像処理装置の構成からわかるように、本装置では、観察する照明光を切り替えて別個の情報を観察する構成を採用していないため、処理は全て並列で実行可能である。すなわち通常の内視鏡検査に必須のカラー画像である輝度画像 Y を観察しながら、同時に光源変動画像 S Y との合成画像、あるいは擬似カラー画像 C との合成画像などを表示部 1 1 6 に一度に表示することが可能であるという特徴がある。もちろん内視鏡を走査する医師が適宜切りかえて表示することも可能である。

【0169】

(第 1 の実施形態の変形例)

図 3 4、図 3 5 A、図 3 5 B を参照しながら、第 1 の実施形態の変形例を説明する。

【0170】

30

第 1 の実施形態では、図 1 6 に示す被写体表面で非常に明るい輝度を有する R E F 1 (1 回反射) 領域を凸領域とであると仮定し、法線確定を行っていた (図 2 8 参照)。しかし、図 1 1 および図 1 2 を参照しながら説明したように、R E F 1 (1 回反射) 領域は凹領域である可能性もある。

【0171】

この変形例の装置では、R E F 1 (1 回反射) 領域が凹領域および凸領域のいずれであるかを判定する凹凸判定部を備えている。以下、被写体の表面が球状領域の集合体であると仮定する。

【0172】

40

図 3 4 を参照する。図 3 4 は、本変形例の構成を示す図である。本変形例の構成と図 1 3 の構成と間の第 1 の相違点は、本変形例の装置が凹凸判定部 1 3 1 4 を備えていることにある。この例では、高輝度領域処理部 1 3 1 2 で検出された R E F 1 領域が凸領域であると判定されたとき、法線再現部 1 3 1 3 による処理を実行する。なお、R E F 1 領域が凹領域であると判定された場合は、この領域を R E F 1 領域から除外して、その後の処理を行う。

【0173】

図 3 5 A は、R E F 1 領域が凸領域である場合を示している。図 3 5 A に示される例では、球状領域 1 3 2 0 に R E F 1 領域 1 3 2 4 が存在し、その周囲に 3 箇所の R E F 2 領域 1 3 2 1、1 3 2 2、1 3 2 3 が存在している。R E F 1 領域 1 3 2 4 を始点とし、R E F 2 領域 1 3 2 1、1 3 2 2、1 3 2 3 の各々を終点とする 2 次元的な位置ベクトルを

50

Vとする。REF 2 領域 1 3 2 1、1 3 2 2、1 3 2 3 の各々におけるグループの軸を表現するベクトルをTとする。このベクトルTは、鏡像探索をした結果見出されたグループセグメントであってもよいし、鏡像探索なしに単にグループ主軸として得られるものであってもよい。このベクトルTの方向は確定するが、向きは不定である。

【0174】

図35Aに示されるように、ベクトルTはREF 1 領域 1 3 2 4 の周囲を回転するように入り囲んでいるため、ベクトルTとベクトルVとは、ほぼ直交している。2つのベクトルの間の角度が直角に近いほど、外積はゼロから離れる。したがって、図35Aに示す場合、ベクトルTとベクトルVについて、以下の式が成立する。

【数35】

$$E(|V \times T|) > Tresh$$

(式35)

【0175】

ここで、ベクトルVとベクトルTの外積の絶対値を用いている理由は、ベクトルTの向きを考慮していないからである。「E」は複数の2回反射領域での平均値を示し、「Tresh」は、予め設定された一定のしきい値を示す。「Tresh」の大きさは、被写体の種類に応じて異なる値が設定され得るが、実験または計算によって決定されている。

【0176】

この変形例では、式34が成立するとき、凹凸判定部1314はREF 1 領域 1 3 2 4 を凸領域と判定する。

【0177】

図35Bは、REF 1 領域が凹領域である場合を示している。この場合も、複数のREF 2 領域 1 3 2 6、1 3 2 7、1 3 2 8 に囲まれた領域の中央にREF 1 領域 1 3 2 5 が存在する。しかし、REF 1 領域 1 3 2 5 を始点としてREF 2 領域を終点とする位置ベクトルTと、REF 2 領域 1 3 2 6、1 3 2 7、1 3 2 8 の各々のグループ主軸ベクトルVとを作成すると、ベクトルTとベクトルVとは、ほとんど平行になる。このため、REF 1 領域 1 3 2 4 を凹領域であるとき、以下の式36が成立する。

【数36】

$$E(|V \times T|) \leq Tresh$$

(式36)

【0178】

このように、凹凸判定部1314は、ベクトルTとベクトルVとの外積の絶対値の大きさに基づいて、1回反射領域が凹領域か凸領域であるかを識別することができる。

【0179】

(第2の実施形態)

第1の実施形態の画像処理装置は、撮像素子が先端部に位置するいわゆる軟性鏡タイプである。本発明における内視鏡は、軟性鏡タイプに限定されず、硬性鏡タイプであってもよい。

【0180】

以下、図36を参照しながら、本発明による画像処理装置の第2の実施形態（硬性鏡タイプ）を説明する。図36は、本実施形態における内視鏡101の構成例を示すブロック図である。本実施形態において、内視鏡101以外の構成は、図1Cに示す画像処理装置の構成と同様であるため、それらの構成の説明はここでは繰り返さない。

【0181】

本実施形態の画像処理装置が備える内視鏡101は、撮像用リレーレンズ光学系340

10

20

30

40

50

1 および照明用リレーレンズ光学系 3302 を備えている。撮像用リレーレンズ光学系 3401 は、撮影レンズ 109 から得られた被写体の像を内視鏡の根元に位置する撮像素子 110 にまで導くものであり、硬性内視鏡では一般的な構成である。本実施形態では、光源 104 の直前に偏光面制御素子 106 が設置されている。光源 104 から出た非偏光光が回転直線偏光に変換され、この直線偏光が照明用リレーレンズ光学系 3302 を通過する間、偏光状態を維持されて照明レンズ 107 から照射される。本実施形態によれば、内視鏡先端部に図 1C の偏光面制御素子 106 を設置する必要がなくなり、先端部の口径を小さくすることができる。また、偏光面を回転させる手段として、上述した偏光面制御素子 106 よりも大きな構成を採用することも可能になる。例えば、偏光面制御素子 106 の代わりに、異なる透過偏光面を複数有する偏光子を回転させる機構を利用することも可能になる。

【0182】

照明用リレーレンズ光学系 3302 では、途中で偏光状態が維持される必要があるが、撮像用リレーレンズ光学系 3401 においては輝度自身が維持されればよい。このため、撮像用リレーレンズ光学系 3401 の調整が楽になる。照明用リレーレンズ光学系 3302 は、偏光状態を維持する偏波面保存ファイバーを用いたライトガイドによって代用され得る。

【0183】

本実施形態でも、回転偏光照明を用いて輝度画像を撮像し、画像処理プロセッサが行う処理については第 1 の実施形態と同じである。

【0184】

(第 1 および第 2 の実施形態の変形例)

第 1 の実施形態、第 2 の実施形態に共通して先端部の偏光回転照明部の構成には種々の変形例が考えられる。被写体の凹凸にて鏡面反射を多く発生させるためには、なるべく均一で広い面積の照明を用いることが望ましい。しかし、内視鏡であることから、先端部口径はなるべく小さく、構造が簡単であることが望ましい。

【0185】

図 37 から図 41 を参照しながら、偏光照明部 120 の先端部における多様な構成例を説明する。これらの図面の左側には先端部 113 の正面図が示され、右側には先端部 113 の断面図が示されている。

【0186】

図 37 は、第 1 の実施形態における先端部の構成に近い先端部を備える構成例を示している。この例では、照明レンズ 107 の外側に偏光面制御素子 106 が装着されている。

【0187】

図 38 は、先端部にリング照明部 306 を有する構成例を示している。リング照明部 306 から出射した光を、中央に孔があいたドーナツ形状の偏光面制御素子 106 に通して変換する。このリング照明部 306 は、ライトガイド 105 から分岐した個々の光ファイバーの複数の端面を円周上に並べることにより構成され得る。

【0188】

図 39 は、先端部に幅の広い構成幅広のリング照明部 307 を有する構成例を示している。このリング照明部 307 は、幅の広いリング状帯領域内に配置された複数の LED チップを有しており、全体としてリング状の面発光が得られる。リング照明部 307 から出た光は、中央に孔があいたドーナツ形状の偏光面制御素子 106 を通過するとき、その偏光面が制御される。

【0189】

図 40 は、撮像の光軸に対して照明の光軸を傾斜させるように先端部の中央が凹んだ構成例を示している。凹んだ中央部には撮影レンズ 109 が位置し、その周りに複数の LED 光源 308 が配列されている。これによって、被写体部位の周囲を大きな光源にて囲む効果が現れるため、鏡面反射が多く発生するようになる。

【0190】

10

20

30

40

50

図４１は、照明の光軸と撮影の光軸を同一にできる同軸落射照明を用いた構成例を示している。円形の面発光型のＬＥＤ照明光源３０９から出た非偏光は、円形の偏光面制御素子１０６を透過した後、広帯域無偏光ＢＳ（ビームスプリッタ）に４５度の角度で入射する。広帯域無偏光ＢＳは、可視光の範囲で入射した偏光の１／２を透過し、１／２を反射するが、その際に偏光を維持する特性を有する。このため、直線偏光はそのまま被写体に照射される。また戻り光も同様に１／２が透過されて撮影レンズ１０９に入射する。この構成では、光源から出た光の一部が広帯域無偏光ＢＳを透過した後、装置内部で反射することを最小にするため光吸収板３１０を設置するのが望ましい。ここではプレート形の広帯域無偏光ＢＳを用いているが、キューブ型のものを用いてもよい。その場合には光源の反射はさらに強くなるため対策が必要になる。

10

【０１９１】

なお、直線偏光を発するＬＥＤ光源を使用し、その偏光面を偏光面制御素子によって回転させるようにしてもよい。

【０１９２】

なお、上記の実施形態の全ては、回転偏光照明と輝度撮像素子の組み合わせで構成されているが、被写体が鏡面反射物体であれば、これを非偏光照明と偏光撮像素子の組み合わせに置き換えることも可能である。この場合、図１Ｃの偏光面制御素子１０６が不要となる代わりに撮像素子１１０が偏光撮像素子に置き換わる。偏光撮像素子としては可視カラー輝度と同時にある波長帯にて偏光撮像が可能な素子を用いることができる。この場合における処理部は、図１３に示す輝度画像群１３０１の代わりに１枚の偏光撮像画像を受け取り、処理を行う。図１３における輝度最大各画像ＹＰＨ、および輝度変調度画像ＹＤは、それぞれ、偏光主軸角（位相）画像と偏光度画像に置き換えればよい。

20

【産業上の利用可能性】

【０１９３】

本発明は、医療用内視鏡、皮膚科、歯科、眼科、外科などのメディカル用途のカメラ、工業用内視鏡、指紋撮像装置、表面検査装置など被写体の表面凹凸の観察、検査、認識を必要とする画像処理分野に広く適用可能である。

【符号の説明】

【０１９４】

１００	被写体
１００ a	被写体の凹領域
１０１	内視鏡
１０２	制御装置
１０３	挿入部
１０４	光源
１０５	ライトガイド
１０６	偏光面制御素子
１０７	照明レンズ
１０８	画像プロセッサ
１０９	撮影レンズ
１１０	撮像素子
１１１	映像信号線
１１２	同期装置
１１３	先端部
１１４	光源方向設定部
１１５	画像合成部
１１６	表示部
１１７	光源変動画像生成部
１２０	偏光照明部
１４０	撮像部

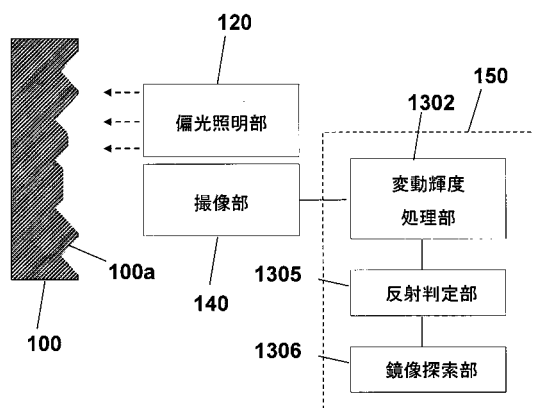
30

40

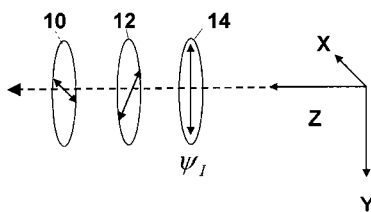
50

- 1 5 0 画像処理部
- 1 3 0 2 変動輝度処理部
- 1 3 0 5 反射判定部
- 1 3 0 6 鏡像探索部

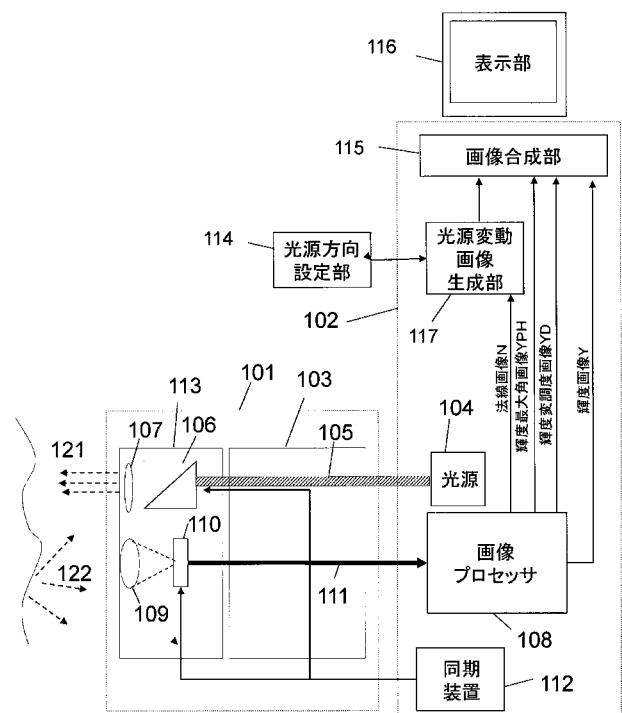
【図 1 A】



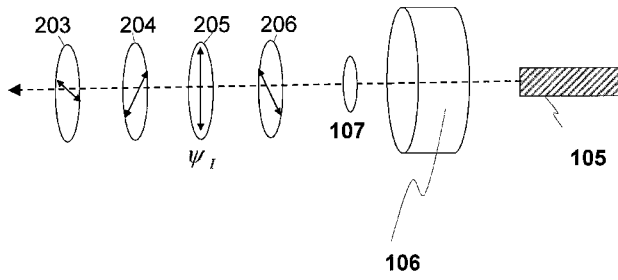
【図 1 B】



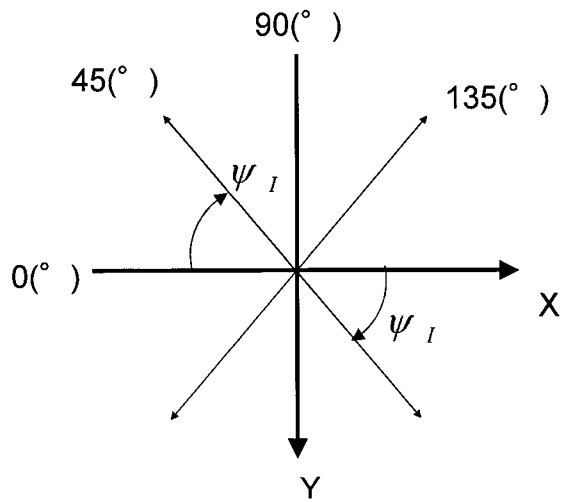
【図 1 C】



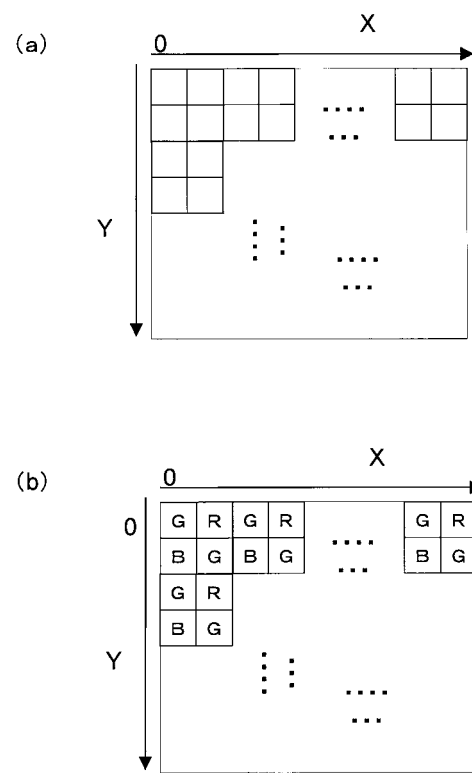
【図 2】



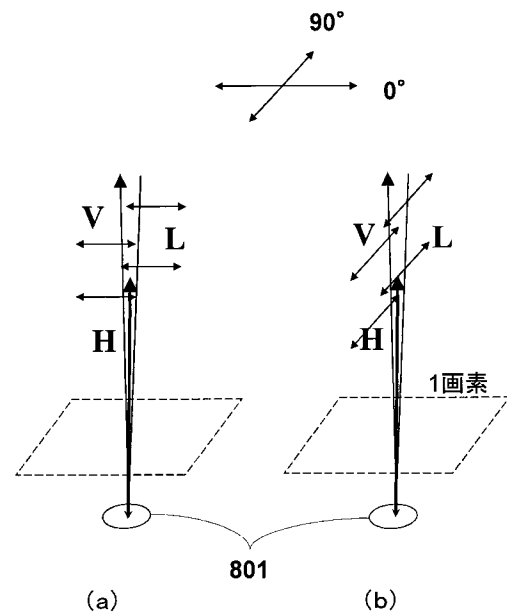
【図 3】



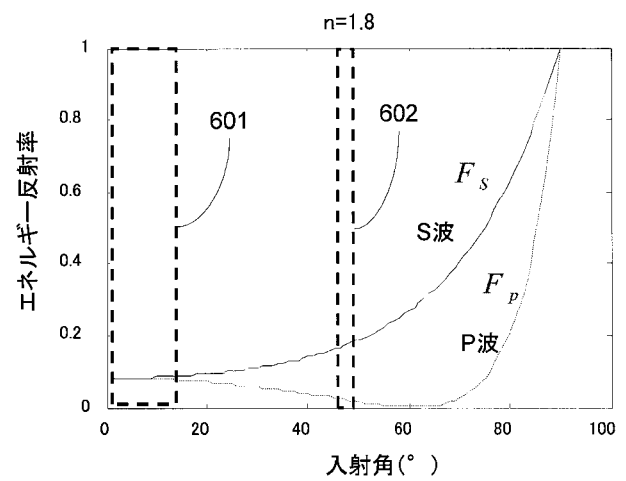
【図 4】



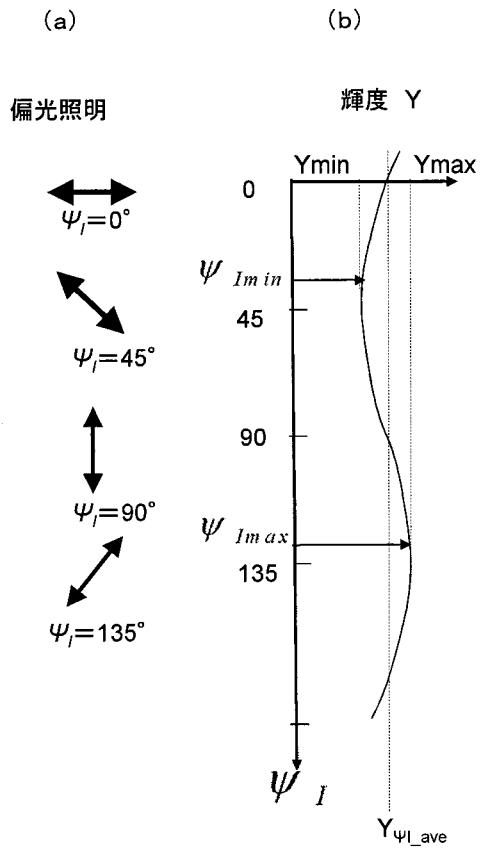
【図 5】



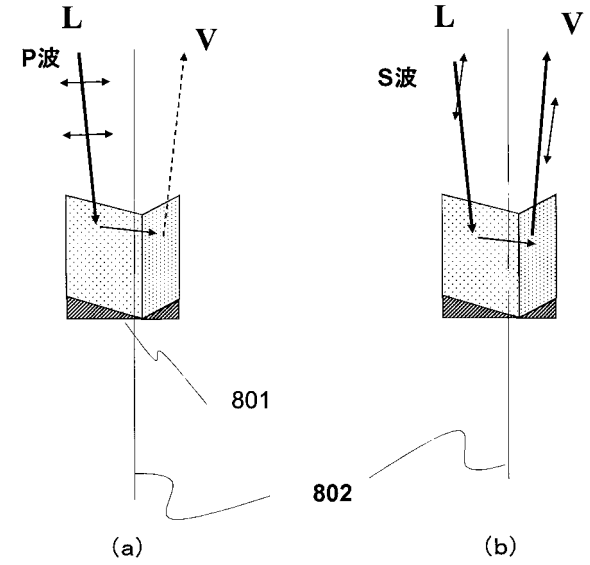
【図 6】



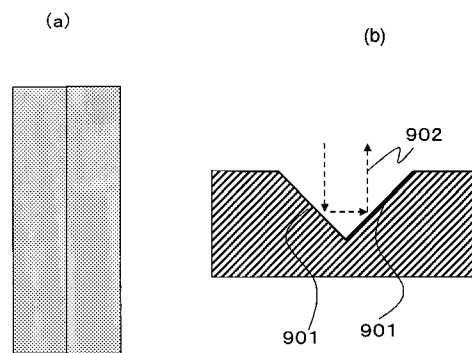
【図 7】



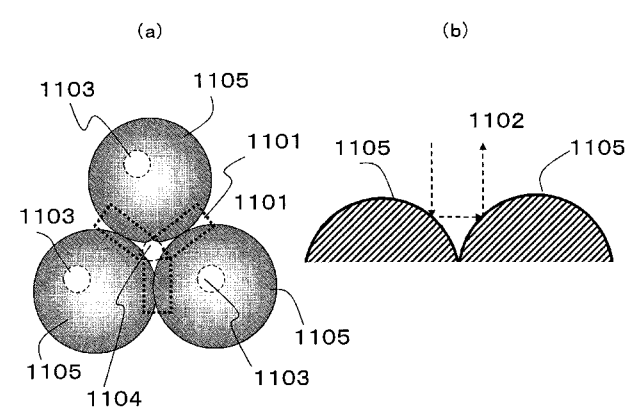
【図 8】



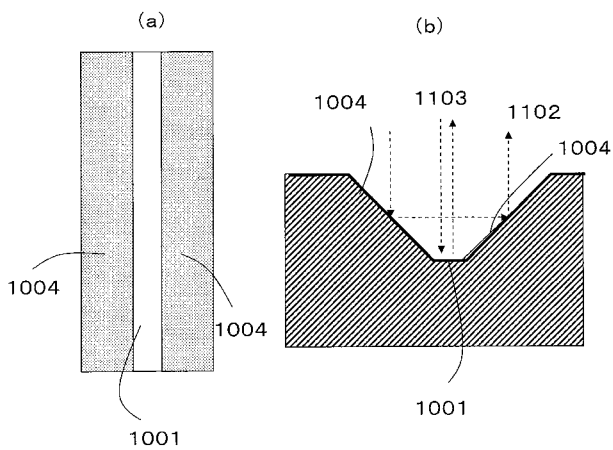
【図 9】



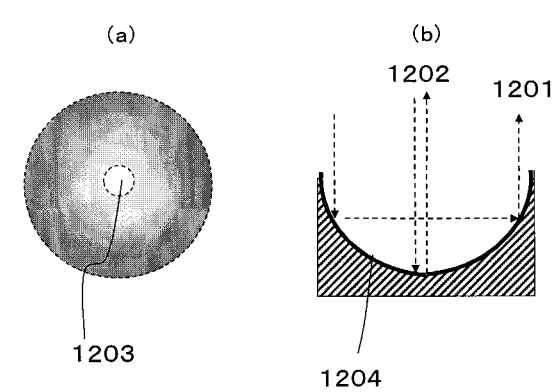
【図 1 1】



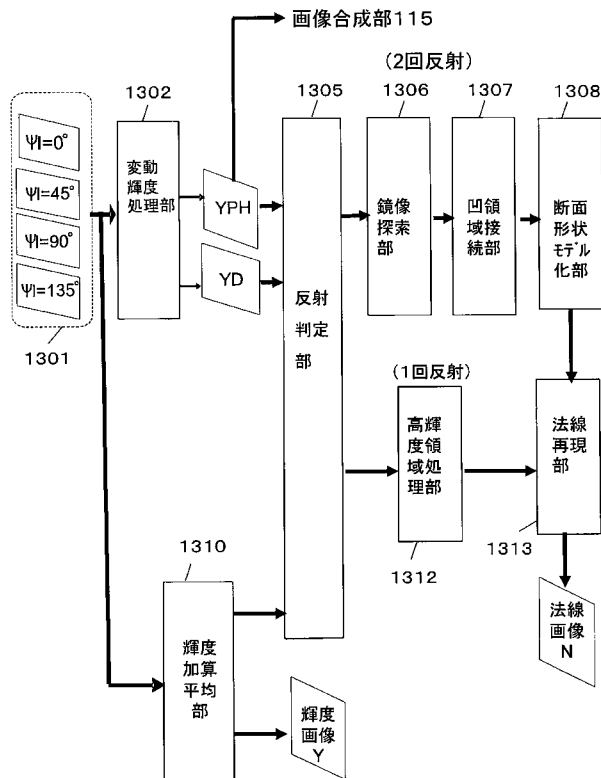
【図 1 0】



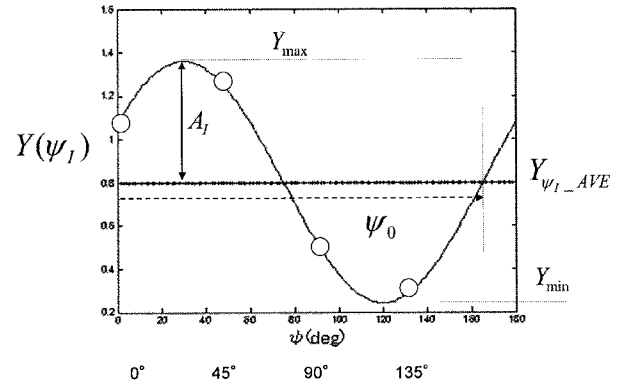
【図 1 2】



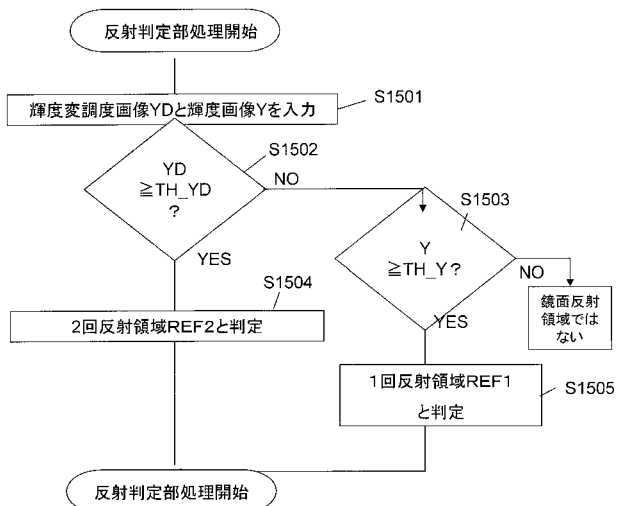
【図 1 3】



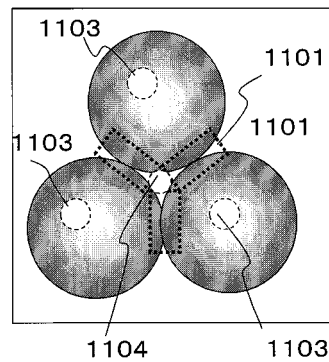
【図 1 4】



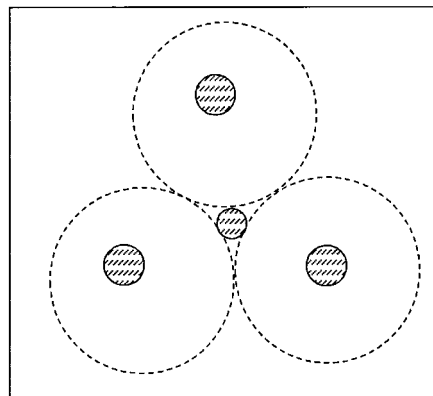
【図 1 5】



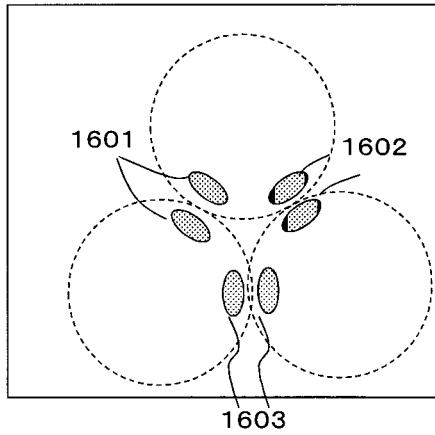
【図 1 6 A】



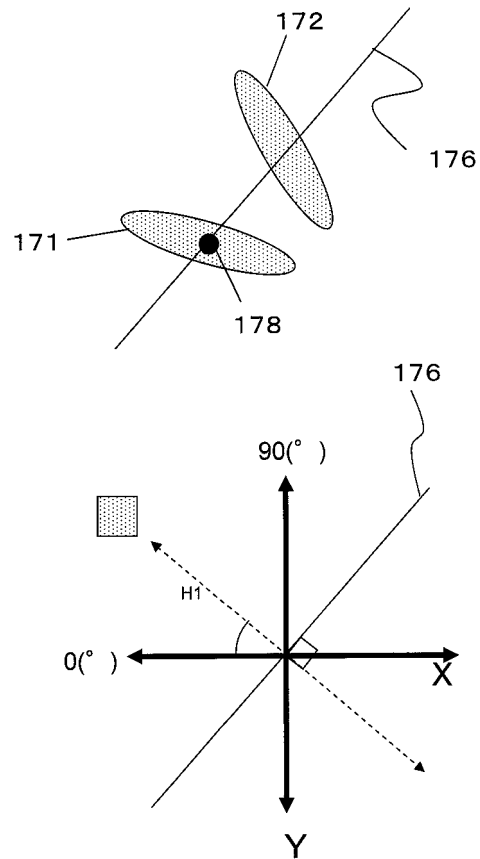
【図 1 6 B】



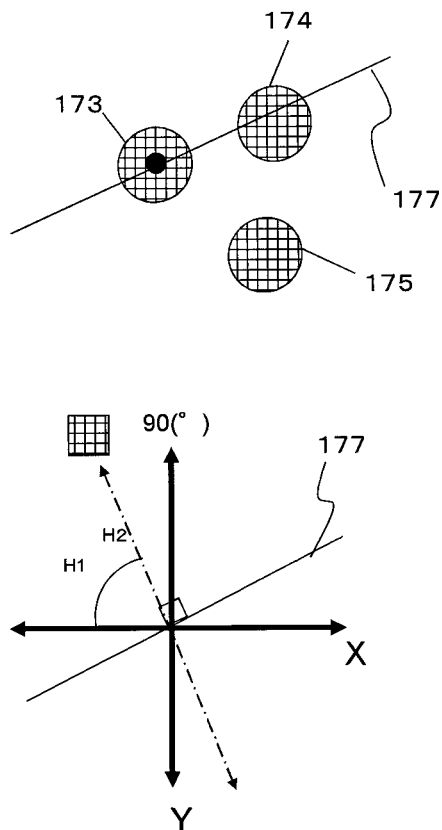
【図 16 C】



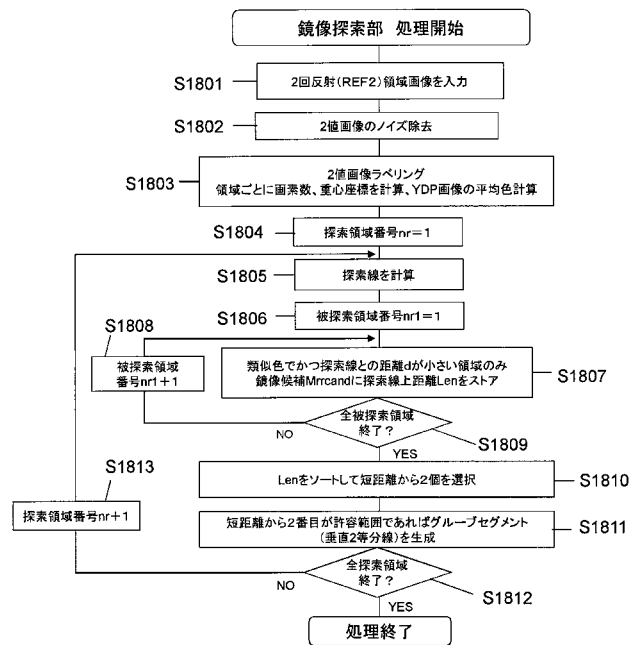
【図 17 A】



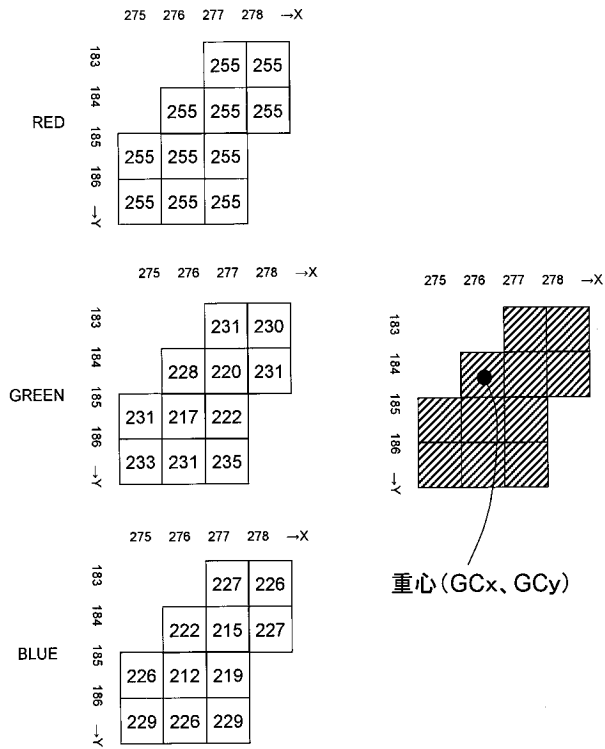
【図 17 B】



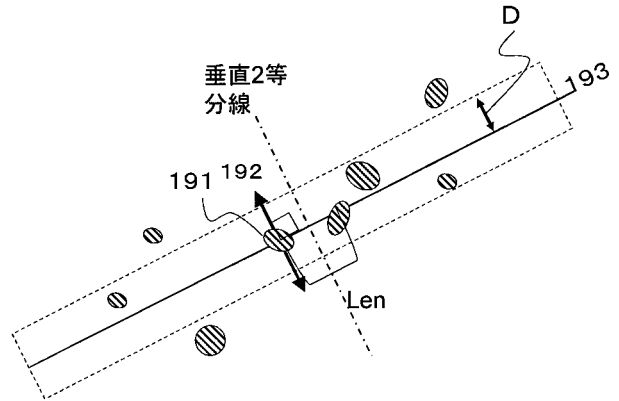
【図 18 A】



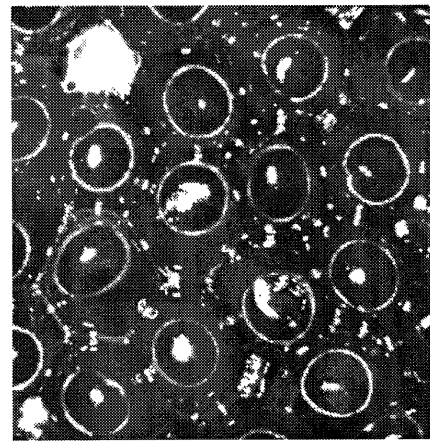
【図 18 B】



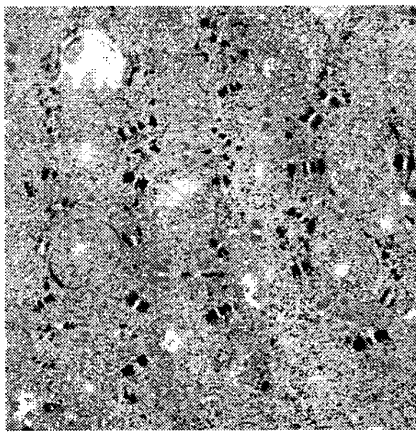
【図 19】



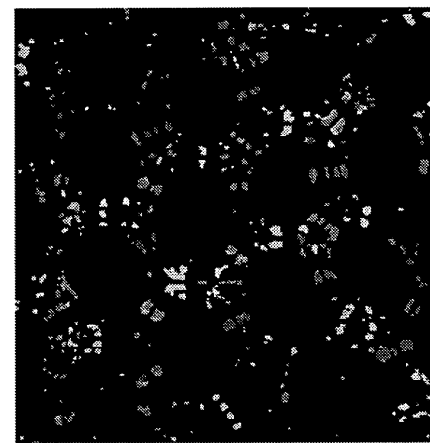
【図 20 A】



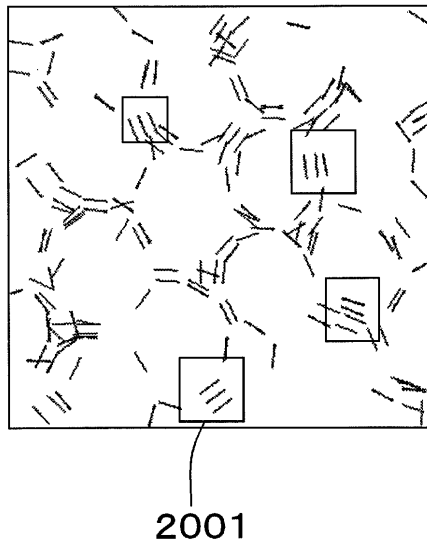
【図 20 B】



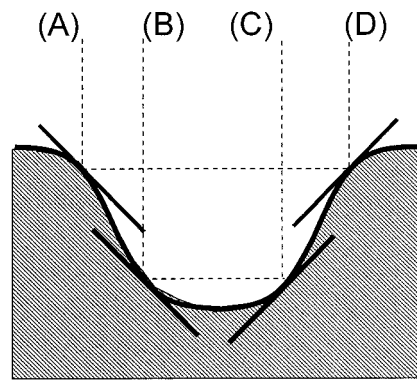
【図 20 C】



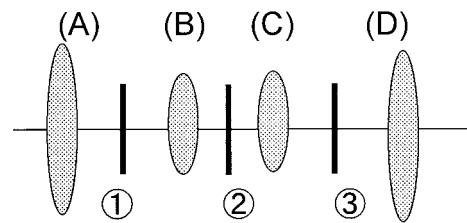
【図 20 D】



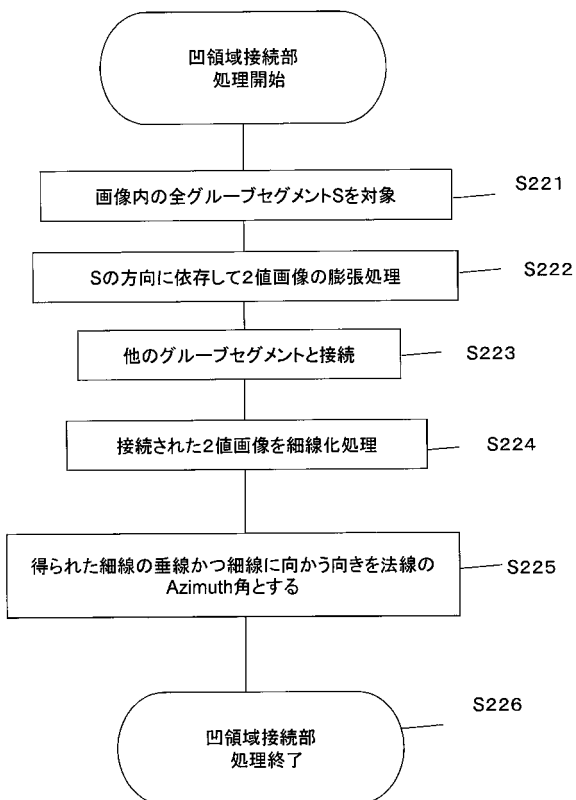
【図 21 A】



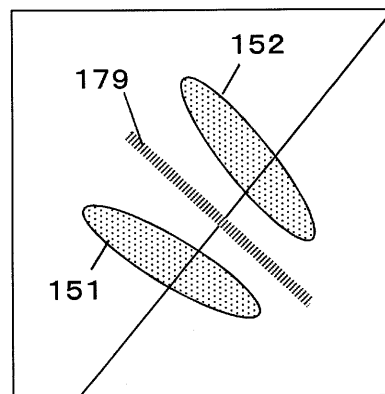
【図 21 B】



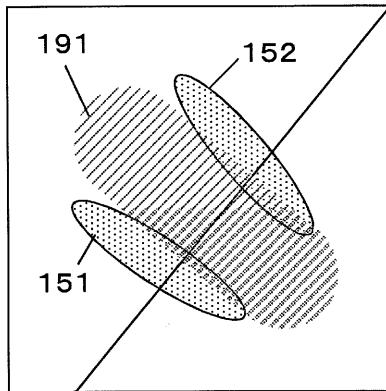
【図 22】



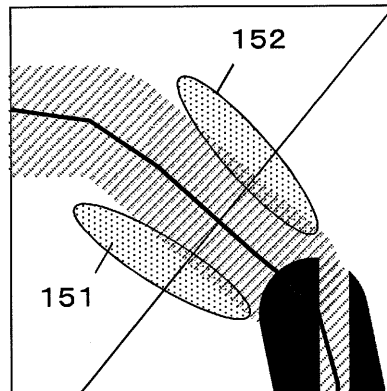
【図 23 A】



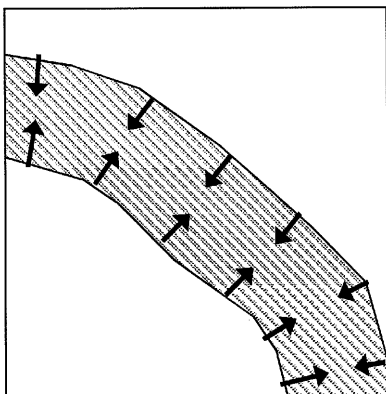
【図 2 3 B】



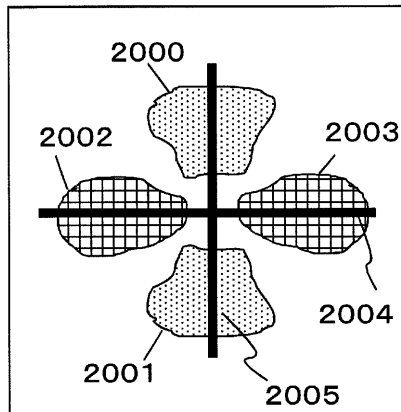
【図 2 3 C】



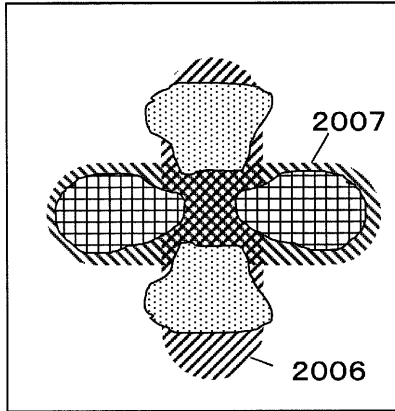
【図 2 3 D】



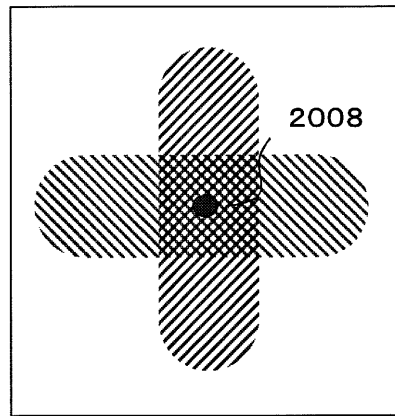
【図 2 4 A】



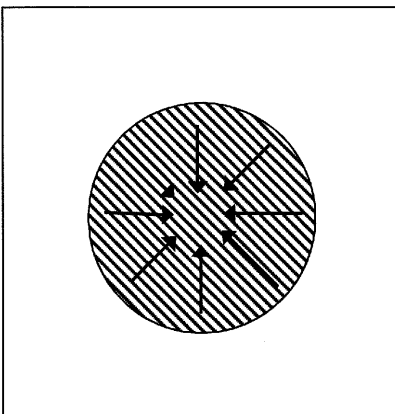
【図 2 4 B】



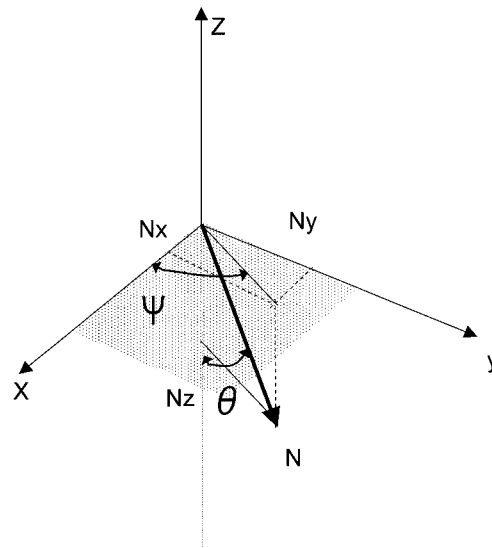
【図 2 4 C】



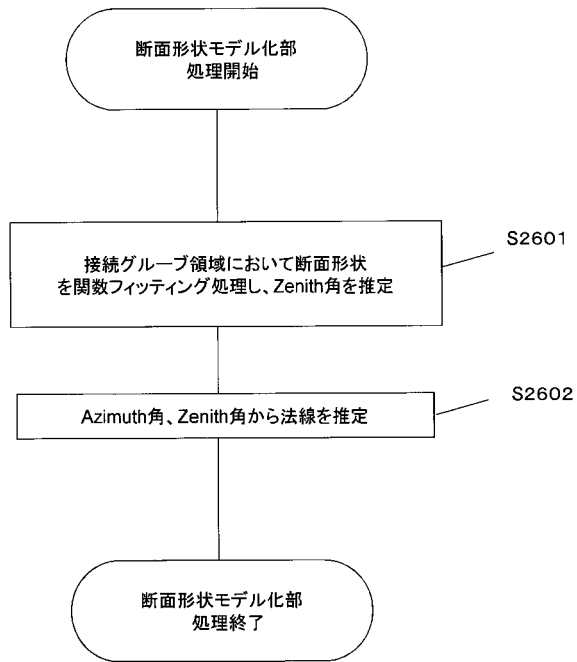
【図 2 4 D】



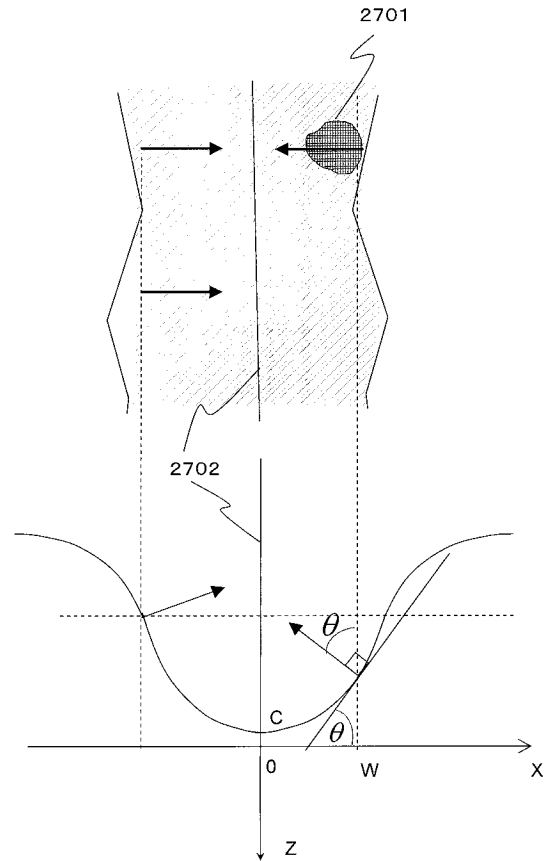
【図 2 5】



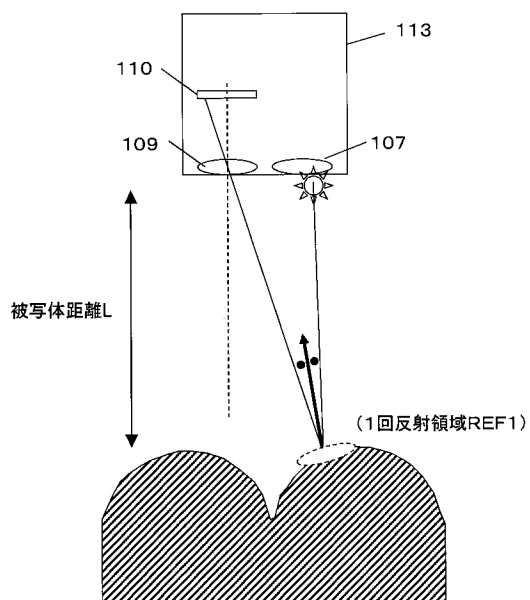
【図 26】



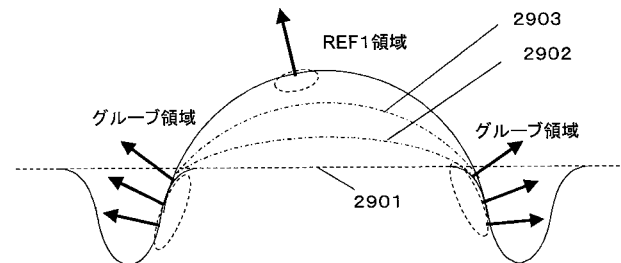
【図 27】



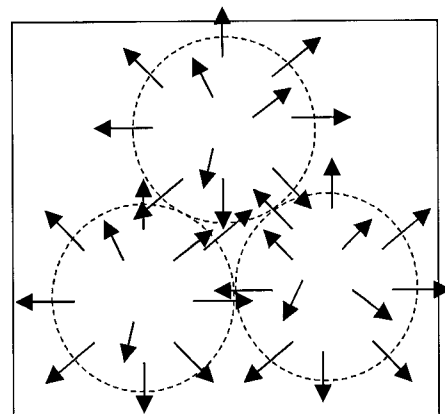
【図 28】



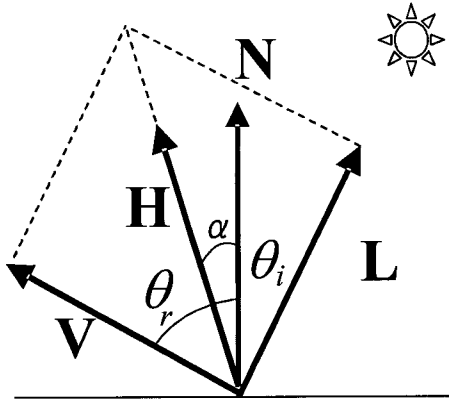
【図 29 A】



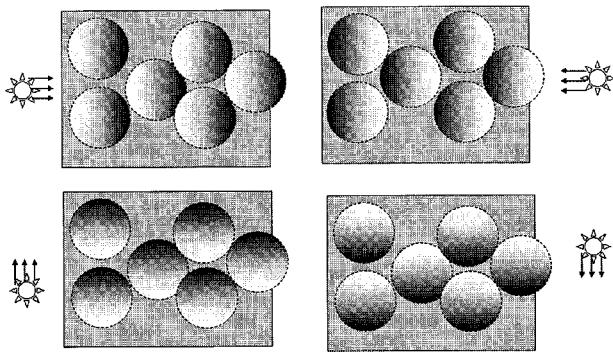
【図 29 B】



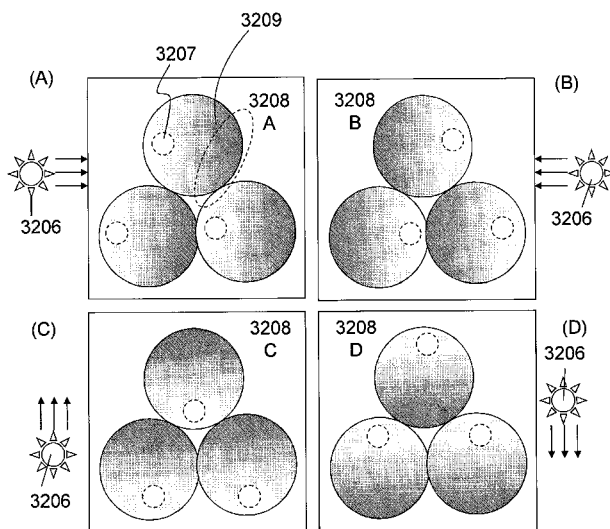
【図 3 0】



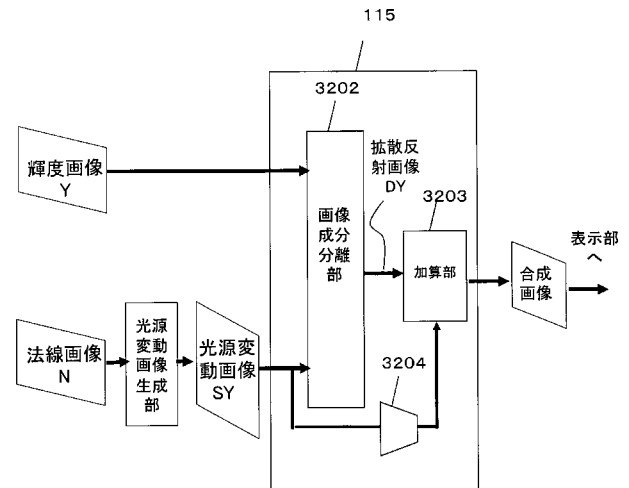
【図 3 1】



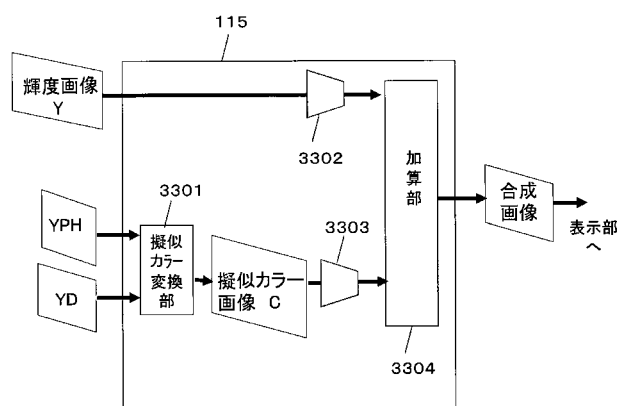
【図 3 2 B】



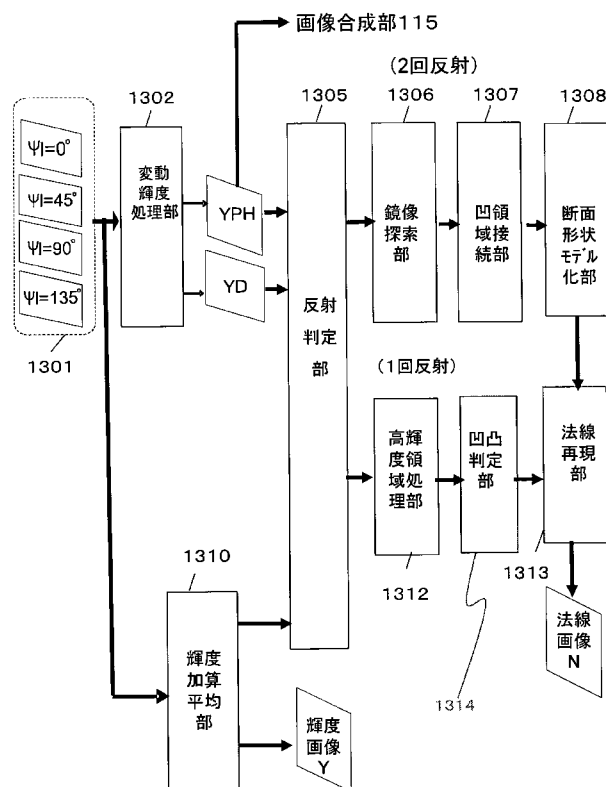
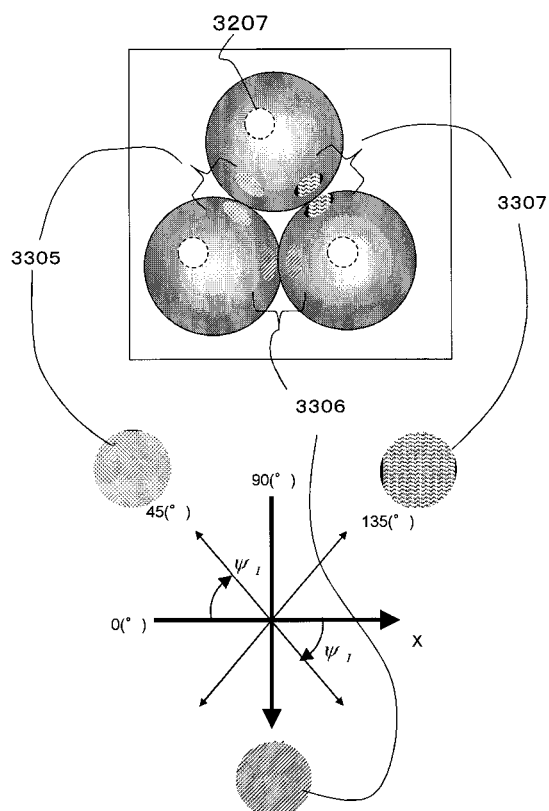
【図 3 2 A】



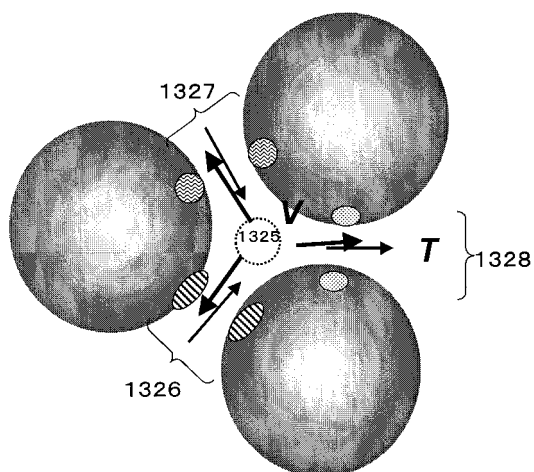
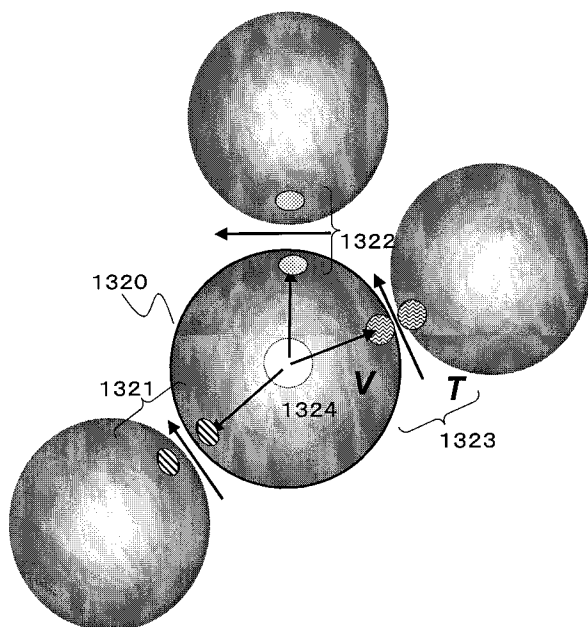
【図 3 3 A】



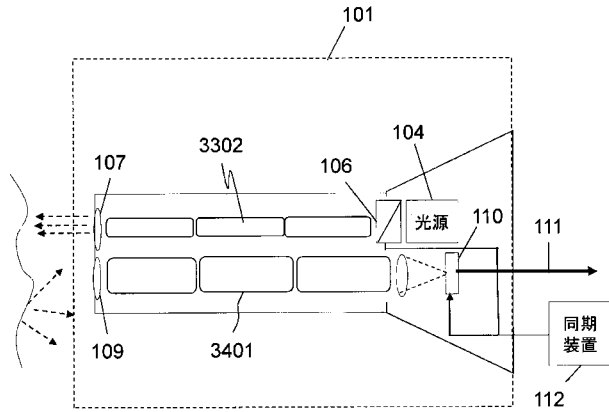
【図 3 4】



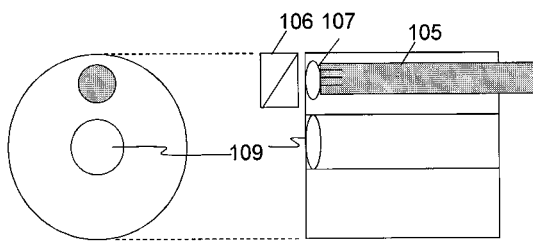
【图 3 5 B】



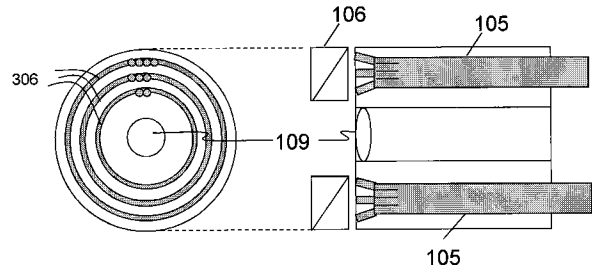
【図 3 6】



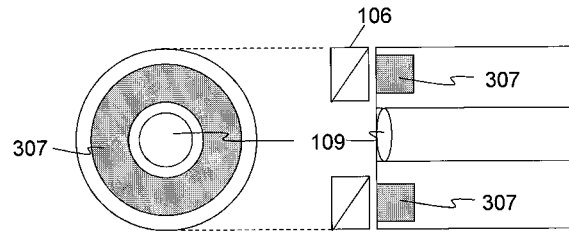
【図 3 7】



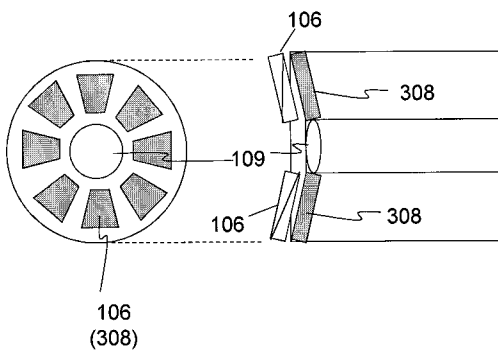
【図 3 8】



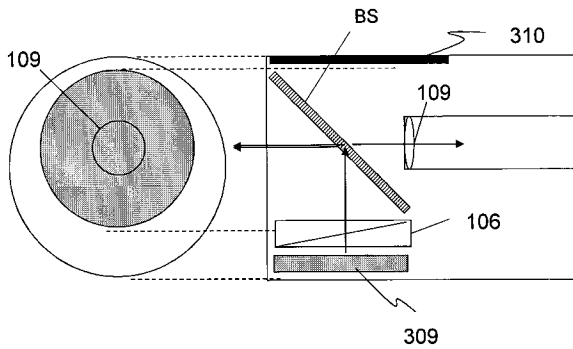
【図 3 9】



【図 4 0】



【図 4 1】



【手続補正書】

【提出日】平成24年7月26日(2012.7.26)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0012】

本発明の画像処理装置は、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、画像処理部とを備える。前記画像処理部は、前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、前記変動輝度処理部の出力に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部と、前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有する。前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0015】

ある実施形態において、光源位置について仮想的に動かす方向を設定する光源方向設定部と、前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像と、前記法線画像および物理反射モデルを用いて前記被写体の輝度画像とを生成する光源変動画像生成部と、前記光源変動画像と前記輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部とを有する。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0031】

本発明の画像処理装置の作動方法は、偏光照明部が、偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明工程と、撮像部が、前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、画像処理工程とを含む画像処理装置の作動方法である。前記画像処理工程は、変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定工程と、鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程とを含む。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、
前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、
画像処理部と、
を備え、
前記画像処理部は、
前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、
前記変動輝度処理部の出力に基づいて凹領域で 2 回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定部と、
前記被写体表面の前記凹領域で 2 回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有し、
前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する、画像処理装置。

【請求項 2】

前記画像処理部は、
前記多重反射領域の各対からグループセグメントを生成し、前記グループセグメントを接続して前記凹領域の位置を推定する凹領域接続部と、
前記凹領域の断面形状を決定する断面形状モデル化部と、
を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 3】

前記画像処理部は、前記多重反射領域における表面法線と前記 1 回反射領域における表面法線とを統合して法線画像を生成する法線再現部を備える請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

光源位置について仮想的に動かす方向を設定する光源方向設定部と、
前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像と、前記法線画像および物理反射モデルを用いて前記被写体の輝度画像とを生成する光源変動画像生成部と、
前記光源変動画像と前記輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部と
を有する請求項 3 に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている請求項 1 から 4 のいずれかの画像処理装置。

【請求項 6】

前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が 3 種類以上に順次変化する直線偏光を照射する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記偏光照明部は、非偏光の光を前記偏光面変換素子に導くライトガイドを有している請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部を有する、請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成する、請求項 1 から 9 のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 11】

前記輝度最大角画像、前記輝度変調度画像のいずれかと、輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部を有する請求項 10 に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記反射判定部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、
前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像において、あらかじめ設定された値以上の輝度変調度を持つ画素を、前記多重反射領域を構成する画素として抽出する請求項 10 に記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記凹領域接続部は、前記凹領域の表面法線の A z i m u t h（方位）角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 14】

前記断面形状モデル化部は、前記凹領域の断面形状を特定の関数にてモデル化し、
前記多重反射領域における表面法線の A z i m u t h 角が概略 45 度になる性質を利用して、前記凹領域における任意の位置における表面法線の Z e n i t h（天頂）角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 15】

前記偏光照明部は、偏光面が 3 種類以上に順次変化する偏光面変換素子を透過させた光を、リレーレンズ光学系を経由して前記被写体に照射する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 16】

前記偏光照明部は、同心円状態の複数のリング照明または面照明光源を偏光面変換素子と組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 17】

前記偏光照明部は、撮像系の光軸よりも内側向きの照明系光軸を有する面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 18】

前記偏光照明部は、無偏光広帯域ビームスプリッタと面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 19】

偏光照明部が、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明工程と、

撮像部が、前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、

画像処理工程と、

を含む画像処理装置の作動方法であって、

前記画像処理工程は、

変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で 2 回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定工程と、

鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で 2 回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と
を含む、画像処理装置の作動方法。

【請求項 20】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、
、
前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、
画像処理部と、
画像処理部の出力に基づいて画像を表示する表示部と、
を備え、
前記画像処理部は、
前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、
前記変動輝度処理部の出力に基づいて疑似カラー画像を生成する疑似カラー画像変換部と、
を備え、
前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成し、
前記疑似カラー画像変換部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする疑似カラー画像を生成し、前記疑似カラー画像と輝度画像とを合成して前記表示部に表示させる、内視鏡装置。

【請求項 21】

偏光照明部が、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する手段が作動する偏光照明工程と、
撮像部が、前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、
画像処理工程と、
を含む画像処理装置の作動方法であって、
前記画像処理工程は、
変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、
反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で 2 回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定工程と、
鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で 2 回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、
画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と
を含む、画像処理装置の作動方法。

【請求項 22】

撮像部が、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに前記被写体を撮像する撮像工程と、
画像処理工程と、
を含む画像処理装置の作動方法であって、
前記画像処理工程は、
変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における

反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定工程と、

鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と

を含む、画像処理装置の作動方法。

【請求項23】

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに撮像された前記被写体の画像を処理する画像処理工程を含む画像処理装置の作動方法であって、

前記画像処理工程は、

変動輝度処理部が、前記撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定工程と、

鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と

を含む、画像処理装置の作動方法。

【請求項24】

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光の各々によって被写体が照射されているときに撮像された前記被写体の画像を処理する画像処理部を備える画像処理装置であって、

前記画像処理部は、

前記撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の結果に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部と

、

前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索部と、

前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する画像処理部と

を備える画像処理装置。

【手続補正書】

【提出日】平成24年11月13日(2012.11.13)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と

、

前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、

前記被写体を撮像する撮像部と、
画像処理部と、
を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の出力に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部と、

前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有し、

前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する、画像処理装置。

【請求項2】

前記画像処理部は、

前記多重反射領域の各対からグループセグメントを生成し、前記グループセグメントを接続して前記凹領域の位置を推定する凹領域接続部と、

前記凹領域の断面形状を決定する断面形状モデル化部と、
を有する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

前記画像処理部は、前記多重反射領域における表面法線と前記1回反射領域における表面法線とを統合して法線画像を生成する法線再現部を備える請求項2に記載の画像処理装置。

【請求項4】

光源位置について仮想的に動かす方向を設定する光源方向設定部と、

前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像を、前記法線画像および物理反射モデルを用いて生成する光源変動画像生成部と、

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部と、

前記光源変動画像と前記平均輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部とを有する請求項3に記載の画像処理装置。

【請求項5】

前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている請求項1から4のいずれかの画像処理装置。

【請求項6】

前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が3種類以上に順次変化する直線偏光を照射する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項7】

前記偏光照明部は、非偏光の光を前記偏光面変換素子に導くライトガイドを有している請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項8】

前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項9】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変動画像を生成する、請求項1から8のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記輝度最大角画像、前記輝度変調度画像のいずれかと、前記平均輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部を有する請求項9に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

前記反射判定部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、

前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像において、あらかじめ設定された値以上の輝度変調度を持つ画素を、前記多重反射領域を構成する画素として抽出する請求項9に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記凹領域接続部は、前記凹領域の表面法線の *A z i m u t h*（方位）角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記断面形状モデル化部は、前記凹領域の断面形状を特定の関数にてモデル化し、

前記多重反射領域における表面法線の *A z i m u t h* 角が概略 45 度になる性質を利用して、前記凹領域における任意の位置における表面法線の *Z e n i t h*（天頂）角を推定する請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 14】

前記偏光照明部は、偏光面が 3 種類以上に順次変化する偏光面変換素子を透過させた光を、リレーレンズ光学系を経由して前記被写体に照射する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 15】

前記偏光照明部は、同心円状態の複数のリング照明または面照明光源を偏光面変換素子と組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 16】

前記偏光照明部は、撮像系の光軸よりも内側向きの照明系光軸を有する面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 17】

前記偏光照明部は、無偏光広帯域ビームスプリッタと面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 18】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、

前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、

画像処理部と、

画像処理部の出力に基づいて画像を表示する表示部と、
を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の出力に基づいて疑似カラー画像を生成する疑似カラー画像変換部と、
を備え、

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成し、

前記疑似カラー画像変換部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする疑似カラー画像を生成し、前記

擬似カラー画像と輝度画像とを合成して前記表示部に表示させる、内視鏡装置。

【請求項 19】

偏光照明部が、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する手段が作動する偏光照明工程と、

撮像部が、前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、

画像処理工程と、

を含む画像処理装置の作動方法であって、

前記画像処理工程は、

変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で 2 回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定工程と、

鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で 2 回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と

を含む、画像処理装置の作動方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0015

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0015】

ある実施形態において、光源位置について仮想的に動かす方向を設定する光源方向設定部と、前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像を、前記法線画像および物理反射モデルを用いて生成する光源変動画像生成部と、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部と、前記光源変動画像と前記平均輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部とを有する。

【手続補正書】

【提出日】平成25年2月7日(2013.2.7)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、

前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、

画像処理部と、

を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の出力に基づいて凹領域で2回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で1回反射して戻り光となる1回反射領域とを判別する反射判定部と、

前記被写体表面の前記凹領域で2回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有し、

前記画像処理部は、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する、画像処理装置。

【請求項2】

前記画像処理部は、

前記多重反射領域の各対からグループセグメントを生成し、前記グループセグメントを接続して前記凹領域の位置を推定する凹領域接続部と、

前記凹領域の断面形状を決定する断面形状モデル化部と、
を有する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

前記画像処理部は、前記多重反射領域における表面法線と前記1回反射領域における表面法線とを統合して法線画像を生成する法線再現部を備える請求項2に記載の画像処理装置。

【請求項4】

光源位置について仮想的に動かす方向を設定する光源方向設定部と、

前記光源位置を仮想的に動かしたときの光源変動画像を、前記法線画像および物理反射モデルを用いて生成する光源変動画像生成部と、

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射しながら前記撮像部によって取得された複数の輝度画像の加算平均を行うことにより、非偏光照明下での画像に相当する平均輝度画像を生成する輝度加算平均部と、

前記光源変動画像と前記平均輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部と
を有する請求項3に記載の画像処理装置。

【請求項5】

前記偏光照明部および前記撮像部は、内視鏡に取り付けられている請求項1から4のいずれかの画像処理装置。

【請求項6】

前記偏光照明部は、非偏光の光を、偏光面変換素子を透過させることによって偏光面が3種類以上に順次変化する直線偏光を照射する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項7】

前記偏光照明部は、非偏光の光を前記偏光面変換素子に導くライトガイドを有している請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項8】

前記撮像部はモノクロ撮像素子またはカラー撮像素子を有している請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項9】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成する、請求項1から8のいずれかに記載の画像処理装置。

【請求項10】

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成し、

前記輝度最大角画像、前記輝度変調度画像のいずれかと、前記平均輝度画像とを重ねあわせ合成して表示する画像表示部を有する請求項4に記載の画像処理装置。

【請求項11】

前記反射判定部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像において、あらかじめ設定された値以上の輝度変調度を持つ画素を、前記多重反射領域を構成する画素として抽出する請求項9に記載の画像処理装置。

【請求項12】

前記凹領域接続部は、前記凹領域の表面法線のAzimuth（方位）角を推定する請求項2に記載の画像処理装置。

【請求項13】

前記断面形状モデル化部は、前記凹領域の断面形状を特定の関数にてモデル化し、前記多重反射領域における表面法線のAzimuth角が概略45度になる性質を利用して、前記凹領域における任意の位置における表面法線のZenith（天頂）角を推定する請求項2に記載の画像処理装置。

【請求項14】

前記偏光照明部は、偏光面が3種類以上に順次変化する偏光面変換素子を透過させた光を、リレーレンズ光学系を経由して前記被写体に照射する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項15】

前記偏光照明部は、同心円状態の複数のリング照明または面照明光源を偏光面変換素子と組み合わせた光学系を有する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項16】

前記偏光照明部は、撮像系の光軸よりも内側向きの照明系光軸を有する面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項17】

前記偏光照明部は、無偏光広帯域ビームスプリッタと面照明光源と偏光面変換素子とを組み合わせた光学系を有する請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項18】

偏光面の角度が異なる3種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する偏光照明部と、

前記3種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像部と、

画像処理部と、

画像処理部の出力に基づいて画像を表示する表示部と、
を備え、

前記画像処理部は、

前記撮像部で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理部と、

前記変動輝度処理部の出力に基づいて疑似カラー画像を生成する疑似カラー画像変換部と、
を備え、

前記変動輝度処理部は、前記撮像部から出力される画素信号に基づいて、前記偏光面の角度と各画素の輝度値との関係を求め、各画素について前記輝度値が最大となる前記偏光面の角度によって定義される輝度最大角画像、および各画素について前記偏光面の変化にともなう前記輝度値の変動の振幅と輝度平均値との比率によって定義される輝度変調度画像を生成し、

前記疑似カラー画像変換部は、前記輝度最大角画像および前記輝度変調度画像に基づき、前記輝度最大角を色相角、前記輝度変調度を彩度とする擬似カラー画像を生成し、前記疑似カラー画像と輝度画像とを合成して前記表示部に表示させる、内視鏡装置。

【請求項 19】

偏光照明部が、偏光面の角度が異なる 3 種類以上の直線偏光を、順次、被写体に照射する手段が作動する工程と、

撮像部が、前記 3 種類以上の直線偏光の各々によって前記被写体が照射されているときに、順次、前記被写体を撮像する撮像工程と、

画像処理工程と、

を含む画像処理装置の作動方法であって、

前記画像処理工程は、

変動輝度処理部が、前記撮像工程で撮影した画像の輝度を処理して被写体表面における反射偏光状態を算出する変動輝度処理工程と、

反射判定部が、前記変動輝度処理工程の結果に基づいて凹領域で 2 回反射して戻り光となる多重反射領域と、前記被写体表面で 1 回反射して戻り光となる 1 回反射領域とを判別する反射判定工程と、

鏡像探索部が、前記被写体表面の前記凹領域で 2 回反射によって戻り光となる前記多重反射領域の対を決定する鏡像探索工程と、

画像処理部が、前記多重反射領域の対に基づいて前記被写体表面の前記凹領域を示す画像を生成する工程と

を含む、画像処理装置の作動方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005293

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B1/00(2006.01)i, A61B1/04(2006.01)i, A61B1/06(2006.01)i, G02B23/24
(2006.01)i, H04N5/225(2006.01)i, H04N5/232(2006.01)i, H04N5/238(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)

A61B1/00, A61B1/04, A61B1/06, G02B23/24, H04N5/225, H04N5/232, H04N5/238

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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.
A	JP 2010-104424 A (Fujifilm Corp.), 13 May 2010 (13.05.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-19, 21
A	JP 10-104524 A (Nikon Corp.), 24 April 1998 (24.04.1998), entire text; all drawings & US 5914782 A	1-19, 21
A	JP 2010-82271 A (Fujifilm Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), entire text; all drawings & US 2010/0079757 A1	1-19, 21

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

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 December, 2011 (08.12.11)Date of mailing of the international search report
20 December, 2011 (20.12.11)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005293

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-122829 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 15 May 1998 (15.05.1998), paragraph [0012]; fig. 3 (Family: none)	1-19
A	JP 4762369 B2 (Panasonic Corp.), 17 June 2011 (17.06.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-19, 21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005293

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 20
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
Claim 20 pertains to a surgical treatment method for the human body, and thus relates to a subject matter not requiring for the international search under the provision of PCT Rule 39.1 (iv) because claim 20 may include a step (continued to extra sheet)
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

A common technical feature, which the invention of claim 1 and the invention of claim 21 have, does not make a contribution over the prior art in the light of the contents disclosed in the document (JP 2010-104424 A) which was found in course of this international search, and therefore cannot be considered to be a special technical feature. Further, there is no other same or corresponding special technical feature between the inventions. The following two inventions (invention groups) are involved in claims.
(continued to extra sheet)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005293

Continuation of Box No.II-1 of continuation of first sheet(2)

for irradiating linearly polarized light upon a subject, a step for determining multiple reflection areas and a one-time reflection area, or the like while a doctor is using an image processing device in the human body.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/005293

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

(Invention 1) The inventions of claims 1-19: An image processing device which comprises a reflection determination unit for determining multiple reflection areas and a one-time reflection area on the basis of the output of a variation brightness processing unit, and a mirror image search unit for determining a pair of the multiple reflection areas which are brought into return light by two-time reflection in a recessed area, wherein an image processing unit generates an image indicating the recessed area of the surface of the subject on the basis of the pair of the multiple reflection areas.

(Invention 2) The invention of claim 21: An endoscopic device in which a variation brightness processing unit generates a brightness maximum angle image and a brightness modulation-degree image, and a pseudo color image conversion unit generates a pseudo color image in which a brightness maximum angle is a hue angle and a brightness modulation degree is saturation, and combines the pseudo color image and a brightness image to display the combined image on a display unit.

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2011/005293	
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. A61B1/00(2006.01)i, A61B1/04(2006.01)i, A61B1/06(2006.01)i, G02B23/24(2006.01)i, H04N5/225(2006.01)i, H04N5/232(2006.01)i, H04N5/238(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. A61B1/00, A61B1/04, A61B1/06, G02B23/24, H04N5/225, H04N5/232, H04N5/238			
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 1971-2011年 日本国実用新案登録公報 1996-2011年 日本国登録実用新案公報 1994-2011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	
A	JP 2010-104424 A（富士フイルム株式会社）2010.05.13, 全文、全図（ファミリーなし）	1-19, 21	
A	JP 10-104524 A（株式会社ニコン）1998.04.24, 全文、全図 & US 5914782 A	1-19, 21	
A	JP 2010-82271 A（富士フイルム株式会社）2010.04.15, 全文、全図 & US 2010/0079757 A1	1-19, 21	
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 08.12.2011		国際調査報告の発送日 20.12.2011	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 樋熊 政一 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2Q 4460

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 1 / 0 0 5 2 9 3
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
A	JP 10-122829 A (松下電器産業株式会社) 1998.05.15, 段落【0012】、図3 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 4762369 B2 (パナソニック株式会社) 2011.06.17, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-19, 21

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 1 / 0 0 5 2 9 3

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☒ 請求項 20 は、この国際調査機関が調査することを要しない対象に係るものである。
つまり、
請求項20は、医師が人体内で画像処理装置を使用中に、直線偏光を被写体に照射する工程や、多重反射領域と1回反射領域とを判別する工程等を含み得ることから、手術による人体の処置方法に関するものであって、PCT規則39.1(v)の規定により、国際調査を行うことを要しない対象に係るものである。
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査を行うことができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明と請求項21に係る発明とが備えている共通の技術的特徴は、国際調査において発見された文献（JP 2010-104424 A）の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。そして、請求の範囲には以下に示す2の発明（群）が含まれる。

（発明1）請求項1-19に係る発明：変動輝度処理部の出力に基づいて多重反射領域と1回反射領域とを判別する反射判定部と、凹領域で2回反射によって戻り光となる多重反射領域の対を決定する鏡像探索部とを有し、画像処理部が、多重反射領域の対に基づいて被写体表面の凹領域を示す画像を生成する、画像処理装置。

（発明2）請求項21に係る発明：変動輝度処理部が、輝度最大角画像、および輝度変調度画像を生成し、疑似カラー画像変換部が、輝度最大角を色相角、輝度変調度を彩度とする疑似カラー画像を生成し、疑似カラー画像と輝度画像とを合成して表示部に表示させる、内視鏡装置。

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA

(72)発明者 金森 克洋

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内

Fターム(参考) 2H040 BA09 CA06 GA01 GA02 GA06 GA11

4C161 AA00 BB00 CC06 DD00 HH53 HH54 PP20 QQ01 RR13 WW02

WW04 YY12

5B047 AA17 AB04 BB04 BC08 BC11 BC23 CA19 CB22 DC09

(注) この公表は、国際事務局(W I P O)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。

专利名称(译)	图像处理设备和操作图像处理设备的方法		
公开(公告)号	JPWO2012073414A1	公开(公告)日	2014-05-19
申请号	JP2012534172	申请日	2011-09-20
申请(专利权)人(译)	松下电器产业株式会社		
[标]发明人	金森克洋		
发明人	金森 克洋		
IPC分类号	A61B1/00 A61B1/04 G02B23/24 G06T1/00		
CPC分类号	G02B23/2461 A61B1/00009 A61B1/00096 A61B1/045 A61B1/0646 G02B27/28 H04N5/2351		
FI分类号	A61B1/00.300.D A61B1/04.370 G02B23/24.C G06T1/00.400.B		
F-TERM分类号	2H040/BA09 2H040/CA06 2H040/GA01 2H040/GA02 2H040/GA06 2H040/GA11 4C161/AA00 4C161/BB00 4C161/CC06 4C161/DD00 4C161/HH53 4C161/HH54 4C161/PP20 4C161/QQ01 4C161/RR13 4C161/WW02 4C161/WW04 4C161/YY12 5B047/AA17 5B047/AB04 5B047/BB04 5B047/BC08 5B047/BC11 5B047/BC23 5B047/CA19 5B047/CB22 5B047/DC09		
代理人(译)	奥田诚治 Kajiya Bido 三宅明子		
优先权	2010267436 2010-11-30 JP		
其他公开文献	JP5238098B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

当本发明的图像处理装置被偏振照明单元120照明时，该偏振照明单元120用具有不同偏振平面角的三种或更多种类型的线性偏振光以及三种或更多种类型的线性偏振光中的每一种依次照亮该对象。此外，提供了用于顺序地拾取对象的图像的图像拾取部分140和图像处理部分150。图像处理单元150处理由图像捕获单元捕获的图像的亮度，以计算在被摄体表面上的反射偏振状态，并且可变亮度处理单元1302基于可变亮度处理单元1302的输出在凹形区域中反射两次。然后，反射确定单元1305确定变为反射光的多次反射区域和被物体表面反射一次并变为返回光的一次反射区域，并通过反射在物体表面的凹入区域中两次反射光。镜像搜索单元1306用于确定一对多个反射区域。图像处理单元150基于该对多个反射区域来生成示出对象表面上的凹入区域的图像。

【図10】

