

(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2007-130403
(P2007-130403A)

(43) 公開日 平成19年5月31日(2007.5.31)

(51) Int.CI.

A 61 B 3/12 (2006.01)
G 01 N 21/17 (2006.01)

F 1

A 61 B 3/12
G 01 N 21/17E
6 2 O

テーマコード(参考)

2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 49 頁)

(21) 出願番号 特願2005-337628 (P2005-337628)
 (22) 出願日 平成17年11月22日 (2005.11.22)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-297746 (P2005-297746)
 (32) 優先日 平成17年10月12日 (2005.10.12)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000220343
 株式会社トプコン
 東京都板橋区蓮沼町75番1号
 (71) 出願人 504171134
 国立大学法人 筑波大学
 茨城県つくば市天王台一丁目1番1
 (74) 代理人 100081411
 弁理士 三澤 正義
 (72) 発明者 安野 嘉晃
 茨城県つくば市春日3-20-20 小川
 ハイツA-106
 (72) 発明者 谷田貝 豊彦
 千葉県流山市松ヶ丘2-320-85

最終頁に続く

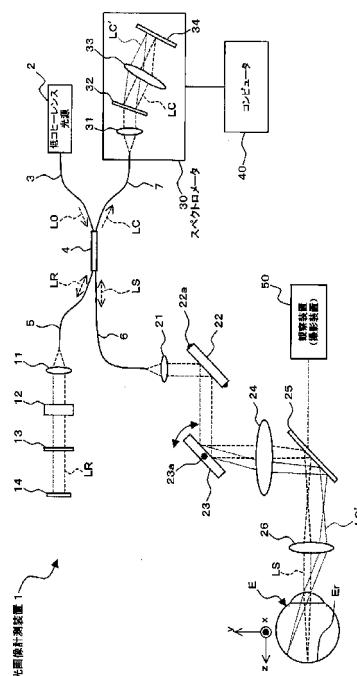
(54) 【発明の名称】光画像計測装置、光画像計測プログラム、眼底観察装置及び眼底観察プログラム

(57) 【要約】

【課題】信号光の走査中に被測定物体が動いた場合でも確度の高い画像を形成できる光画像計測装置を提供する。

【解決手段】光画像形成装置1は、低コヒーレンス光L₀を信号光L_Sと参照光L_Rに分割し、眼底E_rで反射された信号光L_Sと参照ミラー14で反射された参照光L_Rとを重畳させて干渉光L_Cを生成する干渉計と、干渉光L_Cを受光し検出信号を出力するCCD34と、信号光L_Sを主走査方向、副走査方向に走査するガルバノミラー22、23と、副走査方向の異なる位置における主走査方向に沿った断層画像G₁～G_mを形成するコンピュータ40とを有する。ガルバノミラー22、23は、主走査方向に交差する所定の方向に信号光L_Sを走査し、コンピュータ40は、この所定の方向に沿った補正用断層画像G_Rを形成し、補正用断層画像G_Rに基づいて各断層画像G_iの位置ずれを補正する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光源と、

前記光源から出力された光を被測定物体に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記被測定物体を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畠させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、

前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、

前記被測定物体に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、

前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記被測定物体の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段と、

を有し、

前記走査手段は、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査し、

前記画像処理手段は、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正する、

ことを特徴とする光画像計測装置。

【請求項 2】

前記走査手段は、前記2以上の断層画像を形成するとき、前記主走査方向の一定の向きに前記信号光の入射位置を走査し、

前記所定の方向は、前記2以上の断層画像を形成するときの走査の終了位置と開始位置とを結んだ方向とされる、

ことを特徴とする請求項1に記載の光画像計測装置。

【請求項 3】

前記画像処理手段は、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の位置ずれを補正する、

ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の光画像計測装置。

【請求項 4】

前記画像処理手段は、前記2以上の断層画像のそれぞれについて、前記補正用断層画像との交差位置における前記深度方向の画像の位置を、当該交差位置における前記補正用断層画像の深度方向の画像の位置に合わせることにより、前記深度方向の位置ずれを補正する、

ことを特徴とする請求項3に記載の光画像計測装置。

【請求項 5】

前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の前記位置ずれの補正是、前記交差位置における当該断層画像の前記深度方向の画像と前記補正用断層画像の前記深度方向の画像との正規化相關の相關値が最大となるように、当該断層画像を前記深度方向に移動させることにより行う、

ことを特徴とする請求項4に記載の光画像計測装置。

【請求項 6】

前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の前記位置ずれの補正是、前記交差位置における当該断層画像の前記深度方向の画像の特徴部分と前記補正用断層画像の前記深度方向の画像の特徴部分とを一致させるように、当該断層画像を前記深度方向に移動させることにより行う、

ことを特徴とする請求項4に記載の光画像計測装置。

【請求項 7】

10

20

30

40

50

前記深度方向の画像の前記特徴部分は、前記被測定物体の表面に相当する部分とされる
ことを特徴とする請求項 6 に記載の光画像計測装置。

【請求項 8】

前記画像処理手段は、

前記 2 以上の断層画像に基づいて、前記被測定物体の 3 次元画像を形成し、
該形成された 3 次元画像に基づいて、前記所定の方向に沿った新たな断層画像を形成し

、前記補正用断層画像に対する前記新たな断層画像の変位に基づいて、前記 2 以上の断層
画像のそれぞれの位置ずれを補正する、

ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 7 に記載の光画像計測装置。

【請求項 9】

光源と、

前記光源から出力された光を被測定物体に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記被測定物体を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畳させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、

前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、

前記被測定物体に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、

前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記被測定物体の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における 2 以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段と、

を有する光画像計測装置を制御する光画像計測プログラムであって、

前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させ、

前記画像処理手段に、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成させるとともに、
該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記 2 以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正させる、

ことを特徴とする光画像計測プログラム。

【請求項 10】

被検眼の眼底の表面の 2 次元画像を形成する第 1 の画像形成手段と、

前記眼底の断層画像を形成する第 2 の画像形成手段と、

を備える眼底観察装置であって、

前記第 2 の画像形成手段により形成された断層画像を深度方向に積算して積算画像を生成し、前記第 1 の画像形成手段により形成された 2 次元画像に基づいて、前記生成された積算画像の前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記断層画像の前記直交する方向における位置ずれを補正する第 1 の画像処理手段を備える、

ことを特徴とする眼底観察装置。

【請求項 11】

被検眼の眼底の表面の 2 次元画像を形成する第 1 の画像形成手段と、

光源と、前記光源から出力された光を前記眼底に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記眼底を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畳させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、前記眼底に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記

10

20

30

40

50

参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記眼底の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する第2の画像形成手段と、

を備える眼底観察装置であって、

前記第2の画像形成手段により形成された2以上の断層画像のそれぞれを前記深度方向に積算して、前記2以上の断層画像のそれぞれの積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された2以上の積算画像のそれぞれの前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記直交する方向における位置ずれを補正する第1の画像処理手段と、

前記第2の画像形成手段の前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させる制御手段と、

当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向における位置ずれを補正する第2の画像処理手段と、

を備える、

ことを特徴とする眼底観察装置。

【請求項12】

前記第2の画像形成手段により形成された断層画像の計測位置を示す位置情報を記憶する位置記憶手段を更に備え、

前記第1の画像処理手段による前記変位の検出は、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像における前記生成された積算画像の位置を特定し、該特定された位置と前記記憶された位置情報に示す計測位置との前記深度方向に直交する方向における変位を検出することにより行う、

ことを特徴とする請求項10又は請求項11に記載の眼底観察装置。

【請求項13】

前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像を表示する表示手段と、

前記第2の画像形成手段により形成される断層画像の計測位置を前記表示された2次元画像上に指定するための操作手段と、

を備え、

前記第1の画像処理手段による前記変位の検出は、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像における前記生成された積算画像の位置を特定し、該特定された位置と前記指定された計測位置との前記深度方向に直交する方向における変位を検出することにより行う、

ことを特徴とする請求項10又は請求項11に記載の眼底観察装置。

【請求項14】

被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、

前記眼底の断層画像を形成する第2の画像形成手段と、

を備える眼底観察装置を、

前記第2の画像形成手段により形成された断層画像を深度方向に積算して積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された積算画像の前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記断層画像の前記直交する方向における位置ずれを補正するように機能させる、

ことを特徴とする眼底観察プログラム。

【請求項15】

被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、

光源と、前記光源から出力された光を前記眼底に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記眼底を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畳させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出

信号を出力する検出手段と、前記眼底に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記眼底の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段とを有する第2の画像形成手段と、

を備える眼底観察装置を、

前記第2の画像形成手段により形成された2以上の断層画像のそれぞれを前記深度方向に積算して、前記2以上の断層画像のそれぞれの積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された2以上の積算画像のそれぞれの前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記直交する方向における位置ずれを補正する第1の画像処理手段、

前記第2の画像形成手段の前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させる制御手段、及び、

当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向における位置ずれを補正する第2の画像処理手段、として機能させる、

ことを特徴とする眼底観察プログラム。

10

20

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に光散乱媒質の被測定物体に光ビームを照射し、その反射光もしくは透過光を用いて被測定物体の表面形態や内部形態を計測し、その画像を形成する光画像計測装置及び光画像計測プログラムと、この光画像計測装置を具備し被検眼の眼底を観察するための眼底観察装置及び眼底観察プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、レーザ光源等からの光ビームを用いて被測定物体の表面形態や内部形態を表す画像を形成する光画像計測技術が注目を集めている。この光画像計測技術は、従来からのX線CTのような人体に対する侵襲性を持たないことから、特に医療分野における応用の展開が期待されている。

【0003】

特許文献1には、測定腕が、例えば回転式転向鏡（ガルバノミラー）により物体を走査し、参照腕に参照鏡が設置されており、さらにその出口では、計測腕および参照腕からの光束の干渉によって現れる光の強度が、分光器で分析もされるという干渉器が利用されていて、参照腕には参照光光束位相を不連続な値で段階的に変える装置が設置された構成の装置が開示されている。

40

50

【0004】

この装置は、特許文献2を基本技術とするいわゆる「フーリエドメインOCT(Fourier Domain Optical Coherence Tomography)」の手法を用いるものである。すなわち、被測定物体に対して光ビームを照射し、その反射光のスペクトル強度分布を取得し、それをフーリエ変換することにより、被測定物体の深度方向(z方向)の形態を画像化するものである。

【0005】

更に、特許文献1に記載の装置は、光ビーム(信号光)を走査するガルバノミラーを備え、それにより被測定物体の所望の測定対象領域の画像を形成できるようになっている。なお、この装置においては、z方向に直交する1方向(x方向)にのみ光ビームを走査するようになっているので、形成される画像は、光ビームの走査方向(x方向)に沿った深度方向(z方向)の2次元断面画像となる。

10

【0006】

また、特許文献3には、このような装置の眼科分野への応用例が開示されている。

【0007】

【特許文献1】特開平11-325849号公報

【特許文献2】獨国特許出願公開第DE4309056A1号明細書

【特許文献3】特開2003-543号公報

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】**

20

【0008】

このような光ビームで走査する構成の光画像計測装置を眼などの生体に適用する場合、光ビーム走査中における生体の動きを考慮する必要がある。つまり、走査中に生体が動くと、光ビームによる各計測位置(特許文献1ではx方向の各計測位置)にずれが発生し、結果として画像に歪みが生じてしまう。

【0009】

たとえば生体眼(眼底)の画像計測を行うときの光ビームの走査には、たとえば2.5秒~3.5秒程度の時間が掛かる。この走査時間中に、心臓の拍動や眼球運動等により生体眼の位置がずれてしまうと、形成される画像は、生体眼のずれ方向に歪んだものになったり、画像の一部が途切れてしまったりして、画像の確度が損なわれる結果となる。

30

【0010】

したがって、生体の画像計測の確度を高めるには、この画像の歪みを補正する何らかの手段が必要となる。しかしながら、前述のような従来の光画像計測装置では、生体の動きに起因する画像の歪みを補正することはできなかった。

【0011】

本発明は、このような問題点を解決するために為されたものであり、光ビームの走査中に被測定物体が動いてしまった場合であっても、確度の高い画像を形成することが可能な光画像計測装置、光画像計測プログラム、眼底観察装置及び眼底観察プログラム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】

40

【0012】

上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、光源と、前記光源から出力された光を被測定物体に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記被測定物体を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畠させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、前記被測定物体に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記被測定物体の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に

50

沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段と、を有し、前記走査手段は、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査し、前記画像処理手段は、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正する、ことを特徴とする光画像計測装置である。

【0013】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の光画像計測装置であって、前記走査手段は、前記2以上の断層画像を形成するとき、前記主走査方向の一定の向きに前記信号光の入射位置を走査し、前記所定の方向は、前記2以上の断層画像を形成するときの走査の終了位置と開始位置とを結んだ方向とされる、ことを特徴とする。
10

【0014】

また、請求項3に記載の発明は、請求項1又は請求項2に記載の光画像計測装置であって、前記画像処理手段は、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の位置ずれを補正する、ことを特徴とする。

【0015】

また、請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の光画像計測装置であって、前記画像処理手段は、前記2以上の断層画像のそれぞれについて、前記補正用断層画像との交差位置における前記深度方向の画像の位置を、当該交差位置における前記補正用断層画像の深度方向の画像の位置に合わせることにより、前記深度方向の位置ずれを補正する、ことを特徴とする。
20

【0016】

また、請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の光画像計測装置であって、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の前記位置ずれの補正是、前記交差位置における当該断層画像の前記深度方向の画像と前記補正用断層画像の前記深度方向の画像との正規化相関の相関値が最大となるように、当該断層画像を前記深度方向に移動させることにより行う、ことを特徴とする。

【0017】

また、請求項6に記載の発明は、請求項4に記載の光画像計測装置であって、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向の前記位置ずれの補正是、前記交差位置における当該断層画像の前記深度方向の画像の特徴部分と前記補正用断層画像の前記深度方向の画像の特徴部分とを一致させるように、当該断層画像を前記深度方向に移動させることにより行う、ことを特徴とする。
30

【0018】

また、請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の光画像計測装置であって、前記深度方向の画像の前記特徴部分は、前記被測定物体の表面に相当する部分とされる、ことを特徴とする。

【0019】

また、請求項8に記載の発明は、請求項1～請求項7に記載の光画像計測装置であって、前記画像処理手段は、前記2以上の断層画像に基づいて、前記被測定物体の3次元画像を形成し、該形成された3次元画像に基づいて、前記所定の方向に沿った新たな断層画像を形成し、前記補正用断層画像に対する前記新たな断層画像の変位に基づいて、前記2以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正する、ことを特徴とする。
40

【0020】

また、請求項9に記載の発明は、光源と、前記光源から出力された光を被測定物体に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記被測定物体を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畠させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、前記被測定物体に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれ
50

について、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記被測定物体の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段と、を有する光画像計測装置を制御する光画像計測プログラムであって、前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させ、前記画像処理手段に、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成させるとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正させる、ことを特徴とする。

【0021】

また、請求項10に記載の発明は、被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、前記眼底の断層画像を形成する第2の画像形成手段と、を備える眼底観察装置であって、前記第2の画像形成手段により形成された断層画像を深度方向に積算して積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された積算画像の前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記断層画像の前記直交する方向における位置ずれを補正する第1の画像処理手段を備える、ことを特徴とする。

【0022】

また、請求項11に記載の発明は、被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、光源と、前記光源から出力された光を前記眼底に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記眼底を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畳させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、前記眼底に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記眼底の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する第2の画像形成手段と、を備える眼底観察装置であって、前記第2の画像形成手段により形成された2以上の断層画像のそれぞれを前記深度方向に積算して、前記2以上の断層画像のそれぞれの積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された2以上の積算画像のそれぞれの前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記直交する方向における位置ずれを補正する第1の画像処理手段と、前記第2の画像形成手段の前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させる制御手段と、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向における位置ずれを補正する第2の画像処理手段と、

を備える、ことを特徴とする。

【0023】

また、請求項12に記載の発明は、請求項10又は請求項11に記載の眼底観察装置であって、前記第2の画像形成手段により形成された断層画像の計測位置を示す位置情報を記憶する位置記憶手段を更に備え、前記第1の画像処理手段による前記変位の検出は、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像における前記生成された積算画像の位置を特定し、該特定された位置と前記記憶された位置情報に示す計測位置との前記深度方向に直交する方向における変位を検出することにより行う、ことを特徴とする。

【0024】

また、請求項13に記載の発明は、請求項10又は請求項11に記載の眼底観察装置であって、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像を表示する表示手段と、

10

20

30

40

50

前記第2の画像形成手段により形成される断層画像の計測位置を前記表示された2次元画像上に指定するための操作手段と、を備え、前記第1の画像処理手段による前記変位の検出は、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像における前記生成された積算画像の位置を特定し、該特定された位置と前記指定された計測位置との前記深度方向に直交する方向における変位を検出することにより行う、ことを特徴とする。

【0025】

また、請求項14に記載の発明は、被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、前記眼底の断層画像を形成する第2の画像形成手段と、を備える眼底観察装置を、前記第2の画像形成手段により形成された断層画像を深度方向に積算して積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された積算画像の前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記断層画像の前記直交する方向における位置ずれを補正するように機能させる、ことを特徴とする眼底観察プログラムである。

【0026】

また、請求項15に記載の発明は、被検眼の眼底の表面の2次元画像を形成する第1の画像形成手段と、光源と、前記光源から出力された光を前記眼底に向かう信号光と参照物体に向かう参照光とに分割するとともに、前記眼底を経由した信号光と前記参照物体を経由した参照光とを重畳させて干渉光を生成する干渉光生成手段と、前記生成された干渉光を受光して検出信号を出力する検出手段と、前記眼底に対する前記信号光の入射位置を所定の主走査方向及び該主走査方向に直交する副走査方向にそれぞれ走査する走査手段と、前記主走査方向に沿った複数の前記入射位置のそれぞれについて、当該入射位置を経由した信号光と前記参照光とから生成される干渉光に基づく前記検出信号に基づいて当該入射位置における前記眼底の深度方向の画像を形成し、該形成された各入射位置の前記画像に基づいて前記主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、前記副走査方向の異なる位置における2以上の前記主走査方向に沿った断層画像を形成する画像処理手段とを有する第2の画像形成手段と、を備える眼底観察装置を、前記第2の画像形成手段により形成された2以上の断層画像のそれぞれを前記深度方向に積算して、前記2以上の断層画像のそれぞれの積算画像を生成し、前記第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、前記生成された2以上の積算画像のそれぞれの前記深度方向に直交する方向における変位を検出し、該検出された変位に基づいて、前記2以上の断層画像のそれぞれの前記直交する方向における位置ずれを補正する第1の画像処理手段、前記第2の画像形成手段の前記走査手段を制御して、前記主走査方向に交差する所定の方向に前記信号光を走査させる制御手段、及び、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、該補正用断層画像に基づいて、前記形成された前記2以上の断層画像のそれぞれの前記深度方向における位置ずれを補正する第2の画像処理手段、として機能させる、ことを特徴とする眼底観察プログラムである。

【発明の効果】

【0027】

本発明に係る光画像計測装置及び光画像計測プログラムによれば、走査手段が、主走査方向と交差する所定の方向に信号光を走査し、画像処理手段が、この所定の方向に沿った補正用断層画像を形成するとともに、この補正用断層画像に基づいて、主走査方向に沿った2以上の断層画像のそれぞれの位置ずれを補正するように構成されているので、信号光(光ビーム)の走査中に被測定物体が動いてしまった場合であっても、それに起因する各断層画像の位置ずれを補正できることから、確度の高い画像を形成することが可能である。

【0028】

本発明に係る眼底観察装置及び眼底観察プログラムによれば、第2の画像形成手段により形成された断層画像を深度方向に積算して積算画像を生成するとともに、第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、この積算画像の深度方向に直交する方向における変位を検出する。そして、検出された変位に基づいて、深度方向に直交する方向

10

20

30

40

50

における断層画像の位置ずれを補正するように作用する。それにより、信号光の走査中に被測定物体が動いてしまった場合であっても、それに起因する断層画像の深度方向に直交する方向への位置ずれを補正できるので、確度の高い画像を形成することが可能である。

【0029】

また、本発明に係る眼底観察装置及び眼底観察プログラムによれば、第2の画像形成手段により形成された各断層画像を深度方向に積算して、各断層画像の積算画像を生成するとともに、第1の画像形成手段により形成された2次元画像に基づいて、各積算画像の深度方向に直交する方向における変位を検出する。そして、検出された変位に基づいて、各断層画像の深度方向に直交する方向における位置ずれを補正する。更に、第2の画像形成手段の走査手段を制御して、主走査方向に交差する所定の方向に信号光を走査させるとともに、当該所定の方向に沿った補正用断層画像を形成し、この補正用断層画像に基づいて、各断層画像の深度方向における位置ずれを補正するように作用する。それにより、信号光の走査中に被測定物体が動いてしまった場合であっても、それに起因する断層画像の深度方向に直交する方向への位置ずれとともに深度方向への位置ずれも補正できるので、確度の高い画像を形成することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

本発明に係る光画像計測装置、光画像計測プログラム、眼底観察装置及び眼底観察プログラムの好適な実施形態の一例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0031】

第1の実施形態

[装置構成]

図1は、本発明に係る光画像計測装置の全体構成の一例を表す。同図に示す光画像計測装置1は、従来とほぼ同様に構成されており、レーザ光源から出力されたレーザ光を参照光と信号光とに分割し、参照物体を経由した参照光と被測定物体を経由した信号光とを重畳して干渉光を生成する干渉計を具備するとともに、この干渉光の検出結果を解析して被測定物体の画像を形成するように構成されている。

【0032】

低コヒーレンス光源2は、低コヒーレンス光L0を出力するスーパールミネセントダイオード(SLD)や発光ダイオード(LED)等の広帯域光源により構成されている。この低コヒーレンス光L0は、たとえば、近赤外領域の波長を有し、かつ、数十マイクロメートル程度の時間的コヒーレンス長を有する光とされる。

【0033】

低コヒーレンス光源2から出力された低コヒーレンス光L0は、たとえばシングルモードファイバからなる光ファイバ3を通じて光カプラ(coupler)4に導かれ、参照光LRと信号光LSとに分割される。

【0034】

なお、光カプラ4は、光を分割する手段(スプリッタ；splitter)、及び、光を重畳する手段(カプラ)の双方の作用を有するが、ここでは慣用的に「光カプラ」と称することにする。

【0035】

参照光LRは、光ファイバ5により導光されてファイバ端から出射される。出射された参照光LRは、コリメータレンズ11により平行光束とされた後、ガラスブロック12及び濃度フィルタ13を経由し、参照ミラー14(参照物体)によって反射される。

【0036】

参照ミラー14により反射された参照光LRは、再び濃度フィルタ13及びガラスブロック12を経由し、コリメータレンズ11によって光ファイバ5のファイバ端に集光される。集光された参照光LRは、光ファイバ5を通じて光カプラ4に導かれる。

【0037】

なお、ガラスブロック12と濃度フィルタ13は、参照光LRと信号光LSの光路長(

10

20

30

40

50

光学距離)を合わせるための遅延手段として、また参照光L Rと信号光L Sの分散特性を合わせるための手段として作用している。

【0038】

一方、信号光L Sは、光ファイバ6により導光されてファイバ端から出射され、コリメータレンズ21によって平行光束とされる。平行光束になった信号光L Sは、ガルバノミラー22により反射され、更に、ガルバノミラー23により反射される。

【0039】

ガルバノミラー22、23は、それぞれ回動軸22a、23aを中心に回動される。回動軸22a、23aは、互いに直交するように配設されている。ガルバノミラー22の回動軸22aは、図1の紙面に平行に、かつ、信号光L Sの進行方向に対して所定角度(たとえば45度)を成すようにして配設されている。また、ガルバノミラー23の回動軸23aは、図1の紙面に対して垂直に配設されている。すなわち、ガルバノミラー23は、図1中の両側矢印に示す方向に回動可能とされ、ガルバノミラー22は、当該両側矢印に対して直交する方向に回動可能とされる。それにより、ガルバノミラー22、23は、信号光L Sの反射方向を、互いに直交する方向に変更するようそれぞれ作用する。このガルバノミラー22、23による信号光L Sの具体的な反射態様については後述するものとする。

【0040】

ガルバノミラー23により反射された信号光L Sは、レンズ24によって集光されつつダイクロイックミラー25により反射されて一旦結像し、対物レンズ26を介して被検眼Eに入射する。被検眼Eに入射した信号光L Sは、眼底(網膜)Er上にて結像し反射される。

【0041】

このとき信号光L Sは、眼底Erの表面で反射されるだけでなく、眼底Erの深部領域にも到達して屈折率境界にて散乱される。それにより、信号光L Sの眼底反射光は、眼底Erの表面形態を示す情報と、深部組織の屈折率境界における後方散乱の状態を表す情報とを含んだ光となる。

【0042】

なお、ダイクロイックミラー25は、(近)赤外領域の光を反射し、可視領域の光を透過させるように作用する。

【0043】

眼底Erにて反射された信号光L Sは、対物レンズ26、ダイクロイックミラー25、レンズ24、ガルバノミラー22、23を経由し、コリメータレンズ21によって光ファイバ6のファイバ端に集光される。集光された信号光L Sは、光ファイバ6を通じて光力プラ4に導かれる。

【0044】

光力プラ4は、参照ミラー14にて反射されて戻ってきた参照光L Rと、被検眼Eの眼底Erにて反射されて戻ってきた信号光L Sとを重畳して、干渉光LCを生成する。生成された干渉光LCは、光ファイバ7を通じてスペクトロメータ(分光計)30に導光される。

【0045】

ここで、本発明の「干渉光生成手段」は、少なくとも、光力プラ4、光ファイバ5、6、参照ミラー14を含む干渉計によって構成される。

【0046】

スペクトロメータ30は、コリメータレンズ31、回折格子32、結像レンズ33、CCD(Charge Coupled Device)34を含んで構成される。回折格子32は、透過型回折格子であるが、もちろん反射型回折格子を用いることも可能である。また、CCD34に代えて、任意の光検出素子(検出手段)を使用することも可能である。

【0047】

10

20

30

40

50

スペクトロメータ30に入射した干渉光LCは、コリメータレンズ31により平行光束とされた後、回折格子32によって分光（スペクトル分解）される。分光された干渉光LCは、結像レンズ33によってCCD34の撮像面上に結像される。CCD34は、この干渉光LCを受光し、電気的な検出信号に変換してコンピュータ40に出力する。

【0048】

コンピュータ40は、CCD34から入力される検出信号を解析して、被検眼Eの眼底Erの断層画像を形成する。このときの解析手法は、従来のフーリエドメインOCTの手法と同じである。このコンピュータ40による、本発明に特徴的な断層画像形成処理については後述する。

【0049】

また、コンピュータ40は、光画像計測装置1の各部の制御を行う。たとえば、ガルバノミラー22、23の回動動作の制御や、被検眼Eに対する光画像計測装置1のアライメント機構（図示せず）の動作制御や、低コヒーレンス光源2による低コヒーレンス光の出力制御などを行う。

【0050】

観察装置（撮影装置）50は、たとえばスリットランプ（細隙灯顕微鏡）や眼底カメラなどの、眼科分野にて使用される任意の観察装置及び／又は撮影装置である。この観察装置50は、光画像計測装置1と一体的に設けられていてもよいし、別個に設けられていてもよい。検者は、観察装置50を用いて被検眼Eを観察しながら、被検眼Eに対する光画像計測装置1の手動アライメントを行ったり、計測時における眼底Erの状態の確認を行ったり、眼底Erの撮影を行ったりすることができる。

【0051】

[信号光の走査について]

前述のように、信号光LSは、ガルバノミラー22、23によって反射方向が変更される。ガルバノミラー22、23の反射面の向きをそれぞれ変更することにより、信号光LSを眼底Erの様々な位置に照射することができる。すなわち、眼底Erにおいて信号光LSを走査することができる。ガルバノミラー22、23は、本発明の「走査手段」の一例に相当するものである。

【0052】

図1中に破線で示す信号光LSと、点線で示す信号光LSとは、ガルバノミラー23の向きの変更に対応する、2つの異なる光路を進行する信号光を表している。

【0053】

点線で示す信号光LSは、上記[装置構成]の説明におけるガルバノミラー23の向きが、図1の紙面下方向（-y方向）に或る角度だけ変更されたときの信号光を表している。向き変更前の信号光LSが、眼底Erの略中心位置に集光されているのと比較して、向き変更後の信号光LSは、眼底Erの中心位置から上方（+y方向）に離れた位置に集光されている。この場合、眼底Erにて反射された信号光LSが眼底Erの略中心位置における情報（表面及び深部の情報）を含んだ光となるのに対し、信号光LSの反射光は、眼底中心から+y方向に離れた位置の情報（表面及び深部の情報）を含んだ光となる。

【0054】

したがって、ガルバノミラー23を図1の+y方向に回転させる（つまり、信号光の入射角度を小さくするように反射面の向きを変更させる）ことにより、眼底Erにおける信号光の集光位置を-y方向に移動させることができる。逆に、ガルバノミラー23を-y方向に回転させる（つまり、信号光の入射角度を大きくするように反射面の向きを変更させる）ことにより、眼底Erにおける信号光の集光位置を+y方向に移動させることができる。

【0055】

同様に、ガルバノミラー22を図1の紙面手前側（+x方向）に回転させることにより、眼底Erにおける信号光の集光位置を紙面奥側（-x方向）に移動させることができ、

逆に、ガルバノミラー 22 を -x 方向に回転させることにより、眼底 E_r における信号光の集光位置を +x 方向に移動させることができる。

【0056】

なお、ガルバノミラー 22、23 の双方を同時に回転させることにより、信号光の集光位置を x 方向と y 方向とを合成した方向に移動させることができる。すなわち、2つのガルバノミラー 22、23 をそれぞれ制御することにより、xy 平面上の任意の方向に信号光を走査することができる。

【0057】

[制御系の構成]

本実施形態の光画像計測装置 1 の制御系の構成について説明する。図 2、図 3 に示すブロック図は、それぞれ、光画像計測装置 1 の制御系の構成の一例を表している。図 2 は、光画像計測装置 1 の制御系の機能的構成を表す。また、図 3 は、コンピュータ 40 のハードウェア構成を表す。10

【0058】

[コンピュータのハードウェア構成]

まず、図 3 を参照して、コンピュータ 40 のハードウェア構成について説明する。コンピュータ 40 は、従来のコンピュータと同様のハードウェア構成を備えている。具体的には、CPU 100（等のマイクロプロセッサ）、RAM 101、ROM 102、ハードディスクドライブ（HDD）103、キーボード 104、マウス 105、ディスプレイ 106 及び通信インターフェイス（I/F）107 を含んで構成されている。これら各部は、バス 108 を介して接続されている。20

【0059】

CPU 100 は、ハードディスクドライブ 103 に格納された制御プログラム 103a を RAM 101 上に展開することにより、本発明に特徴的な動作を実行する。なお、この制御プログラム 103a は、本発明の「光画像計測プログラム」の一例に相当するものである。

【0060】

CPU 100 は、装置各部の制御、各種演算処理等を実行する。たとえば、前述した低コヒーレンス光源 2、ガルバノミラー 22、23 の制御に加え、キーボード 104 やマウス 105 からの操作信号に対応する装置各部の制御、ディスプレイ 106 による表示処理の制御、通信インターフェイス 107 によるデータや制御信号等の送受信処理の制御などを実行する。30

【0061】

キーボード 104、マウス 105 及びディスプレイ 106 は、光画像計測装置 1 のユーザインターフェイスとして使用される。キーボード 104 は、文字や数字等をタイピング入力するためのデバイスとして用いられる。マウス 105 は、ディスプレイ 106 の表示画面に対する各種入力操作を行うためのデバイスとして用いられる。

【0062】

また、ディスプレイ 106 は、LCD (Liquid Crystal Display) や CRT (Cathode Ray Tube) 等の任意の表示デバイスであり、光画像計測装置 1 により形成された被検眼 E の画像や、各種の操作画面や設定画面などを表示する。なお、ディスプレイ 106 は、光画像計測装置 1 の筐体外面上に嵌め込まれるようにして配設されていてもよいし、通常のコンピュータが具備するモニタ装置として配設されていてもよい。40

【0063】

なお、光画像計測装置 1 のユーザインターフェイスは、このような構成に限定されるものではなく、たとえば トラックボール、ジョイスティック、タッチパネル式の LCD、眼科検査用のコントロールパネルなど、各種情報を表示出力する機能と、各種情報を入力する機能とを備えた任意のユーザインターフェイス手段によって構成することが可能である。

【0064】

通信インターフェイス107は、CPU100からの制御信号を、低コヒーレンス光源2やガルバノミラー22などの装置各部に送信する処理や、CCD34からの検出信号を受信する処理などを行う。また、コンピュータ40がLAN(Local Area Network)やインターネット等のネットワークに接続されている場合には、通信インターフェイス107に、LANカード等のネットワークアダプタやモデム等の通信機器を具備させて、当該ネットワーク経由のデータ通信を行わせるように構成することが可能である。

【0065】

〔機能的構成〕

10

続いて、図2を参照しつつ、光画像計測装置1の制御系の構成について説明する。

【0066】

光画像計測装置1には、ガルバノミラー22を回転駆動するミラー駆動機構22Aと、ガルバノミラー23を回転駆動するミラー駆動機構23Aとが設けられている。ミラー駆動機構22A、23Aは、それぞれ、従来と同様の構成を備え、ステッピングモータ等の駆動装置と、この駆動装置が発生した動力をガルバノミラー22、23に伝達する動力伝達機構とを具備している。

【0067】

コンピュータ40は、図3に示すハードウェア構成に基づいて、制御部41、画像形成処理部42、位置補正処理部43及びユーザインターフェイス(UI)44を備えた構成になっている。画像形成処理部42及び位置補正処理部43は、各種の画像処理を行う画像処理部45を形成している。この画像処理部45は、本発明の「画像処理手段」の一例に相当するものである。

20

【0068】

制御部41、画像形成処理部42、位置補正処理部43は、それぞれ、制御プログラム103aを実行するCPU100を含んで構成される。また、制御部41は、RAM101、ROM102、HDD103等の記憶装置を含んで構成されている。ユーザインターフェイス44は、キーボード104、マウス105、ディスプレイ106を含んで構成される。

30

【0069】

制御部41は、低コヒーレンス光源2、ミラー駆動機構22A、23Aのそれぞれに対して制御信号を送信する。低コヒーレンス光源2は、制御部41からの制御信号に基づいて、低コヒーレンス光源L0の出力開始/停止の切り換えや、出力強度の調整などを行う。また、ミラー駆動機構22A(ミラー駆動機構23A)は、制御部41からの制御信号に基づいて、ガルバノミラー22(ガルバノミラー23)を駆動して、当該制御信号が要求する角度だけ回転させる。

【0070】

また、制御部41は、CCD34からの検出信号を受けて、画像形成処理部42や位置補正処理部43に提供する処理を行う。更に、制御部44は、ユーザインターフェイス44からの操作信号に基づく装置各部の動作制御や、ユーザインターフェイス44による画像や画面の表示処理の制御を行う。

40

【0071】

画像形成処理部42は、制御部41から提供されるCCD34の検出信号に基づいて、被検眼Eの眼底Erの画像(断層画像)を形成する処理を行う。以下、CCD34の検出信号の取得処理及び画像形成処理部42の処理の具体的な態様の一例について、それぞれ具体的に説明する。

【0072】

(検出信号の取得処理について)

CCD34からの検出信号は、信号光LSの走査に対応して生成される。制御部41は、ガルバノミラー22、23を制御して、眼底Er上における信号光LSの走査点(眼底

50

E_r 上における信号光 L_S の入射目標位置（集光目標位置）を順次移動させる。同時に、低コヒーレンス光源 L_0 を制御して、低コヒーレンス光 L_0 の出力／停止を所定のタイミング（走査点の移動に同期されている。）連続的に切り換える。それにより、信号光 L_S は、眼底 E_r 上の複数の走査点に順次集光され、その深部組織に入射するように走査される。

【0073】

信号光 L_S の走査態様の一例を図4に示す。図4(A)は、眼底 E_r を信号光 L_S の入射側(-z方向)から見たときの信号光 L_S の走査態様の一例を表す。また、図4(B)は、各走査線上の走査点の配列態様の一例を表す。

【0074】

図4(A)に示すように、信号光 L_S は、あらかじめ設定された矩形の走査領域 R 内を走査される。この走査領域 R 内には、-x方向に複数(m 本)の走査線 $R_1 \sim R_m$ が設定されている。各走査線 R_i ($i = 1 \sim m$) に沿って信号光 L_S が走査されるときに、干渉光 L_C の検出信号が生成される(後述)。

【0075】

ここで、各走査線 R_i の方向を「主走査方向」と呼び、それに直交する方向を「副走査方向」と呼ぶことにする。したがって、信号光 L_S の主走査方向への走査はガルバノミラー22によって為され、副走査方向への走査はガルバノミラー23によって為されることになる。

【0076】

各走査線 R_i 上には、図4(B)に示すように、複数(n 個)の走査点 $R_{i1} \sim R_{in}$ があらかじめ設定されている。

【0077】

制御部41は、まず、ガルバノミラー22、23を制御して、信号光 L_S の入射目標を第1の走査線 R_1 上の走査開始位置 R_S (走査点 R_{11}) に設定する。低コヒーレンス光源 L_0 を制御して低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させて、走査開始位置 R_S に信号光 L_S を入射させる。CCD34は、その反射光に基づく干渉光 L_C を受光して検出信号を制御部41に出力する。

【0078】

次に、制御部41は、ガルバノミラー22を制御して、信号光 L_S の入射目標を走査点 R_{12} に設定するとともに、低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させて走査点 R_{12} に信号光 L_S を入射させる。CCD34は、その反射光に基づく干渉光 L_C を受光して検出信号を出力する。

【0079】

同様に、信号光 L_S の入射目標を走査点 $R_{13}, R_{14}, \dots, R_{1(n-1)}, R_{1n}$ と順次移動させつつ、各走査点において低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させてCCD34からの検出信号を取得する。

【0080】

第1の走査線 R_1 の最後の走査点 R_{1n} における計測が終了したら、制御部41は、ガルバノミラー22、23を同時に制御し、信号光 L_S の入射目標を、線換え走査 r に沿って第2の走査線 R_2 の最初の走査点 R_{21} まで移動させる。そして、この第2の走査線 R_2 の各走査点 R_{2j} ($j = 1 \sim n$) における計測を同様に行い、各走査点 R_{2j} に対応する検出信号をそれぞれ取得する。

【0081】

同様に、第3の走査線 R_3, \dots, R_{m-1} の走査線 $R_{(m-1)}$ 、第 m の走査線 R_m のそれについて計測を行い、各走査点に対応する検出信号を取得する。それにより、制御部41は、走査領域 R 内の $m \times n$ 個の走査点 R_{ij} ($i = 1 \sim m, j = 1 \sim n$) に対応する $m \times n$ 個の検出信号を取得する。以下、走査点 R_{ij} に対応する検出信号を D_{ij} と表すことがある。

【0082】

10

20

30

40

50

以上のような走査点の移動と低コヒーレンス光 L_0 の出力との連動制御は、たとえば、ミラー駆動機構 22A、23A に対する制御信号の送信タイミングと、低コヒーレンス光源 2 に対する制御信号（出力要求信号）の送信タイミングとを互いに同期させることによって行う。

【0083】

（画像形成処理について）

画像形成処理部 42 は、従来と同様に、2 段階の演算処理を行うことで各走査線 R_i に沿った眼底 E_r の断層画像を形成する。第1段階の演算処理では、画像形成処理部 42 は、各走査点 R_{ij} に対応する検出信号 D_{ij} に基づいて、その走査点 R_{ij} における眼底 E_r の深度方向（図 1 に示す z 方向）の画像を形成する。また、第2段階の演算処理では、各走査線 R_i について、その上の n 個の走査点 $R_{i1} \sim R_{in}$ における深度方向の画像に基づき、当該走査線 R_i に沿った眼底 E_r の断層画像を形成する。

【0084】

すなわち、第1段階は、主走査方向（走査線 R_i の方向）に沿った信号光 L_S の n 個の入射位置（走査点 R_{ij} ）のそれぞれについて、その入射位置を経由した信号光 L_S と参照光 L_R とから生成される干渉光 L_C に基づく検出信号 D_{ij} に基づき、その入射位置における眼底 E_r の深度方向（ z 方向）の画像を形成する演算処理である。また、第2段階は、第1段階で形成された各入射位置の画像に基づいて、主走査方向に沿った断層画像を形成する演算処理である。それにより、副走査方向（ y 方向）の異なる位置における m 個の断層画像が得られる。

【0085】

また、画像形成処理部 42 は、上記演算処理により得られた m 個の断層画像に基づいて、眼底 E_r の表面形態及び内部形態を表す 3 次元画像の形成処理を行う。この 3 次元画像形成処理は、たとえば隣接する断層画像間の補間処理を行うなどの従来と同様の手法で行うことができる。

【0086】

なお、画像形成処理部 42 は、主走査方向（走査線 R_i の方向； x 方向）以外の方向の断層画像を形成することも可能である。特に、本実施形態においては、図 5 に示す戻し走査線 R_R に沿った眼底 E_r の断層画像（図 6 の補正用断層画像 G_R ）が重要となる。

【0087】

戻し走査線 R_R は、走査終了位置 R_E から走査開始位置 R_S へ向かう方向の信号光 L_S の入射位置（走査点）の走査に対応するものである。また、戻し走査線 R_R に沿った補正用断層画像 G_R は、後述の断層画像位置補正処理において、各走査線 R_i に沿った断層画像 G_i （図 6 参照）の位置を補正するために用いられる。

【0088】

戻し走査線 R_R 上には、図 4 (B) の走査線 R_i と同様に、複数 (n 個) の走査点 R_{Rk} ($k = 1 \sim n$) があらかじめ設定される。この戻し走査線 R_R 上の走査点 R_{Rk} の個数 (n) は、主走査方向の各走査線 R_i 上の走査点の個数 (n) と同じであっても異なっていてもよい。なお、戻し走査線 R_R 上の走査点の間隔 ($= |R_{R(k+1)} - R_{Rk}|$; $k = 1 \sim n - 1$) と、各走査線 R_i 上の走査点の間隔 ($= |R_{i(j+1)} - R_{ij}|$; $j = 1 \sim n - 1$) とは、互いに等しいか、若しくは同程度に設定されることが望ましい。

【0089】

戻し走査線 R_R は、図 6 に示すように、各走査線 R_i と交差位置 C_i において交わる。ここで、走査時における被検眼 E の動きに起因する走査線 R_i のずれが無いものと仮定すると、戻し走査線 R_R と走査線 R_1 との交差位置 C_1 は走査開始位置 R_S であり、戻し走査線 R_R と走査線 R_m との交差位置 C_m は走査終了位置 R_E である。

【0090】

なお、図 6 に示す画像 G_{mj} は、走査線 R_m 上の走査点 R_{mj} における深度方向 (z 方向) の画像を表している。同様に、前述の第1段階の演算処理において形成される、各走

10

20

30

40

50

査線 R_i 上の各走査点 R_{i,j} における深度方向の画像を、「画像 G_{i,j}」と表すことがある。また、戻し走査線 R_R 上の各走査点 R_{R,k} における深度方向の画像を、「画像 G_{R,k}」と表すことがある。

【0091】

(断層画像位置補正処理について)

信号光 L_S の走査中に被検眼 E が動くと、走査線 R₁ ~ R_m は、図 4 ~ 図 6 に示したように矩形の走査領域 R 内に整列された形態にはならず、図 7 に示すように互いの位置がずれてしまう。すると、実際の走査領域 R₁ は、あらかじめ設定された走査領域 R (図 4 (A)、図 5 参照) とは異なったものとなり、得られる画像の確度が劣化してしまう。特に、被検眼 E は、心臓の拍動によって z 方向 (深度方向) に動いてしまうことが多いため、走査線 R₁ ~ R_m の位置の z 方向へのずれが問題視されることが多い。

【0092】

なお、1つの走査線 R_i に沿った走査中に被検眼 E が動いた場合には、この走査線 R_i 上の走査点 R_{i,j} の間にもずれが生じる。本実施形態では、このような走査点間のずれも「走査線のずれ」と表現することにする。なお、1つの走査線 R_i 上を走査中に被検眼 E が動いた場合、その走査線 R_i は図 4 等のような直線状にはならない。

【0093】

位置補正処理部 43 は、画像形成処理部 42 により生成された眼底 E_r の 3 次元画像に基づいて、戻し走査線 R_R に沿った新たな断層画像 (比較用断層画像と呼ぶこと) を形成する。このような、3 次元画像の任意断面の断層画像を形成するための処理は、従来と同様の手法を用いることができる。

【0094】

たとえば、位置補正処理部 43 は、次のようにして比較用断層画像を形成する：(1) 3 次元画像の断面方向を設定する；(2) 3 次元画像の元になった各断層画像 (本例では断層画像 G₁ ~ G_m のそれぞれ) と、当該断面方向との交差位置を求める；(3) 各断層画像の当該交差位置における深度方向の画像を求める；(4) 各断層画像の深度方向の画像をつなげて比較用断層画像を形成する。なお、(4) の処理において、必要があれば、隣接する断層画像の深度方向の画像の間を補間する画像処理を行う。

【0095】

図 8 は、走査を行っている間に走査線 R₁ ~ R_m の位置が (少なくとも) z 方向にずれた場合において、位置補正処理部 43 により形成される比較用断層画像の一例を表している。同図に示す比較用断層画像 G_C は、表面形態が比較的滑らかな眼底を測定して得られた画像であるが、戻し走査線 R_R 方向に配列する深度方向の画像が z 方向にずれてしまっている。

【0096】

また、図 9 は、図 8 と同じ眼底について得られた補正用断層画像 G_R の一例を表している。補正用断層画像 G_R は、走査終了位置 R_E から走査開始位置 R_S までの直線的な走査によって一度に取得されたデータ (検出信号群) に基づいて形成されるので、走査に掛かる時間は非常に短時間である。図 9 に示す補正用断層画像 G_R においても、戻し走査線 R_R 方向に配列する深度方向の画像の z 方向へのずれは、ほとんど無い。

【0097】

位置補正処理部 43 は、このような比較用断層画像 G_C と補正用断層画像 G_R とを比較することにより、各断層画像 G_i の位置を補正する。この位置補正処理は、たとえば、正規化相関による画像の位置合わせ (マッチング) 法や、画像の特徴部分の位置を一致させることによる画像マッチング法などの、一般的な画像マッチングの手法を用いて行うことができる。

【0098】

なお、位置補正処理部 43 による画像マッチングの手法は、これらに限定されるものではなく、平行移動の関係にある 2 つの画像の位置を合わせることが可能な任意の手法を適用することができる。

10

20

30

40

50

【0099】

(正規化相関による手法)

正規化相関の手法を用いる場合、位置補正処理部43は、比較用断層画像GCを形成する深度方向の画像について、その深度方向の画像を1画素単位でずらしながら、補正用断層画像GRの対応位置における深度方向の画像との間の正規化相関の相関値を逐次算出する。

【0100】

更に、この相関値の値が最大になるときの当該深度方向の画像の変位量(ずらした画素数)ziを求める。この変位量ziを、当該深度方向の画像の位置(走査点Rijとする。)に対応する走査線Riに沿った断層画像Giの、z方向への補正量として採用する。

【0101】

この処理を、比較用断層画像GCを形成する各深度方向の画像ごとに行う。なお、補間処理を行って比較用断層画像GCを形成した場合には、各走査線Riと戻し走査線RRとの交点位置に対応する深度方向の画像についてのみ、当該処理を実行すれば十分である。

【0102】

図10は、図8の比較用断層画像GC及び図9の補正用断層画像GRに対して、正規化相関による手法を用いたときの、比較用断層画像GCの補正後の形態を表している。この図10の比較用断層画像GCを図8と比較すると、深度方向の画像のz方向へのずれが良好に補正されていることが見て取れる。したがって、補正後の各深度方向の画像の位置(走査点Rij)に対応する走査線Riの断層画像Giのz方向へのずれが好適に補正される。

【0103】

なお、上記では比較用断層画像GCをずらしていったが、補正用断層画像GCをずらすようにしてもよい。ただし、その場合には、断層画像Giの補正量として、変位量ziの符号を逆にしたもの(つまり、-zi)を採用することになる。

【0104】

(特徴部分を一致させる手法)

特徴部分を一致させる手法を用いる場合、位置補正処理部43は、比較用断層画像GCを形成する深度方向の画像の特徴部分と、補正用断層画像GRの対応位置における深度方向の画像の(同じ)特徴部分とをそれぞれ抽出する。

【0105】

抽出対象の特徴部分は、その抽出方法等によってあらかじめ設定されている。ここでは、眼底Erの表面に相当する部分を抽出対象の特徴部分として設定する。その抽出方法の一例を説明する。

図8に示す比較用断層画像GCの特徴部分(眼底表面相当部分)を抽出する場合について説明する。なお、この比較用断層画像GCは、ユーザインターフェイス44のディスプレイ106の画面上に表示される。その表示様式は、眼底Erの表面に相当する部分を画面上方に表示し、眼底Erの深層部分に相当する部分を画面下方に表示するようになっている(図8中のz座標の向きを参照)。

【0106】

また、ディスプレイ106の画面の背景領域の画素値は0とされ、比較用断層画像GCは、この背景領域上における輝度の階調画像(たとえば256階調の輝度(画素値)からなる画像)として表示される。

【0107】

位置補正処理部43は、この比較用断層画像GCの表示画面における画素の各縦ラインについて、画面上方から下方に向かって各画素の画素値を参照していく。背景領域の画素値は0であるので、画面上方からしばらくは「画素値0」が続くことになる。更に下方に向かって画素値を参照して、画素値が0から正值に切り替わる画素を見つける。

【0108】

10

20

30

40

50

この画素値が初めて正値になった画素の座標値を、当該縦ラインにおける眼底表面相当部分の座標値として、制御部41の記憶装置（RAM101、ハードディスクドライブ103等）に保存する。なお、保存する画素の座標値の座標系は、前述のx y z座標系を用いてもよいし、画面上に設定された2次元座標系を用いてもよい。

【0109】

なお、縦ラインの最下部の画素まで全てが画素値0だった場合、その縦ラインについては画像が無いものと判断する。

【0110】

位置補正処理部43は、同様の処理を比較用断層画像GCの表示画面における画素の各縦ラインについて行う。それにより、比較用断層画像GCにおける眼底表面相当部分を抽出することができる。
10

【0111】

また、位置補正処理部43は、同様の処理を補正用断層画像GRに施して、補正用断層画像GRにおける眼底表面相当部分を抽出する。

【0112】

更に、位置補正処理部43は、表示画面の画素の各縦ラインについて、比較用断層画像GCの眼底表面相当部分の画素を1画素単位でずらしながら、補正用断層画像GRの眼底表面相当部分の画素との間の相関値（任意の相関値を適宜使用できる。）を逐次算出する。
20

【0113】

そして、この相関値の値が最大になるときの画素の変位量（ずらした画素数）を求める。この変位量を、当該縦ラインに対応する走査線Riに沿った断層画像Giの、z方向への補正量として採用する。

【0114】

図11は、図8の比較用断層画像GC及び図9の補正用断層画像GRに対して、眼底表面相当部分を一致させる手法を用いたときの、比較用断層画像GCの補正後の形態を表している。この図11の比較用断層画像GCを図8と比較すると、眼底表面相当部分の形状が平坦になり、深度方向の画像のz方向へのずれが良好に補正されていることが見て取れる。したがって、補正後の各深度方向の画像の位置（走査点Rij）に対応する走査線Riの断層画像Giのz方向へのずれが好適に補正される。
30

【0115】

また、上記では比較用断層画像GCをずらしていくが、補正用断層画像GCをずらすようにしてもよい。ただし、その場合には、断層画像Giの補正量として、上記変位量の符号を逆にしたものを探用することになる。

【0116】

また、眼底表面相当部分以外の特徴部分を用いることも可能である。たとえば、比較用断層画像GC及び補正用断層画像GRに病変部（と見られる部位）がある場合に、その病変部を特徴部分として用いることができる。それにより、病変部及びその周辺の画像の位置合わせの精度が向上し、この病変部の所見、診断の正確性向上を期待できる。

【0117】

[動作]

以上のような構成を具備する本実施形態の光画像計測装置1の動作について説明する。図12に示すフローチャートは、光画像計測装置1の動作の一例を表すものである。

【0118】

ユーザがコンピュータ40のユーザインターフェイス44を操作して計測開始を指示すると（S1）、制御部41は、ミラー駆動機構22A、23Aをそれぞれ制御して、信号光LSの入射位置が走査開始位置RSになるように、ガルバノミラー22、23の向きをそれぞれ調整する（S2）。

【0119】

次に、制御部41は、低コヒーレンス光源2を制御して、低コヒーレンス光L0を出力
50

させる(S 3)とともに、ミラー駆動機構 2 2 A 、 2 3 A を制御して、図 4 に示したように眼底 E r に設定された複数の走査線 R i 上の各走査点 R i j を信号光 L S で走査する(S 4)。スペクトロメータ 3 0 の C C D 3 4 は、各走査点 R i j にて反射された信号光 L S と参照光 L R とからなる干渉光 L C を受光して検出信号 D i j を出力する(S 5)。

【 0 1 2 0 】

走査終了位置 R E まで走査が完了したら、制御部 4 1 は、ミラー駆動機構 2 2 A 、 2 3 A を制御し、信号光 L S を戻し走査線 R R に沿って走査する(S 6)。C C D 3 4 は、戻し走査線 R R 上の各走査点 R R k に対応する干渉光 L C を受光して、検出信号 D k を出力する(S 7)。

【 0 1 2 1 】

コンピュータ 4 0 の画像形成処理部 4 2 は、ステップ S 5 で出力された各走査点 R i j に対応する検出信号 D i j に基づいて、走査点 R i j における眼底 E r の深度方向の画像 G i j を形成し(S 8)、各走査線 R i 上の走査点 R i 1 ~ R i n における画像 G i 1 ~ G i n に基づいて、各走査線 R i に沿った眼底 E r の断層画像 G i を形成し(S 9)、形成された断層画像 G 1 ~ G m に基づいて眼底 E r の 3 次元画像を形成する(S 1 0)。

【 0 1 2 2 】

また、画像形成処理部 4 2 は、ステップ S 7 で出力された戻し走査線 R R 上の各走査点 R R k に対応する検出信号 D k に基づいて、走査点 R R k における眼底 E r の深度方向の画像 G R k を形成し(S 1 1)、形成された画像 G R 1 ~ G R n に基づいて、戻し走査線 R R に沿った眼底 E r の断層画像(補正用断層画像 G R)を形成する(S 1 2)。

【 0 1 2 3 】

続いて、位置補正処理部 4 3 は、ステップ S 1 0 で形成された眼底 E r の 3 次元画像に基づいて、戻し走査線 R R に沿った比較用断層画像 G C を形成し(S 1 3)、この比較用断層画像 G C と、ステップ S 1 2 で形成された補正用断層画像 G R とに基づいて、断層画像 G 1 ~ G m のそれぞれの位置を補正する(S 1 4)。

【 0 1 2 4 】

画像形成処理部 4 2 は、位置が補正された断層画像 G 1 ~ G m に基づいて、眼底 E r の 3 次元画像を形成する(S 1 5)。

【 0 1 2 5 】

[作用・効果]

以上のような本実施形態に係る光画像計測装置 1 によれば、次のような作用、効果が奏される。

【 0 1 2 6 】

光画像計測装置 1 は、低コヒーレンス光源 2 から出力された低コヒーレンス光 L 0 を被検眼 E に向かう信号光 L S と参照ミラー 1 4 に向かう参照光 L R とに分割し、被検眼 E の眼底 E r にて反射された信号光 L S と参照ミラー L R にて反射された参照光 L R とを重畠させて干渉光 L C を生成し、この干渉光 L C を受光した C C D 3 4 が検出信号を出力するものである。

【 0 1 2 7 】

また、この光画像計測装置 1 は、被検眼 E に対する信号光 L S の入射位置を主走査方向(x 方向)及び副走査方向(y 方向)に走査するガルバノミラー 2 2 、 2 3 を備えている。更に、主走査方向に沿った複数の入射位置(n 個の走査点 R i 1 ~ R i n ; i = 1 ~ m)のそれぞれについて、その入射位置にて反射された信号光 L S と参照光 L R とから生成される干渉光 L C に基づく検出信号に基づいて当該入射位置における被検眼 E の眼底 E r の深度方向(z 方向)の画像を形成し、この各入射位置の画像に基づいて主走査方向に沿った断層画像を形成することにより、副走査方向の異なる位置における 2 以上の断層画像(m 個の断層画像 G i ; i = 1 ~ m)を形成するコンピュータ 4 0 (画像形成処理部 4 2)を備えている。ここまででは、従来の光画像計測装置 1 と同様の構成となっている。

【 0 1 2 8 】

本実施形態の特徴は、ガルバノミラー 2 2 、 2 3 が、主走査方向と交差する所定の方向

10

20

30

40

50

(戻し走査線 R R の方向)に信号光 L S を走査し、コンピュータ 4 0 の画像形成処理部 4 2 が、この所定の方向に沿った補正用断層画像 G R を形成し、位置補正処理部 4 3 が、この補正用断層画像 G R に基づいて、画像形成処理部 4 2 が形成した 2 以上の断層画像 (m 個の断層画像 G i ; i = 1 ~ m) のそれぞれの位置ずれを補正するように構成されている点である。

【 0 1 2 9 】

ここで、補正用断層画像 G R は、m 個の断層画像 G i の全てと交差するように、その方向があらかじめ設定されている。なお、断層画像 G i を形成するための走査時と、補正用断層画像 G R を形成するための走査時とで被検眼 E の位置が違う（つまり被検眼 E が動いてしまった）場合でも、補正用断層画像 G R は、断層画像 G i の近傍領域と交差する。したがって、この補正用断層画像 G R は、各断層画像 G i の位置（特に深度方向の位置）を反映したものとなる。本発明の「所定の方向」は、m 個の断層画像 G i の全てと交差するような方向とすることが望ましい。

【 0 1 3 0 】

以上のような特徴を具備する本実施形態に係る光画像計測装置 1 によれば、光ビーム（信号光 L S ）の走査中に被測定物体が動いてしまった場合であっても、それに起因する各断層画像 G i の位置ずれを、戻し走査線 R R に沿った補正用断層画像 G R を用いて補正することができるので、確度の高い画像を形成することが可能である。

【 0 1 3 1 】

本実施形態の更なる特徴として、ガルバノミラー 2 2 は、断層画像 G i を形成するときには、主走査方向の一定の向きに信号光 L S の入射位置を走査し、補正用断層画像 G R を形成するときには、この走査の終了位置 R E から開始位置 R S に向かう戻し走査線 R R に沿って信号光 L S の入射位置を走査するように制御される点がある。

【 0 1 3 2 】

それにより、断層画像 G i を形成するための走査の終了後、迅速に補正用断層画像 G R を形成するための走査に移行することができる。なお、補正用断層画像 G R を形成するための走査は、1 走査線のみの走査であるので、極めて短時間で行うことができる。したがって、光画像計測装置 1 による走査時間は従来とほぼ同じであり、被検者に掛かる負担が増大することもない。

【 0 1 3 3 】

なお、断層画像 G i を形成するための走査の前に、補正用断層画像 G R を形成するための走査を実施することもできるが、その場合にも、補正用断層画像 G R を形成するための走査の終了後迅速に、断層画像 G i を形成するための走査に移行することができる。

【 0 1 3 4 】

また、本実施形態に係る光画像計測装置 1 は、m 個の断層画像 G i のそれぞれの深度方向 (z 方向) の位置ずれを補正するようになっている。深度方向の位置ずれは、心臓の拍動による血流の変化に起因する場合や、被検者が頭を前後に動かしてしまった場合などがあるが、本実施形態では、このような位置ずれを好適に補正することができる。

【 0 1 3 5 】

また、本実施形態に係る光画像計測装置 1 は、各断層画像 G i について、補正用断層画像 G R との交差位置 C i における深度方向の画像の位置を、この交差位置 C i における補正用断層画像 G R の深度方向の画像の位置に合わせることによって、当該断層画像 G i の深度方向の位置ずれを補正するようになっている。また、補正用断層画像 G R は、前述のように、各断層画像 G i の深度方向の位置を反映している。それにより、本実施形態によれば、この補正用断層画像 G R に基づいて、各断層画像 G i の深度方向の位置を良好に補正することができる。

【 0 1 3 6 】

また、本実施形態に係る光画像計測装置 1 による各断層画像 G i の深度方向の位置ずれの補正是、交差位置 C i における断層画像 G i の深度方向の画像と補正用断層画像 G R の深度方向の画像との正規化相関の相関値が最大となるように、断層画像 G i を深度方向に

10

20

30

40

50

移動させて行うようになっている。したがって、各断層画像 G_i の位置ずれを高い確度で行うことができる。

【0137】

また、各断層画像 G_i の深度方向の位置ずれ補正の他の例として、交差位置 C_i における断層画像 G_i の深度方向の画像の特徴部分と補正用断層画像 G_R の深度方向の画像の特徴部分とを一致させるように、断層画像 G_i を深度方向に移動させることもできる。この特徴部分は、各画像 G_i 、 G_R のたとえば眼底 E_r の表面に相当する部分とされる。このような補正処理によっても、各断層画像 G_i の位置ずれを高い確度で行うことが可能である。

【0138】

また、本実施形態に係る光画像計測装置 1 は、 m 個の断層画像 G_i に基づいて眼底 E_r の 3 次元画像を形成し、この 3 次元画像に基づいて所定の方向（戻し走査線 R_R の方向）に沿った比較用断層画像 G_C を形成し、補正用断層画像 G_R に対する比較用断層画像 G_C の変位に基づいて、各断層画像 G_i の位置ずれを補正するように構成されている。このような比較用断層画像 G_C を用いることにより、各断層画像 G_i の位置ずれ（変位）を高い確度で取得することができる。

【0139】

[変形例]

以上に説明した構成は、本発明を好適に実施するための一具体例に過ぎない。したがって、たとえば以下に示すような、本発明の要旨の範囲内における任意の変形を適宜施すことが可能である。

【0140】

補正用断層画像は、上記実施形態の補正用断層画像 G_R に限定されるものではない。本発明に係る補正用断層画像は、位置ずれの補正対象となる断層画像の全てと交差するものであれば十分である。

【0141】

また、補正用断層画像は、上記実施形態のように单一平面からなるものだけでなく、ガルバノミラー 22、23 の適当な制御により、複数の平面若しくは曲面からなるものであってもよい。

【0142】

断層画像の位置ずれ補正の手法は、上記実施形態で説明した正規化相関の手法や特徴部分を一致させる手法には限定されず、断層画像の少なくとも平行移動を補正することが可能な手法であれば任意の手法を適用することが可能である。

【0143】

また、上記実施形態のように、2 以上の断層画像から 3 次元画像を形成し、その 3 次元画像の断面である比較用断層画像を形成するとともに、補正用断層画像に対する比較用断層画像の変位に基づいて断層画像の位置ずれを補正する手法以外の手法を用いることができる。たとえば、2 以上の断層画像のそれぞれについて、断層画像及び補正用断層画像の双方の走査点をそれらの交差位置に設定し、その走査点における両者の深度方向の画像を比較することにより、当該断層画像の位置ずれを補正することができる。

【0144】

また、断層画像の位置ずれ補正是、深度方向（ z 方向）だけでなく、 x 方向や y 方向にも実施することができる。以下、そのための補正手法の一例を説明する。

【0145】

各断層画像と補正用断層画像との交差位置について、適当なサイズの近傍領域をあらかじめ設定しておく。この近傍領域は、たとえば当該交差位置を中心とする所定の半径の円に設定することができる。

【0146】

2 以上の断層画像から形成された 3 次元画像から、この近傍領域を表面とする深さ方向の 3 次元画像（上記例では円柱状の画像になる。）を抽出する。次に、当該交差位置にお

10

20

30

40

50

ける補正用断層画像の深さ方向の画像に対する一致の度合いが最も高いものを、当該近傍領域内の各点における深さ方向の画像から選択する。この一致の度合いの判断は、たとえば前述の正規化相関等の従来の手法を用いることができる。

【0147】

選択された深さ方向の画像のx座標、y座標を取得し、当該交差位置のx座標、y座標からの変位をそれぞれ算出する。この変位は、当該断層画像のx方向、y方向への変位を表すので、これらを用いて当該断層画像の位置ずれを補正する。

【0148】

上記実施形態においては、被測定物体として人眼の眼底を適用したが、本発明は、生体の任意の部位（光画像計測装置により計測可能な部位に限る。）に適用することが可能である。10

【0149】

また、上記実施形態においては、被測定物体による反射光を用いてその被測定物体の表面形態や内部形態を計測する構成の光画像計測装置について説明したが、被測定物体を透過した光を用いてその表面形態や内部形態を計測する構成の光画像計測装置に対しても、本発明を適用することが可能である。

【0150】

第2の実施形態

次に、本発明に係る眼底観察装置及び眼底観察プログラムの好適な実施形態の一例を説明する。20

【0151】

最初に、本実施形態の眼底観察装置の構成について図13～図17を参照して説明する。図13は、本実施形態に係る眼底観察装置1000の全体構成を表している。図14は、眼底カメラユニット1000A内の走査ユニット1141の構成を表している。図15は、OCTユニット1150の構成を表している。図16は、コンピュータ1200のハードウェア構成を表している。図17は、眼底観察装置1000の制御系の構成を表している。

【0152】

[全体構成]

図13に示すように、眼底観察装置1000は、眼底カメラとして機能する眼底カメラユニット1000Aと、光画像計測装置（OCT装置）の光学系を格納したOCTユニット1150と、各種制御処理などを実行するコンピュータ1200を含んで構成されている。30

【0153】

この眼底カメラユニット1000Aは、本発明の「第1の画像形成手段」の一例に相当する。また、OCTユニット1150及びコンピュータ1200（の画像処理部1220）は、本発明の「第2の画像形成手段」の一例に相当する。なお、この「第2の画像形成手段」には、眼底カメラユニット1000Aに設けられた走査ユニット1141も含まれる。

【0154】

OCTユニット1150には、接続線1152の一端が取り付けられている。この接続線1152の他端には、コネクタ部1151が取り付けられている。このコネクタ部1151は、眼底カメラユニット1000Aの筐体に形成された装着部1008cに装着される。また、接続線1152の内部には光ファイバが導通されている。OCTユニット1150と眼底カメラユニット1000Aとは、接続線1152を介して光学的に接続されている。OCTユニット1150の詳細構成については、図15を参照しつつ後述することにする。40

【0155】

[眼底カメラユニットの構成]

眼底カメラユニット1000Aは、従来の眼底カメラとほぼ同様の外観構成を有してい50

る。また、この眼底カメラユニット 1000A は、従来の眼底カメラの光学系と同様に、被検眼 E の眼底 Ef を照明する照明光学系 1100 と、この照明光の眼底反射光を接眼レンズ部（図示せず）や撮像装置 1010 や OCT ユニット 1150 に導く撮影光学系 1120 とを備えている。

【0156】

照明光学系 1100 は、従来と同様に、ハロゲンランプ 1101、コンデンサレンズ 1102、キセノンランプ 1103、コンデンサレンズ 1104、エキサイタフィルタ 1105 及び 1106、リング透光板 1107、ミラー 1108、液晶表示器 1109、照明絞り 1110、リレーレンズ 1111、孔開きミラー 1112、対物レンズ 1113 を含んで構成される。10

【0157】

また、撮影光学系 1120 についても、従来と同様に、対物レンズ 1113、孔開きミラー 1112（の孔部 1112a）、撮影絞り 1121、バリアフィルタ 1122 及び 1123、変倍レンズ 1124、リレーレンズ 1125、撮影レンズ 1126、クイックリターンミラー 1127、フィールドレンズ（視野レンズ）1128、切換ミラー 1129、接眼レンズ 1130、リレーレンズ 1131、反射ミラー 1132、撮影レンズ 1133 及び撮像素子 1010a を含んで構成される。

【0158】

撮像素子 1010a は、テレビカメラ等の撮像装置 1010 に内蔵された CCD 等の撮像素子である。撮像装置 1010 によって撮影された眼底 Ef の表面の 2 次元画像（眼底画像 Ef ）は、タッチパネルモニタ 1011 や、コンピュータ 1200 のディスプレイ（後述）などの表示装置に表示される。20

【0159】

また、本実施形態の撮影光学系 1120 には、走査ユニット 1141 と、レンズ 1142 とが設けられている。走査ユニット 1141 は、OCT ユニット 1150 から出力される光（信号光 LS；後述する。）を眼底 Ef 上において走査する構成を具備している。

【0160】

レンズ 1142 は、OCT ユニット 1150 からの信号光 LS を平行な光束にして走査ユニット 1141 に入射させる。また、レンズ 1142 は、走査ユニット 1141 を経由してきた信号光 LS の眼底反射光を集束させるように作用する。30

【0161】

図 14 に、走査ユニット 1141 の具体的構成の一例を示す。走査ユニット 1141 は、ガルバノミラー 1141A、1141B と、反射ミラー 1141C、1141D とを含んで構成されている。

【0162】

ガルバノミラー 1141A、1141B は、それぞれ回動軸 1141a、1141b を中心に回動可能とされている。回動軸 1141a、1141b は、互いに直交するように配設されている。図 14 においては、ガルバノミラー 1141A の回動軸 1141a は、同図の紙面に平行に配設されており、ガルバノミラー 1141B の回動軸 1141b は、同図の紙面に対して垂直に配設されている。すなわち、ガルバノミラー 1141B は、図 14 中の両側矢印に示す方向に回動可能とされ、ガルバノミラー 1141A は、当該両側矢印に対して直交する方向に回動可能とされている。それにより、この一対のガルバノミラー 1141A、1141B は、信号光 LS の反射方向を互いに直交する方向に変更するようにそれぞれ作用する。なお、ガルバノミラー 1141A、1141B のそれぞれの回動動作は、後述の駆動機構によって駆動される。40

【0163】

ガルバノミラー 1141A、1141B により反射された信号光 LS は、反射ミラー 1141C、1141D により反射され、ガルバノミラー 1141A に入射したときと同一の向きに進行するようになっている。

【0164】

10

20

30

40

50

なお、前述のように、接続線 1152 の内部には光ファイバ 1152a が導通されており、この光ファイバ 1152a の端面 1152b は、レンズ 1142 に対峙して配設される。この端面 1152b から出射した信号光 LS は、レンズ 1142 に向かってビーム径を拡大しつつ進行するが、このレンズ 1142 によって平行な光束とされる。逆に、信号光 LS の眼底反射光は、このレンズ 1142 により、端面 1152b に向けて集束される。

【0165】

[OCTユニットの構成]

次に、図15を参照しつつOCTユニット1150の構成について説明する。同図に示すOCTユニット1150は、従来の光画像計測装置とほぼ同様の光学系を有するものであり、光源から出力された光を参照光と信号光とに分割し、参照物体を経由した参照光と被測定物体(眼底Ef)を経由した信号光とを重畠して干渉光を生成する干渉計を具備するとともに、この干渉光の検出結果を解析して被測定物体の画像を形成するように構成されている。

【0166】

低コヒーレンス光源 1160 は、低コヒーレンス光 L0 を出力するスーパールミネントダイオード(SLD)や発光ダイオード(LED)等の広帯域光源により構成されている。この低コヒーレンス光 L0 は、たとえば、近赤外領域の波長を有し、かつ、数十マイクロメートル程度の時間的コヒーレンス長を有する光とされる。

【0167】

低コヒーレンス光源 1160 から出力された低コヒーレンス光 L0 は、たとえばシングルモードファイバからなる光ファイバ 1161 を通じて光カプラ(coupler)1162 に導かれ、参照光 LR と信号光 LS とに分割される。

【0168】

なお、光カプラ 1162 は、光を分割する手段(スプリッタ; splitter)、及び、光を重畠する手段(カプラ)の双方の作用を有するが、ここでは慣用的に「光カプラ」と称することにする。

【0169】

参照光 LR は、光ファイバ 1163 により導光されてファイバ端面から出射される。出射された参照光 LR は、コリメータレンズ 1171 により平行光束とされた後、ガラスブロック 1172 及び濃度フィルタ 1173 を経由し、参照ミラー 1174(参照物体)によって反射される。

【0170】

参照ミラー 1174 により反射された参照光 LR は、再び濃度フィルタ 1173 及びガラスブロック 1172 を経由し、コリメータレンズ 1171 によって光ファイバ 1163 のファイバ端面に集光される。集光された参照光 LR は、光ファイバ 1163 を通じて光カプラ 1162 に導かれる。

【0171】

なお、ガラスブロック 1172 と濃度フィルタ 1173 は、参照光 LR と信号光 LS の光路長(光学距離)を合わせるための遅延手段として、また参照光 LR と信号光 LS の分散特性を合わせるための手段として作用している。

【0172】

一方、信号光 LS は、光ファイバ 1164 により接続線 1152 の端部まで導光される。接続線 1152 の内部には光ファイバ 1152a が導通されている。ここで、光ファイバ 1164 と光ファイバ 1152a とは、単一の光ファイバにより構成されていてもよいし、また、各々の端面同士を接合して一体形成されたものであってもよい。いずれにしても、光ファイバ 1164、1152a は、眼底カメラユニット 1000A と OCTユニット 1150との間で、信号光 LS を伝送可能に構成されれば十分である。

【0173】

信号光 LS は、接続線 1152 内部を導光されて眼底カメラユニット 1000A に案内

10

20

30

40

50

される。そして、信号光 L S は、レンズ 1142、走査ユニット 1141、撮影レンズ 1126、リレーレンズ 1125、変倍レンズ 1124、撮影絞り 1121、孔開きミラー 1112 の孔部 1112a、対物レンズ 1113 を経由して、被検眼 E に入射する（このとき、後述のように、バリアフィルタ 1122、1123 及びクイックリターンミラー 1127 は、それぞれ光路から退避されている。）。

【0174】

被検眼 E に入射した信号光 L S は、眼底（網膜）E f 上にて結像し反射される。このとき信号光 L S は、眼底 E f の表面で反射されるだけでなく、眼底 E f の深部領域にも到達して屈折率境界にて散乱される。それにより、信号光 L S の眼底反射光は、眼底 E f の表面形態を反映する情報と、深部組織の屈折率境界における後方散乱の状態を反映する情報を含んだ光となる。この光を単に「（信号光 L S の）眼底反射光」と呼ぶこととする。
10

【0175】

信号光 L S の眼底反射光は、上記経路を逆向きに進行して光ファイバ 1152a の端面 1152b に集光され、この光ファイバ 1152 を通じて OCT ユニット 1150 に入射し、光ファイバ 1164 を通じて光カプラ 1162 に戻ってくる。光カプラ 1162 は、この信号光 L S と、参照ミラー 1174 にて反射された参照光 L R とを重畠して干渉光 L C を生成する。生成された干渉光 L C は、光ファイバ 1165 を通じてスペクトロメータ 1180 に導光される。

【0176】

ここで、本発明の「干渉光生成手段」は、少なくとも、光カプラ 1162、光ファイバ 1163、1164、参照ミラー 1174 を含む干渉計によって構成される。なお、本実施形態ではマイケルソン型の干渉計を採用したが、たとえばマッハツエンダー型など任意のタイプの干渉計を適宜採用することが可能である。
20

【0177】

スペクトロメータ（分光計）1180 は、コリメータレンズ 1181、回折格子 1182、結像レンズ 1183、CCD（Charge Coupled Device）1184 を含んで構成される。本実施形態の回折格子 1182 は、透過型回折格子であるが、もちろん反射型回折格子を用いることも可能である。また、CCD 1184 に代えて、その他の光検出素子（検出手段）を適用することも当然に可能である。

【0178】

スペクトロメータ 1180 に入射した干渉光 L C は、コリメータレンズ 1181 により平行光束とされた後、回折格子 1182 によって分光（スペクトル分解）される。分光された干渉光 L C は、結像レンズ 1183 によって CCD 1184 の撮像面上に結像される。CCD 1184 は、この干渉光 L C を受光して電気的な検出信号に変換し、この検出信号をコンピュータ 1200 に出力する。
30

【0179】

〔コンピュータの構成〕

次に、コンピュータ 1200 の構成について、図 16 を参考しつつ説明する。このコンピュータ 1200 は、CCD 1184 から入力される検出信号を解析して、被検眼 E の眼底 E f の断層画像を形成する処理を行う。このときの解析手法は、従来のフーリエドメイン OCT の手法と同じである。また、コンピュータ 1200 は、眼底カメラユニット 1000A の各部の制御、及び、OCT ユニット 1150 の各部の制御を実行する。
40

【0180】

眼底カメラユニット 1000A の制御としては、たとえば、ハロゲンランプ 1101 やキセノンランプ 1103 による照明光の出力制御、エキサイタフィルタ 1105、1106 やバリアフィルタ 1122、1123 の光路上への挿入 / 退避動作の制御、液晶表示器 1109 の表示動作の制御、照明絞り 1110 の移動制御（絞り値の制御）、撮影絞り 1121 の絞り値の制御、変倍レンズ 1124 の移動制御（倍率の制御）、クイックリターンミラー 1127 や切換ミラー 1129 の光路上への挿入 / 退避動作（光路切換）の制御などを行う。また、コンピュータ 1200 は、走査ユニット 1141 内のガルバノミラー 50

1141A、1141Bの回動動作の制御を行う。

【0181】

一方、OCTユニット1150の制御としては、低コヒーレンス光源1160による低コヒーレンス光の出力制御、CCD1184の蓄積時間の制御などを行う。

【0182】

上記のように作用するコンピュータ1200のハードウェア構成について図16を参照して説明する。コンピュータ1200は、従来のコンピュータと同様のハードウェア構成を備えている。具体的には、CPU1201(等のマイクロプロセッサ)、RAM1202、ROM1203、ハードディスクドライブ(HDD)1204、キー ボード1205、マウス1206、ディスプレイ1207及び通信インターフェイス(I/F)1208を含んで構成されている。これら各部は、バス1209を介して接続されている。
10

【0183】

CPU1201は、ハードディスクドライブ1204に格納された制御プログラム1204aをRAM1202上に展開することにより、本発明に特徴的な動作を実行する。この制御プログラム1204aは、本発明の「眼底観察プログラム」の一例に相当する。

【0184】

また、CPU1201は、前述した装置各部の制御や、各種の演算処理などを実行する。また、キー ボード1205やマウス1206からの操作信号に対応する装置各部の制御、ディスプレイ1207による表示処理の制御、通信インターフェイス1208による各種のデータや制御信号等の送受信処理の制御などを実行する。
20

【0185】

キー ボード1205、マウス1206及びディスプレイ1207は、眼底観察装置1000のユーザインターフェイスとして使用される。キー ボード1205は、文字や数字等をタイピング入力するためのデバイスとして用いられる。マウス1206は、ディスプレイ1207の表示画面に対する各種入力操作を行うためのデバイスとして用いられる。

【0186】

また、ディスプレイ1207は、LCD(Liquid Crystal Display)やCRT(Cathode Ray Tube)等の任意の表示デバイスであり、眼底観察装置1000により形成された眼底Efの画像を表示したり、各種の操作画面や設定画面などを表示したりする。
30

【0187】

なお、眼底観察装置1000のユーザインターフェイスは、このような構成に限定されるものではなく、たとえばトラックボール、ジョイスティック、タッチパネル式のLCD、眼科検査用のコントロールパネルなど、各種情報を表示出力する機能と、各種情報を入力する機能とを具備する任意のユーザインターフェイス手段を用いて構成することが可能である。

【0188】

通信インターフェイス1208は、CPU1201からの制御信号を、眼底カメラユニット1000AやOCTユニット1150の各部に送信する処理や、CCD1184から出力された検出信号を受信する処理などを行う。
40

【0189】

また、コンピュータ1200がLAN(Local Area Network)やインターネット等のネットワークに接続されている場合には、通信インターフェイス1208に、LANカード等のネットワークアダプタやモデム等の通信機器を具備させて、当該ネットワーク経由のデータ通信を行うことができるように構成することができる。その場合、制御プログラム1204aを格納するサーバを設置するとともに、コンピュータ1200を当該サーバのクライアント端末として構成することができる。

【0190】

[制御系の構成]

以上のような構成を有する眼底観察装置1000の制御系の構成について、図17を参
50

照しつつ説明する。図17は、眼底観察装置1000が具備する構成のうち、本発明に係る動作や処理に関わる部分を特に選択して示したものである。

【0191】

眼底観察装置1000の制御系は、コンピュータ1200の制御部1210を中心に構成される。制御部1210は、本発明の「制御手段」の一例に相当するものであり、CPU1201、RAM1202、ROM1203、ハードディスクドライブ1204(制御プログラム1204a)、通信インターフェイス1208を含んで構成される。

【0192】

制御部1210は、制御プログラム1204に基づいて動作するCPU1201により、前述の制御処理を実行する。特に、眼底カメラユニット1000Aのミラー駆動機構1241、1242、1243、1244をそれぞれ制御することにより、ガルバノミラー1141A、1141B、クイックリターンミラー1127、切換ミラー1129を、それぞれ独立に動作させることができる。10

【0193】

また、制御部1210は、眼底観察装置1000により撮影される2種類の画像、すなわち眼底カメラユニット1000Aによる眼底Efの表面の2次元画像(眼底画像Ef)と、OCTユニット1150により得られた検出信号を基に形成される眼底Efの画像とを、ユーザインターフェイス1230のディスプレイ1207に並べて表示させるための制御を実行する。20

【0194】

ユーザインターフェイス(UI)1230は、キーボード1205やマウス1206等の操作デバイスと、ディスプレイ1207等の表示デバイスとを具備している。このユーザインターフェイス1230は、本発明の「操作手段」及び「表示手段」の一例を構成するものである。画像処理部1220は、CPU1201、RAM1202、ROM1203、ハードディスクドライブ1204等を含んで構成される。30

【0195】

以下、制御部1210による信号光LSの走査の制御態様について、そして画像処理部1220による画像形成処理の態様について、そして同じく画像処理部1220による画像の位置補正処理の態様について、それぞれ説明する。

【0196】

[信号光の走査について]

信号光LSの走査は、前述のように、眼底カメラユニット1000Aの走査ユニット1141のガルバノミラー1141A、1141Bの反射面の向きを変更することにより行われる。制御部1210は、ミラー駆動機構1241、1242をそれぞれ制御することで、ガルバノミラー1141A、1141Bの反射面の向きをそれぞれ変更し、信号光LSを眼底Ef上において走査する。30

【0197】

ガルバノミラー1141Aの反射面の向きが変更されると、信号光LSは、眼底Ef上において水平方向(図13のx方向)に走査される。一方、ガルバノミラー1141Aの反射面の向きが変更されると、信号光LSは、眼底Ef上において垂直方向(図13のy方向)に走査される。また、ガルバノミラー1141A、1141Bの双方の反射面の向きを同時に変更させることにより、x方向とy方向とを合成した方向に信号光LSを走査することができる。すなわち、これら2つのガルバノミラー1141A、1141Bを制御することにより、xy平面上の任意の方向に信号光LSを走査できる。40

【0198】

本実施形態における信号光LSの走査態様は、たとえば第1の実施形態と同様に行われる。すなわち、図4(A)に示すように、信号光LSは、あらかじめ設定された矩形の走査領域R内を走査される。この走査領域R内には、x方向に複数(m本)の走査線R₁～R_mが設定されている。各走査線R_i(i=1～m)に沿って信号光LSが走査されるときに、干渉光LCの検出信号が生成されるようになっている。50

【0199】

ここで、各走査線 R_i の方向を「主走査方向」と呼び、それに直交する方向を「副走査方向」と呼ぶことにする。したがって、信号光 L_S の主走査方向への走査は、ガルバノミラー 1141A の反射面の向きを変更することにより為され、副走査方向への走査は、ガルバノミラー 1141B の反射面の向きを変更することによって為される。

【0200】

各走査線 R_i 上には、図4(B)に示すように、複数(n 個)の走査点 $R_{i1} \sim R_{in}$ があらかじめ設定されている。

【0201】

図4に示す走査を実行するために、制御部1210は、まず、ガルバノミラー 1141A、1141Bを制御し、眼底 E_f に対する信号光 L_S の入射目標を第1の走査線 R_1 上の走査開始位置 R_S (走査点 R_{11})に設定する。続いて、制御部1210は、低コヒーレンス光源 1160を制御し、低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させて、走査開始位置 R_S に信号光 L_S を入射させる。CCD1184は、この信号光 L_S の走査開始位置 R_S における眼底反射光に基づく干渉光 L_C を受光し、検出信号を制御部1210に出力する。10

【0202】

次に、制御部1210は、ガルバノミラー 1141Aを制御して、信号光 L_S を主走査方向に走査して、その入射目標を走査点 R_{12} に設定し、低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させて走査点 R_{12} に信号光 L_S を入射させる。CCD1184は、この信号光 L_S の走査点 R_{12} における眼底反射光に基づく干渉光 L_C を受光し、検出信号を制御部1210に出力する。20

【0203】

制御部1210は、同様にして、信号光 L_S の入射目標を走査点 $R_{13}, R_{14}, \dots, R_{1(n-1)}, R_{1n}$ と順次移動させつつ、各走査点において低コヒーレンス光 L_0 をフラッシュ発光させることにより、各走査点ごとの干渉光 L_C に対応して CCD1184から出力される検出信号を取得する。

【0204】

第1の走査線 R_1 の最後の走査点 R_{1n} における計測が終了したら、制御部1210は、ガルバノミラー 1141A、1141Bを同時に制御して、信号光 L_S の入射目標を、線換え走査 r に沿って第2の走査線 R_2 の最初の走査点 R_{21} まで移動させる。そして、この第2の走査線 R_2 の各走査点 R_{2j} ($j = 1 \sim n$)について前述の計測を行うことで、各走査点 R_{2j} に対応する検出信号をそれぞれ取得する。30

【0205】

同様に、第3の走査線 R_3, \dots, R_{m-1} の走査線 R_m のそれぞれについて計測を行い、各走査点に対応する検出信号を取得する。なお、走査線 R_m 上の符号 R_E は、走査点 R_{mn} に対応する走査終了位置である。

【0206】

それにより、制御部1210は、走査領域 R 内の $m \times n$ 個の走査点 R_{ij} ($i = 1 \sim m, j = 1 \sim n$)に対応する $m \times n$ 個の検出信号を取得する。以下、走査点 R_{ij} に対応する検出信号を D_{ij} と表すことがある。40

【0207】

以上のような走査点の移動と低コヒーレンス光 L_0 の出力との連動制御は、たとえば、ミラー駆動機構 1241、1242に対する制御信号の送信タイミングと、低コヒーレンス光源 1160に対する制御信号(出力要求信号)の送信タイミングとを互いに同期させることによって実現することができる。

【0208】

制御部1210は、上述のように各ガルバノミラー 1141A、1141Bを動作させるときに、各走査線 R_i の位置や各走査点 R_{ij} の位置(x, y 座標系における座標)を、図18に示す画像処理部1220の位置情報記憶部1225に記憶させる。この記憶内容50

(位置情報)は、従来と同様に画像形成処理において用いられる。

【0209】

[画像形成処理について]

画像処理部1220による画像形成処理について、その一例を説明する。この画像処理部1220は、制御プログラム1204aに基づいて動作するCPU1201、RAM1202、ハードディスクドライブ1204を含んで構成される。なお、以下に説明する処理は、図18のブロック図に示す画像処理部1220の光画像形成処理部1222によって実行される。

【0210】

画像処理部1220は、各走査線R_i(主走査方向)に沿った眼底E_fの断層画像の形成処理と、これら断層画像に基づく眼底E_fの3次元画像の形成処理とを実行する。

【0211】

主走査方向に沿った断層画像の形成処理は、従来と同様に、2段階の演算処理を含んで構成される。第1段階の演算処理においては、各走査点R_{i,j}に対応する検出信号D_{i,j}に基づいて、その走査点R_{i,j}における眼底E_fの深度方向(図13に示すz方向)の画像G_{i,j}を形成する。

【0212】

画像処理部1220により形成される断層画像は、たとえば第1の実施形態の図6と同様の態様を有する。第2段階の演算処理においては、各走査線R_iについて、その上のn個の走査点R_{i,1}～R_{i,n}における深度方向の画像G_{i,1}～G_{i,n}に基づき、この走査線R_iに沿った眼底E_fの断層画像G_iを形成する。このとき、画像処理部1220は、各走査点R_{i,1}～R_{i,n}の位置情報(前述)を参照して各走査点R_{i,1}～R_{i,n}の配列及び間隔を決定して、この走査線R_iを形成するようになっている。以上の処理により、副走査方向(y方向)の異なる位置におけるm個の断層画像G₁～G_mが得られる。

【0213】

次に、眼底E_fの3次元画像の形成処理について説明する。眼底E_fの3次元画像は、上記の演算処理により得られたm個の断層画像に基づいて形成される。画像処理部1220は、隣接する断層画像G_i、G_(i+1)の間の画像を補間する公知の補間処理を行うなどして、眼底E_fの3次元画像を形成する。

【0214】

このとき、画像処理部1220は、各走査線R_iの位置情報を参照して各走査線R_iの配列及び間隔を決定して、この3次元画像を形成するようになっている。この3次元画像には、各走査点R_{i,j}の位置情報と、深度方向の画像G_{i,j}におけるz座標とに基づいて、3次元座標系(x、y、z)が設定される。

【0215】

また、画像処理部1220は、この3次元画像に基づいて、主走査方向(x方向)以外の任意方向の断面における眼底E_fの断層画像を形成することができる。断面が指定されると、画像処理部1220は、この指定断面上の各走査点(及び/又は補間された深度方向の画像)の位置を特定し、各特定位置における深度方向の画像(及び/又は補間された深度方向の画像)を3次元画像から抽出し、抽出された複数の深度方向の画像を配列させることにより当該指定断面における眼底E_fの断層画像を形成する。

【0216】

[画像位置補正処理について]

まず、画像処理部1220の構成について説明する。図18は、この画像処理部1220の構成の一例を表すブロック図である。

【0217】

画像処理部1220には、前述の光画像形成処理部1222及び位置情報記憶部1225とともに、積算処理部1223、位置特定処理部1224、変位検出部1226、xy位置補正処理部1227及びz位置補正処理部1228が設けられている。

【0218】

10

20

30

40

50

光画像形成処理部 1222 は、上述した光画像の生成処理を実行する。また、位置情報記憶部 1225 には、上述のように、各走査線 R_i の位置や各走査点 R_{i j} の x y 座標（つまり、各断層画像 G_i の計測位置や深度方向の画像 G_{i j} の計測位置）を示す位置情報が記憶される。この位置情報記憶部 1225 は、本発明の「位置記憶手段」の一例に相当する。

【0219】

積算処理部 1223 は、光画像形成処理部 1222 により形成された各断層画像 G_i を深度方向に積算して 1 次元の画像（積算画像）を生成する。すなわち、断層画像 G_i を構成する各深度方向の画像 G_{i j} を深度方向（z 方向）に積算して点状の画像を形成する。各点状の画像は、その基になった深度方向の画像 G_{i j} の位置（位置情報記憶部 1225 に記憶される前述の位置情報に示す x y 方向の位置）における深度方向の積算輝度を示すものである。ここで、「深度方向に積算する」とは、深度方向の画像 G_{i j} の各深度位置における輝度値を深度方向に足し合わせる（投影する）演算処理を意味する。

【0220】

このような処理を全ての断層画像 G_i について実行することにより、光画像の計測領域における眼底画像 E_f と同様に、当該計測領域における眼底 E_f の形態を表す画像が得られる。つまり、眼底カメラユニット 1000A により得られる眼底画像と OCT ユニット 1150 により得られる光画像は、ともに、眼底表面における反射光と、眼底組織の浅い領域における反射光から形成される画像である。したがって、眼底上の 2 次元の計測領域をスキャンして得られた各断層画像 G_i を深度方向に積算して 2 次元画像化することにより、当該計測領域における眼底画像 E_f と同様の画像が得られる。

【0221】

位置特定処理部 1224 は、眼底カメラユニット 1000A により撮影された眼底画像 E_f における、上記の積算画像の位置を特定する処理を行う。具体的に説明すると、位置特定処理部 1224 は、位置特定情報記憶部 1225 に記憶された各断層画像 G_i の位置情報を参照して、この位置情報に対応する眼底画像 E_f 上の位置を特定する。そして、積算画像の輝度分布と同様の輝度分布を有する領域（「対応領域」と呼ぶこととする。）を、この特定された位置及びその近傍から探索する。対応領域を見つけられない場合には探索範囲を広げていき、目的の対応領域を特定する。この特定された対応領域の位置を積算画像の位置とする。

【0222】

なお、断層画像 G_i の位置情報を参照せずに眼底画像全体を探索してもよいが、上記のように位置情報を探索範囲の目安とすることにより、探索時間の短縮を図ることが可能である。

【0223】

変位検出部 1226 は、各断層画像 G_i について、位置特定処理部 1224 により特定された断層画像 G_i の位置と、位置情報記憶部 1225 に記憶された断層画像 G_i の位置情報に示す計測位置とを比較し、それらの深度方向に直交する方向（すなわち x y 方向）における変位を検出する。たとえば、断層画像 G_i を構成する或る深度方向の画像 G_{i j} について特定された座標が P₁ (x₁, y₁) であり、記憶された座標が P₂ (x₂, y₂) であるとすると、変位検出部 1226 は、{ (x₁ - x₂)² + (y₁ - y₂)² }^(1/2) を算出することにより、P₁ と P₂ との変位を検出する。

【0224】

x y 位置補正処理部 1227 は、位置検出部 1226 により検出された各断層画像 G_i の位置の変位に基づいて、各断層画像 G_i の x y 方向における位置ずれを補正する。つまり、光画像形成部 1222 により形成された断層画像 G_i の位置を検出された変位だけ移動させることにより、眼底画像 E_f の位置に合わせ込むように処理する。この x y 位置補正処理部 1227 は、本発明の「第 1 の画像処理手段」の一例に相当するものである。

【0225】

z 位置補正処理部 1228 は、第 1 の実施形態の位置補正処理部 43 と同様の処理を実

10

20

30

40

50

行するものであり、戻し走査線 R R (図 5、6 参照) に沿った補正用断層画像 G R を用いて、各断層画像 G i の深度方向 (z 方向) の位置ずれの補正を行う。なお、光画像形成処理部 1222 と z 位置補正処理部 1228 は、本発明の「第 2 の画像処理手段」の一例を構成するものである。

【0226】

[画像の表示態様について]

本実施形態の眼底観察装置 1000 によれば、眼底カメラユニット 1000A による眼底画像 E f と、OCT ユニット 1150 による光画像 (断層画像、3 次元画像等) の 2 種類の画像を取得することができる。眼底観察装置 1000 は、これら 2 種類の画像をそれぞれディスプレイ 1207 に表示させたり、2 種類の画像を並べて表示させたりすることができる。後者の並列表示を行う場合には、後述の図 20 に示すように、ディスプレイ 1207 の表示画面には、眼底画像 E f が表示される眼底画像表示領域 1207A と、光画像が表示される光画像表示領域 1207B とが形成される。

【0227】

[動作]

以上のような構成を具備する本実施形態の眼底観察装置 1000 の動作について説明する。図 19 に示すフローチャートは、この眼底観察装置 1000 の動作の一例を表すものである。

【0228】

まず、準備段階として、計測対象の眼底 E f に対する光学系のアライメントを行う (S 101)。

【0229】

アライメントが完了したら、眼底カメラユニット 1000A のハロゲンランプ 1101 を点灯させて眼底 E f の観察画像をディスプレイ 1207 に表示させ、光画像を計測する計測領域 (走査領域 R) を指定する (S 102)。制御部 1210 は、指定された計測領域における走査線 R 1 ~ R m の位置を決定するとともに走査点 R 11 ~ R m n の位置を決定する (S 103)。決定されたこれらの位置は、位置情報記憶部 1225 に位置情報として記憶される。ここで、走査線 R i の位置は、断層画像 G i の計測位置に相当し、走査点 R i j の位置は、深度方向の画像 G i j の計測位置に相当する。

【0230】

次に、眼底カメラユニット 1000A のキセノンランプ 1103 をフラッシュ発光させて眼底画像 E f を撮影する (S 104)。撮影された眼底画像 E f は、図 20 に示すように、制御部 1210 によってディスプレイ 1207 の眼底画像表示領域 1207A に表示される (S 105)。

【0231】

続いて、OCT ユニット 1150 が、制御部 1210 の制御を受けて信号光 L S を走査させて、各走査点 R i j の光画像計測を行うとともに (S 106)、第 1 の実施形態と同様に戻し走査線 R R に沿って光画像計測を行う (S 107)。

【0232】

光画像形成処理部 1222 は、各走査点 R i j における計測結果に基づいて、眼底 E f の断層画像 G 1 ~ G m を形成するとともに (S 108)、戻し走査線 R R に沿った計測の結果に基づいて、補正用断層画像 G R を形成する (S 109)。ステップ S 108 で形成された断層画像 G 1 ~ G m は、図 21 に示すように、ディスプレイ 1207 の光画像表示領域 1207B に表示される (S 110)。

【0233】

図 22 は実際の眼底画像 E f の表示例を示しており、図 23 は実際の断層画像 G 1 ~ G m の表示例を示している。図 23 の断層画像 G 1 ~ G m は、それぞれの計測位置に対応する間隔で配列され、あたかも眼底 E f の 3 次元画像のように表示されている。

【0234】

次に、積算処理部 1223 が、各断層画像 G 1 ~ G m を深度方向に積算して積算画像を

10

30

40

50

生成する（S111）。

【0235】

図24は、図23の断層画像G1～Gmを積算処理して得られる積算画像GPを示している。この積算画像GPは、断層画像Giを積算して得られたx方向に沿った1次元画像をy方向に配列して得られる画像である。

【0236】

この積算画像GPには、画像中の血管が途切れてしまっている部分がある（血管切断部分GPa）。これは、実際に血管が途切れている訳ではなく、計測時における眼球運動や心拍の影響により、被検眼Eがx方向にずれてしまったことに起因するものである。

【0237】

続いて、位置特定処理部1224が、眼底画像Ef上における積算画像の位置（xy座標）を特定する（S112）。

【0238】

次に、変位検出部1226が、各断層画像Giについて、ステップS112で特定された断層画像Giの位置と、位置情報記憶部1225に記憶された断層画像Giの位置情報を示す計測位置とを比較してxy方向における位置の変位を検出する（S113）。

【0239】

続いて、xy位置補正処理部1227が、ステップS113で検出された各断層画像Giの位置の変位に基づいて、各断層画像Giのxy方向における位置ずれを補正する（S114）。

【0240】

図25は、図24の積算画像GPのxy方向の位置ずれを補正して得られる補正積算画像GP'を示している。図24の血管切断部分GPaは、補正積算画像GP'においてはつながった状態になっている。これは、各断層画像Giの位置をxy方向に移動させて、眼底画像Efにおける対応位置に配置させたことによるものである。

【0241】

なお、この補正積算画像GPの右上端付近と左端付近の黒色領域GPb、GPcは、断層画像Giをx方向に移動させたことによる無画像部分である。したがって、積算画像GPの上部（+y方向）側の断層画像を画面左方向（+x方向）に移動させるとともに、その下部の断層画像を画面右方向（-x方向）に移動させることにより、補正積算画像GP'が作成されたことが分かる。

【0242】

最後に、z位置補正処理部1228が、ステップS109で形成された補正用断層画像GRを用いて、各断層画像Giのz方向の位置ずれを補正し（S115）、xyz方向の位置ずれがそれぞれ補正された断層画像G1～Gmをディスプレイ1207の光画像表示領域1207Bに表示させる（S116）。検者は、眼底画像Efと、位置ずれ補正がなされた断層画像G1～Gmとを参照して、診断を行う。

【0243】

[作用・効果]

以上のように動作する本実施形態の眼底観察装置1000が奏する作用、効果について説明する。

【0244】

まず、この眼底観察装置1000によれば、光画像計測時の眼球運動等に起因する光画像の位置ずれを効果的に補正して、確度の高い画像を形成することができる。特に、第1の実施形態と同様のz方向の補正だけでなく、眼底画像Efを用いることで、xy方向の補正についても効果的に行うことが可能である点が特徴的である。

【0245】

ここで、図26、図27を参照して、眼底観察装置1000による位置ずれ補正の効果を説明する。図26は、OCTユニット1150で計測したデータに基づく断層画像から作成された眼底網膜の表面画像（補正前眼底表面画像）Gの形態を示している。また、図

10

20

30

40

50

27は、この補正前眼底表面画像Gに対してx、y、z方向の補正を施して得られた補正後眼底表面画像Gの形態を示している。

【0246】

図26の補正前眼底表面画像Gは、上下(z方向)に波打つなどした非常に粗い画像になっている。一方、図27の補正後眼底表面画像Gは、実際の眼底表面に近い滑らかな画像となっている。このように、本実施形態の眼底観察装置1000によれば、非常に効果的な画像補正を提供することができる。

【0247】

なお、補正後眼底表面画像G上の凹凸部分は、計測時に混入したノイズの影響によるものである。このようなノイズの影響は、公知のノイズ除去処理によって除去することができる。

【0248】

[変形例]

以上で説明した構成は、本発明の画像観察装置を好適に実施するための一例に過ぎないものである。したがって、本発明の要旨の範囲内において任意の変形を適宜に施すことが可能である。以下、そのような変形例の一例を説明する。

【0249】

まず、上記の本実施形態では、xy方向の位置ずれ補正処理とz方向の位置ずれ補正処理の双方を実行しているが、xy方向の位置ずれ補正のみを実行するように構成することが可能である。その場合、図18のブロック図において、z位置補正処理部1228を設ける必要はない。

【0250】

また、x方向の位置ずれ補正のみを実行するように構成したり、y方向の位置ずれ補正のみを実行するように構成したりすることもできる。

【0251】

上記の本実施形態では、光画像計測を行う前に眼底画像を撮影するようになっているが、眼底画像を撮影するタイミングは任意に決定することができる。たとえば、光画像計測後に眼底画像を撮影することや、光画像計測の前後に眼底画像を撮影することも可能である。

【0252】

上記の本実施形態では、各断層画像を深度方向に積算して各断層画像ごとの積算画像を生成し、この1次元積算画像を配列して2次元積算画像を生成するように構成されているが、積算画像の生成手法はこれに限定されるものではない。たとえば、断層画像から3次元画像を形成し、この3次元画像を深度方向に積算して2次元積算画像を生成することができる。その場合、この2次元積算画像自体の眼底画像における位置を特定し、2次元積算画像のxy方向における歪み(位置ずれ)を特定することにより、3次元画像の位置ずれ補正を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0253】

【図1】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態の全体構成の一例を表した概略図である。

【図2】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態の制御系の構成の一例を表す概略プロック図である。

【図3】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態が有するコンピュータのハードウェア構成の一例を表す概略プロック図である。

【図4】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態による信号光の走査態様の一例を表す概略図である。図4(A)は、眼底を信号光の入射側(-z方向)から見たときの信号光の走査態様の一例を表している。また、図4(B)は、各走査線上の走査点の配列態様の一例を表している。

【図5】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態による信号光の走査態様の一例を

10

20

30

40

50

表す概略図である。

【図 6】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態による信号光の走査態様、及び、各走査線に沿って形成される断層画像の形態の一例を表す概略図である。

【図 7】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態による信号光の走査中に被検眼が動いた場合の、各走査線及び断層画像の配置形態の一例を表す概略図である。

【図 8】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態により形成される比較用断層画像の一例を表す概略図である。

【図 9】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態により形成される補正用断層画像の一例を表す概略図である。

【図 10】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態により画像位置の補正が施された比較用断層画像の一例を表す概略図である。 10

【図 11】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態により画像位置の補正が施された比較用断層画像の一例を表す概略図である。

【図 12】本発明に係る光画像計測装置の好適な実施形態の動作態様の一例を表すフローチャートである。

【図 13】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態の全体構成の一例を表した概略図である。

【図 14】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態における眼底カメラユニットに内蔵される走査ユニットの構成の一例を表す概略構成図である。

【図 15】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態におけるOCTユニットの構成の一例を表す概略構成図である。 20

【図 16】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態におけるコンピュータのハードウェア構成の一例を表す概略ブロック図である。

【図 17】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態の制御系の構成の一例を表す概略ブロック図である。

【図 18】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態の制御系における画像処理部の構成の一例を表す概略ブロック図である。

【図 19】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態の動作態様の一例を表すフローチャートである。

【図 20】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態による眼底の画像の表示態様の一例を表す概略図である。 30

【図 21】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態による眼底の画像の表示態様の一例を表す概略図である。

【図 22】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態により表示される眼底画像の一例を表す図である。

【図 23】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態により表示される眼底の断層画像の一例を表す図である。

【図 24】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態により生成される積算画像の一例を表す図である。

【図 25】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態により生成される補正積算画像の一例を表す図である。 40

【図 26】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態による位置ずれ補正を施す前の補正前眼底表面画像の一例を表す図である。

【図 27】本発明に係る眼底観察装置の好適な実施形態による位置ずれ補正を施した後の補正後眼底表面画像の一例を表す図である。

【符号の説明】

【0254】

1 光画像計測装置

2 低コヒーレンス光源

3、5、6、7 光ファイバ

4 光カプラ

1 1、2 1、3 1 コリメータレンズ

1 2 ガラスブロック

1 3 濃度フィルタ

1 4 参照ミラー

2 2、2 3 ガルバノミラー

2 2 a、2 3 a 回動軸

2 2 A、2 3 A ミラー駆動機構

2 4 レンズ

2 5 ダイクロイックミラー

2 6 対物レンズ

3 0 スペクトロメータ

3 2 回折格子

3 3 結像レンズ

3 4 C C D

4 0 コンピュータ

4 1 制御部

4 2 画像形成処理部

4 3 位置補正処理部

4 4 ユーザインターフェイス(UI)

1 0 0 CPU

1 0 3 ハードディスクドライブ

1 0 3 a 制御プログラム

1 0 4 キーボード

1 0 5 マウス

1 0 6 ディスプレイ

5 0 観察装置(撮影装置)

L 0 低コヒーレンス光

L R 参照光

L S、L S 信号光

L C、L C 干渉光

R 走査領域

R 1 ~ R m 走査線

R S 走査開始位置

R E 走査終了位置

R i j (i = 1 ~ m, j = 1 ~ n) 走査点

R R 戻し走査線

C 1 ~ C m 交差位置

G 1 ~ G m 断層画像

G i j (i = 1 ~ m, j = 1 ~ n) 深度方向の画像

G C 比較用断層画像

G R 補正用断層画像

E 被検眼

E r 眼底

1 0 0 0 眼底観察装置

1 0 0 0 A 眼底カメラユニット

1 0 0 8 c 装着部

1 0 1 0 撮像装置

1 0 1 1 タッチパネルモニタ

1 1 0 0 照明光学系

10

20

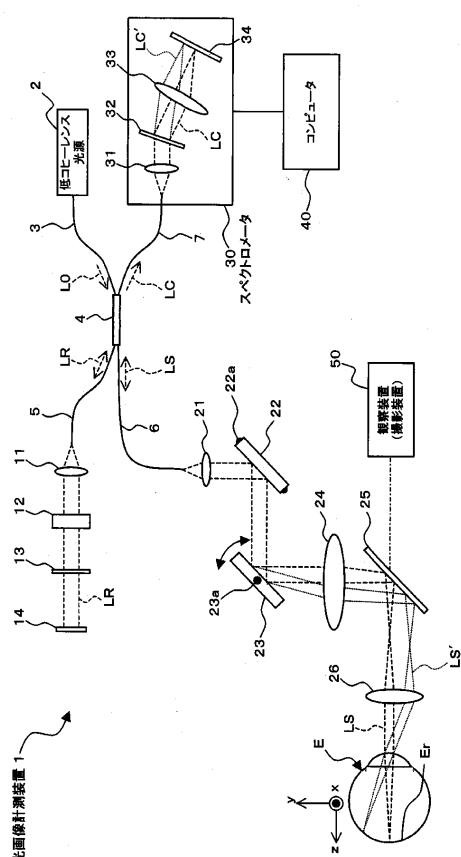
30

40

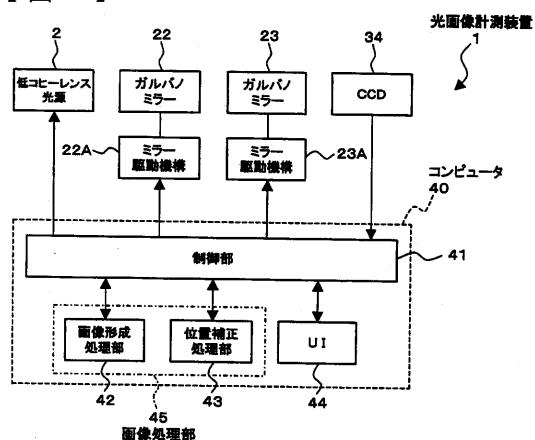
50

1 1 0 1	ハロゲンランプ	
1 1 0 3	キセノンランプ	
1 1 1 2	孔開きミラー	
1 1 1 2 a	孔部	
1 1 1 3	対物レンズ	
1 1 2 0	撮影光学系	
1 1 2 7	クイックリターンミラー	
1 1 2 9	切換ミラー	
1 1 4 1	走査ユニット	
1 1 4 1 A、1 1 4 1 B	ガルバノミラー	10
1 1 4 2	レンズ	
1 1 5 0	O C T ユニット	
1 1 5 1	コネクタ部	
1 1 5 2	接続線	
1 1 5 2 a、1 1 6 1、1 1 6 3、1 1 6 4、1 1 6 5	光ファイバ	
1 1 6 0	低コヒーレンス光源	
1 1 7 4	参照ミラー	
1 1 8 0	スペクトロメータ	
1 1 8 4	C C D	
1 2 0 0	コンピュータ	
1 2 0 1	C P U	20
1 2 0 4 a	制御プログラム	
1 2 0 6	マウス	
1 2 0 7	ディスプレイ	
1 2 0 7 A	眼底画像表示領域	
1 2 0 7 B	光画像表示領域	
1 2 1 0	制御部	
1 2 2 0	画像処理部	
1 2 2 2	光画像形成処理部	
1 2 2 3	積算処理部	30
1 2 2 4	位置特定処理部	
1 2 2 5	位置情報記憶部	
1 2 2 6	変位検出部	
1 2 2 7	x y 位置補正処理部	
1 2 2 8	z 位置補正処理部	
1 2 3 0	ユーザインターフェイス	
1 2 4 1、1 2 4 2、1 2 4 3、1 2 4 4	ミラー駆動機構	
E f	眼底	
E f	眼底画像(2次元画像)	
G P	積算画像	40
G P	補正積算画像	

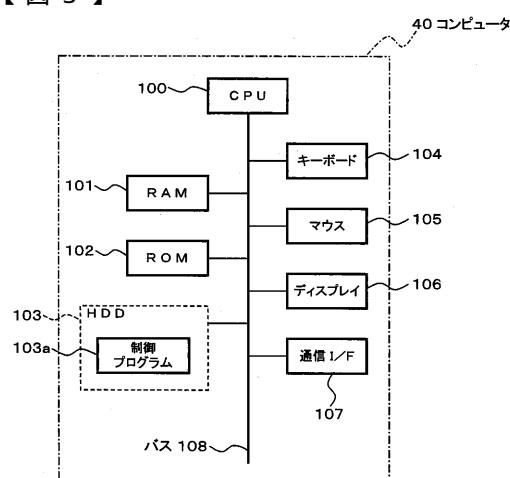
【図1】



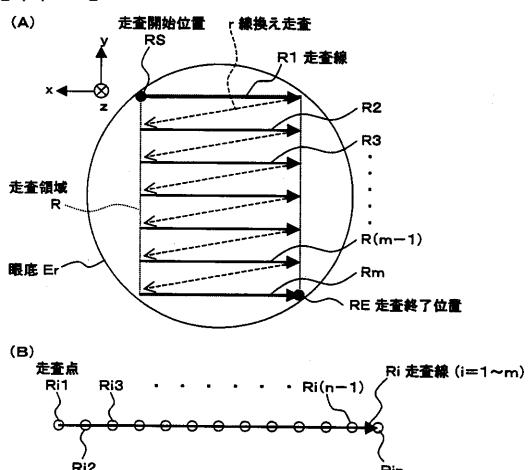
【図2】



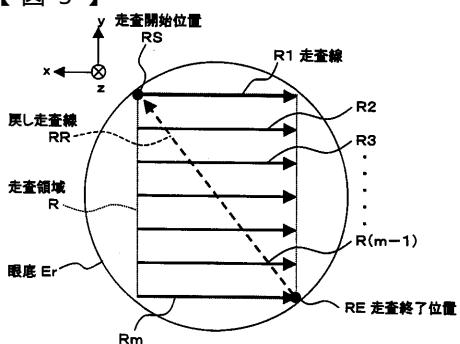
【図3】



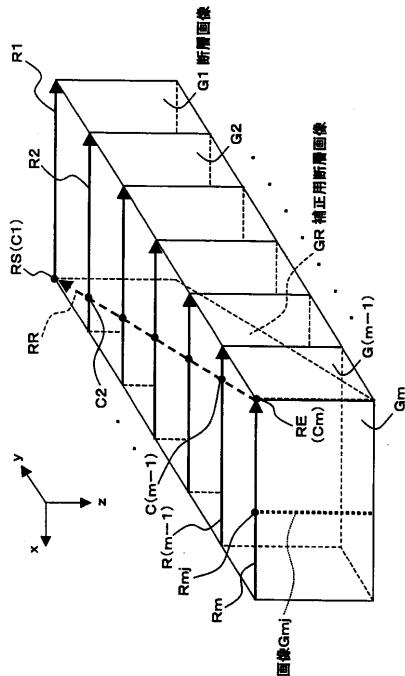
【図4】



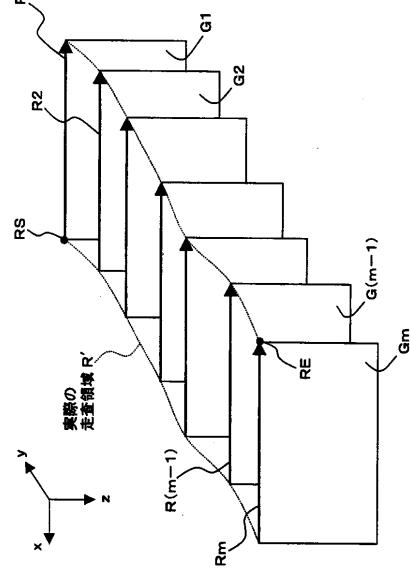
【図5】



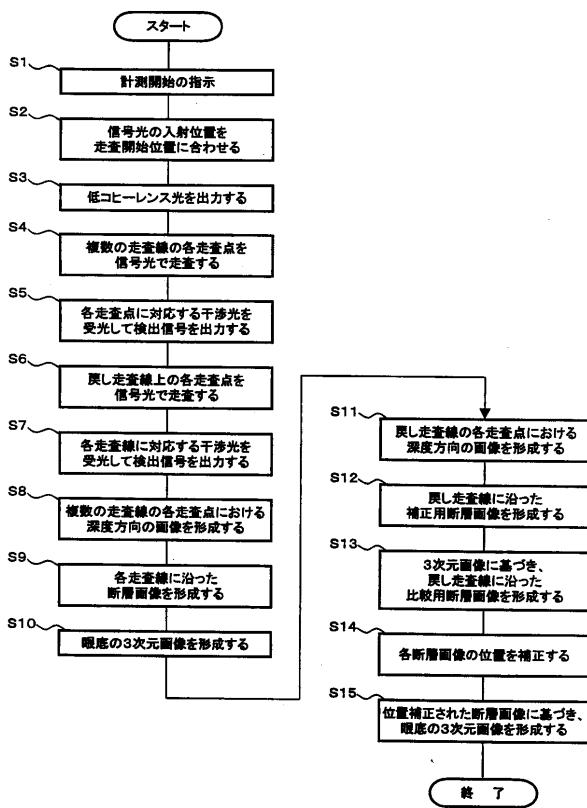
【 四 6 】



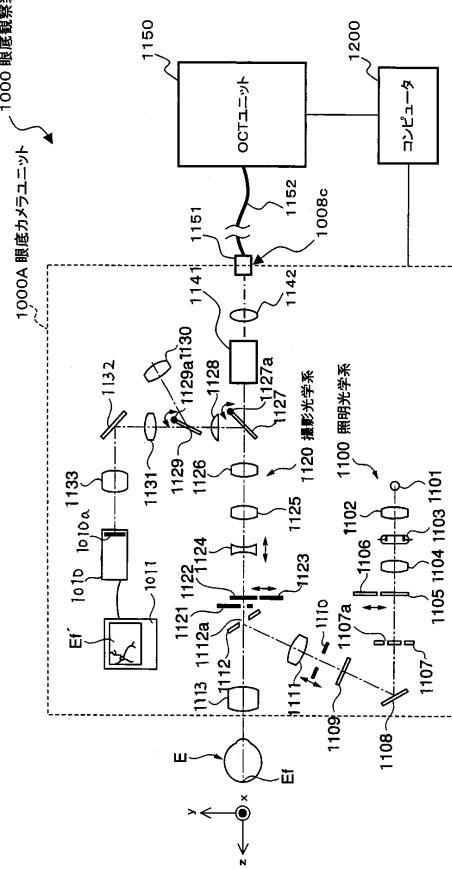
【 図 7 】



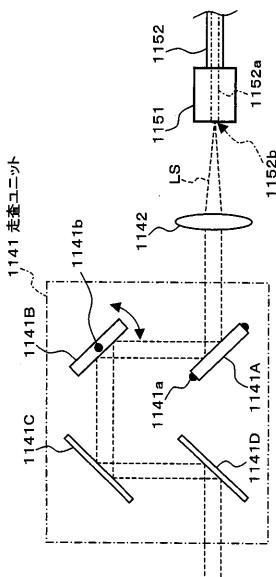
【 図 1 2 】



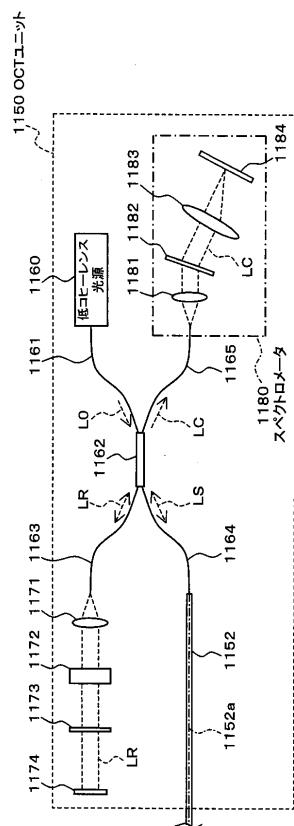
【 図 1 3 】



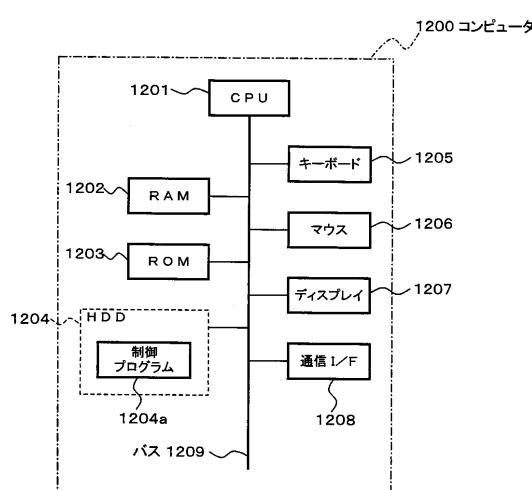
【図14】



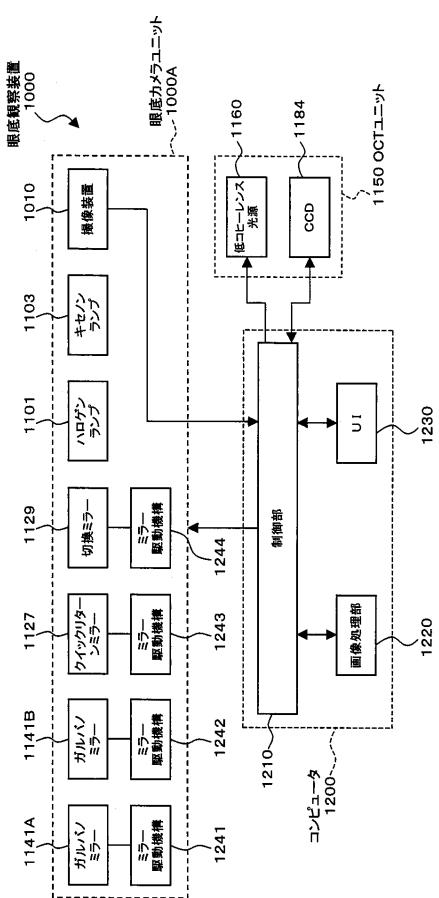
【 図 1 5 】



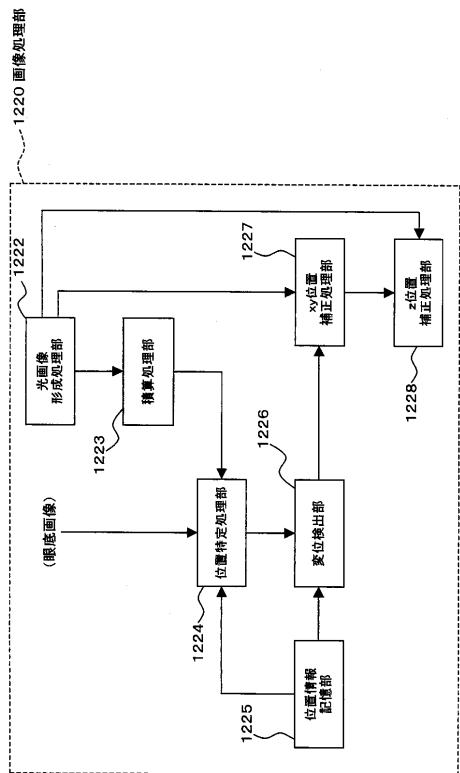
【 図 1 6 】



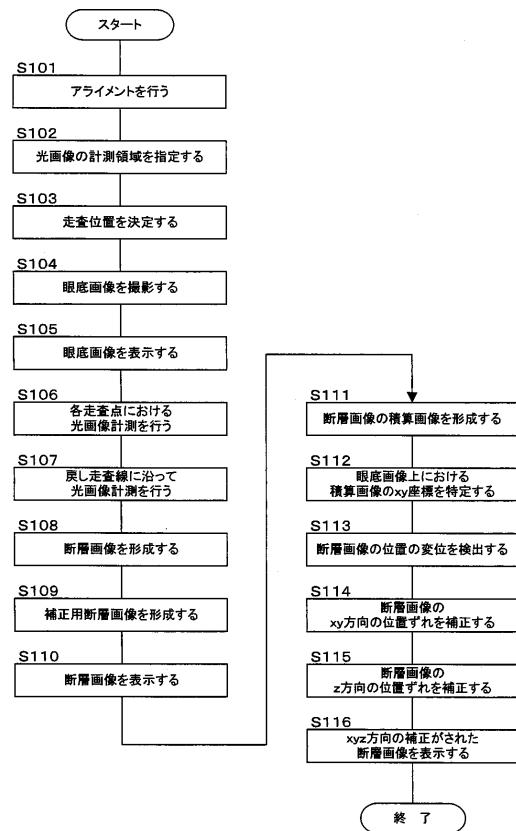
【図17】



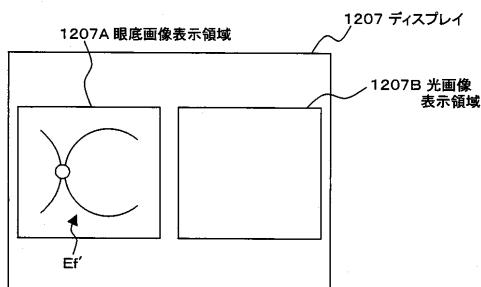
【図18】



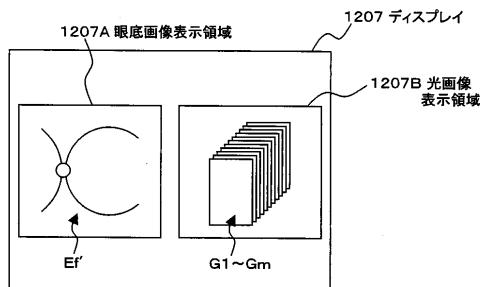
【図19】



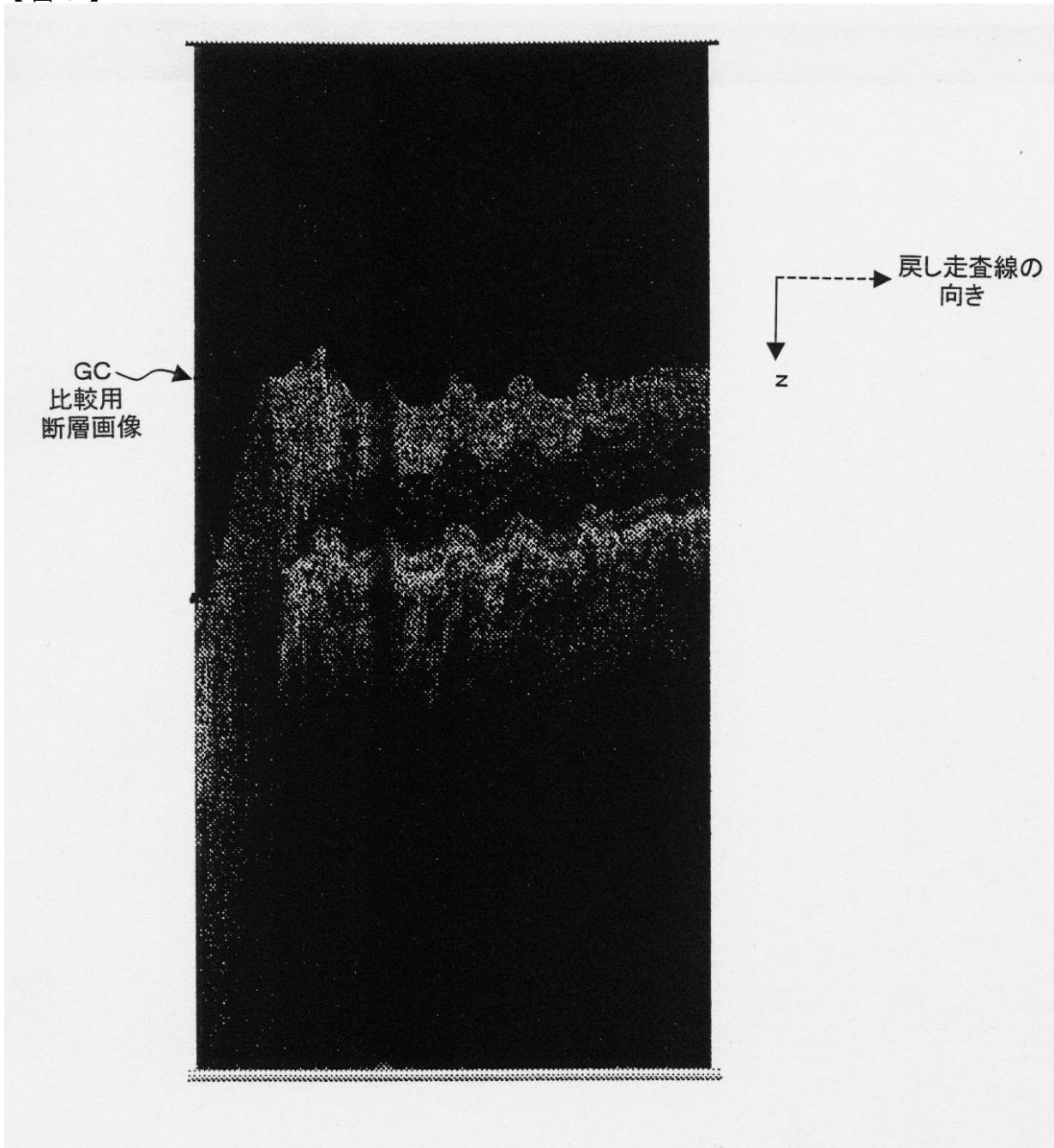
【図20】



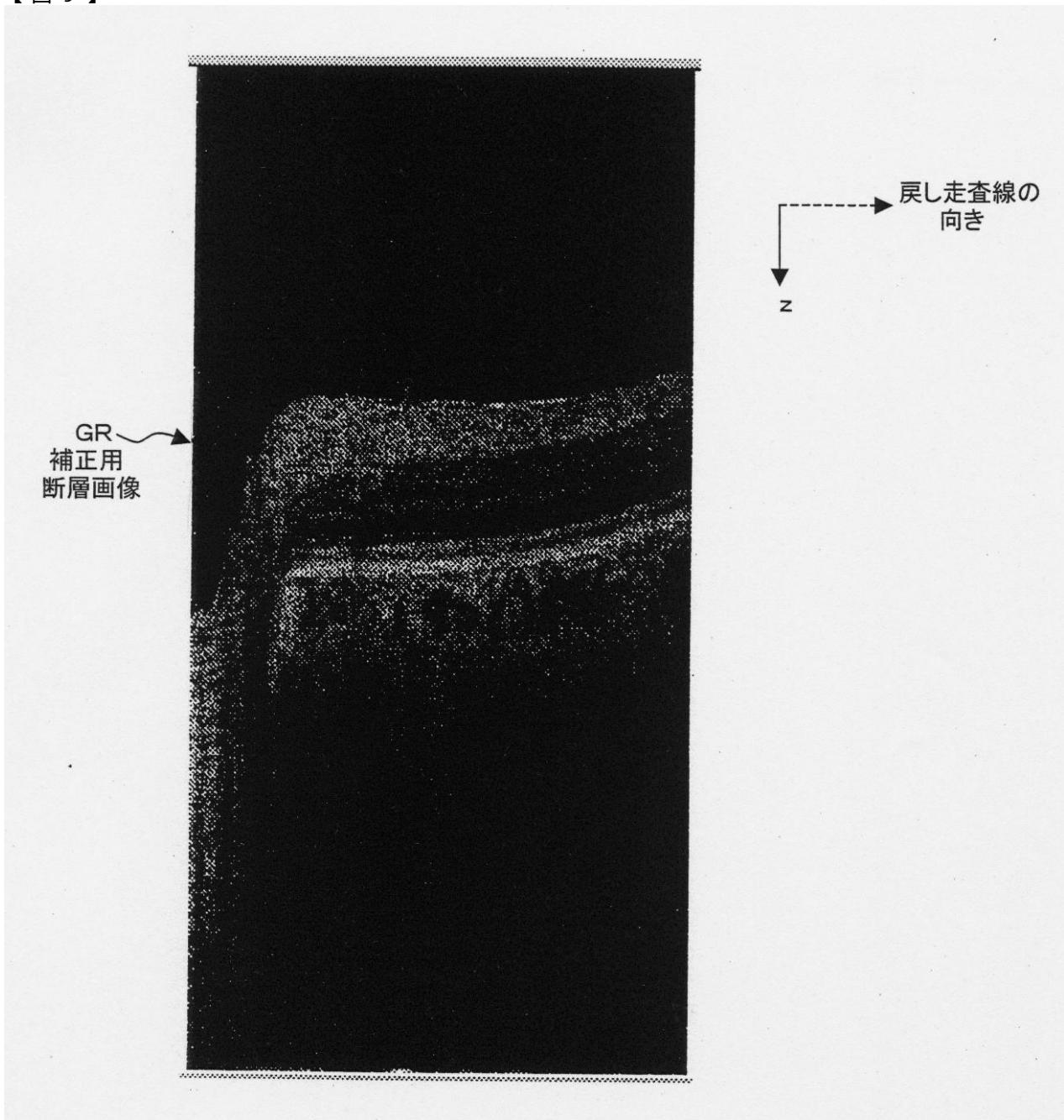
【図21】



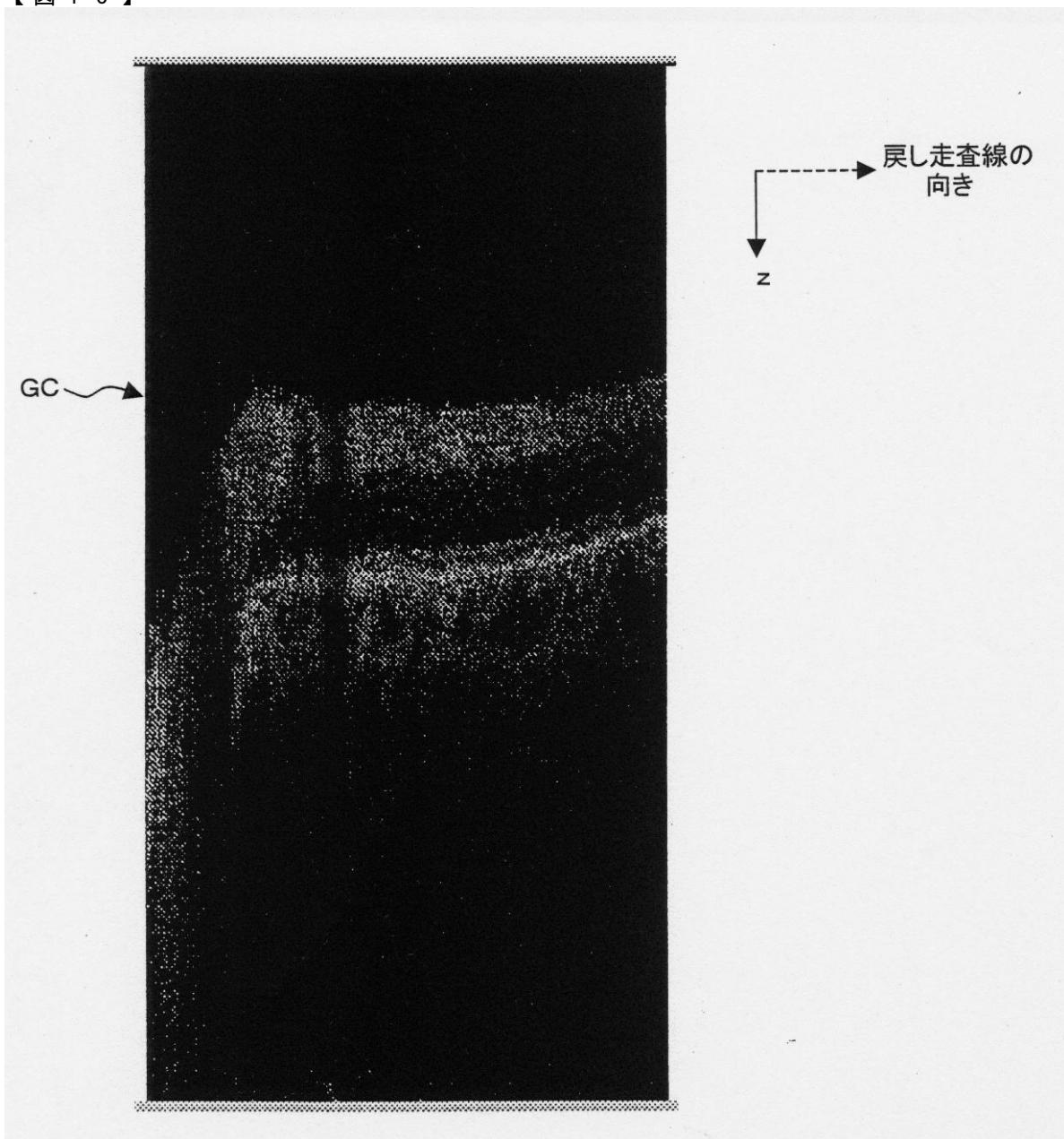
【図8】



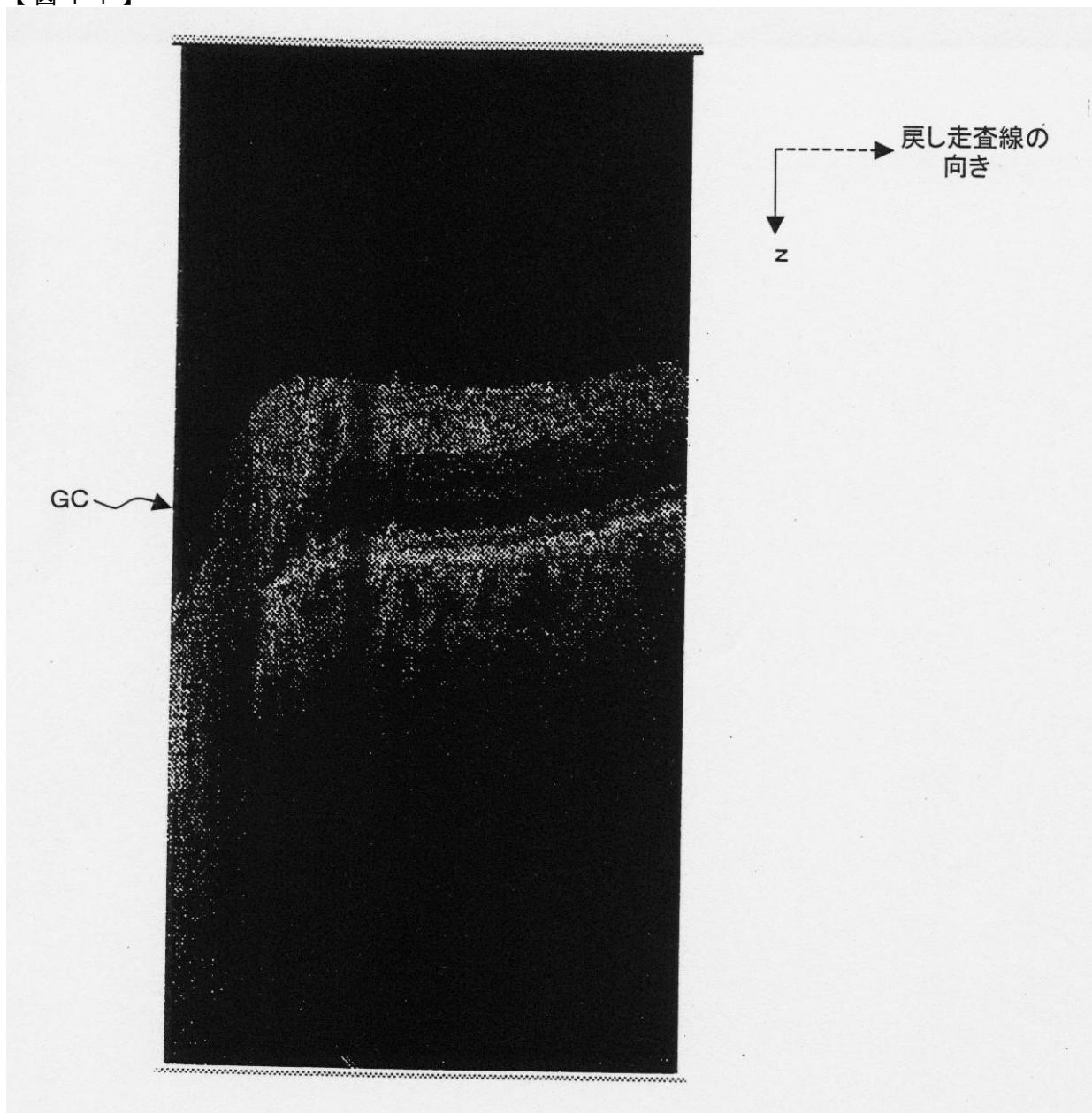
【図9】



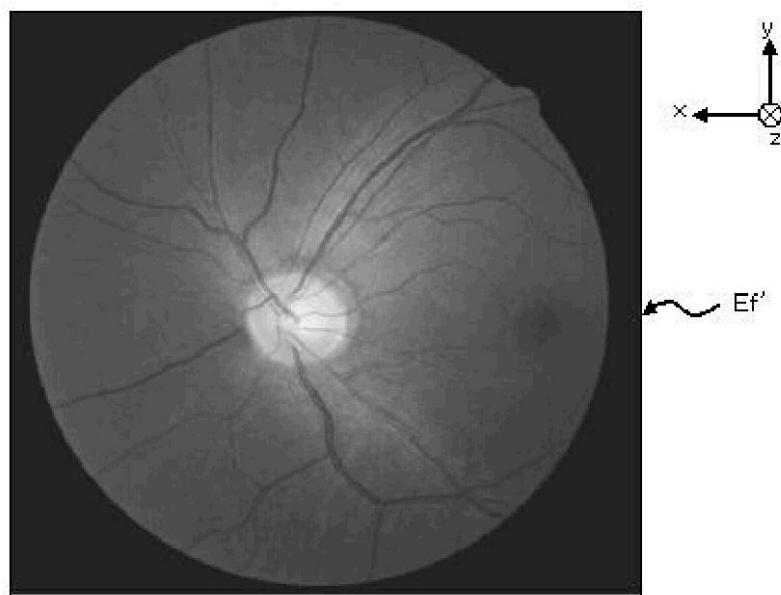
【図10】



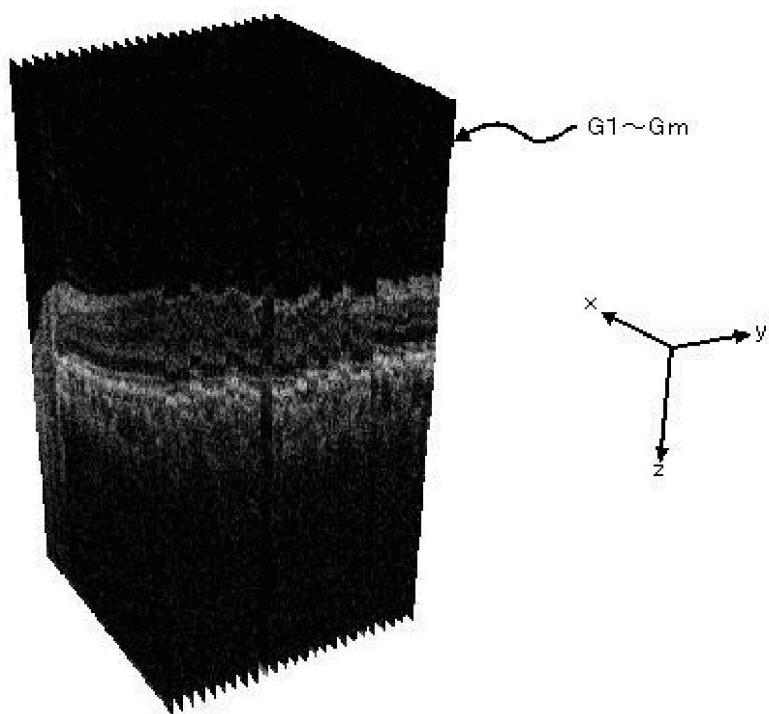
【図11】



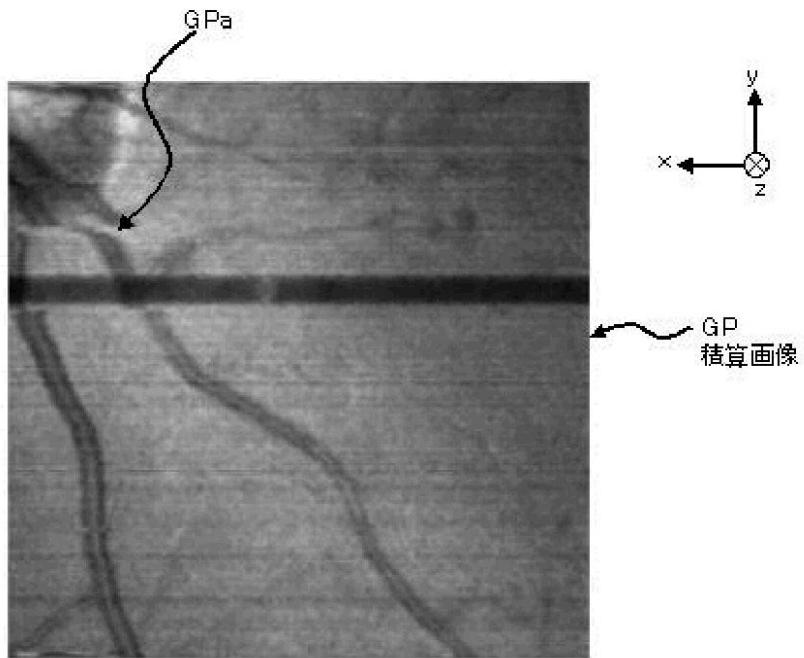
【図22】



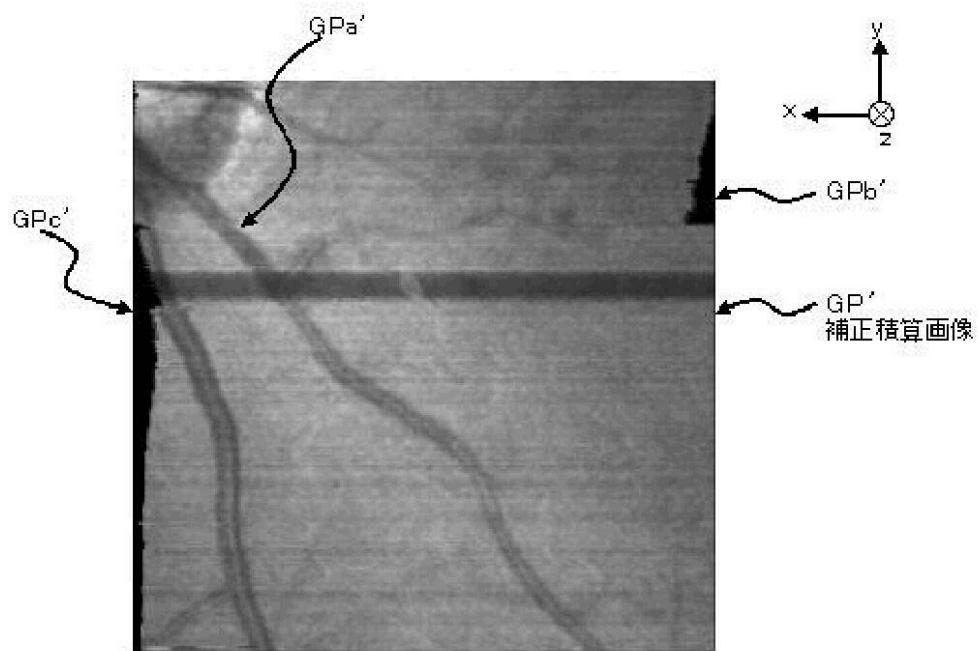
【図23】



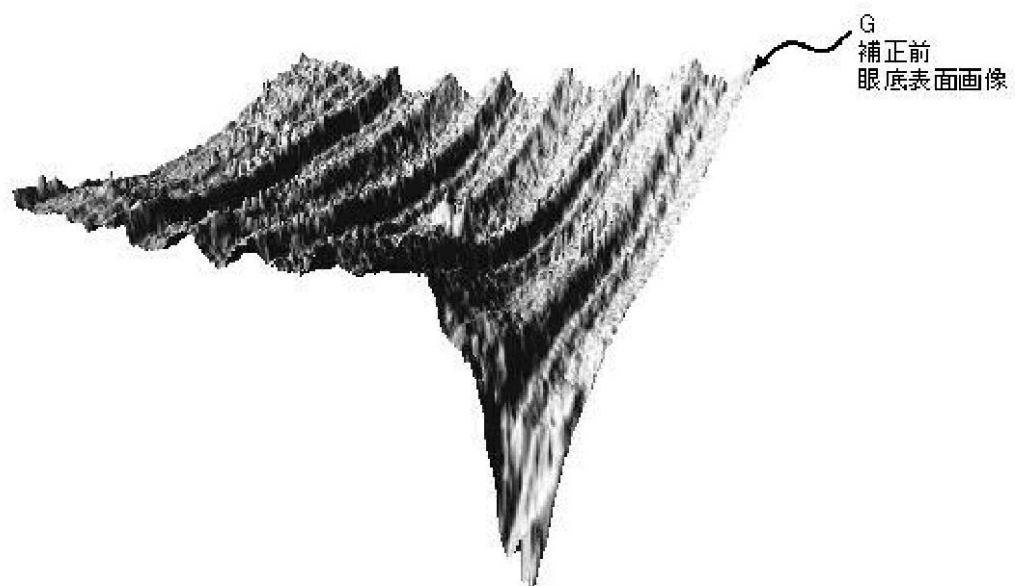
【図24】



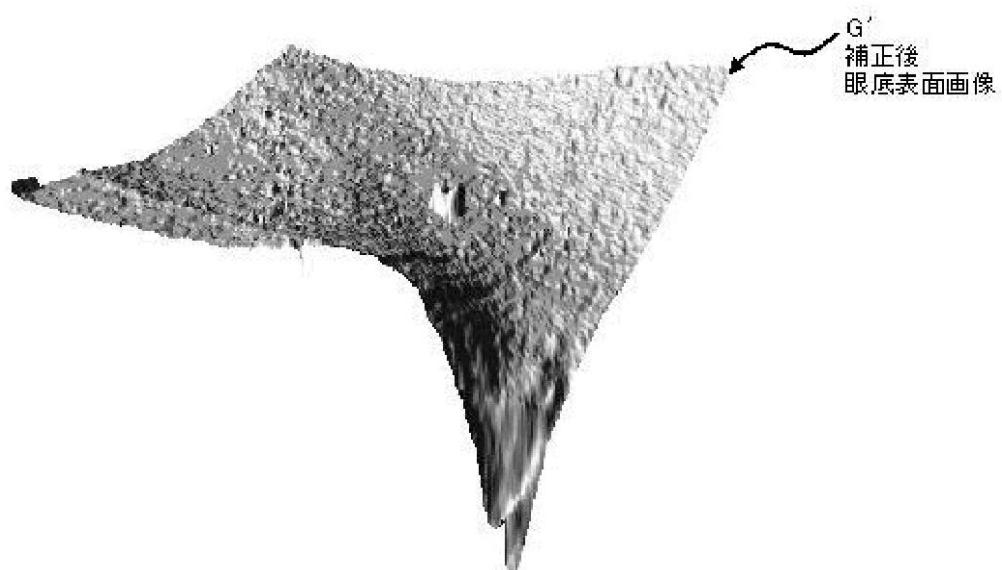
【図25】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(72)発明者 福間 康文
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 塚田 央
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 木川 勉
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 青木 弘幸
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

(72)発明者 藤村 隆
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

F ターム(参考) 2G059 AA05 BB12 EE02 EE09 FF02 GG01 GG02 GG10 HH01 JJ02
JJ05 JJ11 JJ13 JJ15 JJ17 JJ22 KK04 MM09 PP04