

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5339934号
(P5339934)

(45) 発行日 平成25年11月13日 (2013.11.13)

(24) 登録日 平成25年8月16日 (2013.8.16)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 21/17 (2006.01)

G O 1 N 21/17 6 2 O

A 6 1 B 1/00 (2006.01)

A 6 1 B 1/00 3 O O D

A 6 1 B 3/12 (2006.01)

A 6 1 B 3/12 E

G O 1 B 11/24 (2006.01)

G O 1 B 11/24 D

請求項の数 31 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2009-11619 (P2009-11619)
 (22) 出願日 平成21年1月22日 (2009.1.22)
 (65) 公開番号 特開2010-169503 (P2010-169503A)
 (43) 公開日 平成22年8月5日 (2010.8.5)
 審査請求日 平成23年12月14日 (2011.12.14)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100105289
 弁理士 長尾 達也
 (72) 発明者 杉田 充朗
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

審査官 樋口 宗彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光断層撮像装置および光断層撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記少なくとも2つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、
前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置における合焦機構の駆動情報を取得する駆動情報取得手段と、

前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように、前記駆動情報に従って前記合焦機構を駆動制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光断層撮像装置。

【請求項 2】

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置から前記合焦機構の位置情報に変換する変換手段を有し、

10

20

前記駆動情報取得手段が、前記変換手段の変換結果に基づいて前記駆動情報を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の光断層撮像装置。

【請求項 3】

前記合焦検出手段が、前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記合焦条件を検出することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光断層撮像装置。

【請求項 4】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも 2 つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記少なくとも 2 つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光断層撮像装置。

【請求項 5】

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも 1 つのモードを選択するモード選択手段を有し、

前記合焦位置設定手段は、前記選択されたモードに基づいて前記複数の合焦位置を設定することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光断層撮像装置。

【請求項 6】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも 1 つのモードを選択するモード選択手段と、

前記選択されたモードに基づいて、前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも 2 つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記少なくとも 2 つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光断層撮像装置。

【請求項 7】

前記被検査物は被検眼であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光断層撮像装置。

【請求項 8】

前記基準位置設定手段が、前記プレスキャンにより取得した前記被検眼の断層画像をセグメンテーションして神経線維層及び色素上皮層を前記少なくとも 2 つの基準位置として自動的に設定することを特徴とする請求項 7 に記載の光断層撮像装置。

【請求項 9】

10

20

30

40

50

前記合焦条件は、前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記合焦機構の少なくとも2つの位置情報であることを特徴とする請求項1乃至8に記載の光断層撮像装置。

【請求項10】

前記複数の合焦位置で取得された断層画像から新たな断層画像に再合成する手段を更に有することを特徴とする請求項1乃至9に記載の光断層撮像装置。

【請求項11】

測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、前記被検査物の断層画像における所定の範囲内の少なくとも2つの基準位置を決定する決定手段と、

前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記被検査物の深さ方向における合焦手段の合焦位置を検出する合焦検出手段と、

前記検出された合焦位置に基づいて、前記被検査物における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように、前記合焦手段を制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光断層撮像装置。

【請求項12】

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像の前記所定の範囲内で該断層画像の深さ方向の前記複数の合焦位置を決定する合焦位置決定手段と、

を更に有することを特徴とする請求項11に記載の光断層撮像装置。

【請求項13】

前記被検査物が被検眼であり、

前記合焦位置決定手段が、前記被検眼の収差に基づいて前記複数の合焦位置を決定することを特徴とする請求項12に記載の光断層撮像装置。

【請求項14】

前記被検査物が被検眼であり、

前記決定手段が、前記被検眼の断層画像における神経線維層と色素上皮層とを前記少なくとも2つの基準位置として決定することを特徴とする請求項11乃至13のいずれか1項に記載の光断層撮像装置。

【請求項15】

測定光を照射した被検眼からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検眼の断層画像を取得する撮像装置であって、

前記被検眼の断層画像における所定の範囲内の神経線維層と色素上皮層とを決定する決定手段と、

前記決定された神経線維層と前記決定された色素上皮層とにおける合焦条件に基づいて前記被検眼における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように合焦手段を制御する制御手段と、

を有することを特徴とする光断層撮像装置。

【請求項16】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する工程と、

前記少なくとも2つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置における合焦機構の駆動情報を取得する工程と、

10

20

30

40

50

前記複数の合焦位置で順次合焦するように、前記駆動情報に従って前記合焦機構を駆動する工程と、

を有することを特徴とする光断層撮像方法。

【請求項 17】

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置から前記合焦機構の位置情報に変換する変換工程を有し、

前記駆動情報取得工程において、前記変換工程での変換結果に基づいて前記駆動情報を取得することを特徴とする請求項 16 に記載の光断層撮像方法。

【請求項 18】

前記合焦条件を検出する工程において、前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記合焦条件を検出することを特徴とする請求項 16 または請求項 17 に記載の光断層撮像方法。

10

【請求項 19】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも 2 つの基準位置を設定する工程と、

20

前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記少なくとも 2 つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦する工程と、

を有することを特徴とする光断層撮像方法。

【請求項 20】

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも 1 つのモードを選択する工程を有し、

前記合焦位置を設定する工程において、前記選択されたモードに基づいて前記複数の合焦位置を設定することを特徴とする請求項 16 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の光断層撮像方法。

30

【請求項 21】

光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも 1 つのモードを選択する工程と、

前記選択されたモードに基づいて、前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

40

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも 2 つの基準位置を設定する工程と、

前記少なくとも 2 つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦する工程と、

を有することを特徴とする光断層撮像方法。

【請求項 22】

前記被検査物は被検眼であることを特徴とする請求項 16 乃至 21 のいずれか 1 項に記載の光断層撮像方法。

【請求項 23】

前記少なくとも 2 つの基準位置を設定する工程において、前記プレスキャンにより取得

50

した前記被検眼の断層画像をセグメンテーションして神経線維層及び色素上皮層を前記少なくとも2つの基準位置として自動的に設定することを特徴とする請求項22に記載の光断層撮像方法。

【請求項24】

前記合焦条件は、前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記合焦機構の少なくとも2つの位置情報であることを特徴とする請求項16乃至23のいずれか1項に記載の光断層撮像方法。

【請求項25】

前記複数の合焦位置で取得された断層画像から新たな断層画像に再合成する工程を更に有することを特徴とする請求項16乃至24のいずれか1項に記載の光断層撮像方法。

10

【請求項26】

測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

前記被検査物の断層画像における所定の範囲内の少なくとも2つの基準位置を決定する工程と、

前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記被検査物の深さ方向における合焦手段の合焦位置を検出する工程と、

前記検出された合焦位置に基づいて、前記被検査物における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように、前記合焦手段を制御する工程と、

を有することを特徴とする光断層撮像方法。

20

【請求項27】

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得工程と、

前記プレスキャン断層画像取得工程において取得した前記被検査物の断層画像の前記所定の範囲内で該断層画像の深さ方向の前記複数の合焦位置を決定する工程と、

を更に有することを特徴とする請求項26に記載の光断層撮像方法。

【請求項28】

前記被検査物が被検眼であり、

前記合焦位置を決定する工程において、前記被検眼の収差に基づいて前記複数の合焦位置を決定することを特徴とする請求項27に記載の光断層撮像方法。

30

【請求項29】

前記被検査物が被検眼であり、

前記少なくとも2つの基準位置を決定する工程において、前記被検眼の断層画像における神経線維層と色素上皮層とを前記少なくとも2つの基準位置として決定することを特徴とする請求項26乃至28のいずれか1項に記載の光断層撮像方法。

【請求項30】

測定光を照射した被検眼からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検眼の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

前記被検眼の断層画像における所定の範囲内の神経線維層と色素上皮層とを決定する工程と、

40

前記決定された神経線維層と前記決定された色素上皮層とにおける合焦条件に基づいて前記被検眼における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦する工程と、

を有することを特徴とする光断層撮像方法。

【請求項31】

請求項16乃至30のいずれか1項に記載の光断層撮像方法の各工程をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光断層撮像装置および光断層撮像方法に関し、特に眼科診療、皮膚の断層観

50

察、内視鏡やカテーテルとして構成して消化器、循環器の壁面断層撮影等に用いられる光断層撮像装置および光断層撮像方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、低コヒーレンス干渉計または白色干渉計の技術を応用した光干渉断層イメージング方法および装置が実用化されている。

中でも、多波長光波干渉を利用したオプティカルコヒーレンストモグラフィー (Optical Coherence Tomography: OCT) による光断層画像撮像装置 (光干渉断層撮像装置) では、試料の断層像を高分解能に得ることができる。

そのため、眼科領域において、眼底・網膜の断層像を得る上で、必要不可欠な装置になりつつある。

また、眼科以外でも、皮膚の断層観察や、内視鏡やカテーテルとして構成して消化器、循環器の壁面断層撮影等が試みられている。以下、これをOCT装置と記す。

【0003】

生体を撮像する上で、生体の動きによる画像の乱れ (所謂、Motion Artifact) は、様々な応用でOCT装置の課題となっているが、特に眼科画像診断用では、眼球運動の存在により、その診断精度に大きく影響する。

典型的な眼球運動としては、1秒間に100 μ m程の動きが、眼底の面内方向 (以下、横方向と称する。) および深さ方向 (以下、縦方向と称する。) の双方に3次的に生ずる。

このため、眼科応用で最初に実用化されたタイムドメイン (Time Domain) 方式によるOCT装置では、撮像時間を要することから、3次元画像の取得は実用上は不可能であった。

すなわち、この方式では、その撮像時間がBスキャン断面像 (横方向1次元+縦方向1次元の2次元像) で1秒程度におよぶため、実質的にBスキャンの100枚程度で構成される3次元画像の取得は実用上は不可能であった。

このようなことから、OCT装置の高速化は以前より望まれている。

近年ではフーリエドメイン (Fourier Domain) 方式のOCT装置 (以下、これをFD-OCT装置と記す。) が、以前のタイムドメイン方式に比べて、10倍以上の高速化を得られることで普及しつつある。

【0004】

つぎに、このFD-OCT装置の概略構成について説明する。

図10に、典型的な眼科用FD-OCT装置の模式図を示す。

図中光源1001により射出した光が単一モード光ファイバ1002により導光され、ファイバ光結合器1003に入射する。

ファイバ光結合器1003は所謂2 \times 2タイプであり、ファイバ1002からの入射光を2つの出力ファイバに分岐する。

一方の出力ファイバはマイケルソン干渉計の信号光路である人眼底撮像光学系に接続され、他方の出力ファイバは干渉計の参照光路に接続される。

信号光路においては、ファイバ端より射出した光はコリメートレンズ1004によって平行光に変換され、空間を伝搬し、XYスキャナ1005に入射する。

XYスキャナ1005は、2次元的な反射角度制御を行う反射型の光走査装置であり、反射された信号光は走査レンズ1006と接眼レンズ1007により、導光されて、人眼1008に入射する。

XYスキャナ、走査レンズ、接眼レンズにより構成された走査光学系により平行光である信号光は眼の光学作用を含めて、眼底観察対象部位1009に集光され、かつ、その位置は眼底上の光軸に略垂直な面上を2次的に走査される。

接眼レンズ1007により深さ方向のフォーカス位置が調整される。走査とフォーカスの制御はXYスキャナ1005およびフォーカス駆動アクチュエータ1010が接続された制御・信号処理手段1101によって、他の制御とあわせて統合的に行われる。

眼底観察対象部位 1 0 0 9 からの反射光、後方散乱光のうち略同一の光路を通して逆方向に進行する信号光は再びコリメートレンズ 1 0 0 4 を介してファイバ光結合器 1 0 0 3 に戻る。

【 0 0 0 5 】

一方、参照光はファイバ光結合器 1 0 0 3 より分岐され、コリメートレンズ 1 0 0 4 により平行光に変換され、光ディレイ駆動装置 1 0 1 2 上に設置された参照光ミラー 1 0 1 1 にてその光路を逆向きに進行するように反射される。

参照光ミラー 1 0 1 1 の位置は光ディレイ駆動装置 1 0 1 2 の制御を行うことによって、参照光路のトータルの光路長が信号光路を基準として所定の長さとなるよう、特に個人差のある眼軸長の補正を含めて、調整・制御される。

並進ステージ 1 0 1 1 は制御・信号処理手段 1 1 0 1 に接続されており、他の制御とあわせて統合的にその制御が行われる。

逆向きに進行した参照光は再びコリメートレンズ 1 0 0 4 を介してファイバ光結合器 1 0 0 3 に戻る。

【 0 0 0 6 】

ファイバ光結合器 1 0 0 3 に戻った信号光および参照光は、それぞれ分岐されて光源 1 0 0 1 へ戻る成分と干渉光受光系へ向かう成分に分かれるが、信号光と参照光は同一の単一モードファイバを伝播し、即ち、重ね合わさり、光干渉を生じる。

干渉光受光系は、この従来技術の例においては分光器であり、この O C T 装置は所謂スペクトラルドメイン O C T 装置（以下、S D - O C T と称する。）を構成する。

コリメートレンズ 1 0 0 4 により平行光となり、反射ミラーによって回折格子に導かれた干渉光は回折格子の作用により、その 1 次回折光が、含まれる波長成分に応じて異なる角度へ進行する。

異なる角度で結像レンズ 1 0 1 5 へ入射した干渉光の各波長成分はそれぞれの角度に応じてラインセンサ 1 0 1 6 上の異なる位置に結像され、ラインセンサのそれぞれの画素に応じた光強度として読み出され、制御・信号処理手段 1 1 0 1 へ信号が伝送される。

【 0 0 0 7 】

つぎに、制御・信号処理手段 1 1 0 1 の構成と作用を図 1 1 を用いて説明する。

制御・信号処理手段 1 1 0 1 では、X Y スキャナ 1 1 0 5、光ディレイ駆動装置 1 1 1 2、フォーカス駆動装置 1 1 1 0、ラインセンサ 1 1 1 6 の各々を制御し、一方で角度、位置、光信号を検出した信号を受け取るドライバおよび取込部がそれぞれ具備されている。このうち、ライン画像取込部 1 1 0 7 でラインセンサから伝送された光強度信号列を F F T 処理部 1 1 0 8 によって高速で逆フーリエ変換処理し、その結果が中央処理部 1 1 0 3 に送られる。

中央処理部 1 1 0 3 では、時系列で送られてくる逆フーリエ変換後のデジタル光干渉信号を、つぎのような各信号と比較する。

すなわち、X Y スキャナドライバ 1 1 0 2 からのスキャナ位置信号・同期信号、光ディレイ装置ドライバ 1 1 0 5 からのディレイ位置信号・同期信号、および、フォーカスドライバ 1 1 0 6 からのフォーカス位置信号と比較する。

これによって、光干渉信号と眼底観察対象部位上の位置とを対応付ける。

この後、所定の画素毎に光干渉信号が割り振られ、画像化が行われ、画像表示部 1 1 0 4 に表示される。

このような F D - O C T 装置により、眼底について 1 ~ 3 秒程度の撮像時間での 3 次元測定が可能となっている。

【 0 0 0 8 】

一方、眼科用 O C T 装置では、失明に至る三大疾病である糖尿病網膜症、緑内障、加齢黄斑変性について早期発見を目指して、より高性能な O C T 装置が求められている。

具体的には病変について初期の微小な変化を見つけるために、高分解能の O C T 装置が求められている。

撮像・検査対象は例えば視神経繊維、視細胞、微細血管などの変化である。

10

20

30

40

50

分解能のうち縦分解能すなわち深さ方向の分解能はＯＣＴ装置に用いる光源の特性によって決まるため、光源の波長幅を広げる工夫がなされてきている。

その一方で、横分解能は光学的なスポットサイズと焦点深度に相反関係があるため、単純に高ＮＡ（開口数）を持つ集光光学系を構成すればよいというものではない。

【０００９】

これを、以下において具体的、数式と数値例により説明する。

ＯＣＴ装置の分解能は断層方向（縦方向）および断層に垂直な横方向の２つに分けて議論される。

このうち断層方向の分解能は、光源の波長幅によって決まり、波長幅が広いほど断層方向の分解能は向上する。

10

すなわち、縦方向に狭い範囲が描出される。この縦分解能（ R_z ）は、光源の波長幅、あるいは厳密には、光源から入射された後、システムを通じて検出される波長幅に反比例し、つぎの（式１）で表される。

$$R_z = k_z \times (\lambda^2 / \Delta\lambda) \dots \dots \text{（式１）}$$

ここで、 k_z は０．４程度の定数である。

実用化された眼科用ＯＣＴでは、 λ は３０ｎｍ程度から５０ｎｍ、現在は１００ｎｍ程度まで進化してきており、対応する縦分解能は３μｍ程度であり、これは前述した細胞レベルの形態変化に近づきつつある。

20

【００１０】

一方、横方向の分解能（ R_{xy} ）は、光学結像的な分解能で決まる。

すなわち、結像系の開口数（ＮＡ）と付随する光学的な収差によって求まる。

無収差を仮定した場合の横分解能は、つぎの（式２）で表される。

$$R_{xy} = k_1 \times (\lambda / NA) \dots \dots \text{（式２）}$$

ここで、 k_1 は０．５程度の定数である。

一方、結像系の焦点深度（ＤＯＦ）は、つぎの（式３）で表される。

30

$$DOF = k_2 \times (\lambda / NA^2)$$

ここで、 k_2 は０．６程度の定数である。

すなわち、高い横分解能と深い焦点深度は光学原理的なトレードオフの関係にあり、例えば横分解能を２倍高め、光学スポットサイズ径を半分にすると、これに伴い、焦点深度は、自乗に反比例して、４分の１となってしまう。

【００１１】

ＯＣＴが最も良く実用化されている眼底診断装置においては、例えば、

$\lambda = 0.84 \mu\text{m}$ 、 $NA = 0.02$ 程度の値が用いられており、この数値例と上記（式２）、（式３）を用いると、 $R_{xy} = 20 \mu\text{m}$ 、 $DOF = 2 \text{mm}$ 程度となる。

40

人眼の網膜の厚みは０．５ｍｍ～１ｍｍ程度であるが、測定の容易さや各種の動きによりフレームアウトしないために２ｍｍ程度の深さ方向撮像範囲を持たせることが一般的である。

これがＤＯＦ値として求められ、したがって、横分解能は光学スポットサイズ直径で２０μｍに留まり、縦分解能の３μｍレベルに比して一桁程度分解能は悪いが、これ以上の高い横分解能を得ることは単純な構成では難しかった。

【００１２】

これに対して、特許文献１には、高ＮＡ光学系の浅いＤＯＦを複数のフォーカスゾーンを設定し、深さ方向に分割取得した画像を再合成する構成により、広い焦点深度範囲に渡って横分解能を達成したゾーンフォーカスによるＯＣＴ装置について開示されている。

50

このようなゾーンフォーカスは、複数のフォーカス位置にフォーカシングレンズを駆動し、順次に合焦しつつ撮像を行い、深さ方向に分割取得した画像を再合成することにより達成される。

また、フォーカシングレンズの駆動位置を、特定の位置を基準に計算により求めて設定する方法が、特許文献 2 に開示されている。

【特許文献 1】特開 2 0 0 7 - 1 0 1 2 5 0 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 7 - 5 4 2 5 1 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

10

しかしながら、上記した従来例の OCT 装置においては、つぎのような課題を有している。

すなわち、OCT 装置においては、撮像時間をできるだけ短くすることが求められ、特に、眼科用 OCT にこのような構成を用いる場合、撮像時間を短くして被験者である眼科患者への負担を軽減することはきわめて重要なことである。

しかしながら、上記特許文献 1 の OCT 装置においては、ゾーンフォーカスに際し、複数のフォーカス位置にフォーカシングレンズを駆動し、順次に合焦しつつ撮像を行うという一連の作業について、短時間に効率的に行うことにつき何も開示されていない。

特に、このようなゾーンフォーカスにおいて、高い横分解能を持たせるために NA を上げた場合、反面において焦点深度は短くなることからゾーンフォーカス時に分割取得するフォーカスゾーンの数が多くなるため、これらに対する効率的な合焦が必要とされる。

20

【 0 0 1 4 】

これらについて、更に説明すると、眼科用 OCT では、対物、即ち人眼の網膜に対する集光光学系には人眼の角膜や水晶体、硝子体といった生体光学系が含まれており、これらの生体光学系は個人差により被験者ごとに異なることが知られている。

特に、高い横分解能を持つ OCT を実現する上では、NA を大きくするため、虹彩に入射する略平行光束についてそのビーム径を太くする必要がある。

しかし、ビーム径を太くすると、人眼の生体光学系のもつ個体差はさらに大きくなる。これは収差の影響が大きくなることによるものである。

人眼の収差は所謂球面収差、コマ収差、非点収差などを含むが、これらはビーム径が太くなるほど影響が大きくなる。

30

網膜上での光スポットサイズを小さくするように合焦するとしても、個人差により様々な収差がある場合、そのベストフォーカス位置を光学的に一意に定義することは難しい。

そのため、実際には目的とする OCT の画像が良くなるように画像そのものをモニタしながら合焦を行うことになるが、フォーカスゾーンの数が多い場合にはこのようなモニタによる手法は適さない。

すなわち、上記したように、高い横分解能を持たせるために NA を上げると、反面において焦点深度は短くなり、したがって、ゾーンフォーカス時の分割取得するフォーカスゾーンの数が多くなる。

これらについての幾つかの例を表 1 に示す。

40

高い横分解能の撮像では 1 0 ~ 3 0 ゾーンが必要であり、この数だけ合焦が必要であるため、OCT 装置の画像が良くなるように画像そのものをモニタしながら合焦を行う方法は適さない。

【 0 0 1 5 】

これに対して、上記したゾーンフォーカスによる OCT 装置によれば、多数のフォーカスゾーン（フォーカス位置）に対し、順次に合焦しつつ撮像を行うことができる。

しかし、上記特許文献 1 の OCT 装置においては、上記したようにこれらの一連の作業について、できるだけ短時間に効率的に行うことにつき何も開示されていない。

【 0 0 1 6 】

また、上記特許文献 2 の断層計測装置においては、フォーカシングレンズの駆動位置を

50

、特定の位置を基準に計算により求めて設定するについては開示されている。
しかし、上記した人眼等の生体光学系が個人差により異なることへの対応や、上記したゾーンフォーカスを効率的に行うこと等について、何も開示されていない。

【 0 0 1 7 】

[表 1]

FD-OCTでのCスキャン回数			
横分解能[μm]	焦点深度[um]	深さ方向測定範囲[mm]	FD-OCTでの深さ方向分割数
20	2000	2	1
8	160	2	13
5	63	1	16
3	23	0.5	23

【 0 0 1 8 】

本発明は、上記課題に鑑み、ゾーンフォーカスにより深さ方向に画像を分割取得するに際し、複数のフォーカス位置への合焦時間の短縮化を図ることが可能となる光断層撮像装置および光断層撮像方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 9 】

本発明は、つぎのように構成した光断層撮像装置および光断層撮像方法を提供するものである。

本発明の光断層撮像装置は、光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記少なくとも2つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、
前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置における合焦機構の駆動情報を取得する駆動情報取得手段と、

前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように、前記駆動情報に従って前記合焦機構を駆動制御する制御手段と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置から前記合焦機構の位置情報に変換する変換手段を有し、

前記駆動情報取得手段が、前記変換手段の変換結果に基づいて前記駆動情報を取得することを特徴とする

また、本発明の光断層撮像装置は、前記合焦検出手段が、前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記合焦条件を検出することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得す

る光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記少なくとも2つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように制御する制御手段と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも1つのモードを選択するモード選択手段を有し、

前記合焦位置設定手段は、前記選択されたモードに基づいて前記複数の合焦位置を設定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも1つのモードを選択するモード選択手段と、

前記選択されたモードに基づいて、前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する合焦位置設定手段と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する基準位置設定手段と、

前記少なくとも2つの基準位置における合焦時の合焦条件を検出する合焦検出手段と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦が行われるように制御する制御手段と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記被検査物は被検眼であることを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記基準位置設定手段が、前記プレスキャンにより取得した前記被検眼の断層画像をセグメンテーションして神経線維層及び色素上皮層を前記少なくとも2つの基準位置として自動的に設定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記合焦条件は、前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記合焦機構の少なくとも2つの位置情報であることを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記複数の合焦位置で取得された断層画像から新たな断層画像に再合成する手段を更に有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検査物の断層画像を取得する光断層撮像装置であって、

前記被検査物の断層画像における所定の範囲内の少なくとも2つの基準位置を決定する決定手段と、

前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記被検査物の深さ方向における合焦手段の合焦位置を検出する合焦検出手段と、

前記検出された合焦位置に基づいて、前記被検査物における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように、前記合焦手段を制御する制御手段と、

を更に有することを特徴とする。

10

20

30

40

50

また、本発明の光断層撮像装置は、プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得手段と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像の前記所定の範囲内で該断層画像の深さ方向の前記複数の合焦位置を決定する合焦位置決定手段と、 を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記被検査物が被検眼であり、

前記合焦位置決定手段が、前記被検眼の収差に基づいて前記複数の合焦位置を決定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、前記被検査物が被検眼であり、

前記決定手段が、前記被検眼の断層画像における神経線維層と色素上皮層とを前記少なくとも2つの基準位置として決定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像装置は、測定光を照射した被検眼からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検眼の断層画像を取得する撮像装置であって、

前記被検眼の断層画像における所定の範囲内の神経線維層と色素上皮層とを決定する決定手段と、

前記決定された神経線維層と前記決定された色素上皮層とにおける合焦条件に基づいて前記被検眼における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように合焦手段を制御する制御手段と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する工程と、

前記少なくとも2つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置における合焦機構の駆動情報を取得する工程と、

前記複数の合焦位置で順次合焦するように、前記駆動情報に従って前記合焦機構を駆動する工程と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置から前記合焦機構の位置情報に変換する変換工程を有し、

前記駆動情報取得工程において、前記変換工程での変換結果に基づいて前記駆動情報を取得することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記合焦条件を検出する工程において、前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記合焦条件を検出することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する

10

20

30

40

50

工程と、

前記被検査物の断層画像の輝度と精細度とのうち少なくとも一方に基づいて、前記少なくとも2つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦する工程と、
を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも1つのモードを選択する工程を有し、

前記合焦位置を設定する工程において、前記選択されたモードに基づいて前記複数の合焦位置を設定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、光源からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系の走査を経て被検査物に導き、前記被検査物によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と前記参照光とを用いて、前記被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得する工程と、

横分解能モードと輝度モードとを含む複数のモードから、少なくとも1つのモードを選択する工程と、

前記選択されたモードに基づいて、前記プレスキャンにより取得した前記被検査物の断層画像における所定の撮像深さ範囲内で複数の合焦位置を設定する工程と、

前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の少なくとも2つの基準位置を設定する工程と、

前記少なくとも2つの基準位置での合焦時の合焦条件を検出する工程と、

前記合焦条件に基づいて前記複数の合焦位置で順次合焦する工程と、
を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記被検査物は被検眼であることを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記基準位置設定手段が、前記プレスキャンにより取得した前記被検眼の断層画像をセグメンテーションして神経線維層及び色素上皮層を前記少なくとも2つの基準位置として自動的に設定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記合焦条件は、前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記合焦機構の少なくとも2つの位置情報であることを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記複数の合焦位置で取得された断層画像から新たな断層画像に再合成する工程を更に有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検査物の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、前記被検査物の断層画像における所定の範囲内の少なくとも2つの基準位置を決定する工程と、

前記少なくとも2つの基準位置に対応する前記被検査物の深さ方向における合焦手段の合焦位置を検出する工程と、

前記検出された合焦位置に基づいて、前記被検査物における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦するように、前記合焦手段を制御する工程と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、プレスキャンにより前記被検査物の断層画像を取得するプレスキャン断層画像取得工程と、

前記プレスキャン断層画像取得工程において取得した前記被検査物の断層画像の前記所定の範囲内で該断層画像の深さ方向の前記複数の合焦位置を決定する工程と、

を更に有することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記被検査物が被検眼であり、

前記合焦位置を決定する工程において、前記被検眼の収差に基づいて前記複数の合焦位置を決定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、前記被検査物が被検眼であり、

前記少なくとも2つの基準位置を決定する工程において、前記被検眼の断層画像におけ

10

20

30

40

50

る神経線維層と色素上皮層とを前記少なくとも２つの基準位置として決定することを特徴とする。

また、本発明の光断層撮像方法は、測定光を照射した被検眼からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて該被検眼の断層画像を取得する光断層撮像方法であって、

前記被検眼の断層画像における所定の範囲内の神経線維層と色素上皮層とを決定する工程と、

前記決定された神経線維層と前記決定された色素上皮層とにおける合焦条件に基づいて前記被検眼における前記所定の範囲内の複数の合焦位置で合焦する工程と、

を有することを特徴とする。

また、本発明は、上記した光断層撮像方法の各工程をコンピュータに実行させるプログラムを構成したことを特徴としている。

【発明の効果】

【００２０】

本発明によれば、ゾーンフォーカスにより深さ方向に画像を分割取得するに際し、複数のフォーカス位置への合焦時間の短縮化を図ることが可能となる光断層撮像装置および光断層撮像方法を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２１】

つぎに、本発明の実施形態における光断層撮像装置（以下、これを光断層画像撮像装置と記す。）および光断層撮像方法について説明する。

図１に、本実施形態における光断層画像撮像装置の構成例の全体機能を説明する模式的ブロック図を示す。

本実施形態の光断層画像撮像装置において、プレスキャン設定・撮像手段１０１によりプレスキャンが行われプレスキャン画像データ１０２が得られる。

プレスキャンでは参照光ディレイ位置やフォーカス位置はラフに設定される。

すなわち、最適化された画像を得るための設定は不要であり、全体を表す概要の画像が取得できればよい。

例えば、検者により手動でおおまかに画像が得られる参照光ディレイ位置やフォーカス位置をサーチしてからプレスキャンするようにする。

あるいは、自動でＡスキャン一本分を取得して、信号の出る参照光ディレイ位置をサーチしてもよい。

一方、画像の明るさ（信号強度）を大まかにモニタして、自動でフォーカスを粗く調整して概要が表される程度にすることもできる。

【００２２】

次に、撮像範囲設定手段１０３によりプレスキャン画像１０２に基づき、本撮像する深さ方向の範囲が指定され、撮像範囲データ１０４が得られる。

以下、本実施形態の説明においては、範囲や位置という言葉は深さ方向に対して用いられるものとし、深さ方向の範囲を単に範囲と称し、深さ方向の位置を単に位置と称するものとする。

その一方で、横方向について言う場合は横方向範囲、あるいは横方向位置と略さずに称する。

範囲の指定は、画像の輝度（ＯＣＴ信号強度）がある閾値以上の範囲を自動することもでき、あるいは、検者により手動で指定することも可能である。

【００２３】

ゾーンフォーカス位置設定手段（フォーカス位置設定手段）１０５では、所定の撮像深さ範囲内を複数のフォーカスゾーンに分け、複数のフォーカス位置が設定される。

すなわち、撮像範囲データ１０４に基づきゾーンフォーカス位置について複数の位置がゾーンフォーカス位置設定手段１０５により指定され、ゾーンフォーカス位置リスト１０６が作成、記憶される。

【 0 0 2 4 】

一方、基準位置設定手段 1 0 7 においては、前記所定の撮像深さ範囲内で、該撮像深さ方向の基準位置を少なくとも 2 つ以上設定される。

この基準位置設定手段 1 0 7 により、撮像範囲データ 1 0 4 とプレスキャン画像データ 1 0 2 に基づき、基準位置リスト 1 0 8 が得られる。

具体的には、プレスキャン画像中の画像の輝度（信号強度）が高い部分を 2 箇所から 4 箇所程度、撮像範囲に収まりつつ、できるだけ位置が離れているように選択する。これらは自動検出でも、検者により手動に選択されるようにしてもよい。

【 0 0 2 5 】

特に、人眼の網膜では一般的な撮影対象範囲の略両端に位置する、

（ 1 ）表面（内側）の神経線維層、および、

（ 2 ）視細胞の外節内節境界または色素上皮層の 2 箇所の高い反射層がある。

このため、これをセグメンテーションして、自動で基準位置を選択することが好ましい。また、個体差や疾病を持つ患者を被験者とする場合には、必ずしも上記の 2 部位が高反射層として画像描出されとは限らないため、標準的な画像構成と異なる場合には、検者によるセミオートモードでの指定により、基準位置を選択することが好ましい。

基準位置リスト 1 0 8 は例えば 2 つの基準位置（深さ位置）を要素に持つ一次元配列であり、これらの要素毎に合焦検出手段 1 0 9 によって合焦条件が得られる。

【 0 0 2 6 】

つぎに、本実施形態の合焦検出手段による合焦検出について説明する。

図 2 に、本実施形態の合焦検出手段によるフローチャートを示す。

まず、基準位置の入力（ S 1 0 ）を前述した基準位置リスト 1 0 8 により行い、次に O C T 画像測定をして画像データを記憶する（ S 1 1 ）。

次に、記憶した画像データの中で画像中の基準位置における輝度を抽出して、数値を記憶する（ S 1 2 ）。

次に、フォーカシングレンズを動かし、次のレンズ位置に設定する（ S 1 3 ）。

この際、前述した撮像範囲データ 1 0 4 に照らしてフォーカシングレンズが全ての範囲を移動していない場合は O C T 画像測定・記憶（ S 1 1 ）以下を繰り返す。

全ての範囲を移動した場合は、各々のフォーカス位置で記憶した画面内の基準位置の画像の輝度が最大となるレンズ位置を比較により求める。

以上の構成により、画像中のある基準位置に対しての合焦条件一つがまず求められる。

なお、ここでいう合焦条件とは、画像内の位置とフォーカシングレンズの位置との対応である。

フォーカス機構素子位置検出、記憶手段 1 1 0 によりフォーカス機構素子位置データ 1 1 1 が検出・保持され、一方、画像内合焦位置記憶手段により対応する画像内合焦位置データ 1 1 3 が保持される。

同様にして、基準位置リスト 1 0 8 にある基準位置それぞれについて合焦条件が求められる。

次に、変換式または変換テーブル構築手段（フォーカス制御データ変換手段） 1 1 4 により、複数の合焦条件を元に画像内合焦位置を入力とし、フォーカス機構素子位置データを出力とする変換式あるいは変換テーブル 1 1 5 が作成され、記憶される。

【 0 0 2 7 】

次に、前記フォーカス位置設定手段によるフォーカス位置情報と、前記基準位置設定手段により予め設定された 2 つ以上の基準位置での合焦時の合焦条件を元にして、前記複数のフォーカス位置で順次合焦が行われるようにフォーカス制御が行われる。

具体的には、ゾーンフォーカス用フォーカス機構素子駆動データ計算手段（フォーカス駆動情報計算手段） 1 1 6 において、前記フォーカス制御手段の駆動情報が算出される。

変換式または変換テーブル構築手段 1 1 4 による変換式あるいは変換テーブルと、前記フォーカス位置設定手段によるフォーカス位置情報とを用いて算出される。

すなわち、ゾーンフォーカス用フォーカス機構素子駆動データ計算手段 1 1 6 に対して、

10

20

30

40

50

前記ゾーンフォーカス位置リスト（フォーカス位置情報）106および変換式／変換テーブル115を与えることで、フォーカス機構素子駆動データ117が得られる。

この駆動データに従って、順次フォーカス機構素子を駆動制御すれば、所望の画面内合焦位置での合焦が成されるので、合焦する毎にOCT撮像を行うことで、効率的にゾーンフォーカス方式の高い横分解能のFD-OCT画像が得られる。

変換式は個体差のある被験者の人眼に対する実際のOCT画像データに対応した複数の合焦位置に基づき内挿あるいは外挿により算出されている。

そのため、高精度な合焦が得られ、かつ多数の合焦位置を効率的に求めることが可能となっており、高速にゾーンフォーカス画像を取得することが可能であるため、被験者である患者の負担が軽減される。

10

【0028】

つぎに、本実施形態における光断層画像撮像装置の構成例について説明する。図3に、本実施形態における光断層画像撮像装置の構成例について説明する図を示す。

図4に、本実施形態の光断層画像撮像装置における制御・信号処理部分の様態を示す模式図を示す。

図3において、301は光源、302は光ファイバ、303は光ファイバ結合器、304はコリメートレンズ、305はXYスキャナ、306は走査レンズ、307は接眼レンズ、308は人眼、309は光干渉撮像位置である。

310はフォーカス駆動アクチュエータ、311は参照光ミラー、312は光ディレイ駆動装置、313は反射ミラー、314は回折格子、315は結像レンズ、316はラインセンサである。

20

【0029】

本実施形態の光断層画像撮像装置は、制御・信号処理手段401を除き、図10に示したFD-OCT装置と基本的に対応する構成を備えている。

ここでは、光源301からの光を測定光と参照光とに分割し、前記測定光を走査光学系（XYスキャナ305、走査レンズ306）の走査を経て被検査物に導くと共に、前記参照光を参照ミラー311に導く、

前記被検査物（人眼308）によって反射あるいは散乱された前記測定光による戻り光と、前記参照ミラーによって反射された前記参照光とを用い、前記被検査物の断層画像を撮像する。

30

その際、本実施形態の光断層画像撮像装置では、前記断層画像を深さ方向に分割取得して再合成するゾーンフォーカスによって光断層画像を撮像するOCT装置が構成される。

本実施形態の光断層画像撮像装置においては、図3中のフォーカスレンズ駆動アクチュエータ310によりフォーカスレンズが駆動され、図4中の対応するフォーカス駆動ドライバ406と中央処理部403により、前述したように制御される。

中央処理部403は上述した図1のフローを司るものであり、必要に応じて、各種ドライバへ指令をし、一方、センサから信号を受け取り画像化処理等を適宜行う。

【0030】

つぎに、本実施形態における図1に示されるフローチャートの各工程について、更に説明する。

40

図5に、本実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程である撮影範囲指定およびゾーンフォーカス位置指定とプレスキャン画像を説明する模式図を示す。

この図5には、プレスキャン画像501に基づき撮像範囲502が設定され、その範囲を所定の間隔で等分割したゾーンフォーカス位置503が設定される様子が示されている。

【0031】

図6に、本実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程であるゾーンフォーカス位置の設定による異なる2つのモードの例を説明する模式図を示す。

図6(a)に示されるように、同じ集光601に対して、左側はビーム径がビームウエストの1.4倍となる焦点深度602（所謂コンフォーカルパラメータbをビームウエストの両側に配置した範囲）を1ゾーンの範囲とする場合である。

50

これは横分解能重視モードが設定される場合である。

一方、右側はビーム径がビームウエストの 10 倍、単位面積あたりのビーム照射強度が約 10 分の 1 となる範囲を 1 ゾーンの範囲とする場合であり、画像の輝度 10 dB 落ちを目安とする輝度重視モードが設定される場合である。

後者のモードは OCT が共焦点光学構成を利用しているために、焦点深度が浅い場合には撮像範囲の両側で横分解能が悪くなるばかりでなく、画像の輝度が暗くなり、画像自体が無くなってしまふという課題を重視して対応したものである。

上述したように、本実施形態における光断層撮像装置は、横分解能モードと輝度モードを含む複数のモードから、少なくとも 1 つのモードを選択するモード選択手段を備えることが好ましい。

これにより、撮像範囲を適宜設定することができる。そして、前記フォーカス位置設定手段により、前記選択されたモードに基づいて前記フォーカス位置が設定される。

【0032】

図 7 に、本実施形態における図 1 に示されるフローチャートの一工程である撮影範囲と基準位置指定とプレスキャン画像を説明する模式図を示す。

図 7 には、プレスキャン画像 501 と撮像範囲 502 に基づき、画像中の輝度が高く、かつ、撮像範囲内でできるだけ離れた 2 つの位置である第一基準位置 701 (Z1)、第二基準位置 702 (Z2) が設定される様子が示されている。

図 8 に、本実施形態における図 1 に示されるフローチャートの一工程である複数の合焦条件と変換式を説明する模式図を示す。

図 8 には、つぎのようにその様子が示されている。

第一基準位置 701、第二基準位置 702 に対してそれぞれ合焦検出が成され、対応するフォーカシングレンズ位置 (第一フォーカシング位置 801 (L1) および第二フォーカシング位置 802 (L2)) が検出され、記憶される。

これらの結果、2 次元配列としての 2 つの合焦条件 803、804 が得られ、これに続いて、変換式である一次関数 805 が得られる様子が示されている。

図 9 に、本実施形態における図 1 に示されるフローチャートの一工程である変換式からフォーカシング素子の位置が複数得られる様子を説明する模式図を示す。図 9 には、変換式である一次関数 805 によって、ゾーンフォーカス位置 503 の各要素である $Zf1$, $Zf2$, ..., Zfn がそれぞれ変換され、フォーカシング位置 901 の各要素 $Lf1$, $Lf2$, ..., Lfn が得られる様子が示されている。

【0033】

以上述べた本実施形態の構成により、高精度かつ効率的な高横分解能の OCT 撮像が個体差のある人眼について可能となるため、被験者である患者の負担を軽減された高性能な光断層画像撮像装置 (光干渉断層撮影装置) が実現される。

しかし本発明は、上記実施形態の構成に限定されるものではない。

例えば、上述した実施形態ではフォーカシング機構はフォーカシングレンズの移動によるものとしたが、ミラー系でのフォーカシングとしてもよく、この場合ミラーの変形を用いても良い。

また、例えば、上述した実施形態では合焦検出において、画像の基準位置の輝度が最大になることを持って合焦と判断しているが、これについて、例えば、画像の精細度を持って合焦と判断することも勿論できる。

この際には、例えば MTF (Modulation Transfer Function) のように空間周波数に対するコントラストを算出してこれに基づいて合焦することもできる。

さらに、画像内の特徴物を指定して、特徴物の輪郭等の精細度を持って合焦とすることもできる。

【0034】

また、例えば、上述した実施形態では基準位置の数については 2 つの例を示したが、この場合には変換式は 2 点を通る直線である一次関数が好適であるのはいうまでもない。

10

20

30

40

50

基準位置の数が3以上の場合には、最小自乗法での直線（一次関数）フィッティングを行う方法、2次以上の高次関数、スプライン補間等を行う方法などを適宜選択でき、さらにこの変換式は連続的な関数でなく離散的なテーブルであってもよい。

したがって、本発明は基準位置の数や変換式、変換テーブルの種類に限定されるものではない。

ただし、基準位置の数を増やしすぎると、本発明の本質である少数の実合焦検出によって多数の合焦を効率良く行うことに反するため、例えば10以上の基準位置を設定することは現実的ではない。

本発明の高分解能のOCT光干渉計測装置は、特に人眼の網膜撮影に適応しているが、その他、皮膚、内視鏡などの生体観察ならびに、産業上の品質管理などを含み、各種の診断装置、検査装置に利用することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明の実施形態における光断層画像撮像装置の構成例の全体機能を説明する模式的ブロック図である。

【図2】本発明の実施形態の光断層画像撮像装置における合焦検出手段による合焦検出について説明するフローチャートである。

【図3】本発明の実施形態における光断層画像撮像装置の構成例について説明する図である。

【図4】本発明の実施形態の光断層画像撮像装置における制御・信号処理部分の様態を示す模式図である。

20

【図5】本発明の実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程である撮影範囲指定およびゾーンフォーカス位置指定とプレスキャン画像を説明する模式図である。

【図6】本発明の実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程であるゾーンフォーカス位置の設定による異なる2つのモードの例を説明する模式図である。

【図7】本発明の実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程である撮影範囲と基準位置指定とプレスキャン画像を説明する模式図である。

【図8】本発明の実施形態本実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程である複数の合焦条件と変換式を説明する模式図である。

【図9】本発明の実施形態における図1に示されるフローチャートの一工程である変換式からフォーカシング素子の位置が複数得られる様子を説明する模式図である。

30

【図10】従来例におけるFD-OCT装置の一例を説明する模式図である。

【図11】従来例におけるFD-OCTの制御・信号処理計の一例を説明する模式図である。

【符号の説明】

【0036】

301：光源

302：光ファイバ

303：光ファイバ結合器

304：コリメートレンズ

40

305：XYスキャナ

306：走査レンズ

307：接眼レンズ

308：人眼

309：光干渉撮像位置

310：フォーカス駆動アクチュエータ

311：参照光ミラー

312：光ディレイ駆動装置

313：反射ミラー

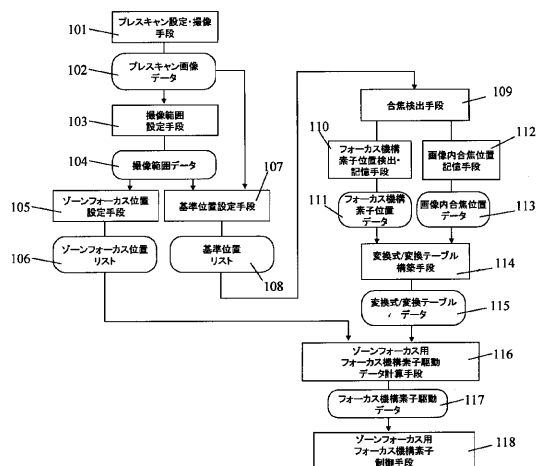
314：回折格子

50

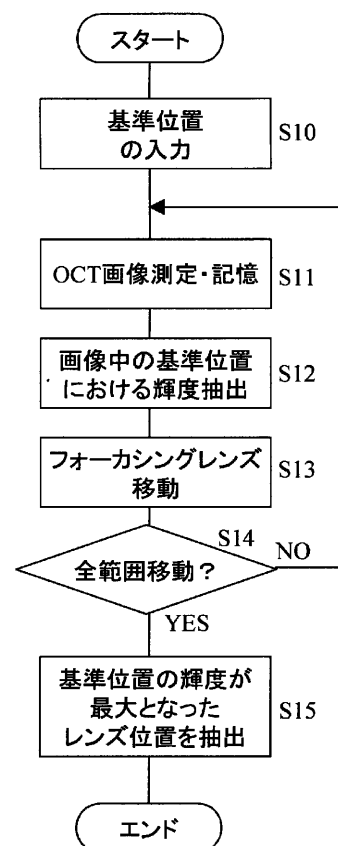
315 : 結像レンズ
 316 : ラインセンサ
 401 : 制御・信号処理手段
 402 : X Y スキャナドライバ
 403 : 中央処理部
 404 : 画像表示部
 405 : 光ディレイ駆動ドライバ
 406 : フォーカス駆動ドライバ
 407 : ライン画像取込部
 408 : F F T 処理部
 501 : プレスキャン画像
 502 : 撮像範囲
 503 : ゾーンフォーカス位置
 601 : 集光
 602 , 603 : ゾーン範囲
 604 , 605 : O C T 画素
 701 , 702 : 基準位置
 801 , 802 : 基準位置でのフォーカシング素子駆動位置
 901 : ゾーンフォーカスでのフォーカシング素子駆動位置

10

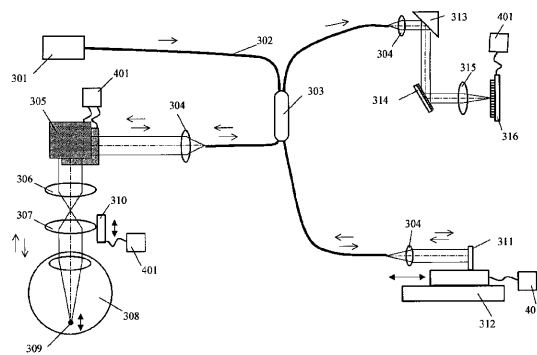
【図 1】



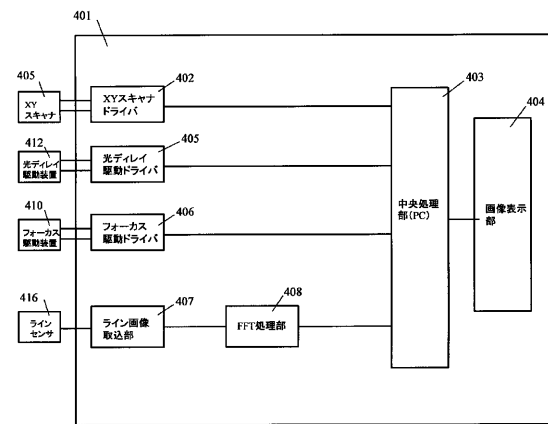
【図 2】



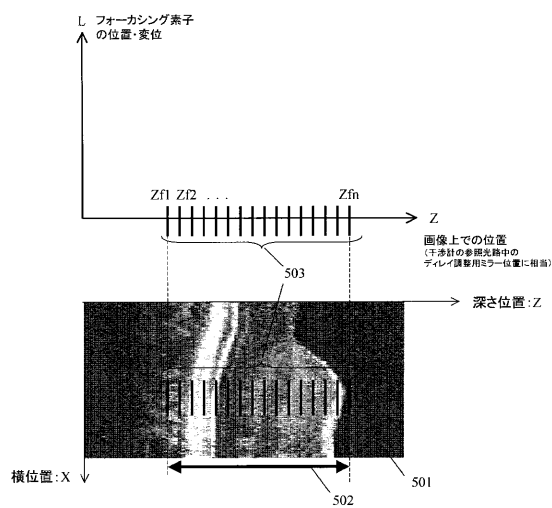
【図 3】



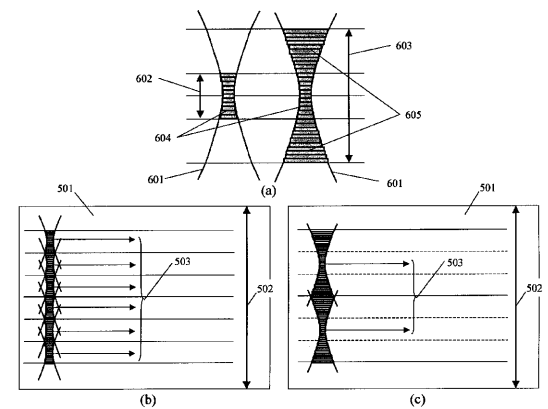
【図 4】



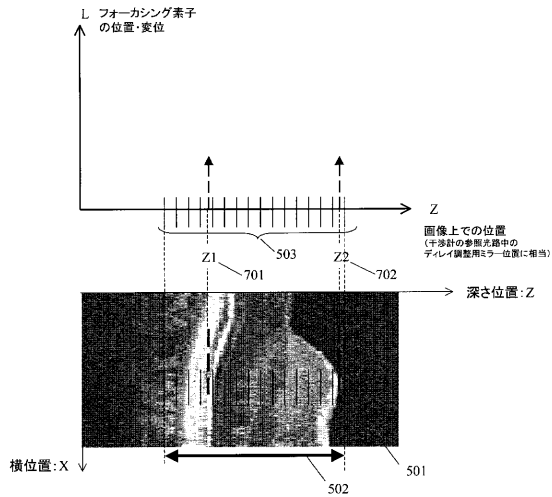
【図 5】



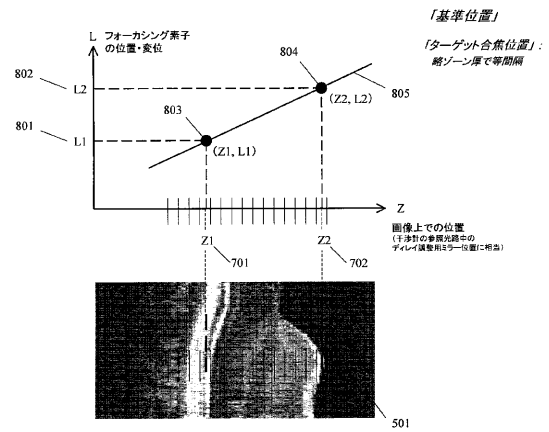
【図 6】



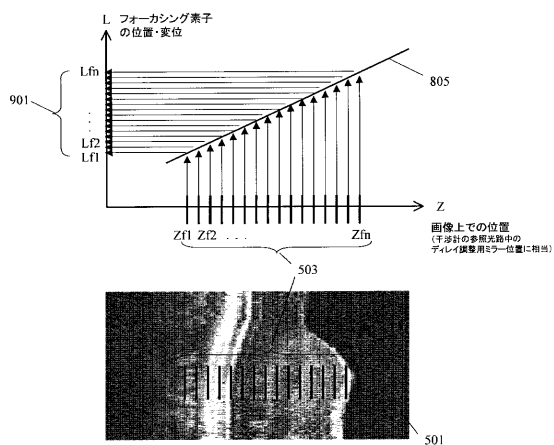
【図 7】



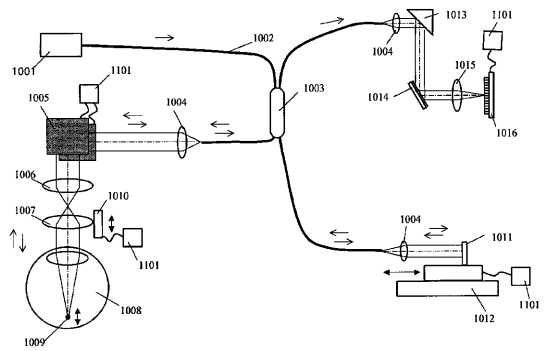
【図 8】



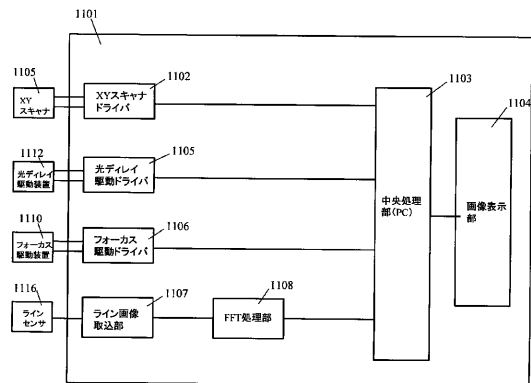
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2008-298767(JP,A)
特開2007-185244(JP,A)
特開2008-253493(JP,A)
特開2005-351839(JP,A)
特開2008-206684(JP,A)
特開2005-283471(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00-21/01, 21/17-21/61
A61B 3/00-3/16
A61B10/00
A61B1/00-1/32