

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5529384号
(P5529384)

(45) 発行日 平成26年6月25日 (2014. 6. 25)

(24) 登録日 平成26年4月25日 (2014. 4. 25)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 21/17 (2006. 01)

A 6 1 B 1/00 (2006. 01)

G O 1 B 9/02 (2006. 01)

G O 1 B 11/24 (2006. 01)

G O 2 B 6/24 (2006. 01)

G O 1 N 21/17 6 2 O

A 6 1 B 1/00 3 O O D

G O 1 B 9/02

G O 1 B 11/24 D

G O 2 B 6/24

請求項の数 17 (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-20398 (P2008-20398)
 (22) 出願日 平成20年1月31日 (2008. 1. 31)
 (65) 公開番号 特開2009-98112 (P2009-98112A)
 (43) 公開日 平成21年5月7日 (2009. 5. 7)
 審査請求日 平成22年7月1日 (2010. 7. 1)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-255785 (P2007-255785)
 (32) 優先日 平成19年9月28日 (2007. 9. 28)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000109543
 テルモ株式会社
 東京都渋谷区幡ヶ谷二丁目4番1号
 (74) 代理人 100080159
 弁理士 渡辺 望穂
 (74) 代理人 100090217
 弁理士 三和 晴子
 (74) 代理人 100152984
 弁理士 伊東 秀明
 (72) 発明者 増田 禎
 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
 富士フイルム株式会社内
 審査官 樋口 宗彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ロータリアダプタおよびこれを用いる光断層画像化装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導波された戻り光を用いて測定対象の光断層画像を取得する光断層画像化装置であって、

測定対象の光断層画像を取得する装置本体と、

前記装置本体からの測定光を前記測定対象まで導波するとともに前記測定対象からの戻り光を導波する回転側光ファイバ、その先端部に配置され、前記測定対象に前記測定光を照射し、その戻り光を取得する測定部、前記回転側光ファイバおよび前記測定部を回転自在に保持するように、それらの外周を覆い、少なくとも、前記測定部からの前記測定光および前記測定対象からの前記戻り光が透過する領域が透明な材料で形成されているプローブ外筒を備える光プローブと、

前記装置本体に接続され、前記測定光を前記回転側光ファイバまで導波するとともに前記回転側光ファイバによって導波された前記戻り光を前記装置本体まで導波する固定側光ファイバと、

前記回転側光ファイバを前記固定側光ファイバに対して回転自在に接続し、前記測定光および前記戻り光を伝送する光ロータリアダプタとを有し、

前記装置本体は、

光源と、

前記光源から射出された光を前記測定光と参照光に分岐する分岐手段と、

前記光プローブの前記測定部で検出され、前記回転側光ファイバ、前記光ロータリアダ

プタおよび前記固定側光ファイバを導波された前記戻り光と、前記参照光を合波して干渉光を生成する合波部と、

前記干渉光を干渉信号として検出する干渉光検出部と、

前記干渉光検出部によって検出された前記干渉信号から前記光断層画像を取得する断層画像取得部とを備え、

前記光ロータリアダプタは、

測定光を前記測定対象まで導波するとともに前記測定対象からの反射による戻り光を導波する光ファイバ間を回転自在に接続する光ロータリアダプタであって、

固定スリーブと、

この固定スリーブに固定的に支持され、その一方にその中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する端面を持つ固定側光ファイバと、

この固定側光ファイバの傾斜する端面と所定間隔離間して配置される固定側コリメータレンズと、

前記固定スリーブに対して回転自在に支持される取付筒と、

この取付筒に固定的に取り付けられ、前記固定側コリメータレンズに対向して配置され、その中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する端面を持つ回転側光ファイバと、

前記取付筒に固定的に取り付けられ、前記固定側コリメータレンズと前記回転側光ファイバとの間に、前記回転側光ファイバの傾斜する端面と所定間隔離間して配置される回転側コリメータレンズと、

前記取付筒を回転駆動させ、前記回転側光ファイバと前記回転側コリメータレンズを回転させる回転駆動手段とを備え、

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの中心軸を、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、オフセットまたは傾斜させてあり、

前記干渉光検出部は、

入力された光を光電変換して値を検出する２つの検出部と２つの前記検出部で検出された値から差分を検出する差分アンプとからなり、２つの前記検出された値をバランス検波することにより、前記干渉信号を増幅して出力しながら干渉信号以外の同相光雑音を除去することで光断層画像の画質の向上を図ることを特徴とする光断層画像化装置。

【請求項２】

前記固定側光ファイバは、前記固定スリーブの略中心に固定的に支持され、

前記回転側光ファイバは、前記取付筒の略中心に固定的に取り付けられ、

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの前記中心軸は、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、平行であり、かつ、オフセットしている光ロータリアダプタを備える請求項１に記載の光断層画像化装置。

【請求項３】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の中心軸と前記取付筒の回転中心軸との各々のオフセット量 １および ２は、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の前記傾斜端面のそれらの中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度をそれぞれ １および ２、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の屈折率をそれぞれ n_1 および n_2 、前記固定側光ファイバと前記回転側光ファイバとの間の光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、前記固定側光ファイバ内および前記回転側光ファイバ内の各々をそれらの中心軸に平行に進行し、各々の傾斜端面と前記媒質との界面で屈折した光の各々の傾斜端面の法線とのなす角をそれぞれ ３および ４とし、前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズをそれぞれ薄板レンズとしたときの前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の傾斜端面の中心と前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズの各々の中心との光軸間距離に等しい前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズの各々の焦点距離をそれぞれ f_1 および f_2 とするとき、下記式（１）、（２）、（３）および（４）を満足する光ロータリアダプタを備える請求項１または２に記載の光断層画像化装置。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (1)$$

10

20

30

40

50

$$\begin{aligned} 1 &= f_1 \times \tan(\theta_3 - \theta_1) \quad \dots (2) \\ n_2 \times \sin \theta_2 &= n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (3) \\ 2 &= f_2 \times \tan(\theta_4 - \theta_2) \quad \dots (4) \end{aligned}$$

【請求項 4】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールによって支持され、それぞれのフェルールは、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各傾斜端面と同じ平面をなす傾斜端面を持つ光ロータリアダプタを備える請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の光断層画像化装置。

【請求項 5】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールの中心に支持され、各フェルールは、それぞれホルダに支持され、各ホルダは、前記固定スリーブおよび前記取付筒に固定的に取り付けられ、

前記取付筒の回転中心軸に対して、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバを支持するそれぞれのフェルール自体をオフセットさせて、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバのそれぞれの中心軸をオフセットさせる光ロータリアダプタを備える請求項 4 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 6】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、各々の傾斜端面の中心が前記回転中心軸上に位置するように配置され、

前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズは、各々の中心が前記回転中心軸上に位置するように配置され、

前記固定側光ファイバは、前記固定スリーブに所定角度傾斜して固定的に支持され、

前記回転側光ファイバは、前記取付筒に所定角度傾斜して固定的に取り付けられ、

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの前記中心軸は、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、それぞれ傾斜する光ロータリアダプタを備える請求項 1 の光断層画像化装置。

【請求項 7】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の中心軸と前記取付筒の回転中心軸に対する各々の傾斜角度 θ_1 および θ_2 は、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の前記傾斜端面のそれらの中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度をそれぞれ θ_1 および θ_2 、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の屈折率をそれぞれ n_1 および n_2 、前記固定側光ファイバと前記回転側光ファイバとの間の光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、前記固定側光ファイバ内および前記回転側光ファイバ内の各々をそれらの中心軸に平行に進行し、各々の傾斜端面と前記媒質との界面で屈折した光の各々の傾斜端面の法線とのなす角をそれぞれ θ_3 および θ_4 とするとき、下記式 (5)、(6)、(7) および (8) を満足するものである光ロータリアダプタを備える請求項 1 または 6 に記載の光断層画像化装置。

$$\begin{aligned} n_1 \times \sin \theta_1 &= n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (5) \\ \theta_1 &= \theta_3 - \theta_1 \quad \dots (6) \\ n_2 \times \sin \theta_2 &= n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (7) \\ \theta_2 &= \theta_4 - \theta_2 \quad \dots (8) \end{aligned}$$

【請求項 8】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールによって支持され、それぞれのフェルールは、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各傾斜端面と同じ平面をなす傾斜端面を持つ光ロータリアダプタを備える請求項 1、6 または 7 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 9】

前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールの中心に支持され、各フェルールは、それぞれホルダに支持され、各ホルダは、前記固定スリーブおよび前記取付筒に固定的に取り付けられ、

前記取付筒の回転中心軸に対して、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバを支持するそれぞれのフェルール自体を傾斜させて、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバのそれぞれの中心軸を傾斜させる光ロータリアダプタを備える請求項 8 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 1 0】

前記固定側光ファイバおよび前記固定側コリメータレンズと、前記回転側光ファイバおよび回転側コリメータレンズとは、対称となる位置が取れるように配置される光ロータリアダプタを備える請求項 1 ~ 9 のいずれかに記載の光断層画像化装置。

【請求項 1 1】

前記回転側光ファイバおよび前記回転側コリメータレンズを固定的に支持する前記取付筒は、前記固定側光ファイバおよび前記固定側コリメータレンズを固定的に支持する前記固定スリーブから着脱可能である光ロータリアダプタを備える請求項 1 ~ 1 0 のいずれかに記載の光断層画像化装置。

10

【請求項 1 2】

さらに、一方の端部が前記取付筒に取り付けられ、前記取付筒と一体的に前記回転中心軸周りに回転する回転筒を有し、

前記回転側光ファイバの一方の前記傾斜端面の側は、その中心軸が前記取付筒の回転中心軸に対してオフセットまたは傾斜するように前記取付筒に取り付けられ、

前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部において、前記回転筒に支持される光ロータリアダプタを備える請求項 1 ~ 1 1 のいずれかに記載の光断層画像化装置。

20

【請求項 1 3】

前記回転筒の他方の端部において、前記回転側光ファイバは、その中心軸と前記取付筒の回転中心軸とが一致するように前記回転筒の中心に支持される光ロータリアダプタを備える請求項 1 2 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 1 4】

前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部において、他方の端面を有し、

前記回転筒の他方の端部は、固定型の光コネクタの端子を構成する光ロータリアダプタを備える請求項 1 2 または 1 3 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 1 5】

前記回転側光ファイバの他方の端面は、その中心軸と前記取付筒の回転中心軸とが一致するように前記回転筒の中心に取り付けられる光ロータリアダプタを備える請求項 1 4 に記載の光断層画像化装置。

30

【請求項 1 6】

前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部から延在し、その先端部は、前記測定対象に前記測定光を照射し、その戻り光を取得する測定部に接続され、透明なプローブ外筒に回転自在に保持され、光プローブを構成する光ロータリアダプタを備える請求項 1 2 または 1 3 に記載の光断層画像化装置。

【請求項 1 7】

前記光源は、一定の周期で波長を掃引しながら光を射出するものである請求項 1 ~ 1 6 のいずれかに記載の光断層画像化装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、光ロータリアダプタ、およびこれを用いる光断層画像化装置に係り、詳しくは、測定対象の光断層画像を取得するために、測定光を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光を導波する光ファイバ間を回転自在に接続する光ロータリアダプタ、および測定対象に光を照射し、その反射による戻り光から測定対象の光断層画像を取得する光断層画像化装置に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

50

生体組織等の測定対象を切断せずに断面画像を取得する方法として、光干渉断層（OCT：Optical Coherence Tomography）計測法を利用した光断層画像化装置がある。

このOCT計測法は、光干渉計測法の一つであり、光源から射出された光を測定光と参照光との2つに分け、測定光と参照光との光路長が光源のコヒーレンス長以内の範囲で一致したときにのみ光干渉が検出されることを利用した計測方法である。

【0003】

このOCT計測法を利用した光断層画像化装置としては、例えば、特許文献1に、光源と、光源から射出された光を測定光と基準光に分ける第1の光カップラ部と、測定光を測定対象たる被検体に照射し、その反射による戻り光を検出する測定部、測定光および戻り光を伝達する光ファイバおよび光ファイバと測定部を被覆する透明部なシースを備える光走査プローブと、測定光と同じ光路長を導光された基準光と戻り光とを干渉させる第2のカップラ部と、干渉結果から断層画像を検出する演算部を有する光断層画像化装置が開示されている。そして、特許文献1に開示の光断層画像化装置は、測定部の光ファイバが、光ロータリージョイントで回転自在に接続されており、光走査プローブの先端の測定部を所定の測定部位まで挿入し、光ファイバを回転させて測定部を回転させつつ、回転する測定部によって測定対象の複数点の断層画像を取得することによって2次元の断層像を取得している。

【0004】

特許文献1に開示の光ロータリージョイントは、中心に沿って回転側光ファイバが挿通された回転子を、中心に沿って固定側光ファイバが挿通された回転子受けの凹部に嵌合して、回転子を軸受けを介して回転子受けに回転自在に支持し、回転子をベルトを介して一定速度で回転駆動し、対向する回転側光ファイバおよび固定側光ファイバの両先端には凸レンズを配置して回転されない固定側光ファイバと回転される回転側光ファイバとの間で効率良く光伝送できるようにしている。

【0005】

【特許文献1】特開2000-131222号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、特許文献1に開示の光断層画像化装置に用いられている光ロータリージョイントは、対向する回転側光ファイバおよび固定側光ファイバの両先端に凸レンズを配置することにより、光ファイバ先端同士を非接触として、一方の光ファイバを回転自在にするとともに、体腔部などの体内に挿入された光走査プローブを洗浄するために、光走査プローブ側の回転側光ファイバが挿通された回転子と固定側光ファイバが挿通された回転子受けとを着脱可能とし、かつ、回転子と回転子受けとを着脱する際にも、両光ファイバの先端の損傷や破損などを防止することができるし、凸レンズを介して一方の光ファイバ内を伝播された光を集光して他方の光ファイバに入射させることができるので、ある程度の効率良い光伝送は可能である。

【0007】

しかしながら、特許文献1に開示の光ロータリージョイントにおいては、両光ファイバの対向する両端面における光の反射や屈折による測定対象からの戻り光の減衰によるS/N比の低下については全く考慮されていないという問題があった。特に、光断層画像化装置においては、両光ファイバの対向する両端面における測定光の減衰は許容できる場合であっても、測定光に対する測定対象からの戻り光の光量は、 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ 程度であるため、両光ファイバの対向する両端面における端面反射による戻り光の減衰やS/N比の低下は極めて重大であるにもかかわらず、特許文献1に開示の光ロータリージョイントでは全く考慮されていないという問題があった。

【0008】

本発明の第1の目的は、上記従来技術の問題点を解消し、測定光を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光を導波する光ファイバ間を回転自在かつ着脱可能に接続

10

20

30

40

50

し、着脱した際にも接続された両光ファイバの先端の損傷や破損などを防止することができるとともに、接続される両光ファイバの対向する両端面における端面反射による、測定対象からの戻り光の減衰やS/N比の低下を防止することができる光ロータリアダプタを提供することにある。

本発明の第2の目的は、上記第1の目的を達成することができる光ロータリアダプタを用いることにより、効率よく分解能の高い、測定対象の光断層画像を取得することができる光断層画像化装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明は、導波された戻り光を用いて測定対象の光断層画像を取得する光断層画像化装置であって、測定対象の光断層画像を取得する装置本体と、前記装置本体からの測定光を前記測定対象まで導波するとともに前記測定対象からの戻り光を導波する回転側光ファイバ、その先端部に配置され、前記測定対象に前記測定光を照射し、その戻り光を取得する測定部、前記回転側光ファイバおよび前記測定部を回転自在に保持するように、それらの外周を覆い、少なくとも、前記測定部からの前記測定光および前記測定対象からの前記戻り光が透過する領域が透明な材料で形成されているプローブ外筒を備える光プローブと、前記装置本体に接続され、前記測定光を前記回転側光ファイバまで導波するとともに前記回転側光ファイバによって導波された前記戻り光を前記装置本体まで導波する固定側光ファイバと、前記回転側光ファイバを前記固定側光ファイバに対して回転自在に接続し、前記測定光および前記戻り光を伝送する光ロータリアダプタとを有し、前記装置本体は、光源と、前記光源から射出された光を前記測定光と参照光に分岐する分岐手段と、前記光プローブの前記測定部で検出され、前記回転側光ファイバ、前記光ロータリアダプタおよび前記固定側光ファイバを導波された前記戻り光と、前記参照光を合波して干渉光を生成する合波部と、前記干渉光を干渉信号として検出する干渉光検出部と、前記干渉光検出部によって検出された前記干渉信号から前記光断層画像を取得する断層画像取得部とを備え、前記光ロータリアダプタは、測定光を前記測定対象まで導波するとともに前記測定対象からの反射による戻り光を導波する光ファイバ間を回転自在に接続する光ロータリアダプタであって、固定スリーブと、この固定スリーブに固定的に支持され、その一方にその中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する端面を持つ固定側光ファイバと、この固定側光ファイバの傾斜する端面と所定間隔離間して配置される固定側コリメータレンズと、前記固定スリーブに対して回転自在に支持される取付筒と、この取付筒に固定的に取り付けられ、前記固定側コリメータレンズに対向して配置され、その中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する端面を持つ回転側光ファイバと、前記取付筒に固定的に取り付けられ、前記固定側コリメータレンズと前記回転側光ファイバとの間に、前記回転側光ファイバの傾斜する端面と所定間隔離間して配置される回転側コリメータレンズと、前記取付筒を回転駆動させ、前記回転側光ファイバと前記回転側コリメータレンズを回転させる回転駆動手段とを有し、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの中心軸を、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、オフセットまたは傾斜させ、前記干渉光検出部は、入力された光を光電変換して値を検出する2つの検出部と2つの前記検出部で検出された値から差分を検出する差分アンプとからなり、2つの前記検出された値をバランス検波することにより、前記干渉信号を増幅して出力しながら干渉信号以外の同相光雑音を除去することで光断層画像の画質の向上を図ることを特徴とする光断層画像化装置を提供するものである。

【0010】

ここで、前記固定側光ファイバは、前記固定スリーブの略中心に固定的に支持され、前記回転側光ファイバは、前記取付筒の略中心に固定的に取り付けられ、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの前記中心軸は、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、平行であり、かつ、オフセットしているのが好ましい。

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の中心軸と前記取付筒

10

20

30

40

50

の回転中心軸との各々のオフセット量 1 および 2 は、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の前記傾斜端面のそれらの中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度をそれぞれ 1 および 2、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の屈折率をそれぞれ n_1 および n_2 、前記固定側光ファイバと前記回転側光ファイバとの間の光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、前記固定側光ファイバ内および前記回転側光ファイバ内の各々をそれらの中心軸に平行に進行し、各々の傾斜端面と前記媒質との界面で屈折した光の各々の傾斜端面の法線とのなす角をそれぞれ 3 および 4 とし、前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズをそれぞれ薄板レンズとしたときの前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の傾斜端面の中心と前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズの各々の中心との光軸間距離に等しい前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズの各々の焦点距離をそれぞれ f_1 および f_2 とするとき、下記式 (1)、(2)、(3) および (4) を満足するものであるのが好ましい。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (1)$$

$$\theta_1 = f_1 \times \tan(\theta_3 - \theta_1) \quad \dots (2)$$

$$n_2 \times \sin \theta_2 = n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (3)$$

$$\theta_2 = f_2 \times \tan(\theta_4 - \theta_2) \quad \dots (4)$$

【0011】

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールによって支持され、それぞれのフェルールは、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各傾斜端面と同じ平面をなす傾斜端面を持つのが好ましい。

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェールの中心に支持され、各フェールは、それぞれホルダに支持され、各ホルダは、前記固定スリーブおよび前記取付筒に固定的に取り付けられ、前記取付筒の回転中心軸に対して、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバを支持するそれぞれのフェール自体をオフセットさせて、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバのそれぞれの中心軸をオフセットさせるのが好ましい。

【0012】

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、各々の傾斜端面の中心が前記回転中心軸上に位置するように配置され、前記固定側コリメータレンズおよび前記回転側コリメータレンズは、各々の中心が前記回転中心軸上に位置するように配置され、前記固定側光ファイバは、前記固定スリーブに所定角度傾斜して固定的に支持され、前記回転側光ファイバは、前記取付筒に所定角度傾斜して固定的に取り付けられ、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの前記中心軸は、前記戻り光の減衰を小さくするように、前記取付筒の回転中心軸に対して、それぞれ傾斜しているのが好ましい。

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の中心軸と前記取付筒の回転中心軸に対する各々の傾斜角度 1 および 2 は、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の前記傾斜端面のそれらの中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度をそれぞれ 1 および 2、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各々の屈折率をそれぞれ n_1 および n_2 、前記固定側光ファイバと前記回転側光ファイバとの間の光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、前記固定側光ファイバ内および前記回転側光ファイバ内の各々をそれらの中心軸に平行に進行し、各々の傾斜端面と前記媒質との界面で屈折した光の各々の傾斜端面の法線とのなす角をそれぞれ 3 および 4 とするとき、下記式 (5)、(6)、(7) および (8) を満足するものであるのが好ましい。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (5)$$

$$\theta_1 = \theta_3 - \theta_1 \quad \dots (6)$$

$$n_2 \times \sin \theta_2 = n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (7)$$

$$\theta_2 = \theta_4 - \theta_2 \quad \dots (8)$$

【0013】

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールによ

10

20

30

40

50

って支持され、それぞれのフェルールは、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバの各傾斜端面と同じ平面をなす傾斜端面を持つのが好ましい。

また、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバは、それぞれフェルールの中心に支持され、各フェルールは、それぞれホルダに支持され、各ホルダは、前記固定スリーブおよび前記取付筒に固定的に取り付けられ、前記取付筒の回転中心軸に対して、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバを支持するそれぞれのフェルール自体を傾斜させて、前記固定側光ファイバおよび前記回転側光ファイバのそれぞれの中心軸を傾斜させるのが好ましい。

【0014】

また、前記固定側光ファイバおよび前記固定側コリメータレンズと、前記回転側光ファイバおよび回転側コリメータレンズとは、対称となる位置が取れるように配置されるのが好ましい。

10

また、前記回転側光ファイバおよび前記回転側コリメータレンズを固定的に支持する前記取付筒は、前記固定側光ファイバおよび前記固定側コリメータレンズを固定的に支持する前記固定スリーブから着脱可能であるのが好ましい。

【0015】

また、前記光ロータリアダプタは、さらに、一方の端部が前記取付筒に取り付けられ、前記取付筒と一体的に前記回転中心軸周りに回転する回転筒を有し、前記回転側光ファイバの一方の前記傾斜端面の側は、その中心軸が前記取付筒の回転中心軸に対してオフセットまたは傾斜するように前記取付筒に取り付けられ、前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部において、前記回転筒に支持されるのが好ましい。

20

また、前記回転筒の他方の端部において、前記回転側光ファイバは、その中心軸と前記取付筒の回転中心軸とが一致するように前記回転筒の中心に支持されるのが好ましい。

さらに、前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部において、他方の端面を有し、前記回転筒の他方の端部は、固定型の光コネクタの端子を構成するのが好ましく、また、前記回転側光ファイバの他方の端面は、その中心軸と前記取付筒の回転中心軸とが一致するように前記回転筒の中心に取り付けられるのが好ましい。

もしくは、前記回転側光ファイバは、前記回転筒の他方の端部から延在し、その先端部は、前記測定対象に前記測定光を照射し、その戻り光を取得する測定部に接続され、透明なプローブ外筒に回転自在に保持され、光プローブを構成するのが好ましい。

30

【0017】

また、前記光源は、一定の周期で波長を掃引しながら光を射出するものであるのが好ましい。

【発明の効果】

【0018】

本発明の第1の態様の光ロータリアダプタによれば、測定光を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光を導波する光ファイバ間を回転自在、好ましくは着脱可能に接続し、着脱した際にも接続された両光ファイバの先端の損傷や破損などを防止することができるとともに、接続される両光ファイバの対向する両端面における端面反射による、測定対象からの戻り光の減衰やS/N比の低下を防止することができる。

40

また、本発明の第2の態様の光断層画像化装置によれば、上記効果を奏する第1の態様の光ロータリアダプタを用いることにより、効率よく分解能の高い、測定対象の光断層画像を取得することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下に、本発明に係る光ロータリアダプタおよびこれを用いる光断層画像化装置を、添付の図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。

図1は、本発明の光ロータリアダプタを用いる本発明の光断層画像化装置の一実施形態の概略構成を示すブロック図である。

【0020】

50

同図に示す本発明の光断層画像化装置 10 は、光干渉断層 (OCT:Optical Coherence Tomography) 計測法による測定対象の光断層画像を取得するためのもので、光 L a を射出する光源ユニット 12 と、光源ユニット 12 から射出された光 L a を測定光 L 1 と参照光 L 2 に分岐し、かつ、被検体である測定対象からの戻り光 L 3 と参照光 L 2 を合波して干渉光 L 4 を生成する分岐合波部 14 と、分岐合波部 14 で生成された干渉光 L 4 を干渉信号として検出する干渉光検出部 20 と、この干渉光検出部 20 によって検出された干渉信号を処理して光断層画像 (以下単に「断層画像」ともいう) を取得する処理部 22 と、処理部 22 で取得された光断層画像を表示する表示部 24 とを備える装置本体 11 と、装置本体 11 の分岐合波部 14 で分岐された測定光 L 1 を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光 L 3 を導波する回転側光ファイバ FB 1 を備える光プローブ 16 と、測定光 L 1 を回転側光ファイバ FB 1 まで導波するとともに回転側光ファイバ FB 1 によって導波された戻り光 L 3 を導波する固定側光ファイバ FB 2 と、回転側光ファイバ FB 1 を固定側光ファイバ FB 2 に対して回転自在に接続し、測定光 L 1 および戻り光 L 3 を伝送する本発明の光ロータリアダプタ 18 とを有する。

10

【0021】

また、光断層画像化装置 10 は、装置本体 11 に、さらに、参照光 L 2 の光路長を調整する光路長調整部 26 と、光源ユニット 12 から射出された光 L a を分光する光ファイバカプラ 28 と、参照光 L 2 を検出する検出部 30 a と戻り光 L 3 を検出する検出部 30 b と、処理部 22 や表示部 24 等への各種条件の入力、設定の変更等を行う操作制御部 32 とを有する。なお、後述するが、図 1 に示す光断層画像化装置 10 においては、上述した射出光 L a、測定光 L 1、参照光 L 2 および戻り光 L 3 などを含む種々の光を各光デバイスなどの構成要素間で導波し、伝送するための光の経路として、回転側光ファイバ FB 1 および固定側光ファイバ FB 2 を含め種々の光ファイバ FB (FB 3、FB 4、FB 5、FB 6 など) が用いられている。

20

ここで、分岐合波部 14、干渉光検出部 20、光路長調整部 26、光ファイバカプラ 28 および検出部 30 a、30 b は、干渉計を構成する。

【0022】

まず、図 1 に示す光断層画像化装置 10 に用いられる本発明の光ロータリアダプタについて説明する。

図 2 は、図 1 に示す本発明の光ロータリアダプタの一実施形態の概略断面図であり、図 3 は、図 2 に示す光ロータリアダプタの回転中心と光ファイバおよびコリメータレンズの位置関係を説明するための説明図である。

30

図 2 に示す光ロータリアダプタ 18 は、筐体 34 と、筐体 34 の外側に取り付けられるモータ 36 と、筐体 34 内に固定される固定スリーブ 38 と、固定スリーブ 38 の一端面に固定的に取り付けられるホルダ 40 a および 40 b を介して取り付けられる固定側光ファイバ FB 2 および固定側コリメータレンズ 42 と、固定スリーブ 38 に軸受け 44 を介して回転自在に支持される取付筒 46 a およびこれに一体的に組み立てられた回転筒 46 b からなる回転組立体 46 と、取付筒 46 a の一端面の略中心に固定的に取り付けられるホルダ 48 a および 48 b を介して取り付けられる回転側光ファイバ FB 1 および回転側コリメータレンズ 50 と、回転組立体 46 の回転筒 46 b の外周に取り付けられた歯車 52 と、モータ 36 の回転軸 36 a に取り付けられ、回転筒 46 b の歯車 52 と噛合する歯車 54 とを有する。

40

【0023】

筐体 34 は、モータ 36、ホルダ 40 a および固定側光ファイバ FB 2 などを除き、光ロータリアダプタ 16 の各構成要素を収納するものである。筐体 34 には、モータ 36 の回転軸 36 a が挿通される開口 34 a が設けられ、また、光ファイバ FB 2 を保持するホルダ 40 a を取り付け固定スリーブ 38 を取り付けするための開口 34 b および光ファイバ FB 1 を回転自在に通すための開口 34 c が互いに対向する位置に設けられている。

モータ 36 は、回転筒 46 b を回転させることにより、回転組立体 46 の取付筒 46 a を回転させ、取付筒 46 a および回転筒 46 b の略中心に支持される FB 1 を回転させる

50

ためのものである。モータ 36 は、自身の回転軸 36 a を回転させることにより、回転軸 36 a の先端に取り付けられた歯車 54 を回転させ、歯車 54 と噛合する回転筒 46 b の歯車 52 を回転させて、回転筒 46 b を回転させることにより、回転組立体 46 の取付筒 46 a を回転させる。その結果、回転組立体 46 の取付筒 46 a および回転筒 46 b の略中心に支持される F B 1 は回転する。

【0024】

固定スリーブ 38 は、固定側光ファイバ F B 2 および固定側コリメータレンズ 42 を所定位置に支持するとともに、回転組立体 46 の取付筒 46 a を回転自在に支持するためのものである。固定スリーブ 38 は、円筒形状をなし、一方が開放する円管部 38 a と、他方に中央開口 38 b を持つ円板部 38 c を備え、円板部 38 c の外側の環状突起 38 d が、

10

筐体 34 の開口 34 b に嵌合するように、円板部 38 c が筐体 34 の内壁に取り付けられる。

このように筐体 34 に固定された固定スリーブ 38 の円板部 38 c の外側には、その中央開口 38 b を覆うようにホルダ 40 a のフランジ部が取り付けられる。

一方、固定スリーブ 38 の円管部 38 a には開放側から回転組立体 46 の取付筒 46 a が嵌め込まれ、固定スリーブ 38 の円管部 38 a の内周と、回転組立体 46 の円筒状取付筒 46 a の外周との間には、2 個の軸受け 44 が介在する。2 個の軸受け 44 は、固定スリーブ 38 の円管部 38 a の内周の段部に押し当てられ、円管部 38 a の内周から開放側に抜けないように、円管部 38 a の開放端の内周面に形成された雌ねじ部に螺合する雄ねじ部を持つリング 39 によって止められている。

20

【0025】

ホルダ 40 a は、その中心に円筒状フェルール 41 に保持された光ファイバ F B 2 を保持するためのフランジ付き円管状部材である。フェルール 41 に保持された光ファイバ F B 2 は、その先端面がホルダ 40 a のフランジ側端面から所定距離だけ離れて位置する（ホルダ 40 a 直管部の貫通孔内に入り込んだ位置となる）ようにホルダ 40 a に保持される。なお、ホルダ 40 a は、保持する固定側光ファイバ F B 2 の中心軸が固定スリーブ 38 の円形状の中央開口 38 b の略中心、具体的には、中央開口 38 b に対して所定量（わずかに）偏心した位置に来るように、固定スリーブ 38 の円板部 38 c の外側の中央開口 38 b の周辺部に外側に向けて取り付けられる。

【0026】

30

ここで、フェルール 41 は、芯部に光ファイバ F B 2 が挿通され、光ファイバ F B 2 を保持するとともに保護する機能を持ち、通常、ジルコニアフェルールやニッケル合金などの金属を用いたメタルフェルールなどを用いることができる。

一方、ホルダ 40 b は、コリメータレンズ 42 を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、そのフランジ部がホルダ 40 a のフランジ部に、光ファイバ F B 2 の先端中心とコリメータレンズ 42 の中心とがその光軸に沿って所定距離、具体的には、コリメータレンズ 42 の焦点距離だけ離間するように取り付けられる。

なお、光ファイバ F B 2 の中心軸と、コリメータレンズ 42 の中心とは、光線を水平に射出させる位置にオフセットさせて取り付けられている。

【0027】

40

固定側光ファイバ F B 2 は、分岐合波部 14 で分岐された測定光 L 1 を回転側光ファイバ F B 1 に伝送するとともに光ファイバ F B 1 によって導波された戻り光 L 3 を伝送するものであり、光ファイバ F B 2 の先端面および芯部に光ファイバ F B 2 が挿通されたフェルール 41 の先端面は、光ファイバ F B 2 の中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する同一平面をなす傾斜端面である。

固定側コリメータレンズ 42 は、光ファイバ F B 2 の先端から射出された測定光 L 1 をコリメートして回転側コリメータレンズ 50 に入射させるとともに、コリメータレンズ 50 からのコリメートされた戻り光 L 3 を集光して光ファイバ F B 2 に入射させるためのものであり、光ファイバ F B 2 の先端面とコリメータレンズ 42 とは、光ファイバ F B 2 の傾斜端面の中心とコリメータレンズ 42 の中心との間の（光軸上の）距離がコリメータレ

50

ンズ４２の焦点距離に等しくなるように配置される。

【００２８】

回転組立体４６は、その先端側（図２中左側をいう）の取付筒４６ａとその後端側（図２中右側をいう）の回転筒４６ｂとが同一回転中心軸周りを一体的に回転するように、一体的に組み立てられたものであって、その先端側の取付筒４６ａが固定スリーブ３８の円管部３８ａに嵌め込まれ、固定スリーブ３８に２個の軸受け４４を介して回転自在に支持され、取付筒４６ａおよび回転筒４６ｂの内部の略中心に保持される回転側光ファイバＦＢ１を回転自在に支持し、光ファイバＦＢ１を回転させるための部材である。

回転組立体４６の取付筒４６ａは、その後端側にフランジ状端面４６ｅを持つ円筒状部材であって、その先端側の端面が固定スリーブ３８の円板部３８ｃに対向し、その外周部に２個の軸受け４４が配置され、その後端側のフランジ状端面４６ｅの中心側に光ファイバＦＢ１およびコリメータレンズ５０を取り付けるためのもので、ファイバコリメータ取付筒として機能し、その周辺側には回転筒４６ｂの端面が取り付けられている。

回転組立体４６においては、２個の軸受け４４は、取付筒４６ａの外周に圧入され、その段部に押し当てられ、取付筒４６ａの外周から開放側に抜けないように、取付筒４６ａの開放端の外周面に形成された雄ねじ部に螺合する雌ねじ部を持つリング４７によって止められている。

【００２９】

また、回転筒４６ｂは、取付筒４６ａの内径より大きい内径の内周面を持ち、取付筒４６ａのフランジ状端面４６ｅの外径より小さい外径を持つ円筒状部材であって、その先端側の端面が、取付筒４６ａの後端側のフランジ状端面４６ｅの周辺側に、同一回転中心軸を持つように取り付けられて、取付筒４６ａと一体的に組み立てられた回転組立体４６を構成するものである。

また、回転組立体４６の取付筒４６ａと回転筒４６ｂとの間には、取付筒４６ａのフランジ状端面４６ｅによって段部が形成され、この段部に押し当てて回転筒４６ｂの先端側の外周には歯車５２が取り付けられ、歯車５２の回転に伴って回転筒４６ｂが回転して、回転組立体４６が回転し、回転組立体４６を構成する取付筒４６ａが回転するように構成されている。

回転筒４６ｂの後端側には、その略中心軸上に、取付筒４６ａの略中心軸上に取り付けられた光ファイバＦＢ１の他端（後端）側の傾斜端面を支持するとともに、このようにして回転筒４６ｂ内に保持される光ファイバＦＢ１を光プローブ１６内の光ファイバＦＢ１に接続するための接続部４６ｃが取り付けられている。

なお、回転組立体４６は、回転筒４６ｂの先端側の端面を取付筒４６ａの後端側のフランジ状端面４６ｅから取り外すことにより、取付筒４６ａと回転筒４６ｂに分解するように構成することもできる。

【００３０】

回転組立体４６の取付筒４６ａの後端側のフランジ状端面４６ｅの中心側には、その中央開口４６ｄを覆うようにホルダ４８ａのフランジ部が取り付けられる。

ホルダ４８ａは、ホルダ４０ａと同様に、その中心に円筒状フェルール４９に保持された光ファイバＦＢ１を保持するためのフランジ付き円管状部材である。フェルール４９に保持された光ファイバＦＢ１は、その先端面がホルダ４８ａのフランジ側端面から所定距離だけ離れて位置する（ホルダ４８ａ直管部の貫通孔内に入り込んだ位置となる）ようにホルダ４８ａに保持される。なお、ホルダ４８ａは、保持する固定側光ファイバＦＢ１の中心軸が取付筒４６ａの中央開口４６ｄの略中心、具体的には、取付筒４６ａ（回転組立体４６）の回転中心に対して、所定量（わずかに）オフセット（偏心）した位置に来るように、フランジ状端面４６ｅの中央開口４６ｄの周辺部に外側に向けて取り付けられる。

【００３１】

ここで、フェルール４９は、芯部に光ファイバＦＢ１が挿通され、光ファイバＦＢ１を保持するとともに保護する機能を持ち、フェルール４１と同様に、通常、ジルコニアフェルールやニッケル合金などの金属を用いたメタルフェルールなどを用いることができる。

一方、ホルダ 48b は、ホルダ 40b と同様に、コリメータレンズ 50 を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、そのフランジ部がホルダ 48a のフランジ部に、光ファイバ FB1 の先端中心とコリメータレンズ 50 の中心とが光軸に沿って所定距離、具体的には、コリメータレンズ 50 の焦点距離だけ離間するように取り付けられる。

なお、光ファイバ FB1 の中心軸と、コリメータレンズ 50 の中心とは、光線を水平に射出させる位置にオフセットさせて取り付けられている。

【0032】

回転側光ファイバ FB1 は、固定側光ファイバ FB2 から伝送された測定光 L1 を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光 L3 を導波して固定側光ファイバ FB2 に伝送するためのものであり、光ファイバ FB1 の先端面および芯部に光ファイバ FB1 が挿通されたフェルール 49 の先端面は、光ファイバ FB1 の中心軸に垂直な平面に対して所定角度傾斜する同一平面をなす傾斜端面である。

回転側コリメータレンズ 50 は、コリメータレンズ 42 からのコリメートされた測定光 L1 を集光して光ファイバ FB1 に入射させるとともに、光ファイバ FB1 の先端から射出された戻り光 L3 をコリメートして固定側コリメータレンズ 42 に入射させるためのものであり、光ファイバ FB1 の先端面とコリメータレンズ 50 とは、光ファイバ FB1 の傾斜端面の中心とコリメータレンズ 50 の中心との間の（光軸上の）距離がコリメータレンズ 50 の焦点距離に等しくなるように配置される。

【0033】

上述したように、回転組立体 46 の回転筒 46b の後端面に取り付けられる接続部 46c は、取付筒 46a の略中心軸上に取り付けられ、回転筒 46b の略中心軸上に保持される光ファイバ FB1 の他端（後端）側の傾斜端面を支持するとともに、回転筒 46b 内に保持される光ファイバ FB1 を光プローブ 16 内の光ファイバ FB1 に接続するための部材である。

接続部 46c は、回転筒 46b の後端面に嵌め込まれ、その内周に設けられた段部に当接して取り付けられるフランジ部 56a と、その両側に設けられた雄ねじ部 56b および 56c と、取付筒 46a の略中心にホルダ 48a によってフェルール 49 を介して保持される光ファイバ FB1 が略回転中心軸上に挿通されて割りスリーブ 57 を介して保持される中央貫通孔 56d とを持つ端面部材 56 と、光ファイバ FB1 挿通する中央開口および端面部材 56 の雄ねじ部 56b に螺合する雌ねじ部を持ち、中央貫通孔 56d に挿通された光ファイバ FB1 を通す貫通孔を備える袋ナット 58 とを備える。ここで、接続部 46c の端面部材 56、特に、雄ねじ部 56c は、光プローブ 16 内の光ファイバ FB1 をロータリアダプタ 18 に取り付けするためのファイバコネクタとして機能する。

【0034】

なお、図示例においては、光ファイバ FB1 は、ホルダ 48a で保持されている先端側の傾斜端面の位置では、その中心軸と取付筒 46a の回転中心軸とは所定量オフセットするように取付筒 46a および回転筒 46b の略中心に配置されるが、回転筒 46b の後端側の接続部 46c においては、その中心軸と回転筒 46b の回転中心軸とが一致するように端面部材 56 と袋ナット 58 とによって回転筒 46b の中心に支持されるのが好ましい。

ここで、回転筒 46b の接続部 46c の雄ねじ部 56c は、筐体 34 の開口 34c に臨んでおり、光プローブ 16 の光ファイバ FB1 を、回転組立体 46 内のファイバ FB1 とを光学的に接続するコネクタとして機能し、通常的光コネクタ、例えば、SC コネクタや FC コネクタなどや、フィジカルコンタクト用光コネクタなどをも含め、種々の光コネクタを接続することができる。

したがって、本発明の光断層画像化装置 10 においては、本発明の光ロータリアダプタ 18 の回転組立体 46 の接続部 46c を光コネクタ接続部とし、光プローブ 16 内の光ファイバ FB1 の末端部を光コネクタを取り付けておき、これらの接続部 46c と光ファイバ FB1 の末端部の光コネクタとを着脱することにより、装置本体 11 に直接 FC コネクタなどの光コネクタによって接続された固定側の光ファイバ FB2 と、光プローブ 16 内

10

20

30

40

50

の光ファイバFB1とを着脱するのが好ましい。

なお、後述するが、光プローブ16内の光ファイバFB1をある程度の可撓性を持たせた状態で保護しつつ回転自在に保持するために、バネ等で被覆されている。

【0035】

本発明の光ロータリアダプタ18においては、軸受44が圧入状態であるので容易ではないが、例えば、回転組立体46の回転筒46bや歯車52を取り外して、リング39を取り外すことにより、光ファイバFB2を保持するホルダ40aを取り付けたままの固定スリーブ38から光ファイバFB1を保持するホルダ48aを取り付けたままの回転組立体46を抜き出して取り外すこともできる。この場合には、2個の軸受け44は、回転組立体46の取付筒46aとともに固定スリーブ38の内周から抜き出されることになる。

このとき、光ファイバFB1およびFB2の先端には、コリメータレンズ50および42が取り付けられているため、光ファイバFB1およびFB2の先端を誤って損傷し、あるいは破損することを防止することができる。

なお、図示例では、回転組立体46の回転筒46bの接続部46cは、光ファイバのコネクタとして機能するように構成されているが、取付筒46aに取り付けられたホルダ48aによって保持される光ファイバFB1を保持し、保持された光ファイバFB1がそのまま光プローブ16の先端まで延在する構成することもできる。

【0036】

なお、本発明の光ロータリアダプタ18においては、測定対象からの戻り光L3の減衰を小さくして、戻り光L3のS/N比を向上させるように、光ファイバFB1およびFB2の中心軸と、光ファイバFB1の回転中心、すなわち回転組立体46（取付筒46a）の回転中心とをオフセットさせている。ここで、光ファイバFB1およびFB2の中心軸と、取付筒46aの回転中心軸とは、一致するのが好ましい。

図3は、このような固定側光ファイバFB2およびコリメータレンズ42からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバFB1およびコリメータレンズ50からなる回転側光伝送系との位置関係について示す模式図である。

【0037】

図3に示すように、固定側光ファイバFB2の先端の傾斜端面の中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度を θ_1 、光ファイバFB2の屈折率を n_1 、光ファイバFB2とFB1との間のコリメータレンズ42および50を除く光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、光ファイバFB2内をその中心軸に平行に進行し、その傾斜端面と媒質との界面で屈折した光の傾斜端面の法線とのなす角（屈折角度）を θ_3 とし、コリメータレンズ42を薄板レンズとした時の光ファイバFB2の傾斜端面の中心とコリメータレンズ42の中心との光軸間距離をコリメータレンズ42の焦点距離 f_1 に等しいとする時、光ファイバFB2の中心軸と回転組立体46（取付筒46a）の回転中心軸とのオフセット量 Δ_1 が、下記式（1）および（2）を満足するように、固定側光ファイバFB2およびコリメータレンズ42を取付筒46aに対して取り付けるのが良い。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (1)$$

$$\Delta_1 = f_1 \times \tan (\theta_3 - \theta_1) \quad \dots (2)$$

【0038】

同様に、図3に示すように、回転側光ファイバFB1の先端の傾斜端面の中心軸に垂直な平面に対する傾斜角度を θ_2 、光ファイバFB1の屈折率を n_2 、上述した光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、光ファイバFB1内をその中心軸に平行に進行し、その傾斜端面と媒質との界面で屈折した光の傾斜端面の法線とのなす角（屈折角度）を θ_4 とし、コリメータレンズ50を薄板レンズとした時の光ファイバFB1の傾斜端面の中心とコリメータレンズ50の中心との光軸間距離をコリメータレンズ50の焦点距離 f_2 に等しいとする時、光ファイバFB1の中心軸と回転組立体46（取付筒46a）の回転中心軸とのオフセット量 Δ_2 が、下記式（3）および（4）を満足するように、回転側光ファイバFB1およびコリメータレンズ50を取付筒46aに対して取り付けるのが良い。

$$n_2 \times \sin \theta_2 = n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (3)$$

$$2 = f_2 \times \tan(\theta_4 - \theta_2) \quad \dots (4)$$

【0039】

以上のように、図3に示す固定側光ファイバFB2およびコリメータレンズ42からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバFB1およびコリメータレンズ50からなる回転側光伝送系とを配置することにより、測定対象からの戻り光L3の減衰を小さくして、ホワイトノイズを減らし、戻り光L3のS/N比を向上させることができる。

ここで、図3に示す固定側光ファイバFB2およびコリメータレンズ42からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバFB1およびコリメータレンズ50からなる回転側光伝送系とは、対称、すなわち線対称となる位置が取れるように配置されるのが好ましい。

この場合、両伝送系における屈折率($n_1 = n_2$)、傾斜角度($\theta_1 = \theta_2$)、屈折角度($\theta_3 = \theta_4$)、焦点距離($f_1 = f_2$)、オフセット量($\delta_1 = \delta_2$)は、等しくなる。

【0040】

なお、例えば、図3において、光ファイバFB2の屈折率 n_1 をガラスとして1.5、その傾斜角度 θ_1 を8°、媒質の屈折率 n_3 を空気として1.0とすると、上記式(1)から、屈折角度 θ_3 は12°となるので、コリメータレンズ42の焦点距離 f_1 を2mmとすると、上記式(2)から、光ファイバFB2の中心軸と回転中心軸のオフセット量 δ_1 は、0.14mmとなる。したがって、上述した両伝送系が対称に配置されている場合には、光ファイバFB1およびFB2の中心軸と、回転中心軸とが0.14mmだけオフセットするように、光ファイバFB1およびFB2を保持するホルダ40aおよび48aをそれぞれ固定スリーブ38および取付筒46aに配置すれば良い。

本発明の光ロータリアダプタは、基本的に以上のように構成される。

【0041】

次に、本発明の光ロータリアダプタ18が適用される図1に示す光断層画像化装置10を構成する各構成要素について説明する。

図1に示すように、光源ユニット12は、半導体光増幅器60と、光分岐器62と、コリメータレンズ64と、回折格子素子66と、光学系67と、回転多面鏡68とを有し、周波数を一定の周期で掃引させたレーザ光Laを射出する。

【0042】

半導体光増幅器(半導体利得媒質)60は、駆動電流が印加されることで、微弱な放光を射出し、また、入射された光を増幅する。この半導体光増幅器60には、光ファイバFB10が接続されている。具体的には、光ファイバFB10の一端は、半導体光増幅器60から光が射出される部分に接続され、光ファイバFB10の他端は、半導体光増幅器60に光を入射する部分に接続されており、半導体光増幅器60から射出された光は、光ファイバFB10に射出され、再び半導体光増幅器60に入射する。

このように、半導体光増幅器60および光ファイバFB10で光路のループを形成することで、半導体光増幅器60および光ファイバFB10が光共振器となり、半導体光増幅器60に駆動電流が印加されることで、パルス状のレーザ光が生成される。

【0043】

光分岐器62は、光ファイバFB10の光路上に設けられ、光ファイバFB11とも接続している。光分岐器62は、光ファイバFB10内を導波する光の一部を光ファイバFB11に分岐させる。

コリメータレンズ64は、光ファイバFB11の他端、つまり光ファイバFB10と接続していない端部に配置され、光ファイバFB11から射出された光を平行光にする。

回折格子素子66は、コリメータレンズ64で生成された平行光の光路上に所定角度傾斜して配置されている。回折格子素子66は、コリメータレンズ64から射出される平行光を分光する。

光学系67は、回折格子素子66で分光された光の光路上に配置されている。光学系67は、複数のレンズで構成されており、回折格子素子66で分光された光を屈折させ、屈折させた光を平行光にする。

10

20

30

40

50

回転多面鏡 6 8 は、光学系 6 7 で生成された平行光の光路上に配置され、平行光を反射する。回転多面鏡 6 8 は、図 1 中 R 1 方向に等速で回転する回転体であり、回転軸に垂直な面が正八角形であり、平行光が照射される側面（八角形の各辺を構成する面）が照射された光を反射する反射面で構成されている。

回転多面鏡 6 8 は、回転することで、各反射面の角度を光学系 6 7 の光軸に対して変化させる。

【 0 0 4 4 】

光ファイバ F B 1 1 から射出された光は、コリメータレンズ 6 4、回折格子素子 6 6、光学系 6 7 を通り、回転多面鏡 6 8 で反射される。反射された光は、光学系 6 7、回折格子素子 6 6、コリメータレンズ 6 4 を通り、光ファイバ F B 1 1 に入射する。

10

ここで、上述したように、回転多面鏡 6 8 の反射面の角度が光学系 6 7 の光軸に対して変化するため、回転多面鏡 6 8 が光を反射する角度は時間により変化する。このため、回折格子素子 6 6 により分光された光のうち、特定の周波数域の光だけが再び光ファイバ F B 1 1 に入射する。ここで、光ファイバ F B 1 1 に入射する特定の周波数域の光は、光学系 6 7 の光軸と回転多面鏡 6 8 の反射面との角度により決まるため、光ファイバ F B 1 1 に入射する光の周波数域は、光学系 6 7 の光軸と回転多面鏡 6 8 の反射面との角度により変化する。

【 0 0 4 5 】

光ファイバ F B 1 1 に入射した特定の周波数域の光は、光分岐器 6 2 から光ファイバ F B 1 0 に入射され、光ファイバ F B 1 0 の光と合波される。これにより、光ファイバ F B 1 0 に導光されるパルス状のレーザ光は、特定の周波数域のレーザ光となり、この特定周波数域のレーザ光 L a が光ファイバ F B 3 に射出される。

20

ここで、回転多面鏡 6 8 が矢印 R 1 方向に等速で回転しているため、再び光ファイバ F B 1 1 に入射される光の波長は、時間の経過に伴って一定の周期で変化する。これにより、光ファイバ F B 3 に射出されるレーザ光 L a の周波数も、時間の経過に伴った一定の周期で変化する。

光源ユニット 1 2 は、このような構成であり、波長掃引されたレーザ光 L a を光ファイバ F B 3 側に射出する。

【 0 0 4 6 】

次に、分岐合波部 1 4 は、例えば 2 × 2 の光ファイバカプラで構成されており、光ファイバ F B 2、光ファイバ F B 3、光ファイバ F B 4、光ファイバ F B 5 とそれぞれ光学的に接続されている。

30

分岐合波部 1 4 は、光源ユニット 1 2 から光ファイバ F B 3 を介して入射した光 L a を測定光 L 1 と参照光 L 2 とに分割し、測定光 L 1 を光ファイバ F B 2 に入射させ、参照光 L 2 を光ファイバ F B 5 に入射させる。

さらに、分岐合波部 1 4 は、光ファイバ F B 5 に入射され、後述する光路長調整部 2 6 により周波数シフトおよび光路長の変更が施された後、光ファイバ F B 5 を戻り、分岐合波部 1 4 に入射した参照光 L 2 と、後述する光プローブで取得され、光ファイバ F B 2 から分岐合波部 1 4 に入射した測定対象 S からの戻り光 L 3 とを合波し、光ファイバ F B 4 に射出する。

40

【 0 0 4 7 】

光プローブ 1 6 は、光ロータリアダプタ 1 8 を介して、光ファイバ F B 2 と接続されており、光ファイバ F B 2 から、光ロータリアダプタ 1 8 を介して、光ファイバ F B 1 に測定光 L 1 が入射され、入射された測定光 L 1 を光ファイバ F B 1 によって伝送して測定対象 S に照射し、測定対象 S からの戻り光 L 3 を取得し、取得した戻り光 L 3 を光ファイバ F B 1 によって伝送して、光ロータリアダプタ 1 8 を介して、光ファイバ F B 2 に射出するものである。

図 4 に示すように、この光プローブ 1 6 は、プローブ外筒 7 0 と、キャップ 7 2 と、光ファイバ F B 1 と、パネ 7 4 と、固定部材 7 6 と、光学レンズ 7 8 とを有する。

【 0 0 4 8 】

50

プローブ外筒（シース）70は、可撓性を有する筒状の部材であり、測定光L1および戻り光L3が透過する材料からなっている。なお、プローブ外筒70は、測定光L1および戻り光L3が通過する先端（光ロータリアダプタ18と反対側の光ファイバFB1の先端、以下、プローブ外筒70の先端という）側の一部が全周に渡って光を透過する材料（透明な材料）で形成されていけばよい。

キャップ72は、プローブ外筒70の先端に設けられ、プローブ外筒70の先端を閉塞している。

【0049】

光ファイバFB1は、線状部材であり、プローブ外筒70内にプローブ外筒70に沿って収容されており、光ファイバFB2から光ロータリアダプタ18を介して射出された測定光L1を光学レンズ78まで導波するとともに、測定光L1を測定対象Sに照射して光学レンズ78で取得した測定対象Sからの戻り光L3を光ロータリアダプタ18まで導波し、光ファイバFB2に入射する。

ここで、光ファイバFB1と光ファイバFB2とは、光ロータリアダプタ18によって接続されており、光ファイバFB1の回転が光ファイバFB2に伝達しない状態で、光学的に接続されている。また、光ファイバFB1は、プローブ外筒70に対して回転自在な状態で配置されている。

バネ74は、光ファイバFB1の外周に固定されている。また、光ファイバFB1およびバネ74は、光ロータリアダプタ18に接続されている。

【0050】

光学レンズ78は、光ファイバFB1の測定側先端（光ロータリアダプタ18と反対側の光ファイバFB1の先端）に配置されており、先端部が、光ファイバFB1から射出された測定光L1を測定対象Sに対し集光するために略球状の形状で形成されている。

光学レンズ78は、光ファイバFB1から射出した測定光L1を測定対象Sに対し照射し、測定対象Sからの戻り光L3を集光し光ファイバFB1に入射する。

固定部材76は、光ファイバFB1と光学レンズ78との接続部の外周に配置されており、光学レンズ78を光ファイバFB1の端部に固定する。ここで、固定部材76による光ファイバFB1と光学レンズ78の固定方法は、特に限定されず、接着剤により、固定部材76と光ファイバFB1および光学レンズ78を接着させて固定させても、ボルト等を用い機械的構造で固定してもよい。なお、固定部材76は、上述したフェルール41および49と同様に、ジルコニアフェルールやメタルフェルールなど光ファイバの固定や保持や保護のために用いられるものであれば、如何なるものを用いても良い。

【0051】

また、上述したように、光ファイバFB1およびバネ74は、光ロータリアダプタ18の回転組立体46（回転筒46bの接続部46c）に接続されており、回転筒46bによって光ファイバFB1およびバネ74を回転させることで、光学レンズ78をプローブ外筒11に対し、矢印R2方向に回転させる。また、光ロータリアダプタ18は、回転エンコーダを備え（図示せず）、回転エンコーダからの信号に基づいて光学レンズ78の位置情報（角度情報）から測定光L1の照射位置を検出する。つまり、回転している光学レンズ78の回転方向における基準位置に対する角度を検出して、測定位置を検出する。

【0052】

光プローブ16は、以上のような構成であり、光ロータリアダプタ18により光ファイバFB1およびバネ74が、図4中矢印R2方向に回転されることで、光学レンズ78から射出される測定光L1を測定対象Sに対し、矢印R2方向（プローブ外筒70の円周方向）に対し走査しながら照射し、戻り光L3を取得する。

これにより、プローブ外筒70の円周方向の全周において、測定対象Sを反射した戻り光L3を取得することができる。

【0053】

光路長調整部26は、光ファイバFB5の参照光L2の射出側（すなわち、光ファイバFB5の分岐合波部14とは反対側の端部）に配置されている。

光路長調整部 26 は、光ファイバ FB5 から射出された光を平行光にする第 1 光学レンズ 80 と、第 1 光学レンズ 80 で平行光にされた光を集光する第 2 光学レンズ 82 と、第 2 光学レンズ 82 で集光された光を反射する反射ミラー 84 と、第 2 光学レンズ 82 および反射ミラー 84 を支持する基台 86 と、基台 86 を光軸方向に平行な方向に移動させるミラー駆動機構 88 とを有し、第 1 光学レンズ 80 と第 2 光学レンズ 82 との距離を変化させることで参照光 L2 の光路長を調整する。

【0054】

第 1 光学レンズ 80 は、光ファイバ FB5 のコアから射出された参照光 L2 を平行光にするとともに、反射ミラー 84 で反射された参照光 L2 を光ファイバ FB5 のコアに集光する。

10

また、第 2 光学レンズ 82 は、第 1 光学レンズ 80 により平行光にされた参照光 L2 を反射ミラー 84 上に集光するとともに、反射ミラー 84 により反射された参照光 L2 を平行光にする。このように、第 1 光学レンズ 80 と第 2 光学レンズ 82 とにより共焦点光学系が形成されている。

【0055】

さらに、反射ミラー 84 は、第 2 光学レンズ 82 で集光される光の焦点に配置されており、第 2 光学レンズ 82 で集光された参照光 L2 を反射する。

これにより、光ファイバ FB5 から射出した参照光 L2 は、第 1 光学レンズ 80 により平行光になり、第 2 光学レンズ 82 により反射ミラー 84 上に集光される。その後、反射ミラー 84 により反射された参照光 L2 は、第 2 光学レンズ 82 により平行光になり、第 1 光学レンズ 80 により光ファイバ FB5 のコアに集光される。

20

【0056】

また、基台 86 は、第 2 光学レンズ 82 と反射ミラー 84 とを固定し、ミラー移動機構 88 は、基台 86 を第 1 光学レンズ 80 の光軸方向（図 1 矢印 A 方向）に移動させる。

ミラー移動機構 88 で、基台 86 を矢印 A 方向に移動させることで、第 1 光学レンズ 80 と第 2 光学レンズ 82 との距離を変更することができ、参照光 L2 の光路長を調整することができる。

【0057】

干渉光検出部 20 は、光ファイバ FB4 と接続されており、分岐合波部 14 で参照光 L2 と戻り光 L3 とを合波して生成された干渉光 L4 を干渉信号として検出する。

30

ここで、光断層画像化装置 10 は、光ファイバ FB3 から光ファイバ FB6 にレーザ光 La を分岐する光ファイバカプラ 28 と、光ファイバカプラ 28 から分岐させた光ファイバ FB6 に設けられ、分岐されたレーザ光 La の光強度を検出する検出器 30a と、光ファイバ FB4 の光路上に干渉光 L4 の光強度を検出する検出器 30b とを有する。

干渉光検出部 20 は、検出器 30a および検出器 30b の検出結果に基づいて、光ファイバ FB4 から検出する干渉光 L4 の光強度のバランスを調整する。

【0058】

処理部 22 は、干渉光検出部 20 で検出した干渉信号から、測定位置における光プローブ 16 と測定対象 S との接触している領域、より正確には、光プローブ 16 のプローブ外筒 70 の表面と測定対象 S の表面とが接触しているとみなせる領域を検出し、さらに、干渉光検出部 20 で検出した干渉信号から、断層画像を取得する。

40

図 5 に示すように、処理部 22 は、干渉信号取得部 90 と、A/D 変換部 92 と、接触領域検出部 94 と、断層画像生成部 96 と、画像補正部 98 とを有する。

【0059】

干渉信号取得部 90 は、干渉光検出部 20 で検出された干渉信号を取得し、さらに、光ロータリアダプタ 18 で検出された測定位置の情報、具体的には、回転方向における光学レンズ 78 の位置情報から検出された測定位置の位置情報を取得し、干渉信号と測定位置の位置情報を対応付ける。

測定位置の位置情報が対応付けられた干渉信号は、A/D 変換部 92 に送られる。

A/D 変換部 92 は、干渉信号取得部 90 で測定位置の位置情報と対応付けられたアナ

50

ログ信号として出力されている干渉信号をデジタル信号に変換する。

測定位置の位置情報が対応付けられ、デジタル変換された干渉信号は、接触領域検出部 9 4 および断層情報精生成部 9 6 に送られる。

【 0 0 6 0 】

接触領域検出部 9 4 は、A / D 変換部 9 2 でデジタル信号に変換された干渉信号を F F T (高速フーリエ変換) にかけて干渉信号の周波数成分と強度との関係を取得し、検出した周波数成分と強度との関係の周波数成分と、深さ方向 (回転中心から離れる方向) とを対応つけることで、深さ方向と強度との関係の情報を取得する。接触領域検出部 9 4 は、深さ方向と強度との関係の情報から、測定光 L 1 が透過する位置におけるプローブ外筒 7 0 の表面の位置および測定光 L 1 が透過する位置におけるプローブ外筒 7 0 と測定対象 S との接触領域を検出する。

10

このようにして接触領域検出部 9 4 によって検出されたプローブ外筒 7 0 と測定対象 S との接触領域は、断層情報生成部 9 6 に送られる。

【 0 0 6 1 】

断層情報取得部 9 6 は、A / D 変換部 9 2 でデジタル信号に変換された干渉信号を F F T (高速フーリエ変換) にかけて取得した周波数成分と強度との関係の情報を処理することで深さ方向の断層画像を取得する。

ここで、断層情報取得部 9 6 は、接触領域検出部 9 8 から送られた接触領域情報から、接触領域と判断された位置情報の干渉信号のみの断層画像を取得し、接触領域以外の位置情報の干渉信号は断層画像の取得を行わず、つまり F F T や F F T をかけた結果からの画像取得処理を行わず、マスク処理をする。

20

【 0 0 6 2 】

ここで、断層情報取得部 9 6 における画像の生成について簡単に説明する。

測定光 L 1 が測定対象 S に照射されたとき、測定対象 S の各深さからの戻り光 L 3 と参照光 L 2 とがいろいろな光路長差をもって干渉しあう際の各光路長差 l に対する干渉縞の光強度を S (l) とすると、干渉光検出部 2 0 において検出される干渉信号の光強度 I (k) は、

$$I(k) = \int_0^L S(l) [1 + \cos(kl)] dl$$

で表される。ここで、k は波数、l は光路長差である。上式は波数 $k = 2\pi / \lambda$ を変数とする光周波数領域のインターフェログラムとして与えられていると考えることができる。このため、断層情報取得部 9 6 において、干渉光検出部 2 0 で検出したスペクトル干渉縞に高速フーリエ変換を施し、干渉光 L 4 の光強度 S (l) を決定することにより、測定対象 S の測定開始位置からの距離情報と反射強度情報とを取得し、断層画像を生成することができる。

30

【 0 0 6 3 】

画像補正部 9 8 は、断層画像生成部 9 6 により生成された断層画像に対し、対数変換、ラジアル変換を施し、光学レンズ 7 8 の回転中心を中心とした円形の画像とする。

さらに、画像補正部 9 8 は、断層画像に対し、鮮鋭化処理、平滑化処理等を施すことにより画質を補正する。

画像補正部 9 8 は、画質補正が施された断層画像を表示部 2 4 に送信する。

40

ここで、断層画像の送信タイミングは特に限定されず、1 ラインの処理が終わる毎に表示部に送信し、1 ライン毎に書き換えて表示させてもよく、全ラインの処理 (つまり、光学レンズを 1 周させて取得した画像の処置) が終了し 1 枚の円形の断層画像を形成した段階で送信してもよい。

【 0 0 6 4 】

表示部 2 4 は、C R T や液晶表示装置等であり、画像補正部 9 8 から送信された断層画像を表示する。

操作制御部 3 2 は、キーボード、マウス等の入力手段と、入力された情報に基づいて各種条件を管理する制御手段とを有し、処理部 2 2 および表示部 2 4 に接続されている。操作制御部 3 2 は、入力力手段からの入力されたオペレータの指示に基づいて、処理部 2 2

50

の上述した閾値や各種処理条件等の入力、設定、変更や、表示部 24 の表示設定の変更等を行う。なお、操作制御部 32 は、操作画面を表示部 24 に表示させてもよいし、別途表示部を設けて、操作画面を表示させてもよい。また、操作制御部 32 で、光源ユニット 12、光ロータリアダプタ 18、干渉光検出部 20、光路長調整部 26 ならびに検出部 30a および 30b の動作制御や、各種条件の設定を行うようにしてもよい。

本発明の光断層画像化装置 10 は、基本的に以上のように構成される。

【0065】

次に、本発明の光断層画像化装置 10 および本発明の光ロータリアダプタ 18 の作用について説明する。

まず、測定対象 S を測定した干渉光および干渉信号の取得方法について説明する。

まず、ミラー駆動機構 88 で基台 86 を矢印 A 方向に移動させることにより、測定可能領域内に測定対象 S が位置するように光路長を調整し、設定する。

その後、光源ユニット 12 からレーザ光 L a を射出する。射出されたレーザ光 L a は、分岐合波部 14 により測定光 L 1 と参照光 L 2 とに分割される。この測定光 L 1 は、光ファイバ F B 2、本発明の光ロータリアダプタ 18 および光プローブ 16 (光ファイバ F B 1) を導波されて、測定対象 S に照射される。

【0066】

この時、本発明の光ロータリアダプタ 18 によって、光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 および光学レンズ 78 は回転されている。すなわち、本発明の光ロータリアダプタ 18 においては、モータ 36 が駆動され、回転軸 36 a が回転し、その先端に取り付けられた歯車 54 が回転し、歯車 54 と螺合する歯車 52 が回転する。歯車 52 の回転により、回転組立体 46 の回転筒 46 b の回転を介して、固定スリーブ 38 に軸受け 44 を介して回転自在に支持されている取付筒 46 a が回転し、取付筒 46 a の略中心にホルダ 48 a などによって保持されている光ファイバ F B 1 が回転する。なお、回転組立体 46 (回転筒 46 b) 内に保持されている光ファイバ F B 1 は、回転筒 46 b の接続部 46 c において光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 と接続されている、または回転筒 46 b の接続部 46 c を経て光プローブ 16 に延在しているので、回転筒 46 b 内の光ファイバ F B 1 の回転により、光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 も回転し、その先端に取り付けられた光学レンズ 78 も回転する。

【0067】

一方、固定スリーブ 38 のホルダ 40 a に保持された光ファイバ F B 2 によって光伝送され、光ファイバ F B 2 の傾斜端面から射出された測定光 L 1 は、固定スリーブ 38 のホルダ 40 b に保持されたコリメータレンズ 42 に入射し、コリメートされた後、回転している取付筒 46 a に取り付けられたホルダ 48 b に保持されたコリメータレンズ 50 に入射し、集光された後、ホルダ 48 b に取り付けられたホルダ 48 a に保持されている光ファイバ F B 1 の傾斜端面に入射し、光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 内に光伝送されて、光学レンズ 78 内に入射し、光学レンズ 78 からプローブ外筒 70 を透過して、測定対象 S に照射される。

この時、本発明の光ロータリアダプタ 18 によって、光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 および光学レンズ 78 は回転されているので、回転する光学レンズ 78 によって体腔などの測定対象 S を全周に亘って測定光 L 1 が照射されることになる。この時、光ロータリアダプタ 18 では、ロータリエンコーダ (図示せず) などにより測定対象 S の測定位置の情報を検出する。

【0068】

そして、測定対象 S の各深さ位置で反射された光が、戻り光 L 3 として光プローブ 10 に入射する。この時にも、光ロータリアダプタ 18 によって、光プローブ 16 内の光ファイバ F B 1 および光学レンズ 78 は回転されているので、測定対象 S の全周からの戻り光 L 3 が、回転している光学レンズ 78 に入射することになる。この戻り光 L 3 は、光プローブ 16 (光ファイバ F B 1)、光ロータリアダプタ 18 および光ファイバ F B 2 を介して分岐合波部 14 に入射される。

【 0 0 6 9 】

ここで、測定対象 S からの戻り光 L 3 は、光プローブ 1 6 のプローブ外筒 7 0 を透過して、回転している光学レンズ 7 8 に入射され、光学レンズ 7 8 から光プローブ 1 6 内の光ファイバ F B 1 内に光伝送され、光ロータリアダプタ 1 8 の回転組立体 4 6 内のホルダ 4 8 a に保持されている光ファイバ F B 1 に入射される。光ロータリアダプタ 1 8 においては、回転している光ファイバ F B 1 の傾斜端面から射出された戻り光 L 3 は、回転している回転組立体 4 6 内のホルダ 4 8 b に保持されたコリメータレンズ 5 0 に入射し、コリメートされた後、静止している固定スリーブ 3 8 のホルダ 4 0 b に保持されたコリメータレンズ 4 2 に入射し、集光された後、固定スリーブ 3 8 のホルダ 4 0 a に保持された光ファイバ F B 2 の傾斜端面に入射し、光ファイバ F B 2 を光伝送されて、分岐合波部 1 4 に入射される。

10

この時、光ロータリアダプタ 1 8 においては、回転側光ファイバ F B 1 および固定側光ファイバ F B 2 の各中心軸と、回転中心、すなわち回転組立体 4 6 (取付筒 4 6 a) の回転中心とは、所定量オフセットしているため、戻り光 L 3 の減衰を小さくして、ホワイトノイズを減らし、戻り光 L 3 の S / N 比を向上させることができる。

【 0 0 7 0 】

一方、参照光 L 2 は、光ファイバ F B 5 を介して光路長調整部 2 6 に入射される。そして、光路長調整部 2 6 により光路長が調整された参照光 L 2 が、再び光ファイバ F B 5 を導波し分岐合波部 1 4 に入射される。

そして、分岐合波部 1 4 で測定対象 S からの戻り光 L 3 を光路長調整手段 4 0 により光路長が調整された参照光 L 2 と合波する。戻り光 L 3 と参照光 L 2 との干渉光 L 4 が生成される。干渉光は、干渉光検出部 2 0 によって干渉信号として検出される。

20

【 0 0 7 1 】

次に、干渉光検出部 2 0 で検出された干渉信号は、処理部 2 2 に送られる。

処理部 2 2 では、干渉信号取得部 9 0 が、送られた干渉信号を取得するとともに、光ロータリアダプタ 1 8 で検出された測定位置の情報を取得し、干渉信号と測定位置の位置情報を対応付ける。

次に、A / D 変換部 9 2 では、干渉信号取得部 9 0 で取得され、測定位置の位置情報と対応付けられた干渉信号を A / D 変換し、アナログ信号の干渉信号をデジタル信号に変換する。測定位置の位置情報が対応付けられ、デジタル変換された干渉信号は、A / D 変換部 9 2 から接触領域検出部 9 4 および断層情報精生成部 9 6 に送られる。

30

【 0 0 7 2 】

接触領域検出部 9 4 では、プローブ外筒 7 0 と測定対象 S との接触領域が検出され、検出されたプローブ外筒 7 0 と測定対象 S との接触領域の情報は、断層情報生成部 9 6 に送られる。

一方、断層情報取得部 9 6 では、A / D 変換部 9 2 でデジタル信号に変換された干渉信号を FFT (高速フーリエ変換) にかけて取得した周波数成分と強度との関係の情報を、接触領域検出部 9 4 から送られた接触領域情報から、接触領域と判断された位置情報の干渉信号のみについて処理することにより、接触領域についての深さ方向の断層画像を取得する。断層情報取得部 9 6 で取得された断層画像は、画像補正部 9 8 に送られる。

40

【 0 0 7 3 】

画像補正部 9 8 では、断層画像生成部 9 6 で生成された断層画像に対し、対数変換やラジアル変換が施され、光学レンズ 7 8 の回転中心を中心とした円形の断層画像とされるるとともに、鮮鋭化処理や平滑化処理等が施され、画質が補正される。

画像補正部 9 8 で画質補正が施された断層画像は、表示部 2 4 に送信される。

表示部 2 4 では、画像補正部 9 8 から送信された画質補正後の断層画像が表示される。

【 0 0 7 4 】

なお、上述した図 2 および図 3 に示す光ロータリアダプタ 1 8 は、回転側光ファイバ F B 1 および固定側光ファイバ F B 2 の中心軸を、回転組立体 4 6 の取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して所定量オフセットさせたものであるが、本発明はこれに限定されず、回転側

50

光ファイバFB1および固定側光ファイバFB2の中心軸を、回転組立体46の取付筒46aの回転中心軸に対して所定角度傾斜させるものであっても良い。

図6は、このような本発明の光ロータリアダプタの他の実施形態の概略断面図であり、図7は、図6に示す光ロータリアダプタの回転中心と光ファイバおよびコリメータレンズの位置関係を説明するための説明図である。

【0075】

図6に示す光ロータリアダプタ18aは、図2に示す光ロータリアダプタ18の代わりに、図1に示す光断層画像化装置10に用いられるものであって、図2に示す光ロータリアダプタ18と、固定側光ファイバFB2およびフェルール41がホルダ40aによって固定スリーブ38に、かつ回転側光ファイバFB1およびフェルール49がホルダ48aによって回転組立体46の取付筒46aに、取付筒46aの回転中心軸に対して所定量（例えば、1（図3参照））オフセットするように取り付けられているのに対し、固定側光ファイバFB2およびフェルール41がホルダ43aによって固定スリーブ38に、かつ回転側光ファイバFB1およびフェルール49がホルダ51aによって回転組立体46の取付筒46aに、取付筒46aの回転中心軸に対して所定角度（例えば、1（図7参照））傾斜するように取り付けられている点で相違する以外は、同様の構成を有するものであるので、同一の構成要素には同一の番号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0076】

図6に示す光ロータリアダプタ18aは、筐体34と、モータ36と、固定スリーブ38と、固定スリーブ38の一端面の中心に固定的に取り付けられるホルダ43aおよび40bを介して取り付けられる固定側光ファイバFB2および固定側コリメータレンズ42と、取付筒46aおよび回転筒46bからなる回転組立体46と、取付筒46aの一端面の中心に固定的に取り付けられるホルダ51aおよび48bを介して取り付けられる回転側光ファイバFB1および回転側コリメータレンズ50と、歯車52と、歯車54とを有する。

【0077】

ホルダ43aは、その中心に光ファイバFB2を保持する円筒状フェルール41を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、外側端面が所定角度（例えば、1（図7参照））傾斜するフランジ部43bとその中心に円筒状フェルール41を保持する貫通孔43dを持つ直管部43cとを有する。

ホルダ43aは、そのフランジ部43bの外側端面が所定角度（例えば、1（図7参照））傾斜している、すなわちフランジ部43bの外側端面が直管部43cの中心軸に垂直な面に対して傾斜しているのに対し、図2に示すホルダ40aは、そのフランジ部の外側端面が直管部の中心軸に対して垂直であり、傾斜していない点のみで両者は異なる。

なお、ホルダ43aは、図2に示すホルダ40aと同様に、光ファイバFB2およびフェルール41を、その先端の傾斜端面（その傾斜角度は、例えば、1（図7参照）である）がフランジ43b部の端面から所定距離だけ直管部43cの貫通孔43d内に入り込んだ位置となるように保持する。

【0078】

ホルダ43aは、そのフランジ部43bの傾斜する外側端面が固定スリーブ38の円板部38cの外側の中央開口38bの周辺部に密着するように、外側に向けて取り付けられる。ここで、固定スリーブ38の円板部38cの外側の中央開口38bの周辺部は、その中心軸（回転組立体46の取付筒46aの回転中心軸に一致する）に垂直な面を形成している。その結果、ホルダ43aの中心軸、すなわちホルダ43a内のファイバFB2に中心軸は、取付筒46aの回転中心軸に対して所定角度（例えば、1（図7参照））傾斜し、ホルダ43aのフランジ部43bの傾斜する外側端面は、取付筒46aの回転中心軸に対して直交する面となる。

なお、ホルダ43aのフランジ部43bは、円板部38cの外側の中央開口38bの周辺部に、ホルダ43aにフェルール41を介して保持された光ファイバFB2の先端の傾斜端面の中心の位置が回転組立体46の取付筒46aの回転中心軸上に存在し、回転中心

軸と一致する位置となるように取り付けられる。

【 0 0 7 9 】

ホルダ 4 0 b は、コリメータレンズ 4 2 を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、そのフランジ部がホルダ 4 3 a のフランジ部 4 3 b の外側端面の中央側の貫通孔 4 3 d の周辺部に密着し、光ファイバ F B 2 の先端中心とコリメータレンズ 4 2 の中心とがその光軸に沿って所定距離、具体的には、コリメータレンズ 4 2 の焦点距離だけ離間するように、外側に向けて取り付けられる。

ここで、ホルダ 4 3 a のフランジ部 4 3 b の傾斜する外側端面は、固定スリーブ 3 8 の円板部 3 8 c の外側の中央開口 3 8 b の周辺部の端面と密着しているので、ホルダ 4 0 b の中心軸、すなわちこれに一致するコリメータ 4 2 の中心光軸が、取付筒 4 6 a の回転中心軸と一致するように、ホルダ 4 0 b は、ホルダ 4 3 a に取り付けられる。したがって、光ファイバ F B 2 の先端の傾斜端面の中心とコリメータ 4 2 の中心光軸とは、取付筒 4 6 a の回転中心軸に一致する。

このようにしてホルダ 4 3 a および 4 0 b は、固定スリーブ 3 8 に固定的に取り付けられる。

【 0 0 8 0 】

一方、回転組立体 4 6 の取付筒 4 6 a の後端側のフランジ状端面 4 6 e の中心側には、その中央開口 4 6 d を覆うようにホルダ 5 1 a のフランジ部が取り付けられる。

ホルダ 5 1 a は、その中心に光ファイバ F B 1 を保持する円筒状フェルール 4 9 を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、外側端面が所定角度（例えば、 2° （図 7 参照））傾斜するフランジ部 5 1 b とその中心に円筒状フェルール 4 9 を保持する貫通孔 5 1 d を持つ直管部 5 1 c とを有する。

ホルダ 5 1 a は、そのフランジ部 5 1 b の外側端面が所定角度（例えば、 2° （図 7 参照））傾斜している、すなわちフランジ部 5 1 b の外側端面が直管部 5 1 c の中心軸に垂直な面に対して傾斜しているのに対し、図 2 に示すホルダ 4 8 a は、そのフランジ部の外側端面が直管部の中心軸に対して垂直であり、傾斜していない点のみで両者は異なる。

なお、ホルダ 5 1 a は、図 2 に示すホルダ 4 8 a と同様に、光ファイバ F B 1 およびフェルール 4 9 を、その先端の傾斜端面（その傾斜角度は、例えば、 2° （図 7 参照）である）がフランジ 5 1 b 部の端面から所定距離だけ直管部 5 1 c の貫通孔 5 1 d 内に入り込んだ位置となるように保持する。

【 0 0 8 1 】

ホルダ 5 1 a は、そのフランジ部 5 1 b の傾斜する外側端面が回転組立体 4 6 の取付筒 4 6 a のフランジ状端面 4 6 e の中央開口 4 6 d の周辺部に密着するように、取付筒 4 6 a に外側に向けて取り付けられる。ここで、取付筒 4 6 a のフランジ状端面 4 6 e の中央開口 4 6 d の周辺部は、その中心軸（取付筒 4 6 a の回転中心軸に一致する）に垂直な面を形成している。その結果、ホルダ 5 1 a の中心軸、すなわち、少なくともホルダ 5 1 a 内のファイバ F B 1 の中心軸は、取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して所定角度（例えば、 2° （図 7 参照））傾斜し、ホルダ 5 1 a のフランジ部 5 1 b の傾斜する外側端面は、取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して直交する面となる。

なお、ホルダ 5 1 a のフランジ部 5 1 b は、取付筒 4 6 a のフランジ状端面 4 6 e の中央開口 4 6 d の周辺部に、ホルダ 5 1 a にフェルール 4 9 を介して保持された光ファイバ F B 1 の先端の傾斜端面の中心が取付筒 4 6 a の回転中心軸に一致する位置となるように取り付けられる。

【 0 0 8 2 】

ホルダ 4 8 b は、ホルダ 4 0 b と同様に、コリメータレンズ 5 0 を保持するためのフランジ付き円管状部材であり、そのフランジ部がホルダ 5 1 a のフランジ部 5 1 b の外側端面の中央側の貫通孔 5 1 d の周辺部に密着し、光ファイバ F B 1 の先端中心とコリメータレンズ 5 0 の中心とがその光軸に沿って所定距離、具体的には、コリメータレンズ 5 0 の焦点距離だけ離間するように、外側に向けて取り付けられる。

なお、ホルダ 5 1 a のフランジ部 5 1 b の傾斜する外側端面は、取付筒 4 6 a のフラン

10

20

30

40

50

ジ状端面 4 6 e の中央開口 4 6 d の周辺部と密着しているため、ホルダ 4 8 b の中心軸、すなわちこれに一致するコリメータ 5 0 の中心光軸が、取付筒 4 6 a の回転中心軸と一致するように、ホルダ 4 8 b は、ホルダ 5 1 a に取り付けられる。したがって、光ファイバ F B 1 の先端の傾斜端面の中心とコリメータ 5 0 の中心光軸とは、取付筒 4 6 a の回転中心軸に一致する。

【 0 0 8 3 】

なお、図 6 に示す実施例においては、光ファイバ F B 1 は、ホルダ 5 1 a で保持されている光ファイバ F B 1 の先端側、すなわちコリメータレンズ 5 0 の近傍では、その傾斜端面の中心の位置が取付筒 4 6 a の回転中心軸上に存在し、回転中心軸と一致し、光ファイバ F B 1 の中心軸が取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して所定角度（図 7 に示す例では、
2）傾斜するように、ホルダ 5 1 a を介して取付筒 4 6 a に取り付けられるが、回転筒 4 6 b の後端側の接続部 4 6 c においては、光ファイバ F B 1 の中心軸と回転筒 4 6 b の回転中心軸とが一致するように端面部材 5 6 と袋ナット 5 8 とによって回転筒 4 6 b の中心に支持されるのが好ましい。

【 0 0 8 4 】

図 6 に示す光ロータリアダプタ 1 8 a においても、軸受 4 4 が圧入状態であるので容易ではないが、例えば、回転組立体 4 6 の回転筒 4 6 b や歯車 5 2 を取り外して、リング 3 9 を取り外すことにより、光ファイバ F B 2 を保持するホルダ 4 3 a を取り付けたまの固定スリーブ 3 8 から光ファイバ F B 1 を保持するホルダ 5 1 a を取り付けたまの回転組立体 4 6 を抜き出して取り外すこともできる。

なお、図 7 の例では、回転組立体 4 6 の回転筒 4 6 b の接続部 4 6 c は、光ファイバのコネクタとして機能するように構成されているが、光ロータリアダプタ 1 8 と同様に、取付筒 4 6 a に取り付けられたホルダ 5 1 a によって保持される光ファイバ F B 1 を保持し、保持された光ファイバ F B 1 がそのまま光プローブ 1 6 の先端まで延在する構成することもできる。

【 0 0 8 5 】

なお、図 7 の例の光ロータリアダプタ 1 8 a においては、測定対象からの戻り光 L 3 の減衰を小さくして、戻り光 L 3 の S / N 比を向上させるように、光ファイバ F B 1 および F B 2 の中心軸を、それぞれ、固定側コリメータレンズ 4 2 および回転側コリメータレンズ 5 0 の近傍において、光ファイバ F B 1 および F B 2 の各傾斜端面の中心およびコリメータレンズ 4 2 および 5 0 の各光軸を結ぶ線、すなわち回転組立体 4 6（取付筒 4 6 a）の回転中心軸に対して傾斜させている。

図 7 は、このような固定側光ファイバ F B 2 およびコリメータレンズ 4 2 からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバ F B 1 およびコリメータレンズ 5 0 からなる回転側光伝送系との位置関係について示す模式図である。

【 0 0 8 6 】

図 7 に示すように、固定側光ファイバ F B 2 の中心軸に垂直な平面に対するその先端の傾斜端面の傾斜角度を θ_1 、光ファイバ F B 2 の屈折率を n_1 、光ファイバ F B 2 と F B 1 との間のコリメータレンズ 4 2 および 5 0 を除く光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、光ファイバ F B 2 内をその中心軸に平行に進行し、その傾斜端面と媒質との界面で屈折した光の傾斜端面の法線とのなす角（屈折角度）を θ_3 とする時、光ファイバ F B 2 の中心軸と回転組立体 4 6（取付筒 4 6 a）の回転中心軸に対する傾斜角度 θ_1 が、下記式（5）および（6）を満足するように、固定側光ファイバ F B 2 およびコリメータレンズ 4 2 を取付筒 4 6 a に対して取り付けるのが良い。

$$n_1 \times \sin \theta_1 = n_3 \times \sin \theta_3 \quad \dots (5)$$

$$\theta_1 = \theta_3 - \theta_1 \quad \dots (6)$$

【 0 0 8 7 】

同様に、図 7 に示すように、回転側光ファイバ F B 1 の中心軸に垂直な平面に対するその先端の傾斜端面の傾斜角度を θ_2 、光ファイバ F B 1 の屈折率を n_2 、上述した光を伝播させる媒質の屈折率を n_3 、光ファイバ F B 1 内をその中心軸に平行に進行し、その傾

斜端面と媒質との界面で屈折した光の傾斜端面の法線とのなす角（屈折角度）を θ_4 とする時、光ファイバ F B 1 の中心軸と取付筒 4 6 a の回転中心軸に対する傾斜角度 θ_2 が、下記式（ 7 ）および（ 8 ）を満足するように、回転定側光ファイバ F B 1 およびコリメータレンズ 5 0 を取付筒 4 6 a に対して取り付けるのが良い。

$$n_2 \times \sin \theta_2 = n_3 \times \sin \theta_4 \quad \dots (7)$$

$$\theta_2 = \theta_4 - \theta_2 \quad \dots (8)$$

なお、図 7 において、参照符号 f 1 および f 2 は、それぞれコリメータレンズ 4 2 および 5 0 の焦点距離であり、コリメータレンズ 4 2 を薄板レンズとした時の光ファイバ F B 2 の傾斜端面の中心とコリメータレンズ 4 2 の中心との光軸間距離は、コリメータレンズ 4 2 の焦点距離 f 1 に等しいのが好ましく、コリメータレンズ 5 0 を薄板レンズとした時の光ファイバ F B 1 の傾斜端面の中心とコリメータレンズ 5 0 の中心との光軸間距離は、コリメータレンズ 5 0 の焦点距離 f 2 に等しいのが好ましい。

【 0 0 8 8 】

以上のように、図 7 に示す固定側光ファイバ F B 2 およびコリメータレンズ 4 2 からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバ F B 1 およびコリメータレンズ 5 0 からなる回転側光伝送系と、を配置することによっても、測定対象からの戻り光 L 3 の減衰を小さくして、ホワイトノイズを減らし、戻り光 L 3 の S / N 比を向上させることができる。

ここで、図 7 に示す固定側光ファイバ F B 2 およびコリメータレンズ 4 2 からなる固定側光伝送系と、回転側光ファイバ F B 1 およびコリメータレンズ 5 0 からなる回転側光伝送系とは、上記式（ 5 ）～（ 8 ）を満足すればどのような位置関係でも良いが、例えば、対称、すなわち線対称となる位置が取れるように配置されるのが好ましい。

この場合、両伝送系における屈折率（ $n_1 = n_2$ ）、傾斜角度（ $\theta_1 = \theta_2$ ）、屈折角度（ $\theta_3 = \theta_4$ ）、焦点距離（ $f_1 = f_2$ ）、傾斜角度（ $\theta_1 = \theta_2$ ）は、等しくなる。

【 0 0 8 9 】

なお、例えば、図 7 において、光ファイバ F B 2 の屈折率 n_1 をガラスとして 1 . 5 、その傾斜角度 θ_1 を 8 °、媒質の屈折率 n_3 を空気として 1 . 0 とすると、上記式（ 1 ）から、屈折角度 θ_3 は 1 2 °となるので、上記式（ 6 ）から、光ファイバ F B 2 の中心軸と取付筒の回転中心軸に対する傾斜角度 θ_1 は、 4 °となる。したがって、上述した両伝送系が対称になるように配置されている場合には、光ファイバ F B 1 および F B 2 の中心軸が、それぞれ回転中心軸に対して 4 °傾斜するように、光ファイバ F B 1 および F B 2 を保持するホルダ 4 3 a および 5 1 a をそれぞれ固定スリーブ 3 8 および取付筒 4 6 a に配置すれば良い。

以上に説明したように、図 6 および図 7 に示す光ロータリアダプタ 1 8 a も、図 2 および図 3 に示す光ロータリアダプタ 1 8 と同様に、接続される両光ファイバ F B 1 および F b 2 の先端の損傷や破損などを防止できるとともに、接続される両光ファイバ F B 1 および F b 2 の対向する両端面における端面反射による、測定対象からの戻り光の減衰や S / N 比の低下を防止することができる。

【 0 0 9 0 】

なお、図 6 に示す例では、光ファイバ F B 1 および F B 2 をそれぞれ保持するホルダ 4 3 a および 5 1 a の各フランジ 4 3 b および 5 1 b の外側端面を各直管部 4 3 c および 5 1 c の中心軸に垂直な面に対して所定角度傾斜させた傾斜端面とし、これらの傾斜端面をそれぞれ固定スリーブ 3 8 の円板部 3 8 c の外側の中央開口 3 8 b の周辺部および回転組立体 4 6 の取付筒 4 6 a のフランジ状端面 4 6 e の中央開口 4 6 d の周辺部に密着させて取り付けることにより、光ファイバ F B 1 および F B 2 の中心軸がそれぞれ取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して所定角度傾斜するように構成しているが、本発明はこれに限定されず、光ファイバ F B 1 および F B 2 の中心軸をそれぞれ取付筒 4 6 a の回転中心軸に対して所定角度傾斜させるように構成できれば特に制限的ではなく、例えば、光ファイバ F B 1 および F B 2 をそれぞれ保持するホルダのフランジの外側端面は傾斜させずに、各ホルダの管部の貫通孔を所定角度傾斜するように穿孔し、各傾斜貫通孔内に、光ファイバ F B 1 および F B 2 をそれぞれ芯部に保持するフェルール 4 1 および 4 9 を保持することによ

10

20

30

40

50

り、光ファイバFB1およびFB2の中心軸がそれぞれ取付筒46aの回転中心軸に対して所定角度傾斜するように構成しても良い。

【0091】

なお、上述した図1に示す光断層画像化装置10では、一体化された分岐合波部14によって、光源ユニット12から射出された光Laを測定光L1と参照光L2に分岐し、かつ、被検体である測定対象からの戻り光L3と参照光L2を合波して干渉光L4を生成しているが、本発明はこれに限定されず、分岐部と合波部と別々に設け、分岐部で射出光Laから測定光L1と参照光L2とへの分岐を行い、測定対象からの戻り光L3と参照光L2との合波および干渉光L4の生成を行うようにしても良い。

【0092】

図8は、このような本発明の光断層画像化装置の他の実施形態の概略断面図である。なお、同図に示す光断層画像化装置10aは、図1に示す光断層画像化装置10と同様に、図2および図3に示す光ロータリアダプタ18および図5および図6に示す光ロータリアダプタ18aをいずれも適用することができるものであるが、以下では、代表例として、図2および図3に示す光ロータリアダプタ18が適用されたものとして説明する。

図8に示す光断層画像化装置10aは、図1に示す光断層画像化装置10と、装置本体11内に分岐合波部14および光ファイバケーブル28を備えている代わりに、装置本体11a内に分岐部14a、合波部14b、光サーキュレータ25a、25bおよび偏波コントローラ27a、27bを備えている点で相違する以外は、同様の構成を有するものであるので、同一の構成要素には同一の番号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0093】

同図に示す光断層画像化装置10aは、光源ユニット12と、光源ユニット12から射出された光Laを測定光L1と参照光L2に分岐する分岐部14aと、被検体である測定対象からの戻り光L3と参照光L2aを合波して干渉光L4a、L4bを生成する合波部14bと、合波部14bで生成された干渉光L4a、L4bに基づいて干渉信号を検出する干渉光検出部20と、干渉信号を処理して光断層画像を取得する処理部22と、光断層画像を表示する表示部24とを備える装置本体11aと、装置本体11aの分岐部14aで分岐された測定光L1を測定対象まで導波するとともに測定対象からの戻り光L3を導波する回転側光ファイバFB1を備える光プローブ16と、測定光L1を回転側光ファイバFB1まで導波するとともに回転側光ファイバFB1によって導波された戻り光L3を導波する固定側光ファイバFB2と、回転側光ファイバFB1を固定側光ファイバFB2に対して回転自在に接続し、測定光L1および戻り光L3を伝送する光ロータリアダプタ18とを有する。

【0094】

また、光断層画像化装置10aは、装置本体11aに、さらに、参照光L2の光路長を調整する光路長調整部26と、参照光L2の偏波方向を回転させる偏波コントローラ27a、戻り光L3の偏波方向を回転させる偏波コントローラ27bと、分岐部14aから導波される参照光L2を光路長調整部26に導波すると共に、光路長調整部26から導波される光路長調整済参照光L2aを偏波コントローラ27aに導波するサーキュレータ25aと、分岐部14aから導波される測定光L1を光ロータリアダプタ18に導波すると共に、光ロータリアダプタ18から導波される戻り光L3を偏波コントローラ27bに導波するサーキュレータ25bと、合波部14bで生成された第1干渉光L4aを検出する第1検出部30aと合波部14bで生成された第2干渉光L4bを検出する第2検出部30bと、処理部22や表示部24等への各種条件の入力、設定の変更等を行う操作制御部32とを有する。

【0095】

なお、後述するが、図8に示す光断層画像化装置10aにおいては、上述した射出光La、測定光L1、参照光L2、光路長調整済参照光L2a、戻り光L3および干渉光L4a、L4bなどを含む種々の光を上述した各光デバイスなどの構成要素間で導波し、伝送するための光の経路として、回転側光ファイバFB1および固定側光ファイバFB2を含

10

20

30

40

50

め種々の光ファイバFB (FB 2 a、FB 3、FB 4 a、FB 4 b、FB 5、FB 5 a、FB 7、FB 8 など) が用いられている。

ここで、分岐部 1 4 a、合波部 1 4 b、干渉光検出部 2 0、サーキュレータ 2 5 a、2 5 b、光路長調整部 2 6、偏波コントローラ 2 7 a、2 7 b、および検出部 3 0 a、3 0 b、ならびに上述した光ファイバFB (FB 1 ~ FB 8)などは、干渉計を構成する。

【0096】

次に、干渉計を構成する分岐部 1 4 a、合波部 1 4 b、干渉光検出部 2 0、サーキュレータ 2 5 a、2 5 b、光路長調整部 2 6、偏波コントローラ 2 7 a、2 7 b、および検出部 3 0 a、3 0 bについて説明する。

分岐部 1 4 aは、例えば、2 × 2の光ファイバカブラで構成されており、それぞれ、光ファイバFB 3、FB 2 aおよびFB 5 aと光学的に接続されている。

分岐部 1 4 aは、光源ユニット 1 2から光ファイバFB 3を介して入射した光L aを測定光L 1と参照光L 2とに分割し、測定光L 1を光ファイバFB 2 aを介して光サーキュレータ 2 5 bに入射させ、参照光L 2を光ファイバFB 5 aを介して光サーキュレータ 2 5 aに入射させる。

【0097】

合波部 1 4 bは、例えば2 × 2の光ファイバカブラで構成されており、それぞれ、光ファイバFB 4 a、FB 4 b、FB 7およびFB 8と光学的に接続されている。

合波部 1 4 bは、偏波コントローラ 2 7 aから光ファイバFB 7を介して入射された参照光L 2 aと偏波コントローラ 2 7 bから光ファイバFB 8を介して入射された戻り光L 3を合波して第1干渉光L 4 aおよび第2干渉光L 4 bを生成し、第1干渉光L 4 aを光ファイバFB 4 aを介して第1検出部 3 0 aに入射させ、第2干渉光L 4 bを光ファイバFB 4 bを介して第2検出部 3 0 bに入射させる。

【0098】

光サーキュレータ 2 5 aは、光ファイバFB 5、FB 5 aおよびFB 7と接続されており、所定の光ファイバから導波された光を所定の光ファイバに伝送する。具体的には、光サーキュレータ 2 5 aは、分岐部 1 4 aから光ファイバFB 5 aを介して導波される参照光L 2を光ファイバFB 5に伝送し、光路長調整部 2 6に導波すると共に、光路長調整部 2 6で光路長が調整されて反射され、光ファイバFB 5を介して導波される参照光L 2 aを光ファイバFB 7に伝送し、偏波コントローラ 2 7 aに導波する。

光サーキュレータ 2 5 bは、光ファイバFB 2、FB 2 aおよびFB 8と接続されており、所定の光ファイバから導波された光を所定の光ファイバに伝送する。具体的には、光サーキュレータ 2 5 bは、分岐部 1 4 aから光ファイバFB 2 aを介して導波される測定光L 1を光ファイバFB 2に伝送して光ロータリアダプタ 1 8に導波すると共に、光ロータリアダプタ 1 8から光ファイバFB 2を介して導波される戻り光L 3を光ファイバ 8に伝送して偏波コントローラ 2 7 bに導波する。

【0099】

光路長調整部 2 8は、光ファイバFB 5の参照光L 2の射出側(すなわち、光ファイバFB 5の分岐部 1 4 aとは反対側の端部)に配置されている。

光路長調整部 2 8は、分岐部 1 4 aによって分割され、光ファイバFB 5 a、光サーキュレータ 2 7 aおよび光ファイバFB 5を介して導波された参照光L 2の光路長を調整して、光路長調整済の参照光L 2 aとして射出し、光ファイバFB 5を介して光サーキュレータ 2 7 aに戻すものである。

第1検出器 3 0 aは、光ファイバFB 4 aを介して合波部 1 4 bに光学的に接続され、合波部 1 4 bで生成され、光ファイバFB 4 aを導波された第1干渉光L 4 aの光強度を検出し、その結果を干渉光検出部 2 0に出力する。また、第2検出器 3 0 bは、光ファイバFB 4 bを介して合波部 1 4 bに光学的に接続され、合波部 1 4 bで生成され、光ファイバFB 4 bを導波される第2干渉光L 4 bの光強度を検出し、その結果を干渉光検出部 2 0に出力する。

【0100】

10

20

30

40

50

偏波コントローラ 27 a は、光ファイバ F B 7 に光学的に接続され、参照光 L 2 a の偏波方向を回転させる。また、偏波コントローラ 27 b は、光ファイバ F B 8 に光学的に接続され、戻り光 L 3 の偏波方向を回転させる。

ここで、偏波コントローラ 27 a および 27 b としては、たとえば特開 2001-264246 号公報等の公知の技術を用いることができる。

偏波コントローラ 27 a および 27 b によって、合波部 14 b で合波する前に、戻り光 L 3 と参照光 L 2 a のそれぞれの偏波方向を調整することにより、合波部 14 b においては、偏波方向が一致するように調整された戻り光 L 3 と参照光 L 2 a とを合波することができるので、断層画像をより鮮明にすることができる。

ここで、偏波コントローラ 27 a および 27 b は、操作部により医師等が操作できるようにすることが好ましい。

10

【0101】

干渉光検出部 20 は、光ファイバ F B 4 a および F B 4 b を介してそれぞれ検出器 30 a および 30 b と接続されており、第 1 検出部 30 a を通過した第 1 干渉光 L 4 a と第 2 検出部 30 b を通過した第 2 干渉光 L 4 b との差分から干渉信号を検出（もしくは生成）する。

具体的には、干渉光検出部 20 は、干渉光を光電変換して検出するフォトダイオード等の検出部と検出部で検出した値から差分を検出する差分アンプとからなっており、検出部で第 1 干渉光 L 4 a、第 2 干渉光 L 4 b を光電変換し、検出した値を差分アンプ 73 に入力し、差分アンプ 73 で差分を増幅することで干渉信号を生成する。

20

このように、第 1 干渉光 L 4 a と第 2 干渉光 L 4 b の 2 つの干渉光をバランス検波することにより、干渉信号を増幅して出力しながら干渉信号以外の同相光雑音が除去することができ、断層画像の画質の向上を図ることができる。

【0102】

また、干渉光検出部 20 は、検出器 30 a および検出器 30 b の検出結果に基づいて、検出する第 1 干渉光 L 4 a および第 2 干渉光 L 4 b の光強度のバランスを調整する。

このように、検出器 30 a および検出器 30 b の検出結果に基づいて、第 1 干渉光 L 4 a と第 2 干渉光 L 4 b との光強度のバランスを調整、具体的には、強度を 50 : 50 とすることで、ホワイトノイズ成分を少なくし、S/N 比を高くすることができる。

以上に説明したように、図 8 に示す光断層画像化装置 10 a も、図 1 に示す光断層画像化装置 10 と同様に、効率よく分解能の高い、測定対象の光断層画像を取得することができる。

30

【0103】

また、上述した光断層画像化装置 10 および 10 a は、SS-OCT (swept source - OCT) 計測法により、測定対象との接触領域を検出し、測定対象の断層画像を取得しているが、本発明はこれに限定されず、他の OCT 計測法を適用するものであっても良い。適用可能な他の OCT 計測法として、例えば、SD-OCT (spectral domain - OCT) 計測法、TD-OCT (time domain - OCT) 計測法などをあげることができる。

【0104】

以上、本発明に係る光ロータリアダプタおよびこれを用いる光断層画像化装置について種々の実施形態を掲げて詳細に説明したが、本発明は、以上の実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変更を行ってもよい。

40

【0105】

例えば、上記実施形態では、光ロータリアダプタの固定スリーブや回転組立体を一体として構成しているが、回転側光ファイバと回転側コリメータレンズとからなる回転側光伝送系を一体として、また、固定側光ファイバと固定側コリメータレンズとからなる固定側光伝送系を一体として構成でき、回転側光伝送系を固定側光伝送系に対して回転自在に支持でき、回転側光ファイバおよび固定側光ファイバの各中心軸と、回転中心（例えば回転組立体、取付筒、回転筒の回転中心）とを、所定量オフセットさせて、測定対象からの戻り光の減衰を小さくして、ホワイトノイズを減らし、戻り光の S/N 比を向上させること

50

ができれば、どのような構成としても良いし、例えば、固定スリーブや回転組立体の取付筒や回転筒などの円板部や円管部や円筒部や接続部などの各構成要素を別々の部品として構成しても良い。また、回転側光伝送系を固定側光伝送系に対して回転自在に支持できるとともに、かつ取り外すことができれば、どのような構成としても良い。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明の光ロータリアダプタを用いる本発明の光断層画像化装置の一実施形態の概略構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示す光ロータリアダプタの一実施形態の概略断面図である。

【図3】図2に示す光ロータリアダプタの回転中心と光ファイバおよびコリメータレンズの位置関係の一例を説明するための説明図である。

10

【図4】図1に示す光断層画像化装置の光プローブの一実施形態の先端部を拡大して示す部分断面図である。

【図5】図1に示す光断層画像化装置の処理部の一実施形態の概略構成を示すブロック図である。

【図6】図1に示す光ロータリアダプタの他の実施形態の概略断面図である。

【図7】図6に示す光ロータリアダプタの回転中心と光ファイバおよびコリメータレンズの位置関係の一例を説明するための説明図である。

【図8】本発明の光ロータリアダプタを用いる本発明の光断層画像化装置の他の実施形態の概略構成を示すブロック図である。

20

【符号の説明】

【0107】

10, 10a 光断層画像化装置

11, 11a 装置本体

12 光源ユニット

14 分岐合波部

14a 分岐部

14b 合成部

16 光プローブ

18, 18a 光ロータリアダプタ

30

20 干渉光検出部

22 処理部

24 表示部

25a, 25b 光サーキュレータ

26 光路長調整部

27a, 27b 偏波コントローラ

28 光ファイバカプラ

30a, 30b 検出部

32 操作部

34 筐体

40

36 モータ

38 固定スリーブ

40a, 40b, 43a, 48a, 48b, 51a ホルダ

41, 49 フェルール

42, 50 コリメータレンズ

44 軸受け

46 回転組立体

46a 取付筒

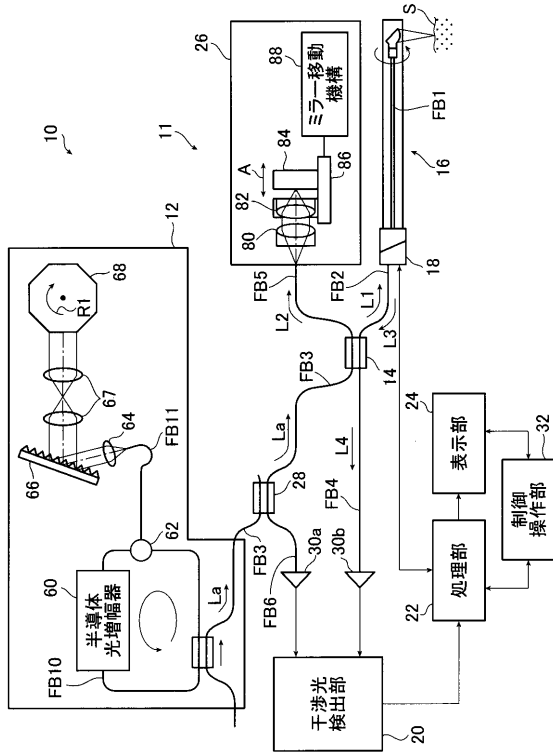
46b 回転筒

46c 接続部

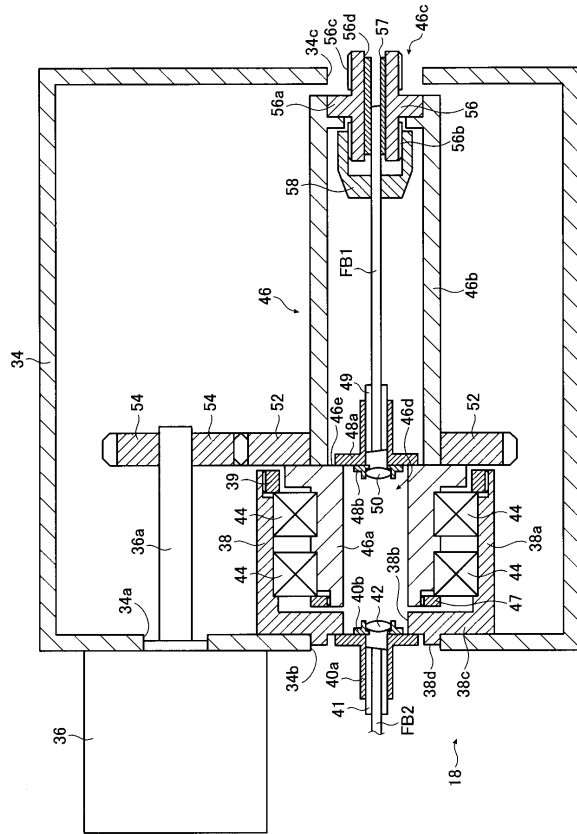
50

5 2 , 5 4	歯車 (ギア)	
5 6	端面部材	
5 8	袋ナット	
6 0	半導体光増幅器	
6 2	光分岐器	
6 4	コリメータレンズ	
6 6	回折格子素子	
6 7	光学系	
6 8	回転多面鏡 (ポリゴンミラー)	
7 0	プローブ外筒	10
7 2	キャップ	
7 4	バネ	
7 6	固定部材	
7 8	光学レンズ	
8 0	第 1 光学レンズ	
8 2	第 2 光学レンズ	
8 4	反射ミラー	
8 6	基台	
8 8	ミラー駆動機構	
9 0	干渉信号取得部	20
9 2	A / D 変換部	
9 4	接触状態検出部	
9 6	断層情報生成部	
9 8	画像補正部	
F B 1 , F B 2 , F B 3 , F B 4 , F B 5 , F B 6	光ファイバ	
S	測定対象	
1 , 2	オフセット量	
1 , 2	傾斜角度	
3 , 4	屈折角度	
n 1 , n 2 , n 3	屈折率	30
f 1 , f 2	焦点距離	

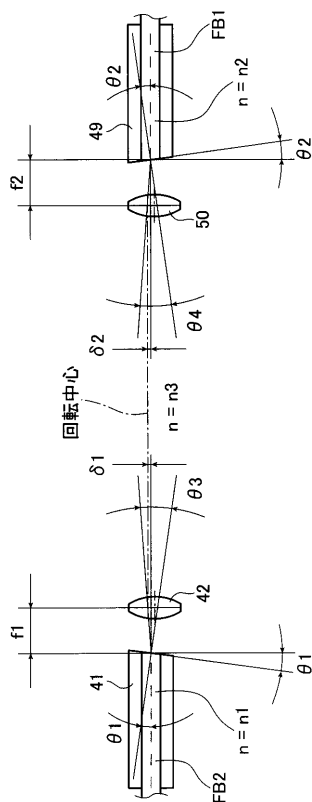
【 図 1 】



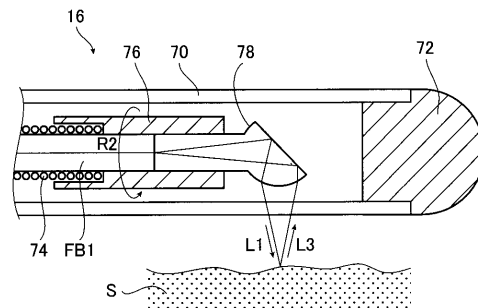
【 図 2 】



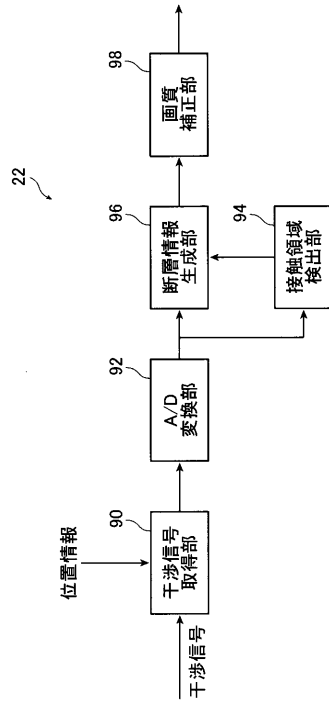
【 図 3 】



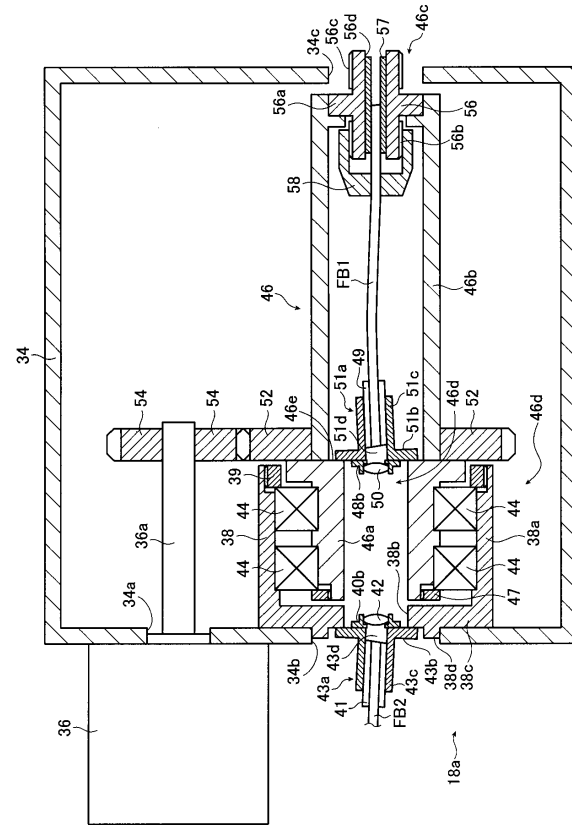
【 図 4 】



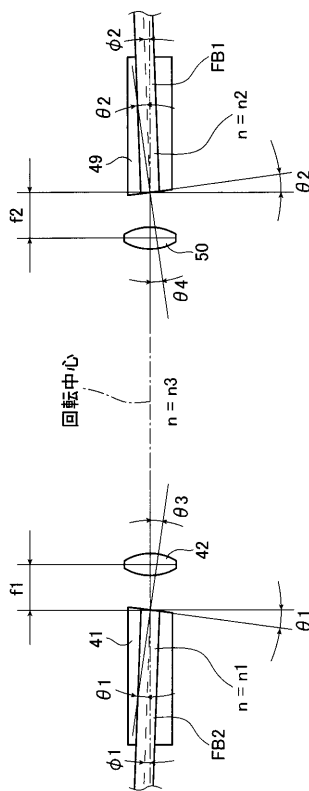
【図 5】



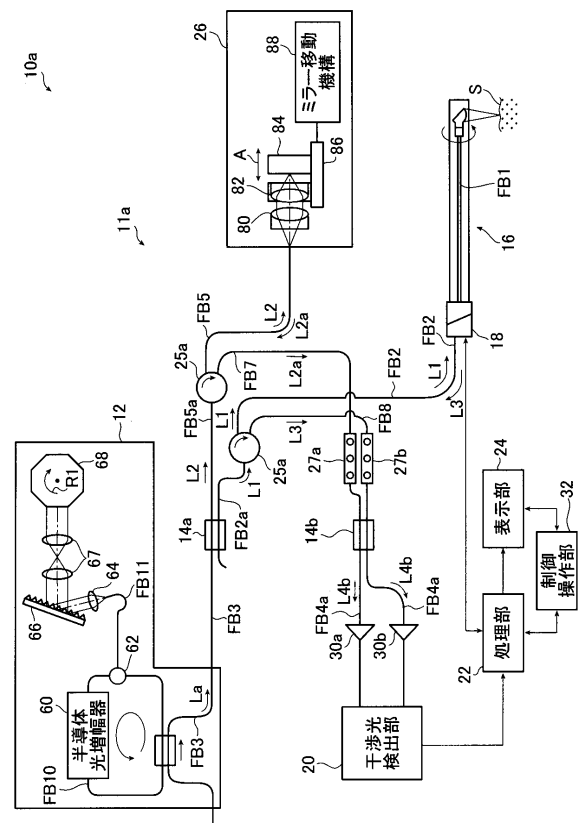
【図 6】



【図 7】



【図 8】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	
G 0 2 B	6/32	(2006.01)	G 0 2 B 6/32
G 0 2 B	26/10	(2006.01)	G 0 2 B 26/10 1 0 5 Z

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 2 0 6 0 4 9 (J P , A)
 特開平 0 4 - 2 4 7 4 1 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 3 - 3 1 5 6 1 0 (J P , A)
 特開平 1 0 - 1 2 3 3 5 8 (J P , A)
 特開平 0 4 - 1 1 6 6 0 4 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 1 9 4 5 5 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 1 2 6 7 3 8 (J P , A)
 実開昭 6 1 - 0 5 6 6 0 6 (J P , U)
 特開 2 0 0 6 - 2 6 7 0 6 9 (J P , A)
 国際公開第 2 0 0 6 / 0 3 9 0 9 1 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 6 - 2 7 5 9 1 3 (J P , A)
 特開 2 0 0 7 - 0 8 9 8 4 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 N 2 1 / 0 0 - 2 1 / 0 1 , 2 1 / 1 7 - 2 1 / 6 1
 A 6 1 B 1 0 / 0 0
 A 6 1 B 1 / 0 0 - 1 / 3 2