

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6712845号
(P6712845)

(45) 発行日 令和2年6月24日 (2020.6.24)

(24) 登録日 令和2年6月4日 (2020.6.4)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 B 11/14 (2006.01)	GO 1 B 11/14 Z
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 B
FO 1 D 25/00 (2006.01)	FO 1 D 25/00 V
FO 1 D 11/22 (2006.01)	FO 1 D 11/22
FO 1 D 11/24 (2006.01)	FO 1 D 11/24

請求項の数 8 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-178656 (P2015-178656)	(73) 特許権者	514030104
(22) 出願日	平成27年9月10日 (2015.9.10)		三菱日立パワーシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2017-53762 (P2017-53762A)		神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号
(43) 公開日	平成29年3月16日 (2017.3.16)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成30年7月17日 (2018.7.17)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	宮本 貴洋
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	近藤 明生
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	大西 智之
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバプローブ、光ファイバ計測装置及びクリアランス制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外面に設けられる被検出面と、内部に設けられる内部空間とを有するプローブ本体と、
前記内部空間に格納され、先端部が前記プローブ本体の前記被検出面側に配置される光
ファイバと、

前記プローブ本体に取り付けられる位置規制部材と、を備え、

前記光ファイバは、先端側において径が細い細径部と、前記細径部の後端側において径
が太い太径部と、を有し、

前記プローブ本体は、前記内部空間において前記被検出面の反対側に設けられる底面と
、前記被検出面と前記底面との間を連通する貫通孔と、前記プローブ本体の内面に形成さ
れる前記位置規制部材を収容する収容溝と、を有し、

前記細径部は、前記貫通孔に挿通され、

前記太径部は、先端部を前記底面に当接させ、前記内部空間に撓ませた状態で配置され

、

前記位置規制部材は、前記太径部の後端部に当接して設けられ、前記太径部を撓ませた
状態で、前記光ファイバの位置を規制すると共に、前記収容溝に収容されることで、前記
プローブ本体の前記内部空間を2つに区分けすることを特徴とする光ファイバプローブ。

【請求項 2】

外面に設けられる被検出面と、内部に設けられる内部空間とを有するプローブ本体と、
前記内部空間に格納され、先端部が前記プローブ本体の前記被検出面側に配置される複

10

20

数の光ファイバと、

前記プローブ本体に取り付けられる位置規制部材と、

複数の前記光ファイバを前記被検出面側に押圧する弾性部材と、

複数の前記光ファイバと前記弾性部材との間に設けられる中間板と、を備え、

前記光ファイバは、先端側において径が細い先端側の細径部と、前記細径部の後端側において径が太い太径部と、前記太径部の後端側において径が細い後端側の細径部と、を有し、

前記プローブ本体は、前記内部空間において前記被検出面の反対側に設けられる底面と、前記被検出面と前記底面との間を連通する貫通孔と、を有し、

前記中間板は、複数の前記光ファイバの前記後端側の細径部が挿通される複数の挿通孔を有し、

10

前記先端側の細径部は、前記貫通孔に挿通され、

前記太径部は、先端部を前記底面に当接させた状態で配置され、

前記後端側の細径部は、前記挿通孔に挿通され、

前記位置規制部材は、前記後端側の細径部に挿通される前記中間板に対して隙間を空けて設けられ、

前記弾性部材は、前記中間板と前記位置規制部材との前記隙間に設けられることを特徴とする光ファイバプローブ。

【請求項 3】

前記光ファイバは、中心部となるコアと、前記コアの周囲に設けられるクラッドと、を有し、

20

前記コアは、前記太径部及び前記細径部における直径が、同径となる一方で、

前記クラッドは、前記細径部に比して前記太径部における外径が、太くなっていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光ファイバプローブ。

【請求項 4】

前記貫通孔の前記被検出面側に挿通される光学窓を、さらに備えることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光ファイバプローブ。

【請求項 5】

前記光学窓は、軸方向に長い円柱形状となっており、前記軸方向が前記貫通孔の挿通方向となっており、

30

前記光学窓の外周面は、めっき加工されていることを特徴とする請求項 4 に記載の光ファイバプローブ。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の光ファイバプローブと、

前記光ファイバプローブへ向けて光を出射する発光部と、

前記光ファイバプローブから入射される光を受光する受光部と、

前記発光部への発光信号と、前記受光部からの受光信号とを信号処理する計測制御部と、を備えることを特徴とする光ファイバ計測装置。

【請求項 7】

前記光ファイバは、前記被検出面から光を出射させるための複数の送光用ファイバと、複数の前記送光用ファイバにそれぞれ対応付けられると共に、前記被検出面に入射する光を受光するための複数の受光用ファイバと、を有し、

40

前記発光部は、複数の前記送光用ファイバから出射される光の色彩を異ならせ、

前記受光部は、複数の異なる色彩の光を選別する複数のフィルタを有することを特徴とする請求項 6 に記載の光ファイバ計測装置。

【請求項 8】

ケーシングと、前記ケーシングに対して所定のクリアランスを空けて対向して設けられる動翼と、を備えるタービンの前記クリアランスを調整するクリアランス制御システムであって、

前記発光信号と前記受光信号とに基づいて、前記クリアランスを計測する、請求項 6 ま

50

たは7に記載の光ファイバ計測装置と、

前記光ファイバ計測装置により計測された前記クリアランスに基づいて、前記クリアランスを調整するためのクリアランス調整制御を実行するタービン制御部と、を備えることを特徴とするクリアランス制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、光ファイバを用いたプローブである光ファイバプローブ、光ファイバ計測装置及びクリアランス制御システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、光ファイバプローブとして、6×1ファイバ構成による反射プローブが知られている（例えば、特許文献1参照）。この反射プローブは、中心ファイバと、6本の同軸ファイバとを有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

20

【特許文献1】特開2010-8409号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、反射プローブ等の光ファイバプローブは、例えば、蒸気タービンまたはガスタービン等のタービンに設けられる場合がある。この場合、光ファイバプローブは、高温・高圧環境下に曝される。光ファイバプローブが過酷な外部環境下で使用されると、被検出面から光ファイバが陥没したり、また、光ファイバを固定するためのセラミック製の封止材の一部が欠損したりする可能性がある。このように、光ファイバプローブが過酷な外部環境下で使用されると、光ファイバの位置または形状が変化してしまい、光ファイバプローブを用いた検出精度が低下する可能性がある。

30

【0005】

そこで、本発明は、外部環境を要因とする光ファイバの変化を抑制し、検出精度の低下を抑制することができる光ファイバプローブ、光ファイバ計測装置及びクリアランス制御システムを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の光ファイバプローブは、外面に設けられる被検出面と、内部に設けられる内部空間とを有するプローブ本体と、前記内部空間に格納され、先端部が前記プローブ本体の前記被検出面側に配置される光ファイバと、前記プローブ本体に取り付けられる位置規制部材と、を備え、前記光ファイバは、先端側において径が細い細径部と、前記細径部の後端側において径が太い太径部と、を有し、前記プローブ本体は、前記内部空間において前記被検出面の反対側に設けられる底面と、前記被検出面と前記底面との間を連通する貫通孔と、を有し、前記細径部は、前記貫通孔に挿通され、前記太径部は、先端部を前記底面に当接させ、前記内部空間に撓ませた状態で配置され、前記位置規制部材は、前記太径部の後端部に当接して設けられ、前記太径部を撓ませた状態で、前記光ファイバの位置を規制することを特徴とする。

40

【0007】

この構成によれば、光ファイバの太径部を撓ませることで、太径部を内部空間の底面側に押し当てることができる。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても

50

、光ファイバの細径部が、プローブ本体の被検出面から陥没することを抑制することができる。また、光ファイバをプローブ本体に固定するための封止材を省略できるため、封止材の欠損を生じさせることがない。よって、外部環境を要因とする光ファイバの変化を抑制できることから、検出精度の低下を抑制することができる。

【0008】

本発明の他の光ファイバプローブは、外面に設けられる被検出面と、内部に設けられる内部空間とを有するプローブ本体と、前記内部空間に格納され、先端部が前記プローブ本体の前記被検出面側に配置される光ファイバと、前記プローブ本体に取り付けられる位置規制部材と、前記光ファイバを前記被検出面側に押圧する弾性部材と、を備え、前記光ファイバは、先端側において径が細い細径部と、前記細径部の後端側において径が太い太径部と、を有し、前記プローブ本体は、前記内部空間において前記被検出面の反対側に設けられる底面と、前記被検出面と前記底面との間を連通する貫通孔と、を有し、前記細径部は、前記貫通孔に挿通され、前記太径部は、先端部を前記底面に当接させた状態で配置され、前記位置規制部材は、前記太径部の後端部に対して隙間を空けて設けられ、前記弾性部材は、前記太径部の後端部と前記位置規制部材との前記隙間に設けられることを特徴とする。

10

【0009】

この構成によれば、光ファイバの太径部の後端部と位置規制部材との間に弾性部材を設けることで、弾性部材によって光ファイバを被検出面側に押圧することができるため、太径部を内部空間の底面側に押し当てることができる。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても、光ファイバの細径部が、プローブ本体の被検出面から陥没することを抑制することができる。また、光ファイバをプローブ本体に固定するための封止材を省略できるため、封止材の欠損を生じさせることがない。よって、外部環境を要因とする光ファイバの変化を抑制できることから、検出精度の低下を抑制することができる。

20

【0010】

また、前記光ファイバは、中心部となるコアと、前記コアの周囲に設けられるクラッドと、を有し、前記コアは、前記太径部及び前記細径部における直径が、同径となる一方で、前記クラッドは、前記細径部に比して前記太径部における外径が、太くなっていることが好ましい。

【0011】

この構成によれば、コアの径を変えることなく、クラッドの外径を太径部において太くすればよいから、コアとクラッドとの界面を均一な状態に維持することができる。

30

【0012】

また、前記貫通孔の前記被検出面側に挿通される光学窓を、さらに備えることが好ましい。

【0013】

この構成によれば、光学窓により、プローブ本体の外部とプローブ本体の内部空間とを区画することができる。このため、光ファイバがプローブ本体の外部に露出することがなく、光ファイバを内部空間に格納することができるため、光ファイバが外部環境に曝されることを抑制することができる。

40

【0014】

また、前記光学窓は、軸方向に長い円柱形状となっており、前記軸方向が前記貫通孔の挿通方向となっており、前記光学窓の外周面は、めっき加工されていることが好ましい。

【0015】

この構成によれば、光学窓を通過する光を反射させることができるため、光学窓を通過する光の強さが低下することを抑制することができる。

【0016】

本発明の他の光ファイバプローブは、外面に設けられる被検出面と、内部に設けられる内部空間とを有するプローブ本体と、前記内部空間に格納され、先端部が前記プローブ本体の前記被検出面側に配置される光ファイバと、前記プローブ本体に取り付けられる光学

50

窓と、を備え、前記プローブ本体は、前記内部空間において前記被検出面の反対側に設けられる底面と、前記被検出面と前記底面との間を連通する貫通孔と、を有し、前記光ファイバの先端部は、前記貫通孔に挿通され、前記光学窓は、前記光ファイバの先端部に対して前記貫通孔の前記被検出面側に挿通されることを特徴とする。

【0017】

この構成によれば、光学窓により、プローブ本体の外部とプローブ本体の内部空間とを区画することができる。このため、光ファイバがプローブ本体の外部に露出することがなく、光ファイバを内部空間に格納することができるため、光ファイバが外部環境に曝されることを抑制することができる。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても、光ファイバの先端部が、プローブ本体の被検出面から陥没することを抑制することができる。また、光ファイバをプローブ本体に固定するための封止材を省略できるため、封止材の欠損を生じさせることがない。よって、外部環境を要因とする光ファイバの変化を抑制できることから、検出精度の低下を抑制することができる。

10

【0018】

本発明の光ファイバ計測装置は、上記の光ファイバプローブと、前記光ファイバプローブへ向けて光を出射する発光部と、前記光ファイバプローブから入射される光を受光する受光部と、前記発光部への発光信号と、前記受光部からの受光信号とを信号処理する計測制御部と、を備えることを特徴とする。

【0019】

この構成によれば、過酷な外部環境下において、光ファイバプローブを用いる場合であっても、光ファイバプローブの検出精度の低下を抑制できるため、光ファイバプローブを用いた計測を精度よく行うことができる。

20

【0020】

また、前記光ファイバは、前記被検出面から光を出射させるための複数の送光用ファイバと、複数の前記送光用ファイバにそれぞれ対応付けられると共に、前記被検出面に入射する光を受光するための複数の受光用ファイバと、を有し、前記発光部は、複数の前記送光用ファイバから出射される光の色彩を異ならせ、前記受光部は、複数の異なる色彩の光を選別する複数のフィルタを有することが好ましい。

【0021】

この構成によれば、複数の送光用ファイバと複数の受光用ファイバとがそれぞれ対応付けられている場合、1つの送光用ファイバから出射した光が、対応付けられていない他の受光用ファイバに入射した場合であっても、受光部の複数のフィルタによって光を選別することができる。このため、複数の送光用ファイバと複数の受光用ファイバとの光の混在（つまり、クロストーク）を抑制できることから、受光部における光の誤検出を抑制することができる。

30

【0022】

本発明のクリアランス制御システムは、ケーシングと、前記ケーシングに対して所定のクリアランスを空けて対向して設けられる動翼と、を備えるタービンの前記クリアランスを調整するクリアランス制御システムであって、前記発光信号と前記受光信号とに基づいて、前記クリアランスを計測する、上記の光ファイバ計測装置と、前記光ファイバ計測装置により計測された前記クリアランスに基づいて、前記クリアランスを調整するためのクリアランス調整制御を実行するタービン制御部と、を備えることを特徴とする。

40

【0023】

この構成によれば、過酷な外部環境下において、光ファイバプローブを用いる場合であっても、光ファイバプローブの検出精度の低下を抑制できるため、光ファイバプローブを用いたクリアランスの計測を精度よく行うことができる。よって、タービン制御部によるクリアランス調整制御を精度よく実行することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】図1は、実施形態1に係るクリアランス制御システムに関する概略構成図である

50

。

【図 2】図 2 は、実施形態 1 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。

【図 3】図 3 は、クリアランスの算出方法に関する説明図である。

【図 4】図 4 は、光ファイバプローブを用いて検出した受光信号の信号強度に関するグラフである。

【図 5】図 5 は、実施形態 1 の変形例 1 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。

【図 6】図 6 は、実施形態 2 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。

【図 7】図 7 は、実施形態 2 の変形例 2 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。

【図 8】図 8 は、実施形態 3 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。

【図 9】図 9 は、実施形態 4 に係る光ファイバ計測装置を模式的に表した概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下に、本発明に係る実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。また、下記実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能であり、また、実施形態が複数ある場合には、各実施形態を組み合わせることも可能である。

【0026】

[実施形態 1]

図 1 は、実施形態 1 に係るクリアランス制御システムに関する概略構成図である。図 2 は、実施形態 1 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。図 3 は、クリアランスの算出方法に関する説明図である。図 4 は、光ファイバプローブを用いて検出した受光信号の信号強度に関するグラフである。

【0027】

図 1 に示すように、実施形態 1 に係るクリアランス制御システム 1 は、タービン 3 のケーシング 5 と動翼 6 との間に形成されるクリアランス d を計測し、計測結果に基づいて、クリアランス d を調整するシステムである。先ず、クリアランス制御システム 1 の説明に先立ち、タービン 3 について説明する。

【0028】

タービン 3 は、蒸気タービンまたはガスタービンを含むターボ機械である。タービン 3 は、回転軸となる図示しないロータに設けられる複数の動翼 6 と、複数の動翼 6 の周囲に設けられるケーシング 5 とを有している。複数の動翼 6 は、ロータに取り付けられると共に、ロータの周方向に所定の間隔を空けて並べて設けられている。ケーシング 5 は、周方向に並べて設けられる動翼 6 に対向して設けられ、円環形状に形成されている。ケーシング 5 は、所定のクリアランス d を空けて複数の動翼 6 に対向して設けられる。ケーシング 5 は、例えば、内車室と、内車室の外側に設けられる外車室とを含む構成である。

【0029】

次に、図 1 を参照して、クリアランス制御システム 1 について説明する。クリアランス制御システム 1 は、タービン制御部 8 と、光ファイバ計測装置 10 とを備えており、光ファイバ計測装置 10 は、クリアランス d を計測している。

【0030】

タービン制御部 8 は、光ファイバ計測装置 10 により計測されたクリアランス d に基づいて、クリアランス d を調整するためのクリアランス調整制御を実行している。ここで、クリアランス d としては、ロータの径方向におけるクリアランス（いわゆる、チップクリアランス） C と、ロータの軸方向におけるクリアランス d とがあり、図 1 では、ロータの径方向におけるクリアランス d を示している。

【0031】

タービン制御部 8 は、ロータの径方向におけるクリアランス調整制御として、例えば、内車室及び外車室を含むケーシング 5 を上下移動させるアクチュエータを制御することにより、クリアランス d を調整している。また、タービン制御部 8 は、例えば、ロータを上下移動させるアクチュエータを制御することにより、クリアランス d を調整している。また、タービン制御部 8 は、例えば、ケーシング 5 の温度を制御して、ケーシング 5 の熱伸びを調整することで、クリアランス d を調整している。

【 0 0 3 2 】

また、タービン制御部 8 は、ロータの軸方向におけるクリアランス調整制御として、例えば、内車室及び外車室を含むケーシング 5 を軸方向に移動させるアクチュエータを制御することにより、クリアランス d を調整している。さらに、タービン制御部 8 は、例えば、ロータを軸方向に移動させるアクチュエータを制御することにより、クリアランス d を調整している。

【 0 0 3 3 】

光ファイバ計測装置 1 0 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間のクリアランス d を計測しており、光ファイバプローブ 1 1 と、発光部 1 2 と、受光部 1 3 と、計測制御部 1 4 と、を備えている。

【 0 0 3 4 】

図 1 に示すように、光ファイバプローブ 1 1 は、ケーシング 5 に取り付けられ、その被検出面 P 1 が、ロータの径方向において動翼 6 と対向するように配置される。このため、光ファイバプローブ 1 1 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間の高温・高圧の外部環境下に曝される。図 2 に示すように、光ファイバプローブ 1 1 は、プローブ本体 2 1 と、複数の光ファイバ 2 2 と、位置規制部材 2 3 とを備えている。

【 0 0 3 5 】

プローブ本体 2 1 は、被検出面 P 1 側となる先端側ケース 3 1 と、先端側ケース 3 1 の後端側に設けられる後端側ケース 3 2 と、先端側ケース 3 1 と後端側ケース 3 2 とを締結するナット 3 3 とを含んで構成され、その内部に中空の内部空間 S が形成されている。

【 0 0 3 6 】

先端側ケース 3 1 は、底板部 3 1 a と、円筒部 3 1 b と、フランジ部 3 1 c とを有しており、有底の円筒形状に形成されている。底板部 3 1 a は、外側の面が被検出面 P 1 となっており、内側の面が底面 P 2 となっている。この底板部 3 1 a には、被検出面 P 1 と底面 P 2 とが対向する厚み方向において、貫通孔 3 1 d が複数形成されており、貫通孔 3 1 d は、プローブ本体 2 1 の外部とプローブ本体 2 1 の内部空間 S とを連通している。複数の貫通孔 3 1 d は、径方向の一方側に寄せて一群の貫通孔 3 1 d が複数形成され、径方向の他方側に寄せて他群の貫通孔 3 1 d が複数形成されている。一群の貫通孔 3 1 d の貫通方向と、他群の貫通孔 3 1 d の貫通方向とは、所定の角度 をなすように形成されている。円筒部 3 1 b は、その先端側に底板部 3 1 a が設けられ、その後端側にフランジ部 3 1 c が設けられている。フランジ部 3 1 c は、円筒部 3 1 b の径方向外側に突出して形成されている。このフランジ部 3 1 c は、締結されるナット 3 3 のストッパとして機能している。また、先端側ケース 3 1 には、フランジ部 3 1 c の内周面側に収容溝 3 1 e が全周に亘って形成され、この収容溝 3 1 e に、位置規制部材 2 3 が収容される。

【 0 0 3 7 】

後端側ケース 3 2 は、底板部 3 2 a と、円筒部 3 2 b とを有しており、有底の円筒形状に形成されている。底板部 3 2 a には、複数の光ファイバ 2 2 を挿通する挿通孔 3 2 c が形成されている。円筒部 3 2 b は、その後端側に底板部 3 2 a が設けられ、その先端側に先端側ケース 3 1 のフランジ部 3 1 c が当接する。円筒部 3 2 b の先端側の外周面には、ナット 3 3 が締結する雄ねじが形成されている。

【 0 0 3 8 】

また、先端側ケース 3 1 と後端側ケース 3 2 との間には、ピン 3 5 が設けられ、ピン 3 5 は、周方向における先端側ケース 3 1 と後端側ケース 3 2 との位置を規制している。このピン 3 5 は、後述するナット 3 3 を締結する際に、先端側ケース 3 1 及び後端側ケース

10

20

30

40

50

３２が連れ回りすることを規制している。

【００３９】

ナット３３は、円環状に形成され、軸方向の一方側の内周面に雌ねじと、軸方向の他方側の内周面から突出する突出部３３ａとが形成されている。ナット３３は、先端側ケース３１から挿入され、ナット３３の雌ねじと、後端側ケース３２の雄ねじとが締結される。また、ナット３３は、その突出部３３ａが、先端側ケース３１のフランジ部３１ｃに当接することで、位置規制される。

【００４０】

複数の光ファイバ２２は、プローブ本体２１の内部空間Ｓに格納されており、複数の送光用ファイバ４１と、複数の受光用ファイバ４２とを有している。具体的に、送光用ファイバ４１は、２本設けられており、一方の送光用ファイバ４１は、中空の内部空間Ｓにおいて、一方側（図２の上側）に寄せて配置され、他方の送光用ファイバ４１は、他方側（図２の下側）に寄せて配置されている。複数の受光用ファイバ４２は、一方の送光用ファイバ４１を中心として同心円状に複数配置され、同様に、他方の送光用ファイバ４１を中心として同心円状に複数配置されている。このように、複数の光ファイバ２２は、一群となる複数の光ファイバ２２と、他群となる複数の光ファイバ２２とに分けて配置される。

【００４１】

また、各光ファイバ２２は、直径が細い細径部２２ａと、直径が太い太径部２２ｂとを含んで構成されている。細径部２２ａは、被検出面Ｐ１側となる光ファイバ２２の先端部に設けられる。太径部２２ｂは、細径部２２ｂの後端側に設けられており、太径部２２ｂの後端側に、細径部２２ａが設けられている。つまり、２つの細径部２２ａの間に、太径部２２ｂが設けられている。この光ファイバ２２は、中心部となるコア４５と、コア４５の周囲に設けられるクラッド４６とを有しており、コア４５は、光ファイバ２２の全長に亘って、同じ直径となっている。つまり、光ファイバ２２の細径部２２ａ及び太径部２２ｂにおけるコア４５の直径は、同径となっている。一方で、クラッド４６は、細径部２２ａに比して太径部２２ｂにおける外径が、太くなっている。

【００４２】

位置規制部材２３は、円板形状に形成されており、先端側ケース３１の収容溝３１ｅに収容されることで、プローブ本体２１の内部空間Ｓを２つに区分けしている。この位置規制部材２３には、複数の光ファイバ２２の細径部２２ａが挿通される複数の挿通孔２３ａが貫通形成されている。なお、複数の挿通孔２３ａは、一群となる複数の光ファイバ２２に応じて複数貫通形成されると共に、他群となる複数の光ファイバ２２に応じて複数貫通形成される。

【００４３】

上記の光ファイバ２２は、先端側の細径部２２ａが、プローブ本体２１の貫通孔３１ｄに挿通され、後端側の細径部２２ａが、位置規制部材２３の挿通孔２３ａに挿通される。また、光ファイバ２２は、太径部２２ｂが、底面Ｐ２と位置規制部材２３との間の内部空間Ｓに、撓ませた状態で配置される。つまり、太径部２２ｂは、プローブ本体２１の底面Ｐ２と位置規制部材２３との間の長さよりも長く形成されている。そして、太径部２２ｂは、その先端側が、プローブ本体２１の底面Ｐ２に当接し、その後端側が、位置規制部材２３に当接することで、撓ませた状態で配置される。

【００４４】

発光部１２は、光ファイバプローブ１１の２本の送光用ファイバ４１にそれぞれ接続され、計測制御部１４の発光信号に基づいて、光を出射する。送光用ファイバ４１から出射した光は、動翼６に照射されると共に、動翼６から反射した反射光が、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１に入射する。

【００４５】

受光部１３は、光ファイバプローブ１１の受光用ファイバ４２にそれぞれ接続され、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１から入射した反射光を受光し、計測制御部１４へ向けて受光信号を出力する。

【 0 0 4 6 】

計測制御部 1 4 は、発光部 1 2 及び受光部 1 3 にそれぞれ接続され、発光部 1 2 に向けて発光信号を出力すると共に、受光部 1 3 から出力された受光信号が入力される。また、計測制御部 1 4 は、タービン制御部 8 に接続され、発光信号と受光信号とを信号処理して、クリアランス d を計測し、計測したクリアランス d を、タービン制御部 8 へ向けて出力する。

【 0 0 4 7 】

ここで、図 3 及び図 4 を参照して、計測制御部 1 4 によるクリアランス d の算出方法について説明する。計測制御部 1 4 は、下記の (1) 式に示す算出式に基づいて、クリアランス d を算出している。

10

【 0 0 4 8 】

【 数 1 】

$$d = \frac{\frac{1}{2} \overline{CD}}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \overline{AB}}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{1}{2} \times 2\pi R \times \frac{\Delta t}{T}}{\tan \frac{\alpha}{2}} - \frac{\frac{1}{2} \ell}{\tan \frac{\alpha}{2}} \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 9 】

ここで、角度 α は、2本の送光用ファイバ 4 1 から出射される2本の光の導光方向がなす角度、つまり、一群の貫通孔 3 1 d の貫通方向と、他群の貫通孔 3 1 d の貫通方向とがなす角度である。この角度 α は、既知の角度となっている。距離 ℓ は、A - B 間の長さ、つまり、2本の送光用ファイバ 4 1 の間の距離であり、既知の距離となっている。また、周長 $2\pi R$ は、複数の動翼 6 の外周における周長であり、既知の周長となっている。時間 T は、1周（一回転）にかかる時間であり、ロータの回転速度に基づいて得られる時間となっている。つまり、「 $2\pi R / T$ 」が、複数の動翼 6 の外周における周速となっている。時間 t は、2本の送光用ファイバ 4 1 の間を動翼 6 が通過する時間となっており、受光信号に基づいて得られる。

20

【 0 0 5 0 】

ここで、計測制御部 1 4 は、受光信号として、図 4 に示す受光信号を取得する。図 4 は、その横軸が時間となっており、その縦軸が信号強度となっている。図 4 に示すとおり、受光信号は、2つの信号ピークが検出されている。2つの信号ピークは、2本の送光用ファイバ 4 1 から出射される2本の光によって得られる。そして、計測制御部 1 4 は、一方の信号ピークから他方の信号ピークまでの時間を、時間 t として取得する。計測制御部 1 4 は、受光信号に基づいて時間 t を取得すると、上記の (1) 式に示す算出式に基づいて、クリアランス d を算出する。

30

【 0 0 5 1 】

以上のように、実施形態 1 によれば、光ファイバ 2 2 の太径部 2 2 b を撓ませて内部空間 S に配置することで、太径部 2 2 b を内部空間 S の底面 P 2 側に押し当てることができる。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても、光ファイバ 2 2 の細径部 2 2 a が、プローブ本体 2 1 の被検出面 P 1 から陥没することを抑制することができる。また、光ファイバ 2 2 をプローブ本体 2 1 に固定するための封止材を省略できるため、封止材の欠損を生じさせることがない。よって、外部環境を要因とする光ファイバ 2 2 の変化を抑制することから、検出精度の低下を抑制することができる。

40

【 0 0 5 2 】

また、実施形態 1 によれば、光ファイバ 2 2 のコア 4 5 の直径を、細径部 2 2 a 及び太径部 2 2 b において同じ直径とすることができるため、コア 4 5 とクラッド 4 6 との界面を均一な状態に維持することができる。また、クラッド 4 6 の外径を太くすれば、太径部 2 2 b を簡単に形成することができる。

【 0 0 5 3 】

50

また、実施形態 1 によれば、過酷な外部環境下に光ファイバプローブ 11 を配置する場合であっても、光ファイバプローブ 11 の検出精度の低下を抑制できるため、光ファイバ計測装置 10 を用いたクリアランス d の計測を精度よく行うことができる。

【0054】

また、実施形態 1 によれば、光ファイバ計測装置 10 を用いて、クリアランス d の計測を精度よく行うことができるため、クリアランス制御システム 1 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間のクリアランス d を精度よく調整することができ、タービン効率の向上を図ることができる。

【0055】

なお、実施形態 1 の光ファイバプローブ 11 は、クリアランス制御システム 1 に用いられる光ファイバ計測装置 10 に適用したが、この構成に限定されない。つまり、実施形態 1 では、クリアランス d を計測するために、2 本の送光用ファイバ 41 を用いた。これに対し、例えば、光ファイバプローブは、図 5 に示す変形例 1 であってもよい。図 5 は、実施形態 1 の変形例 1 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。図 5 に示すように、光ファイバ 22 は、1 本のみの構成であってもよい。

【0056】

また、実施形態 1 の光ファイバ計測装置 10 は、ケーシング 5 と動翼 6 との間のクリアランス d を計測するために用いられたが、この構成に限定されない。例えば、光ファイバ計測装置 10 は、タービン 3 に設けられる静翼とロータとの間のクリアランスを計測するために用いられてもよい。この場合、タービン制御部 8 は、例えば、アクティブクリアランスコントロール (ACC) を制御することにより、クリアランス d を調整することが好ましい。アクティブクリアランスコントロールとは、静翼とロータとの間に設けられるシール部を、ロータの径方向に移動させることで、クリアランスを調整するものである。

【0057】

また、実施形態 1 の光ファイバ 22 の太径部 22b は、クラッド 46 の外径を太くすることで形成したが、全長に亘って細径部 22a となる光ファイバ 22 の周囲に、別体の被覆部材を配置することで、太径部 22b を形成してもよい。

【0058】

[実施形態 2]

次に、図 6 を参照して、実施形態 2 に係る光ファイバプローブについて説明する。図 6 は、実施形態 2 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。なお、実施形態 2 では、重複した記載を避けるべく、実施形態 1 と異なる部分について説明し、実施形態 1 と同様の構成である部分については、同じ符号を付して説明する。

【0059】

図 6 に示すように、実施形態 2 の光ファイバプローブ 50 は、プローブ本体 51 と、複数の光ファイバ 52 と、位置規制部材 53 と、弾性部材 54 とを備えている。

【0060】

プローブ本体 51 は、被検出面 P1 側となる先端側ケース 61 と、先端側ケース 61 の後端側に設けられる後端側ケース 62 と、先端側ケース 61 と後端側ケース 62 とを締結するナット 63 とを含んで構成され、その内部に中空の内部空間 S が形成されている。

【0061】

先端側ケース 61 は、実施形態 1 の先端側ケース 31 とほぼ同様であり、底板部 61a と、円筒部 61b と、フランジ部 61c と、貫通孔 61d と、収容溝 61e とを有しており、有底の円筒形状に形成されている。先端側ケース 61 は、収容溝 61e が、実施形態 1 に比して、底面 P2 側まで形成されている。

【0062】

後端側ケース 62 は、実施形態 1 の後端側ケース 32 とほぼ同様であり、底板部 62a と、円筒部 62b とを有しており、有底の円筒形状に形成されている。また、後端側ケース 62 には、円筒部 62b の先端側に、細径円筒部 62c が設けられており、この細径円筒部 62c は、先端側ケース 61 の収容溝 61e に収容されると共に、位置規制部材 53

10

20

30

40

50

の位置を規制している。なお、ナット 6 3 は、実施形態 1 のナット 3 3 と同様であるため、説明を省略する。

【 0 0 6 3 】

複数の光ファイバ 5 2 は、プローブ本体 5 1 の内部空間 S に格納されており、実施形態 1 と同様に、複数の送光用ファイバ 7 1 と、複数の受光用ファイバ 7 2 とを有している。

【 0 0 6 4 】

また、各光ファイバ 5 2 は、実施形態 1 と同様に、直径が細い細径部 5 2 a と、直径が太い太径部 5 2 b とを含んで構成されている。ここで、太径部 5 2 b は、実施形態 1 に比して短く形成されている。

【 0 0 6 5 】

位置規制部材 5 3 は、実施形態 1 と同様であり、円板形状に形成されており、先端側ケース 6 1 の収容溝 6 1 e の底面 P 2 側に収容される。

【 0 0 6 6 】

上記の光ファイバ 5 2 は、先端側の細径部 5 2 a が、プローブ本体 5 1 の貫通孔 6 1 d に挿通され、後端側の細径部 5 2 a が、位置規制部材 5 3 の挿通孔 5 3 a に挿通される。また、光ファイバ 5 2 は、太径部 5 2 b が、プローブ本体 5 1 の底面 P 2 と位置規制部材 5 3 との間の長さよりも短く形成されている。そして、太径部 5 2 b は、その先端側が、プローブ本体 5 1 の底面 P 2 に当接し、その後端側が、位置規制部材 5 3 と所定の隙間を空けて配置される。

【 0 0 6 7 】

弾性部材 5 4 は、光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b の後端部と位置規制部材 5 3 との隙間に設けられ、複数の光ファイバ 5 2 の数に応じて複数設けられている。弾性部材 5 4 は、例えば、皿ばねが用いられており、光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b と位置規制部材 5 3 とを押圧することで、光ファイバ 5 2 を被検出面 P 1 側に押圧している。

【 0 0 6 8 】

以上のように、実施形態 2 によれば、光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b の後端部と位置規制部材 5 3 との間に弾性部材 5 4 を設けることで、弾性部材 5 4 によって光ファイバ 5 2 を被検出面 P 1 側に押圧することができるため、太径部 5 2 b を内部空間 S の底面 P 2 側に押し当てることのできる。このため、外部環境が高温・高圧環境となる場合であっても、光ファイバ 5 2 の細径部 5 2 a が、プローブ本体 5 1 の被検出面 P 1 から陥没することを抑制することができる。また、光ファイバ 5 2 をプローブ本体 5 1 に固定するための封止材を省略できるため、封止材の欠損を生じさせることがない。よって、外部環境を要因とする光ファイバ 5 2 の変化を抑制することから、検出精度の低下を抑制することができる。

【 0 0 6 9 】

なお、実施形態 2 の光ファイバプローブ 5 0 は、光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b と位置規制部材 5 3 との間に弾性部材 5 4 を設けたが、図 7 に示す変形例 2 であってもよい。図 7 は、実施形態 2 の変形例 2 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。図 7 に示すように、光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b と弾性部材 5 4 との間には、円板形状の中間板 6 8 が設けられており、弾性部材 5 4 は、中間板 6 8 と位置規制部材 5 3 との間に一つ設けられている。また、中間板 6 8 には、複数の挿通孔 6 9 が貫通形成され、複数の挿通孔 6 9 に、複数の光ファイバ 5 2 の後端側の細径部 5 2 a が挿通される。

【 0 0 7 0 】

この構成によれば、弾性部材 5 4 は、中間板 6 8 を押圧することから、中間板 6 8 を介して複数の光ファイバ 5 2 の太径部 5 2 b の全てを押圧することができる。このため、複数の光ファイバ 5 2 の数に応じて、弾性部材 5 4 を複数用意する必要がなく、弾性部材 5 4 の大きさも大きなものとしてすることができる。

【 0 0 7 1 】

[実施形態 3]

次に、図 8 を参照して、実施形態 3 に係る光ファイバプローブについて説明する。図 8

10

20

30

40

50

は、実施形態 3 に係る光ファイバプローブを模式的に表した断面図である。なお、実施形態 3 でも、重複した記載を避けるべく、実施形態 1 及び 2 と異なる部分について説明し、実施形態 1 及び 2 と同様の構成である部分については、同じ符号を付して説明する。

【0072】

図 8 に示すように、実施形態 3 の光ファイバプローブ 70 は、実施形態 1 及び 2 の光ファイバプローブ 11, 50 に、プローブ本体 21, 51 の貫通孔 31d, 61d に挿通される光学窓 75 を、さらに備えたものとなっている。なお、以下では、実施形態 1 に適用して説明する。

【0073】

光学窓 75 は、例えば、サファイアガラスまたは石英ガラスを用いて円柱形状（ロッド形状）に形成されており、貫通孔 31d に挿通され、ロウ付けまたは圧入することで、貫通孔 31d に固定される。また、光学窓 75 は、その外周面にめっき加工が施されており、光学窓 75 内における光の反射率を高めている。そして、光学窓 75 の後端側には、光ファイバ 22 の先端部が当接する。

【0074】

光ファイバ 22 の送光用ファイバ 41 の先端部には、散乱加工が施されており、送光用ファイバ 41 から出射した光は、散乱して光学窓 75 に入射する。また、光学窓 75 が挿通される貫通孔 31d は、出射する光が所定の出射角度、所定の拡散角度となるように所定の形状に形成される。また、光学窓 75 が固定されるプローブ本体 21 の底板部 31a を含む先端部は、光学窓 75 の熱膨張係数に近づけるべく、例えば、コパールを用いて形成している。

【0075】

以上のように、実施形態 3 によれば、光学窓 75 により、プローブ本体 21 の外部とプローブ本体 21 の内部空間 S とを区画することができる。このため、光ファイバ 22 がプローブ本体 21 の外部に露出することがなく、光ファイバ 22 を内部空間 S に格納することができるため、光ファイバ 22 が外部環境に曝されることを抑制することができる。

【0076】

なお、実施形態 3 では、実施形態 1 および 2 に適用して説明したが、この構成に限定されない。光ファイバ 22 は、太径部 22b を省略した構成であってもよく、全長に亘って細径部 22a であってもよい。

【0077】

[実施形態 4]

次に、図 9 を参照して、実施形態 4 に係る光ファイバ計測装置 80 について説明する。図 9 は、実施形態 4 に係る光ファイバ計測装置を模式的に表した概略構成図である。なお、実施形態 4 でも、重複した記載を避けるべく、実施形態 1 から 3 と異なる部分について説明し、実施形態 1 から 3 と同様の構成である部分については、同じ符号を付して説明する。

【0078】

図 8 に示すように、実施形態 4 の光ファイバ計測装置 80 は、2 本の送光用ファイバ 41 から出射される光の色彩が異なる色彩となっている。つまり、発光部 12 は、第 1 色彩で発光する第 1 発光素子 81 と、第 2 色彩で発光する第 2 発光素子 82 とを有している。そして、第 1 発光素子 81 には、一方の送光用ファイバ 41 が接続され、第 2 発光素子 82 には、他方の送光用ファイバ 41 が接続されている。

【0079】

また、受光部 13 は、第 1 色彩の光のみを透過する第 1 バンドパスフィルタ 91 と、第 1 バンドパスフィルタ 91 を透過した光を受光する第 1 受光素子 95 と、第 2 色彩の光のみを透過する第 2 バンドパスフィルタ 92 と、第 2 バンドパスフィルタ 92 を透過した光を受光する第 2 受光素子 96 とを有している。そして、第 1 受光素子 95 は、一方の送光用ファイバ 41 の周囲に設けられる一群の複数の受光用ファイバ 42 が接続され、第 2 受光素子 96 は、他方の送光用ファイバ 41 の周囲に設けられる他群の複数の受光用ファイ

10

20

30

40

50

バ４２が接続されている。

【００８０】

この光ファイバ計測装置８０は、発光部１２から２本の送光用ファイバ４１へ向かって第１色彩及び第２色彩の光が出射される。すると、一方の送光用ファイバ４１から出射した第１色彩の光は、動翼６に照射されると共に、動翼６から反射した反射光が、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１に入射する。また、他方の送光用ファイバ４１から出射した第２色彩の光は、動翼６に照射されると共に、動翼６から反射した反射光が、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１に入射する。

【００８１】

受光部１３は、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１から一群の受光用ファイバ４２を介して入射した反射光を、第１バンドパスフィルタ９１を介して、第１色彩となる反射光のみを第１受光素子９５において受光する。また、受光部１３は、プローブ本体２１の被検出面Ｐ１から他群の受光用ファイバ４２を介して入射した反射光を、第２バンドパスフィルタ９２を介して、第２色彩となる反射光のみを第２受光素子９６において受光する。

【００８２】

以上のように、実施形態４によれば、一方の送光用ファイバ４１から出射した第１色彩の光が、他群の受光用ファイバ４２に入射した場合であっても、受光部１３の第２バンドパスフィルタ９２によって、第２色彩の光のみを透過することができる。同様に、他方の送光用ファイバ４１から出射した第２色彩の光が、一群の受光用ファイバ４２に入射した場合であっても、受光部１３の第１バンドパスフィルタ９１によって、第１色彩の光のみを透過することができる。このように、受光部１３は、受光する光を選別することができる。このため、複数の送光用ファイバ４１と複数の受光用ファイバ４２との光の混在（つまり、クロストーク）を抑制できることから、受光部１３における光の誤検出を抑制することができる。

【符号の説明】

【００８３】

- １ クリアランス制御システム
- ３ タービン
- ５ ケーシング
- ６ 動翼
- ８ タービン制御部
- １０ 光ファイバ計測装置
- １１ 光ファイバプローブ
- １２ 発光部
- １３ 受光部
- １４ 計測制御部
- ２１ プローブ本体
- ２２ 光ファイバ
- ２２ａ 細径部
- ２２ｂ 太径部
- ２３ 位置規制部材
- ２３ａ 挿通孔
- ３１ 先端側ケース
- ３１ａ 底板部
- ３１ｂ 円筒部
- ３１ｃ フランジ部
- ３１ｄ 貫通孔
- ３１ｅ 収容溝
- ３２ 後端側ケース
- ３２ａ 底板部

10

20

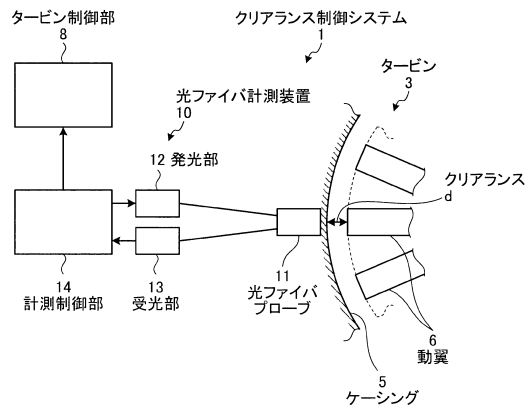
30

40

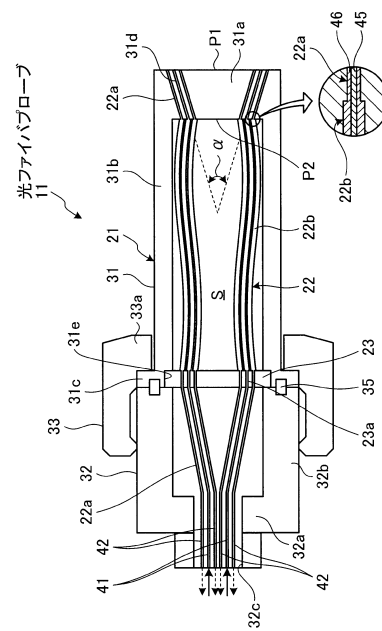
50

3 2 b	円筒部	
3 2 c	挿通孔	
3 3	ナット	
3 3 a	突出部	
3 5	ピン	
4 1	送光用ファイバ	
4 2	受光用ファイバ	
4 5	コア	
4 6	クラッド	
5 0	光ファイバプローブ（実施形態 2）	10
5 1	プローブ本体	
5 2	光ファイバ	
5 3	位置規制部材	
5 4	弾性部材	
6 1	先端側ケース	
6 1 a	底板部	
6 1 b	円筒部	
6 1 c	フランジ部	
6 1 d	貫通孔	
6 1 e	収容溝	20
6 2	後端側ケース	
6 2 a	底板部	
6 2 b	円筒部	
6 2 c	細径円筒部	
6 3	ナット	
6 8	中間板	
7 0	光ファイバプローブ（実施形態 3）	
7 5	光学窓	
8 0	光ファイバ計測装置（実施形態 4）	
8 1	第 1 発光素子	30
8 2	第 2 発光素子	
9 1	第 1 バンドパスフィルタ	
9 2	第 2 バンドパスフィルタ	
9 5	第 1 受光素子	
9 6	第 2 受光素子	
d	クリアランス 角度	
P 1	被検出面	
P 2	底面	
S	内部空間	40

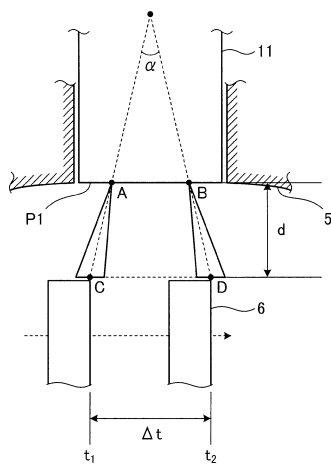
【図 1】



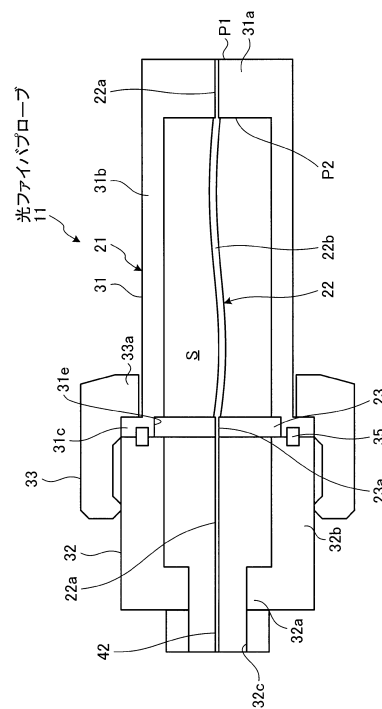
【図 2】



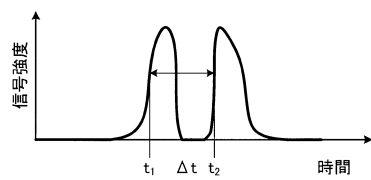
【図 3】



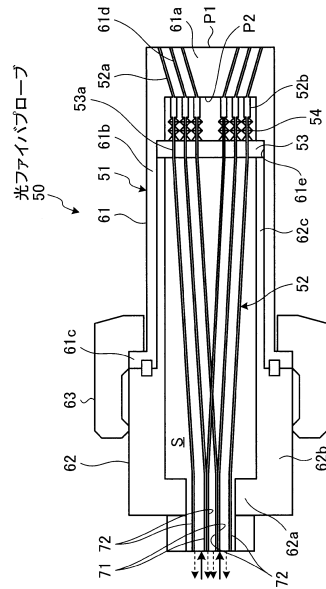
【図 5】



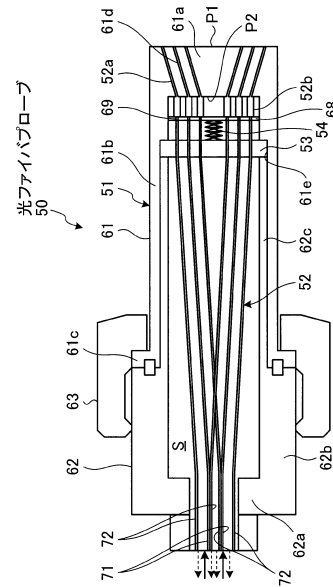
【図 4】



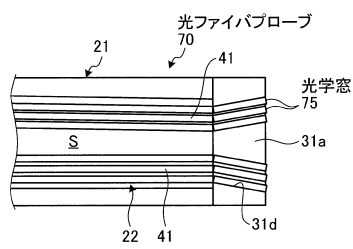
【図 6】



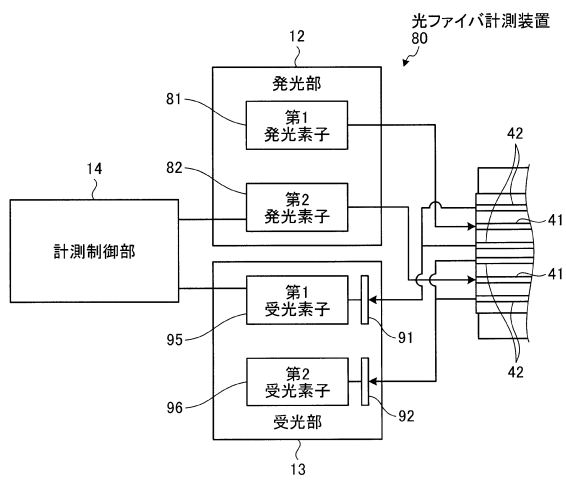
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
F 0 2 C	7/28	(2006.01)	F 0 2 C	7/28	A
F 0 2 C	7/00	(2006.01)	F 0 2 C	7/00	A

(72)発明者 濱 田 雄久
神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内

審査官 眞岩 久恵

(56)参考文献 米国特許出願公開第2012/0182563(US,A1)
特表2000-503769(JP,A)
国際公開第2011/018996(WO,A1)
特開2007-271993(JP,A)
特開平06-050743(JP,A)
特開2012-125551(JP,A)
中国特許出願公開第104501728(CN,A)
特開2010-175542(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G 0 1 B	1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0
F 0 1 D	1 1 / 2 2
F 0 1 D	1 1 / 2 4
F 0 1 D	2 5 / 0 0
F 0 2 C	7 / 0 0
F 0 2 C	7 / 2 8