

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4181842号
(P4181842)

(45) 発行日 平成20年11月19日 (2008.11.19)

(24) 登録日 平成20年9月5日 (2008.9.5)

(51) Int.Cl.

F I

F O 1 D 25/16 (2006.01)

F O 1 D 25/16 K

F O 1 D 25/00 (2006.01)

F O 1 D 25/00 B

F O 2 C 7/00 (2006.01)

F O 2 C 7/00 A

F 1 6 C 19/22 (2006.01)

F 1 6 C 19/22

F 1 6 C 19/52 (2006.01)

F 1 6 C 19/52

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-291752 (P2002-291752)
 (22) 出願日 平成14年10月4日 (2002.10.4)
 (65) 公開番号 特開2003-161112 (P2003-161112A)
 (43) 公開日 平成15年6月6日 (2003.6.6)
 審査請求日 平成17年9月15日 (2005.9.15)
 (31) 優先権主張番号 09/971524
 (32) 優先日 平成13年10月5日 (2001.10.5)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100093908
 弁理士 松本 研一
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100106541
 弁理士 伊藤 信和
 (72) 発明者 ケビン・リチャード・リーミー
 アメリカ合衆国、オハイオ州、ラブランド
 、ロス・リッジ・ドライブ、6410番
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軸受を監視するための方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の軸受 (4 2 、 4 6 、 5 0 、 5 4 、 5 8) が取り付けられた回転軸 (1 4) の軸受 (5 4) を監視する振動センサ (6 2) を該軸受から離れた位置で前記回転軸 (1 4) の近くに設けて、該軸受 (5 4) の状態を監視する方法であって、

a . 監視される軸受の軸受欠陥ピーク (9 4) を含む周波数を有する広域帯の信号 (7 8) を、前記振動センサ (6 2) を通じて得る (1 0 1) 段階と、

b . 前記広域帯の信号 (7 8) を分析 (1 0 7) して前記軸受欠陥ピーク (9 4) の存在を識別する段階と、

c . 前記軸受欠陥ピーク (9 4) が存在する場合には、前記軸受欠陥ピークの振幅を定量化 (1 0 7 、 1 0 9) して、監視される軸受 (5 4) の劣化が予め確立されたしきい値基準に少なくとも達したかどうかを判断する段階と、

を含み、

前記回転軸 (1 4) が、航空機のカスタービンエンジン (1 0) 内にあり、

前記エンジン (1 0) が、高温の部分 (6 0) と低温の部分 (6 4) とを備え、監視されている前記軸受 (5 4) が、前記高温の部分 (6 0) に配置され、前記振動センサ (6 2) が、前記低温の部分 (6 4) に配置され、

監視されている前記軸受 (5 4) が、回転する内レースと回転する外レースを有する差動ころ軸受であり、

前記段階 (b) (1 0 7) の前記広域帯の信号 (7 8) の前記分析において、前記内レ

10

20

ース(82)の回転速度と前記外レース(86)の回転速度を獲得して分析に含ませ、異なる時間に収集された信号(78)を対比し、損傷が前記複数の軸受(42、46、50、54、58)のうち前記作動ころ軸受で起こっているか否かを判断すること特徴とする方法。

【請求項2】

前記段階(c)の間に前記しきい値基準に少なくとも達した(107、109)と判断される場合において、取るべき適切な処置(110)についてメッセージを出す段階(d)を更に含むことを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記段階(c)(107、109)が、前記軸受(54)の劣化を継続的に監視するために前記軸受欠陥ピークの振幅値のプロットを得ることを含むことを特徴とする、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

複数の軸受(42、46、50、54、58)が取り付けられた回転軸(14)の軸受(54)の状態を監視するシステムであって、

(a)監視される軸受(54)から離れた位置で該回転軸(14)の近くに設けられ、該監視される軸受(54)の軸受欠陥ピーク(94)を含む周波数を有する広帯域の信号(78)を、該回転軸(14)から得ることができる振動センサ(62)と、

(b)(1)前記振動センサ(62)から前記広帯域の信号(78)を収集し(101)

、
(2)前記軸受欠陥ピーク(94)の存在を識別するために前記広帯域の信号(78)を分析し(107)、

(3)前記軸受欠陥ピーク(94)が存在する場合には、前記監視される軸受(54)の劣化が、予め確立されたしきい値基準に少なくとも達したかどうかを判断するために、前記軸受欠陥ピーク(94)の振幅を定量化する(107、109)、ことができる振動監視装置(90)と、

を備え、

前記回転軸(14)が、航空機のガスタービンエンジン(10)内にあり、

前記エンジン(10)が、高温の部分(60)と低温の部分(64)とを備え、監視されている前記軸受(54)が、前記高温の部分(60)に配置され、前記振動センサ(62)が、前記低温の部分(64)に配置され、

監視されている前記軸受(54)が、回転する内レースと回転する外レースを有する差動ころ軸受であり、

前記システムが、前記内レースの回転速度の信号(82)を得る第1速度センサ(66)と、前記外レースの回転速度の信号(86)を得る第2速度センサ(70)とを更に備え、

前記振動監視装置(90)が、前記段階(b)(107)の前記広域帯の信号の前記分析において、前記第1及び第2速度センサ(66、70)により得られた前記信号(82、86)を収集し、かつこれを分析に含め、異なる時間に収集された信号(78)を対比し、損傷が前記複数の軸受(42、46、50、54、58)のうち前記作動ころ軸受で起こっているか否かを判断すること特徴とするシステム。

【請求項5】

前記振動監視装置(90)が、前記段階(c)において前記しきい値基準に少なくとも達した(107、109)と判断される場合において、取るべき適切な処置(110)についてメッセージを出すことができることを特徴とする、請求項4に記載のシステム。

【請求項6】

前記振動監視装置(90)が、前記段階(c)(107、109)において前記軸受(54)の劣化を継続的に監視するために前記軸受欠陥ピークの振幅値のプロットを得ることを含むことを特徴とする、請求項4に記載のシステム。

【請求項7】

10

20

30

40

50

回転軸（１４）に取り付けられた軸受（５４）の状態を監視するためのコンピュータ化された、請求項４乃至６のいずれか１項に記載のシステムに使用するソフトウェアであって、前記システムが、

監視される軸受（５４）から離れた位置で前記回転軸（１４）の近くに設けられ、該監視される軸受（５４）の軸受欠陥ピーク（９４）を含む周波数を有する広帯域の信号（７８）を得ることができる振動センサ（６２）と、

前記ソフトウェアをインストールし、利用することができる振動監視装置（９０）と、を含み、

前記振動監視装置（９０）にインストールされたとき、前記ソフトウェアが、

（ａ）前記振動センサ（６２）から前記広帯域の信号（７８）を収集し（１０１）、

（ｂ）前記軸受欠陥ピーク（９４）の存在を識別するために前記広帯域の信号（７８）を分析し（１０７）、

（ｃ）前記軸受欠陥ピーク（９４）が存在する場合には、前記監視される軸受（５４）の劣化が、予め確立されたしきい値基準に少なくとも達したかどうかを判断するために、前記軸受欠陥ピーク（９４）の振幅を定量化する、

ことができることを特徴とするソフトウェア。

【請求項８】

保存され、一つ又はそれ以上の不揮発性の電子記憶媒体からインストール可能であることを特徴とする、請求項７に記載のソフトウェア。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般的に、監視センサが軸受から離れて配置された、回転軸に取り付けられた軸受の状態を監視する方法及びシステムに関する。より具体的には、本発明は、軸受が損傷する前にその内部の欠陥を検知する目的のために、航空機のガスタービン内の回転軸に取り付けられた差動軸受の状態を遠隔的に監視する方法及びシステムに関する。

【０００２】

【従来の技術】

静止又は回転支持体に対して軸が最小限の摩擦で回転するのを助けるために、転がり要素軸受が用いられる。一般的に、この転がり要素軸受は、転がり要素がそれらの間に配置された同軸の内レースと外レースから成る。転がり要素は、球状の玉であってもよく（玉軸受の場合）、又は円筒形のころ要素であってもよい（ころ軸受の場合）。ころ軸受が半径方向の荷重だけを支持するのに対して、玉軸受は、半径方向及び軸方向双方の軸荷重を支持することができる。第１軸レースは、軸と同期的に回転する。静止ハウジング軸受においては、第２レースは回転せず、固定ハウジングで支持される。軸間軸受又は差動軸受の場合には、第２レースは２次軸と同期的に回転する。差動軸受の利用により、システムの寸法及び重量の著しい減少という利点をもたらすことができる。

【０００３】

他のあらゆる機械部品におけると同様に、軸受は、磨耗、潤滑剤不足、汚れ、組立体の損傷、過度の荷重、或いは他の要因のために損傷することがある。その結果、軸受の損傷が破局的となり、機械の非稼動時間に加えて、重大な付帯的損傷及び高価な修理を招くことがあるので、長い間、軸受の状態の監視に大きな注意が払われてきた。軸受がいつ損傷状態になるか、又は損傷状態になろうとしているかを判断するために、軸受を監視することは、機械において多数の軸受組立体が用いられる場合、より困難になり、これは、ガスタービンにおいては典型的である。軸受の状態を監視することは、高温、機械内の監視用センサの配置の問題、他の振動源などのような、機械の他の要因によって、更に複雑になる。航空機エンジンに用いられる場合、監視システムはまた、比較的軽量であることが必要である。

【０００４】

多数の軸受組立体を有するガスタービンエンジンの例がとして特許文献１参照。この特許

10

20

30

40

50

文献 1 の図 1 に示されているタービンエンジンは、同軸の前部 1 及び後部 2 を備える回転軸と組み合わされた 6 つの軸受組立体 (5 から 10 まで) を有する。これらの軸受組立体は、エンジン前端の軸前部 1 を支持する玉軸受 5 及びころ軸受 6、該軸後部 2 の一端を支持する一対の玉軸受 7 及び 8、該軸後部 2 の他端を支持するエンジン後部の一対のころ軸受 9 及び 10 の組合せを含む。

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】

米国特許第 5 , 7 4 9 , 6 6 0 号

【 0 0 0 6 】

特許文献 1 の図 1 において、ころ軸受 9 は、外レースと内レースの双方が回転する軸間ころ軸受又は差動ころ軸受の形態で示される。幾つかの航空機エンジンモデルに対しては、軸間軸受、すなわち、ころ軸受 9 の位置における損傷は、飛行中の航空機エンジンの停止を招く可能性があることがわかった。この型の転がり要素軸受に対する共通の損傷モードは、主に周期的な接触応力に曝される軸受金属の疲労亀裂によって、作動中に接触面のかなり大きな部分が剥がれ落ちるという局所的な欠陥である。従って、このようなころ要素軸受に起こる可能性がある損傷を監視することは、この局所的な欠陥の発生の検知に基づく場合が多い。

【 0 0 0 7 】

このような局所的な欠陥を監視するための一つの方法は、軸受に使用される潤滑剤内に存在する破片を調べることである。一般に、ガスタービンエンジンは、エンジンオイル戻りシステムに取り付けられた金属チップ検知器 (M C D) を有する。M C D は、潤滑油内で運ばれる金属破片を集め、次いで、この集められた金属破片を調べて、軸受の材料が存在するかどうかを判断することができる。軸受の破片が遠心力によりロータ内部に閉じ込められて、M C D に検出されないままになる可能性があるため、残念なことに、軸間軸受の欠陥を検知するための破片分析は信頼できないことがある。

【 0 0 0 8 】

このような局所的な欠陥を監視するための別の方法は、振動分析によるものである。軸受の作動中に、ころ及びレース面の接触部が欠陥を通過することにより、音響エミッション又は振動の突発波が生じる。軸受 (内レース、ころ、及び外レース) の異なる位置における欠陥は、固有の周波数を有し、そこで突発波が生成される。これらの周波数の理論的推定値は、固有欠陥周波数と呼ばれる。従って、損傷した軸受の信号 (以下、「軸受欠陥ピーク」と呼ぶ) は、一般的には、固有欠陥周波数の近く又はその付近の周期的な音響エミッション又は振動の突発波から成る。さらに、時間とともに変化するこの軸受欠陥ピークの振幅を用いて、好ましくは、全体の軸受の損傷に至る前に保守及び補修を行えるように十分前もって、発生した軸受の損傷の程度を定量化することができる。残念なことに、通常、固有周波数は、周囲構造において急速に減衰されるのに十分なほど高い。したがって、一般に、軸受のできるだけ近くに振動センサを配置することが望まれる。

【 0 0 0 9 】

特許文献 1 における軸受 9 のような軸間軸受又は差動軸受が、エンジンの高温部分に配置される場合、ガスタービンエンジンにおける特有の問題が存在する。これは、該軸受の近くに振動センサを配置し、振動センサが高温環境においてもちこたえ、機能するようにすることを極めて困難にし、或いは潜在的に不可能にするものである。その結果、エンジンの高温部分においては、センサがもちこたえ、機能することができる最も近い現実的な場所は、エンジンの外部である。しかしながら、高周波数のため、固有軸受欠陥の信号は、通常、それらがエンジン外部のセンサの位置へ達する前に減衰されることになり、それは、一般に欠陥が検知されないままになることを意味する。

【 0 0 1 0 】

固有軸受欠陥周波数及び振幅を他の音響エミッションから隔離することもまた困難である。通常、振動センサ信号は、広帯域の周波数コンテンツ (すなわち、広い周波数範囲にわたる多くの周波数) を含んでおり、固有軸受欠陥周波数はこのコンテンツの範囲内にあり

10

20

30

40

50

、他の周波数と交じり合っている。固有周波数における軸受欠陥ピークはまた、最も高い振幅を有するとは限らず、一般に自明ではない。さらに、他の振動源が、固有軸受欠陥周波数と同じ周波数であることがあり、そのことは、誤った検知結果をもたらすことになる。例えば、軸の回転速度の変動、及び内レースと外レースにおける回転速度変動のため、信号が異常なものになる可能性がある。

【 0 0 1 1 】

【発明が解決しようとする課題】

したがって、回転軸、特に、多数の軸受組立体が存在するガスタービンエンジンにおいて用いられる回転軸に取り付けられた軸受の状態を遠隔的に監視することができ、侵入型の分析技術を用いずに、広帯域の信号から当該軸受の損傷に関する固有周波数の信号を高い信頼性で検知し、分離することができ、また、航空機エンジンで使用するために比較的軽量である方法及びシステムを提供することが望まれる。

10

【 0 0 1 2 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、回転軸、特に、航空機のガスタービンエンジン内にある回転軸に取り付けられた軸受の状態を監視する方法及びシステムに関し、そこでは、軸受を監視する振動センサが、軸受から離れた位置で回転軸の近くに設けられる。本発明の方法は、次の段階を含み、本発明のシステムは、次のことを行うことができる。

(a) 監視される軸受の軸受欠陥ピークを含む周波数を有する広域帯の信号を、振動センサを通じて獲得し、

20

(b) 広域帯の信号を分析して、軸受欠陥ピークの存在を識別し、

(c) 軸受欠陥ピークが存在する場合には、このピークの振幅を定量化して、監視される軸受の劣化が予め確立されたしきい値基準に少なくとも達したかどうかを判断する。

【 0 0 1 3 】

本発明の方法及びシステムは、回転軸、特に航空機のガスタービンエンジンにおいて用いられる回転軸に取り付けられた軸受を監視するのに多くの利益と利点を提供するものである。本発明の方法及びシステムは、多数の軸受組立体が回転軸に取り付けられた場合でも、監視されている当該軸受に関する軸受損傷信号の信頼できる検知、分離、識別、及び定量化を可能にする。本発明の方法及びシステムは、分析を行うために監視されている軸受を取り外さなくてもよいように、非侵入型の分析技術を提供するものである。振動センサを、ガスタービンエンジンの前方の低温端部に取り付けることができるので、この方法及びシステムは、ガスタービンエンジンの後方の高温端部に取り付けられた軸間軸受又は差動軸受を監視するのに特に有用である。本発明のシステムはまた、相対的に軽量であり、航空機のガスタービンエンジンにおいて軸受を監視するのに理想的である。

30

【 0 0 1 4 】

本発明の方法及びシステムは、回転軸、特に航空機のガスタービンエンジンにおいて使用される回転軸に取り付けられた軸受の状態を監視するために、別の殆ど知られていない伝達経路を利用する。振動センサを軸の近く又は近傍に配置して、該センサと監視される軸受との間が比較的低質量となるようにすることが実際上できる場合には、該センサが監視される軸受から比較的離れていたとしても、固有欠陥周波数を検知することができることがわかった。特に、振動センサを、ガスタービンエンジンの低温部分に配置することが可能であり、更に、(1) 振動センサが軸の近くに配置され、(2) 軸受からの音響振動が軸によって伝えられて該センサに拾い上げられるように、該センサと監視される軸受との間の軸部分が比較的低質量のものとなるとき、振動センサから離れた位置でエンジンの高温部分に配置された軸受における欠陥を検知することができる。

40

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

ここで用いられる「軸受欠陥ピーク」という用語は、監視されている軸受について得られる信号のピークを指し、軸受の損傷又は時間の経過に伴う劣化の程度を判断するために識別し、定量化することができる軸受の欠陥を示す。

50

【 0 0 1 6 】

ここで用いられる「送信する」及び「送信」という用語は、有線の方法、無線の方法、或いは、それらの組合せにより電子的に行うことができるあらゆる型の伝送を指す。本発明の範囲内にある典型的な電子的送信を、ローカル・エリア又は広域ネットワーク（LAN、又はWAN）ベース、インターネット・ベース、或いはウェブ・ベースの送信方法、有線テレビ又は無線電気通信網、或いはあらゆる他の適切な遠隔送信方法を用いるような、種々の遠隔伝送方法で行うことができる。

【 0 0 1 7 】

ここで用いられる「ソフトウェア」という用語は、プログラムされた機械読み取り可能な言語又は命令（例えば、オブジェクトコード）のあらゆる形態を指し、読み込まれるとき、又は他の方法でインストールされるとき、コンピュータ又は他のコンピュータプログラム読取装置のような、その命令を読み取ることができる機械に作動命令を提供するものである。本発明において有効なソフトウェアは、1つ又はそれ以上のフロッピー（登録商標）ディスク、CDROMディスク、ハードディスク、或いはあらゆる他の形態の適切な不揮発性の電子記憶媒体に保存し、或いは常駐させることができ、同じくこれらから読み込み、又はインストールすることもできる。本発明において有効なソフトウェアはまた、ダウンロード、又は他の形態の遠隔送信によってインストールすることができる。

【 0 0 1 8 】

ここで用いられる「含む」という用語は、種々の構成要素、機能、及び/又は、段階が、本発明において結合して用いられることができることを意味する。従って、「含む」は、「から本質的に成る」及び「から成る」という、より制限的な用語を含むものである。

【 0 0 1 9 】

図1を参照すると、本発明の方法及びシステムを用いることができるガスタービンエンジンが、全体を10として示される。本発明の方法及びシステムは、航空機のガスタービンエンジンにおける回転軸に取り付けられた軸受を監視するのに特に有用であるが、蒸気タービンエンジン、ヘリコプタの変速装置、ガスタービン発電機、ポンプ、電動機、往復動エンジンなどのような、他の機械と共に用いられる回転軸に取り付けられた軸受を監視するためにも用いることができ、そこでは、振動センサが、監視される軸受から離れた位置で、回転軸の近くに配置される。

【 0 0 2 0 】

エンジン10は、2つのロータと、ロータ支持のための2つのフレームを備えた5つの軸受を有するものとして、すなわち、多数の軸受組立体を有するエンジンとして示される。エンジン10は、該エンジンの前端から後端まで長手方向軸線に沿って延びる低压（LP）回転軸14を含む。図1に示すように、ファンロータ18が、エンジン10の前端に配置され、一方、低压タービン（LPT）ロータ30が、該エンジン10の後端に配置される。このファンロータ18とLPTロータ30とは、一緒になってエンジン10のLPロータ組立体を構成し、LP軸14で互いに連結される。

【 0 0 2 1 】

更に、エンジン10は、ファンロータ18の後方に配置された高圧圧縮機（HPC）ロータ22と、LPTロータ30の前方に配置された高圧タービン（HPT）ロータ26とを含む。HPCロータ22は、HPTロータ26に直接連結され、一緒になってエンジン10の高圧（HP）ロータ組立体を構成する。LP軸14とHPロータ組立体（すなわち、HPCロータ22とHPTロータ26）とは、同軸であり、LP軸14が、HPロータ組立体内で回転するように配置される。

【 0 0 2 2 】

図1に示すように、LPロータ組立体（すなわち、ファンロータ18、LPTロータ30、及びLP軸14）と、HPロータ組立体（すなわち、HPCロータ22とHPTロータ26）は、多数の軸受組立体を用いて支持されるか、又は取り付けられ、そのうち5つが、全体を42、46、50、54、及び58として示される。第1及び第3の軸受組立体42及び50は、玉軸受であり、一方、第2、第4、及び第5の軸受組立体46、54、

10

20

30

40

50

及び５８は、ころ軸受である。各々のロータ組立体は、軸方向の支持のために玉軸受を必要とし、残りの部分の支持は、ころ軸受によって与えられる。ＬＰロータ組立体は、前端を玉軸受４２と、ころ軸受４６で、後端をころ軸受５８で支持される。ＨＰロータ組立体は、前端を玉軸受５０で、後端をころ軸受５４で支持される。軸受４２、４６、及び５０は、前フレーム３４で支持される静止ハウジング軸受であり、一方、軸受５８は、後フレーム３８で支持される静止ハウジング軸受である。

【００２３】

軸受５４は、一般的には内レース及び外レースの双方が回転するころ軸受の型の軸間軸受又は差動軸受である。軸受５４は、ＨＰロータ組立体（すなわち、ＨＰＣロータ２２とＨＰＴロータ２６）の後端をＬＰロータ軸１４上に支持する。この軸受５４の場所において軸間軸受を用いることにより、（フレーム３４及び３８に加えて）別のフレームを設ける必要性が取り除かれ、よって、エンジンの寸法と重量を著しく減少させることになる。

10

【００２４】

エンジン１０のＬＰＴ部分６０におけるその位置のため、いつ軸受が保守又は補修が必要な程に劣化し、損傷状態になるかを判断するために、差動ころ軸受５４を直接監視するのが困難である。これは、主にエンジン１０のＬＰＴ部分内において生じる高温によるためであり、この高温は、内部に配置された振動センサに悪影響を与えることがある。その結果、差動ころ軸受５４を監視する振動センサは、エンジン１０の低温部分６４に位置するように、高温部分から離して配置される。図１に示すように、加速度計６２で構成される振動センサが、エンジン前端において軸受組立体４２の近くで軸１４のすぐ近くに配置される。加速度計６２は、軸１４のすぐ近くにあるので、遠くに配置された差動ころ軸受５４から発する音響エミッション又は振動を獲得することができ、これら音響エミッション又は振動は、該加速度計６２と軸受５４との間の比較的低いロータ質量のために（軸１４を介して）伝えられる。前部フレーム３４の近くにある加速度計６２の配置はまた、送電線が好都合にエンジン振動監視装置（図示せず）に導かれることも可能にする。

20

【００２５】

軸受の損傷が差動ころ軸受５４で起こっているかどうかを判断する際に、内レースと外レースの回転速度を求める必要がある。第２軸受組立体４６の近くに配置された６６として示される第１速度センサは、差動ころ軸受５４の内レース（ＬＰ）の回転速度を監視するために用いられる。変速装置７４に配置された７０として示される第２速度センサは、差動ころ軸受５４の外レース（ＨＰ）の回転速度を監視するために用いられる。

30

【００２６】

図２に概略的に示すように、加速度計６２は、差動ころ軸受５４からの音響エミッション又は振動を含む収集された音響エミッション又は振動に基づいた、全体が７８として示される広帯域の信号を提供するものである。第１速度センサ６６は、差動ころ軸受５４の内レースの回転速度についての信号８２を獲得し、一方、第２速度センサ７０は、差動ころ軸受５４の外レースの回転速度についての信号８６を獲得する。図２に示すように、信号７８、８２、及び８６は、航空機又はエンジン１０に配置されたエンジン振動監視装置（ＥＶＭ）９０又は同様の監視装置によって収集され、該監視装置は、一般的に、処理機能（例えば、デジタル信号処理装置）、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、及び不揮発性記憶機能（例えば、ハードディスク）を含み、すなわち、監視装置９０は、一般にコンピュータ化されている。その結果、通常、監視装置９０は、収集された信号７８、８２、及び８６を更に処理し、分析し、同じくその処理及び分析の結果を保存する機能を有する。監視装置９０はまた、収集され、又は処理された信号を他の遠隔システムに（例えば、航空機がまだ飛行中である間に）送信することもでき、或いは、単にその収集され、又は処理された信号を別のシステムに後で送信するか、又はダウンロードする（例えば、航空機が着陸した後に）ために保存することもできる。例えば、収集され、又は処理された信号を、コンピュータ（例えば、携帯用コンピュータ）に送信するか、又はダウンロードすることができる。

40

【００２７】

50

信号 78 は、広帯域の信号（例えば、一般に 0 Hz から 4000 Hz までの範囲の）であるので、差動ころ軸受組立体 54 についての関連した軸受欠陥ピークを信号 78 において直接識別するのは通常困難であるか、又は不可能である。実際には、信号 78 において振幅が最も高いピークは、必ずしも軸受欠陥ピークのものだけとは限らない。従って、一般に、広帯域の信号 78 は、軸受欠陥ピーク（例えば、一般に約 2000 Hz から約 3000 Hz までの範囲にある）を含む周波数の範囲を含む帯域幅に狭めるように濾波される。このように帯域幅をより狭めるように濾波することにより、通常は、軸受欠陥ピークを容易に識別及び定量化することが可能になる。これらの広域帯及び狭帯域の信号は、軸受における要素の数、相対的なロータ速度、及び軸受の滑りの程度（すなわち、ころ要素の接線速度が、レースの接線速度と一致しない場合）のような幾つかの要素によって変化（上方又は下方へ）することがある。

10

【0028】

更に、エンジン軸速度も示している、それぞれ信号 82 及び 86 によって与えられた LP レース及び HP レースの速度を知ることが、異なる時間に収集された信号 78 が対比可能であることを保証するために必要とされる。信号 78 は、エンジン速度が変化している間（以下、「過渡的な」エンジン速度状態と呼ぶ）、或いはエンジン速度が一定であるか、又は安定している間（以下、「定常状態の」エンジン速度状態と呼ぶ）に収集することができる。「過渡的な」及び「定常状態の」双方の状態のもとで収集された信号 78 の分析は、差動ころ軸受 54 の損傷可能性を検知するのに有効であり得る。差動ころ軸受 54 の損傷可能性を検知することはまた、一般に、長い期間にわたる多くの信号 78 の収集と分析も必要とする。このことは、軸受の損傷の検知が、収集されたデータの十分なサンプル（試料）によって繰り返された客観的判断に基づくものであり、潜在的な異常現象に基づくものではないことを保証する。

20

【0029】

本発明の方法の実施形態が、図 3 において全体が 100 として表される流れ図によって示される。図 3 を参照すると、段階 101 において、データ試料が監視装置 90 によって得られ、このデータ試料は、収集された信号 78、82、及び 86 を含む。段階 102 で示されるように、データ試料が適切な過渡的状态において得られたものかどうかを評価するために、最初の質問が行われる。データ試料が、適切な過渡的状态において得られたものでない（段階 102 における「適正な過渡的状态か？」に対する答えが「NO」である）場合、データ試料が適切な定常状態のもとで得られたかどうかについて、段階 103 で示されるように、別の質問が行われる。データ試料が、適切な過渡的状态のもとで得られた（段階 102 における「適正な過渡的状态か？」に対する答えが「YES」である）場合、次に、データ試料は、次の段階 104 で処理される。データ試料が、適切な定常状態の状态のもとで得られたものでない（段階 103 における「適正な定常状態か？」に対する答えが「NO」である）場合、段階 105 に示されるように、信頼でき、又は比較可能な結果が得られないので、データ試料はそれ以上処理されない。データ試料が、適切な定常状態の状态のもとで得られた（段階 103 における「適正な定常状態か？」に対する答えが「YES」である）場合、次にデータ試料は、次の段階 104 で処理される。

30

【0030】

次に段階 104 において、データ試料は、高速フーリエ変換（FFT）分析技術を用いて分析され、広帯域の信号 78 のスペクトル又は図形表示を得ることになる。広帯域の周期的信号は、一般に多くの周波数が混在している。FFT 分析は、広帯域の信号内に存在する個別の周波数のスペクトルを提供し、各々の周波数が担っている強度を示す。一般に、ガスタービンエンジンの標準 FFT は、LP 及び HP ロータ組立体速度に対応する周波数、及び固定周波数現象の整数及び特定の非整数倍音を含む予測可能なコンテンツを含むものである。一般に、固有欠陥周波数は、軸受の幾何学的形状とロータ速度から予測することができる。しかしながら、固有欠陥周波数は、軸受滑りのために変化することがあり、また、主な固有欠陥周波数より振幅が高い可能性がある周波数側波帯を含むことがある。この理由のため、通常、予想されるばらつき、起こり得る側波帯と同じく、固有欠陥周波

40

50

数を含む固有欠陥周波数の範囲を求めることが必要になる。次いで、固有欠陥周波数の範囲内にある F F T の部分を取り出し、更に算定を行う。

【 0 0 3 1 】

図 4 において、このような F F T の図形表示の一つが示され、ここでは、9 4 で示される最も高い振幅を有するピークが、たまたま軸受欠陥ピークとなっている。しかしながら、常にこのようになるわけではない。軸受欠陥ピークの振幅が他の周波数要素より低い例においては、一般に、該軸受欠陥ピークを他の周波数から分離する必要がある。従って、軸受欠陥に関係しない全ての予測可能なコンテンツ（ L P 及び H P ロータ組立体速度に対応する周波数、及び固定周波数現象の整数及び特定の非整数倍音を含む）を段階 1 0 6 にいて F F T から取り除き、又は濾波して、軸受欠陥ピークを有する周波数を含む狭い帯域幅範囲の周波数を得る。

10

【 0 0 3 2 】

知られている欠陥に関係しない周波数を濾波により取り除いた後、固有欠陥周波数範囲において最も高く残るピークの振幅と周波数が、段階 1 0 7 において測定される。この振幅は、軸受欠陥ピークとして記録され、この周波数は固有欠陥周波数として記録される。軸受欠陥ピークの振幅を定量化した後、段階 1 0 8 に示すように、このような定量化の結果を、蓄積し、又は保存することができる。段階 1 0 9 に示されるように、次に、このピークの振幅が一定の固有欠陥周波数において所定回数にわたって予め確立されたしきい値基準に達するか、又はこれを超えるかについての判断がなされる。（一般に、このことは、定常的にしきい値基準に達しているか、又はこれを超えているかを示す判断が繰り返し行われることを必要とする。）定常的にしきい値周波数基準に達しているか、又はこれを超えている（「しきい値基準に達したか？」に対する答えが「 Y E S 」である）場合には、適切な措置（例えば、軸受の保守、又は修理）を取ることができるように、段階 1 1 0 でメッセージ（例えば、警告）が出される。定常的にはしきい値周波数基準に達していず、又はこれを超えていない（「しきい値基準に達したか？」に対する答えが「 N O 」である）場合には、プロセスは、再び段階 1 0 5 で終わる。所望ならば、軸受欠陥ピークの振幅の高さで示される軸受の劣化又は損傷の程度により、段階 1 1 0 を、出されるべきメッセージ（例えば、警告）の種々の水準に対応して、多数の段階から構成することができる。

20

【 0 0 3 3 】

軸受欠陥ピークの振幅値のプロットを得るために、段階 1 0 1 から 1 1 0 までに示される方法の実施形態を用いて、多くのデータ資料が分析されることが普通である。そのような図形プロットの一つが図 5 に示され、そこには、軸受の劣化の程度がどれくらい深刻か、いつ、どんな適切な処置を取るべきかを示す種々のしきい値基準線が含まれる。例えば、9 6 で示される線は、「注意」しきい値（例えば、監視されている軸受が、比較的早くに保守又は修理を必要とする）を表し、一方、9 8 で示される線は、「警告」しきい値（例えば、監視されている軸受が直ちに保守又は修理を必要とする）を表す。事実上、時間の経過に従ってこれらの振幅をプロットすることで、軸受の劣化傾向を段階的に監視し、いつ適切な是正処置をとるべきかに関して十分な警告を与えることができる。

30

【 0 0 3 4 】

段階 1 0 1 から 1 1 0 までに示される方法の実施形態は、監視装置 9 0 により完全に実行されることができ、すなわち、軸受の状態を監視し、いつ保守又は修理を行うかを判断するための、自動化され、コンピュータ化されたシステムが勧められるか、或いはすぐに必要とされる。そのようなコンピュータ化されたシステムにおいて、監視装置 9 0 は、特定の処置を取るためのしきい値基準に達しているか、又はこれを超えているかについて、段階 1 1 0 においてメッセージを出すような表示装置を備えることができ、或いは、収集され又は処理されたデータが、別のシステムにダウンロードされるか又は送信されたときに、該監視装置 9 0 がそのようなメッセージを出すようにすることができる。代わりに、監視装置 9 0 は、単に収集され又は処理されたデータを保存する（すなわち、段階 1 0 8 におけるように）ものとすることができる。この収集され又は処理されたデータは、続いて更なる分析のためにダウンロードされ、又は送信されて、いつしきい値基準に達し、又は

40

50

これを超えそうか（段階１０９で）、及び、一つ又はそれ以上の水準における保守又は修理のメッセージがいつ出されるべきか（段階１１０で）を予測する潜在的傾向を判断することができる。

【００３５】

本発明はまた、ダウンロード可能な、又は他の方法でインストール可能なソフトウェアの形態で提供することもでき、このソフトウェアは、コンピュータ化された監視装置９０にインストールされ、これにより利用されて、段階１０１から１１０までにおいて説明した方法の実施形態を実行することができる。このソフトウェアは、監視装置９０に該ソフトウェアをダウンロードし、又はインストールするため、及び／又は該監視装置９０と共に該ソフトウェアを使用するための命令の組を備え、又は該命令の組に組み合わされることができ、この命令は、１枚又はそれ以上のシートに書かれ、または印刷されたもので、多数ページのマニュアルの形態であり、該ソフトウェアが遠隔的にダウンロード又はインストールするように配置された場所（例えば、サーバ・ベースのウェブサイト）に備えられ、該ソフトウェアが提供され又は販売されるパッケージ上又はその中に、及び／又は、該ソフトウェアが取り込まれ又はインストールされる電子媒体（例えば、フロッピー（登録商標）ディスク、又はCDROMディスク）上であって、或いは他の適当な方法のいずれかによって、該ソフトウェアをどのようにに取り込み、インストールし、及び／又は使用するかについての指示を提供する。

10

【００３６】

本発明の方法、システム、及びソフトウェアの特定の実施形態について説明したが、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の技術思想及び技術的範囲から逸脱することなく、それらの実施形態に対して種々の変更（種々の段階の順序を含む）を行うことができることは当業者には明らかであろう。

20

【００３７】

なお、特許請求の範囲に記載された符号は、理解容易のためであってなんら発明の技術的範囲を実施例に限縮するものではない。

【図面の簡単な説明】

【図１】 本発明の方法及びシステムを内部に用いるガスタービンエンジンの側面断面図。

【図２】 本発明の方法及びシステムにおいて用いることができる、振動及び速度信号の収集及び処理要素の概略図。

30

【図３】 本発明の方法及びシステムの実施形態により実行することができる段階を示す流れ図。

【図４】 本発明の方法及びシステムにおける振動センサにより得られる、広域帯の振動信号の代表的な図形表示。

【図５】 時間の経過による軸受欠陥ピーク値の振幅の代表的な図形表示。

【符号の説明】

１０ ガスタービンエンジン

１４ 回転軸

１８ ファンロータ

40

２２ 高圧圧縮機ロータ

２６ 高圧タービンロータ

３０ 低圧タービンロータ

３４ 前フレーム

３８ 後フレーム

４２、４６、５０、５４、５８ 軸受組立体

６０ 高温の部分

６２ 振動センサ

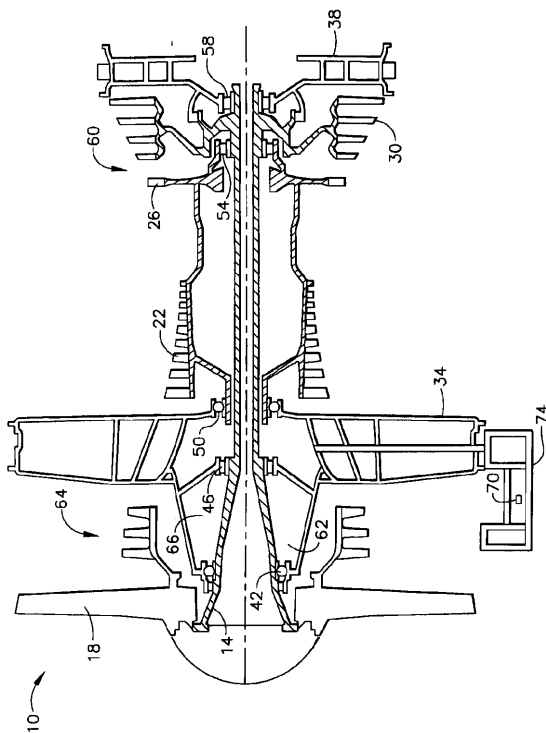
６４ 低温の部分

６６ 第１速度センサ

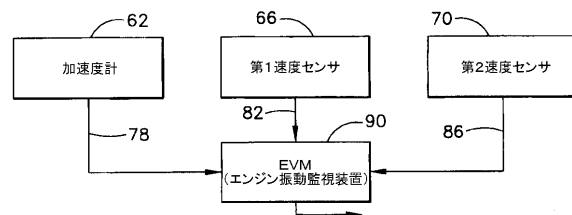
50

70 第2速度センサ
74 変速装置

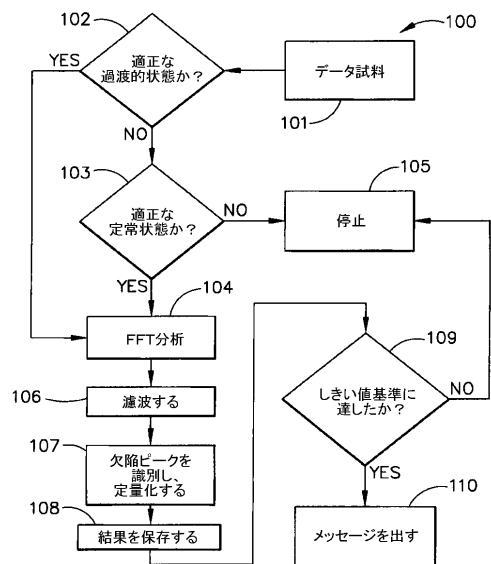
【図1】



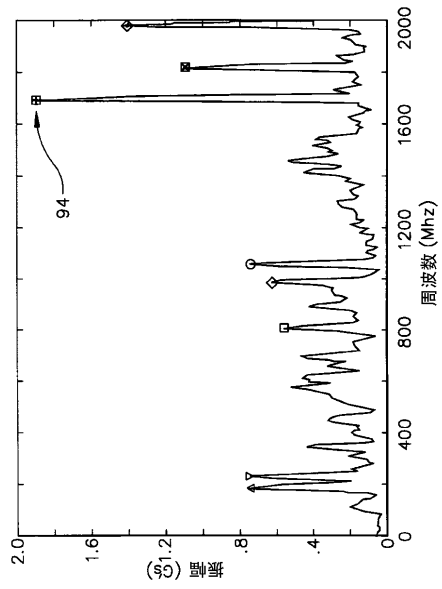
【図2】



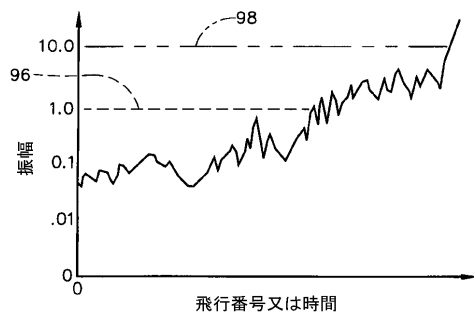
【図3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 トマス・ウルモント・ワトソン
アメリカ合衆国、オハイオ州、ハミルトン、ブライトウォーターズ・コート、7106番
- (72)発明者 ウィリアム・ジョセフ・シンプソン
アメリカ合衆国、オハイオ州、メーソン、サウス・トレイル、7818番
- (72)発明者 ウィリアム・ジョセフ・マイアーズ、ジュニア
アメリカ合衆国、オハイオ州、ウエスト・チェスター、ラコタ・スプリングス・ドライブ、7564番

審査官 藤原 直欣

- (56)参考文献 国際公開第00/079424(WO, A1)
特開平08-219873(JP, A)
米国特許第05749660(US, A)
特開平11-324725(JP, A)
特開昭54-111871(JP, A)
特開平05-133243(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02C 1/00-9/58
F23R 3/00-7/00
F01D 25/00、25/16
F16C 35/00-43/08
F16C 19/00-19/56、33/30-33/66