

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6378582号
(P6378582)

(45) 発行日 平成30年8月22日 (2018.8.22)

(24) 登録日 平成30年8月3日 (2018.8.3)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 M 99/00 (2011.01)
FO 2 C 7/00 (2006.01)GO 1 M 99/00 A
FO 2 C 7/00 A

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-173437 (P2014-173437)
 (22) 出願日 平成26年8月28日 (2014.8.28)
 (65) 公開番号 特開2015-49246 (P2015-49246A)
 (43) 公開日 平成27年3月16日 (2015.3.16)
 審査請求日 平成29年8月21日 (2017.8.21)
 (31) 優先権主張番号 14/016, 930
 (32) 優先日 平成25年9月3日 (2013.9.3)
 (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
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123
 45、スケネクタデイ、リバーロード、1
 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (74) 代理人 100113974
 弁理士 田中 拓人

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転部品を監視するためのシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

前記回転部品 (40) を囲む固定ケーシング (42) との間のクリアランスを表すクリアランス信号 (302、502) を少なくとも1つの感知デバイスから受け取るステップと、

信号 (420) の第1のウィンドウおよび信号 (422) の第2のウィンドウを前記クリアランス信号 (302、502) から選択するステップと、

前記信号 (420) の第1のウィンドウに対応する第1の符号付き平均電力値および前記信号 (422) の第2のウィンドウに対応する第2の符号付き平均電力値を決定するステップであって、前記第1の符号付き平均電力値が、前記信号 (420) の前記第1のウィンドウの瞬時電圧値の符号と前記第1のウィンドウの瞬時電圧値の平方との積の平均であり、前記第2の符号付き平均電力値が、前記信号 (422) の前記第2のウィンドウの瞬時電圧値の符号と前記第2のウィンドウの瞬時電圧値の平方との積の平均である、前記ステップと、

前記第1の符号付き平均電力値および前記第2の符号付き平均電力値に基づいて結果の値を決定するステップと、

前記結果の値に基づいて前記回転部品 (40) 内の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥 (218) を決定するステップと、

前記1つ以上の欠陥または潜在的欠陥 (218) に基づいて前記回転部品 (40) のメンテナンスを計画するステップと、

10

20

を備える方法。

【請求項 2】

前記信号 (422) の第 2 のウィンドウは前記信号 (420) の第 1 のウィンドウのサブセットである請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記信号 (420) の第 1 のウィンドウおよび前記信号 (422) の第 2 のウィンドウは前記クリアランス信号 (302、502) のサブセットである請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記信号 (420) の第 1 のウィンドウは前記回転部品 (40) の一回転中の前記回転部品 (40) および前記固定ケーシング (42) との間の前記クリアランスのサブセットを表すものである請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の方法。

10

【請求項 5】

前記信号 (420) の第 1 のウィンドウは前記回転部品 (40) の所定回転数中の前記回転部品 (40) および前記固定ケーシング (42) との間の前記クリアランスのサブセットを表すものである請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記信号 (422) の第 2 のウィンドウは前記回転部品 (40) の周囲の一部および前記固定ケーシング (42) との間の前記クリアランスのサブセットを表すものである請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の方法。

20

【請求項 7】

前記クリアランス信号 (302、502) に基づいて動的閾値 (304、434、526) を生成するステップをさらに備える請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 8】

前記動的閾値 (304、434、526) を生成するステップは前記クリアランス信号 (302、502) のメディアン絶対偏差を決定するステップを備える請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記結果の値および前記動的閾値 (304、434、526) に基づいて 1 つ以上の欠陥を決定するステップをさらに備える請求項 7 に記載の方法。

30

【請求項 10】

処理サブシステム (52) であって、

回転部品 (40) および前記回転部品 (40) を囲む固定ケーシング (42) との間のクリアランスを表すクリアランス信号 (302、502) を生成するように構成された少なくとも 1 つの感知デバイスと、

前記クリアランス信号 (302、502) を前記少なくとも 1 つの感知デバイスから受け取り、

前記クリアランス信号 (302、502) から信号 (420) の第 1 のウィンドウおよび信号 (422) の第 2 のウィンドウを選択し、

前記信号 (420) の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および前記信号 (422) の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を決定し、

40

前記第 1 の符号付き平均電力値および前記第 2 の符号付き平均電力値に基づいて結果の値を決定し、

前記結果の値に基づいて前記回転部品 (40) 内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥 (218) を決定し、

前記 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥 (218) に基づいて前記回転部品 (40) のメンテナンスを計画する、処理サブシステム (52)、

を備え、
前記第 1 の符号付き平均電力値が、前記信号 (420) の前記第 1 のウィンドウの瞬時電圧値の符号と前記第 1 のウィンドウの瞬時電圧値の平方との積の平均であり、前記第 2 の

50

符号付き平均電力値が、前記信号（４２２）の前記第２のウィンドウの瞬時電圧値の符号と前記第２のウィンドウの瞬時電圧値の平方との積の平均である、システム（１０）。

【請求項１１】

前記回転部品（４０）はシュラウドアセンブリ（４０）であり、および複数のシュラウド（２６、２８、３０）は前記回転部品（４０）の不均一な連続外面を形成するように相互に係合する請求項１０に記載のシステム（１０）。

【請求項１２】

前記クリアランス信号がノイズを含む、請求項１０または１１に記載のシステム（１０）。

10

【請求項１３】

前記処理サブシステム（５２）は前記クリアランス信号（３０２、５０２）から前記ノイズを除去するために前記クリアランス信号（３０２、５０２）を処理し、

前記少なくとも１つの感知デバイス（４４、４６）はレーザプローブ、レーダプローブ、マイクロ波プローブ、クリアランスプローブ、可変リクタンスプローブ、渦電流プローブ、超音波プローブ、動的圧力プローブ、またはこれらの組み合わせを備える請求項１２に記載のシステム（１０）。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【０００１】

本発明は、回転部品を監視するためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

ガスタービンおよび蒸気タービンなどのような回転機械が多くの用途で使用されている。典型的には、ガスタービンおよび蒸気タービンはロータを含む。ロータは複数のブレードおよびシャフトを含む。いくつかの例において、流体の移動はシャフトの回転をもたらす複数のブレードの回転を誘導してもよい。代替的に、シャフトの回転が流体の移動をもたらす複数のブレードの回転を誘導してもよい。

【０００３】

30

典型的にはタービンエンジン内のタービンのロータは、相互に係合するシュラウドから形成されたシュラウドアセンブリを含む。典型的なシュラウドはブレードの先端に形成されるおよび／または装着されるブロックまたはプレートであり、および隣接するブレードにマウントされた実質的に同一のシュラウドと相互に係合するように構成される。複数のブレードの先端にマウントされた複数のシュラウドは、複数のブレードの周りに環状の回転部品を形成するために相互に係合する。一例では、環状の回転部品はシュラウドアセンブリである。複数のブレードの動作中に、シュラウドアセンブリはまたブレードと共に回転する。

【０００４】

シュラウドアセンブリの一部またはシュラウドアセンブリ内の１つ以上のシュラウドが金属疲労または他の理由のために損傷を受けることがある。損傷はシュラウドアセンブリにギャップを生じることがある。例えば、シュラウドアセンブリの一片が脱落するおよび／または位置合わせがずれる、シュラウドアセンブリの一部が望ましくない方向に撓む、および／または他のタイプの望ましくない作用が起こることがある。従来のシステムはシュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む外側ケーシングとの間のクリアランスを監視するために存在するが、そのような監視システムはシュラウドアセンブリにおける損傷や欠陥を考慮していない。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

50

【特許文献１】米国特許第 8 2 7 2 2 4 6 号明細書

【発明の概要】

【 0 0 0 6 】

方法が提示される。方法は、回転部品および回転部品を囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すクリアランス信号から信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウを選択すること、信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を決定すること、第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて結果の値を決定すること、および結果の値に基づいて回転部品の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥を決定することを含む。

10

【 0 0 0 7 】

さらに、別の方法が提示される。方法は、回転部品および回転部品を囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すクリアランス信号から信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウを選択すること、信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を決定すること、第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて第 1 の結果の値を決定すること、後続の第 1 の符号付き平均電力値および後続の第 2 の符号付き平均電力値を決定するために信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウを繰り返しシフトすること、後続の第 1 の符号付き平均電力値および後続の第 2 の符号付き平均電力値に基づいて複数の後続の結果の値を決定すること、第 1 の結果の値および複数の後続の結果の値に基づいて結果の値信号を生成すること、および結果の値信号に基づいて回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥を決定することを含む。

20

【 0 0 0 8 】

システムが提示される。システムは、回転部品および回転部品を囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すクリアランス信号から信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウを選択する、信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を決定する、第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて結果の値を決定する、および結果の値に基づいて回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥を決定する処理サブシステムを含む。

30

【 0 0 0 9 】

本発明の実施形態のこれらおよび他の特徴および態様は、図面を通して同様の文字が同様の部分を表す添付の図面を参照して以下の詳細な説明が読まれる際によりよく理解されるようになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】図 1 は、本技術の一実施形態による回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥を監視するためのシステムの概略図である。

【図 2】図 2 は、本技術の特定の態様による回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥の決定のための例示的な方法を示すフローチャートである。

40

【図 3】図 3 は、本技術の特定の態様による回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥の決定のための例示的な方法を示すフローチャートである。

【図 4 (a)】図 4 (a) は、シュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すシミュレートされた信号のグラフ表示である。

【図 4 (b)】図 4 (b) は、シュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表す初期信号のグラフ表示である。

【図 4 (c)】図 4 (c) は、シュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表す 2 次信号のグラフ表示である。

【図 4 (d)】図 4 (d) は、結果の値の信号のグラフ表示である。

50

【図5(a)】図5(a)は、本技術の一実施形態による回転部品内の1つ以上の欠陥を決定するための例示的な方法を示すフローチャートである。

【図5(b)】図5(b)は、本技術の一実施形態による回転部品内の1つ以上の欠陥を決定するための例示的な方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明のさまざまな実施形態の要素を紹介する際、冠詞「a」、「an」、「the」、および「said」は、1つ以上の要素が存在することを意味することを意図している。「備える」、「含む」および「有する」という用語は、包括的であることを意図し列挙された要素以外の追加の要素が存在してもよいことを意味する。本明細書で使用する「およ

10

【0012】

本明細書および特許請求の範囲を通してここで使用される近似表現用語は、それが関連する程度であってもよい基本的な機能に変化をもたらすことなしに許容範囲内で変更する可能性のある任意の定量的表現を修飾するために適用されてもよい。依って、「約」のような用語で修飾された値は明記された厳密な値に限定されるものではない。いくつかの例において、近似表現用語は値を測定するための計器の精度に対応してもよい。

【0013】

本システムおよび方法はタービンの回転部品内の1つ以上の欠陥、潜在的欠陥、および/またはタービンの潜在的障害を決定する。回転部品は例えばシュラウドアセンブリであってもよい。本明細書で使用されるように、「シュラウドアセンブリ」という用語は相互に係合したブロックまたはプレートにより形成された実質的に連続した環状体を指すために使用され、ブロックまたはプレートはロータのブレードまたはバケットの先端にマウントされる。例えば、各ブレードの先端は隣接して係合するおよび/または連結するように構成されたブロックまたはプレートである、実質的に同一の隣接するブレードのブロックまたはプレートを支持してもよい。係合するおよび/または連結するブロックまたはプレートは典型的にはシュラウドアセンブリの不均一な外面を形成する。

20

【0014】

本明細書で使用される「ロータ」という用語は機械の別の部品に対して相対的に回転するように構成された機械の部品を意味する。例えば、ロータはハブまたはシャフトにマウントされた複数のブレードまたはバケットを含んでもよい。各ブレードは翼断面を有し、およびハブまたはシャフトは、ターボ機械で見られるように、ロータが使用されるハウジングまたは機械の別の部分の相対的な回転に対してマウントされる。ブレード上を通過する流体はハブまたはシャフトの回転を誘導してもよく、およびハブまたはシャフトの回転はブレードが浸漬される流体の運動および/または圧縮および/または膨張を誘導してもよい。

30

【0015】

以下に詳細に説明するように、本システムおよび方法は回転部品の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥を検出するために回転部品を監視する監視システムを提供する。一例における監視はクリアランス信号の閾値を設定し、故障する前に回転部品がメンテナンスをすることになっているかどうかを評価することができる。本明細書で使用されるように、欠陥を監視することは回転部品の健全性を監視して処理すること、欠陥を検出することおよび予後予測を介して潜在的な障害を予測することを指す。監視システムは、例えば回転部品および回転部品を囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すクリアランス信号を生成する1つ以上のセンサを含んでもよい。回転部品は、例えばシュラウドアセンブリである。クリアランス信号は回転部品の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥を決定するために処理サブシステムにより受信され処理される。処理サブシステムはクリアランス信号に基づいて動的閾値を決定する。さらに、処理サブシステムは動的閾値およびクリアランス信号に基づいて回転部品内の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥を決定する。

40

50

【 0 0 1 6 】

図 1 は本技術の一実施形態による回転部品内の 1 つ以上の欠陥、潜在的欠陥、またはシステム障害を監視するシステム 10 の概略図である。システム 10 はロータ 12 を含む。現在考慮中の構成において、ロータ 12 はガスタービン（図示せず）におけるタービン（図示せず）の構成要素である。図 1 はタービン（図示せず）の部品であるロータ 12 に関して説明するものではあるが、現在考慮中の実施形態はタービンに限定されるものではないことに留意されたい。

【 0 0 1 7 】

図 1 に示すように、ロータ 12 はシャフト 14 および複数のブレードまたはバケット 16（以下、ブレードと称する）を含む。この実施形態において、図示されるロータ 12 は 8 つのブレード 16 を含んではいないが、ロータ 12 は任意の数のブレードを含んでもよいことに留意されたい。ブレード 16 はシャフト 14 にマウントされる。図 1 に示されるように、他のブレード（参照番号により参照されていない）中のブレード 16 はブレード 18、20、22 を含む。ブレード 16 の先端は複数のシュラウド 24 をマウントする。シュラウド 24 の各々は、例えばブレード 16 の各ブレードの先端に取り付けられたブロックまたはプレートであってもよい。現在考慮中の構成において、他のシュラウド（参照番号により参照されていない）中の複数のシュラウド 24 はシュラウド 26、28、30 を含む。例えば、ブレード 18 の先端はシュラウド 26 をマウントし、ブレード 20 の先端はシュラウド 28 をマウントし、ブレード 22 の先端はシュラウド 30 をマウントする。シュラウド 26、28、30 を含むシュラウド 24 の各々は前方端および後方端を有する。例えば、シュラウド 26 は前方端 32 および後方端 34 を有する。

【 0 0 1 8 】

シュラウド 26、28、30 を含むシュラウド 24 の各々の前方端は、ブレード 16 内の隣接する他のブレードにマウントされた実質的に同様の他のシュラウドの後方端に係合するために構成または製造される。同様に、シュラウド 26、28、30 を含むシュラウド 24 の各々の後方端は、隣接するブレードにマウントされた実質的に同様の他のシュラウドの前方端に係合するために構成または製造される。例えば、シュラウド 26 の前方端 32 はシュラウド 28 の後方端 36 と係合される。同様に、シュラウド 26 の後方端 34 はシュラウド 30 の前方端 38 に係合される。依って、シュラウド 26、28、30 を含むシュラウド 24 はシュラウドアセンブリ 40 を形成するために相互に係合する。

【 0 0 1 9 】

図 1 に示すように、シュラウドアセンブリ 40 はシュラウド 26、28、30 を含む相互に係合したシュラウド 24 により形成された環状体である。動作において、シュラウドアセンブリ 40 はブレード 16 と共に回転する。したがって、現在考慮中の構成においてシュラウドアセンブリ 40 は回転部品 40 である。しかしながら、「回転部品」という用語はシュラウドアセンブリに限定されるものではない。

【 0 0 2 0 】

回転部品 40 は固定ケーシング 42 により封入されるかまたは囲まれる。固定ケーシング 42 は地面に対して固定されている。依って、固定ケーシング 42 は回転しない。現在考慮中の構成において、固定ケーシング 42 は回転部品 40 を囲む環状体である。さらに、回転部品 40 および固定ケーシング 42 はギャップまたは間隔により分離される。

【 0 0 2 1 】

システム 10 は 1 つ以上の感知デバイス 44、46 をさらに含む。感知デバイス 44、46 は、例えばレーザプローブ、レーダプローブ、マイクロ波プローブ、クリアランスプローブ、可変リアクタンス（磁気抵抗）プローブ、渦電流プローブ、超音波プローブ、動的圧力プローブ等であってもよい。システム 10 で使用されるいくつかの感知デバイスはシステム 10 から予期される感度、および他のいくつかの要因に基づいてもよい。感知デバイス 44、46 は固定ケーシング 42 にマウントされる。現在考慮中の構成において、感知デバイス 44、46 は固定ケーシング 42 の内面上にマウントされる。感知デバイス 44、46 は、例えば回転部品 40 の外面上に面する。現在考慮中の構成において、感知

デバイス 44、46 は 90 度の角度間隔においてマウントされる。感知デバイス 44、46 は回転部品 40 および固定ケーシング 42 との間のクリアランスを表す生信号 48、50 を生成する。特に、感知デバイス 44 は生信号 48 を生成し、感知デバイス 46 は生信号 50 を生成する。

【0022】

一実施形態において、生信号 48、50 は感知デバイス 44、46 の各々の下側の先端および回転部品 40 の外面との間のクリアランスを表す。例えば、生信号 48 は感知デバイス 44 の下側の先端および回転部品 40 の外面との間のクリアランス d を表す。感知デバイス 44、46 のサイズが無視できる際には、生信号 48、50 は回転部品 40 および固定ケーシング 42 との間のクリアランスを表すものであることに留意されたい。特に、感知デバイス 44、46 のサイズが無視できる際には、生信号 48、50 は回転部品 40 の外面および固定ケーシング 42 の内面との間のクリアランスを表す。以下、「回転部品と固定ケーシングとのクリアランス」という句は「感知デバイスの下側の先端（感知デバイスは回転部品を囲む固定ケーシングにマウントされている）および回転部品の外面とのクリアランス」を含むこととする。

【0023】

システム 10 は感知デバイス 44、46 に作動的に結合された処理サブシステム 52 をさらに含む。一実施形態において、処理サブシステム 52 は、例えば感知デバイス 44、46 と無線または有線通信するものであってもよい。処理サブシステム 52 は感知デバイス 44、46 から生信号 48、50 を受信する。さらに、処理サブシステム 52 は生信号 48、50 からノイズを除去するために生信号 48、50 を処理する。さらに、処理サブシステム 52 は回転部品 40 内の欠陥または潜在的欠陥を決定するために生信号 48、50 を処理する。欠陥または潜在的欠陥は、例えば回転部品 40 内の 1 つ以上の屈曲または回転部品 40 の断片の単体遊離を含んでもよい。一実施形態において、欠陥または潜在的欠陥はシュラウド 24、26、28、30 のうちの 1 つの断片の単体遊離を含んでもよい。

【0024】

処理サブシステム 52 は生信号 48、50 からノイズを除去し処理された信号（図示せず）を生成するために生信号 48、50 を処理する。さらに、処理サブシステム 52 は生信号 48、50 から信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウを選択する。信号の第 2 のウィンドウは信号の第 1 のウィンドウのサブセットである。さらに、信号の第 1 のウィンドウは信号の第 2 のウィンドウに対してより広い。以下、「信号の第 1 のウィンドウ」という用語は「信号のより広いウィンドウ」と呼ぶこととする。以下、「信号の第 2 のウィンドウ」という用語は「信号のより狭いウィンドウ」と呼ぶこととする。続いて、処理サブシステム 52 は信号のより広いウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値、および信号のより狭いウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を決定する。処理サブシステム 52 は第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて結果の値を決定する。加えて、処理サブシステム 52 は結果の値に基づいて回転部品 40 内の欠陥を決定する。回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥の決定は図 2 および図 3 を参照してより詳細に説明される。

【0025】

図 2 は本技術の特定の態様による回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥の決定のための例示的な方法 200 を示すフローチャートである。202 で、回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスを表す生信号 204 が生成される。生信号 204 は、例えば生信号 48、50 であってもよい。生信号 204 は、例えば感知デバイス 44、46（図 1 参照）により生成されてもよい。回転部品は、例えば回転部品 40 であってもよい。固定ケーシングは、例えば固定ケーシング 42 であってもよい。

【0026】

206 で、生信号 204 は処理サブシステムにより受信される。処理サブシステムは、例えば処理サブシステム 52（図 1 参照）であってもよい。さらに、208 で、初期信号

210は生信号204上で時間同期平均化技術を適用することにより生成されてもよい。生信号204上での時間同期平均化技術の適用は初期信号210を生成するために生信号204から非同期ノイズを除去するまたは平均値に近づける。初期信号210は回転部品および固定ケーシングとのクリアランスを表すものである。続いて212で、2次信号214は初期信号210に1つ以上のフィルタリング技術を適用することにより生成されてもよい。1つ以上のフィルタリング技術は、例えばサビツキー・ゴーレイ平滑化フィルタ、移動平均フィルタ、加重移動平均フィルタ、平均値フィルタ、メディアンフィルタ、ウィナーフィルタ、カルマンフィルタ等を含む。1つ以上のフィルタリング技術は他の平滑化技術を含んでもよい。1つ以上のフィルタリング技術の適用は2次信号214を生成するために初期信号210からノイズを除去する。2次信号214は回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスを再度表すものである。

10

【0027】

本実施形態において、216で、少なくとも1つの動的閾値は2次信号214に基づいて生成される。一実施形態において、動的閾値は2次信号214のメディアン絶対偏差を決定することにより生成される。動的閾値は、例えば以下の式を使用して決定されてもよい。

$$DT_i = Median_j(X_j) \pm 3 \times 1.4826 (Median_i(|X_i - Median_j(X_j)|))$$

ここで DT_i はタイムスタンプ i における動的閾値であり、 X_i はタイムスタンプ i において生成された2次信号214、または初期信号210または生信号204からのデータ点であり、 X_j は時間周期 j の間に生成された2次信号214、または初期信号210または生信号204からの複数のデータ点を表し、ここで j はタイムスタンプ i を含む。現在考慮中の構成において、動的閾値は回転部品の欠陥の検出のために使用される生信号204、初期信号210、または2次信号214を使用して生成されることに留意されたい。依って、この例では動的閾値は過去の信号またはデータを使用して生成されない。

20

【0028】

218で、回転部品内の欠陥または潜在的欠陥、または潜在的システム障害が決定される。一実施形態において、回転部品の欠陥または潜在的欠陥は動的閾値および2次信号214に基づいて決定される。例えば、2次信号214が動的閾値を交差する際に、回転部品内の1つ以上の欠陥が決定されてもよい。別の実施形態において、欠陥または潜在的欠陥は初期信号210および動的閾値に基づいて決定されてもよい。例えば、初期信号210が動的閾値を交差する際に、回転部品内の1つ以上の欠陥が決定されてもよい。さらに別の実施形態において、欠陥または潜在的欠陥は動的閾値および生信号204に基づいて決定されてもよい。例えば、生信号204が動的閾値を交差する際に、回転部品内の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥が決定されてもよい。一実施形態による回転部品内の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥の決定は図3を参照して示される。

30

【0029】

図3は本技術の一実施形態による回転部品内の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥、または潜在的システム障害を決定するための例示的方法300を示すフローチャートである。一実施形態において、図3は図2の1つ以上の欠陥または潜在的欠陥218の決定についてより詳細に説明する。処理はクリアランス信号302、および動的閾値304で始まる。クリアランス信号302は、例えば回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスを表す生信号48、50（図1参照）、または生信号204（図2参照）であってもよい。一実施形態において、クリアランス信号302は初期信号210（図2参照）であってもよい。さらに別の実施形態において、クリアランス信号302は2次信号214（図2参照）であってもよい。動的閾値304は、例えば図2のステップ216で生成された動的閾値であってもよい。

40

【0030】

306で、信号の第1のウィンドウおよび信号の第2のウィンドウはクリアランス信号302から選択されてもよい。信号の第1のウィンドウおよび信号の第2のウィンドウは

50

、例えばクリアランス信号 3 0 2 のサブセットである。信号の第 1 のウィンドウは、例えば信号の第 2 のウィンドウよりも広い。依って、信号の第 1 のウィンドウの長さまたは期間は信号の第 2 のウィンドウの長さまたは期間に対してより広い。以下、「信号の第 1 のウィンドウ」という用語は「信号のより広いウィンドウ」と呼ぶこととする。以下、「信号の第 2 のウィンドウ」という用語は「信号のより狭いウィンドウ」と呼ぶこととする。信号のより狭いウィンドウは、例えば信号のより広いウィンドウのサブセットである。一実施形態において、信号のより広いウィンドウは、回転部品の所定回転数中の回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスのサブセットを表すものである。別の実施形態において、信号のより広いウィンドウは回転部品の一回転中の回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスのサブセットを表すものである。信号のより広いウィンドウは、例えば回転部品の一回転のデータの長さに等しい長さを有するクリアランスデータを含んでもよい。キーフェーザ信号または他の同様の信号は回転部品の回転の完了を検出するために使用されてもよいことに留意されたい。さらに、信号のより狭いウィンドウは回転部品の周囲の一部および固定ケーシングとの間のクリアランスのサブセットを表すものである。回転部品の周囲の一部は、例えば回転部品により覆われた複数のブレードにおけるブレードの先端の長さに等しくてもよい。現在考慮中の構成においては、信号の単一のより狭いウィンドウが選択されるが、特定の実施形態においては、信号の複数のより狭いウィンドウが選択されてもよいことに留意されたい。信号のより狭いウィンドウが選択される 1 つの実施形態において、信号の 1 つ以上のより狭いウィンドウは信号のより広いウィンドウのサブセットである。

【 0 0 3 1 】

さらに、3 0 8 で、信号のより広いウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値が決定される。第 1 の符号付き平均電力値は信号のより広いウィンドウに基づいて決定される。3 1 0 で信号のより狭いウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値が決定される。第 2 の符号付き平均電力値は信号のより狭いウィンドウに基づいて決定される。第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値は、例えば以下の式を使用して決定されてもよい。

$$\text{Signed Average Power} = \text{Avg.} (\text{sign} (v (t)) * v^2 (t)))$$

ここで $v (t)$ は信号のより広いウィンドウまたは信号のより狭いウィンドウの瞬時電圧値を表すものである。信号の複数のより狭いウィンドウが選択された際には、複数の第 2 の符号付き平均電力値が決定されることに留意されたい。

【 0 0 3 2 】

3 1 2 で、結果の値が決定される。一実施形態において、結果の値は第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて決定される。結果の値は、例えば第 2 の符号付き平均電力値から第 1 の符号付き平均電力値を減算することにより決定される、またはその逆で決定される。結果の値は、例えば以下の式を使用して決定されてもよい。

$$\text{Resultant Value} = \text{Avg.} (\text{sign} (v (t) |_{w1}) * v^2 (t) |_{w1}) - \text{Avg.} (\text{sign} (v (t) |_{w2}) * v^2 (t) |_{w2})$$

ここで

$v (t) |_{w1}$ は信号のより広いウィンドウの瞬時電圧値を表し、および

$v (t) |_{w2}$ は信号のより狭いウィンドウの瞬時電圧値を表す。複数の第 2 の符号付き平均電力値が決定される際に、第 1 の符号付き平均電力値に基づいた複数の結果の値および複数の第 2 の符号付き平均電力値が決定されることに留意されたい。

【 0 0 3 3 】

続いて 3 1 4 で、回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥、または潜在的システム障害が決定される。一実施形態において、欠陥または潜在的欠陥は結果の値に基づいて決定される。例えば、結果の値が約ゼロである際には、回転部品内に欠陥がないことが決定されてもよい。別の実施形態において、欠陥は結果の値および動的閾値 3 0 4 に基づいて

決定されてもよい。例えば、動的閾値 304 が結果の値を交差するまたは通過する際には、回転部品内に 1 つ以上の欠陥があることが決定されもよい。

【0034】

図 4 (a) はシュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表すシミュレートされた信号 402 のグラフ表示 400 である。信号 402 は図 1 で参照される生信号 48、50、および図 2 で参照される生信号 204 と同様である。グラフ 400 の X 軸 404 はタイムスタンプを表し、グラフ 400 の Y 軸 406 は信号 402 の電圧を表す。信号 402 はノイズを含む。したがって、時間同期平均化技術が図 4 (b) に示される初期信号 408 を生成するために信号 402 に適用される。

10

【0035】

図 4 (b) はシュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表す初期信号 408 のグラフ表示 410 である。初期信号 408 から明らかなように、初期信号 408 は信号 402 と比較してより少ないノイズを有する。さらに、図 4 (c) に示される 2 次信号 412 を生成するためにサビツキー・ゴーレイ・フィルタが初期信号 408 に適用される。初期信号 408 は、例えば初期信号 210 (図 2 参照) であってもよい。

【0036】

図 4 (c) はシュラウドアセンブリおよびシュラウドアセンブリを囲む固定ケーシングとの間のクリアランスを表す 2 次信号 412 のグラフ表示 414 である。2 次信号 412 は、例えば図 2 で参照される 2 次信号 214 と同様である。2 次信号 412 の X 軸 416 はタイムスタンプを表し、および 2 次信号 412 の Y 軸 418 は 2 次信号 412 の電圧を表す。現在考慮中の構成において、信号 420 の第 1 のウィンドウ (以下、信号のより広いウィンドウと称する) が選択される。特に、時間周期長 T_1 を有する 2 次信号 412 のサブセットが選択される。時間周期長 T_1 は、例えば回転部品の回転中に生成されたクリアランス信号の長さに等しい。さらに、信号 422 の第 2 のウィンドウ (以下、信号のより狭いウィンドウと称する) が選択される。特に、時間周期長 T_2 を有する 2 次信号 412 のサブセットが選択される。図 4 (c) に示されるように、時間周期長 T_2 は時間周期長 T_1 未満である。依って、信号 420 のより広いウィンドウの時間周期長 T_1 は信号 422 のより狭いウィンドウの時間周期長 T_2 よりも大きい。図 4 (c) に示されるように、信号 422 のより狭いウィンドウは信号 420 のより広いウィンドウのサブセットである。信号 420 のより広いウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値が決定され、および信号 422 のより狭いウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値が決定される。現在考慮中の構成において、第 1 の結果の値 (図示せず) は第 1 の符号付き平均電力値および第 2 の符号付き平均電力値に基づいて決定される。

20

30

【0037】

さらに、信号 420 のより広いウィンドウは決定された時間周期 T_3 により移動/シフトされる。理解を容易にするために、信号のシフトされたより広いウィンドウは参照番号 424 により参照される。本実施形態において、信号 420 のより広いウィンドウのシフトまたは移動は信号の以前のより広いウィンドウの時間周期長と同様の時間周期長を有する信号の異なるサブセットの選択を含む。例えば、信号 420 のより広いウィンドウの時間周期長および信号 424 のシフトされたより広いウィンドウは T_1 である。さらに、信号 422 のより狭いウィンドウは時間周期 T_3 だけ移動/シフトしている。理解を容易にするために、信号のシフトされたより狭いウィンドウは参照番号 426 により参照される。信号 424 のシフトされたより広いウィンドウに対応する後続の第 1 の符号付き平均電力値および信号 426 のシフトされたより狭いウィンドウに対応する後続の第 2 の符号付き平均電力値が決定される。さらに、後続の結果の値は信号 424 のシフトされたより広いウィンドウに対応する後続の第 1 の符号付き平均電力値および信号 426 のシフトされたより狭いウィンドウに対応する後続の第 2 の符号付き平均電力値に基づいて決定される。

40

50

【 0 0 3 8 】

続いて、信号 4 2 4 のシフトされたより広いウィンドウおよび信号 4 2 6 のシフトされたより狭いウィンドウは繰り返しシフトされる。信号のより広いウィンドウおよび信号のより狭いウィンドウをシフトする処理は信号のシフトされたより広いウィンドウに対応する後続の第 1 の符号付き平均電力値および信号のシフトされたより狭いウィンドウに対応する後続の第 2 の符号付き平均電力値を決定するために複数回繰り返される。さらに、信号のシフトされたより広いウィンドウおよび信号のシフトされたより狭いウィンドウに対応する後続の結果の値が決定される。後続の結果の値は、例えば後続の第 1 の符号付き平均電力値および後続の第 2 の符号付き平均電力値に基づいて決定される。後続の結果の値はそれぞれの後続の第 1 の符号付き平均電力値およびそれぞれの後続の第 2 の符号付き平均電力値に基づいて決定される。第 1 の結果の値を含む後続の結果の値は、例えば結果の値信号 4 2 6 を生成するためにグラフにマッピングされる。第 1 の結果の値および後続の結果の値を使用して生成された結果の値信号 4 2 6 が図 4 (d) に示される。

10

【 0 0 3 9 】

次に図 4 (d) を参照すると、結果の値信号 4 2 6 のグラフ表示 4 2 8 が示される。グラフ 4 2 8 の X 軸 4 3 0 はタイムスタンプを表すものであり、およびグラフ 4 2 8 の Y 軸 4 3 2 は結果の値信号 4 2 6 の電力を表すものである。さらに、参照符号 4 3 4 は動的閾値を表すものである。現在考慮中の構成において、動的閾値 4 3 4 は結果の値信号 4 2 6 のメディアン絶対偏差を決定することにより生成される。図 4 (d) に示すように、動的閾値 4 3 4 は第 1 の点 4 3 6 および第 2 の点 4 3 8 で結果の値信号 4 2 6 を交差し、したがって、回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥、または潜在的システム障害が定義されてもよい。

20

【 0 0 4 0 】

図 5 (a) および図 5 (b) は本技術の別の実施形態による回転部品内の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥、または潜在的システム障害の決定のための例示的な方法 5 0 0 を示すフローチャートである。一実施形態において、図 5 は図 2 の 1 つ以上の欠陥または潜在的欠陥 2 1 8 の決定についてより詳細に説明する。クリアランス信号 5 0 2 は、例えば回転部品および固定ケーシングとの間のクリアランスを表す生信号 2 0 4 (図 2 参照) であってもよい。一実施形態において、クリアランス信号 5 0 2 は初期信号 2 1 0 (図 2 参照) であってもよい。さらに別の実施形態において、クリアランス信号 5 0 2 は 2 次信号 2 1 4 (図 2 参照) であってもよい。さらに別の実施形態において、クリアランス信号 5 0 2 はクリアランス信号 3 0 2 (図 3、または生信号 4 8、5 0 (図 2 参照) 参照) であってもよい。

30

【 0 0 4 1 】

5 0 4 で、信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウはクリアランス信号 5 0 2 から選択されてもよい。5 0 6 で、信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値が決定される。続いて 5 0 8 で、信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値および信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値に基づいた第 1 の結果の値が決定される。前述したように、第 1 の結果の値は信号の第 2 のウィンドウに対応する第 2 の符号付き平均電力値を信号の第 1 のウィンドウに対応する第 1 の符号付き平均電力値から減算することにより決定される。5 1 0 で、第 1 の結果の値が結果の値リスト 5 1 2 に追加される。さらに、5 1 4 で、信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウが決定された回数分シフト / 移動されているかどうかを判定するためにチェックが行われる。5 1 4 で、信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウが決定された回数分シフトされていないと判定された際に、制御は 5 1 6 に移行される。5 1 6 で、信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウは決定された時間周期だけシフトされる。信号の第 1 のウィンドウおよび信号の第 2 のウィンドウは、例えば図 4 (c) を参照して説明するように同様の方法でシフトされてもよい。

40

【 0 0 4 2 】

50

518で、信号のシフトされた第1のウィンドウに対応する後続の第1の符号付き平均電力値、および信号のシフトされた第2のウィンドウに対応する後続の第2の符号付き平均電力値が決定されてもよい。続いて520で、信号のシフトされた第1のウィンドウに対応する後続の第1の符号付き平均電力値および信号のシフトされた第2のウィンドウに対応する後続の第2の符号付き平均電力値に基づいた後続の結果の値が決定される。続いて510で、後続の結果の値が結果の値リスト512に追加される。さらに、制御は514に移行される。再び514で、信号の第1のウィンドウおよび信号の第2のウィンドウが決定された回数分シフトされているかどうかを判定するためにチェックが行われる。依って、516～520および510は信号の第1のウィンドウおよび信号の第2のウィンドウが決定された回数分シフトされるまで決定された回数分繰り返される。依って516～520および510の複数回の反復によって結果の値リスト512は第1の結果の値および後続の結果の値を含む複数の結果の値を含む。

【0043】

514で、信号の第1のウィンドウおよび信号の第2のウィンドウが決定された回数分シフトされたと判定された際に、制御は522に移行される。次に図5(b)を参照すると、522で、結果の値信号は結果の値リスト512を使用して生成される。特に、結果の値信号は結果の値リスト512内の複数の結果の値を使用することにより生成される。結果の値信号は、例えば図4(d)に示される結果の値信号426と同様である。続いて524で、回転部品内の欠陥または潜在的欠陥、またはシステム障害は結果の値信号および動的閾値526に基づいて決定されてもよい。現在考慮中の構成において、動的閾値526は、例えば結果の値信号のメディアン絶対偏差を決定することにより生成される。特定の実施形態において、動的閾値526はクリアランス信号502のメディアン絶対偏差を決定することにより生成されてもよい。動的閾値526は、例えば動的閾値434(図4(d)参照)または図2の216で生成される動的閾値と同様であってもよい。図5(a)および図5(b)は方法が524で終了する例示的な方法500を示しているが、しかしながら、方法500は回転部品の動作中に連続的に実行されてもよい。依って、方法500は回転部品内の1つ以上の欠陥、潜在的欠陥またはシステム障害をリアルタイムで監視するために連続的に実行されてもよい。

【0044】

本明細書では本発明の特定の特徴のみを例示し説明してきたが、多くの修正および変更が当業者には思い浮かぶであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は本発明の真の趣旨内に入るこのようなすべての修正および変更を網羅することを意図していることを理解されたい。

【符号の説明】

【0045】

- 10 システム
- 12 ロータ
- 14 シャフト
- 16 ブレードまたはバケット
- 18 ブレード
- 20 ブレード
- 22 ブレード
- 24 シュラウド
- 26 シュラウド
- 28 シュラウド
- 30 シュラウド
- 32 前方端
- 34 後方端
- 36 後方端
- 38 前方端

10

20

30

40

50

4 0	シュラウドアセンブリ (回転部品)	
4 2	固定ケーシング	
4 4	感知デバイス	
4 6	感知デバイス	
4 8	生信号	
5 0	生信号	
5 2	処理サブシステム	
2 0 4	生信号	
2 1 0	初期信号	
2 1 4	2 次信号	10
2 1 6	ステップ	
2 1 8	潜在的欠陥	
3 0 0	例示的方法	
3 0 2	クリアランス信号	
3 0 4	動的閾値	
4 0 0	グラフ、グラフ表示	
4 0 2	信号	
4 0 4	X 軸	
4 0 6	Y 軸	
4 0 8	初期信号	20
4 1 0	グラフ表示	
4 1 2	2 次信号	
4 1 4	グラフ表示	
4 1 6	X 軸	
4 1 8	Y 軸	
4 2 0	信号	
4 2 2	信号	
4 2 4	信号	
4 2 6	信号、結果の値信号	
4 2 8	グラフ、グラフ表示	30
4 3 0	X 軸	
4 3 2	Y 軸	
4 3 4	動的閾値	
4 3 6	第 1 の点	
4 3 8	第 2 の点	
5 0 2	クリアランス信号	
5 1 2	結果の値リスト	
5 2 6	動的閾値	
T 1	時間周期長	
T 2	時間周期長	40
T 3	時間周期	
d	クリアランス	
i	タイムスタンプ	
j	時間周期	

【図 1】

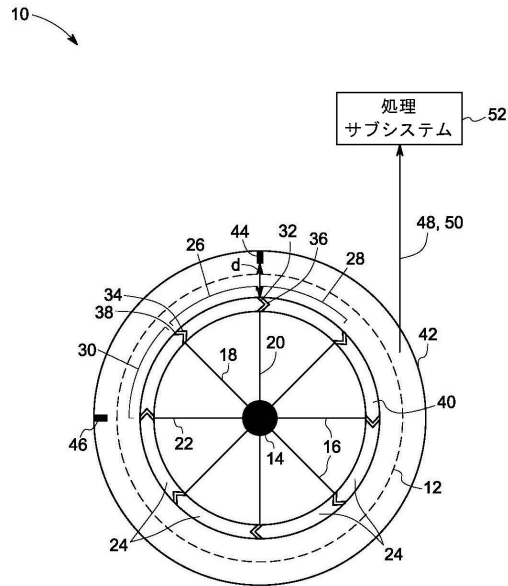


FIG. 1

【図 2】

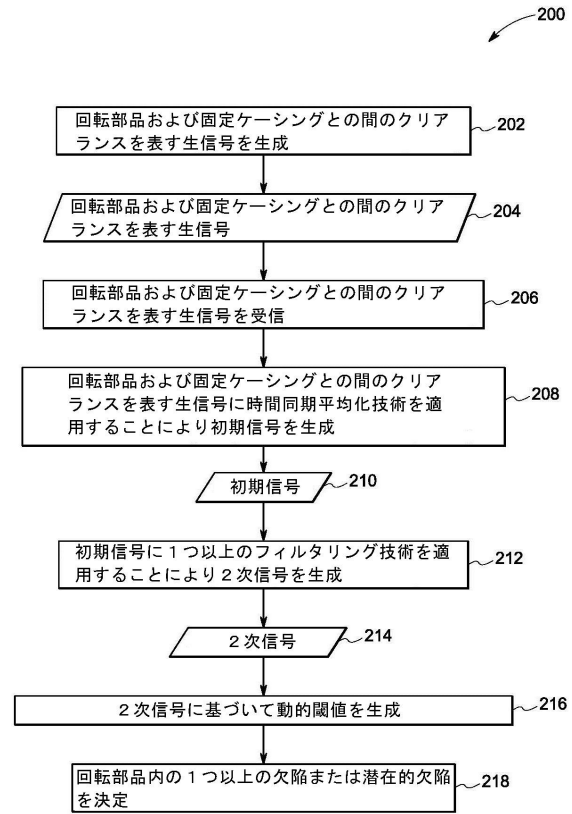


FIG. 2

【図 3】

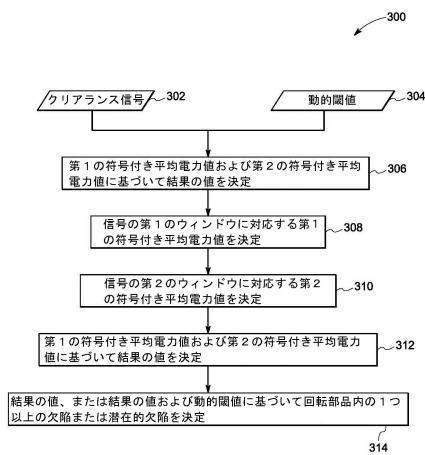


FIG. 3

【図 4 (a)】

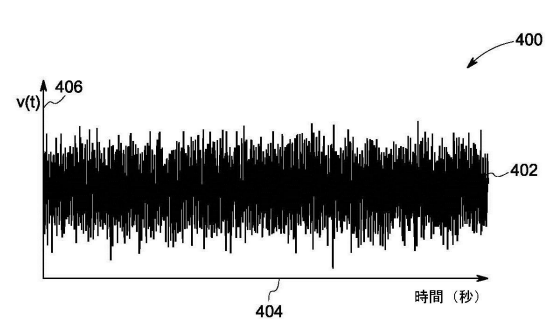


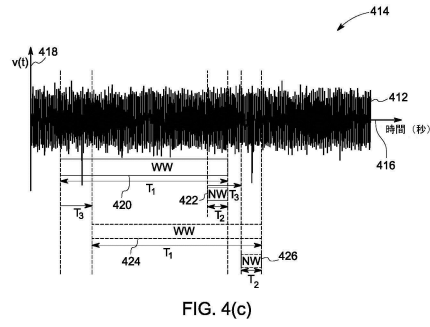
FIG. 4(a)

【図 4 (b)】

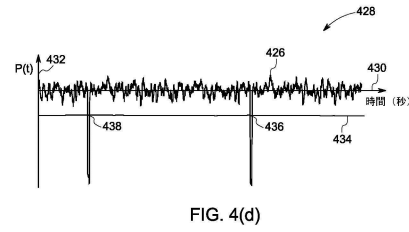


FIG. 4(b)

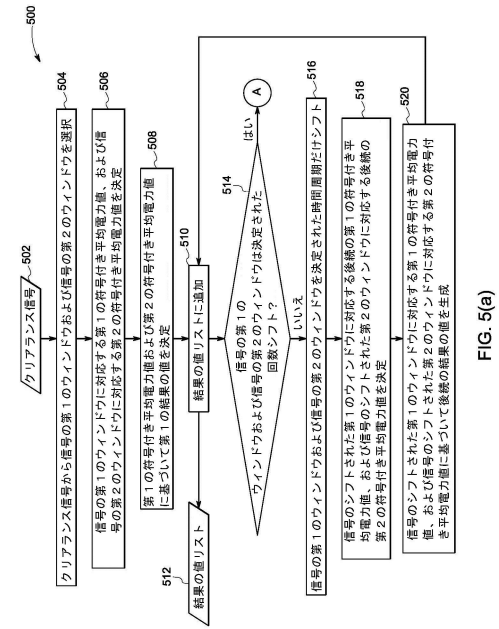
【図 4 (c)】



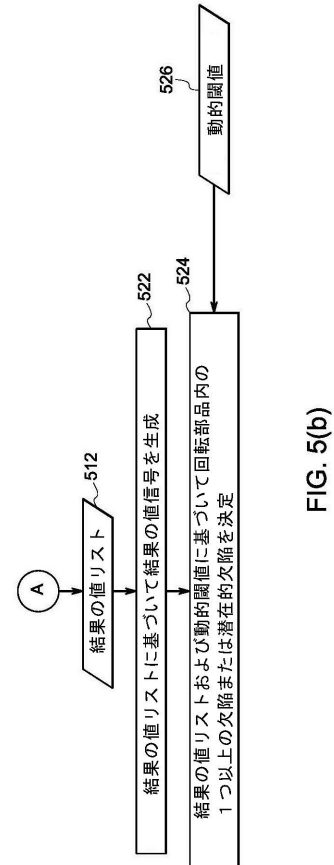
【図 4 (d)】



【図 5 (a)】



【図 5 (b)】



フロントページの続き

- (72)発明者 センティルクマール・ダチャナムールシイ
インド、カルナタカ、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、フェ
イズ・2、イーピーアイピー、プロット・122
- (72)発明者 マイケル・アレン・ボール
アメリカ合衆国、サウスカロライナ州、グリーンヴィル、ガーリングトン・ロード、300番
- (72)発明者 アニンダ・バッタチャルヤ
インド、カルナタカ、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、フェ
イズ・2、イーピーアイピー、プロット・122
- (72)発明者 ヴェンカタ・ラマナ・ヘマドリボトラ
インド、カルナタカ、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディ・ヴィレッジ、フェ
イズ・2、イーピーアイピー、プロット・122

審査官 伊藤 幸仙

- (56)参考文献 特開平09-310605(JP,A)
特開2011-094620(JP,A)
特開2011-226476(JP,A)
特開2002-073156(JP,A)
特開2007-192138(JP,A)
特開2015-010525(JP,A)
米国特許第9476318(US,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 99/00
G01M 15/14
F02C 7/00
F01D 25/00