

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年3月7日(07.03.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/044729 A1

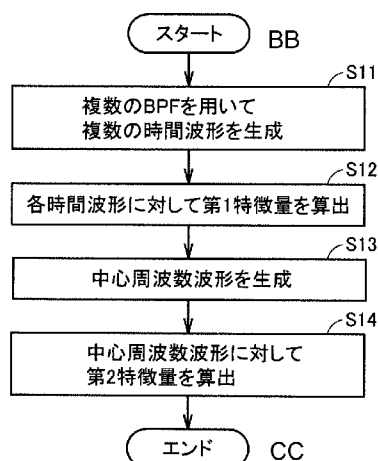
- (51) 国際特許分類:
G01M 99/00 (2011.01) *G05B 23/02* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/031476
- (22) 国際出願日: 2018年8月27日(27.08.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2017-166824 2017年8月31日(31.08.2017) JP
特願 2018-153463 2018年8月17日(17.08.2018) JP
- (71) 出願人: N T N株式会社(NTN CORPORATION)
[JP/JP]; 〒5500003 大阪府大阪市西区京町堀
1丁目3番17号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 筒井 英之 (TSUTSUI, Hideyuki);
〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目
105番NTN株式会社内Mic (JP). 加藤
甲馬 (KATOU, Kouma); 〒5110867 三重県桑
名市陽だまりの丘5丁目105番NTN
株式会社内Mic (JP). 谷 僚二 (TANI, Ryouji);
〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目
105番NTN株式会社内Mic (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI
PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大
阪市北区中之島三丁目2番4号 中之島フェス
ティバルタワー・ウエスト Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: STATE-MONITORING METHOD AND STATE-MONITORING DEVICE

(54) 発明の名称: 状態監視方法および状態監視装置

FIG.6

<フィルタ処理部、特微量算出部> AA



S11 Generate plurality of time waveforms using plurality of BPFs
S12 Calculate first feature amount for each time waveform
S13 Generate central frequency waveform
S14 Calculate second feature amount for central frequency waveform
AA <Filter processing unit, feature amount calculation unit>
BB Start
CC End

(57) Abstract: This state-monitoring method comprises: a first step for performing, on measurement data, a filter process in which each of a plurality of bandpass filters having mutually different central frequencies is used, and thereby generating a plurality of first waveforms; a second step for calculating a first feature amount for each of the plurality of first waveforms; a third step for plotting, for each of the plurality of bandpass filters, the central frequency of the bandpass filters and the first feature amount of a time waveform generated using the bandpass filters on a graph in which the horizontal axis indicates the the central frequency and the vertical axis indicates the first feature amount, and thereby calculating a second feature amount indicating the characteristics of a resulting second waveform; and a fourth step for determining, on the basis of the second feature amount calculated by performing the first through third steps on test data, whether an object under test is abnormal.

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 状態監視方法は、測定データに対して、互いに異なる中心周波数を有する複数のバンドパスフィルタの各々を用いたフィルタ処理を行なうことにより、複数の第1波形を生成する第1工程と、複数の第1波形の各々に対して第1特徴量を算出する第2工程と、中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタの中心周波数と、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形の第1特徴量とをプロットすることにより得られる第2波形の特徴を示す第2特徴量を算出する第3工程と、テストデータに対して第1～第3工程を行なうことにより算出された第2特徴量に基づいて、被試験対象物が異常か否かを判定する第4工程とを備える。

明 細 書

発明の名称： 状態監視方法および状態監視装置

技術分野

[0001] 本発明は、回転機械等の被試験装置の状態監視方法および状態監視装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、回転機械等の被試験対象物では、各種センサが測定した物理量の測定データに基づいて、被試験対象物の状態を監視している。具体的には、測定データによって示される波形の特徴を示す特徴量が算出され、算出された特徴量を用いて被試験対象物の異常の有無が判定される。

[0003] 異常の有無の判定精度は、特徴量の異常に対する感度に依存する。そのため、様々な特徴量を用いた状態監視方法が開発されている。たとえば、特開平 10-274558 号公報（特許文献 1）には、波形データのスペクトルの時間変化から求めたピークが生じる周波数と、当該ピークが生じる時間間隔との組を用いて異常の有無を判定する異常診断方法が開示されている。特開 2006-300895 号公報（特許文献 2）には、クラスタリングマップの各ニューロンと設備の運転時の信号から抽出した周波数成分に対応するニューロンとの最小距離を用いて設備の異常の有無を判定する設備監視方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開平 10-274558 号公報

特許文献 2：特開 2006-300895 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、被試験対象物の異常の有無の判定の精度をさらに向上させることが望まれている。

[0006] この発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、その目的は、被試験対象物の異常の有無の判定精度の高い状態監視方法および状態監視装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0007] この発明は、被試験対象物に設置したセンサから取得した測定データを用いて被試験対象物の状態を監視する状態監視方法である。状態監視方法は、第1～第4工程を備える。第1工程では、測定データに対して、互いに異なる中心周波数を有する複数のバンドパスフィルタの各々を用いたフィルタ処理を行なうことにより、複数のバンドパスフィルタにそれぞれ対応する複数の第1波形を生成する。第2工程では、複数の第1波形の各々に対して第1特徴量を算出する。第3工程では、中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタの中心周波数と、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形に対して算出された第1特徴量とをプロットすることにより得られる第2波形の特徴を示す第2特徴量を算出する。第4工程では、測定データのうち被試験対象物の診断時にセンサから得られたテストデータに対して第1～第3工程を行なうことにより算出された第2特徴量に基づいて、被試験対象物が異常か否かを判定する。

[0008] 好ましくは、複数の第1波形は時間波形である。第1特徴量は、複数の第1波形の中の当該第1特徴量に対応する第1波形と、対応する第1波形をフーリエ変換して得られる第3波形と、第3波形をフーリエ変換して得られる第4波形とのいずれか1つの波形の特徴を示す。

[0009] 好ましくは、複数の第1波形は時間波形である。第2工程は、複数の第1波形の中の第1特徴量に対応する第1波形と、対応する第1波形をフーリエ変換して得られる第3波形と、第3波形をフーリエ変換して得られる第4波形との少なくとも2つの波形の各々に対して、当該波形の特徴を示す第3特徴量を算出する工程と、少なくとも2つの波形の各々に対して算出した第3特徴量から第1特徴量を算出する工程とを含む。

[0010] 好ましくは、状態監視方法は、測定データのうち被試験対象物の正常時にセンサから得られた正常データに対して第1～第3工程を行なうことにより得られた第2特徴量を学習データとして機械学習を行なうことにより、被試験対象物が異常か否かを判定するためのアルゴリズムを決定する第5工程をさらに備える。第4工程では、アルゴリズムに従って前記被試験対象物が異常か否かを判定する。

[0011] 好ましくは、第2特徴量は、第2波形の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数および寄与率のいずれかである。

[0012] この発明は、他の局面においては、上記のいずれかの方法を用いて、被試験対象物を診断する、状態監視装置である。

発明の効果

[0013] 本発明の状態監視方法は、被試験装置の異常の有無の判定精度を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本実施の形態に係る状態監視装置の構成を示すブロック図である。

[図2]データ演算部の詳細を示すブロック図である。

[図3]図1のデータ取得部が行なう処理を説明するためのフローチャートである。

[図4]図1のデータ取得部が取得した測定データの一例を示す図である。

[図5]図1のデータ取得部が取得した測定データの別の例を示す図である。

[図6]図2のフィルタ処理部および特徴量算出部が行なう処理を説明するためのフローチャートである。

[図7]図4の測定データから生成された3つの時間波形を示す図である。

[図8]図5の測定データから生成された3つの時間波形を示す図である。

[図9]中心周波数波形の例を示す図である。

[図10]図2の学習部が行なう処理を説明するためのフローチャートである。

[図11]図2の判定部が行なう処理を説明するためのフローチャートである。

[図12]実施例と比較例との異常度の変化を示す図である。

[図13]検証実験2における、実施例のデータ演算方法により算出された第2特徴量のt検定結果を示す図である。

[図14]比較例のデータ演算方法により算出された比較用特徴量のt検討結果を示す図である。

[図15]変形例の第1特徴量の一例を示す図である。

[図16]検証実験3における第2特徴量のt検定結果を示す図である。

[図17]検証実験4における第2特徴量のt検定結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。なお、以下の図面において同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰返さない。

[0016] [状態監視装置の基本構成]

図1は、本実施の形態に係る状態監視装置の構成を示すブロック図である。図1を参照して、状態監視装置100は、被試験装置10に設置された振動センサ20から振動加速度信号を受けて、被試験装置10の状態を監視し、異常の有無を判定する。被試験装置10は、例えば工場や発電所などに設置された回転機械を含む設備であり、振動センサ20は、回転時に生じる異常振動を検出することができる。なお、本実施の形態では、振動加速度信号を出力する振動センサ20を例示するが、設備の運転状況を確認できる出力信号であれば振動センサ以外の検出信号であっても良い。たとえば、速度、変位、音、AE (Acoustic Emission)、温度、負荷トルク、モータ電力等の物理量を示す信号を出力するセンサを振動センサ20に代えて使用してもよい。

[0017] 状態監視装置100は、A/Dコンバータ110と、データ取得部120と、記憶装置130と、データ演算部140と、表示部150とを含む。

[0018] A/Dコンバータ110は、振動センサ20の振動加速度信号を受け、デジタル形式の信号に変換して出力する。データ取得部120は、A/Dコンバータ110からデジタル形式の振動加速度信号を受け、ノイズ除去処理を

行なって、所定時間（たとえば20秒）の振動加速度の変化を示す測定データを生成する。データ取得部120は、生成した測定データを記憶装置130に記録する。データ演算部140は、記憶装置130から正常時に測定しておいた測定データ（正常データ）を読み出して、異常の有無を判定するためのアルゴリズムを決定したり、当該アルゴリズムを用いてテスト時に測定した測定データ（テストデータ）から被試験装置10の異常の有無を判定したりする。データ演算部140は、異常の有無を判定した場合、表示部150に判定結果を表示させる。

[0019] 図2は、データ演算部の詳細を示すブロック図である。データ演算部140は、フィルタ処理部141と、特徴量算出部142と、学習部143と、しきい値記憶部144と、判定部146とを含む。

[0020] フィルタ処理部141は、記憶装置130に格納された測定データに対して、互いに異なる中心周波数を有する複数のバンドパスフィルタ（BPF（Band-pass Filter））の各々を用いたフィルタ処理を行なうことにより、複数のバンドパスフィルタにそれぞれ対応する複数の時間波形（第1波形）を生成する。

[0021] 特徴量算出部142は、フィルタ処理部141により生成された複数の時間波形の各々に対して第1特徴量を算出する。さらに、特徴量算出部142は、測定データごとに、バンドパスフィルタの中心周波数の低い順に第1特徴量を並べることによって得られる波形（以下、「中心周波数波形」という）（第2波形）を生成する。特徴量算出部142は、測定データごとに、当該測定データに対応する中心周波数波形の特徴を示す第2特徴量を算出する。

[0022] 学習部143は、被試験装置10が正常時（初期状態など）に取得された複数の測定データ（正常データ）に対してそれぞれ算出された複数の第2特徴量を学習データとして機械学習を行なうことにより、被試験装置10が異常か否かを判定するためのアルゴリズムを決定する。学習部143は、決定したアルゴリズムをしきい値記憶部144に記憶させる。

[0023] 判定部 146 は、しきい値記憶部 144 が記憶するアルゴリズムに従って、被試験装置 10 の診断時に得られた測定データ（テストデータ）に対して算出された第 2 特徴量を用いて被試験装置 10 の異常の有無を判定する。

[0024] [データ取得部の処理]

図 3 は、図 1 のデータ取得部が行なう処理を説明するためのフローチャートである。データ取得部 120 は、ステップ S1 において、デジタル形式の振動加速度信号を受信し、所定時間（たとえば 20 秒）の振動加速度の変化を示すデータを生成する。ステップ S2 において、データ取得部 120 は、生成したデータに対して、ローパスフィルタ、バンドパスフィルタ、ハイパスフィルタ等のうち適切なフィルタ処理を施して、基本的なノイズを除去した測定データを生成する。ステップ S3 において、データ取得部 120 は、生成した測定データを記憶装置 130 に記憶する。

[0025] なお、データ取得部 120 は、被試験装置 10 の初期状態、修理完了時などの正常動作することが分かっている時に取得した測定データを正常データとして記憶装置 130 に記憶する。データ取得部 120 は、被試験装置 10 の使用中に診断を行ないたい時に取得した測定データをテストデータとして記憶装置 130 に記憶する。データ取得部 120 は、タイマーなどで指定された時間（たとえば 2 時間ごと）に自動的にテストデータを取得する。

[0026] 図 4 は、データ取得部 120 が取得した測定データの一例を示す図である。図 5 は、データ取得部 120 が取得した測定データの別の例を示す図である。図 4 および図 5 には、被試験装置 10 が軸受であるときの振動加速度の時間変化が示される。図 4 には、軸受の軌道面に、直径 1.35 mm の円筒状の損傷を人工的に設けたときの測定データが示され、図 5 には、軸受の軌道面にさらに大きい損傷を人工的に設けたときの測定データが示される。

[0027] [フィルタ処理部および特徴量算出部の処理]

図 6 は、図 2 のフィルタ処理部 141 および特徴量算出部 142 が行なう処理を説明するためのフローチャートである。

[0028] フィルタ処理部 141 は、ステップ S11 において、測定データに対して

、互いに中心周波数の異なる複数のバンドパスフィルタの各々を用いたフィルタ処理を行なう。複数のバンドパスフィルタのバンド幅は特に限定されるものではなく、一定（たとえば1 kHz）であってもよいし、互いに異なってもよい。複数のバンドパスフィルタの中心周波数は、一定間隔（たとえば1 kHz）であってもよいし、変則的な間隔であってもよい。さらに、複数のバンドパスフィルタの中の1つのバンドパスフィルタの帯域は、残りのいずれのバンドパスフィルタの帯域とも重なっていてもよいし、残りのいずれかのバンドパスフィルタの帯域と重なっていてもよい。フィルタ処理部141は、複数のバンドパスフィルタにそれぞれ対応する複数の時間波形を生成する。

[0029] 図7は、図4の測定データから生成された3つの時間波形を示す。図8は、図5の測定データから生成された3つの時間波形を示す。図7および図8の（a）は、0～1 kHzを通過帯域とするバンドパスフィルタを用いて生成された時間波形を示す。図7および図8の（b）は、1～2 kHzを通過帯域とするバンドパスフィルタを用いて生成された時間波形を示す。図7および図8の（c）は、9～10 kHzを通過帯域とするバンドパスフィルタを用いて生成された時間波形を示す。図7および図8に示されるように、周波数帯域によって時間波形が異なる。

[0030] 図6に戻って、次にステップS12において、特徴量算出部142は、複数の時間波形の各々に対して第1特徴量を算出する。具体的には、第1特徴量は、対応する時間波形の特徴を示す時間領域特徴量と、当該時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形（第3波形）の特徴を示す周波数領域特徴量と、当該周波数波形を時間波形と見なしてフーリエ変換して得られるケフレンシ波形（第4波形）の特徴を示すケフレンシ領域特徴量とのいずれかである。第1特徴量は、たとえば、波形の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、ピークトゥピーク値、変動係数、標準偏差、分散、相関係数、寄与率、エンベロープ処理後の波形の実効値である。もしくは、第1特徴量は、これらパラメータのいずれかの値の常用対数であってもよい。相関係数とは、

2つの確率変数（ここでは、時間、周波数またはケフレンシと加速度）の分布法則の関係（たとえば線形関係）の程度を示す係数である。寄与率は、相関係数の二乗値である。

[0031] 特徴量算出部142は、1つの時間波形に対して、1種類の第1特徴量を算出してもよいし、複数種類の第1特徴量を算出してもよい。たとえば、特徴量算出部142は、時間波形、周波数波形およびケフレンシ波形の3つの波形の各々に対して、実効値および尖度を算出してもよい。この場合、特徴量算出部142は、1つの時間波形に対して、 $3 \times 2 = 6$ 種類の第1特徴量を算出することになる。

[0032] 次にステップS13において、特徴量算出部142は、バンドパスフィルタの中心周波数を変数とする中心周波数波形を生成する。つまり、特徴量算出部142は、バンドパスフィルタの中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタの中心周波数と、当該バンドパスフィルタに対応する時間波形に対して算出された第1特徴量とを示す点をプロットすることにより中心周波数波形を生成する。

[0033] 図9は、中心周波数波形の例を示す図である。図9には、第1特徴量が周波数波形の最大値であるときの中心周波数波形が示される。図9において、「損傷サイズ1.35mm」と記載された中心周波数波形は、図4の測定データから生成された波形を示し、「損傷なし」と記載された中心周波数波形は、被試験装置10である軸受に損傷が見られないときの測定データから生成された波形を示す。図9に示されるように、損傷がないときの中心周波数波形の形状と、損傷があるときの中心周波数波形の形状とが異なる。このことは、中心周波数波形の形状が損傷の有無に影響されることを意味している。

[0034] 特徴量算出部142は、複数種類の第1特徴量を算出した場合、当該複数種類の第1特徴量のそれぞれに対応する複数の中心周波数波形を生成する。

[0035] 図6に戻って、次にステップS14において、特徴量算出部142は、中

心周波数波形の特徴を示す第2特徴量を算出する。第2特徴量は、たとえば、中心周波数波形の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、ピークトゥピーク値、変動係数、標準偏差、分散、相関係数および寄与率、ならびにエンベロープ処理後の中心周波数波形の実効値のいずれかである。

[0036] 相関係数とは、2つの確率変数（ここでは、中心周波数と第1特徴量）の分布法則の関係（たとえば線形関係）の程度を示す係数である。寄与率は、相関係数の二乗値である。相関係数として標本相関係数を用いることができる。標本相関係数 ρ は、バンドパスフィルタの中心周波数の値を x_i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形に対応する第1特徴量の値を y_i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）とするとき、以下の式1で算出される。式1において、 x_{ave} は、 x_i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）の平均値であり、 y_{ave} は、 y_i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）の平均値である。

[0037] [数1]

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ave})(y_i - y_{ave})}{\left(\left(\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ave})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ave})^2 \right) \right)^{1/2}} \quad \text{式 (1)}$$

[0038] なお、第1特徴量が中心周波数の特定範囲において大きく変化しやすことが予めわかっている場合には、中心周波数が当該特定範囲内の第1特徴量の値を用いて、相関係数が算出されてもよい。

[0039] 特徴量算出部142は、1つの中心周波数波形に対して、1種類の第2特徴量を算出してもよいし、複数種類の第2特徴量を算出してもよい。たとえば、特徴量算出部142は、中心周波数波形に対して、実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数および寄与率の7種類の第2特徴量を算出してもよい。

[0040] [学習部の処理]

図10は、図2の学習部143が行なう処理を説明するためのフローチャートである。学習部143は、まずステップS21において、被試験装置10が正常である第1正常期間に測定された複数の正常データからそれぞれ算

出された第2特徴量を取得する。

[0041] 次にステップS 2 2において、学習部1 4 3は、ステップS 2 1で取得した第2特徴量を学習データとして機械学習を行ない、異常の有無を判定するための異常度を算出するための演算式を決定する。具体的には、学習部1 4 3は、既知の機械学習手法 (One Class Support Vector Machine : OC-SVM) を用いて、学習データから異常と正常との分類境界を決定する。そして、学習部1 4 3は、決定した分類境界からの距離を異常度とし、当該異常度を算出するための演算式を決定する。

[0042] 上述したように、特徴量算出部1 4 2は、1つの測定データに対してm種類 (mは1以上の整数) の第1特徴量を算出可能であり、かつ、1種類の第1特徴量に対してn種類 (nは1以上の整数) の第2特徴量を算出可能である。そのため、1つの測定データに対して特徴量算出部1 4 2から出力される第2特徴量の種類は、 $m \times n$ 種類となる。学習部1 4 3は、1つの正常データに対して算出される $m \times n$ 種類の第2特徴量の各々の成分とする特徴量ベクトルを生成する。学習部1 4 3は、OC-SVMを用いて、正常データの個数と同じ個数の特徴量ベクトルから分類境界を決定し、決定した分類境界からの距離である異常度を算出するための演算式を決定する。

[0043] 次にステップS 2 3において、学習部1 4 3は、被試験装置1 0が正常である第2正常期間に測定された複数の正常データからそれぞれ算出された第2特徴量を取得する。第2正常期間は、第1正常期間の後の期間である。ステップS 2 4において、学習部1 4 3は、ステップS 2 2で決定された演算式に従って、正常データごとに、ステップS 2 3で取得した第2特徴量を用いて異常度を算出する。ステップS 2 5において、学習部1 4 3は、正常データごとに算出された異常度のばらつきに基づいて、異常判定しきい値を決定する。たとえば、学習部1 4 3は、異常度の平均値に異常度の標準偏差の定数倍 (たとえば3倍) の値を加算した値を異常判定しきい値として決定する。ステップS 2 6において、学習部1 4 3は、ステップS 2 2で決定した異常度の演算式と、ステップS 2 5で決定した異常判定しきい値とを、被試

験装置 10 が異常か否かを判定するためのアルゴリズムとしてしきい値記憶部 144 に記憶させる。

[0044] なお、ステップ S 23 を省略し、学習部 143 は、ステップ S 24 において、ステップ S 22 で決定された演算式に従って、正常データごとに、ステップ S 21 で取得した第 2 特徴量を用いて異常度を算出してもよい。

[0045] [判定部の処理]

図 11 は、図 2 の判定部 146 が行なう処理を説明するためのフローチャートである。判定部 146 は、まずステップ S 31 において、被試験装置 10 の診断時に測定された測定データ（テストデータ）から算出された第 2 特徴量を取得する。ステップ S 32 において、判定部 146 は、しきい値記憶部 144 が記憶する演算式に従って、ステップ S 31 で取得した第 2 特徴量を用いて異常度を算出する。ステップ S 33 において、判定部 146 は、ステップ S 32 で算出した異常度と、しきい値記憶部 144 が記憶する異常判定しきい値とを比較し、比較結果に基づいて、被試験装置 10 の異常の有無を判定する。

[0046] [本実施の形態の効果の検証実験 1]

上記の状態監視方法によって算出される異常度が公知の方法によって算出される異常度に比べて優れていることの検証実験を行なった。

[0047] 被試験装置として損傷のない新品の軸受を用い、異常が生じて使用不可能となるまで当該軸受を連続運転させた。軸受に設置した振動センサによって測定された振動加速度の測定データを 2 時間ごとに取得した。運転条件および測定条件は以下の通りである。

[0048] <運転条件>

軸受：アンギュラ玉軸受（型番 7216：内径 80mm、外径 140mm、幅 26mm）

ラジアル負荷：1.3kN

アキシアル負荷：1.3kN

回転速度：1500回転／分

潤滑方式：グリース

＜測定条件＞

測定データ：振動加速度

データ長さ：20秒

サンプリング速度：50kHz。

[0049] このような運転条件および測定条件により取得された測定データ群に対して、実施例のデータ演算方法に従って算出された異常度の変化と、比較例のデータ演算方法に従って算出された異常度の変化とを比較した。

[0050] 実施例におけるデータ演算方法を以下のようにした。

- ・フィルタ処理部141による処理方法：各バンドパスフィルタのバンド幅1kHz、複数のバンドパスフィルタの中心周波数の間隔1kHz、周波数レンジ0～20kHzとし、1つの測定データから20個の時間波形を生成する。

- ・特徴量算出部142が1つの測定データに対して算出する第1特徴量：6種類（時間波形、周波数波形およびケフレンシ波形の各々の実効値および尖度）。

- ・特徴量算出部142が1つの中心周波数波形に対して算出する第2特徴量：7種類（実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数、寄与率）。寄与率は、中心周波数が1.5～9.5kHzの範囲における中心周波数と第1特徴量との相関係数の二乗である。

- ・学習部143の機械学習の手法：OS-SVM。

[0051] 実施例のデータ演算方法では、上記の測定データ群のうち1番目から所定番目までの初期の測定データ（正常データ）の各々から算出された $6 \times 7 = 42$ 種類の第2特徴量を成分とする特徴量ベクトルを学習データとして機械学習を行なうことにより、異常度の演算式を決定した。

[0052] 一方、比較例のデータ演算方法を以下のようにした。

- ・使用する特徴量：測定データで示される時間波形と、当該時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形と、当該周波数波形を時間波形と見なしてフーリエ変換して得られるケフレンシ波形との各々の実効値、最大値、波高

率、尖度、歪度の計 15 種類。

・機械学習の手法：OS-SVM。

[0053] 比較例のデータ演算方法は、上記の測定データ群のうち 1 番目から所定番目までの初期の測定データ（正常データ）の各々から算出された上記 15 種類の特徴量を成分とする特徴量ベクトルを学習データとして機械学習を行なうことにより、異常度の演算式を決定した。

[0054] 図 12 は、実施例と比較例との異常度の変化を示す図である。図 12 に示されるように、同一の測定データ群から算出した異常度であるにもかかわらず、実施例の異常度が上昇し始める時点は、比較例の異常度が上昇し始める時点に比べて約 3 ヶ月早い。つまり、実施例によって算出された異常度は、軸受のわずかな異常を反映した値であることがわかる。このように、実施例によって算出された異常度を用いることにより、軸受の異常の有無を精度良く判定できることが確認された。

[0055] [本実施の形態の効果の検証実験 2]

次に、被試験装置の異常に対する上記の状態監視方法で用いた第 2 特徴量の感度が優れていることの検証実験を行なった。

[0056] 被試験装置として、損傷のない軸受と、人工の損傷を設けた軸受とを準備した。人工の損傷は、軸受の外輪軌道に放電加工で設けた微細な円筒穴である。これらの軸受を、ラジアル負荷およびアキシアル負荷のかかる状態で、一定の回転速度で運転した時の振動加速度を測定した。回転速度は 3 条件とした。放電穴直径（以下、損傷サイズ）は以下に示す 5 種類（損傷サイズ 0.0 mm は損傷のない軸受を示す）である。各損傷サイズで 36 回振動加速度を測定した。運転条件および測定条件は次の通りである。

[0057] <運転条件>

軸受：アンギュラ玉軸受（型番 7216：内径 80mm、外径 140mm、幅 26mm）

ラジアル負荷：1.3kN

アキシアル負荷：1.3kN

回転速度：1000回転／分、1500回転／分、2000回転／分

潤滑方式：循環給油

損傷サイズ：0.00mm（損傷なし）、 $\phi 0.34\text{mm}$ 、 $\phi 0.68\text{mm}$ 、 $\phi 1.02\text{mm}$ 、 $\phi 1.35\text{mm}$

<測定条件>

測定データ：振動加速度

データ長さ：20秒

サンプリング速度：50kHz

測定回数：36回。

[0058] 実施例におけるデータ演算方法を以下のようにした。

- ・フィルタ処理部141による処理方法：各バンドパスフィルタのバンド幅1kHz、複数のバンドパスフィルタの中心周波数の間隔1kHz、周波数レンジ0～20kHzとし、1つの測定データから20個の時間波形を生成する。

- ・特徴量算出部142が1つの測定データに対して算出する第1特徴量：6種類（時間波形、周波数波形およびケフレンシ波形の各々の実効値および尖度）。

- ・特徴量算出部142が1つの中心周波数波形に対して算出する第2特徴量：7種類（実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数、寄与率）。寄与率は、中心周波数が1.5～9.5kHzの範囲における中心周波数と第1特徴量との相関係数の二乗とした。

[0059] 一方、比較例のデータ演算方法を以下のようにした。

- ・使用する特徴量（以下、「比較用特徴量」という）：測定データで示される時間波形と、当該時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形と、当該周波数波形を時間波形と見なしてフーリエ変換して得られるケフレンシ波形との各々の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度の計15種類。

[0060] 損傷なしの軸受に対応する測定データから算出した特徴量（実施例では第2特徴量、比較例では比較用特徴量）と、損傷ありの軸受に対応する測定データから算出した特徴量（実施例では第2特徴量、比較例では比較用特徴量

）との差を t 検定を用いて評価した。

[0061] 図 1 3 は、実施例のデータ演算方法により算出された第 2 特徴量の t 検定結果を示す図である。図 1 4 は、比較例のデータ演算方法により算出された比較用特徴量の t 検討結果を示す図である。図 1 3 および図 1 4 において、検定結果は常用対数化した値の絶対値である。ここでは、10 以上の数値である場合に、損傷なしの軸受に対応する測定データから算出した特徴量と、損傷ありの軸受に対応する測定データから算出した特徴量とに明らかな差があると言える。すなわち、10 以上の数値を示す特徴量は、軸受の異常に対して良好な感度を有する。そのため、10 以上の数値を示す特徴量を用いることにより、軸受の異常の有無の判定精度が向上する。

[0062] 図 1 3 および図 1 4 に示されるように、実施例の t 検定結果は、全般的に、比較例の t 検定結果よりも優れている。

[0063] たとえば、回転速度 1000 回／分、損傷サイズ $\phi 1.35 \text{ mm}$ の条件において、 t 検定結果が 30 以上である特徴量は、比較例のデータ演算方法では 1 種類であるのに対し、実施のデータ演算方法では 7 種類であった。具体的には、周波数波形の尖度を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「波高率」、「尖度」、「歪度」および「変動係数」と、時間波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」と、周波数波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」と、ケフレンシ波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」とである。この中でも、周波数波形の尖度を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「尖度」および「変動係数」と、周波数波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」と、ケフレンシ波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」とは、40 以上の t 検討結果を示し、軸受の異常に対して優れた感度を有した。

[0064] また、比較例のデータ演算方法では、損傷サイズが最大の $\phi 1.35 \text{ mm}$ の軸受であっても、3 つの回転速度の全てについて t 検討結果 10 以上を示す比較用特徴量はなかった。これに対し、実施例のデータ演算方法では、損傷サイズが最大の $\phi 1.35 \text{ mm}$ の軸受に対して、6 種類の第 2 特徴量が、3 つの回転速

度の全てについて t 検討結果 10 以上を示した。具体的には、周波数波形の尖度を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「実効値」、「最大値」および「変動係数」と、時間波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」と、周波数波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」と、ケフレンシ波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」とである。これらの第 2 特徴量は、回転速度にかかわらず、軸受の異常に対して優れた感度を有する。この中でも、周波数波形の実効値を第 1 特徴量とする中心周波数波形の「寄与率」は、損傷サイズが $\phi 0.6\text{mm}$ 以上の軸受に対しても、3つの回転速度の全てについて t 検討結果 10 以上を示した。

[0065] このように、実施例のデータ演算方法により算出される第 2 特徴量の中には、軸受の異常に対して優れた感度を示す特徴量が含まれることが確認された。

[0066] なお、42種類の第 2 特徴量の中には、損傷サイズおよび回転速度がいずれであっても、10未満の t 検討結果を示すものが含まれる。しかしながら、上述したように、従来特徴量よりも優れた t 検討結果を示す第 2 特徴量が複数存在している。そのため、42種類の第 2 特徴量を成分とする特徴量ベクトルを用いて異常度を演算することにより、軸受の異常の有無を精度良く判定することが可能となる。

[0067] [本実施の形態の効果の検証実験 3]

以下の (a) に記す点のみを変更し、上記の検証実験 2 と同様の検証実験 3 を行なった。

(a) 特徴量算出部 142 が 1 つの中心周波数波形に対して算出する第 2 特徴量：1 種類（寄与率）。寄与率は、バンドパスフィルタの中心周波数（中心周波数の範囲は限定しない）と第 1 特徴量との相関係数の二乗とした。

[0068] 図 16 は、検証実験 3 における第 2 特徴量の t 検定結果を示す図である。図 16 に示す検定結果は、図 13 と同様に、常用対数化した値の絶対値である。図 16 に示されるように、検証実験 3 の t 検定結果も、全般的に、比較例の t 検定結果（図 14 参照）よりも優れている。すなわち、寄与率を求め

る際にバンドパスフィルタの中心周波数の範囲を限定しなくても、寄与率は、軸受の異常に対して優れた感度を有した。

[0069] [本実施の形態の効果の検証実験4]

以下の(b)(c)に記す点のみを変更し、上記の検証実験2と同様の検証実験4を行なった。

(b) 特徴量算出部142が1つの測定データに対して算出する第1特徴量：6種類(時間波形、周波数波形およびケフレンシ波形の各々の実効値および尖度の常用対数)。なお、時間波形の尖度については負の値をとる場合があるため、全データの最小値を各データから差し引く処理を行なうことにより得られる値の常用対数を用いた。

(c) 特徴量算出部142が1つの中心周波数波形に対して算出する第2特徴量：1種類(寄与率)。寄与率は、バンドパスフィルタの中心周波数(中心周波数の範囲は限定しない)と第1特徴量との相関係数の二乗とした。

[0070] 図17は、検証実験4における第2特徴量のt検定結果を示す図である。図17に示す検定結果は、図13と同様に、常用対数化した値の絶対値である。図17に示されるように、検証実験4のt検定結果も、全般的に、比較例のt検定結果(図14参照)よりも優れている。すなわち、第1特徴量としてパラメータの値の常用対数値を用いても、寄与率は、軸受の異常に対して優れた感度を有した。

[0071] [変形例]

上記の説明では、特徴量算出部142は、バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形の特徴を示す時間領域特徴量と、当該時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形の特徴を示す周波数領域特徴量と、当該周波数波形をフーリエ変換して得られるケフレンシ波形の特徴を示すケフレンシ領域特徴量とのいずれかを第1特徴量として算出した。しかしながら、ステップS12(図6参照)において、特徴量算出部142は、上記の時間領域特徴量、周波数領域特徴量およびケフレンシ領域特徴量の少なくとも2つの特徴量を算出する工程と、当該少なくとも2つの特徴量から第1特徴量を算出

する工程とを行なってもよい。たとえば、特徴量算出部 142 は、上記の時間領域特徴量（第 3 特徴量）、周波数領域特徴量（第 3 特徴量）およびケフレンシ領域特徴量（第 3 特徴量）の少なくとも 2 つの相関関係を示す値（和、差、比、平均）などを第 1 特徴量として算出する。

[0072] 図 15 は、変形例の第 1 特徴量の一例を示す図である。図 15 において、（a）は、周波数領域特徴量の 1 つである、周波数波形の最大値 p を示し、（b）は、ケフレンシ領域特徴量の 1 つである、ケフレンシ波形の最大値 q を示し、（c）は、第 1 特徴量を示す。図 15 に示されるように、特徴量算出部 142 は、複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形から得られた周波数波形の最大値 p と、当該周波数波形から得られたケフレンシ波形の最大値 q との比（ q/p ）を第 1 特徴量として算出する。

[0073] 上記の説明では、学習部 143 は、OC-VSM を用いて機械学習を行なった。しかしながら、学習部 143 は、SVM 以外にも、ランダムフォレスト、ロジスティック回帰、決定木、ニューラルネットワークを用いて機械学習を行なってもよい。

[0074] 図 13 に示されるように、 t 検討結果が優れた特定の第 2 特徴量（図 13 では、第 1 特徴量を「周波数波形の実効値」とするときの寄与率）が予め分かっている場合には、特徴量算出部 142 は、当該特定の第 2 特徴量のみを算出してもよい。この場合、学習部 143 は、異常判定しきい値のみを決定する。判定部 146 は、テストデータに対して算出された第 2 特徴量と異常判定しきい値との比較結果に基づいて、被試験装置 10 の異常の有無を判定すればよい。

[0075] [作用・効果]

本実施の形態に係る状態監視方法は、被試験装置（被試験対象物）10 に設置した振動センサ 20 から取得した測定データを用いて被試験装置 10 の状態を監視する方法であり、第 1 ～ 第 4 工程を備える。第 1 工程（S11）では、測定データに対して、互いに異なる中心周波数を有する複数のバンド

パスフィルタの各々を用いたフィルタ処理を行なうことにより、複数のバンドパスフィルタにそれぞれ対応する複数の時間波形（第1波形）を生成する。第2工程（S12）では、複数の時間波形の各々に対して第1特徴量を算出する。第3工程（S13、S14）では、中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタの中心周波数と、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形に対して算出された第1特徴量とをプロットすることにより得られる中心周波数波形（第2波形）の特徴を示す第2特徴量を算出する。第4工程（S32、S33）では、測定データのうち被試験装置10の診断時にセンサから得られたテストデータに対して第1～第3工程を行なうことにより算出された第2特徴量に基づいて、被試験装置10が異常か否かを判定する。

[0076] 上記の構成によれば、被試験装置10の異常に対する感度が良好な第2特徴量に基づいて被試験装置10が異常か否かを判定する。これにより、被試験装置10の異常の有無の判定精度を高めることができる。その結果、被試験装置10の異常を早期に発見することができる。

[0077] 被試験装置10に異常が生じた場合、測定データの特定の周波数帯域に変化が見られることが多い。そのため、当該特定の周波数帯域のみを抽出することにより、異常の有無を判定しやすくなる。そこで、従来の状態監視方法では、異常の有無の判定の精度を上げるために、異常の有無の判定に有効な周波数帯域を予め最適化していた。ただし、異常の内容によって、変化が見られる周波数帯域が異なるため、被試験装置10ごとに周波数帯域の最適化を行なう必要があった。

[0078] 上記の構成によれば、第2特徴量は、中心周波数波形の特徴を示す。中心周波数波形は、中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、複数のバンドパスフィルタの各々の中心周波数と対応する第1特徴量とをプロットすることにより得られる。被試験装置10の異常によって変化が生じる特定の周波数帯域が不明であったとしても、中心周波数波形における当該

特定の周波数帯域に含まれる中心周波数の箇所に、異常の程度に応じた変化が見られる。そのため、当該箇所の変化が反映された第2特徴量を確認することにより、被試験装置10の異常の有無を容易に判定することができる。

[0079] 状態監視方法は、測定データのうち被試験装置10の正常時に振動センサ20から得られた正常データに対してステップS11～S14を行なうことにより得られた第2特徴量を学習データとして機械学習を行なうことにより、被試験装置10が異常か否かを判定するためのアルゴリズムを決定する第5工程（S22，S24，S25）をさらに備える。ステップS32、S33では、判定部146は、アルゴリズムに従って被試験装置10が異常か否かを判定する。

[0080] これにより、第2特徴量の種類が複数であったとしても、これらを総合的に考慮したアルゴリズムに従って異常か否かを判定することができる。

[0081] 第1特徴量は、たとえば、対応する時間波形と、当該時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形（第3波形）と、周波数波形を時間波形と見なしてフーリエ変換して得られるケフレンシ波形（第4波形）とのいずれか1つの波形の特徴を示す。

[0082] あるいは、ステップS12は、複数の時間波形の中の第1特徴量に対応する時間波形と、当該対応する時間波形をフーリエ変換して得られる周波数波形と、周波数波形を時間波形と見なしてフーリエ変換して得られるケフレンシ波形との少なくとも2つの波形の各々に対して、当該波形の特徴を示す特徴量（第3特徴量）を算出する工程と、当該少なくとも2つの波形の各々に対して算出した特徴量から第1特徴量を算出する工程とを含んでもよい。

[0083] 第2特徴量は、たとえば、前記第2波形の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数および寄与率のいずれかである。

[0084] 今回開示された実施の形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施の形態の説明でなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0085] 10 被試験装置、20 振動センサ、100 状態監視装置、110 A／Dコンバータ、120 データ取得部、130 記憶装置、140 データ演算部、141 フィルタ処理部、142 特徴量算出部、143 学習部、144 しきい値記憶部、146 判定部、150 表示部。

請求の範囲

[請求項1] 被試験対象物に設置したセンサから取得した測定データを用いて前

記被試験対象物の状態を監視する状態監視方法であって、

前記測定データに対して、互いに異なる中心周波数を有する複数のバンドパスフィルタの各々を用いたフィルタ処理を行なうことにより、前記複数のバンドパスフィルタにそれぞれ対応する複数の第1波形を生成する第1工程と、

前記複数の第1波形の各々に対して第1特徴量を算出する第2工程と、

中心周波数を横軸とし、第1特徴量を縦軸とするグラフに、前記複数のバンドパスフィルタの各々について、当該バンドパスフィルタの前記中心周波数と、当該バンドパスフィルタを用いて生成された時間波形に対して算出された前記第1特徴量とをプロットすることにより得られる第2波形の特徴を示す第2特徴量を算出する第3工程と、

前記測定データのうち前記被試験対象物の診断時に前記センサから得られたテストデータに対して前記第1～第3工程を行なうことにより算出された前記第2特徴量に基づいて、前記被試験対象物が異常か否かを判定する第4工程とを備える状態監視方法。

[請求項2] 前記複数の第1波形は時間波形であり、

前記第1特徴量は、前記複数の第1波形の中の当該第1特徴量に対応する第1波形と、前記対応する第1波形をフーリエ変換して得られる第3波形と、前記第3波形をフーリエ変換して得られる第4波形とのいずれか1つの波形の特徴を示す、請求項1に記載の状態監視方法。

[請求項3] 前記複数の第1波形は時間波形であり、

前記第2工程は、

前記複数の第1波形の中の前記第1特徴量に対応する第1波形と、前記対応する第1波形をフーリエ変換して得られる第3波形と、前記

第3波形をフーリエ変換して得られる第4波形との少なくとも2つの波形の各々に対して、当該波形の特徴を示す第3特徴量を算出する工程と、

前記少なくとも2つの波形の各々に対して算出した前記第3特徴量から前記第1特徴量を算出する工程とを含む、請求項1に記載の状態監視方法。

[請求項4] 前記測定データのうち前記被試験対象物の正常時に前記センサから得られた正常データに対して前記第1～第3工程を行なうことにより得られた前記第2特徴量を学習データとして機械学習を行なうことにより、前記被試験対象物が異常か否かを判定するためのアルゴリズムを決定する第5工程をさらに備え、

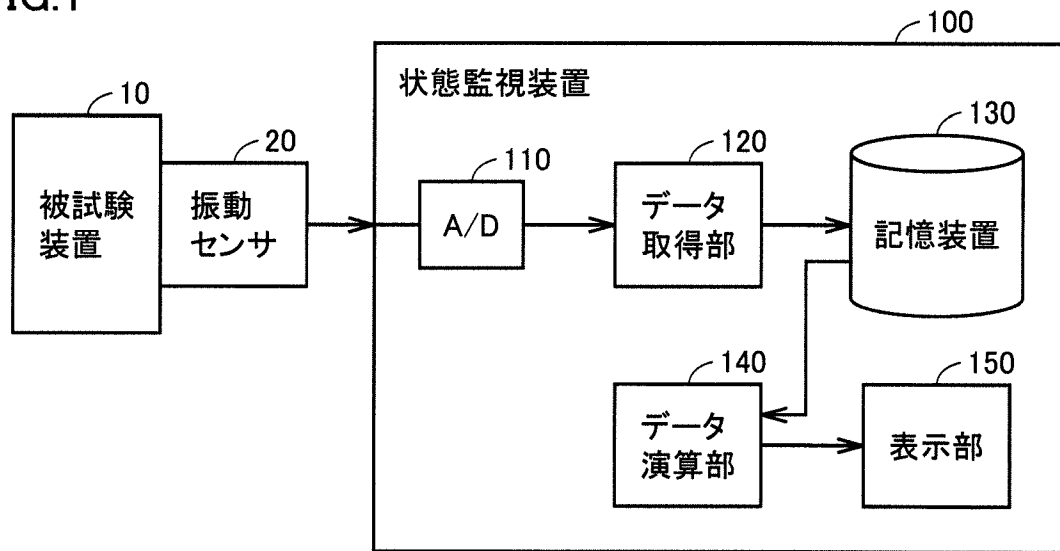
前記第4工程では、前記アルゴリズムに従って前記被試験対象物が異常か否かを判定する、請求項1から3のいずれか1項に記載の状態監視方法。

[請求項5] 前記第2特徴量は、前記第2波形の実効値、最大値、波高率、尖度、歪度、変動係数および寄与率のいずれかである、請求項1から4のいずれか1項に記載の状態監視方法。

[請求項6] 請求項1から5のいずれか1項に記載の方法を用いて、前記被試験対象物を診断する、状態監視装置。

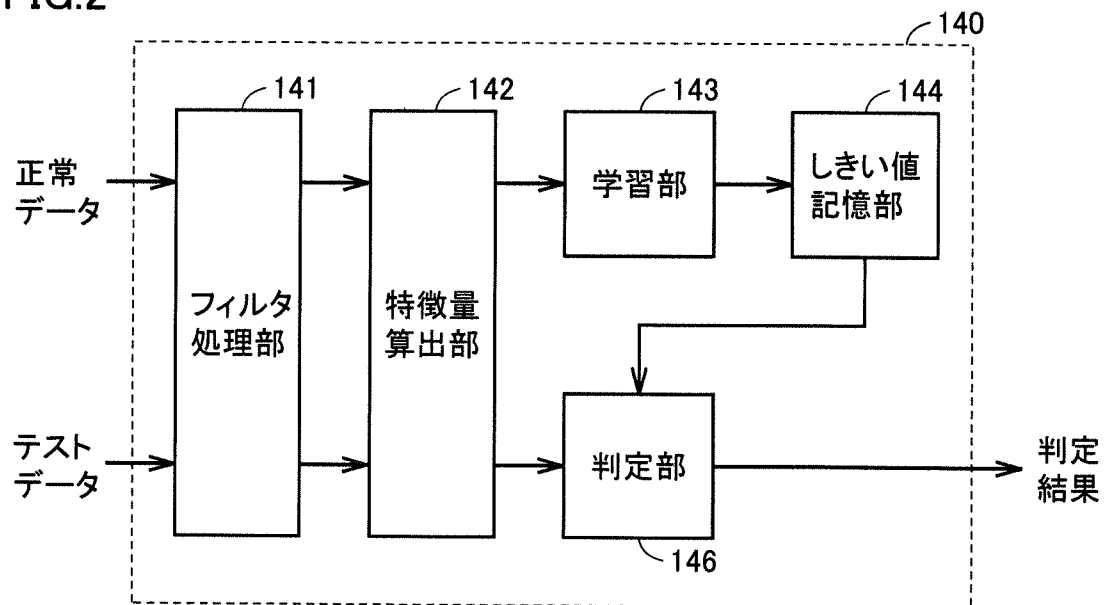
[図1]

FIG.1



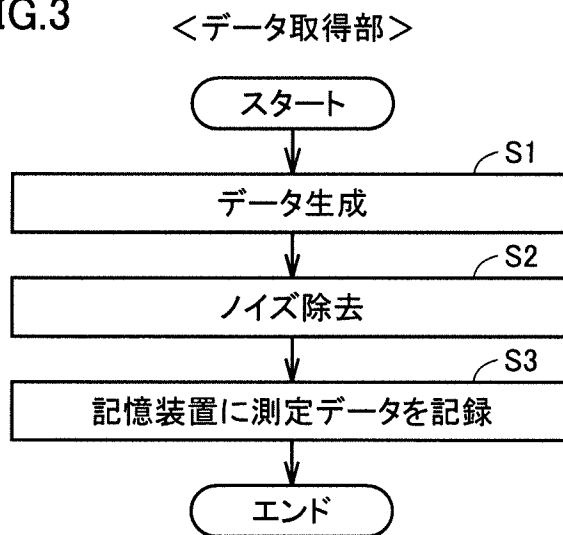
[図2]

FIG.2



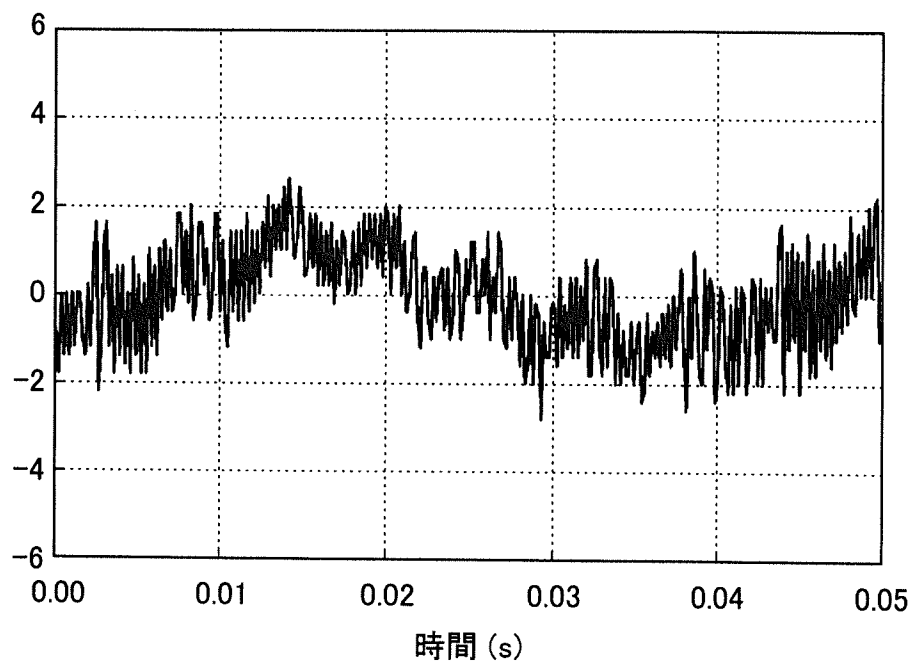
[図3]

FIG.3



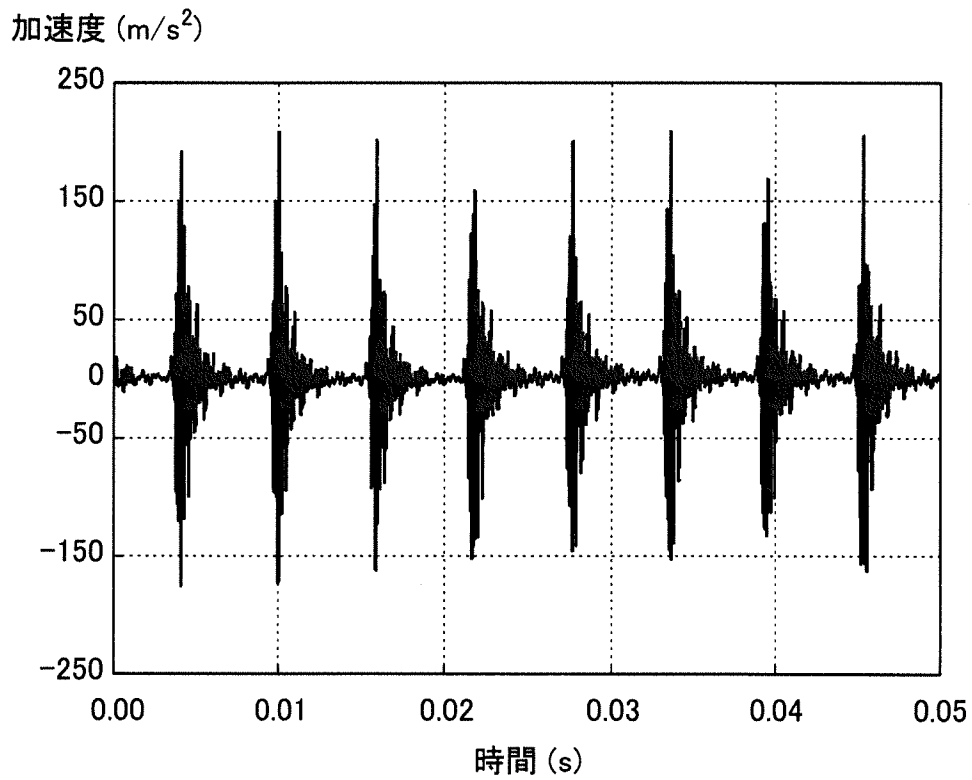
[図4]

FIG.4

加速度 (m/s^2)

[図5]

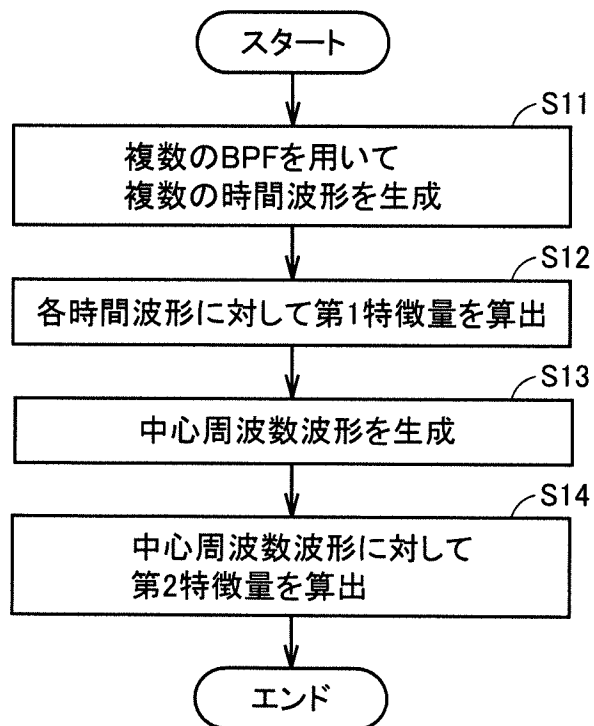
FIG.5



[図6]

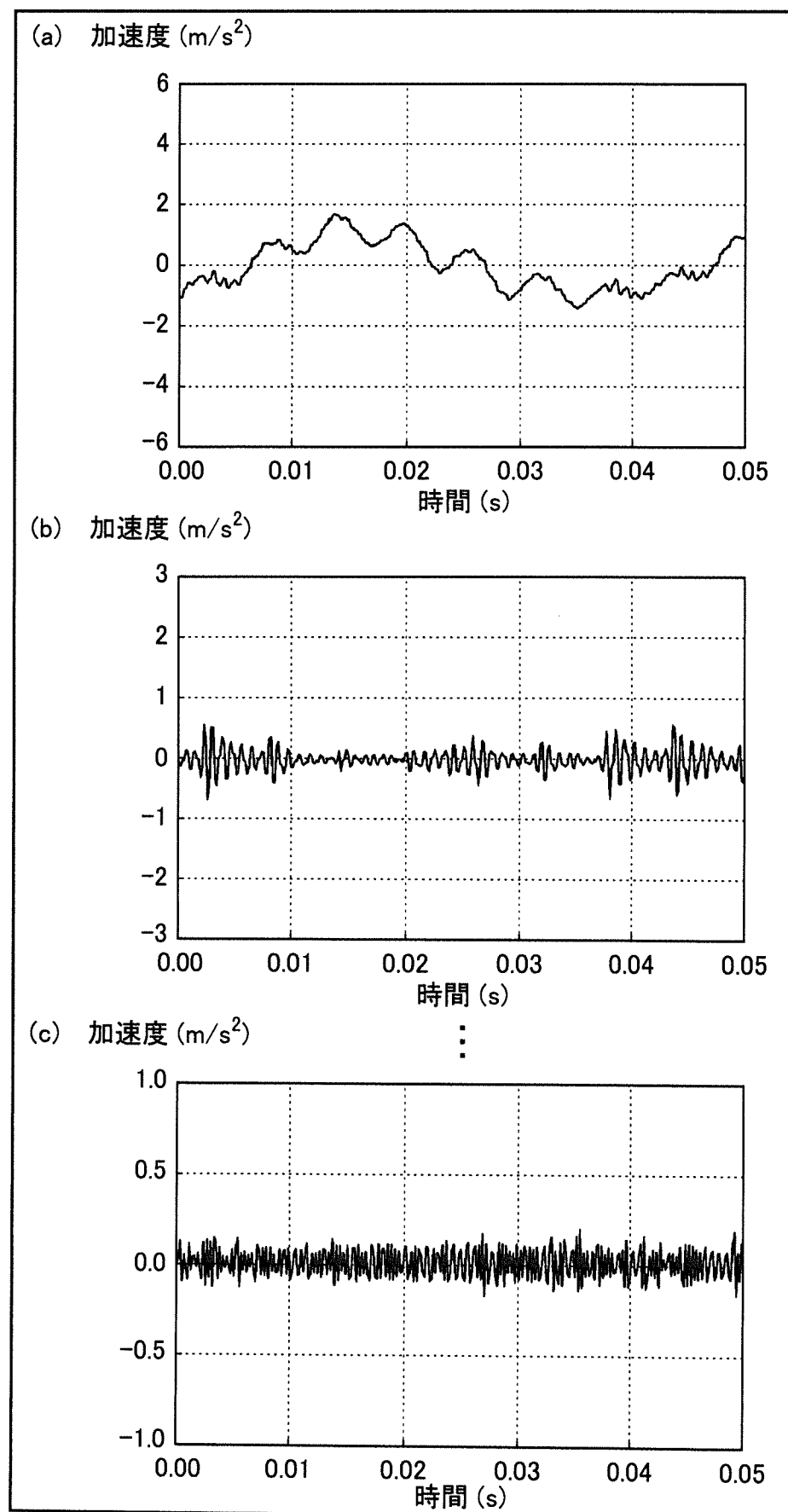
FIG.6

<フィルタ処理部、特徴量算出部>



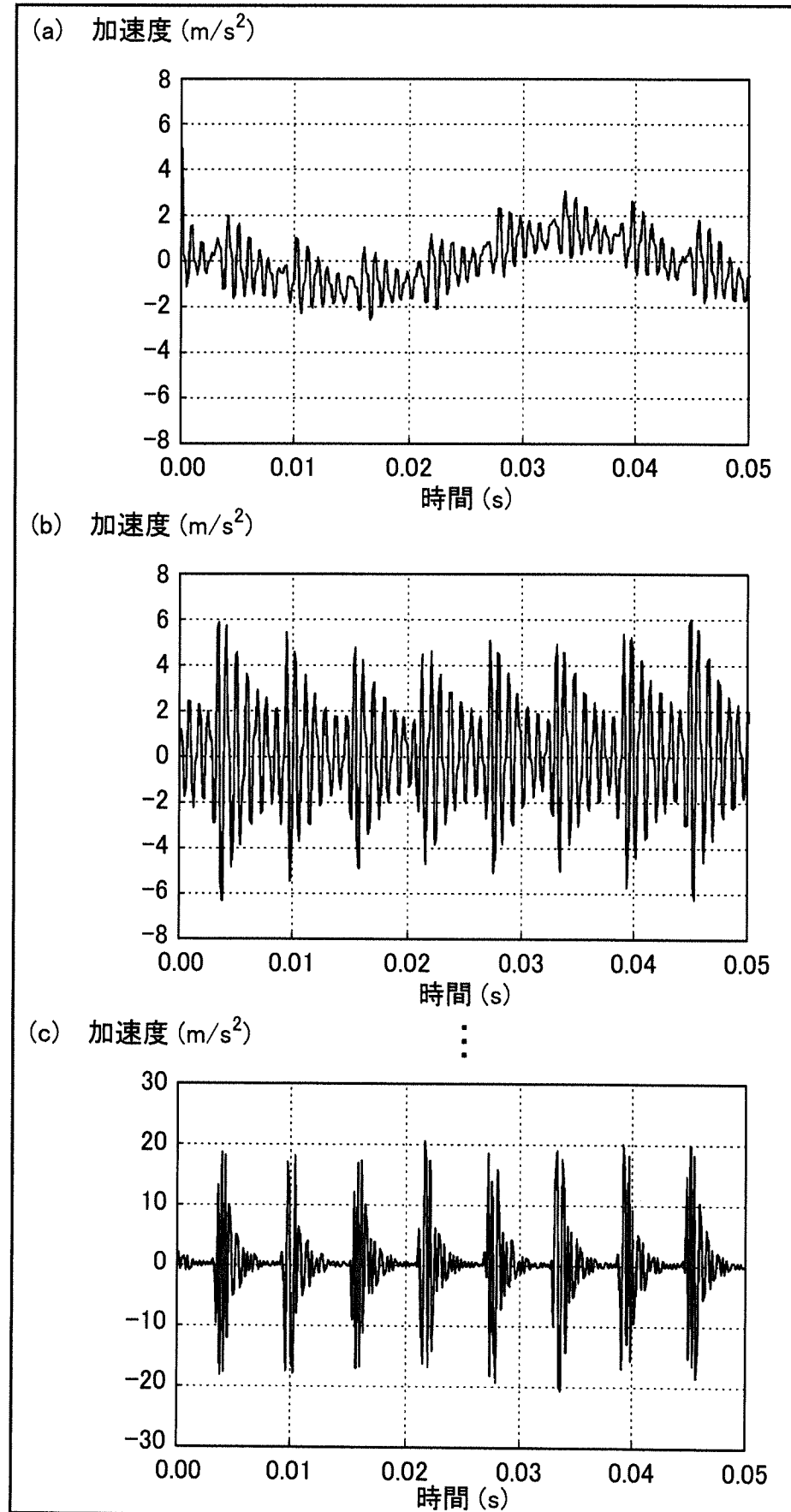
[図7]

FIG.7



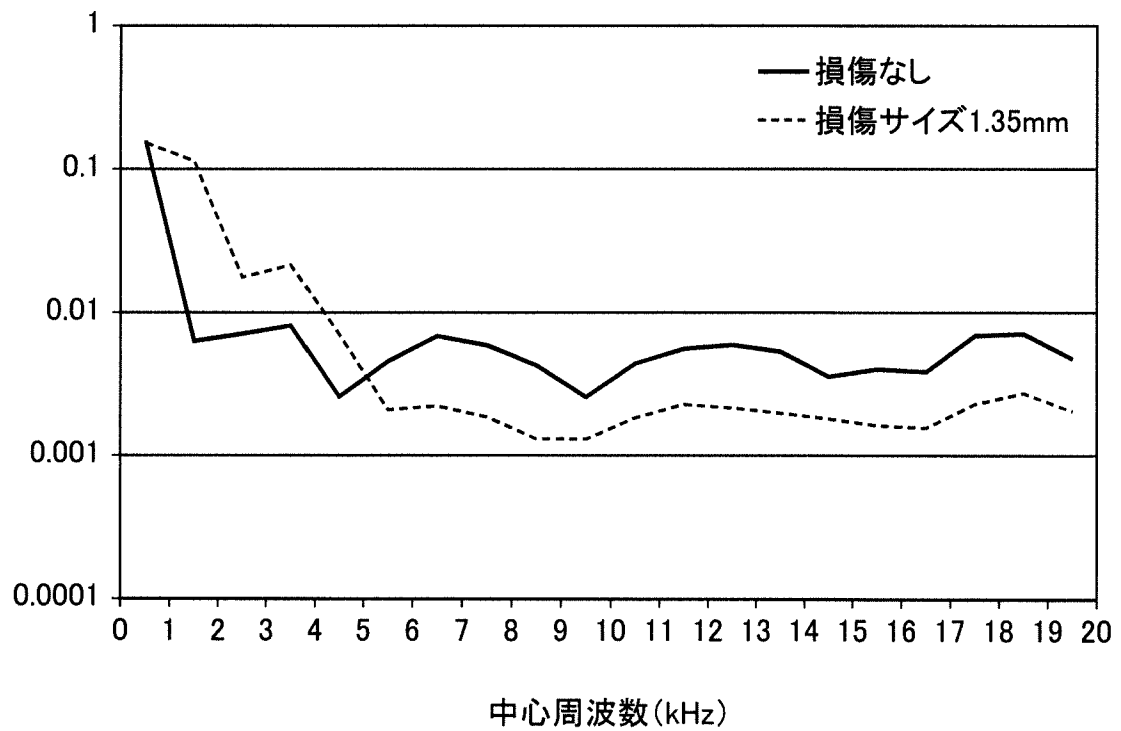
[図8]

FIG.8



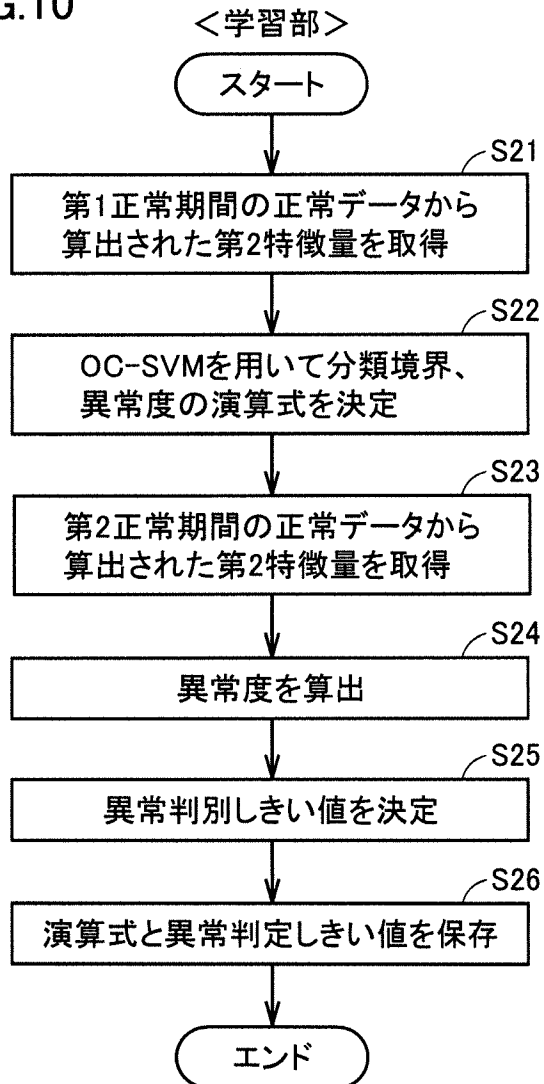
[図9]

FIG.9

周波数波形の
最大値 (m/s^2)

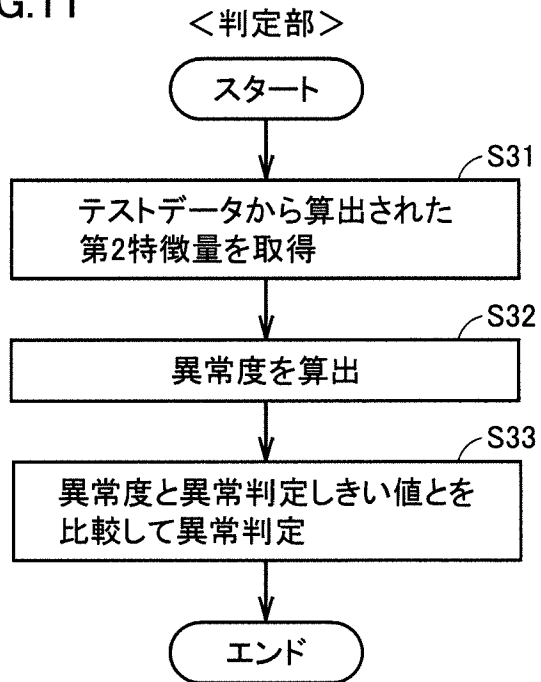
[図10]

FIG.10



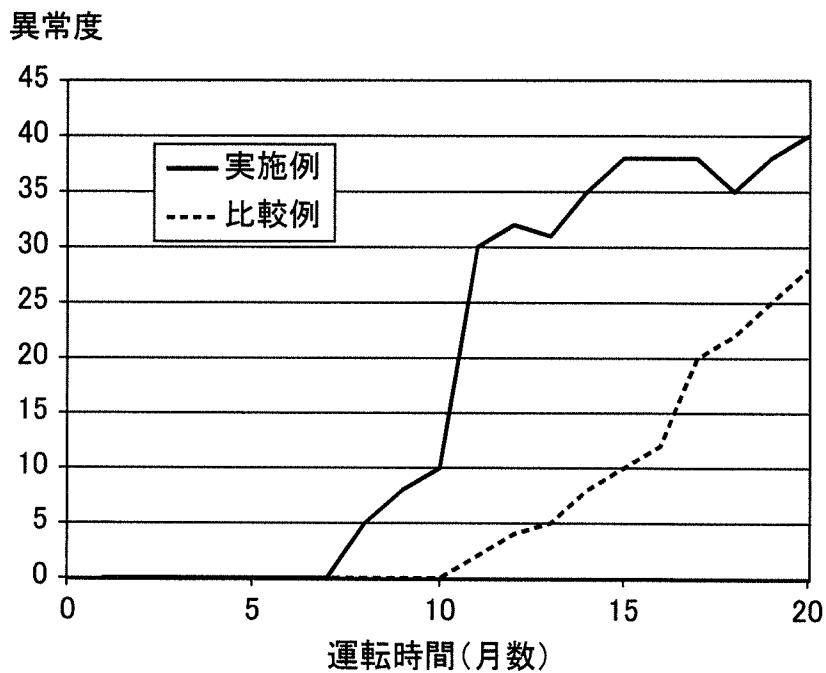
[図11]

FIG.11



[図12]

FIG.12



[図13]

FIG.13

第1特徴量	損傷サイズ mm	第2特徴量											
		実効値			最大値			波高率			尖度		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
時間波形の 実効値	0.34	0	1	4	1	7	7	1	5	6	0	1	2
	0.68	6	7	12	6	9	12	4	14	10	7	7	7
	1.02	6	11	15	3	13	15	1	22	17	18	6	13
	1.35	5	9	11	4	9	13	2	17	23	1	1	24
周波数波形 の実効値	0.34	0	1	4	1	7	7	1	4	9	0	2	2
	0.68	6	8	13	6	10	12	3	15	10	9	10	6
	1.02	7	11	14	5	13	13	1	22	15	9	6	11
	1.35	6	9	14	5	9	14	6	16	20	1	1	20
ケフレンシ波形 の実効値	0.34	0	1	4	1	7	7	1	4	6	0	1	2
	0.68	6	8	13	6	9	12	3	14	10	8	7	7
	1.02	6	11	15	3	13	15	0	22	16	18	5	13
	1.35	6	9	12	4	9	13	3	16	23	1	2	24
時間波形の 尖度	0.34	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
	0.68	5	10	12	4	12	11	1	12	1	3	4	0
	1.02	2	1	9	3	1	10	4	5	4	6	2	3
	1.35	12	5	4	20	5	3	5	5	1	6	6	2
周波数波形 の尖度	0.34	0	2	1	0	1	1	2	1	0	3	0	0
	0.68	5	7	6	5	6	7	16	1	2	12	3	0
	1.02	12	10	9	12	10	11	32	1	8	44	2	5
	1.35	11	13	14	11	16	16	31	9	14	45	6	13
ケフレンシ波形 の尖度	0.34	4	4	3	2	1	1	0	8	1	1	0	1
	0.68	7	8	13	2	4	1	1	9	10	4	13	17
	1.02	8	9	10	3	0	1	1	5	9	0	9	20
	1.35	8	4	8	7	1	3	0	1	0	1	0	14

回転速度A: 1000min⁻¹, B: 1500min⁻¹, C: 2000min⁻¹

[図14]

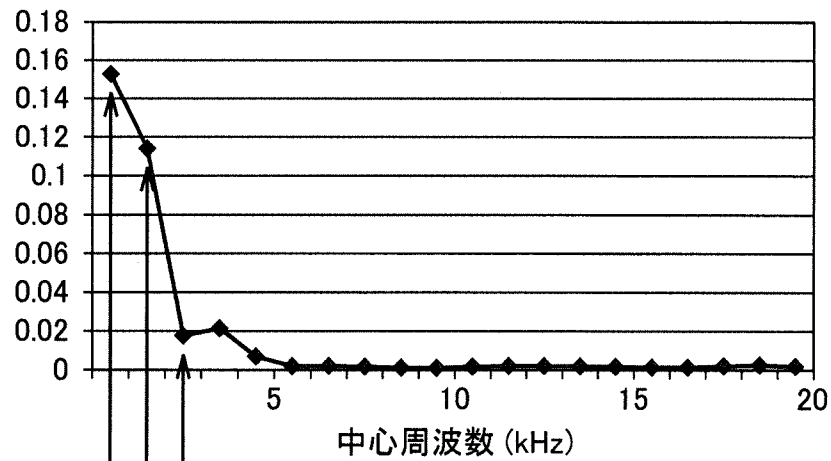
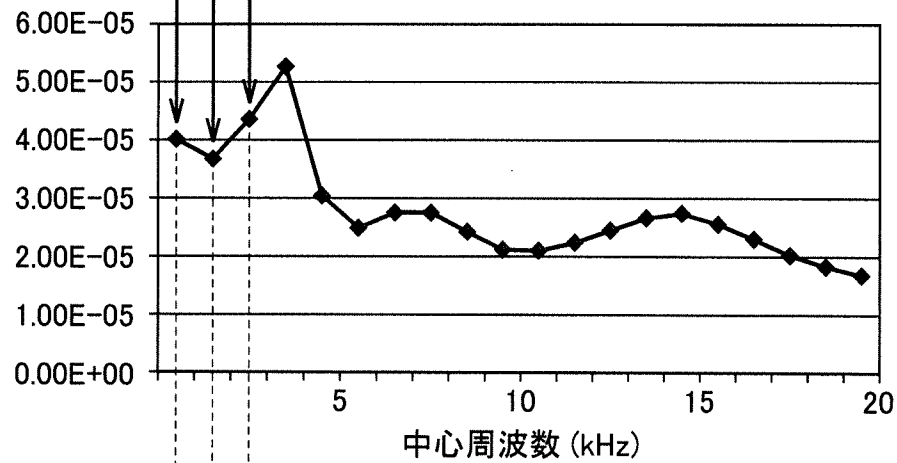
FIG.14

領域	損傷サイズ mm	比較用特徴量																	
		実効値			最大値			波高率			尖度			歪度					
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
時間	0.34	16	0	2	0	0	1	2	0	0	3	0	1	21	0	2			
	0.68	17	4	12	7	2	4	0	1	1	3	1	7	11	2	1			
	1.02	0	3	11	1	2	8	1	1	3	1	5	11	26	1	7			
	1.35	18	7	10	9	1	8	4	4	1	0	0	6	0	2	1			
周波数	0.34	17	0	3	11	3	2	11	4	1	7	4	1	10	4	0			
	0.68	15	8	14	11	8	11	4	4	10	3	3	7	4	6	8			
	1.02	1	9	12	0	8	4	1	5	3	2	3	3	2	8	4			
	1.35	16	10	10	25	12	9	14	9	14	9	5	8	14	8	9			
ケフレンシ	0.34	3	0	3	5	0	2	10	1	4	15	1	2	18	0	1			
	0.68	8	7	9	4	0	3	16	9	15	1	3	1	14	2	1			
	1.02	8	15	16	13	2	9	3	11	13	6	3	1	5	0	0			
	1.35	9	12	17	3	1	7	15	10	9	18	4	0	31	3	0			

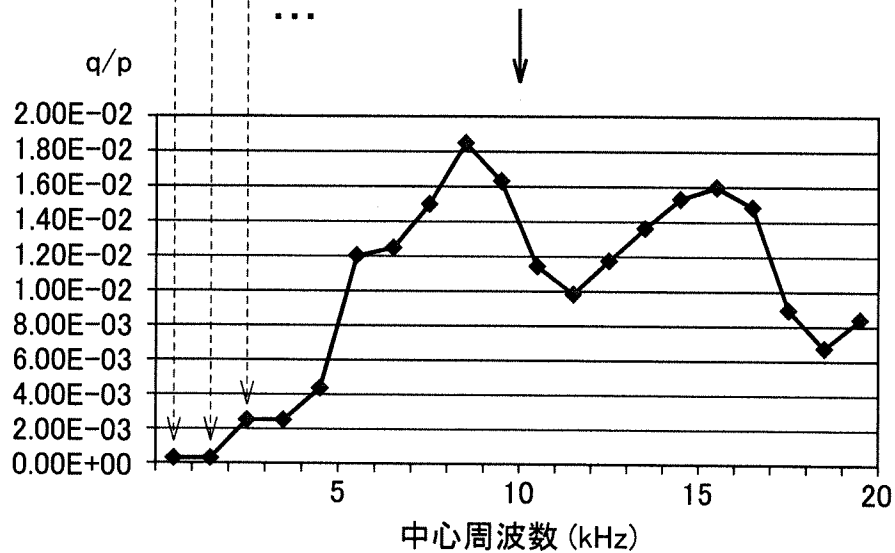
回転速度A:1000min⁻¹, B:1500min⁻¹, C:2000min⁻¹

[図15]

FIG.15

(a) 周波数波形の
最大値 p (m/s^2)(b) ケフレンシ波形の
最大値 q (m/s^2)

(c)



[図16]

FIG.16

第1特徴量	損傷サイズ mm	第2特徴量 寄与率		
		A	B	C
時間波形の 実効値	0.34	11	2	5
	0.68	5	7	12
	1.02	15	13	18
	1.35	2	12	22
周波数波形 の実効値	0.34	12	6	1
	0.68	6	9	16
	1.02	18	20	17
	1.35	8	12	28
ケフレンシ波形 の実効値	0.34	11	2	5
	0.68	5	7	12
	1.02	15	14	18
	1.35	2	12	23
時間波形の 尖度	0.34	1	1	0
	0.68	5	10	4
	1.02	10	12	7
	1.35	11	14	9
周波数波形 の尖度	0.34	0	1	7
	0.68	5	5	6
	1.02	12	10	13
	1.35	13	9	8
ケフレンシ波形 の尖度	0.34	1	0	4
	0.68	5	0	2
	1.02	6	3	0
	1.35	7	3	17

回転速度A: 1000min^{-1} , B: 1500min^{-1} , C: 2000min^{-1}

[図17]

FIG.17

第1特徴量	損傷サイズ mm	第2特徴量 寄与率		
		A	B	C
時間波形の 実効値の 常用対数値	0.34	4	3	5
	0.68	9	12	14
	1.02	11	14	18
	1.35	13	17	27
周波数波形 の実効値の 常用対数値	0.34	3	0	0
	0.68	10	17	24
	1.02	12	15	18
	1.35	13	21	30
ケフレンシ波形 の実効値の 常用対数値	0.34	3	3	5
	0.68	9	12	15
	1.02	11	14	18
	1.35	13	17	28
時間波形の 尖度の 常用対数値	0.34	0	1	0
	0.68	10	11	2
	1.02	20	17	4
	1.35	22	21	7
周波数波形 の尖度の 常用対数値	0.34	6	1	1
	0.68	6	2	0
	1.02	4	8	1
	1.35	3	9	19
ケフレンシ波形 の尖度の 常用対数値	0.34	14	4	15
	0.68	8	4	2
	1.02	27	14	0
	1.35	23	17	32

回転速度A: 1000min^{-1} , B: 1500min^{-1} , C: 2000min^{-1}

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/031476

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01M99/00 (2011.01) i, G05B23/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01M13/00-13/04, 99/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 56-104246 A (RION CO., LTD.) 19 August 1981, page 2, upper right column, line 2 to page 3, line 16, fig. 1, 2 (Family: none)	1-2, 4-6 3
Y	WO 2013/105164 A1 (NEC CORPORATION) 18 July 2013, paragraphs [0029], [0030] (Family: none)	3
P, A	JP 2017-173321 A (NTN CORPORATION) 28 September 2017, paragraph [0108] & WO 2017/159784 A1, paragraph [0210]	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18.10.2018

Date of mailing of the international search report
30.10.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/031476

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 57-20625 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 03 February 1982, entire text, all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 58-108419 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO., LTD.) 28 June 1983, page 5, lower right column, lines 7-14, fig. 6, 7 (Family: none)	1-6
A	JP 2012-177653 A (TOKYO ELECTRIC POWER CO., INC.) 13 September 2012, entire text, all drawings (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01M99/00(2011.01)i, G05B23/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01M13/00-13/04, 99/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 56-104246 A（リオン株式会社）1981.08.19, 第2頁右上欄2行 目-第3頁16行目、第1-2図（ファミリーなし）	1-2, 4-6 3
Y	WO 2013/105164 A1（日本電気株式会社）2013.07.18, [0029]-[0030] 段落（ファミリーなし）	3
P, A	JP 2017-173321 A（NTN株式会社）2017.09.28, [0108]段落 & WO 2017/159784 A1, [0210]段落	1-6

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.10.2018

国際調査報告の発送日

30.10.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

松岡 智也

2 J

3107

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 57-20625 A (工業技術院長) 1982. 02. 03, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 58-108419 A (東京芝浦電気株式会社) 1983. 06. 28, 第 5 頁右下欄 7 - 1 4 行目、第 6 - 7 図 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2012-177653 A (東京電力株式会社) 2012. 09. 13, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-6