

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年8月6日 (06.08.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/096551 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 13/04 (2006.01) G01H 17/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/051633
- (22) 国際出願日: 2009年1月30日 (30.01.2009)
- (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2008-019747 2008年1月30日 (30.01.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): J F E
アドバンテック株式会社 (JFE Advantech Co., Ltd.)

[JP/JP]; 〒6638202 兵庫県西宮市高畑町3番48号
Hyogo (JP).

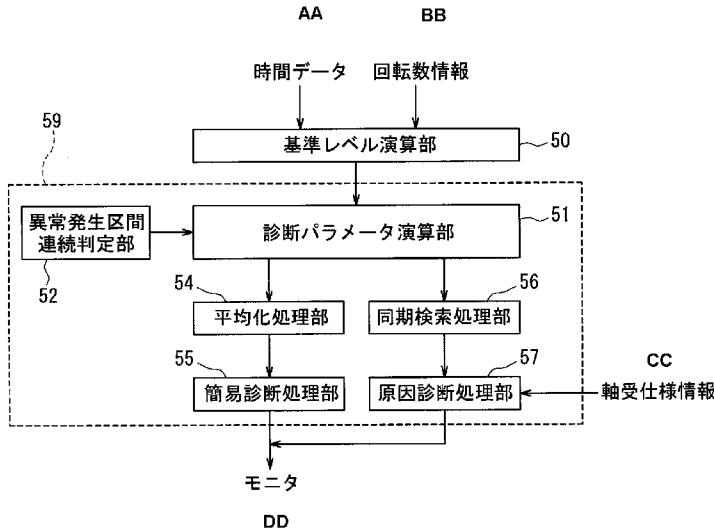
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 吉良耕一 (KIRA, Kouichi) [JP/JP]; 〒6638202 兵庫県西宮市高畑町3番48号 J F E アドバンテック株式会社内 Hyogo (JP). 小田将広 (ODA, Masahiro) [JP/JP]; 〒6638202 兵庫県西宮市高畑町3番48号 J F E アドバンテック株式会社内 Hyogo (JP). 内田洋之 (UCHIDA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒6638202 兵庫県西宮市高畑町3番48号 J F E アドバンテック株式会社内 Hyogo (JP). 濱山豊嗣 (HAMAYAMA, Toyotsugu) [JP/JP]; 〒6638202 兵庫県西宮市高畑町3番48号 J F E アドバンテック株式会社内 Hyogo (JP). 浦野朗 (URANO, Akira) [JP/JP];

/ 続葉有 /

(54) Title: DIAGNOSTIC SYSTEM FOR BEARING

(54) 発明の名称: 軸受の診断システム

[図3]



AA TIME DATA
BB ROTATIONAL SPEED INFORMATION
50 STANDARD LEVEL CALCULATION UNIT
52 ABNORMALITY OCCURRENCE SECTION CONTINUOUS JUDGMENT UNIT
51 DIAGNOSTIC PARAMETER CALCULATION UNIT
54 AVERAGE PROCESSING UNIT
56 SYNCHRONIZATION RETRIEVAL PROCESSING UNIT
55 SIMPLE DIAGNOSIS PROCESSING UNIT
57 CAUSE DIAGNOSIS PROCESSING UNIT
CC BEARING SPECIFICATION INFORMATION
DD MONITOR

(57) Abstract: This object aims to provide a diagnostic system for a bearing, configured to allow a manager to intuitively understand a failure condition of a rotation bearing or a slide bearing set at a slow rotation machine installation and to reliably diagnose the failure. A diagnostic system (10) for a bearing in a rotation machine installation is provided with a damage occurrence detection sensor (20) set on a fixed member of the bearing, a monitoring diagnostic device (30) connected with the sensor, and a diagnosis notification means (40) that displays an abnormality occurrence condition by a percentage. The monitoring diagnostic device (30) is comprised of a memory (37) that stores measurement data detected by the sensor, a standard level calculation unit (50) that calculates a level of the abnormality judgment standard, and a judgment unit (59) that equally divides one rotation time of a continuous rotation of a spindle supported by the bearing or one rotation time by an intermittent operation of the spindle into a plurality of sections, compares the extraordinary judgment standard level with the measurement data of each section, and judges whether or not there is an abnormality situation for every section.

(57) 要約: 低速回転機械設備に取り付けられた転がり軸受またはすべり軸受

の故障の状態を管理者に直感的に把握させると共に、確実に故障診断を行う。回転機械設備における軸受の診断システム10であって、軸受の固定部材に取り付けら

/ 続葉有 /

WO 2009/096551 A1



〒6638202 兵庫県西宮市高畑町 3 番 4 8 号 J F E ア
ドバンテック株式会社内 Hyogo (JP).

SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(74) 代理人: 大和田和美 (OWADA, Kazumi); 〒5300047 大
阪府大阪市北区西天満 1 丁目 1 1 番 2 0 号 イトーピ
ア西天満ソアーズタワー 1 1 0 2 号 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM,
KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE,

(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, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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,
SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

れる損傷発生検出用のセンサ 20 と、センサと接続した監視診断装置 30 と、異常発生状態を百分率で表示する診
断通知手段 40 とを備え、監視診断装置 30 は、センサで検出された計測データを記憶する記憶部 37 と、異常判
定基準レベルを算出する基準レベル演算部 50 と、軸受支持された回転軸の 1 回転時間または間欠動作で 1 回転す
る該間欠動作時間を複数区間に等分割し、異常判定基準レベルと各区間の計測データとを比較して、区間毎に異常
の有無を判定する判定部 59 とを備えている。

明 細 書

軸受の診断システム

技術分野

- [0001] 本発明は、軸受の診断システムに関し、特に、回転機械設備に用いられる軸受の異常の状態を管理者が直感的に把握することができるものである。詳しくは、軸受の状態を監視するセンサの信号において、軸受の異常や損傷を示す信号成分が小さいがために、外乱による信号と見分けがつかないような場合でも、的確に軸受の状態を評価できるようにしているものである。

背景技術

- [0002] 一般的に産業用プラントにおいては多数の回転機械設備が用いられており、設備効率を最大限に活用するために回転機械設備の保守管理が行われている。その保守管理においては、その故障頻度が高くかつ影響が大きい転がり軸受やすべり軸受の状態監視が最も重要視されている。

通常、おおよそ100rpm以上の回転速度で運転している回転機械設備においては、運転状態の振動信号や音信号の計測による軸受の状態監視に代表される設備状態の定量化が行われている。

- [0003] 例えば、転がり軸受の状態を診断するために、振動センサを軸受のハウジングに取り付け、その振動波形から転がり軸受の損傷を検出する技術が利用されている。

図22は、外輪に損傷が発生した転がり軸受の振動波形を示すものである。該図22に示すように、転動体が外輪の損傷部位を通過する度に振動振幅が変調を受ける様子を明確に観察できる。

しかし、回転数が100rpm以下のような低速回転機械では、損傷によって発生する振動が微小であるために、このような振動が軸受の回転によって発生する振動や軸受周辺で発生する他の要因による外乱振動に埋没してS/N比が非常に悪くなる。そのため、単純に振幅変調を検出する方法では軸受の状態を診断することができない。

このため、従来より、SN比を向上させかつ確実に軸受の状態監視を行うための手

法として、振動信号に特殊な信号処理を行いSN比を向上させる方法や、AE（アコースティックエミッション）信号の計測による診断手法が提案されている。

- [0004] 例えば、特開平6-323899号公報（特許文献1）においては、低速回転機械の振動を軸受部で検出し、振動検出信号をバンドパスフィルタ処理して軸受損傷時の周波数領域のスペクトラムのパワーが増加する異常状態を表す固有帯域成分を抽出し、この固有帯域成分の波高率を算出し、算出した波高率のさらに波高率を算出し、予め設定した閾値と比較して低速回転機械の異常診断を行う方法が提案されている。

ノイズによるピーク値にそれほどばらつきがなく、軸受損傷による突発波形の表れる周期はノイズによるものより長いことに着目して前記波高率を算出することで、ノイズを平坦化してレベルを低下させ、損傷による信号成分のピーク値を際立たせている。

- [0005] また、振動信号を用いた他の診断手法として、振動時間波形をべき乗処理し閾値を越えたものをイベント（異常）としてカウントし、例えば1時間あるいは1日あたりなど一定時間間隔でのカウント数の増減や、1回転あたりでのカウント数の増減を監視することで軸受の異常を定量化する手法などがある。

- [0006] さらに、AE信号の計測による診断として、AE信号の1回の発生を1イベントとしてカウントし、例えば1時間あるいは1日あたりなど一定時間間隔でのカウント数の増減や、1回転あたりでのカウント数の増減を監視することで軸受異常を定量化する手法がある。また、AE信号の1回の発生を1イベントとしてイベントの持続時間を積算し、例えば1時間あるいは1日あたりなど一定時間間隔でのイベント積算時間の増減や、1回転あたりでのイベント積算時間の増減を監視することで軸受の異常を定量化する手法などもある。

- [0007] しかし、AE信号あるいは振動信号のカウントや積算時間から軸受の異常を監視する場合、回転機械設備の管理者は、モニタ等の警告手段に表示されるカウント数や積算時間結果を見て、数値そのものからは軸受の故障の状態を直感的に把握できないという問題点を有している。

- [0008] さらに、AE信号を閾値と比較して軸受の異常を監視する方法においては、AE信号は非常に微小な設備状態変化も検出可能である一方、敏感に反応するため、異

常とはいえない状態であっても異常であると判定する過検出も多く、計測や診断において取り扱いが難しいという問題点を有している。

また、イベントの発生(異常発生)を判断するための基準値は、通常、回転機械設備の初期調整期間に採取された正常時の信号を基準とし、該データから算出した固定値とする場合が多い。このように基準値を固定値として、基準値と信号を比較して軸受等の故障診断を行う場合、回転機械設備の回転数が変化して負荷変動が生じると信号レベルが変化してしまい、正しくイベントの判定ができずに誤動作を誘発するという問題点を有している。

[0009] さらにまた、複数回転以上連続で回転する設備ではなく、例えば鉄鋼設備のひとつであるレードルターレットのように、1回の運転動作が1回転に満たず、かつ、該動作を繰り返し行う間欠運転設備の場合、1回の測定で1回転分のデータが得られないため異常状態の定量化が困難であるという問題点を有している。

[0010] さらに、AE信号あるいは振動信号等の時間波形データをFFT演算し、該周波数分析結果から軸受に異常が発生する周期を検出する場合、100rpm以下のような低速回転設備においては扱うデータ量が膨大なものとなり一般的な解析装置においては解析が困難である。

[0011] 例えば、1000rpmの中高速の回転設備においては、1回転に1回発生する軸受の異常周期時間は約60msecであり複数回転分のデータ取得を考えると1秒程度の計測で周期検出は可能となる。

しかし、低速回転の場合、その異常の発生する周期は回転数が低くなるにつれ長くなるため、1rpmの回転設備において1回転に1回発生する軸受の異常周期時間は約60secであり、複数回転分のデータ取得を考えると1000秒程度の計測を行う必要がある。

さらに、0.1rpmの回転設備の場合は、1回転に1回発生する軸受の異常周期時間は約600秒であり、複数回転分のデータ取得を考えると10000秒程度の計測が必要となる。

[0012] 通常、軸受異常検出を目的とした時間波形データ計測の場合、検波処理後の波形を用いて計測を行うため、そのサンプリング周波数は1kHz～3kHzで行われている。

サンプリング周波数を1kHzとした場合、前記各回転数の場合に必要なデータ数は、1000rpmの場合は1000データでよいが、1rpmの場合1000000データ、0.1rpmの場合10000000データとなる。これらのデータ数からデータ容量を概算すると1000rpmの場合2kByte、1rpmの場合2MByte、0.1rpmの場合20MByteと膨大なデータ容量となり、高度な処理能力を持つ解析装置が必要となると共に、解析にも時間がかかるという問題がある。

- [0013] さらに、特許第3920715号公報(特許文献2)では、採取した振動信号をあらかじめ設定した時間間隔で分割し、その分割区間毎に振動信号の周波数を解析してパワースペクトルを求め、パワースペクトルの総パワー値から軸受の正常箇所の信号と異常箇所の信号を識別して、S/N比を向上させる信号処理方法が開示されている。

前記の信号処理方法では、異常箇所の振動の方が正常箇所の振動よりも総パワー値が大きくなることに着目し、総パワー値の大きい分割区間を取り除いた残りの分割区間における平均パワースペクトルを正常箇所のパワースペクトルとみなして、この平均パワースペクトルと分割区間毎のパワースペクトルとの比を求めて異常振動を検出するものである。

- [0014] しかしながら、特許文献2の異常診断の検出方法では、ある分割区間において、不規則に発生する外乱振動が振動波形の大部分を占める場合、その区間のパワースペクトルの総パワー値も大きくなる。そのため、必ずしも、総パワー値の大きな区間が軸受の異常箇所の振動に対応するとは限らない。その結果、外乱振動を軸受の異常箇所の振動と誤認識する可能性がある。

- [0015] 特許文献1:特開平6-323899号公報

特許文献2:特許第3920715号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0016] 本発明は、前記問題に鑑みてなされたもので、回転機械設備に取り付けられた転がり軸受やすべり軸受の故障の状態を管理者に直感的に把握させると共に、多量の測定データを記憶しなくても確実に故障診断を行うことを課題としている。

かつ、外乱信号が大きく、軸受の異常や損傷を示す信号成分のS/N比が非常に低い場合であっても、的確に軸受の状態を故障診断を行えるようにすることを課題としている。

課題を解決するための手段

[0017] 前記課題を解決するため、第1の発明として、回転機械設備における軸受の診断システムであって、

前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、
前記センサと接続した監視診断装置と、
前記監視診断装置と接続し、異常発生状態を百分率で表示する診断通知手段と、
を備え、
前記監視診断装置は、
前記センサで検出された計測データを記憶する記憶部と、
前記記憶部で記憶された計測データに基づき、異常判定基準レベルを算出する基準レベル演算部と、

前記軸受支持された回転軸の1回転時間または間欠動作で1回の該間欠動作時間を複数区間に等分割し、前記異常判定基準レベルと前記各区間の計測データとを比較して、区間毎に異常の有無を判定する判定部とを備えていることを特徴とする軸受の診断システムを提供している。

前記軸受支持された回転軸の1回転時間または1回の間欠動作時間は、百分率で表示するために100区間に分割している。

[0018] 本発明の軸受診断システムによれば、回転する設備の軸受支持された回転軸の1回転または間欠運転設備の1回の間欠動作に必要な時間を100区間に分割し、区間毎にイベントの発生(異常発生)を診断して転がり軸受に異常が発生した区間数を演算している。このため、該異常発生 of 区間数は1回転時間または1間欠動作時間に対する軸受異常状態の時間(広さ)を百分率で示したものとなり、設備の管理者は異常が発生した区間数を見て、1回転時間または1間欠動作時間あたりに軸受の異常状態の占める時間を直感的に認識することができる。

[0019] また、従来技術のようにAE(アコースティックエミッション)などの信号の異常発生 of

カウントや異常発生時間の積算値を用いて異常判定を行うと、連続AE発生現象などによって異常とはいえない状態であっても異常であると判定する過検出となることがあるが、本発明では1回転時間または1間欠動作時間を複数区分に分割して異常が発生した区間の数により転がり軸受の異常を判定しているため、過検出を抑制することができる。

[0020] 前記軸受支持された回転機械設備の回転軸の回転数は0.1rpm以上300rpm以下が好ましく、より好ましくは0.1rpm以上150rpm以下であり、さらに好ましくは0.1rpm以上100rpm以下である。

また、前記軸受は転がり軸受またはすべり軸受であることが好ましい。

さらに、前記センサは、軸受ハウジングに固定される振動加速度ピックアップ、アコースティックエミッション(AE)、超音波センサ、音検出センサのいずれかであることが好ましい。

[0021] 前記監視診断装置の基準レベル演算部では、前記軸受支持された回転軸の1回転または1間欠動作毎に、前記異常判定基準レベルを前記記憶部で記憶した計測データの平均値の定数倍に設定している。

このように、異常判定基準レベルを軸受支持された回転軸の1回転または1間欠動作毎に設定しているので、軸受が取り付けられた回転機械設備の回転数や負荷が変化する場合であっても、該回転数や負荷に合わせた軸受の故障の判定を行うことができる。

[0022] 前記監視診断装置の判定部では、

異常が発生した区間の数である診断判定パラメータを算出する診断パラメータ演算部と、

前記診断判定パラメータと予め定めた異常判定基準を比較して、異常の有無を判定する簡易診断判定部を備えていることが好ましい。

[0023] 診断パラメータ演算部で診断判定パラメータを演算し、診断判定部で該診断判定パラメータと異常判定基準値を比較している。1回転時間または1間欠動作時間あたりに軸受の異常状態の占める時間が異常判定基準値を超えている場合には、軸受が故障していると診断することができる。

- [0024] 前記監視診断装置の判定部では、異常判定された区間が2～10内の設定個数の連続した隣接区間である場合のみ異常区間とし、前記設定個数未満の区間の異常判定はノイズとして除去する異常発生区間連続判定部を備えていることが好ましい。
- [0025] 転がり軸受に故障が発生するときには、1区間だけに異常が発生するのではなく連続して複数区間で異常が発生すると考えられる。このため、隣接区間の連続性を評価し、異常判定された区間が隣接する個数が設定個数未満の区間は、異常が発生した区間数の合計値から除外することで、測定データに含まれる突発性のノイズを除去し、該ノイズによる故障の誤判定を防ぐことができる。
- [0026] さらに、前記監視診断装置の判定部は、複数回転分または複数間欠動作分の前記診断判定パラメータの平均化を行う平均化処理部を備えていることが好ましい。
- 診断判定パラメータを平均して用いることで、測定データに含まれるノイズを除去し、該ノイズによる故障の診断の誤判定を防ぐことができる。
- [0027] 前記診断判定パラメータと比較する前記異常判定基準は、注意レベル、危険レベル等の複数レベルで設定していることが好ましい。
- 異常判定基準を複数設け、注意レベル、危険レベルの各レベルと診断判定パラメータを比較することにより異常発生 of 診断を行うことで、より詳細に軸受の故障の診断を行うことができる。
- [0028] また、前記監視診断装置の判定部は、複数回転分または複数間欠動作分の異常判定結果テーブルの異常周期基準位置をずらして各区別の異常発生 of 判定結果の一致度を算出し、最も一致度が高くなる異常周期基準位置を検索して、前記異常周期基準位置から異常周期を自動で算出する同期検索処理部を備えていることが好ましい。
- [0029] 同期検索処理部は、異常周期基準位置を徐々にずらして、該異常判定結果テーブルを元に補正テーブルを作成する。異常周期基準位置毎に該補正テーブルの区間別の異常発生 of 判定結果の一致度を算出し、最も一致度が高くなる補正テーブルでの異常周期基準位置を検出している。このように定めた異常周期基準位置から軸受に異常が発生する異常周期を算出している。
- [0030] さらに、本発明は、外乱信号が大きく、軸受の異常や損傷を示す信号成分の S/N

比が非常に低い場合であっても、的確に軸受の状態を故障診断を行えるようにした、下記の第2の発明および第3の発明を提供している。

- [0031] 第2の発明は、回転機械設備における軸受の診断システムであって、前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、前記センサと接続した監視診断装置と、前記監視診断装置と接続し、診断結果を表示する診断通知手段と、を備え、前記監視診断装置は、前記センサで検出された信号波形を記憶する記憶部と、前記記憶部で記憶した信号波形の演算部を備え、前記演算部は、前記信号波形を軸受の回転速度に応じて $j=1, 2, \dots, n$ に分割する手段と、前記分割された分割区間毎に周波数スペクトル $F_{jk}(j=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, m)$ を求める手段と、周波数スペクトルのうち所定の周波数範囲のスペクトル和 $S_j(j=1, 2, \dots, n)$ を求める手段と、前記スペクトル和 S_j を時系列に並べた波形信号 S_x を作成し、その波形信号 S_x の周波数スペクトル S_s を求める手段と、前記スペクトル波形 S_s の尖り度 K_s を求める手段を備え、前記尖り度 K_s を求めたスペクトル波形を前記診断通知手段で表示することを特徴とする。

- [0032] 第3の発明は、回転機械設備における軸受の診断システムであって、前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、前記センサと接続した監視診断装置と、前記監視診断装置と接続し、診断結果を表示する診断通知手段と、を備え、前記監視診断装置は、

前記センサで検出された信号波形を記憶する記憶部と、
前記記憶部で記憶した信号波形の演算部を備え、
前記演算部は、
前記信号波形にバンドパスフィルタを施す手段と、
前記バンドパスフィルタ通過後の信号波形を軸受の回転速度に応じて $j=1, 2, \dots$
 $, n$ に分割する手段と、
前記分割された分割区間毎に信号のrms値 RMS_j ($j=1, 2, \dots, n$)、あるいは等価ピーク値 P_j を求める手段と、
前記rms値 RMS_j ($j=1, 2, \dots, n$)、あるいは等価ピーク値 P_j を時系列に並べた波形信号 S_y を作成し、その波形信号 S_y の周波数スペクトル S_i を求める手段と、
前記スペクトル波形 S_i の尖り度 K_i を求める手段を備え、
前記尖り度 K_i を求めたスペクトル波形を前記診断通知手段で表示することを特徴とする。

[0033] 前記第2の発明および第3の発明は、振動センサ等で検出した波形信号から尖り度を求め、該尖り度で異常発生状況を示し、該異常が突発的な外乱振動であるか、軸受の損傷によるものか判断できるようにしている。

即ち、振動センサで検出される波形信号の周波数スペクトルが特定の周波数にピークを有する度合いを表す指標として、尖り度を用いる。正規分布では尖り度の値は小さくなり、正規分布よりも尖った形を持つ分布であればあるほど尖り度の値は大きくなる。それ故、尖り度が高い場合は、周期性を持った振動が発生していることを示すことになる。よって、尖り度が高い場合には軸受の損傷によって発生した振動が含まれていることを示す。逆に、尖り度が低い場合は、その振動は突発的な外乱振動であるから、軸受損傷とは別の要因で発生したものと判断することができる。

[0034] 前記第1～第3の発明のいずれの発明においても、

軸受機器情報及び／または回転数情報から演算され、異常原因毎に値が異なる計算異常発生周期または該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記同期検索処理部、あるいは前記演算部で算出される異常周期とを比較し、前記計算異常発生周期または前記計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期の一致度が高い場

合に、該計算異常発生周期に対応する原因による異常が前記軸受に発生していると診断する判定部を備えていることが好ましい。

前記異常原因は、転がり軸受の場合、内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷の少なくとも一つであり、

すべり軸受の場合、1回転または1間欠動作に1回または複数回発生する回転軸の異常な金属接触である。異常な金属接触とは、具体的には、回転軸の異常振動による回転軸の金属接触、すべり軸受の油膜異常による回転軸の金属接触などである。

[0035] 異常発生周期は異常原因毎に異なっており、転がり軸受の場合、軸受機器情報や回転数情報から各異常原因に応じた異常発生周期を演算する。また、すべり軸受の場合には、軸接触により回転数に応じた異常発生周期となる。演算した計算異常発生周期または該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期とを比較し、ほぼ一致する場合には、該計算異常発生周期に対応する異常原因が軸受に発生していると診断する。

このように、各異常原因に応じた異常発生周期を演算し、計算異常発生周期または該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期とを比較することで、軸受に発生する異常原因を特定することができる。

[0036] 前記センサと監視診断装置と診断通知手段を組み合わせた可動型、または前記監視診断装置に対して前記診断通知手段は無線接続して携帯型としていてもよい。

転がり軸受の診断システムを可動型とすることで該診断システムを持ち運ぶことができ、診断対象となる転がり軸受にセンサを取り付けて転がり軸受の故障を診断することができる。

また、監視診断装置と診断通信手段は無線接続することで、管理者は診断通信手段を携帯して低速回転機械設備の状態を知ることができる。

発明の効果

[0037] 前述したように、第1の発明の軸受の診断システムによれば、回転する設備の軸受支持された回転軸の1回転または間欠運転設備の1動作に必要な時間をおよそ100区間に分割し、区間毎に異常の発生を診断して異常が発生した区間数を演算している。このため、該異常発生 of 区間数は1回転時間または1間欠動作時間に対する軸

受異常状態の時間(広さ)を百分率で示したものとなり、設備の管理者は異常が発生した区間数を見て、1回転時間あたりに軸受の異常状態の占める時間を直感的に認識することができる。

[0038] また、判定部は複数回転分または複数間欠動作分の各区間の異常発生の判定結果である異常判定結果テーブルから異常周期基準位置を徐々にずらして補正テーブルを作成し、最も一致度が高くなる異常周期基準位置を検出し、該異常周期基準位置から軸受に異常が発生する異常周期を算出している。異常発生周期は異常原因毎に異なっており、異常原因毎に演算される計算異常発生周期、または、該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期とを比較することで、軸受に発生する異常原因を特定することができる。

[0039] 第2および第3の発明によれば、センサで検出された信号波形を、尖り度を有するスペクトル波形で表示することにより、異常発生状況を視覚的に表示できる。

これにより、回転機械から発生する信号の周期性を定量的に評価することによって、突発的に発生する外乱信号に軸受の異常や損傷を示す信号が埋没しても、軸受の状態を評価することができる。その結果、低速回転機械のように信号のS/N比が非常に低い場合であっても、軸受の異常を検出することができる。

また、信号を小区間に分割し、その分割区間におけるrms値や等価ピーク値から軸受の状態を判断することができるので、rms値演算回路や等価ピーク演算回路を利用して本発明を実現することができる。その結果、データ処理装置に大容量のデータ記憶手段や高速演算ユニットが不要になる。さらに、転がり軸受の異常発生原因を診断判定することができる。

図面の簡単な説明

[0040] [図1]本発明である転がり軸受診断システムの第1実施形態を示す構成図である。

[図2]監視診断装置の構成を示すブロック図である。

[図3]CPUの動作を示すブロック図である。

[図4]1回転時間を100区間に分割し、区間毎に測定データを異常判定基準レベルと比較して異常発生を診断する動作の説明図である。

[図5]異常判定結果テーブルの例である。

[図6]異常発生区間の連続性判定の説明図である。

[図7]異常発生区間の連続性判定時の判定前と判定後の修正テーブルの説明図である。

[図8]診断判定パラメータ決定値を求める説明図である。

[図9]回転時間と異常発生周期または異常発生周期の m 倍が異なる場合の補正テーブルの作成の説明図である。

[図10]補正テーブルが元のテーブルのどの区間から構成されているかを示した図である。

[図11]回転時間と異常発生周期または異常発生周期の m 倍が同じ場合の補正テーブルの作成の説明図である。

[図12]総合一致度を求める説明図である。

[図13]転がり軸受の構造の説明図であり、(A)は断面図、(B)は(A)の垂直方向の部分断面図である。

[図14]第2実施形態を示す監視診断装置のブロック図である。

[図15]第3実施形態を示す軸受診断システムの構成図である。

[図16]第3実施形態の変形例を示す軸受診断システムの構成図である。

[図17]第4実施形態を示す監視診断装置のブロック図である。

[図18]第5実施形態を示す監視診断装置のブロック図である。

[図19](A)(B)は従来の診断装置で得られた軸受の振動波形を示すグラフである。

[図20](A)(B)(C)は第4実施形態で得られた軸受けの尖り度 K_s 、 K_i を示すグラフである。

[図21]第4実施形態で得られた周波数スペクトル S_s を示す図である。

[図22]従来例を示すグラフである。

符号の説明

- [0041] 10 転がり軸受診断システム
- 11a 転がり軸受
- 20 損傷発生検出用センサ
- 21 回転計

- 30 監視診断装置
- 40 モニタ
- 50 時間データ記憶処理部
- 51 診断パラメータ演算部
- 54 平均化処理部
- 55 簡易診断判定部
- 56 同期検索処理部
- 57 原因診断処理部
- A、Ax 診断判定パラメータ
- E 異常判定基準レベル
- T1 診断パラメータ演算部で作成された異常判定結果テーブル
- T2 異常発生区間連続判定部で作成された異常判定結果テーブル
- Ta 補正テーブル
- Tx 計算異常発生周期
- Ba 異常周期
- 61 振動センサ
- 62 転がり軸受ユニット
- 63 増幅器
- 64 A/D変換器
- 65、67 演算処理装置
- 66 出力装置
- 71 記憶装置
- 72 波形分割手段
- 73 周波数スペクトル演算手段
- 74 周波数スペクトル和演算手段
- 75 周波数スペクトル和の波形信号作成手段
- 76 波形信号の周波数スペクトル演算手段
- 77 周波数スペクトルの尖り度演算手段

78 異常原因の判定手段

81 rms値演算手段

82 rms値の波形信号作成手段

発明を実施するための最良の形態

[0042] 本発明の実施形態を図面を参照して説明する。

図1乃至図13に前記第1の発明の第1実施形態を示す。

本発明の回転機械設備の軸受診断システム10は、鉄鋼設備の工場内に設置する回転機械設備11のひとつである低速回転モータの転がり軸受11aの状態を診断するものとしている。

図1に示すように、診断システム10は、複数回転以上連続して回転する低速回転機械設備11の転がり軸受11aに損傷発生検出用センサ20を搭載しており、該損傷発生検出用センサ20と接続した監視診断装置30と、該監視診断装置30と接続した診断通知手段を構成するモニタ40と、該モータの回転数を計測する回転計21を備えている。

[0043] 損傷発生検出用センサ20はアコースティックエミッションを検出するAEセンサからなり、基礎架台11b上に設けた低速回転モータ11cの軸受ハウジング11dにネジ止め固定している。また、回転計21は負荷側軸受架台11eに取り付けている。なお、損傷発生検出用センサ20の取り付け位置は前記位置に限定されるものではない。

また、回転計21は取り付けず、モータの回転数情報を予め監視診断装置30のマイコン34に記憶させておいてもよい。さらにまた、損傷発生検出用センサ20に替えて振動を検出する振動加速度ピックアップ、超音波センサ、音検出センサを用いてもよい。

[0044] 監視診断装置30は、図2に示すように、信号増幅回路31と、フィルタ回路32と、検波回路33と、マイコン34を備えている。

信号増幅回路31は損傷発生検出用センサ20で計測された信号を増幅するアンプである。

フィルタ回路32は、信号増幅回路31で増幅された信号からノイズ成分を除去するバンドパスフィルタであり、振動加速度ピックアップの場合、1kHz～20kHzの帯域を

通過させるフィルタとしている。なお、AEセンサを用いている場合には、50kHz～500kHzの帯域を通過させるフィルタとする。

検波回路33は、フィルタ回路32でノイズ除去された信号を検波(エンベロープ処理)している。なお、信号によっては、検波回路33を設けない場合もあり、また、振動信号の場合、検波ではなくべき乗処理を行う場合もある。

[0045] マイコン34はCPU35とROM36、RAM37、ポート38からなる。

マイコン34のポート38は検波回路33からの信号を所定のサンプリング周期でA/D変換している。

ROM36、RAM37は記憶部を構成しており、RAM37はCPU35で演算される異常判定結果テーブルを記憶すると共に、CPU35で演算されるデータを一時的に記憶している。ROM36はCPUの動作をソフトウェアとして記憶している。

CPU35は、図3に示すように、基準レベル演算部50と判定部59を備え、判定部59は、診断パラメータ演算部51と、異常発生区間連続判定部52と、平均化処理部54と、簡易診断判定部55と、同期検索処理部56と、原因診断処理部57の各部を備えている。CPU35はROM36からソフトウェアを読み出して実行することで各部の動作を行う。

[0046] 基準レベル演算部50は、回転計21からモータの回転数情報を受け取り、モータの1回転に必要な時間(1回転時間)を算出している。かつ、ポート38から出力される時間データを、モータの1回転以上分の時間長分、RAM37に記憶させている。

なお、回転計21を設けず、基準レベル演算部50にモータ11cの回転数情報を予め記憶し、該回転数情報を用いて1回転時間を算出してもよい。

[0047] 基準レベル演算部50は、異常判定基準レベルEの演算を行っている。まず、RAM37に記憶された時間データである1回転時間長データの平均値を式(1)より求める。

次に、異常判定基準レベルEを式(2)より求める。本実施形態ではmを4としているが、計測対象に合わせて2.0以上10.0以下としてもよい。

1回転平均値 = 1回転分時間長データの合計 ÷ 1回転分時間長データ数 式(1)

異常判定基準レベルE = 1回転平均値 × m 式(2)

[0048] さらに、診断パラメータ演算部51では、図4に示すように、1回転時間を1/100の等間隔に分割し、各区間を区間No. 1～区間No. 100とする。1回転時間長分データを計測された時間順に区間No. 1～区間No. 100の区間に振り分ける。

次に、区間No. 1～区間No. 100の各区間に振り分けられたデータに異常判定基準レベルEを越えたデータがあるかを判定する。例えば図4において、区間No. 6、7、8はデータが異常判定基準レベルEを超えているので、異常発生区間である。

[0049] 異常判定基準レベルEを越えたデータがある区間を異常発生区間Yとした異常判定結果のテーブルT1を1回転ごとに作成する。図5は異常判定結果テーブルT1の例であり、直近から9回転前までのモータの回転について、区間毎に異常が発生したか否かを示している。

さらに、1回転時間内で異常発生区間の区間数合計値を算出し、診断判定パラメータAとする。即ち、診断判定パラメータAは1回転時間長内の異常発生区間(Y)数である。

[0050] 異常発生区間連続判定部52は、診断パラメータ演算部51で求めた異常判定結果のテーブルT1より、異常が連続して発生している区間を検出している。例えば、図6に示すように、区間No. 6～No. 8は3区間連続して異常が発生しており、連続発生区間数は3である。また、区間No. 11～No. 14は連続発生区間数が4である。一方、区間No. 98は異常が発生している区間であるが、隣接する区間No. 97、99は異常が発生しておらず、連続発生区間数は1である。

[0051] このように異常連続発生区間を検出した後、異常発生区間連続判定部52は、図7に示すように、連続発生区間数が連続性判定区間数k未満の区間は異常が発生していない(N)とし、異常発生区間数の合計値(診断判定パラメータA)から除外する。図7では、k=4とし、連続発生区間数が3以下の場合には異常が発生していないものとしている。なお、連続性判定区間数kは2～10の中から選択してもよい。

異常発生区間連続判定部52は、1回転毎に連続性を判定して修正された異常判定結果テーブルT2を作成し、RAM37に記憶させる。

[0052] 平均化処理部54は、直近n回転分の修正異常判定結果テーブルT2を用いて、図8に示すように、回転毎に異常が発生した区間数である診断判定パラメータAnを求

めている。

さらに、直近 n 回転分の診断判定パラメータ A_n の平均を式(3)より求め、診断判定パラメータ決定値 A_x としている。図8では $n=8$ として直近8回転分の診断判定パラメータ A_n の平均を求めているが、 n は1～16のいずれかの値であつてもよい。

[数3]

$$A_x = \left(\sum_{n=1}^n A_n \right) \div n \quad \dots \text{式(3)}$$

[0053] 診断判定パラメータ決定値 A_x は、平均を1回転ごとに行うと共に移動平均値としている。即ち、図8に示すように、2回転前の異常判定結果のテーブルを平均化処理部54が受け取ったときには、9回転前から2回転前の診断判定パラメータ A_n から診断判定パラメータ決定値 A_{x1} を求め、1回転前のテーブルを受け取ったときには、8回転前から1回転前の診断判定パラメータ A_n から診断判定パラメータ決定値 A_{x2} を求め、直近のテーブルを受け取ったときには、7回転前から直近の診断判定パラメータ A_n から診断判定パラメータ決定値 A_{x3} を求めている。

[0054] 簡易診断判定部55は、注意レベル判定基準値を例えば5、危険レベル判定基準値を例えば15とし、予め記憶している。1回転毎に診断判定パラメータ決定値 A_x を判定基準値と比較し、診断判定パラメータ決定値 A_x が各判定基準値よりも大きい場合には転がり軸受11aに注意レベル、危険レベルの故障が発生していると判定している。

簡易診断判定部55は、モニタ40に判定結果を表示している。

[0055] 次に、転がり軸受11aの異常原因の特定について説明する。

簡易診断判定部55で注意レベル、危険レベルの故障が発生していると判定した場合には、同期検索処理部56及び原因診断処理部57において、転がり軸受11aの異常原因の特定を行っている。

同期検索処理部56及び原因診断処理部57は転がり軸受11aの異常として、内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷を特定する。転がり軸受11aが損傷すると、詳細は後述するが、損傷箇所によって異なる周期(異常発生周期)で異常が発生する。同期検索処理部56は異常判定結果テーブルT2を用いて、回転機械の回転周期に最も近い異常周期 B_m を求め、原因診断処理部57は該異常周期 B_m と異常発生周期との関係から故障原因の特定を行っている。

[0056] 同期検索処理部56及び原因診断処理部57の動作の詳細について説明する。

同期検索処理部56は、異常周期基準位置を自動で検出して異常周期 B_m を決定している。異常周期 B_m は、転がり軸受11aの損傷により異常が発生する異常発生周期を m 倍した周期であり、 m の値は異常周期 B_m が回転機械の回転周期に最も近くなるような値である。異常周期 B_m は回転機械の回転周期と同期するとは限らず、異常周期 B_m は回転機械の回転周期と同じ周期となる場合もあるが、ならない場合もある。

異常周期 B_m の求め方について、以下に説明する。

まず、平均化処理部54で求めた異常判定結果テーブルT2を用いて補正テーブルTaを作成する。

診断パラメータ演算部51では、異常判定結果テーブルT2を回転周期を区切る回転周期基準位置を基準として100区間となるように作成しており、まず、異常周期 B_m が過去方向に異常判定結果テーブルT2より1区間分長い101区間の期間であると仮定した場合に、区間数が100の補正テーブルTaを作成する。

[0057] 図9に示すように、異常判定結果テーブルT2-0からテーブルT2-4までを並べ、直近のテーブルT2-4の区間No. 100を基準として、過去方向に異常周期 B_m ごとに区切っていく。異常周期 B_m は101の区間と仮定しているため、過去方向にテーブルT2-4の区間No. 100からテーブルT2-3の区間No. 100までの101区間が異常周期 B_mA 、テーブルT2-3の区間No. 99からテーブルT2-2の区間No. 99までの101区間が異常周期 B_mB 、テーブルT2-2の区間No. 98からテーブルT2-1の区間No. 98までの101区間が異常周期 B_mC 、テーブルT2-1の区間No. 97からテーブルT2-0の区間No. 97までの101区間が異常周期 B_mD となる。

[0058] ここで、異常周期基準位置をテーブルT2-4の区間No. 100、テーブルT2-3の区間No. 99、テーブルT2-2の区間No. 98、テーブルT2-1の区間No. 97とすると共に、これら異常周期基準位置を補正テーブルTaの100区間目とし、異常周期基準位置から過去方向に100区間分を取り出し、異常周期BmA、BmB、BmC、BmDの補正テーブルTa-4~Ta-1とする。このとき、例えばテーブルT2-3の区間No. 100等は補正テーブルTaには入らない。

[0059] 図10は補正テーブルTa-4~Ta-1が元のテーブルT2のどの区間から構成されているかを示した図である。図9は図10の検索区間差が1の場合である。同様に、回転時間が過去方向にテーブルT2の2区間分または3区間分長く102、103区間と仮定した場合、即ち、図10の検索区間差が2または3の場合についても、それぞれ補正テーブルTaを求める。また、図10には検索区間差が3までしか記載されていないが、検索区間差を0~10に設定してそれぞれ補正テーブルTaを求める。なお、検索区間差を0~20に設定してもよい。

なお、検索区間差0とは元のテーブルT2と補正テーブルTa-4~Ta-1が同じである場合であり、図11のように回転周期と異常周期Bmが一致する場合を示している。

[0060] 次に、このように求めた検索区間差が0~10の補正テーブルTaそれぞれにおいて、総合一致度hを算出する。

総合一致度hは以下のように求めている。

まず、直近4回転分の補正テーブルTa-4~Ta-1において、同一区間No. 間で異常が発生した数である異常発生判定数を求める。例えば、図12の区間No. 3においては、補正テーブル1、4で異常が発生しているので、異常発生判定数は2である。

次に、区間毎に、区間No. 別一致度fを式(7)より求める。

jは補正テーブルの数であり、図10では直近4回転分の補正テーブルを用いているので、jは4である。

区間No. 別一致度 $f = \text{異常発生判定(Y)数} \div j \times 100\%$ 式(7)

[0061] さらに、異常が発生した区間の数である異常発生(Y)判定区間数kを求めると共に、区間No. 1~100の区間No. 別一致度fの合計である Σf を求め、式(8)より総合

一致度hを求める。

$$\text{総合一致度 } h = \Sigma f \div k \quad \text{式(8)}$$

- [0062] 検索区間差0～10の場合の補正テーブルTaについてそれぞれ総合一致度hを求め、総合一致度hが最も高い補正テーブルTaを選択する。

選択された補正テーブルTaでの異常周期基準位置から次の異常周期基準位置までを異常周期Bmと定める。

- [0063] 即ち、異常周期Bmは式(9)で求められる区間数となる。1区間当たりの時間Taは1回転時間R÷100で求められるため、異常周期Bmは式(10)となる。これらの演算は全て同期検索処理部56において自動的に行う。

$$\text{区間数 } E_a = \text{選択された補正テーブルTaの検索区間差} + 100 \quad \text{式(9)}$$

$$\text{異常周期 } B_m = 1 \text{区間当たりの時間Ta} \times \text{区間数 } E_a \quad \text{式(10)}$$

- [0064] 原因診断処理部57は、同期検索処理部56で求めた異常周期Bmを用いて、転がり軸受11aの故障の原因の特定を行う。

図13は転がり軸受11aの構造を示し、回転機械のケースに固定される外輪60と、回転機械の軸に固定され外輪と同心に配置されている内輪61と、外輪60と内輪61の間に転動自在に配置される複数の球体の転動体62からなる。

- [0065] 転がり軸受11aの故障の原因として内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷が考えられ、これらに損傷が発生した場合、各損傷毎の異常発生周期は転がり軸受11aの幾何学的寸法により式(11)～式(13)により求められる。即ち、転動体数をZ、転動体直径をd、ピッチ円径をD、転動体62と転走面との接触角を α とし、転がり軸受11aが取り付けられた回転機械の回転周波数をfrとすると、内輪損傷時の異常発生周期Tinは式(11)、外輪損傷時の異常発生周期Toutは式(12)、転動体損傷時の異常発生周期Tballは式(13)で表される。なお、回転周波数frは回転計からの回転数(rpm)を60で割ったものである。

[数11]

$$T_{in} = \frac{2}{Z} \times \left(\frac{D}{D + d \cos \alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \quad \dots \text{式(11)}$$

[数12]

$$T_{out} = \frac{2}{Z} \times \left(\frac{D}{D - d \cos \alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \quad \dots \text{式(12)}$$

[数13]

$$T_{ball} = \frac{d}{D} \times \left(\frac{D^2}{D^2 - d^2 \cos^2 \alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \quad \dots \text{式(13)}$$

[0066] これら異常発生周期 T_{in} 、 T_{out} 、 T_{ball} の s 倍を計算異常発生周期 T_x とし、 s を1～10まで変化させて計算する。即ち、計算異常発生周期 T_x は、 $T_{in} \times s$ の計算結果時間 $T_{in1} \sim T_{in10}$ と、 $T_{out} \times s$ の計算結果時間 $T_{out1} \sim T_{out10}$ と、 $T_{ball} \times s$ の計算結果時間 $T_{ball1} \sim T_{ball10}$ である。

同期検索処理部56で求めた異常周期 B_m と、演算した計算異常発生周期 T_x である $T_{in1} \sim T_{in10}$ 、 $T_{out1} \sim T_{out10}$ 、 $T_{ball1} \sim T_{ball10}$ とを比較する。計算異常発生周期 T_x の値が、異常周期 B_m とほぼ一致する場合には、該計算異常発生周期 T_x に該当する損傷を異常原因と診断し、これら診断結果をモニタに表示する。

具体的には、異常周期 B_m を中心として所定の時間幅を定め、計算異常発生周期

T_x の値が時間幅内にある場合に、該計算異常発生周期 T_x に該当する損傷を異常原因と診断する。例えば、 T_{in10} が異常周期 B_m を中心とした所定の時間幅内にある場合には、内輪に損傷が発生していると診断する。

なお、異常原因は複数存在することもある。例えば、 T_{in10} 及び T_{out8} が異常周期 B_m を中心とした所定の時間幅内にあるときは、内輪及び外輪に損傷が発生していると診断する。

[0067] なお、本実施形態において、回転機械設備11にすべり軸受が取り付けられていてもよい。この場合、回転軸の異常な金属接触などにより異常が発生し、該異常が一回転に1回発生するものとする、計算異常発生周期 T_x は $1/fr$ で求められ、該計算異常発生周期 T_x と異常周期 B_m を比較することで異常原因を診断する。

また、すべり軸受において、1回転に複数回(2～10回)異常が発生する場合も、異常発生周期 T_n を1回転周期/1回転あたりの異常発生回数(p)で求め、異常発生周期 T_n の p 倍と異常周期 B_m を比較することで異常原因を診断する。

[0068] 本発明によれば、低速で回転する設備の転がり軸受11aの1回転または間欠運転設備の1動作に必要な時間をおよそ100区間に分割し、区間毎に異常の発生(異常発生)を診断して異常が発生した区間数を演算している。このため、該異常発生の区間数は1回転時間または1動作時間に対する軸受異常状態の時間(広さ)を百分率で示したものとなり、設備の管理者は異常が発生した区間数を見て、1回転時間あたりに軸受の異常状態の占める時間を直感的に認識することができる。

[0069] また、同期検索処理部56及び原因診断処理部57は、複数回転分または複数間欠動作分の各区間の異常発生の判定結果である異常判定結果テーブルから異常周期基準位置を徐々にずらして補正テーブルを作成し、最も一致度が高くなる異常周期基準位置を検出している。このように定めた異常周期基準位置から軸受に異常が発生する異常周期を算出している。異常発生周期は異常原因毎に異なっており、異常原因毎に演算される計算異常発生周期、または、該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期とを比較することで、一致度が高い計算異常発生周期がある場合には、該計算異常発生周期に対応する異常原因が軸受に発生していると診断することができる。

[0070] 図14に第2実施形態を示す。該第2実施形態は前記第1の発明の実施形態である。

第2実施形態においては、回転設備の1回の運転動作が1回転に満たず、該動作を繰り返し行う間欠運転設備の転がり軸受11aを診断対象としている。

該間欠運転設備の例としては、鉄鋼設備のひとつであるレードルターレットが挙げられる。レードルターレットは1回の動作について1rpmの低速で1/2回転の動作を繰り返している。

図14に示すように、回転計21に変えてリミットスイッチ22をマイコン34と接続している。該リミットスイッチ22により、CPU35は間欠運転設備における動作開始及び動作停止を検知する。

[0071] この場合、CPU35の基準レベル演算部50は、1回の間欠動作時間以上の長さ分、損傷発生検出用センサ20からの信号をRAM37に記憶させる。

また、診断パラメータ演算部51は、RAM37に記憶された1回の間欠動作時間長データの合計をデータ数で除算して1回間欠動作平均値を求めている。該1回間欠動作平均値 $\times m$ から異常判定基準レベルEを求めている。

さらに、1回間欠動作時間を100区間に分割し、区間毎に異常判定基準レベルEと比較して異常判定結果テーブルを作成している。

[0072] 平均化処理部54は、直近j回の間欠動作分の異常判定結果テーブルであって同一の設備動作状態で得られたテーブルを用いて、診断判定パラメータA及び診断判定パラメータA決定値を求めている。

同一の設備動作状態とは、1回の動作で1/2回転し、1/2回転動作をA→B→A→B→A→Bのように繰り返すモータの場合において、Aの動作状態またはBの動作状態をいう。このように、Aの動作状態で得られたテーブル同士、またはBの動作状態で得られたテーブル同士を用いて所定の処理を行っている。

また、同期検索処理部56においても、同一の設備動作状態で得られたテーブルを用いて、補正テーブルTaを求めている。

[0073] 本発明によれば、間欠運転設備に取り付けられた転がり軸受11aであっても、該異常発生の間欠数を1動作時間に対する軸受異常状態の時間(広さ)を百分率で示し

たものとして、設備の管理者は異常が発生した区間数を見て、1動作時間あたりに軸受の異常状態の占める時間を直感的に認識することができる。

[0074] なお、他の構成および作用効果は第1実施形態と同様のため、同一の符号を付して説明を省略する。

[0075] 図15に第3実施形態を示す。該第3実施形態は前記第1の発明の実施形態である。

第3実施形態の診断システム10は監視診断装置30とモニタ40を組み合わせで一体とし可動型としている。監視診断装置30とモニタ40は例えばラップトップ型パソコンである。

監視診断装置30は損傷発生検出用センサ20と接続しており、損傷発生検出用センサ20は、軸受ハウジング11dにマグネットで取り付けられている。また、損傷発生検出用センサ20に専用治具を装着し、該センサを人が手で軸受ハウジング11dに押し付けて固定してもよい。さらに、軸受ハウジング11dに人が近寄れない場所においては、損傷発生検出用センサ20のみ軸受ハウジング11dに予めネジや接着材で固定しておき、ポータブル型の計測器を該センサに接続し診断してもよい。

該診断システム10を可動型として持ち運び可能とすることで、診断対象である転がり軸受11aまで該診断システム10を持ち運んで異常診断を行うことができる。

なお、他の構成および作用効果は第1実施形態と同様のため、同一の符号を付して説明を省略する。

[0076] 図16は第3実施形態の変形例であり、損傷発生検出用センサ20と監視診断装置30と回転計21を一体型とした診断装置50を転がり軸受11aに固定している。また、監視診断装置30には通信手段を設け、診断通知手段を構成する携帯電話41と無線接続している。診断装置50は、簡易診断判定部55による診断結果を携帯電話41に送信する。

管理者が携帯電話41を携帯することで、回転機械設備11から離れた場所であっても、回転機械設備11の診断結果を受信することができる。

なお、他の構成および作用効果は第1実施形態と同様のため、同一の符号を付して説明を省略する。

[0077] 図17に第4実施形態を示す。第4実施形態は前記第2の発明の実施形態である。

第4実施形態では、回転機械設備の46rpmで回転するロールの片側の転がり軸受ユニット62に振動センサ61を取り付けて軸受の状態を監視している。

振動センサ61の出力信号は増幅器63で所定のレベルに増幅された後、A/D変換器64に送信され、該A/D変換器64の出力信号を演算処理装置65に送信し、該演算処理装置Aをモニタ等の診断通知手段からなる出力装置66に接続している。

[0078] 前記演算処理装置65は、A/D変換器64に接続した記憶装置71、波形分割手段72、周波数スペクトル演算手段73、周波数スペクトル和演算手段74、周波数スペクトル和の波形信号作成手段75、波形信号の周波数スペクトル演算手段76、周波数スペクトルの尖り度演算手段77、異常原因の判定手段78を備えている。

前記A/D変換器64は50kHzのサンプリング周波数にて振動波形を離散化し、演算処理装置65が前記離散波形から尖り度 K_s を計算し、計算された尖り度 K_s を出力装置66によって、過去の計算結果とともに傾向グラフとして表示すると同時に、尖り度 K_s が予め定めたレベルに到達した時に警報を表示するようにしている。

[0079] 演算処理装置65には、あらかじめ状態を監視している軸受ユニット62の回転速度がインプットされており、軸受1回転以上の振動波形を前記記憶装置71に記憶することができる。

前記波形分割手段72は、離散化された振動波形を512点毎に128個の区間($j=1, 2, \dots, 128$)に分けている。50kHzで離散化した振動波形を512点毎に1個の分割区間にしており、1個の分割区間は10.24msecの時間長さを持つことになる。従って、128個の分割区間を合わせると、 $128 \times 10.24\text{msec} = 1.31\text{s}$ 間の振動波形を解析することになり、これは軸受1回転分の振動波形に等しい。

前記周波数スペクトル演算手段73は、アンチエイリアジングフィルタ処理を実施した振動波形に対して、高速フーリエ変換を施して周波数スペクトル F_{jk} ($j=1, 2, \dots, 128, k=1, 2, \dots, 512$)を計算する。

前記周波数スペクトル和演算手段74は、計算した F_{jk} のうち、1kHzから20kHz帯域の周波数スペクトルに相当するスペクトル F_{jk} ($k=11, 12, \dots, 205$)の和 S_j ($j=1, 2, \dots, 128$)を計算する。

前記周波数スペクトル和の波形信号作成手段75でSjを並べて波形信号Sxを作成する。

前記波形信号の周波数スペクトル演算手段76は波形信号Sxの周波数スペクトルSsを計算し、周波数スペクトルの尖り度演算手段が式(14)の計算を行って尖り度Ksを求める。

[0080] [数14]

$$Ks = \frac{n_0 \sum_{i=1}^{n_0} (x_i - x_a)^4}{\left(\sum_{i=1}^{n_0} (x_i - x_a)^2 \right)^2} \quad \text{式(14)}$$

式(14)において、xiは周波数スペクトルSsの各スペクトルを表し、xaはその平均値である。また、 n_0 はxiの個数である。

[0081] 前記異常原因の判定手段78は、あらかじめ軸受ユニット12の転がり軸受の転動体数Z、転動体直径d、ピッチ円径D、転動体62と転送面との接触角 α が入力されており、回転速度と合わせて損傷発生時の異常発生周期を計算している。さらに、波形信号の周波数スペクトル演算手段76が求めた周波数スペクトルSsのピーク周波数fs1、fs2、fs3、… からそれぞれに対応する周期Ts1、Ts2、Ts3、… が所定の時間幅にて異常発生周期と一致する場合は該異常が軸受ユニット12の転がり軸受に発生していると判断する。

[0082] 以下に、前記軸受状態を監視するセンサとして振動センサ61を用いた異常診断作用を説明する。

軸受の状態を示す振動波形を振動センサ61で検出し、検出した振動波形を採取・記憶し、増幅器63、A/D変換器64を介して演算処理装置65に送信する。

演算処理装置65において、記憶部71で記憶し、この記憶した振動波形を波形分割手段72で波形をn個の区間に分割する。ここで、例えば、分割区間の時間長さをt

msecとすれば、分割区関数 n は軸受の回転数に応じて決めることが望ましい。即ち、分割区関数 n を軸受の回転数に応じて設定すれば、軸受の1回転、2回転、3回転、…に相当する時間長の振動波形をほぼ n 等分に分割することができる。

[0083] 転がり軸受の内輪、外輪、転動体、保持器に損傷が発生すると、損傷箇所を転動体が通過する時には異常振動が発生し、損傷箇所を通過しない時には損傷がない正常状態とほぼ同じ振動が発生する。さらに、外乱による振動がこれに加わった場合、前記の分割区間は、(1)正常状態に近い振動が発生する区間、(2)正常状態に近い振動に外乱振動が加わる区間、(3)異常振動が発生する区間、(4)異常振動に外乱振動が加わる区間に大別することができる。

[0084] 前記波形分割手段72で分割された振動波形を、周波数スペクトル演算手段73で、分割区間毎に振動波形の周波数スペクトル F_{jk} ($j=1, 2, \dots, n, k=1, 2, \dots, m$) を求める。

ついで、周波数スペクトル和演算手段74で周波数スペクトル F_{jk} の和を求める。

ついで、周波数スペクトル和の波形信号信号手段7で波形信号を作成する。

[0085] 前記(1)の正常状態に近い振動が発生する区間では周波数スペクトルが最も低く、前記(4)の異常振動に外乱振動が加わる区間では周波数スペクトルが最も高くなる。従って、周波数スペクトルの和を求めると、周波数スペクトル F_{jk} の和の大小によって、その分割区間が異常振動を含むのか、外乱振動を含むのか、両者が混在するのかを判断することができる。

ここで、周波数スペクトル F_{jk} の和を求める時には、特定の周波数域のスペクトルに限定して和を求めることが望ましい。

通常、転がり軸受の損傷によって発生する振動は1kHz～40kHzの比較的高周波の振動であり、例えば、数10Hzの振動は低周波数の外乱振動であることが明らかであるから、このような周波数域のスペクトル成分を削除したスペクトル和 S_j ($j=1, 2, \dots, n$)を求めた方が的確に状態を判断することができる。

[0086] スペクトル和 S_j ($j=1, 2, \dots, n$)は n 個の分割区間の代表値であり、これを時系列に並べた波形信号 S_x は、異常振動や外乱振動を含むところは高い値を示し、正常に近い振動を含むところは低い値を示す時間波形信号となる。

軸受のような回転機械の振動は回転に伴って発生するものであるから周期性がある。一方、外乱信号は突発的にランダムに発生するものであるから周期性がない。そのため、波形信号 S_x の周波数を解析すると、軸受異常によって発生する振動では特定の周波数にピークを持つスペクトルが得られるに対して、ランダムに発生する外乱振動は周波数スペクトルが分散した形状になる。

[0087] 波形信号 S_x の周波数スペクトル S_s が特定の周波数にピークを有する度合いを表す指標として、本実施形態では尖り度 K_s を用いる。

正規分布では尖り度は3となり、正規分布よりも尖った形を持つ分布であればあるほど尖り度の値は大きくなる。それ故、尖り度 K_s が高い場合は、周期性を持った振動が発生していることを示すものであるから、軸受の損傷によって発生した振動が含まれていることになる。逆に、尖り度 K_s が低い場合は、その振動は突発的な外乱振動であるから、軸受損傷とは別の要因で発生したものと判断できる。

よって、尖り度 K_s の値や、その経時的な変化を傾向グラフとして表示することで、軸受の状態を判断する情報を得ることができる。

[0088] 図18に第5実施形態を示す。該第5実施形態は前記第3の発明の実施形態である。

第4実施形態と同様に、46rpmで回転するロールの片側の転がり軸受ユニット62に振動センサ61を取り付けて軸受の状態を監視している。

振動センサ61の出力信号は増幅器63にて所定のレベルに増幅された後、通過帯域1kHzから20kHzのバンドパスフィルタ80を通過した後、A/D変換器64に送信している。

該第5実施形態では、バンドパスフィルタ80としてアナログフィルタを用いているが、A/D変換器64でA/D変換後の振動波形を一旦記憶した後、記憶した振動波形をデジタルフィルタに通過させて1kHzから20kHzの成分を抽出することもできる。

前記A/D変換器64からの出力信号を演算処理装置67に出力している。

[0089] 演算処理装置67は、記憶装置71、波形分割手段72を備え、該波形分割手段72に接続するrms値演算手段81、rmsの波形信号作成手段82を備えている。該rmsの波形信号作成手段82を、波形信号の周波数スペクトル演算手段76に接続し、該

波形信号の周波数スペクトル演算手段76を周波数スペクトルの尖り度演算手段77と異常原因の判定手段78に接続し、出力手段66へ出力している。

前記波形信号の周波数スペクトル演算手段76で演算された周波数スペクトルの離散波形から周波数スペクトルの尖り度演算手段77で尖り度を計算し、計算された尖り度が出力装置66によって表示していることは、前記第4実施形態と同様である。

[0090] 演算処理装置67では、波形分割手段72で、512点の離散化された振動波形を一つの分割区間として、計128個の区間($j=1, 2, \dots, 128$)に振動波形を分割している。

前記rms値演算手段81は、分割区間毎に RMS_j ($j=1, 2, \dots, 128$)を求めている。

求めた RMS_j から波形信号 S_y 、波形信号 S_y の周波数スペクトル S_i 、周波数スペクトル S_i の尖り度 K_i を求めるプロセスは、第4実施形態と同様である。

また、rms値演算手段81を等価ピーク演算手段に置き換えれば、全く同じ方法にて等価ピーク P_j による尖り度を求めることができる。また、損傷原因も第4実施形態と同様にして診断判定している。

[0091] 前記第5実施形態は、異常診断の手法として、下記の手法を採用している。

従来より、時間波形信号から周波数スペクトルを計算する方法として高速フーリエ変換が広く使われている。

離散化した時間波形信号 $f(n)$ ($n=0, 1, \dots, N-1$)と、離散フーリエスペクトルを $F(k)$ ($k=0, 1, \dots, N-1$)の間には、式(15)に示すParsevalの等式が成立する。

[0092] [数15]

$$\sum_{n=0}^{N-1} |f(n)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} |F(k)|^2 \quad \text{式(15)}$$

[0093] 従って、単純な絶対総和と2乗和との間には数学的な違いがあるものの、分割区間における周波数スペクトルの和が大きければ、振動波形の2乗和や単純な絶対総和も大きくなると考えられる。また、振動波形では、釣り合いの位置を基準として振動を測定するから、その平均値はほぼゼロになる。このように考えると、分割区間における振動波形のrms値や等価ピーク値と、周波数スペクトルの和とは相関があると認められる。

[0094] 本第4実施形態は、上記の関係を利用するものであり、分割区間における周波数スペクトルの和をrms値や等価ピーク値で代替するものである。ただし、前記のように、rms値や等価ピーク値を特定の周波数域に限定して求めるスペクトル和と対応付けするためには、あらかじめバンドパスフィルタ通過後の振動波形に対してrms値や等価ピーク値を求めなければならない。

バンドパスフィルタ通過後の振動波形に対して、分割区間 $j = 1, 2, \dots, n$ 毎に求めたrms値を RMS_j 、等価ピーク値を P_j とすると、これを時系列的に並べた波形信号 S_y を作成し、その周波数スペクトル S_i の尖り度 K_i を求めれば、前記の周波数スペクトルの和を用いる方法と同様に、軸受の状態を判断することができる。

[0095] また、転がり軸受の異常発生の原因として内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷が考えられ、これらに損傷が発生した場合、各損傷毎の異常発生周期は転がり軸受の幾何学的寸法により前記第1実施形態で記載した式(11)～式(13)により求められる。

即ち、転動体数を Z 、転動体直径を d 、ピッチ円径を D 、転動体62と転送面との接触各を α とし、転がり軸受11aが取り付けられた回転機械の回転周波数を fr とすると、内輪損傷時の異常発生周期 T_{in} は式(11)、外輪損傷時の異常発生周期 T_{out} は式(12)、転動体損傷時の異常発生周期 T_{ball} は式(13)で表される。なお、回転周波数 fr は回転計からの回転数(rpm)を60で割ったものである。

[0096] これらの異常発生周期 T_{in} 、 T_{out} 、 T_{ball} の s 倍を計算異常発生周期 T_x とし、 s を1～10まで変化させて計算する。即ち、計算異常発生周期 T_x は、 $T_{in} \times s$ の計算結果時間 $T_{in1} \sim T_{in10}$ と、 $T_{out} \times s$ の計算結果時間 $T_{out1} \sim T_{out10}$ と、 $T_{ball} \times s$ の計算結果時間 $T_{ball1} \sim T_{ball10}$ である。

[0097] 波形信号 S_x の周波数スペクトル S_s がピークを示す特定の周波数を $fs1$ 、 $fs2$ 、 $fs3$ 、

…とすると(ピークは複数個発生することがある)、それぞれに対応する周期は $T_{s1} = 1/f_{s1}$ 、 $T_{s2} = 1/f_{s2}$ 、 $T_{s3} = 1/f_{s3}$ 、… として計算される。計算異常発生周期 T_x の値が、周期 T_{s1} 、 T_{s2} 、 T_{s3} 、… とほぼ一致する場合には、該計算異常発生周期 T_x に該当する損傷を異常原因として診断し、これらの診断結果を尖り度 K_s とともに表示する。具体的には、周期 T_{s1} 、 T_{s2} 、 T_{s3} 、…を中心として所定の時間幅を定め、計算異常発生周期 T_x の値が時間幅内にある場合に、該計算異常発生周期 T_x に該当する損傷を異常原因と診断する。

なお、異常原因は複数存在することもある。例えば、 T_{in10} 及び T_{out8} が異常周期 T_{s1} 、 T_{s2} を中心とした所定の時間幅にあるときは、内輪及び外輪に損傷が発生していると診断する。

波形信号 S_y の周波数スペクトル S_i についても、前記同様にして異常原因を診断できる。

[0098] 「実験例」

図19(A) (B)に従来の手法で得られた振動波形を示し、図20(A) (B) (C)に前記第5実施形態の診断システムで得られた振動波形を示す。

[0099] 図19(A)は転がり軸受の交換前の振動波形を示し、(B)は交換後の振動波形を示す。交換前の軸受には、外輪と内輪にフレーキングが発生しており、転動体の一部にもフレーキングが発生していた。

交換後の振動波形は、損傷が発生していない新品の転がり軸受に交換したものである。

図19(A) (B)の振動波形では、交換前後に顕著な差異が見られず、従来の手法では軸受の良否を判定することができない。

[0100] 図20は、図19の振動波形に対して前記第5実施形態を採用した場合の尖り度を示している。振動波形は交換前後で各4回測定し、それぞれの振動波形から尖り度を求めている。交換前では、

- (1) スペクトル和による尖り度が26～43
- (2) rms値による尖り度が20～39
- (3) 等価ピーク値による尖り度が20～40

であった。

これに対して、交換後では、

- (1) スペクトル和による尖り度が3～8
- (2) rms値による尖り度が3～11
- (3) 等価ピーク値による尖り度が4～12

と大幅に低くなっており、軸受の状態を的確に判断できることが確認できた。

[0101] 図21に、100rpmで回転する転がり軸受に第4実施形態の診断システムを適用した振動波形を示す。

図21は、波形信号の周波数スペクトル演算手段76によって得られた周波数スペクトル S_s の一例であり、 $f_{s1}=6.5\text{Hz}$ 、 $f_{s2}=13.0\text{Hz}$ にピーク周波数が表れている。すなわち、周期 $T_{s1}=0.154\text{s}$ 、 $T_{s2}=0.077\text{s}$ 間隔で異常が現れていることを示唆している。一方、該転がり軸受では、転動体数 $Z=10$ 、転動体直径 $d=6.35\text{mm}$ 、ピッチ円径 $D=27.60\text{mm}$ 、転動体と転送面との接触角 $\alpha=9$ 度であるから、外輪損傷時の異常発生周期として $T_{out}=0.155\text{s}$ が得られる。これは T_{s1} および T_{s2} の2倍とほぼ一致するから、該転がり軸受には外輪に損傷が発生しているものと判断できる。

請求の範囲

- [1] 回転機械設備における軸受の診断システムであって、
前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、
前記センサと接続した監視診断装置と、
前記監視診断装置と接続し、異常発生状態を百分率で表示する診断通知手段と、
を備え、
前記監視診断装置は、
前記センサで検出された計測データを記憶する記憶部と、
前記記憶部で記憶された計測データに基づき、異常判定基準レベルを算出する基準レベル演算部と、
前記軸受支持された回転軸の1回転時間または間欠動作で1回の該間欠動作時間を複数区間に等分割し、前記異常判定基準レベルと前記各区間の計測データとを比較して、区間毎に異常の有無を判定する判定部とを備えていることを特徴とする軸受の診断システム。
- [2] 前記軸受支持された回転軸の1回転時間または1回の間欠動作時間は、百分率で表示するために100区間に分割している請求項1または請求項2に記載の軸受の診断システム。
- [3] 前記監視診断装置の基準レベル演算部では、前記軸受支持された回転軸の1回転または1間欠動作毎に、前記異常判定基準レベルを前記記憶部で記憶した計測データの平均値の定数倍に設定している請求項1または請求項2に記載の軸受の診断システム。
- [4] 前記監視診断装置の判定部は、異常が発生した区間の数である診断判定パラメータを算出する診断パラメータ演算部と、前記診断判定パラメータと予め定めた異常判定基準を比較して、異常の有無を判定する簡易診断判定部を備えている請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。
- [5] 前記監視診断装置の判定部は、異常判定された区間が2～10内の設定個数の連続した隣接区間である場合のみ異常区間とし、前記設定個数未満の区間の異常判定はノイズとして除去する異常発生区間連続判定部を備えている請求項1乃至請求

項4のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。

- [6] 複数回転分または複数間欠動作分の前記診断判定パラメータの平均化を行う平均化処理部を備えている請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。
- [7] 前記診断判定パラメータと比較する前記異常判定基準は、注意レベル、危険レベル等の複数レベルで設定している請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。
- [8] 前記監視診断装置の判定部は、複数回転分または複数間欠動作分の異常判定結果テーブルの異常周期基準位置をずらして各区別の異常発生の判定結果の一致度を算出し、最も一致度が高くなる異常周期基準位置を検索して、前記異常周期基準位置から異常周期を自動で算出する同期検索処理部と、
軸受機器情報及び／または回転数情報から演算され、異常原因毎に値が異なる計算異常発生周期または該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記同期検索処理部で算出される異常周期とを比較し、前記計算異常発生周期または前記計算異常発生周期の整数倍周期と、前記異常周期の一致度が高い場合に、該計算異常発生周期に対応する原因による異常が前記軸受に発生していると診断する原因診断判定部を備えた請求項1乃至請求項7のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。
- [9] 回転機械設備における軸受の診断システムであって、
前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、
前記センサと接続した監視診断装置と、
前記監視診断装置と接続し、診断結果を表示する診断通知手段と、
を備え、
前記監視診断装置は、
前記センサで検出された信号波形を記憶する記憶部と、
前記記憶部で記憶した信号波形の演算処理部を備え、
前記演算処理部は、
前記信号波形を軸受の回転速度に応じてjに分割する手段と、

前記分割された分割区間毎に周波数スペクトル F_{jk} を求める手段と、
周波数スペクトルのうち所定の周波数範囲のスペクトル和 S_j を求める手段と、
前記スペクトル和 S_j を時系列に並べた波形信号 S_x を作成し、その波形信号 S_x の
周波数スペクトル S_s を求める手段と、
前記スペクトル波形 S_s の尖り度 K_s を求める手段を備え、
前記尖り度 K_s と前記尖り度 K_s を求めたスペクトル波形を前記診断通知手段で表示
することを特徴とする軸受の診断システム。

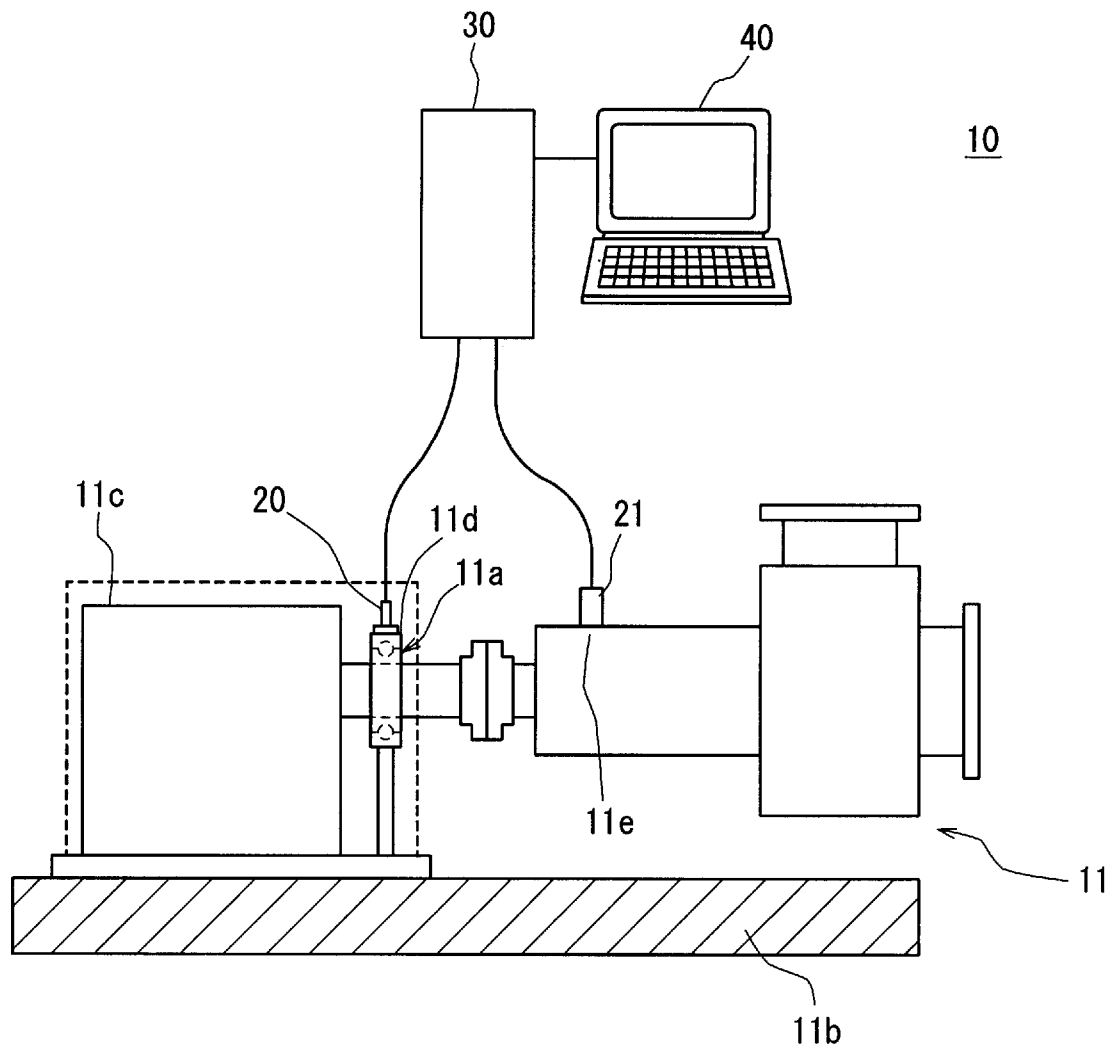
- [10] 回転機械設備における軸受の診断システムであって、
前記軸受の固定部材に取り付けられる損傷発生検出用のセンサと、
前記センサと接続した監視診断装置と、
前記監視診断装置と接続し、診断結果を表示する診断通知手段と、
を備え、
前記監視診断装置は、
前記センサで検出された信号波形を記憶する記憶部と、
前記記憶部で記憶した信号波形の演算処理部を備え、
前記演算処理部は、
前記信号波形にバンドパスフィルタを施す手段と、
前記バンドパスフィルタ通過後の信号波形を軸受の回転速度に応じて j に分割する
手段と、
前記分割された分割区間毎に信号のrms値 RMS_j 、あるいは等価ピーク値 P_j を求
める手段と、
前記rms値 RMS_j 、あるいは等価ピーク値 P_j を時系列に並べた波形信号 S_y を作成
し、その波形信号 S_y の周波数スペクトル S_i を求める手段と、
前記スペクトル波形 S_i の尖り度 K_i を求める手段を備え、
前記尖り度 K_i と前記尖り度 K_i を求めたスペクトル波形を前記診断通知手段で表示
することを特徴とする軸受の診断システム。

- [11] 前記監視診断装置は判定部を備え、
前記判定部は、軸受機器情報及び回転数情報から演算され、異常原因毎に値が

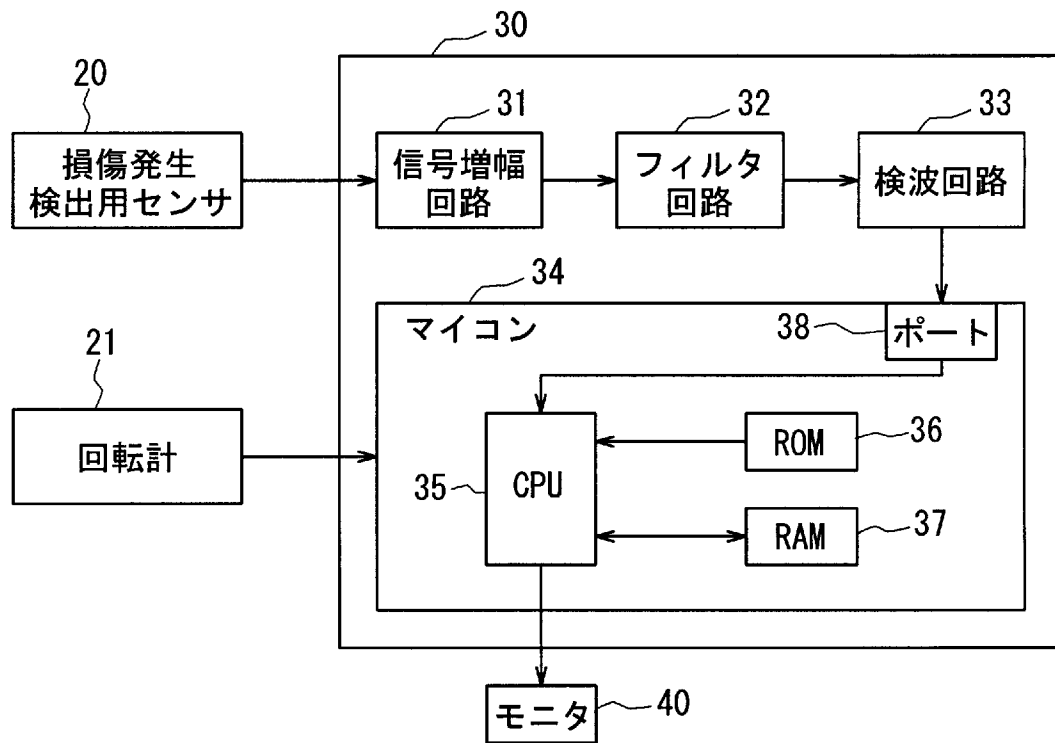
異なる計算異常発生周期または該計算異常発生周期の整数倍周期と、前記周波数スペクトル S_s を求める手段または前記周波数スペクトル S_i を求める手段によって算出されるピーク周期とを比較し、前期計算異常発生周期または前記計算異常発生周期の整数倍周期と、前記ピーク周期の一致度が高い場合に、該計算異常発生周期に対応する原因による異常が前記軸受に発生していると診断している請求項9または請求項10に記載の軸受の診断システム。

- [12] 前記軸受支持された回転機械設備の回転軸の回転数は300rpm以下であり、
前記軸受は転がり軸受またはすべり軸受である請求項1乃至請求項11に記載の軸受の診断システム。
- [13] 前記センサは、振動センサ、変位センサ、アコースティックエミッションセンサ、超音波センサ、音検出センサのいずれかである請求項1乃至請求項12のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。
- [14] 前記異常原因は、転がり軸受の場合、内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷の少なくとも一つであり、
すべり軸受の場合、1回転または1間欠動作に1回または複数回発生する前記回転軸の異常な金属接触である請求項8または請求項11に記載の軸受の診断システム。
。
- [15] 前記センサと監視診断装置と診断通知手段を組み合わせた可動型、または前記監視診断装置に対して前記診断通知手段は無線接続して携帯型としている請求項1乃至請求項14のいずれか1項に記載の軸受の診断システム。

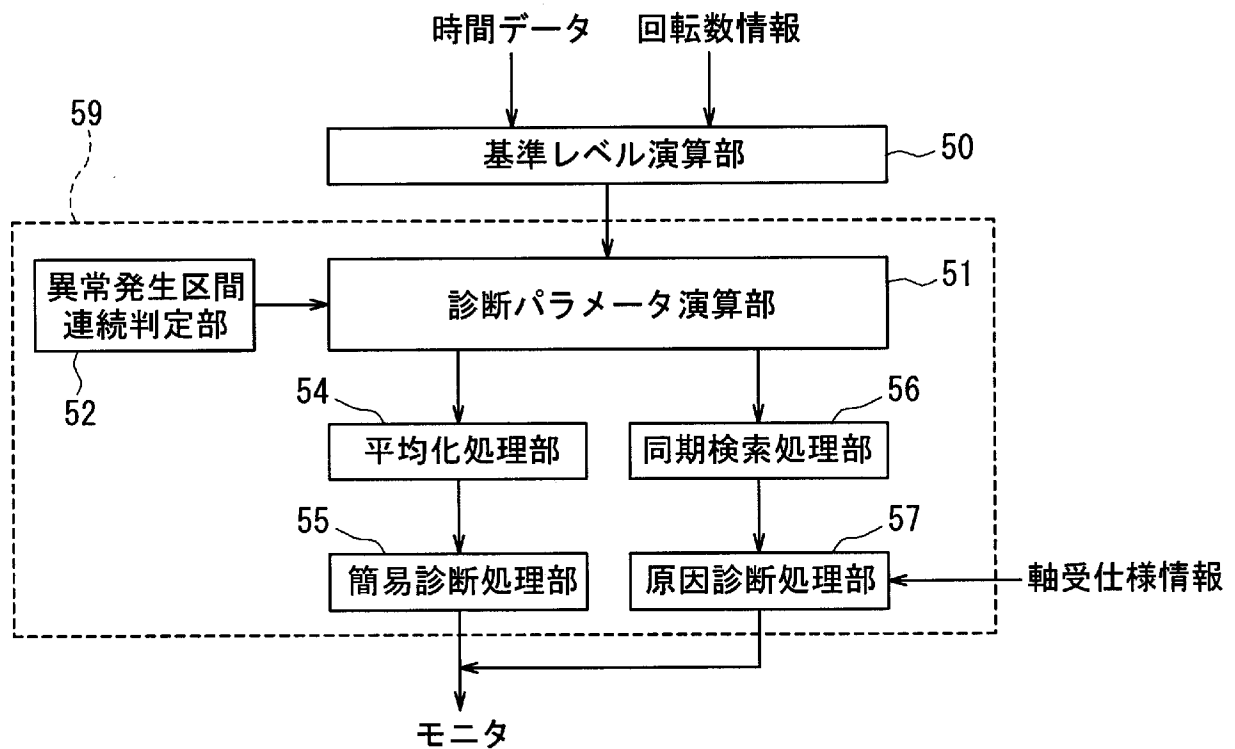
[図1]



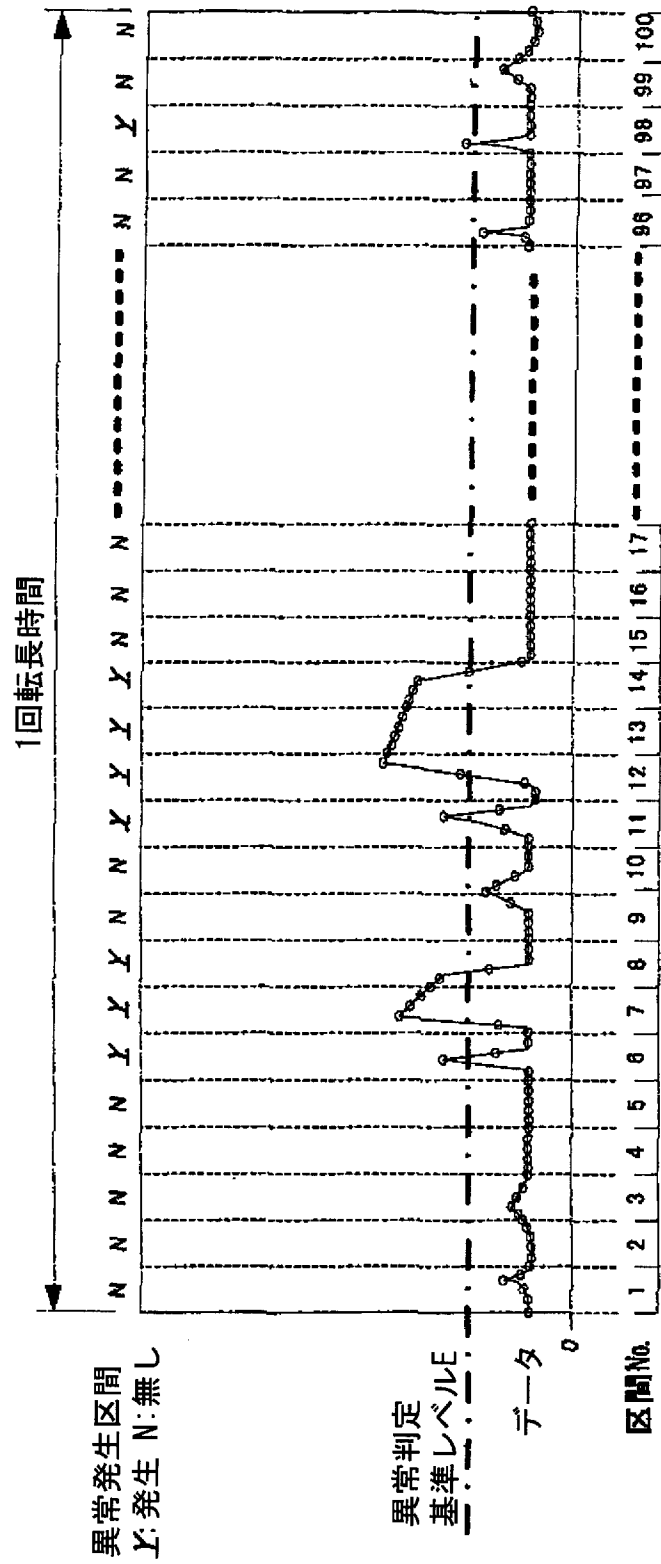
[図2]



[図3]



[図4]

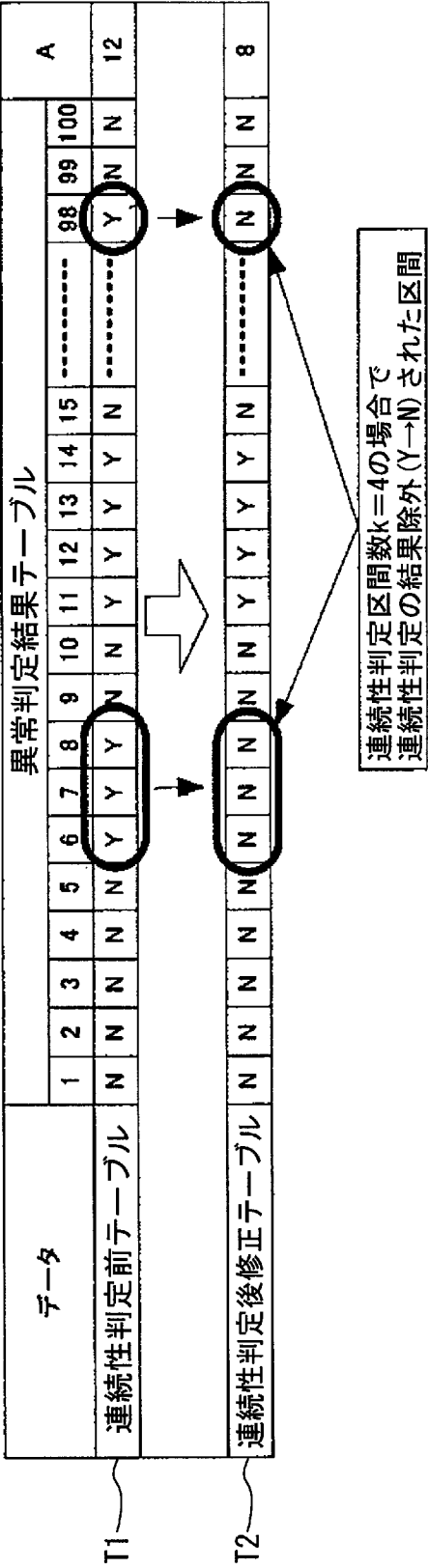


[図5]

T1

異常判定結果テーブル																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					</
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

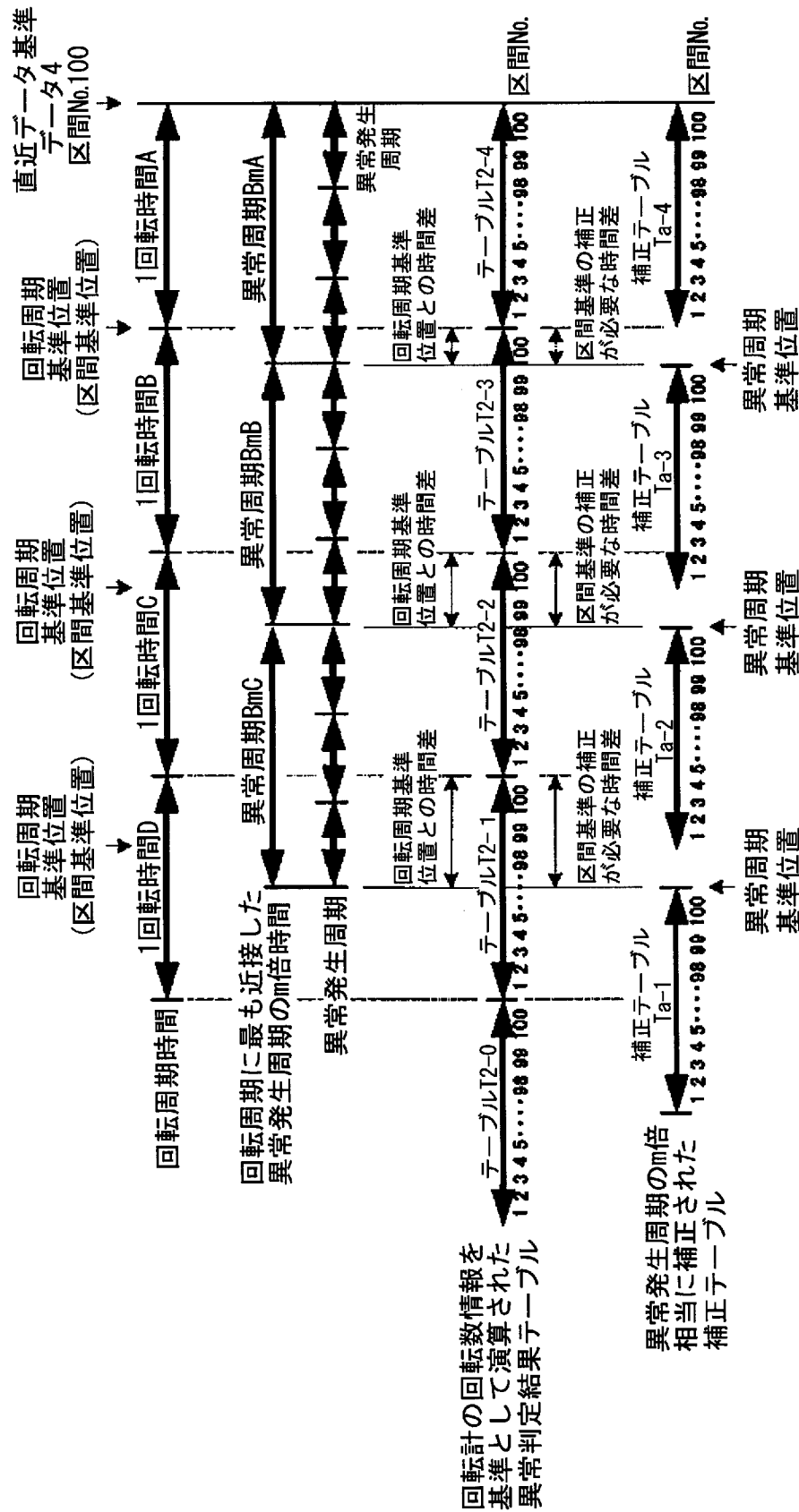
[図7]



[図8]

T2

データ	異常判定結果テーブル															An	Ax (n=8の場合)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
9回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	7	
8回転前	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	15	
7回転前	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	8	
6回転前	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	Y	6	
5回転前	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	12	
4回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	8	
3回転前	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	7	
2回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	9	
1回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	10	
直近	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	8	

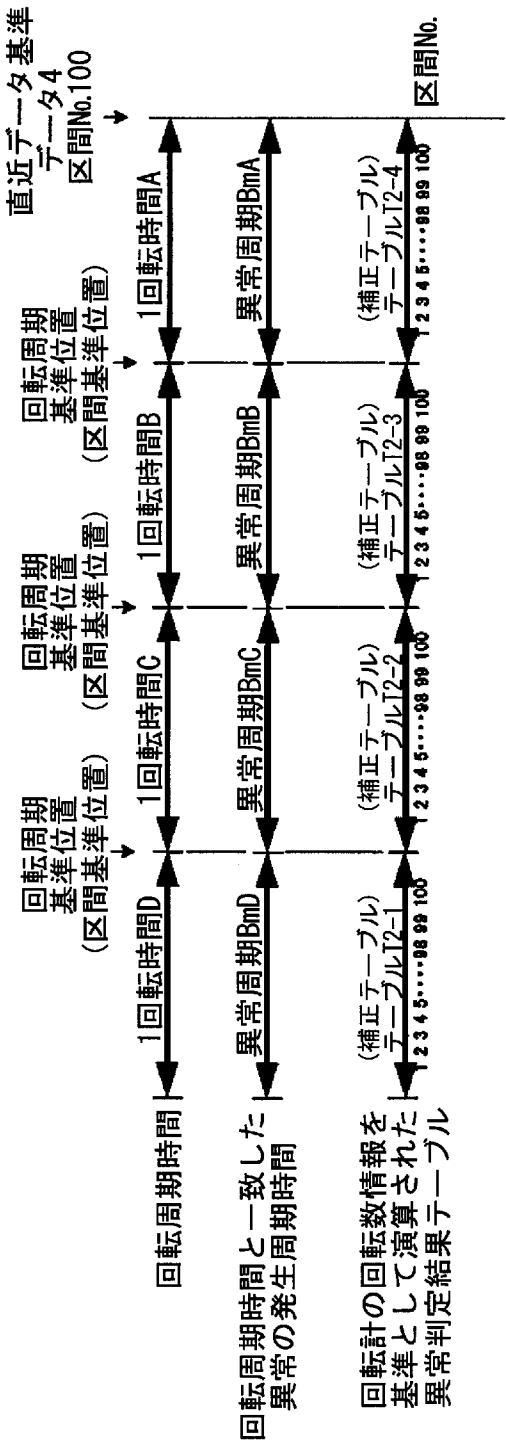


[図10]

T_a T₂

検索区間差	補正後異常判定結果テーブル		補正後異常判定結果テーブルに使用する元テーブルデータ	
	補正後テーブル名	区間No.	元テーブル名	区間No.
0	補正テーブル1	1~100	—	1~100
	補正テーブル2	1~100	—	1~100
	補正テーブル3	1~100	—	1~100
	補正テーブル4	1~100	—	1~100
1	補正テーブル1	1~100	テーブル0	98~100
	補正テーブル2	1~100	テーブル1	99,100
	補正テーブル3	1~100	テーブル2	100
	補正テーブル4	1~100	—	—
2	補正テーブル1	1~100	テーブル0	95~100
	補正テーブル2	1~100	テーブル1	97~100
	補正テーブル3	1~100	テーブル2	99,100
	補正テーブル4	1~100	—	—
3	補正テーブル1	1~100	テーブル0	92~100
	補正テーブル2	1~100	テーブル1	95~100
	補正テーブル3	1~100	テーブル2	98~100
	補正テーブル4	1~100	—	—

[図11]



[図12]

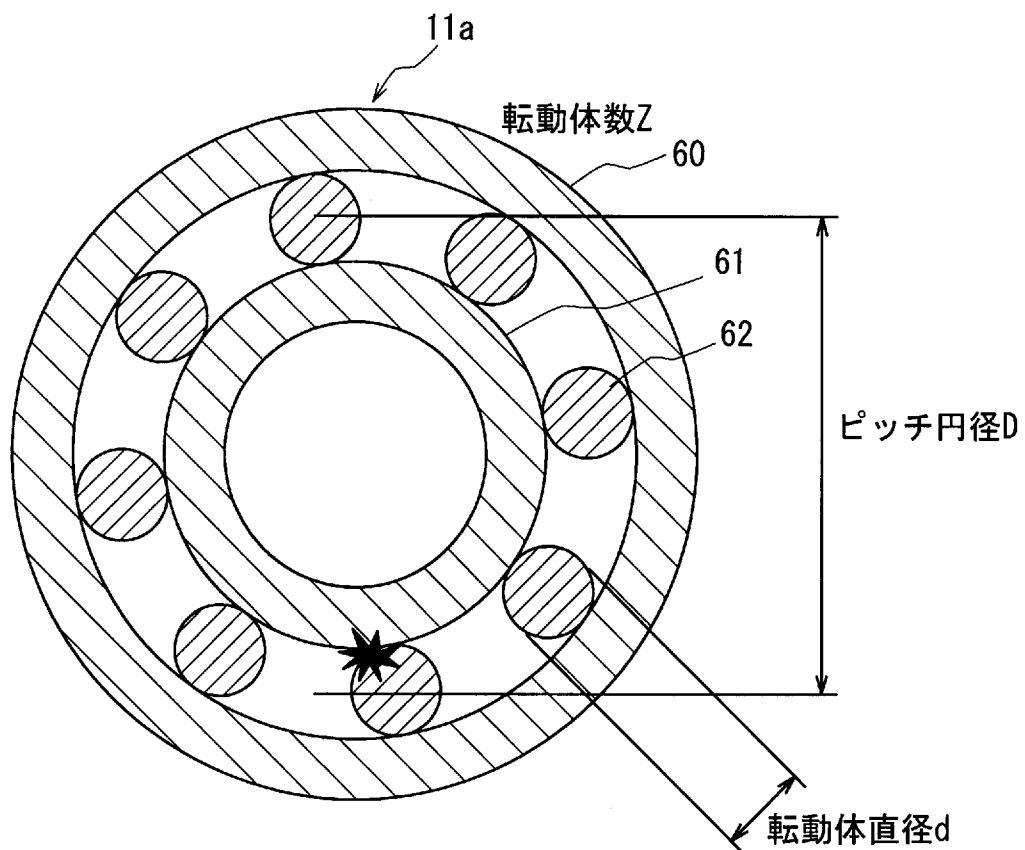
1a.

テーブル	データ	異常判定結果テーブル																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	----	98	99	100
補正テーブル1	3回転前	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	----	N	N	N
補正テーブル2	2回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	----	N	Y	N
補正テーブル3	1回転前	N	N	N	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	N	N	N	----	N	Y	N
補正テーブル4	直近	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y	N	N	N	----	N	N	N

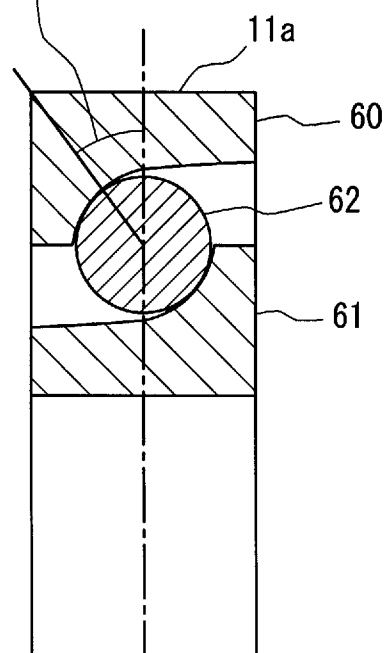
異常発生 (Y) 判定数	0	0	2	0	4	4	4	0	1	0	0	4	3	0	0	-----	0	2	0
区間No.別一致度f	0	0	50	0	100	100	100	0	25	0	0	100	75	0	0	-----	0	50	0
異常発生 (Y) 判定区間	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y	N	N	-----	N	Y	N
Σf	600																		
k (異常発生 (Y) 判定区間数)	8区間																		
総合一致度 $h = \Sigma f \div k$	75%																		

[図13]

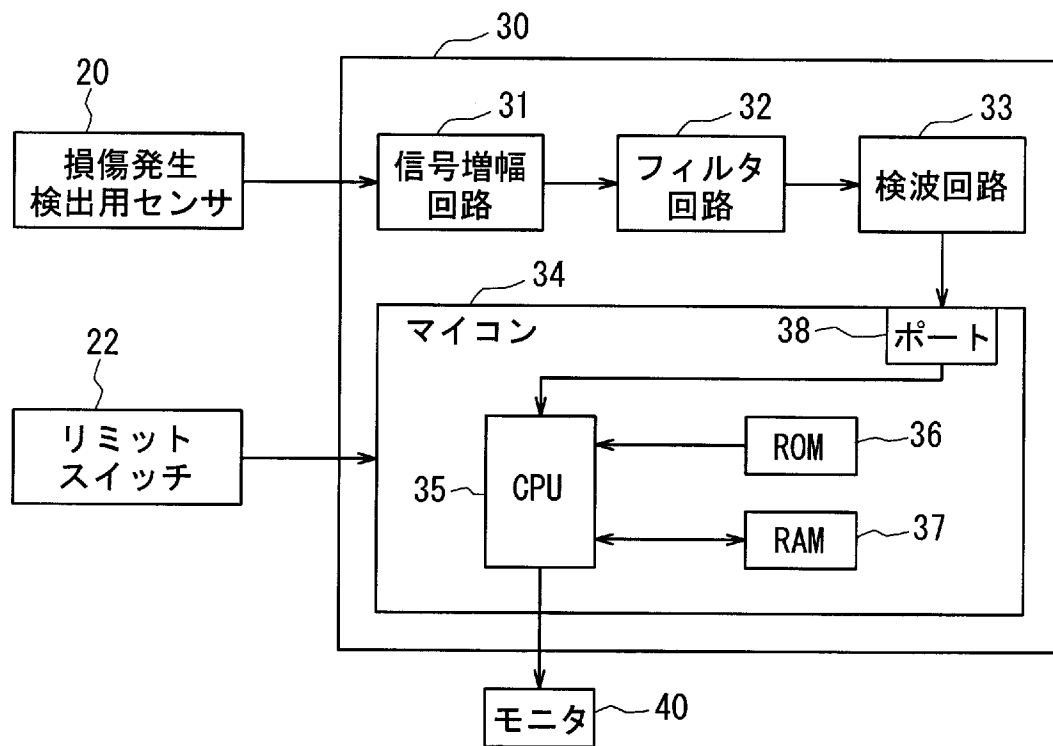
(A)



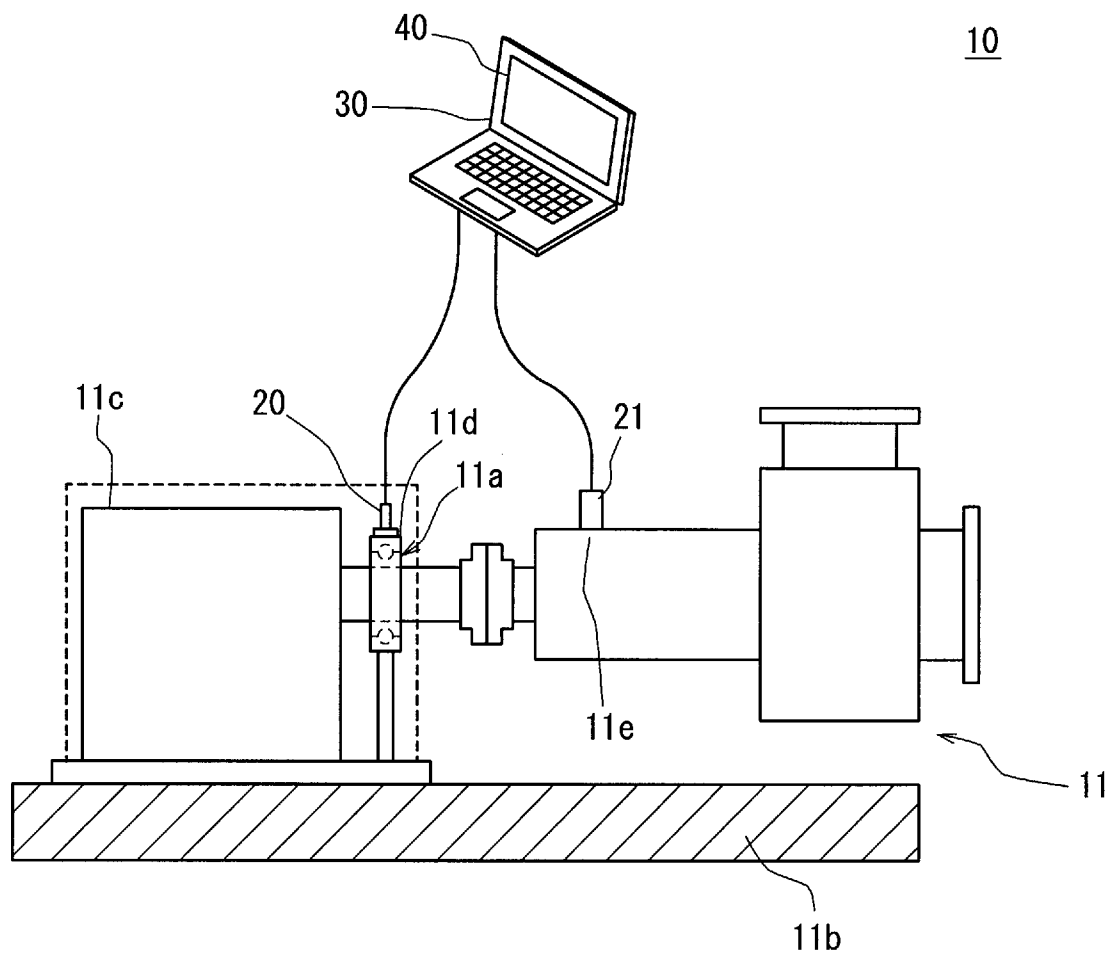
(B)

転動体と転走面の接触角 α 

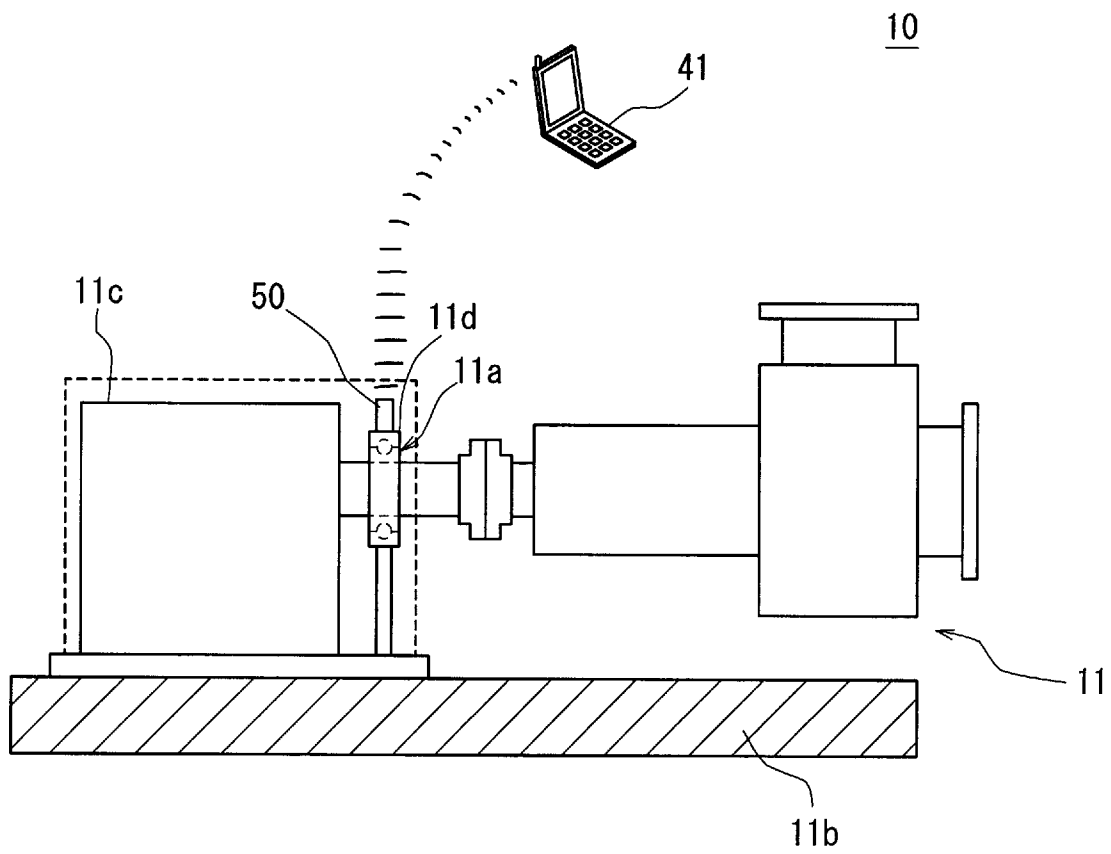
[図14]



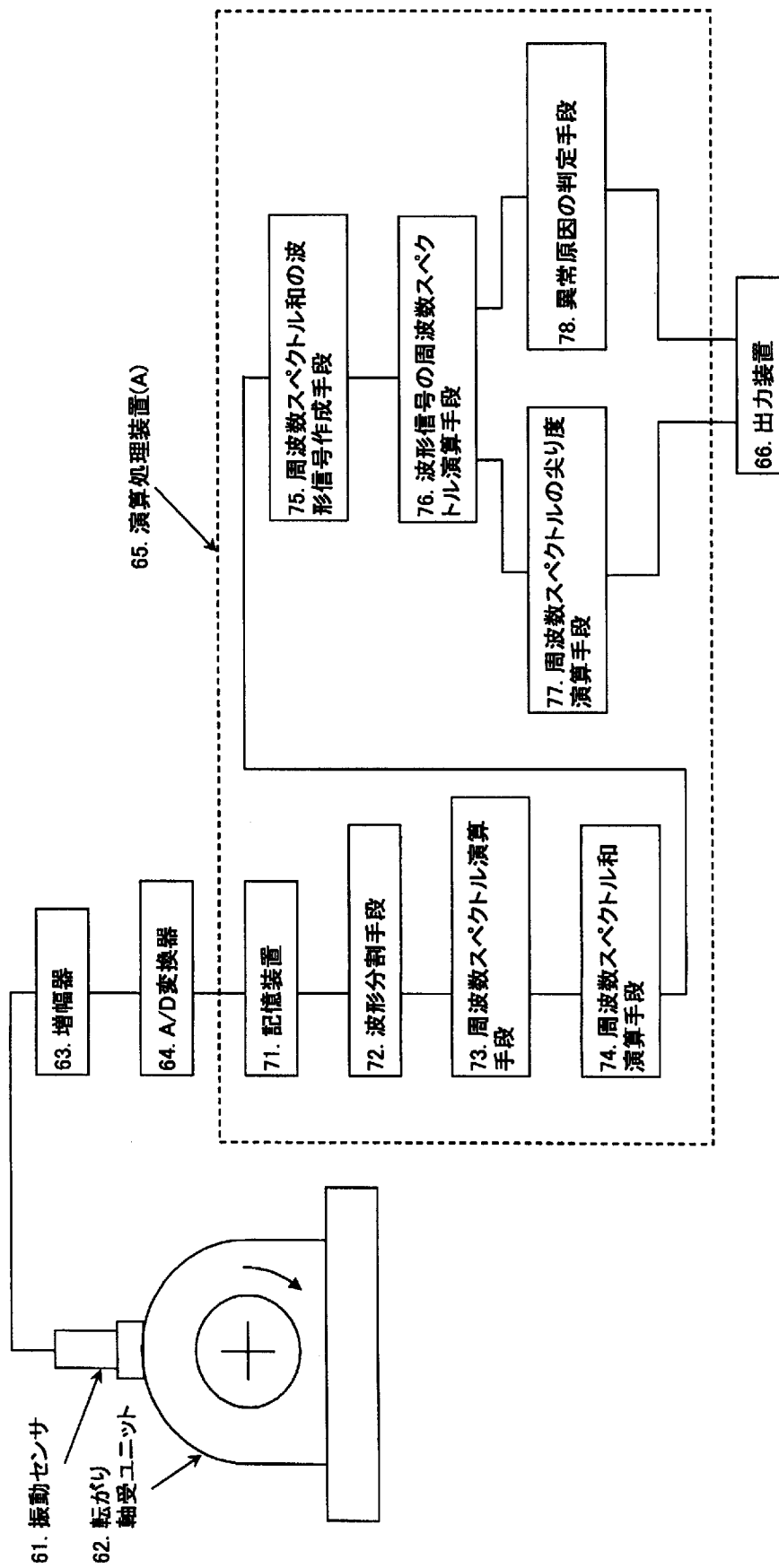
[図15]



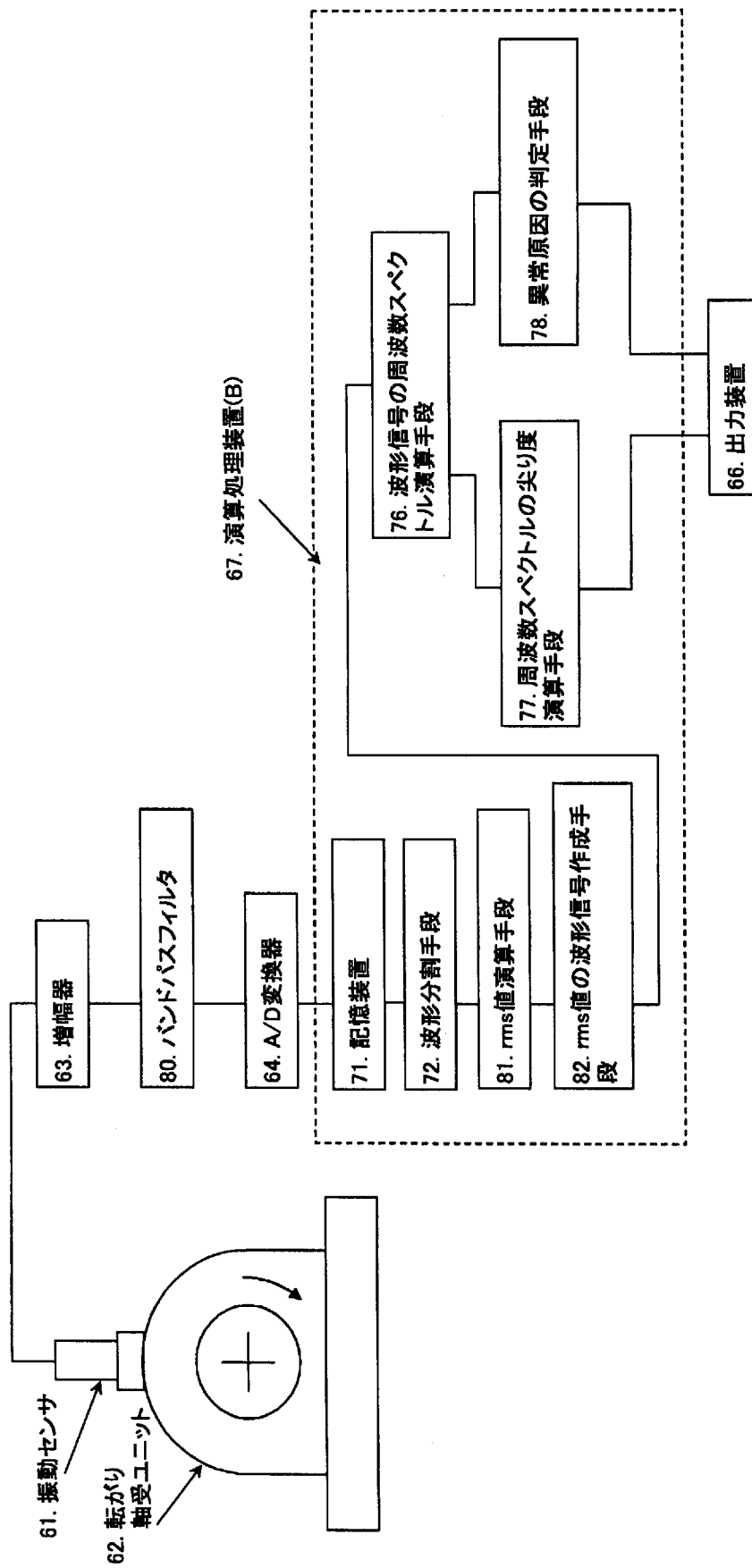
[図16]



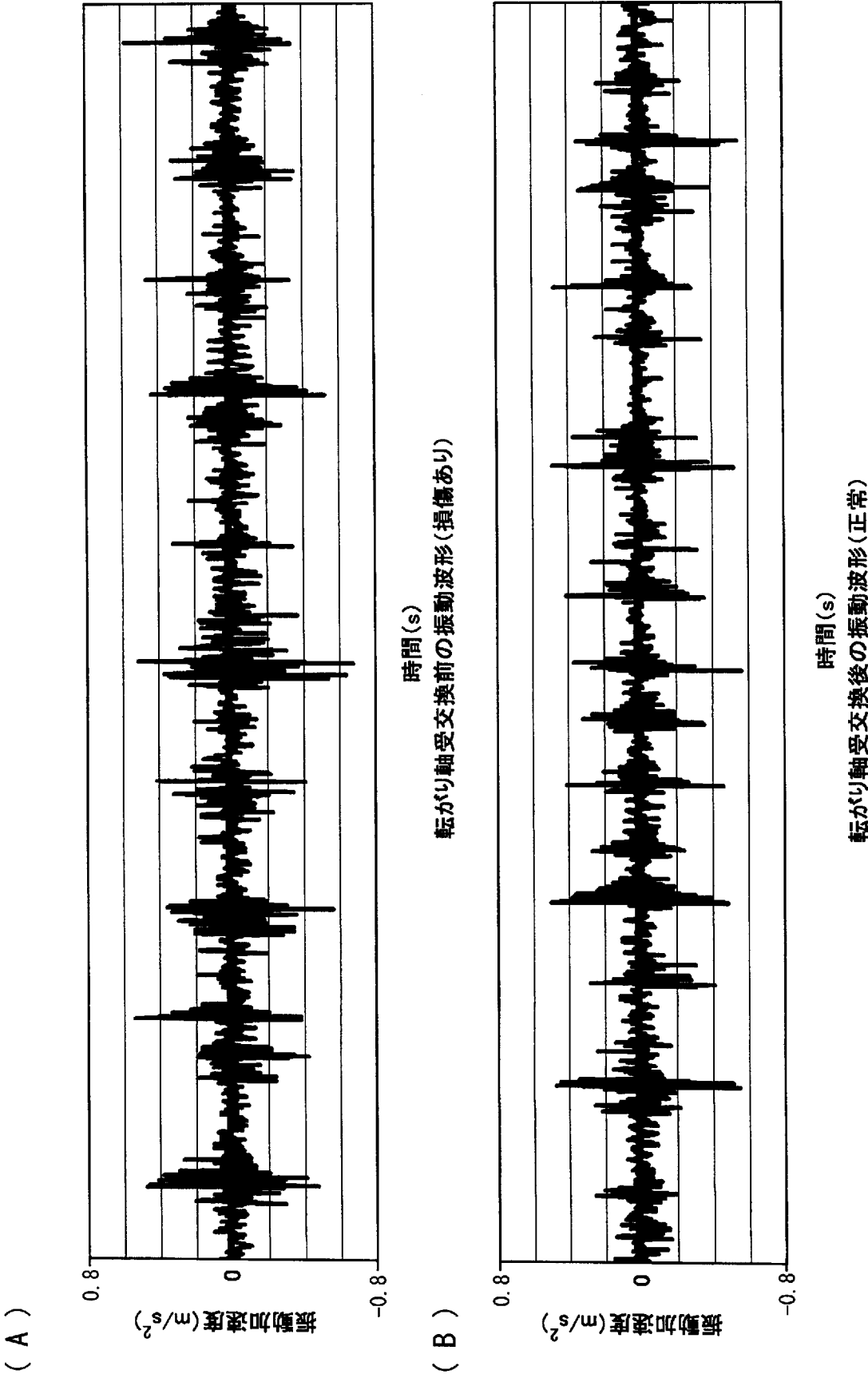
[図17]



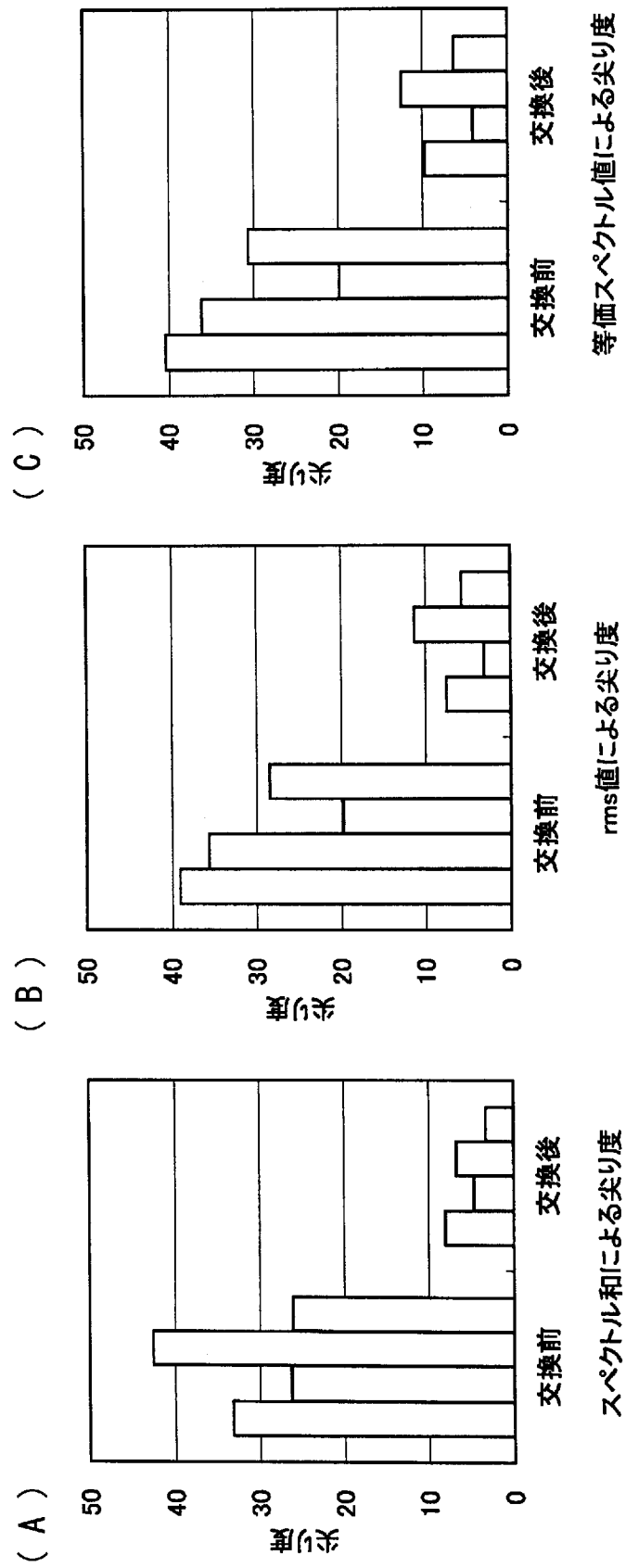
[図18]



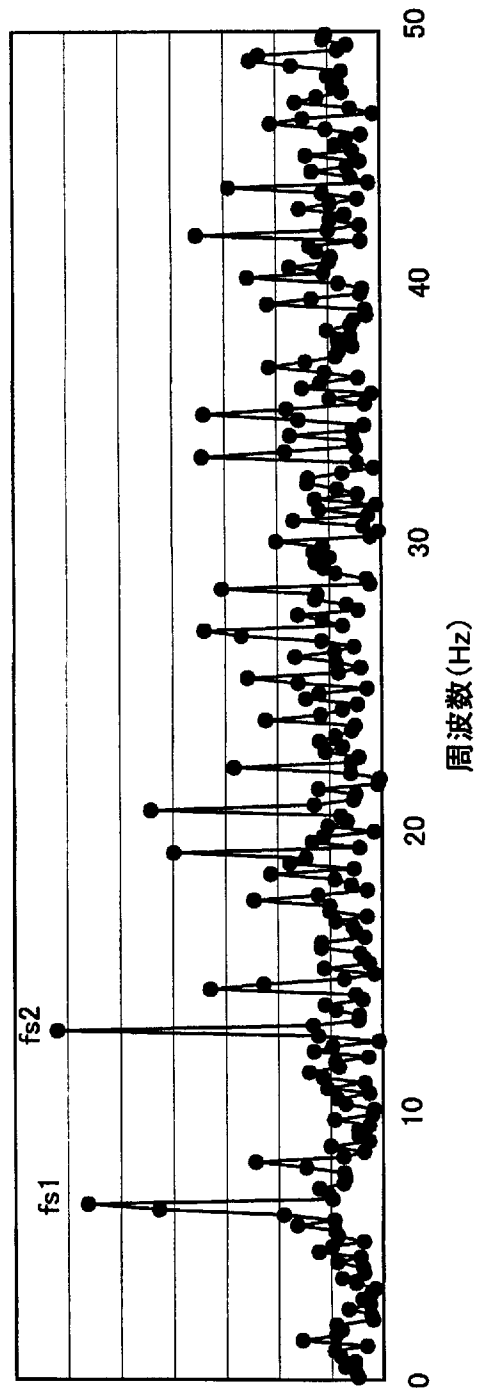
[図19]



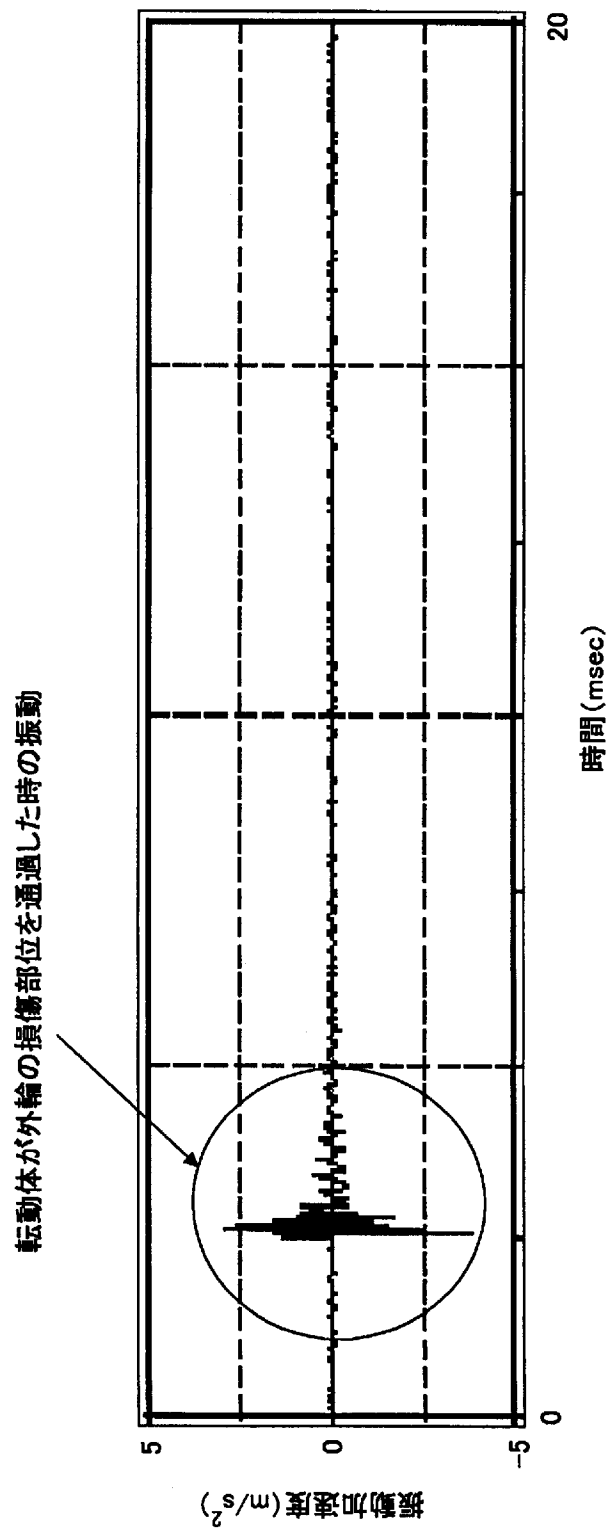
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051633

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01M13/04(2006.01) i, G01H17/00(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)

G01M13/04, G01H17/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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.
A	JP 03-245054 A (Koyo Seiko Co., Ltd. et al.), 31 October, 1991 (31.10.91), Full text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 04-050731 A (Toshiba Corp.), 19 February, 1992 (19.02.92), Full text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 08-077683 A (International Business Machines Corp.), 22 March, 1996 (22.03.96), Full text; all drawings & US 5734579 A	1-8, 12, 13, 15

☒ 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
09 March, 2009 (09.03.09)

Date of mailing of the international search report
17 March, 2009 (17.03.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051633

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 09-113350 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 02 May, 1997 (02.05.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-8, 12, 13, 15
A	JP 11-271181 A (Nippon Steel Corp.), 05 October, 1999 (05.10.99), Full text; all drawings (Family: none)	9-15
A	JP 06-058849 A (NSK Ltd.), 04 March, 1994 (04.03.94), Full text; all drawings (Family: none)	9-15
A	JP 10-026580 A (Nippon Steel Corp.), 27 January, 1998 (27.01.98), Full text; all drawings (Family: none)	9, 11-15
A	JP 06-235682 A (Hitachi, Ltd. et al.), 23 August, 1994 (23.08.94), Full text; all drawings (Family: none)	10-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051633

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The special technical feature of the inventions described in claims 1-8, 12, 13 and 15 is to be provided with a standard level calculation unit that calculates a level of the abnormality judgment standard in accordance with measurement data detected by a sensor and such an aspect that one rotation time of a continuous rotation of a spindle supported by the bearing or one rotation time by an intermittent operation of the spindle is equally divided into a plurality of sections and the abnormality judgment standard level is compared with the measurement data of each section.

(continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/051633

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet (2)

The special technical feature of the inventions described in claims 9-11 and 14 is to be provided with a means for dividing a signal waveform detected by a sensor into (j)-sections in accordance with a rotation speed of a bearing; and a means for obtaining a characteristic amount, such as a spectrum summation in a predetermined frequency range, an rms value (RMSj) or an equivalent peak value (Pj) for every divided section, wherein a waveform signal (Sx) with the characteristic amount time-sequentially arranged is made out, a frequency spectrum (Ss) of the waveform signal (Sx) is obtained, and a sharpness (Ks) of the spectrum waveform (Ss) is obtained.

Thus, no relationship between claims 1-8, 12, 13 and 15 and claims 9-11 and 14 is deemed to form a single general inventive concept. Therefore, two separate inventions of claims 1-8, 12, 13 and 15 and claims 9-11 and 14 are described in the claims.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
 Int.Cl. G01M13/04(2006.01)i, G01H17/00(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（I P C））

Int.Cl. G01M13/04, G01H17/00

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	1 9 2 2－1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1－2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6－2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4－2 0 0 9 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 請求の範囲の番号
A	JP 03-245054 A（光洋精工株式会社 他 1 名）1991. 10. 31, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-15
A	JP 04-050731 A（株式会社東芝）1992. 02. 19, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-15
A	JP 08-077683 A（インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション）1996. 03. 22, 全文, 全図 & US 5734579 A	1-8, 12, 13, 15

☒ 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

0 9 . 0 3 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 3 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0－8 9 1 5

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）

福田 裕司

電話番号 0 3－3 5 8 1－1 1 0 1 内線 3 2 5 2

2 J

9 1 0 9

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 請求の範囲の番号
A	JP 09-113350 A (日本電信電話株式会社) 1997. 05. 02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8, 12, 13, 15
A	JP 11-271181 A (新日本製鐵株式会社) 1999. 10. 05, 全文, 全図 (ファミリーなし)	9-15
A	JP 06-058849 A (日本精工株式会社) 1994. 03. 04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	9-15
A	JP 10-026580 A (新日本製鐵株式会社) 1998. 01. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	9, 11-15
A	JP 06-235682 A (株式会社日立製作所 他 1 名) 1994. 08. 23, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10-15

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求の範囲1～8, 12, 13, 15に記載された発明の特別な技術的特徴は、センサで検出された計測データに基づき、異常判定基準レベルを算出する基準レベル演算部と、軸受支持された回転軸の1回転時間または間欠動作で1回の該間欠動作時間を複数区間に等分割し、前記異常判定基準レベルと前記各区間の計測データとを比較する点にある。

請求の範囲9～11, 14に記載された発明の特別な技術的特徴は、センサで検出された信号波形を軸受の回転速度に応じてjに分割する手段と、前記分割された分割区間毎に、所定の周波数範囲のスペクトル和、rms値RMSj、あるいは等価ピーク値Pjといった特徴量を求める手段と、前記特徴量を時系列に並べた波形信号Sxを作成し、その波形信号Sxの周波数スペクトルSsを求め、前記スペクトル波形Ssの尖り度Ksを求める点にある。

このように、請求の範囲1～8, 12, 13, 15と請求の範囲9～11, 14とが、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているとは認められない。よって、請求の範囲には、請求の範囲1～8, 12, 13, 15と請求の範囲9～11, 14の2つに区分される発明が記載されている。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。