(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4874406号
(P4874406)
(45)発行日　平成24年2月15日(2012.2.15)　(24)登録日　平成23年12月2日(2011.12.2)

(51)Int.Cl.		F I		
G01M 13/04	(2006.01)	G01M	13/04	
G01H 17/00	(2006.01)	G01H	17/00	A

請求項の数 12　(全 28 頁)

(21)出願番号　特願2009-551619(P2009-551619)
(86)(22)出願日　平成21年1月30日(2009.1.30)
(86)国際出願番号　PCT/JP2009/051633
(87)国際公開番号　WO2009/096551
(87)国際公開日　平成21年8月6日(2009.8.6)
審査請求日　平成22年5月25日(2010.5.25)
(31)優先権主張番号　特願2008-19747(P2008-19747)
(32)優先日　平成20年1月30日(2008.1.30)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　390000011
ＪＦＥアドバンテック株式会社
兵庫県西宮市高畑町３番４８号
(74)代理人　100072660
弁理士　大和田　和美
(72)発明者　吉良　耕一
兵庫県西宮市高畑町３番４８号　ＪＦＥアドバンテック株式会社内
(72)発明者　小田　将広
兵庫県西宮市高畑町３番４８号　ＪＦＥアドバンテック株式会社内
(72)発明者　内田　洋之
兵庫県西宮市高畑町３番４８号　ＪＦＥアドバンテック株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】軸受の診断システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項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。

【請求項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に記載の軸受の診断システム。

【請求項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。

【請求項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。

【請求項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。

【請求項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。

【請求項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。

【請求項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分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。

【請求項９】

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８のいずれか１項に記載の軸受の診断システム。

【請求項１０】

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９のいずれか１項に記載の軸受の診断システム。

【請求項１１】

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に記載の軸受の診断システム。

【請求項１２】

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１１のいずれか１項に記載の軸受の診断システム。

【発明の詳細な説明】

【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ても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１０００００データ、０．１ｒｐｍの場合１００００００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個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、異常個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、本発明は、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、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、該異常発生の区間数は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の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の診断を行うことで、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の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】

なお、下記の構成とすると、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、的確に軸受の状態の故障診断を行うことができる。

【００３１】

即ち、回転機械設備における軸受の診断システムにおいて、

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，…，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Ｆｊｋ（ｊ＝１，２，…，ｎ、ｋ＝１，２，…，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Ｓｊ（ｊ＝１，２，…，ｎ）を求める手段と、

前記スペクトル和Ｓｊ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を求める手段と、

前記周波数スペクトルＳｓの尖り度Ｋｓを求める手段を備え、

前記尖り度Ｋｓ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構成とする。

【００３２】

また、回転機械設備における軸受の診断システムにおいて、

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，…，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ＲＭＳｊ（ｊ＝１，２，…，ｎ）、あるいは等価ピーク値Ｐｊを求める手段と、

前記ｒｍｓ値ＲＭＳｊ（ｊ＝１，２，…，ｎ）、あるいは等価ピーク値Ｐｊを時系列に並べた波形信号Ｓｙを作成し、その波形信号Ｓｙの周波数スペクトルＳｉを求める手段と、

前記周波数スペクトルＳｉの尖り度Ｋｉを求める手段を備え、

前記尖り度Ｋｉ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構成とする。

【００３３】

前記の構成とすると、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】

前記本発明において、

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を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、本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、該異常発生の区間数は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。

【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】参考第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】参考第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）は参考第４実施形態で得られた軸受けの尖り度Ｋｓ、Ｋｉを示すグラフである。

【図２１】参考第４実施形態で得られた周波数スペクトルＳｓ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Ａｎの平均を式（３）より求め、診断判定パラメータ決定値Ａｘ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Ａｎの平均を求めているが、ｎは１～１６のいずれかの値であってもよい。

【数３】

$$Ax = \left(\sum_{n=1}^{n} An \right) \div n \qquad \cdots 式(3)$$

【００５３】

診断判定パラメータ決定値Ａｘ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Ａｎから診断判定パラメータ決定値Ａｘ１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Ａｎから診断判定パラメータ決定値Ａｘ２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Ａｎから診断判定パラメータ決定値Ａｘ３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Ａｘを判定基準値と比較し、診断判定パラメータ決定値Ａｘ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５

６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Ｂｍを求め、原因診断処理部５７は該異常周期Ｂｍ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Ｂｍを決定している。異常周期Ｂｍ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Ｂｍ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Ｂｍは回転機械の回転周期と同期するとは限らず、異常周期Ｂｍ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Ｂｍ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Ｂｍ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Ｂｍごとに区切っていく。異常周期Ｂｍ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ＢｍＡ、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ＢｍＢ、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ＢｍＣ、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ＢｍＤ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＝異常発生判定（Ｙ）数÷ｊ×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。

総合一致度ｈ＝Σｆ÷ｋ　　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。

区間数Ｅａ＝選択された補正テーブルＴａの検索区間差＋１００　　式（９）

異常周期Ｂｍ＝１区間当たりの時間Ｔａ×区間数Ｅａ　　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】

$$Tin = \frac{2}{Z} \times \left(\frac{D}{D + d\cos\alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \qquad \cdots \text{式(11)}$$

【数１２】

$$Tout = \frac{2}{Z} \times \left(\frac{D}{D - d\cos\alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \qquad \cdot\cdot\cdot 式(12)$$

【数１３】

$$Tball = \frac{d}{D} \times \left(\frac{D^2}{D^2 - d^2\cos^2\alpha} \right) \times \frac{1}{fr} \qquad \cdot\cdot\cdot 式(13)$$

【００６６】

これら異常発生周期Ｔｉｎ、Ｔｏｕｔ、Ｔｂａｌｌのｓ倍を計算異常発生周期Ｔｘ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Ｔｘは、Ｔｉｎ×ｓの計算結果時間Ｔｉｎ１～Ｔｉｎ１０と、Ｔｏｕｔ×ｓの計算結果時間Ｔｏｕｔ１～Ｔｏｕｔ１０と、Ｔｂａｌｌ×ｓの計算結果時間Ｔｂａｌｌ１～Ｔｂａｌｌ１０である。

同期検索処理部５６で求めた異常周期Ｂｍと、演算した計算異常発生周期ＴｘであるＴｉｎ１～Ｔｉｎ１０、Ｔｏｕｔ１～Ｔｏｕｔ１０、Ｔｂａｌｌ１～Ｔｂａｌｌ１０とを比較する。計算異常発生周期Ｔｘの値が、異常周期Ｂｍとほぼ一致する場合には、該計算異常発生周期Ｔｘ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Ｂｍを中心として所定の時間幅を定め、計算異常発生周期Ｔｘの値が時間幅内にある場合に、該計算異常発生周期Ｔｘに該当する損傷を異常原因と診断する。例えば、Ｔｉｎ１０が異常周期Ｂｍ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、Ｔｉｎ１０及びＴｏｕｔ８が異常周期Ｂｍ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と、計算異常発生周期Ｔｘは１／ｆｒで求められ、該計算異常発生周期Ｔｘと異常周期Ｂｍ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Ｔｎ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Ｔｎのｐ倍と異常周期Ｂｍ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×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、該異常発生の区間数を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を組み合わせて一体

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に参考第４実施形態を示す。

該参考第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６５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Ｋｓを計算し、計算された尖り度Ｋｓ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Ｋｓ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，…，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、１２８×１０．２４ｍｓｅｃ＝１．３１ｓ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Ｆｊｋ（ｊ＝１，２，…，１２８、ｋ＝１，２，…，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Ｆｊｋ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Ｆｊｋ（ｋ＝１１，１２，…，２０５）の和Ｓｊ（ｊ＝１，２，…，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】

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

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ｔｍｓｅｃ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Ｆｊｋ（ｊ＝１，２，…，ｎ、ｋ＝１，２，…，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Ｆｊｋ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Ｆｊｋ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Ｆｊｋ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Ｓｊ（ｊ＝１，２，…，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Ｓｊ（ｊ＝１，２，…，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Ｓｘ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Ｓｘ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Ｓｘの周波数スペクトルＳｓ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Ｋｓ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Ｋｓ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Ｋｓ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Ｋｓ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に参考第５実施形態を示す。

前記参考第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。

参考第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ィ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，…，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ＲＭＳｊ（ｊ＝１，２，…，１２８）を求めている。

求めたＲＭＳｊから波形信号Ｓｙ、波形信号Ｓｙの周波数スペクトルＳｉ、周波数スペクトルＳｉの尖り度Ｋｉ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Ｐｊ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】

前記参考第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，…，Ｎ－１）と、離散フーリエスペクトルのＦ（ｋ）（ｋ＝０，１，…，Ｎ－１）の間には、式（１５）に示すＰａｒｓｅｖａｌの等式が成立する。

【００９２】

【数１５】

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

【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】

参考第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，…，ｎ毎に求めたｒｍｓ値をＲＭＳｊ、等価ピーク値をＰｊとすると、これを時系列的に並べた波形信号Ｓｙを作成し、その周波数スペクトルＳｉの尖り度Ｋｉ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。

【００９６】

これらの異常発生周期Ｔｉｎ、Ｔｏｕｔ、Ｔｂａｌｌのｓ倍を計算異常発生周期Ｔｘ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Ｔｘは、Ｔｉｎ×ｓの計算結果時間Ｔｉｎ１～Ｔｉｎ１０と、Ｔｏｕｔ×ｓの計算結果時間Ｔｏｕｔ１～Ｔｏｕｔ１０と、Ｔｂａｌｌ×ｓの計算結果時間Ｔｂａｌｌ１～Ｔｂａｌｌ１０である。

【００９７】

波形信号Ｓｘの周波数スペクトルＳｓ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Ｔｓ１＝１／ｆｓ１、Ｔｓ２＝１／ｆｓ２、Ｔｓ３＝１／ｆｓ３、…　として計算される。計算異常発生周期Ｔｘの値が、周期Ｔｓ１、Ｔｓ２、Ｔｓ３、…　とほぼ一致する場合には、該計算異常発生周期Ｔｘ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Ｋｓとともに表示する。具体的には、周期Ｔｓ１、Ｔｓ２、Ｔｓ３、…を中心として所定の時間幅を定め、計算異常発生周期Ｔｘの値が時間幅内にある場合に、該計算異常発生周期Ｔｘ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、Ｔｉｎ１０及びＴｏｕｔ８が異常周期Ｔｓ１、Ｔｓ２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Ｓｙの周波数スペクトルＳｉ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参考第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

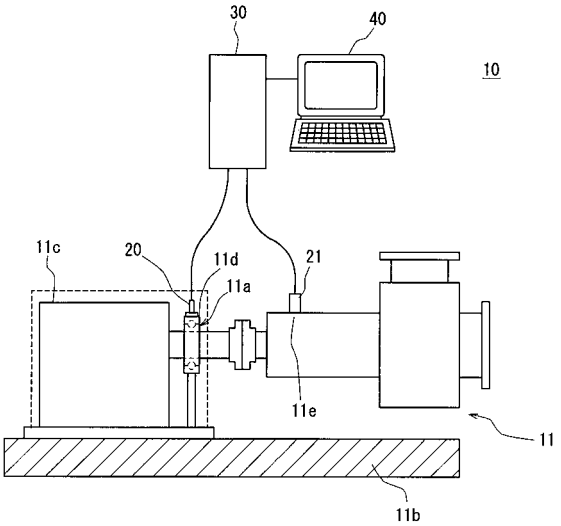
（２）ｒｍｓ値による尖り度が３～１１
（３）等価ピーク値による尖り度が４～１２
と大幅に低くなっており、軸受の状態を的確に判断できることが確認できた。

【０１０１】

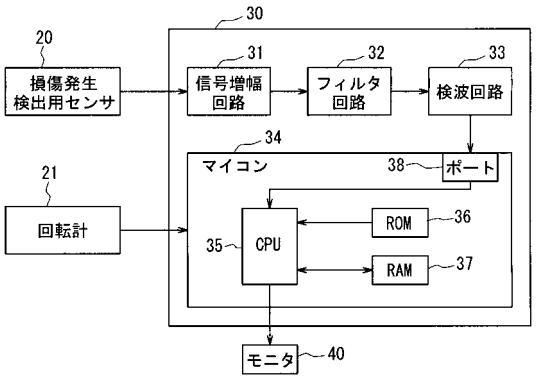
図２１に、１００ｒｐｍで回転する転がり軸受に参考第４実施形態の診断システムを適用した振動波形を示す。

図２１は、波形信号の周波数スペクトル演算手段７３によって得られた周波数スペクトルＳｓの一例であり、ｆｓ１＝６．５Ｈｚ、ｆｓ２＝１３．０Ｈｚにピーク周波数が表れている。すなわち、周期Ｔｓ１＝０．１５４ｓ、Ｔｓ２＝０．０７７ｓ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＝６．３５ｍｍ、ピッチ円径Ｄ＝２７．６０ｍｍ、転動体と転送面との接触角α＝９度であるから、外輪損傷時の異常発生周期としてＴｏｕｔ＝０．１５５ｓが得られる。これはＴｓ１およびＴｓ２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。

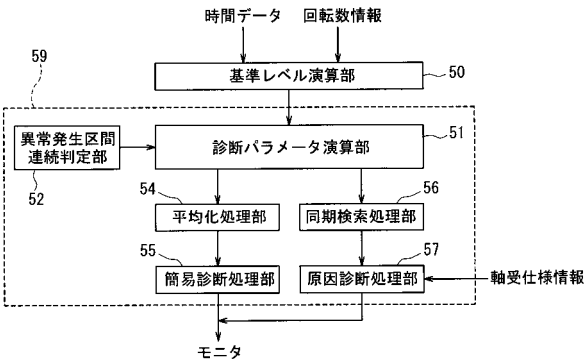
【図１】



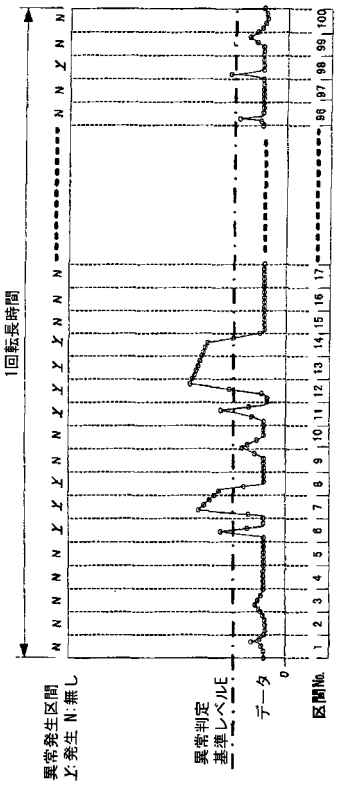
【図２】



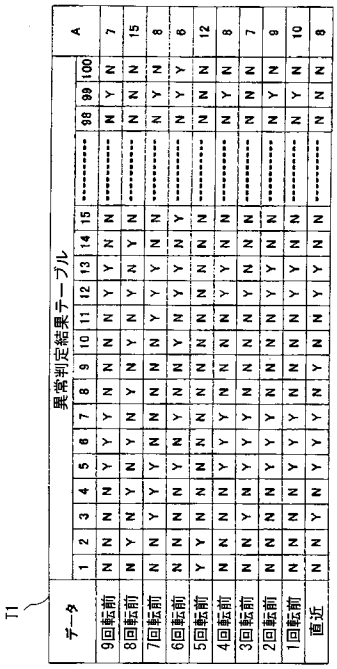
【図３】



【図４】



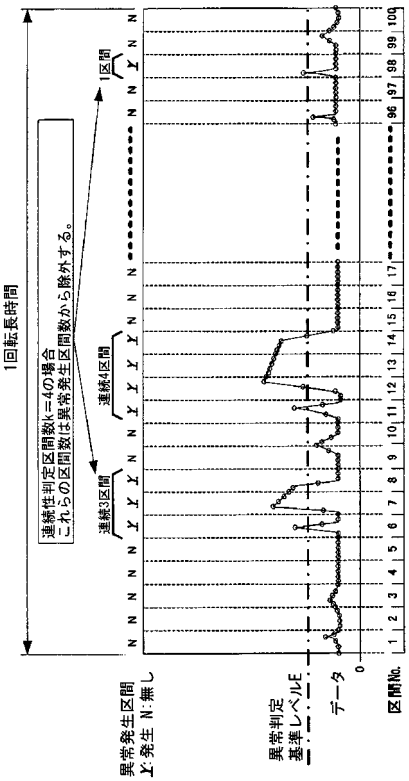
【図５】



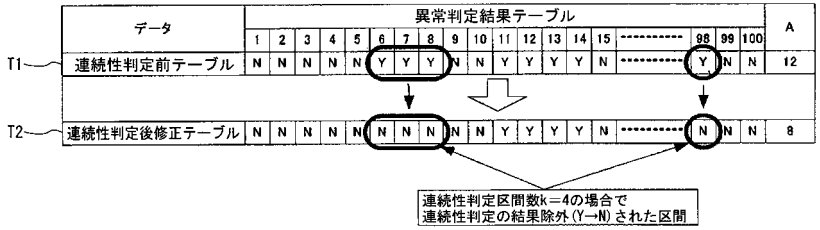
T1

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

【図６】

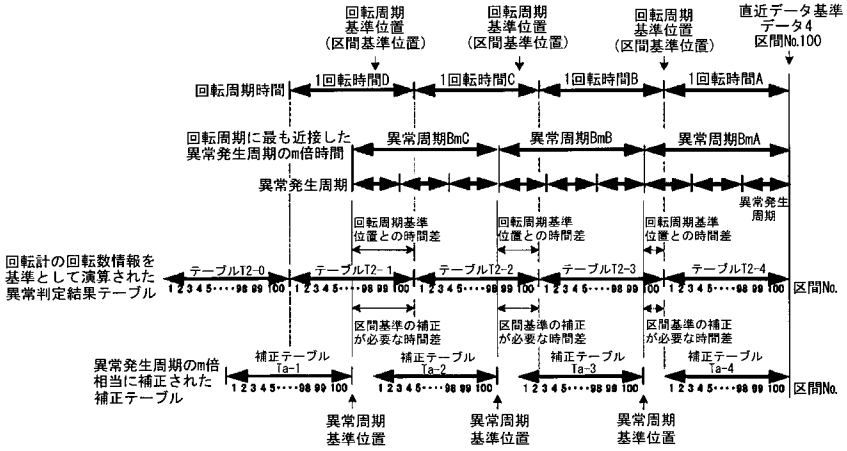


【図７】



【図８】

【図９】

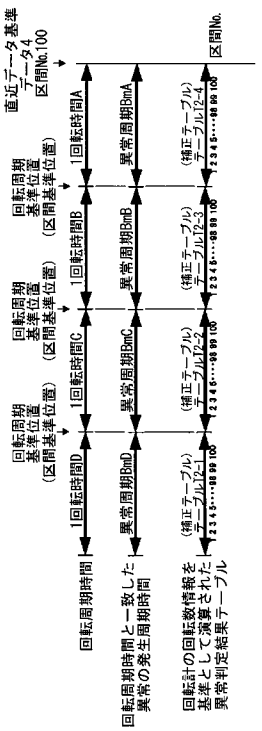


【図１０】

Ta　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.	元テーブル名	区間No.
0	補正テーブル1	1～100	－	－	テーブル1	1～100
	補正テーブル2	1～100	－	－	テーブル2	1～100
	補正テーブル3	1～100	－	－	テーブル3	1～100
	補正テーブル4	1～100	－	－	テーブル4	1～100
1	補正テーブル1	1～100	テーブル0	98～100	テーブル1	1～97
	補正テーブル2	1～100	テーブル1	99,100	テーブル2	1～98
	補正テーブル3	1～100	テーブル2	100	テーブル3	1～99
	補正テーブル4	1～100	－	－	テーブル4	1～100
2	補正テーブル1	1～100	テーブル0	95～100	テーブル1	1～94
	補正テーブル2	1～100	テーブル1	97～100	テーブル2	1～96
	補正テーブル3	1～100	テーブル2	99,100	テーブル3	1～98
	補正テーブル4	1～100	－	－	テーブル4	1～100
3	補正テーブル1	1～100	テーブル0	92～100	テーブル1	1～91
	補正テーブル2	1～100	テーブル1	95～100	テーブル2	1～94
	補正テーブル3	1～100	テーブル2	98～100	テーブル3	1～97
	補正テーブル4	1～100	－	－	テーブル4	1～100

【図１１】



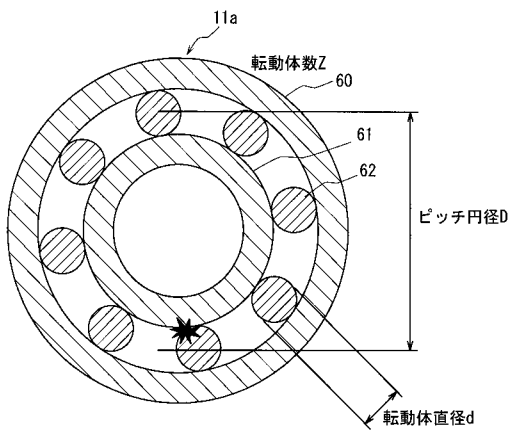
【図１２】

Ta

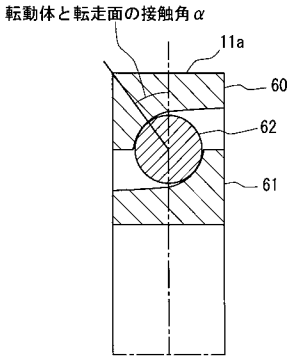
テーブル	データ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	----------	98	99	100
異常判定結果テーブル																				
補正テーブル1	3回転前	N	N	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	----------	N	N	N
補正テーブル2	2回転前	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	----------	N	Y	N
補正テーブル3	1回転前	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	N	N	Y	Y	N	N	----------	N	Y	N
補正テーブル4	直近	N	N	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	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	N	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=Σf÷k		75%																		

【図１３】

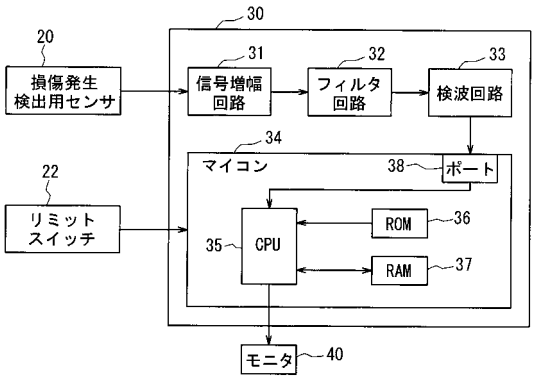
(Ａ)



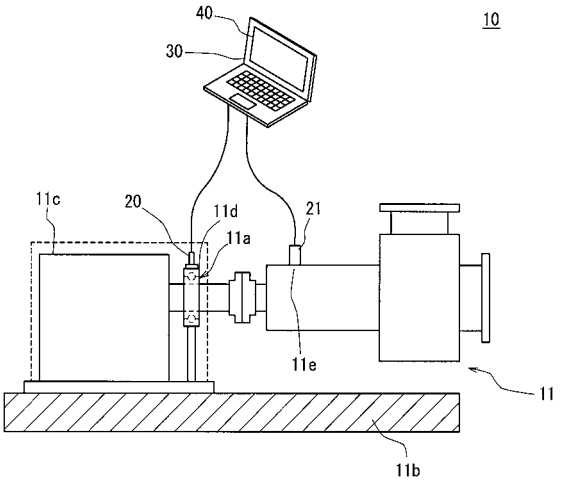
(Ｂ)



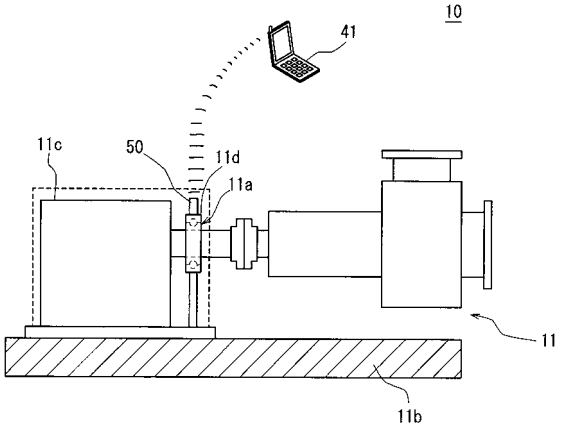
【図１４】



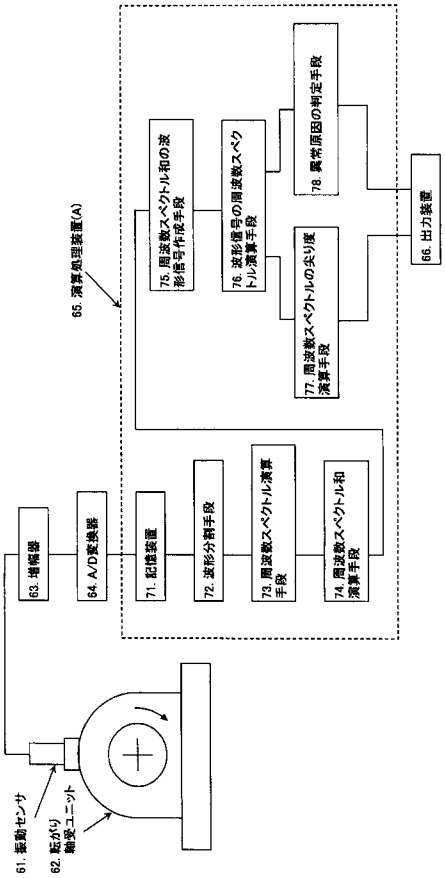
【図１５】



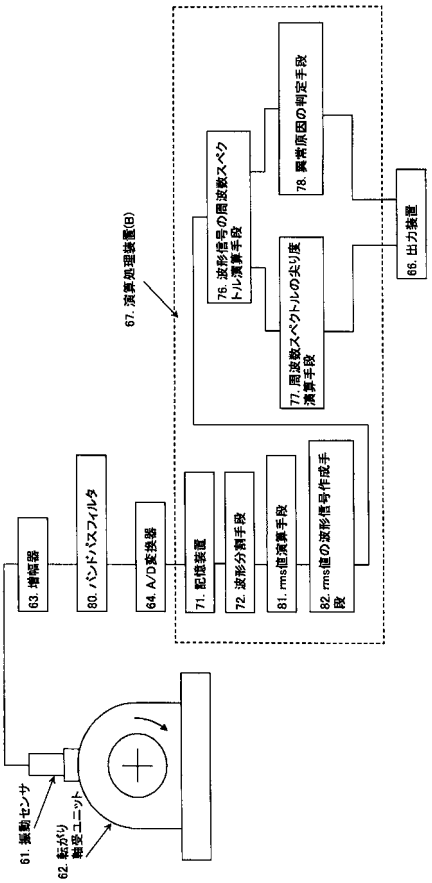
【図１６】



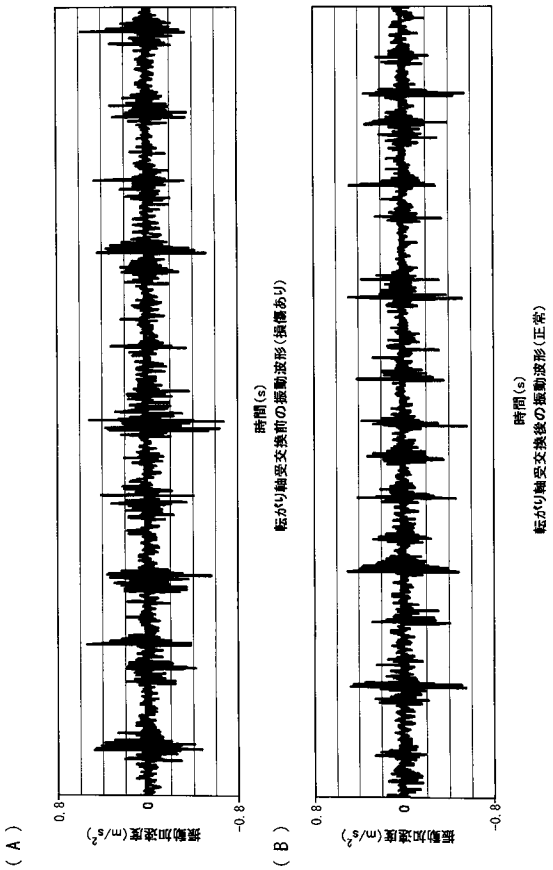
【図１７】



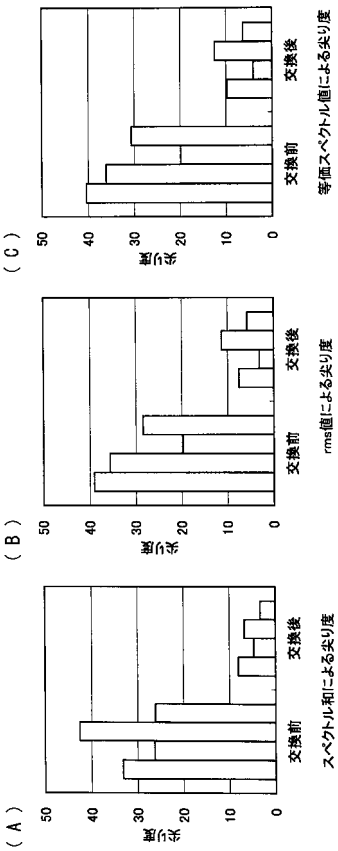
【図１８】



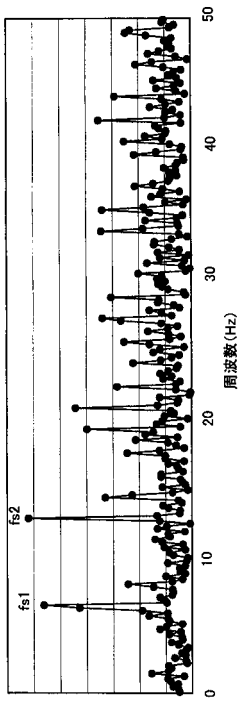
【図１９】



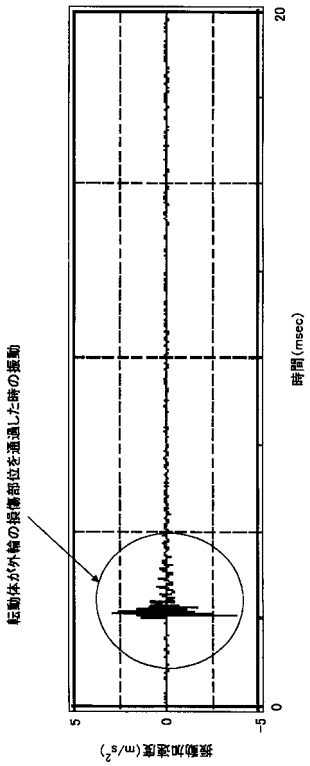
【図２０】



【図２１】



【図２２】



フロントページの続き

(72)発明者　濱山　豊嗣
兵庫県西宮市高畑町３番４８号　ＪＦＥアドバンテック株式会社内
(72)発明者　浦野　朗
兵庫県西宮市高畑町３番４８号　ＪＦＥアドバンテック株式会社内

審査官　福田　裕司

(56)参考文献　特開平０３－２４５０５４（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－０５０７３１（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０７７６８３（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１１３３５０（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２７１１８１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０５８８４９（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０２６５８０（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２３５６８２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G01M　13/04
G01H　17/00