

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2023-179851
(P2023-179851A)

(43)公開日 令和5年12月20日(2023.12.20)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
G 0 5 B 23/02 (2006.01)	G 0 5 B 23/02 R	2 G 0 2 4
G 0 1 R 31/34 (2020.01)	G 0 5 B 23/02 3 0 2 Y	2 G 1 1 6
G 0 1 M 99/00 (2011.01)	G 0 1 R 31/34 A	3 C 2 2 3
	G 0 1 R 31/34 C	
	G 0 1 M 99/00 A	
審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全22頁)		

(21)出願番号	特願2022-92708(P2022-92708)	(71)出願人	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22)出願日	令和4年6月8日(2022.6.8)	(71)出願人	317015294 東芝エネルギーシステムズ株式会社 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34
		(74)代理人	110001380 弁理士法人東京国際特許事務所
		(72)発明者	柏瀬 翔一 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
		(72)発明者	尾崎 健司 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内
		Fターム(参考)	2G024 AD03 AD25 BA27 CA04 最終頁に続く

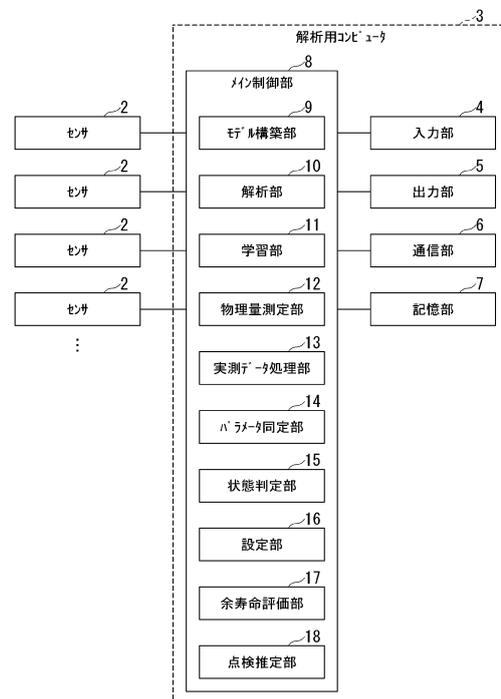
(54)【発明の名称】 装置状態評価システムおよび装置状態評価方法

(57)【要約】

【課題】過去に異常経験のない機器を含む装置であっても、機器の実測データから装置の異常の有無の評価を行うことができる装置状態評価技術を提供する。

【解決手段】装置状態評価システム1は、物理モデルに基づいて定式化された方程式にパラメータを反映して演算を行う解析部10と、それぞれの機器21で実際に測定された物理量を実測データとして取得する物理量測定部12と、装置20の状態を判定するための参照情報の設定を行う設定部16と、実測データが物理モデルのパラメータに反映され、実測データの解析が行われるときに、参照情報に基づいて装置20の状態を判定する状態判定部15とを備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも回転電機を含む複数の機器で構成される装置の動作を再現し、かつ前記動作に関連して生じる前記機器の状態を再現する物理モデルを構築するモデル構築部と、
前記物理モデルに基づいて定式化された方程式にパラメータを反映して演算を行う解析部と、

それぞれの前記機器で実際に測定された物理量を実測データとして取得する物理量測定部と、

前記装置の状態を判定するための参照情報の設定を行う設定部と、

前記実測データが前記物理モデルの前記パラメータに反映され、前記実測データの解析が行われるときに、前記参照情報に基づいて前記装置の状態を判定する状態判定部と、

を備える、

装置状態評価システム。

10

【請求項 2】

前記解析部の演算結果に対応する前記パラメータを教師データとして学習モデルに入力して機械学習を行う学習部と、

前記演算結果が前記実測データを再現する場合の前記パラメータである実測パラメータを学習済みの前記学習モデルに基づいて同定するパラメータ同定部と、

を備え、

前記参照情報は、前記演算結果に基づいて設定され、前記装置の異常の有無、異常兆候の有無、異常の事象、異常の原因、異常の度合、異常の種類のうち少なくとも 1 つを示す異常ラベルを含み、

20

前記状態判定部は、前記パラメータ同定部で同定された前記実測パラメータが解析されるときに、前記異常ラベルが対応付けられた前記教師データによって前記学習済みの前記学習モデルに基づいて前記装置の状態を判定する、

請求項 1 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 3】

前記学習部は、前記解析部で予め複数の前記パラメータの組み合わせに対応する演算が行われた場合のそれぞれの前記パラメータとこれらの前記パラメータに対応する前記演算結果とを前記教師データとして前記学習モデルに入力する、

30

請求項 2 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 4】

前記学習部は、前記演算結果で前記装置の異常と判定された場合の前記パラメータを前記異常ラベルに対応付け、このパラメータを前記教師データとして前記学習モデルに入力する、

請求項 2 または請求項 3 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 5】

前記設定部は、前記装置が異常と判定された場合の前記パラメータの組み合わせと前記演算結果から前記異常ラベルを設定する、

請求項 2 または請求項 3 に記載の装置状態評価システム。

40

【請求項 6】

前記参照情報は、予め定められた閾値を含み、

前記状態判定部は、前記実測データが解析されるときに、前記閾値に基づいて前記装置の状態を判定する、

請求項 1 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 7】

前記参照情報は、前記実測データの許容範囲を示すデータ用許容範囲を含み、

前記状態判定部は、前記実測データと前記データ用許容範囲との比較によって前記装置の状態を判定する、

請求項 1 に記載の装置状態評価システム。

50

【請求項 8】

前記パラメータ同定部によって前記実測データが同定された前記パラメータを前記物理モデルに反映した場合の前記演算結果に基づいてそれぞれの前記機器の余寿命を算出する余寿命評価部を備える、

請求項 2 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 9】

前記設定部は、前記余寿命評価部で算出された前記余寿命と予め計画された運用期間との比較に基づいて前記異常ラベルを設定する、

請求項 8 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 10】

前記余寿命評価部は、前記パラメータ同定部で同定された前記実測パラメータを前記物理モデルに反映した場合に前記解析部で得られるそれぞれの前記機器に関連する荷重と応力と電圧と電流と温度の少なくとも 1 つを求めた結果から前記余寿命を評価する、

請求項 8 または請求項 9 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 11】

前記設定部は、前記装置の要求機能、材料特性、法令の少なくともいずれかの条件を満たすか否かに基づいて前記参照情報を設定する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 12】

前記物理量測定部によって取得された前記実測データを前記解析部の演算に対応する形式の分析用データに変換する実測データ処理部を備える、

請求項 1 または請求項 2 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 13】

前記物理モデルは、

それぞれの前記機器の回転運動と並進運動の少なくとも一方に関する力学システムの挙動を表す力学モデルと、

少なくとも 1 つの前記機器を構成する制御部が前記装置全体の挙動を制御するための制御モデルと、

前記装置の電気システムの挙動を表す電気モデルと、

前記装置の磁気システムの挙動を表す磁気モデルと、

前記装置の熱に関する挙動を表す熱モデルと、

少なくとも 1 つの前記機器を構成するポンプに接続された配管を流れる流体の流量と圧力の少なくとも一方の挙動を表す流体モデルと、

それぞれの前記機器の材料特性を表す物性モデルと、

それぞれの前記機器の寸法と形状の少なくとも一方の情報を有する構造モデルと、

の少なくとも 1 つを含み、

前記パラメータの組み合わせによって前記装置の挙動を再現する、

請求項 1 または請求項 2 に記載の装置状態評価システム。

【請求項 14】

モデル構築部が、少なくとも回転電機を含む複数の機器で構成される装置の動作を再現し、かつ前記動作に関連して生じる前記機器の状態を再現する物理モデルを構築するステップと、

解析部が、前記物理モデルに基づいて定式化された方程式にパラメータを反映して演算を行うステップと、

物理量測定部が、それぞれの前記機器で実際に測定された物理量を実測データとして取得するステップと、

設定部が、前記装置の状態を判定するための参照情報の設定を行うステップと、

前記実測データが前記物理モデルの前記パラメータに反映され、前記実測データの解析が行われるときに、状態判定部が、前記参照情報に基づいて前記装置の状態を判定するステップと、

10

20

30

40

50

を含む、
装置状態評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、装置状態評価技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、センサから検出した測定データから電動機の異常の有無の判断または原因の推定を行う技術がある。例えば、測定データと予め設定した閾値と比較することによって異常の有無を判断する技術がある。 10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第6968323号公報

【特許文献2】特許第6316510号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

適切な閾値の設定するときには、過去の異常に関連するデータを活用する。例えば、異常兆候の有無または異常時の原因を判断する場合には、異常が発生したときに取得される異常データが必要となる。しかし、異常発生事例の少ない機器の異常データの取得は困難であるため、測定データから異常を判断することが難しい。例えば、大型プラントなどが長期間に亘り停止につながる重要な機器、または原子力プラントなどの安全上重要な機器については、異常が発生する前に定期的な分解点検が行われ、修理または交換が行われる。そのため、異常の発生事例が極めて少ない。また、1つの機器に対して様々な異常モードが発生する可能性があり、このような異常モードの全てに対してデータが必要となる。 20

【0005】

電動機に対しては、振動を監視し、レベルの変化および周波数特性の変化から異常兆候を判断する技術が用いられている場合がある。異常兆候の有無の判断は、点検員が経験に基づいて行っており、判断結果の妥当性に乏しい。また、振動の変化は、機器の周波数特性またはセンサの据付状態に依存する。そのため、所定のデータのみに基づく診断では、異常の有無の判断または原因の推定が困難である。 30

【0006】

本発明の実施形態は、このような事情を考慮してなされたもので、過去に異常経験のない機器を含む装置であっても、機器の実測データから装置の異常の有無の評価を行うことができる装置状態評価技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の実施形態に係る装置状態評価システムは、少なくとも回転電機を含む複数の機器で構成される装置の動作を再現し、かつ前記動作に関連して生じる前記機器の状態を再現する物理モデルを構築するモデル構築部と、前記物理モデルに基づいて定式化された方程式にパラメータを反映して演算を行う解析部と、それぞれの前記機器で実際に測定された物理量を実測データとして取得する物理量測定部と、前記装置の状態を判定するための参照情報の設定を行う設定部と、前記実測データが前記物理モデルの前記パラメータに反映され、前記実測データの解析が行われるときに、前記参照情報に基づいて前記装置の状態を判定する状態判定部と、を備える。 40

【発明の効果】

【0008】

本発明の実施形態により、過去に異常経験のない機器を含む装置であっても、機器の実 50

測データから装置の異常の有無の評価を行うことができる装置状態評価技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】装置状態評価システムのシステム構成を示すブロック図。

【図2】装置に接続された装置状態評価システムを示す構成図。

【図3】センサから取得した物理量を分析用データに変換する態様を示す説明図。

【図4】カップリング据付不良の第1例を示す説明図。

【図5】カップリング据付不良の第2例を示す説明図。

【図6】パラメータと演算結果と異常ラベルに基づく学習の態様を示す説明図。

10

【図7】異常ラベルの設定例を示す説明図。

【図8】疲労と時間の関係を示すグラフ。

【図9】応力振幅と破断繰り返し数の関係を示すグラフ。

【図10】装置状態評価方法を示すフローチャート。

【図11】閾値を設定する変形例を示す説明図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照しながら、装置状態評価システムおよび装置状態評価方法の実施形態について詳細に説明する。

【0011】

20

図1の符号1は、本実施形態の装置状態評価システムである。この装置状態評価システム1は、所定の装置20（図2）の異常の有無の判定、異常の原因の推定などを最適化することによって、装置20の保全活動を支援するものである。特に、装置状態評価システム1は、過去に異常経験のない装置20に対して、実測データから、装置20の状態を評価するために用いられる。なお、装置20の状態は、異常の有無、異常兆候の有無、異常の事象、異常の原因、異常の度合、異常の種類少なくともいずれかを含む。

【0012】

本実施形態の装置状態評価システム1は、CPU、ROM、RAM、HDDなどのハードウェア資源を有し、CPUが各種プログラムを実行することで、ソフトウェアによる情報処理がハードウェア資源を用いて実現されるコンピュータで構成される。さらに、本実施形態の装置状態評価方法は、各種プログラムをコンピュータに実行させることで実現される。

30

【0013】

まず、装置状態評価システム1のシステム構成を図1に示すブロック図を参照して説明する。

【0014】

装置状態評価システム1は、複数のセンサ2と解析用コンピュータ3とを備える。解析用コンピュータ3は、入力部4と出力部5と通信部6と記憶部7とメイン制御部8とを備える。

【0015】

40

入力部4には、解析用コンピュータ3を使用するユーザの操作に応じて所定の情報が入力される。この入力部4には、マウスまたはキーボードなどの入力装置が含まれる。つまり、これら入力装置の操作に応じて所定の情報が入力部4に入力される。

【0016】

出力部5は、所定の情報の出力を行う。本実施形態の装置状態評価システム1には、解析結果の出力を行うディスプレイなどの画像の表示を行うデバイスが含まれる。つまり、出力部5は、ディスプレイに表示される画像の制御を行う。なお、ディスプレイはコンピュータ本体と別体であっても良いし、一体であっても良い。

【0017】

なお、本実施形態の装置状態評価システム1は、ネットワークを介して接続される他の

50

コンピュータが備えるディスプレイに表示される画像の制御を行っても良い。その場合には、他のコンピュータが備える出力部 5 が、本実施形態の解析結果の出力の制御を行っても良い。

【 0 0 1 8 】

なお、本実施形態では、画像の表示を行うデバイスとしてディスプレイが例示されるが、その他の態様でも良い。例えば、ヘッドマウントディスプレイまたはプロジェクタを用いて画像の表示が行われても良い。さらに、紙媒体に情報を印字するプリンタがディスプレイの替りとして用いられても良い。つまり、出力部 5 が制御する対象として、ヘッドマウントディスプレイ、プロジェクタまたはプリンタが含まれても良い。

【 0 0 1 9 】

通信部 6 は、インターネットなどの通信回線を介して他のコンピュータと通信を行う。なお、本実施形態では、装置状態評価システム 1 と他のコンピュータがインターネットを介して互いに接続されているが、その他の態様であっても良い。例えば、装置状態評価システム 1 と他のコンピュータが LAN (Local Area Network)、WAN (Wide Area Network) または携帯通信網を介して互いに接続されても良い。

【 0 0 2 0 】

記憶部 7 には、装置 2 0 の状態の評価を行うときに必要な各種情報が記憶される。なお、この記憶部 7 は、所定のデータベースを備える。これらは、メモリ、HDD またはクラウドに記憶され、検索または蓄積ができるよう整理された情報の集まりである。

【 0 0 2 1 】

メイン制御部 8 は、モデル構築部 9 と解析部 1 0 と学習部 1 1 と物理量測定部 1 2 と実測データ処理部 1 3 とパラメータ同定部 1 4 と状態判定部 1 5 と設定部 1 6 と余寿命評価部 1 7 と点検推定部 1 8 とを備える。これらは、メモリまたは HDD に記憶されたプログラムが CPU によって実行されることで実現される。

【 0 0 2 2 】

なお、解析用コンピュータ 3 の各構成は、必ずしも 1 つのコンピュータに設ける必要はない。例えば、1 つの解析用コンピュータ 3 が、ネットワークで互いに接続された複数のコンピュータで実現されても良い。例えば、学習部 1 1 が、解析用コンピュータ 3 とは別のコンピュータに設けられている構成でも良い。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示すように、本実施形態で診断の対象となる装置 2 0 は、原子力プラントなどに設けられるものを例示する。装置 2 0 は、複数の機器 2 1 で構成される。例えば、装置 2 0 は、制御盤 2 1 A と電動機 2 1 B と回転体 2 1 C と負荷側の機器群 2 1 D などによって構成される。

【 0 0 2 4 】

ここで、制御盤 2 1 A は、電動機 2 1 B の挙動の制御に係る構成要素 (制御部) に相当する。例えば、制御盤 2 1 A は、電動機 2 1 B の回転速度またはトルクなどの制御を行う。

【 0 0 2 5 】

また、回転体 2 1 C は、電動機 2 1 B から出力されるエネルギーを負荷側の機器群 2 1 D に伝達する構成要素である。

【 0 0 2 6 】

負荷側の機器群 2 1 D は、回転体 2 1 C から伝達されたエネルギーを消費する構成要素に相当する。なお、負荷側の機器群 2 1 D とは、例えば、ポンプ、ファン、ギヤなどで構成されるものがある。

【 0 0 2 7 】

ここで、本実施形態の回転電機として電動機 2 1 B を例示する。つまり、装置 2 0 は、少なくとも回転電機を含む複数の機器 2 1 で構成される。なお、回転電機は、発電機でも良い。回転電機が電動機 2 1 B または発電機のいずれの場合であっても、本実施形態を適用することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

例えば、回転電機に関する所定の周波数のパラメータがあるとする。この周波数は、回転電機から出力される電力の周波数、または、回転電機に供給される電力の周波数のいずれでも良い。回転電機が電動機 2 1 B である場合は、この電動機 2 1 B に外部から供給される交流の周波数となる。また、回転電機が発電機である場合は、この発電機から外部へ出力される交流の周波数となる。

【 0 0 2 9 】

なお、装置状態評価システム 1 のそれぞれのセンサ 2 は、装置 2 0 に設置される。センサ 2 は、振動、電流、電圧、磁束、温度、圧力、回転トルク、荷重の少なくとも 1 つを物理量として検出する。このようにすれば、いずれの種類の機器 2 1 であってもセンサ 2 により物理量を取得することができる。

10

【 0 0 3 0 】

例えば、制御盤 2 1 A と電動機 2 1 B と回転体 2 1 C と負荷側の機器群 2 1 D にセンサ 2 が設けられる。これらのセンサ 2 で取得した所定の情報が解析用コンピュータ 3 に入力される。なお、センサ 2 は、装置 2 0 に予め設置されているのみならず、点検の度に設置されるものでも良い。また、既に設置されているセンサ 2 の設置場所が変更されるものでも良い。

【 0 0 3 1 】

これらのセンサ 2 は、装置 2 0 の状態に応じて変化する物理量を検出する。物理量の具体例としては、制御盤 2 1 A および電動機 2 1 B における電流および電圧、電動機 2 1 B の温度、電動機 2 1 B と回転体 2 1 C の振動、電動機 2 1 B の磁束、荷重、トルクなどが挙げられる。

20

【 0 0 3 2 】

本実施形態において、モデル構築部 9 (図 1) は、装置 2 0 の動作を再現し、かつ動作に関連して生じる機器 2 1 の状態を再現する物理モデルを構築する。なお、物理モデルとは、装置 2 0 に関する物理量のシミュレーションを行うことができる仮想のモデルのことである。物理モデルを用いることで、正常な動作をしている機器 2 1 のシミュレーションを行うことができるばかりか、異常な動作をしている機器 2 1 のシミュレーションを行うこともできる。

【 0 0 3 3 】

物理モデルは、パラメータの組み合わせによって装置 2 0 の挙動を再現する。例えば、物理モデルは、力学モデルと制御モデルと電気モデルと磁気モデルと熱モデルと流体モデルと物性モデルと構造モデルとの少なくとも 1 つを含む。

30

【 0 0 3 4 】

ここで、力学モデルは、電動機 2 1 B、回転体 2 1 C、負荷側の機器群 2 1 D などのそれぞれの機器 2 1 の回転運動と並進運動の少なくとも一方に関する力学システムの挙動を表す。制御モデルは、少なくとも 1 つの機器 2 1 を構成する制御部としての制御盤 2 1 A が装置 2 0 全体の挙動を制御するためのものである。電気モデルは、装置 2 0 の電気システムの挙動を表す。磁気モデルは、装置 2 0 の磁気システムの挙動を表す。熱モデルは、装置 2 0 の熱に関する挙動を表す。流体モデルは、少なくとも 1 つの機器 2 1 を構成するポンプに接続された配管を流れる流体の流量と圧力の少なくとも一方の挙動を表す。物性モデルは、それぞれの機器 2 1 の材料特性を表す。構造モデルは、それぞれの機器 2 1 の寸法と形状の少なくとも一方の情報を有する。このようにすれば、様々なモデルに応じて装置 2 0 の挙動を精密に再現することができる。

40

【 0 0 3 5 】

つまり、物理モデルは、装置 2 0 の構造または機能をモデル化し、定式化したものである。そして、これらに対応する方程式群が定式化されている。

【 0 0 3 6 】

また、物理モデルには、装置 2 0 を構成するそれぞれの機器 2 1 の異常を示す異常モデルが含まれる。例えば、図 4 および図 5 に示すように、回転体 2 1 C としてカップリング

50

を考える。カップリングの据付不良によって生じる回転中心からの偏心 e_c または偏角 d_c の効果がモデルとして定式化されている。さらに、偏心 e_c または偏角 d_c の大きさなど異常の程度を表すパラメータが定義されている。

【 0 0 3 7 】

また、一部のモデルとして、入力と出力を関連付けた数理モデルを使用しても良い。このようにすれば、設計情報のない機器の機能をモデルに取り込んで解析することができる。なお、数理モデルの構築に必要なデータは、実機データを使用しても良いし、予め要素試験で取得しても良い。また、別途実施した解析結果を用いても良い。

【 0 0 3 8 】

また、回転体 2 1 C の異常として、軸受の芯ずれ、電動機 2 1 B のロータバーまたは短絡環の折損、ロータバーの出張り、固定子内またはスロット内のコイルの出張り、回転体 2 1 C の曲がりまたはクラック、部品の欠落、残留不釣り合い、固定子巻線の短絡または焼損、電源電圧の不平衡、インバータの不正波、転がり軸受（内輪、外輪、転動体）の疵などがある。それぞれの異常に関するパラメータが定義されている。

10

【 0 0 3 9 】

解析部 1 0（図 1）は、物理モデルに基づいて定式化された方程式（方程式群）にパラメータを反映して演算を行う。この演算には、有限要素法（Finite Element Method：FEM）などを用いた構造解析が含まれる。

【 0 0 4 0 】

ここで、物理量測定部 1 2（図 1）は、それぞれの機器 2 1 で実際に測定された物理量を実測データとして取得する。この物理量測定部 1 2 は、センサ 2（図 1）が検出した物理量を時系列データとして取得する。例えば、図 3 に示すように、物理量測定部 1 2 は、それぞれの機器 2 1 から電流、磁束、加速度、角速度、トルク、変位量、圧力などを示す物理量を含む時系列データを実測データとして取得する。

20

【 0 0 4 1 】

本実施形態では、物理量測定部 1 2 が、装置 2 0 の運転中にセンサ 2 を用いて、リアルタイムで物理量を取得する態様を例示するが、その他の態様であっても良い。例えば、定期点検に、センサ 2 を機器 2 1 に取り付けて物理量を取得して記録しておき、後日、その記録を物理量測定部 1 2 が取得しても良い。

【 0 0 4 2 】

つまり、物理量測定部 1 2 は、それぞれのセンサ 2 が検出した物理量と、機器 2 1 で過去に試験または点検を行ったときに得られた試験データまたは点検データに含まれる物理量との少なくとも一方を実測データとして取得する。このようにすれば、現状の物理量と過去の物理量の少なくとも一方に基づき、装置 2 0 の異常の有無を判定することができる。

30

【 0 0 4 3 】

なお、試験データまたは点検データには、機器 2 1 が故障したか否かを示す情報も含まれる。つまり、本実施形態の物理量には、機器 2 1 が過去に故障したか否かを示す情報が含まれる。また、物理量には、過去に故障した日時と箇所と状態を示す情報が含まれる。

【 0 0 4 4 】

なお、物理量測定部 1 2 が取得するデータは、複数種類の物理量を取得する方が好ましい。例えば、振動は、機器 2 1 の支持構造特性またはセンサ 2 の据付状態の影響を受けるため、振動データのみでは異常による物理量の変化なのか否かの判断が難しい。このような場合、振動に加え電流などの物理量から総合的に判断することができる。

40

【 0 0 4 5 】

また、実測データ処理部 1 3（図 1）は、物理量測定部 1 2 によって取得された実測データを解析部 1 0 の演算に対応する形式の分析用データに変換する。ここで、解析部 1 0 で実行する演算には、実測データ処理部 1 3 から出力された分析用データと同じ形式で出力するための演算も含まれる。

【 0 0 4 6 】

50

例えば、図 3 に示すように、実測データ処理部 13 が振動のスペクトルデータを出力する場合には、対応する解析部 10 の演算結果についても同様に、振動のスペクトルデータを出力するためのフーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) の演算を行う。ここで、実測データとしての時系列データが分析用データに変換される。このようにすれば、実測データを演算に最適な形式に変換して、解析部 10 で演算を高速に行うことができる。

【0047】

この実測データ処理部 13 は、例えば、物理量測定部 12 が取得した振動、電流、電圧、磁束などの実測データをフーリエ変換によってスペクトルデータに変換する。また、実測データ処理部 13 は、必要に応じてフィルタ処理を行う。また、実測データ処理部 13 は、温度と圧力などの時系列データについて、必要に応じて最大値、最小値、平均値、実効値、オーバーオール値などに変換する処理を行う。これらの処理によって、実測データの特徴量の抽出と不要なノイズなどの除去を行うことができる。また、測定によって生じる誤差とばらつきに対する処理を行うことができる。例えば、計測器の測定誤差または統計誤差があるため、これらに対する処理を行う。

10

【0048】

パラメータ同定部 14 (図 1) は、解析部 10 の演算結果が実測データを再現する場合のパラメータである実測パラメータを、学習部 11 で学習した教師データ (訓練データ) に基づいて同定する。例えば、パラメータ同定部 14 は、解析部 10 の演算結果が実測データを再現する場合のパラメータである実測パラメータを学習済みの学習モデルに基づいて同定する。本実施形態では、実測データから変換された分析用データが用いられる。つまり、解析部 10 の演算結果が分析用データを再現するように、パラメータを学習部 11 で学習した教師データに基づいて同定する。言い換えると、再現の結果、導き出される分析用データが、実測データと一致するように、解析部 10 で物理モデルを用いた解析を行う。

20

【0049】

例えば、物理モデルで異常がある状態の装置 20 の動作を再現した場合には、その異常時のパラメータを取得することができる。このようにすれば、異常時のパラメータを実際の装置 20 の異常の有無の判定に用いることができる。

【0050】

また、パラメータ同定部 14 は、装置 20 の物理モデルが、実測データ処理部 13 から出力された分析用データを再現する最適なパラメータの組み合わせを推論し、これらを実測パラメータとして出力する。このとき、誤差とばらつきを考慮した推定が行われる。

30

【0051】

また、解析部 10 は、パラメータ同定部 14 で同定したパラメータを反映して演算を実行する。例えば、解析部 10 は、装置 20 を構成するそれぞれの機器 21 に働く荷重または回転体 21 C の位置などの時間変化に関する演算結果を取得する。また、演算で生じる数値誤差の評価も行う。

【0052】

本実施形態の装置状態評価システム 1 は、パラメータ同定部 14 において、例えば、ニューラルネットワークによって生成された学習済みモデルを用いて、実測データ処理部 13 から出力された分析用データを再現する実測パラメータを求める。

40

【0053】

本実施形態のパラメータは、例えば、電動機 21 B の場合、電動機 21 B の寸法と形状に関するもの、コイル巻数またはスロット数などを含む。また、パラメータは、電気抵抗などの構成部品の特性を含む。また、パラメータは、装置 20 の運転条件または周囲環境などを含む。これらのパラメータは、装置 20 を構成するそれぞれの機器 21 の仕様に基づいて取得しても良いし、実際の試験によって取得しても良いし、シミュレーションによって取得しても良い。

【0054】

50

学習部 11 (図 1) は、解析部 10 の演算結果に対応するそれぞれのパラメータを教師データとして学習する。例えば、学習部 11 は、解析部 10 の演算結果に対応するパラメータを教師データとして学習モデルに入力して機械学習を行う。この学習部 11 は、解析部 10 で予め複数のパラメータの組み合わせに対応する演算が行われた場合のそれぞれのパラメータとこれらパラメータに対応する演算結果とを教師データとして学習モデルに入力する。このようにすれば、学習の精度を向上させることができる。

【 0 0 5 5 】

例えば、解析部 10 の演算結果で装置 20 の異常と判定された場合のパラメータが、異常ラベルに対応付けられる。学習部 11 は、このパラメータを教師データとして学習モデルに入力する。具体的には、解析部 10 で予め複数のパラメータの組み合わせに対応する演算が行われ、その結果が装置 20 の異常と判定される場合がある。この場合において、学習部 11 は、それぞれのパラメータとこれらパラメータに対応する演算結果に対応する異常ラベルを教師データに対応付けて機械学習を行う。このようにすれば、装置 20 の異常と判定された結果に基づき、異常ラベルが設定されるため、装置 20 の異常を適切に評価することができる。

10

【 0 0 5 6 】

図 6 に示すように、この学習部 11 は、解析部 10 において様々なパラメータの条件の下で予め演算された結果を教師データ (訓練データ) として、機械学習によって学習モデルを生成する。例えば、ニューラルネットワークによる機械学習により生成された学習モデルなどがある。ここで、学習部 11 は、解析部 10 の演算で用いたパラメータと演算結果を教師データとして学習モデルを作成する。

20

【 0 0 5 7 】

本実施形態の装置状態評価システム 1 は、機械学習を行うアルゴリズムを備えたコンピュータを含む。つまり、機械学習を行う人工知能 (AI: Artificial Intelligence) を備えるコンピュータが含まれる。例えば、この装置状態評価システム 1 は、ニューラルネットワークを備える 1 台のコンピュータで構成されても良いし、ニューラルネットワークを備える複数台のコンピュータで構成されても良い。

【 0 0 5 8 】

なお、装置状態評価システム 1 には、深層学習に基づいて、複数のパターンから特定のパターンを抽出する深層学習部が含まれても良い。

30

【 0 0 5 9 】

本実施形態のコンピュータを用いた解析には、人工知能の学習に基づく解析技術を用いることができる。例えば、ニューラルネットワークによる機械学習により生成された学習モデル、その他の機械学習により生成された学習モデル、深層学習アルゴリズム、回帰分析などの数学的アルゴリズムを用いることができる。また、機械学習の形態には、クラスタリング、深層学習などの形態が含まれる。

【 0 0 6 0 】

ここで、ニューラルネットワークとは、脳機能の特性をコンピュータによるシミュレーションによって表現した数学モデルである。例えば、シナプスの結合によりネットワークを形成した人工ニューロン (ノード) が、学習によってシナプスの結合強度を変化させ、問題解決能力を持つようになるモデルを示す。さらに、ニューラルネットワークは、深層学習 (Deep Learning) により問題解決能力を取得する。

40

【 0 0 6 1 】

例えば、ニューラルネットワークには、複数層のレイヤーを有する中間層が設けられる。この中間層の各レイヤーは、複数個のユニットで構成されている。また、多層のニューラルネットワークに教師データを用いて予め学ばせておくことで、回路または系統の状態の変化のパターンの中にある特徴量を自動で抽出することができる。なお、多層のニューラルネットワークは、ユーザーインターフェース上で、任意の中間層数、任意のユニット数、任意の学習率、任意の学習回数、任意の活性化関数を設定することができる。

【 0 0 6 2 】

50

なお、学習対象となる各種情報項目に報酬関数が設定されるとともに、報酬関数に基づいて価値が最も高い情報項目が抽出される深層強化学習をニューラルネットワークに用いても良い。

【0063】

例えば、画像認識で実績のあるCNN (Convolution Neural Network) が用いられる。このCNNでは、中間層が畳み込み層とプーリング層で構成される。畳み込み層は、前の層で近くにあるノードにフィルタ処理を施すことで特徴マップを取得する。プーリング層は、畳み込み層から出力された特徴マップを、さらに縮小して新たな特徴マップとする。この際の特徴マップにおいて着目する領域に含まれる画素の最大値を得ることで、特徴量の位置の多少のずれも吸収することができる。

10

【0064】

畳み込み層は、画像の局所的な特徴を抽出し、プーリング層は、局所的な特徴をまとめる処理を行う。これらの処理では、入力画像の特徴を維持しながら画像が縮小処理される。つまり、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) では、画像の持つ情報量を大幅に圧縮 (抽象化) することができる。そして、ニューラルネットワークに記憶された抽象化された画像イメージを用いて、入力される画像を認識し、画像の分類を行うことができる。

【0065】

なお、機械学習には、オートエンコーダ、LSTM (Long Short-Term Memory)、SDF (Signed Distance Function)、GAN (Generative Adversarial Network)、RNN (Recurrent Neural Network) などの各種手法がある。これらの手法が本実施形態の機械学習に適用されても良い。

20

【0066】

設定部16は、装置20の状態を判定するための参照情報の設定を行う。本実施形態の参照情報は、解析部10の演算結果に基づいて設定され、装置20の異常の有無、異常兆候の有無、異常の事象、異常の原因、異常の度合、異常の種類少なくとも1つを示す異常ラベルを含む。

【0067】

例えば、設定部16は、装置20の異常の有無を判定するための異常ラベルの設定を行う。この異常ラベルを用いて機械学習が行われることで、学習モデルは、複数のパラメータの組み合わせに対応する解析結果であって、解析部10の演算結果が、装置20の異常の状態を示す否かを判定できるようになる。

30

【0068】

この設定部16は、装置20が異常と判定された場合のパラメータの組み合わせと、解析部10の演算結果から、異常ラベルを設定する。このようにすれば、装置20における異常を適切に評価することができる。

【0069】

判定の基準としては、解析部10で所定のパラメータに対して演算を行った結果が、複数の機器21で構成される装置20の機能要求、材料特性、法令 (法的制約) などの要求条件を満たすか否かが挙げられる。

40

【0070】

ここで、機能要求としては、例えば、回転数、トルク、流量、圧力、駆動速度、応答、温度、電圧、電流などが挙げられる。また、材料特性としては、例えば、疲労寿命、熱サイクル寿命、塑性変形、破断に至る荷重などが挙げられる。法令としては、例えば、音量、化学物質の排出量、温度などの法的な制約が挙げられる。

【0071】

本実施形態の設定部16は、装置20の要求機能、材料特性、法令の少なくともいずれかの条件を満たすか否かに基づいて異常ラベル (参照情報) を設定する。このようにすれば、過去に異常経験のない機器21を備える装置20の異常の有無の判定において、点検員の経験に基づく基準ではなく、合理的な評価基準の設定が可能になる。

50

【 0 0 7 2 】

なお、異常ラベルは、解析部 1 0 の演算結果だけでなく、物理モデルのパラメータに対して設定しても良い。このようにすれば、パラメータ同定部 1 4 で同定したパラメータから、装置 2 0 の異常の判定を行うことができる。

【 0 0 7 3 】

センシング、シミュレーション、パラメータの同定、材料特性には、ばらつき、誤差などが存在する。そのため、異常ラベルは、統計分布を考慮して設定される。なお、異常ラベルは、要求条件に裕度を持たせて設定しても良い。このようにすれば、異常が発生する直前に、その兆候を評価することができ、機器 2 1 の修理または交換を行うことができる。

10

【 0 0 7 4 】

余寿命評価部 1 7 (図 1) は、パラメータ同定部 1 4 によって実測データが同定されたパラメータを物理モデルに反映した場合の解析部 1 0 の演算結果に基づいて、それぞれの機器 2 1 の余寿命を算出する。このようにすれば、複数のパラメータの組み合わせに対する余寿命を評価することができる。

【 0 0 7 5 】

また、余寿命評価部 1 7 は、パラメータ同定部 1 4 で同定された実測パラメータを物理モデルに反映した場合に、解析部 1 0 で得られるそれぞれの機器 2 1 に関連する荷重と応力と電圧と電流と温度の少なくとも 1 つを求めた結果から余寿命を評価する。このようにすれば、機器 2 1 にかかる荷重または応力を考慮した余寿命を評価することができる。

20

【 0 0 7 6 】

例えば、余寿命評価部 1 7 は、演算によって装置 2 0 を構成するそれぞれの機器 2 1 の荷重と応力の時間変化を求め、寿命評価式と材料特性から余寿命を判断する。また、本実施形態では、荷重と応力のみならず、電圧または電流の時間変化による絶縁材料の劣化と、熱サイクル (温度の時間変化) による材料の劣化などから余寿命を判断することも可能となっている。

【 0 0 7 7 】

異常ラベルの決定方法としては、例えば、図 7 に示すように、機器 2 1 の軸受の芯ずれ、または、回転体 2 1 C のアンバランスなどで遠心力による振動が発生したとする。ここで、回転体 2 1 C を支持する転がり軸受にラジアル荷重 P が働く場合の基本定格寿命 L 1 0 がある。このラジアル荷重 P は、物理モデルに基づき、複数のパラメータの組み合わせに足される。そして、ラジアル荷重 P は、解析部 1 0 により算出される。例えば、転がり軸受の基本定格寿命 L 1 0 は、次の余寿命評価式で算出される。

30

【 0 0 7 8 】

$$L 1 0 = (C / P) ^ p$$

【 0 0 7 9 】

ここで、C は、基本動定格荷重であり、転がり軸受の動的負荷能力を表すものである。例えば、1 0 0 万回転の基本定格寿命 L 1 0 を与えるような一定荷重をいう。また、p は、転がり軸受の種類毎に替わる指数である。例えば、玉軸受の場合、p = 3 となる。ころ軸受の場合、p = 1 0 / 3 となる。

40

【 0 0 8 0 】

このラジアル荷重 P の演算結果から、転がり軸受の寿命が、要求される運用期間を満たさなくなるときの、パラメータの組み合わせと演算結果に対して、異常ラベルが設定される。このとき、異常ラベルに異常の事象とその原因に関する情報が互いに対応付けられても良い。この場合、異常の事象としては、対象とする軸受の異常として設定することができる。また、異常の原因については、パラメータの組み合わせから設定することができる。このようにすれば、異常発生時に、その発生箇所と原因とを迅速に推定することができる。

【 0 0 8 1 】

図 7 に示すように、例えば、異常の原因を、パラメータ間の大小関係で選定することが

50

できる。また、予め解析部 10 が、感度解析などを行うことにより、異常の原因とパラメータ間の相関関係が算出されるものでも良い。このようにすれば、異常発生時の原因推定の精度を向上させることができる。

【0082】

また、回転体 21C が電動機 21B に接続されている場合において、センサ 2 で取得する物理量は、電動機 21B の巻き線電流、漏れ磁束などの振動とは別の物理量であっても良いし、これらを複数組み合わせただけのもでも良い。このようにすれば、振動を検出するセンサ 2 が設置できない装置 20、または、振動では判断できない事象に対して、異常ラベルの設定が可能になる。また、感度解析などにより、異常の判定に適切な物理量またはパラメータが予め選定されても良い。

10

【0083】

また、余寿命評価部 17 は、任意の装置 20 の余寿命評価方法として、例えば、解析部 10 で求めた変動応力に対して、材料特性から判断されるマイナー則（修正マイナー則）を用いて、余寿命を評価しても良い。このとき、実働応力の応力頻度分布は、レインフロー法などを用いて求めることができる。

【0084】

図 8 および図 9 のグラフを参照してマイナー則による余寿命評価方法を説明する。なお、図 9 の実線のグラフ G1 は、疲労限度曲線（材料特性）である。図 9 の破線のグラフ G2 は、修正マイナー則により疲労限度曲線を延長した場合のものである。

【0085】

ここで、対象となる材料の S - N 曲線において、一定の応力振幅の繰り返し応力 i によって破断が生じる繰り返し数を N_i とする。例えば、所定の物体に対して、振幅が異なる k 個の繰り返し応力 i ($i = 1 \sim k$) が、それぞれ n_i ($i = 1 \sim k$) 回に亘って繰り返されたとする。このとき、この物体に累積した疲労損傷 D は、以下の式で与えられる。ここで、 D が 1 に達したときを寿命と定義する。

20

【0086】

【数 1】

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i}$$

30

【0087】

応力頻度分布は、物理モデルに基づいて、解析部 10 において算出することができる。ここで、疲労損傷 D が 1 に達するまでの時間が、要求される運用期間を満たさないと判断された場合に、異常ラベルが設定されても良い。

【0088】

また、解析部 10 で算出された荷重結果が、材料特性上の条件、つまり、破断、塑性変形などが発生する場合に、そのときの物理量またはパラメータに対して異常ラベルが設定されても良い。

40

【0089】

また、本実施形態では、荷重と応力のみならず、電圧または電流の時間変化による絶縁材料の劣化と、熱サイクルによる材料の劣化などから、余寿命が判断される。そして、この判断に基づいて、異常ラベルが設定されても良い。

【0090】

また、装置 20（図 2）の機能要求条件から異常ラベルが設定されても良い。例えば、電動機 21B に対して、設計上で所定の回転速度が要求されているものとする。ここで、解析部 10 の演算結果が、要求される回転速度を実現しない場合に、そのときの物理量またはパラメータに対して異常ラベルが設定されても良い。

50

【 0 0 9 1 】

また、法的な制約による要求条件から異常ラベルが設定されても良い。例えば、電動機 2 1 B に対して音響解析が行われ、法令で定められている騒音レベルを超える場合に、そのときの物理量またはパラメータに対して異常ラベルが設定されても良い。

【 0 0 9 2 】

前述の例は、装置 2 0 の異常に関するデータが無い場合における異常ラベルの設定方法を例示したものである。一方、装置 2 0 の異常に関するデータが有る場合は、このデータを用いて異常ラベルが設定されても良い。つまり、過去に異常と判定されたデータが有る場合、かつ、このデータが解析部 1 0 の演算結果で再現された場合に、そのときの物理量、パラメータに対して異常ラベルが設定されても良い。

10

【 0 0 9 3 】

また、前述の例は、装置 2 0 の機械的な挙動に関する異常ラベルの設定方法を例示したものであるが、その他の系統に対しても異常ラベルが設定されても良い。例えば、設定対象となる物理量として、温度、電流、電圧、磁束（密度）、音、流量、圧力などが挙げられる。これらに関するパラメータに対して異常ラベルが設定されても良い。

【 0 0 9 4 】

本実施形態の状態判定部 1 5（図 1）は、実測データが物理モデルのパラメータに反映され、実測データの解析が行われるときに、参照情報に基づいて装置 2 0 の状態を判定する。例えば、状態判定部 1 5 は、パラメータ同定部 1 4 で同定された実測パラメータが解析されるときに、異常ラベルが対応付けられた教師データによって学習済みの学習モデルに基づいて装置 2 0 の状態を判定する。このようにすれば、学習モデルに対して異常がある装置 2 0 のパラメータを学習させることができる。そして、この学習済みの学習モデルを用いて装置 2 0 を適切に評価することができる。

20

【 0 0 9 5 】

また、設定部 1 6 は、余寿命評価部 1 7 で算出された余寿命と予め計画された運用期間との比較に基づいて異常ラベルを設定する。このようにすれば、予め計画された運転期間中に装置 2 0 に異常が生じるか否かを評価することができる。例えば、それぞれの機器 2 1 の余寿命と計画されている運転時間との比較により異常の有無を評価することができる。

【 0 0 9 6 】

また、状態判定部 1 5 は、パラメータ同定部 1 4 によって同定された実測パラメータと任意に設定されたパラメータ用許容範囲との比較によって装置 2 0 の異常の有無を判定する。このようにすれば、任意に設定されたパラメータ用許容範囲によって装置 2 0 の異常の有無の判定処理を容易に行うことができる。

30

【 0 0 9 7 】

また、状態判定部 1 5 は、物理量測定部 1 2 によって取得された実測データと任意に設定されたデータ用許容範囲との比較によって装置 2 0 の異常の有無を判定する。このようにすれば、任意に設定されたデータ用許容範囲によって装置 2 0 の異常の有無の判定処理を容易に行うことができる。

【 0 0 9 8 】

例えば、状態判定部 1 5 は、物理量測定部 1 2 によって取得された実測データとデータ用許容範囲とを比較することで、異常の有無を判定する。また、状態判定部 1 5 は、データ処理部から出力された分析用データと許容範囲を比較することで異常の有無を判定する。

40

【 0 0 9 9 】

状態判定部 1 5 で判定に用いるパラメータ用許容範囲とデータ用許容範囲は予め設定されている。これらの許容範囲は、ユーザが予め任意に設定しても良い。また、これらの許容範囲の全ては、装置 2 0 に対して同一のもので良いし、個々の装置 2 0 で異なっても良い。

【 0 1 0 0 】

50

また、これらの許容範囲は、実測データに基づいて設定しても良いし、装置 20 の挙動に関する仕様に基づいて設定しても良いし、実際の試験結果に基づいて設定しても良いし、シミュレーション結果に基づいて設定しても良いし、これらを組み合わせた結果から設定しても良い。

【0101】

状態判定部 15 (図 1) は、装置 20 が異常であると判定された場合に、異常の程度と原因を特定する。このようにすれば、実測データに基づいて、異常の程度と原因を特定することができる。また、実測パラメータの組み合わせと値の大きさから異常の程度を評価することができる。

【0102】

点検推定部 18 (図 1) は、状態判定部 15 で装置 20 が正常であると判定された場合に、実測パラメータの組み合わせと大きさから異常の進展具合を推定し、かつ余寿命評価部 17 で算出した機器 21 の余寿命から次回の点検箇所と点検時期とを推定する。このようにすれば、自動的に点検箇所と点検時期をユーザに提示することができる。

【0103】

なお、メイン制御部 8 は、出力部 5 を制御することで、装置状態評価システム 1 の評価結果の出力を行う。例えば、メイン制御部 8 は、状態判定部 15 と点検推定部 18 により導き出された結果を出力する。

【0104】

次に、本実施形態の装置状態評価システム 1 が実行する装置状態評価方法 (処理) について図 10 のフローチャートを用いて説明する。なお、前述の図面を適宜参照する。以下のステップは、装置状態評価方法に含まれる少なくとも一部の処理であり、他のステップが装置状態評価方法に含まれていても良い。

【0105】

まず、ステップ S1 において、モデル構築部 9 は、少なくとも回転電機を含む複数の機器 21 で構成される装置 20 の動作を再現し、かつ動作に関連して生じる機器 21 の状態を再現する物理モデルを構築する。

【0106】

次のステップ S2 において、解析部 10 は、物理モデルに基づいて定式化された方程式にパラメータを反映して演算を行う。

【0107】

次のステップ S3 において、設定部 16 は、装置 20 の状態を判定するための参照情報の設定を行う。ここで、設定部 16 は、参照情報としての異常ラベルの設定を行うとともに、異常ラベルをそれぞれの教師データに対応付ける処理を行う。

【0108】

次のステップ S4 において、学習部 11 は、設定部 16 で設定された異常ラベルと解析部 10 の演算結果とこれに対応するそれぞれのパラメータを教師データとして学習モデルに入力する。ここで、機械学習が行われる。

【0109】

次のステップ S5 において、物理量測定部 12 は、それぞれの機器 21 で実際に測定された物理量を実測データとして取得する。

【0110】

次のステップ S6 において、実測データ処理部 13 は、物理量測定部 12 によって取得された実測データを解析部 10 の演算に対応する形式の分析用データに変換する。この分析用データが物理モデルのパラメータに反映され、解析部 10 により実測データの解析が行われる。

【0111】

次のステップ S7 において、パラメータ同定部 14 は、解析部 10 の演算結果が分析用データ (実測データ) を再現する場合のパラメータである実測パラメータを、学習部 11 で学習した教師データに基づいて同定する。

10

20

30

40

50

【0112】

次のステップS8において、状態判定部15は、参照情報としての異常ラベルが対応付けられた教師データによって学習済みの学習モデルに基づいて、装置20の状態を判定する。例えば、状態判定部15は、パラメータ同定部14で同定されたそれぞれの実測パラメータに基づいて、現時点において、装置20に異常があるか否かを判定する。ここで、異常がない場合（ステップS8でNOの場合）は、ステップS9に進む。一方、異常がある場合（ステップS8でYESの場合）は、ステップS11に進む。

【0113】

ステップS8でNOの場合に進むステップS9において、余寿命評価部17は、パラメータ同定部14によって分析用データ（実測データ）が同定されたパラメータを反映した場合の解析部10の演算結果に基づいて、それぞれの機器21の余寿命を算出する。

10

【0114】

次のステップS10において、点検推定部18は、実測パラメータの組み合わせと大きさから異常の進展具合を推定し、かつ余寿命評価部17で算出した機器21の余寿命から次の点検箇所と点検時期とを推定する。なお、メイン制御部8は、出力部5を制御することで、装置状態評価システム1の評価結果の出力を行う。そして、装置状態評価方法を終了する。

【0115】

ステップS8でYESの場合に進むステップS11において、状態判定部15は、装置20が異常であると判定した場合に、異常の程度と原因を特定する。なお、メイン制御部8は、出力部5を制御することで、装置状態評価システム1の評価結果の出力を行う。そして、装置状態評価方法を終了する。

20

【0116】

次に、変形例について図11を用いて説明する。なお、前述の図面を適宜参照し、前述した実施形態に示される構成部分と同一構成部分については同一符号を付して重複する説明を省略する。この変形例において適用される構成が、前述の実施形態に適用されても良いし、前述の実施形態の構成と適宜組み合わせられても良い。

【0117】

変形例の参照情報は、予め定められた閾値を含む。この閾値は、実測データの許容範囲を示すデータ用許容範囲に基づいて設定される。なお、データ用許容範囲そのものが参照情報として扱われても良い。また、変形例では、学習モデルが用いられずに、装置20の状態の評価が行われる。

30

【0118】

変形例の設定部16（図1）は、装置20の異常の有無を判定する方法として、実測データに対する許容範囲の閾値を設定する。また、変形例の状態判定部15（図1）は、実測データが解析されるときに、閾値に基づいて装置20の状態を判定する。このようにすれば、閾値の設定によって評価の基準が明確になり、適切に装置20の状態を評価することができる。さらに、パラメータの同定ができない場合においても、あらゆる異常の事象を想定した上で、異常の有無の判定が可能となる。例えば、センサ2から取得できる実測データが少なく、パラメータの同定精度が悪い場合に、実測データから異常の有無を判定

40

【0119】

また、参照情報がデータ用許容範囲である場合において、状態判定部15は、実測データとデータ用許容範囲との比較によって装置20の状態を判定する。このようにすれば、データ用許容範囲の設定によって評価の基準が明確になり、適切に装置20の状態を評価することができる。

【0120】

なお、設定部16で設定される閾値またはデータ用許容範囲は、ユーザが予め任意に設定しても良い。また、閾値またはデータ用許容範囲の全てが、全ての装置20に対して同一でも良いし、個々の装置20で異なっても良い。

50

【 0 1 2 1 】

例えば、図 1 1 に示すように、解析部 1 0 (図 1) が、予め複数のパラメータに対して軸受寿命の演算を行う。その結果が、要求される運用期間より短くなる場合には、少なくとも 1 箇所の振動に対して、その振動の許容範囲を示す閾値を設定する。このとき、振動に対する閾値は、例えば、振動の振幅に課しても良いし、F F T のそれぞれの周波数に対するスペクトルに課しても良い。

【 0 1 2 2 】

設定部 1 6 は、様々な要求条件を基に、振動の許容範囲を示す閾値を算出する。そして、対象となる物理量またはパラメータについて算出された閾値のうち、許容範囲が最小となる閾値を、異常の兆候の判定に用いる閾値として設定する。このようにすれば、パラメータの同定ができない場合においても、あらゆる異常事象を想定した上で、異常の有無の判定が可能となる。

10

【 0 1 2 3 】

なお、図 1 1 は、実測データとして振動が用いられている例であるが、その他の実測データが用いられても良いし、これらの実測データが組み合わせられても良い。さらに、実測データは、例えば、電流、電圧、磁束、温度などでも良い。

【 0 1 2 4 】

なお、前述の実施形態のフローチャートにおいて、各ステップが直列に実行される形態を例示しているが、必ずしも各ステップの前後関係が固定されるものでなく、一部のステップの前後関係が入れ替わっても良い。また、一部のステップが他のステップと並列に実行されても良い。

20

【 0 1 2 5 】

前述の実施形態の装置状態評価システム 1 は、F P G A (Field Programmable Gate Array)、G P U (Graphics Processing Unit)、C P U (Central Processing Unit) および専用のチップなどのプロセッサを高集積化させた制御装置と、R O M (Read Only Memory) および R A M (Random Access Memory) などの記憶装置と、H D D (Hard Disk Drive) および S S D (Solid State Drive) などの外部記憶装置と、ディスプレイなどの表示装置と、マウスおよびキーボードなどの入力装置と、通信インターフェースとを備える。この装置状態評価システム 1 は、通常のコンピュータを利用したハードウェア構成で実現できる。

30

【 0 1 2 6 】

なお、この装置状態評価システム 1 で実行されるプログラムは、R O M などに予め組み込んで提供される。追加的または代替的に、このプログラムは、インストール可能な形式または実行可能な形式のファイルで C D - R O M、C D - R、メモリカード、D V D、フレキシブルディスク (F D) などのコンピュータで読み取り可能な非一時的な記憶媒体に記憶されて提供される。

【 0 1 2 7 】

また、この装置状態評価システム 1 で実行されるプログラムは、インターネットなどのネットワークに接続されたコンピュータに格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせて提供するようにしても良い。また、この装置状態評価システム 1 は、構成要素の各機能を独立して発揮する別々のモジュールを、ネットワークまたは専用回線で相互に接続し、組み合わせて構成することもできる。

40

【 0 1 2 8 】

以上説明した実施形態によれば、実測データが物理モデルのパラメータに反映され、実測データの解析が行われるときに、参照情報に基づいて装置 2 0 の状態を判定する状態判定部 1 5 を備えることにより、過去に異常経験のない機器 2 1 を含む装置 2 0 であっても、機器 2 1 の実測データから装置 2 0 の異常の有無の評価を行うことができる。

【 0 1 2 9 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様

50

々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。これら実施形態またはその変形は、発明の範囲と要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

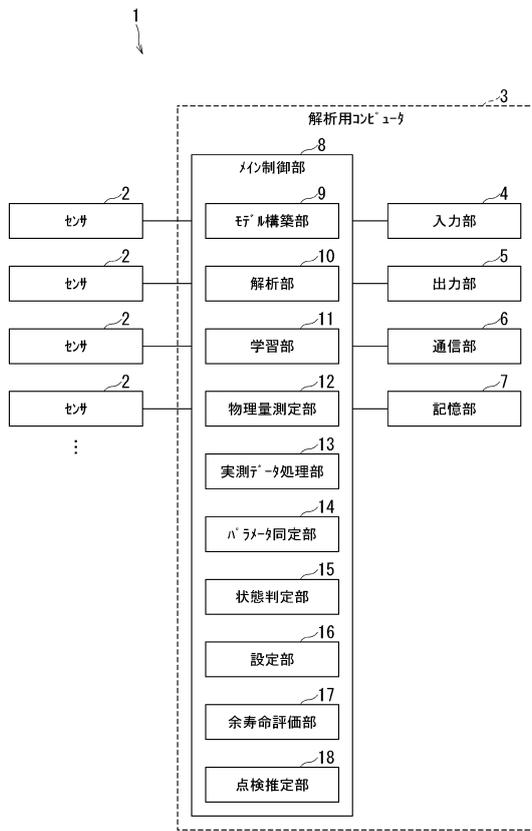
【0130】

1 ... 装置状態評価システム、2 ... センサ、3 ... 解析用コンピュータ、4 ... 入力部、5 ... 出力部、6 ... 通信部、7 ... 記憶部、8 ... メイン制御部、9 ... モデル構築部、10 ... 解析部、11 ... 学習部、12 ... 物理量測定部、13 ... 実測データ処理部、14 ... パラメータ同定部、15 ... 状態判定部、16 ... 設定部、17 ... 余寿命評価部、18 ... 点検推定部、20 ... 装置、21 ... 機器、21A ... 制御盤、21B ... 電動機、21C ... 回転体、21D ... 負荷側の機器群。

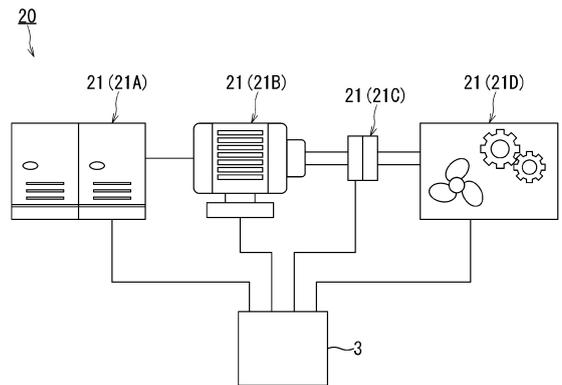
10

【図面】

【図1】



【図2】



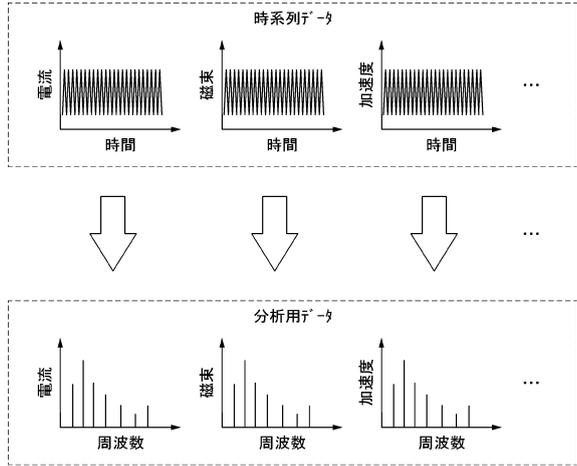
20

30

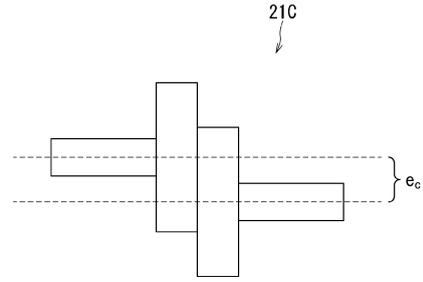
40

50

【 図 3 】

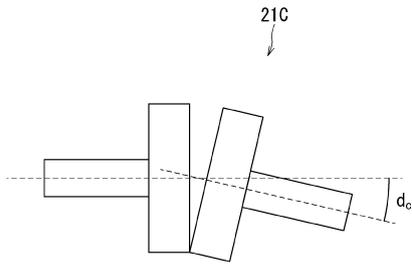


【 図 4 】

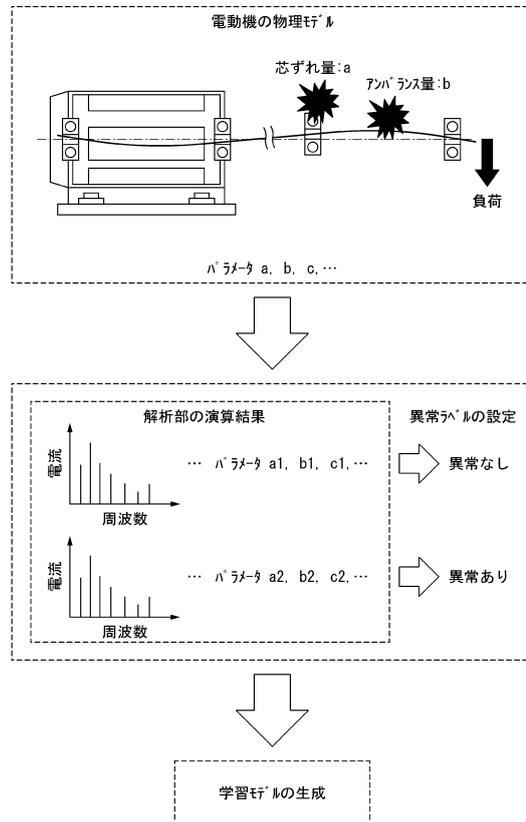


10

【 図 5 】



【 図 6 】



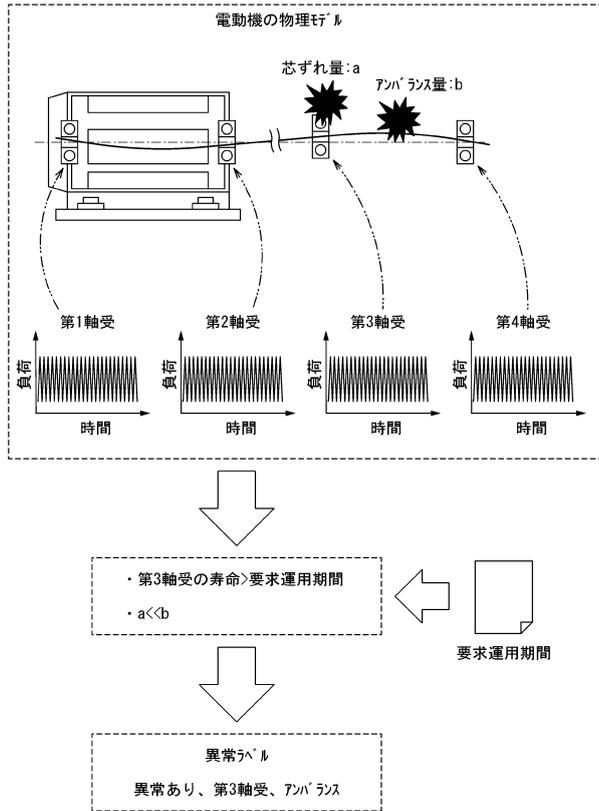
20

30

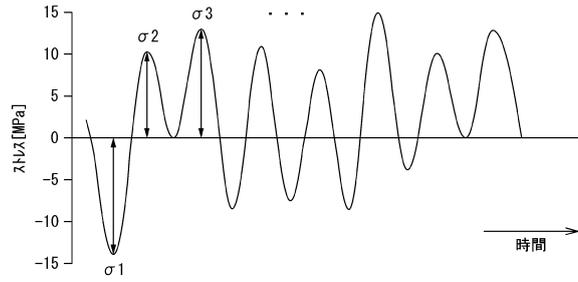
40

50

【図 7】



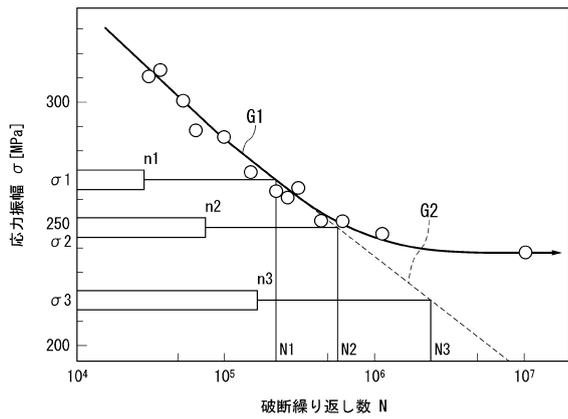
【図 8】



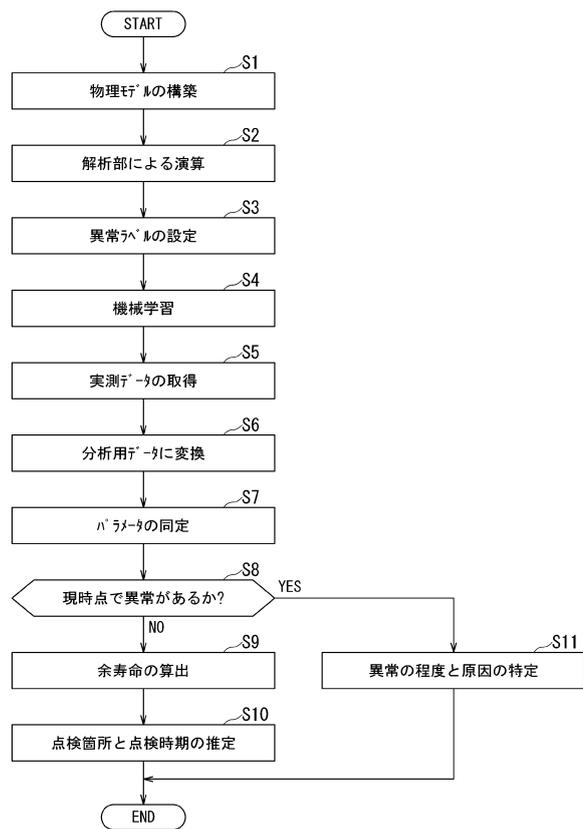
10

20

【図 9】



【図 10】

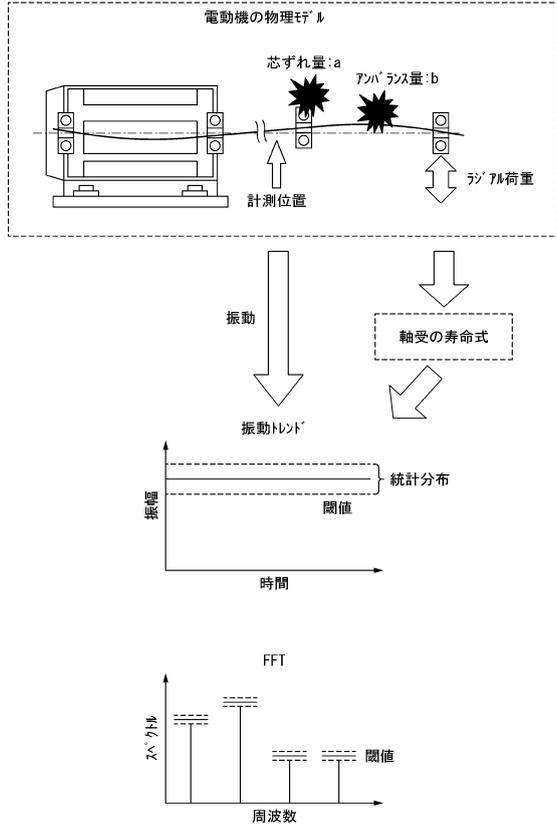


30

40

50

【 図 1 1 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

Fターム(参考) CA09 CA11 CA12 CA13 CA18 DA09 FA04 FA06 FA15
2G116 BA03 BA04 BB02 BB04 BC05
3C223 AA03 BA03 CC02 DD03 EB02 EB03 FF03 FF04 FF08 FF13
FF22 FF23 FF26 FF45 FF46 GG01 HH29