

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6906985号
(P6906985)

(45) 発行日 令和3年7月21日(2021.7.21)

(24) 登録日 令和3年7月2日(2021.7.2)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 H 17/00 (2006.01) GO 1 H 17/00 D

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2017-42869 (P2017-42869)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成29年3月7日(2017.3.7)		三菱重工株式会社
(65) 公開番号	特開2018-146436 (P2018-146436A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43) 公開日	平成30年9月20日(2018.9.20)	(74) 代理人	100149548
審査請求日	令和2年3月6日(2020.3.6)		弁理士 松沼 泰史
		(74) 代理人	100162868
			弁理士 伊藤 英輔
		(74) 代理人	100161702
			弁理士 橋本 宏之
		(74) 代理人	100189348
			弁理士 古部 智
		(74) 代理人	100196689
			弁理士 鎌田 康一郎
		(74) 代理人	100210572
			弁理士 長谷川 太一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動診断システム、振動診断方法及びパラメータ設定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

機器の運転中に計測した計測データを取得するデータ取得部と
 前記取得した計測データに基づいて、システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するデータ分析部と、

前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動を診断する状態診断部と、

前記システム同定において用いられるシステム同定用モデルを作成し、前記システム同定用モデルにおけるパラメータの設定を、前記データ取得部が取得した計測データを用いて行うモデル作成部と、

を備え、

前記モデル作成部は、

前記機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定する振動特性推定部と、

前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記システム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性推定部が推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定部と、

を備える振動診断システム。

【請求項2】

前記状態診断部は、前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に加え、前記機器の運転に関する環境情報を用いて、前記機器の振動状態を診断する、
請求項 1 に記載の振動診断システム。

【請求項 3】

前記計測データまたは前記振動特性に対応付けて記録された損傷情報に基づいて、前記機器の振動が示す損傷状態を推定する損傷状態推定部、
をさらに備える請求項 1 から請求項 2 の何れか 1 項に記載の振動診断システム。

【請求項 4】

機器の運転中に計測した計測データを取得するデータ取得部と、
前記取得した計測データとシステム同定用モデルとに基づいて、システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するデータ分析部と、

前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動を診断する状態診断部と、

前記機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定する振動特性推定部と、

前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記システム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性推定部が推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定部と、

を備える振動診断システム。

【請求項 5】

前記振動特性推定部は、前記機器の起動中または停止する間に計測された振動データに基づいて、前記振動特性を推定し、

前記パラメータ設定部は、前記機器の定格運転中に計測された振動データに基づいて、前記パラメータを設定する、

請求項 4 に記載の振動診断システム。

【請求項 6】

機器の運転中に計測した計測データを取得するステップと、
システム同定において用いられるシステム同定用モデルを作成し、前記システム同定用モデルにおけるパラメータの設定を、前記計測データを取得するステップで取得した前記計測データを用いて行うステップと、

前記取得した計測データに基づいて、前記システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するステップと、

前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動を診断するステップと、

を備え、

前記パラメータの設定を、前記計測データを取得するステップで取得した前記計測データを用いて行うステップでは、

機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定し、

前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を同定するシステム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性を推定するステップにて推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定する、

振動診断方法。

【請求項 7】

機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定するステップと、

前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を同定するシステム同定用モデルが推定する振動特性と、前記

10

20

30

40

50

振動特性を推定するステップにて推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定ステップと、

を備えるパラメータ設定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動診断システム、振動診断方法及びパラメータ設定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

タービンなどの機器の振動を診断するシステムとして、診断すべき機器の振動を計測し、振動の大きさ、卓越する周波数成分、振動波形の経時変化などから、異常の予知・診断を行うシステムが提供されている。例えば、運転中の機器から計測された振動データを取得するオンラインシステムと、取得した振動データから異常などの診断を行うためのオフラインシステムとを組み合わせた診断システムなどが提案されている（特許文献2）。

10

【0003】

また、特許文献1には、ガスタービンやエンジンなど制御対象の特性の変化に応じて、それらの機器を制御する制御装置のパラメータを調整するシステムについて記載されている。例えば、特許文献1に記載のシステムは、まず、制御対象のモデルを選定し、次に、選定したモデルの係数を決定して制御対象のモデルを同定し、さらに、同定したモデルを用いて制御装置の制御パラメータを調整するという一連の処理を自動的に行う。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平07-325603号公報

【特許文献2】特開平05-60596号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、運転中タービンの内部は高圧・高温になることやワイヤリング等の難しさから、センサの配置箇所が制限される。そのため、運転中のタービンに生じている振動の状態を把握するための情報を、センサを設けることによって直接計測することは難しい場合が多い。そのため、計測可能な位置にセンサを設け、そのセンサが計測したデータから健全性などの診断を実施している。しかし、この方法では、直接計測できない部分の振動状態については、不確定な要素が多く、診断精度が十分ではない可能性がある。

30

【0006】

そこでこの発明は、上述の課題を解決することのできる振動診断システム、振動診断方法及びパラメータ設定方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の第1の態様によれば、振動診断システムは、機器の運転中に計測した計測データを取得するデータ取得部と、前記取得した計測データに基づいて、システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するデータ分析部と、前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動状態を診断する状態診断部と、前記システム同定において用いられるシステム同定用モデルを作成し、前記システム同定用モデルにおけるパラメータの設定を、前記データ取得部が取得した計測データを用いて行うモデル作成部と、を備え、前記モデル作成部は、前記機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定する振動特性推定部と、前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記システム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性推定部が推定した振動特性とが等しくなるように、

40

50

前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定部と、を備える。

【0008】

また、本発明の第2の態様によれば、前記状態診断部は、前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に加え、前記機器の運転に関する環境情報を用いて、前記機器の振動状態を診断する。

【0009】

また、本発明の第3の態様によれば、前記振動診断システムは、前記計測データまたは前記振動特性に対応付けて記録された損傷情報に基づいて、前記機器の振動が示す損傷状態を推定する損傷状態推定部、をさらに備える。

【0010】

また、本発明の第4の態様によれば、振動診断システムは、機器の運転中に計測した計測データを取得するデータ取得部と、前記取得した計測データとシステム同定用モデルとに基づいて、システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するデータ分析部と、前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動を診断する状態診断部と、前記機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定する振動特性推定部と、前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記システム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性推定部が推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定部と、を備える。

【0011】

また、本発明の第5の態様によれば、前記振動特性推定部は、前記機器の起動中または停止する間に計測された振動データに基づいて、前記振動特性を推定し、前記パラメータ設定部は、前記機器の定格運転中に計測された振動データに基づいて、前記パラメータを設定する。

【0014】

また、本発明の第6の態様は、機器の運転中に計測した計測データを取得するステップと、システム同定において用いられるシステム同定用モデルを作成し、前記システム同定用モデルにおけるパラメータの設定を、前記計測データを取得するステップで取得した前記計測データを用いて行うステップと、前記取得した計測データに基づいて、前記システム同定を行うことによりリアルタイムに機器の振動特性を推定するステップと、前記計測データに含まれる前記機器の振動の計測データおよび前記推定した振動特性に基づいて、前記機器の振動を診断するステップと、を備え、前記パラメータの設定を、前記計測データを取得するステップで取得した計測データを用いて行うステップでは、機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定し、前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を同定するシステム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性を推定するステップにて推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定する、振動診断方法である。

【0016】

また、本発明の第7の態様は、機器が動作速度を変化させながら運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定するステップと、前記機器が診断対象となる運転状態で運転しているときに計測された振動データに基づいて、前記機器の振動特性を同定するシステム同定用モデルが推定する振動特性と、前記振動特性を推定するステップにて推定した振動特性とが等しくなるように、前記システム同定用モデルのパラメータを設定するパラメータ設定ステップと、を備えるパラメータ設定方法である。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、リアルタイムのシステム同定技術により、限られた情報に基づいて、

10

20

30

40

50

高精度に振動診断を行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 8 】

【図 1】本発明に係る第一実施形態における振動診断処理の概略図である。

【図 2】本発明に係る第一実施形態における振動診断装置の一例を示すブロック図である。

【図 3】本発明に係る第一実施形態における振動診断処理の一例を示すフローチャートである。

【図 4】本発明に係る第二実施形態における振動診断装置のブロック図である。

【図 5】本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定方法を説明する図である。

10

【図 6】本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルの一例を示す図である。

【図 7】本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の一例を示すフローチャートである。

【図 8】本発明に係る第三実施形態における振動診断装置のブロック図である。

【図 9】本発明に係る第三実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定方法を説明する図である。

【図 10】本発明に係る第三実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の一例を示すフローチャートである。

20

【図 11】本発明に係る第四実施形態における振動診断装置のブロック図である。

【図 12】本発明に係る第四実施形態における振動診断処理の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

< 第一実施形態 >

以下、本発明の第一実施形態による振動診断装置について図 1 ~ 図 3 を参照して説明する。

図 1 は、本発明に係る第一実施形態における振動診断処理の概略図である。

タービン 1 は、回転軸 3 を中心として回転する。軸受台 2 A、2 B は、回転軸 3 を支持している。軸受台 2 A、2 B には、それぞれ軸受（図示せず）が設けられている。軸受台 2 A、2 B は、この軸受を介して回転軸 3 を支持することで回転軸 3 が回転可能となっている。回転軸 3 の軸受台 2 A と軸受台 2 B の位置にはそれぞれ、回転軸 3 の振動を計測する振動センサ 4 A と振動センサ 4 B が設けられている。また、例えば、タービン 1 の低圧側には、温度センサ 5、圧力センサ 6 が設けられている。振動センサ 4 A、4 B、温度センサ 5、圧力センサ 6 は、振動診断装置 10 と接続されている。振動センサ 4 A、4 B は、タービン 1 の回転に伴って生じる振動を計測し、その計測結果を、振動診断装置 10 へ出力する。温度センサ 5、圧力センサ 6 は、それぞれ、タービン 1 の圧力、温度を計測し、その計測結果を、振動診断装置 10 へ出力する。なお、温度センサ 5、圧力センサ 6 は、タービン 1 の内部へ設けられていてもよい。振動診断装置 10 は、振動センサ 4 A、4 B が計測した振動データ（振動波形の時刻歴領域データ）を取得し、システム同定によって、タービン 1 の振動の状態を推定する。振動診断装置 10 は、推定した振動の状態に基づいて、オンラインでリアルタイムにタービン 1 の振動の状態を診断する。

30

40

【 0 0 2 0 】

次に振動診断装置 10 について説明する。

図 2 は、本発明に係る第一実施形態における振動診断装置の一例を示すブロック図である。

振動診断装置 10 は、データ取得部 11 と、データ分析部 12 と、振動状態診断部 13 と、記憶部 14 と、入出力部 15 と、制御部 16 とを備える。

データ取得部 11 は、タービン 1 の運転中に振動センサ 4 A、4 B、温度センサ 5、圧

50

力センサ 6 が計測した計測データを取得する。

データ分析部 1 2 は、データ取得部 1 1 が取得した計測データを分析して、タービン 1 の振動状態を分析する。例えば、データ分析部 1 2 は、時刻歴領域データと、所定のシステム同定用のモデルとに基づいて、タービン 1 の振動モードなどを推定する。システム同定用のモデルとは、例えば、タービン 1 の振動の時刻歴領域データなどを入力すると、タービン 1 の固有振動数、減衰定数、振動モードなどを出力するよう予め調整された A R M A (Autoregressive moving average) モデルである。データ分析部 1 2 が用いるシステム同定用モデルは、これ以外にも、A R X (Auto-Regressive with exogenous)、A R (Auto Regressive)、M A (Moving Average) など各種手法を用いて作成されたモデルであってもよい。また、例えば、データ分析部 1 2 は、振動センサ 4 A , 4 B が計測した振動波形の時刻歴領域データから、F F T (Fast Fourier Transform) 等を行って周波数領域データを算出し、周波数領域データをシステム同定用に入力し、タービン 1 の固有振動数等を推定してもよい。

10

【 0 0 2 1 】

振動状態診断部 1 3 は、振動センサ 4 A , 4 B などが計測した振動データや、データ分析部 1 2 が推定した振動モードなどの情報に基づいて、タービン 1 の振動状態が正常かどうかを評価する。なお、診断に用いるデータは振動データのみでなく、圧力や温度など、タービン 1 を運転する環境の環境情報を組み合わせることができる。

記憶部 1 4 は、振動状態診断部 1 3 が振動状態の診断に用いるための過去の計測データや、タービン 1 の正常な振動状態を示す振動特性 (振動モードなど) の情報、振動状態が異常ではないかどうか、または異常予兆を示す事象が生じていないかなどを判定するための閾値など、タービン 1 の振動状態の診断に用いる参照用データを記憶する。本実施形態では、診断に用いる参照データに振動データだけでなく、振動特性 (固有振動数、減衰、振動モード) が含まれる。参照データの種類が増えることで、対象機器の運転状態を推定した結果は、より信憑性が高くなる。また、記憶部 1 4 は、データ取得部 1 1 が取得した各センサが計測した計測値を記憶する。

20

入出力部 1 5 は、オペレータによる振動診断装置 1 0 への指示情報等の入力操作を受け付ける。また、入出力部 1 5 は、表示装置への振動状態の診断結果の出力などを行う。

制御部 1 6 は、振動診断装置 1 0 の起動、停止、処理実行などの各種制御を行う。

【 0 0 2 2 】

次に図 3 を用いて、第一実施形態の振動診断装置 1 0 による振動状態の診断処理の流れについて説明を行う。

30

前提として、タービン 1 は運転中であって、振動センサ 4 A , 4 B は、タービン 1 の回転軸 3 の振動を計測し、その計測値を振動診断装置 1 0 へ出力する。なお、振動センサ 4 A , 4 B による計測値が、タービン 1 の振動の時刻歴領域データ (時系列の波形データ) である。同様に、温度センサ 5 は、計測した温度の計測値、圧力センサ 6 は、計測した圧力の計測値を振動診断装置 1 0 へ出力する。振動診断装置 1 0 では、データ取得部 1 1 が、これらの計測データを取得し (ステップ S 1 1)、記憶部 1 4 に記録する。

次にデータ分析部 1 2 は、記憶部 1 4 から振動の時刻歴領域データを読み出して、システム同定を行う (ステップ S 1 2)。より具体的には、データ分析部 1 2 は、タービン 1 の振動の時刻歴領域データもしくは、時刻歴領域データからフーリエ変換などを行って算出した周波数領域データを、システム同定用モデルに入力し、タービン 1 の固有振動数 (卓越周波数)、減衰定数、振動モードなどを推定する。データ分析部 1 2 は、時刻歴領域データ、もしくは周波数領域データ、固有振動数、減衰定数、振動モードの各情報を、振動状態診断部 1 3 へ出力する。

40

【 0 0 2 3 】

次に振動状態診断部 1 3 は、入力した各データを、参照データと照合する (ステップ S 1 3)。例えば、振動状態診断部 1 3 は、データ分析部 1 2 から取得した時刻歴領域データと、過去の計測データ (過去に計測した時刻歴領域データ) とを照合する。また、データ分析部 1 2 は、時刻歴領域データもしくは周波数領域データが示す軸振動の振幅と、

50

例えばISO (International Organization for Standardization) で定められる基準に基づいて定められた閾値とを照合する。また、データ分析部12は、データ分析部12から取得した固有振動数、減衰定数、振動モードなどの振動特性と、記憶部14に記録されたタービン1の正常な振動状態を示す固有振動数、減衰定数、振動モードとを照合する。

【0024】

次に振動状態診断部13は、照合結果に基づいて、タービン1の振動が異常かどうかを診断する(ステップS14)。例えば、振動状態診断部13は、時刻歴領域データと、過去の計測データとが乖離していれば、何らかの異常が発生している可能性があるとして診断する。また、例えば、振動状態診断部13は、時刻歴領域データが示す振動の振幅が、所定の閾値を上回っていれば、異常が発生している可能性があるとして診断する。また、例えば、振動状態診断部13は、周波数領域データが示す各周波数の振動の振幅が、所定の閾値を上回っていれば、異常が発生している可能性があるとして診断する。また、例えば、振動状態診断部13は、システム同定用モデルによって推定した振動モード等と記憶部14に記録された正常な振動状態を示す振動モード等とを比較して、それらが乖離していれば、何らかの異常が発生している可能性があるとして診断する。

【0025】

本実施形態では、リアルタイムのシステム同定技術により、振動特性を推定することができるので、振動センサ4A, 4Bが計測していない部品、部分に関しても、振動特性に基づく分析や予め記録された種々の参照データとの比較を行うことによって振動状態の把握が可能となる。種々の参照データとは、例えば、正常と評価される範囲内であっても、様々な機器の状態(新品、経年変化、ある部品、部分が劣化しているなど)や運転条件下で計測された振動データや算出された振動特性などの情報である。これにより、従来は、直接計測できない部分の振動状態については不確定な要素が多く、診断精度が十分ではなかったところ、直接計測できない部分を含めた多面的で高精度な振動診断をリアルタイムに行うことが可能となる。

【0026】

また、記憶部14に、過去の振動計測データが、その振動データが計測されたときの圧力や温度の計測値と共に記録されている場合、振動状態診断部13は、データ取得部11が取得した圧力や温度の計測値に近い環境下で計測された振動計測データや振動モードと、データ分析部12から取得した診断対象の時刻歴領域データや振動モードなどを照合して異常診断を行う。これにより、振動診断装置10は、より正確な診断を行うことができる。

【0027】

診断の結果が正常ではない場合(ステップS14; No)、振動状態診断部13は異常を検出した旨の情報を入出力部15に出力する(ステップS15)。入出力部15は、異常の発生を通知する情報を、例えばディスプレイに表示する。

診断の結果が正常の場合(ステップS14; Yes)、またはステップS15の処理を実行後、制御部16は、診断処理を継続するか否かを判定する(ステップS16)。例えば、ユーザが診断処理の停止命令を、入出力部15を介して振動診断装置10へ入力した場合、制御部16は、診断処理を終了すると判定する。診断処理を終了すると判定した場合(ステップS16; Yes)、制御部16は、データ分析部12や振動状態診断部13による診断処理を停止する。この場合、本フローチャートを終了する。診断処理を継続する場合(ステップS16; No)、ステップS11からの処理を繰り返す。

【0028】

従来より、振動センサ4A, 4Bによる振動データに基づく異常判定は行われていたが、この方法では、どのような異常が生じているか、どの部分で異常が生じているかなどの詳細な状態は分からなかった。そのため、実際に計測データから異常を診断した場合であっても、データからは異常が発生した箇所を特性できていない場合も多く、運転停止後に異常発生箇所を探索しなければならない。これに対し、本実施形態によれば、振動データに加え、システム同定技術によって推定した固有振動数、減衰定数、振動モードを用いて

10

20

30

40

50

タービン 1 の振動状態を診断することができるので、様々な側面から診断が可能となり、診断精度を高めることができる。また、周波数領域データや振動モード等の振動特性を用いて解析することにより、短時間に異常が発生した個所や異常内容を推定することができるので、異常発生箇所の探索などが容易となる。また、タービン 1 の温度や圧力を診断に用いることにより、診断精度をさらに高めることができる。また、本実施形態の振動診断装置 10 によれば、リアルタイムのシステム同定技術により振動モード等を推定し、リアルタイムに振動状態を把握することができる。また、本実施形態の振動診断装置 10 を診断対象機器（タービン 1）の傍に設置し、振動データをオンラインで振動診断装置 10 に入力するように構成することで、運転中の機器の振動診断をリアルタイムに行うことができる。

10

【0029】

< 第二実施形態 >

以下、本発明の第二実施形態による振動診断装置について図 4 ~ 図 7 を参照して説明する。

以下、第二実施形態に係る振動診断装置 10 A について説明を行う。第一実施形態で振動状態の推定に用いるシステム同定用モデルは、パラメータ設定が、その推定精度に大きく影響することが知られている。そのため、システム同定モデルを適用してリアルタイムに振動状態を推定する前に、設定するパラメータの妥当性について検討し、適切なパラメータを設定することが重要である。第二実施形態に係る振動診断装置 10 A は、第一実施形態の振動診断装置 10 の機能に加え、システム同定用モデルのパラメータ設定を行う機能

20

【0030】

図 4 は、本発明に係る第二実施形態における振動診断装置のブロック図である。

本発明の第二実施形態に係る構成のうち、第一実施形態に係る振動診断装置 10 を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。図示するように振動診断装置 10 A は、データ取得部 11 と、データ分析部 12 と、振動状態診断部 13 と、記憶部 14 と、入出力部 15 と、制御部 16 と、第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 とを備える。

第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 は、タービン 1 の回転動作に応じた振動の挙動を模擬する解析モデルを有している。第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 は、この解析モデルを用いて、データ分析部 12 がシステム同定に用いるモデル（システム同定用モデル）を作成する。第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 は、解析モデル最適化部 17 A、実機模擬部 17 B、パラメータ設定部 17 C を備えている。

30

解析モデル最適化部 17 A は、タービン 1 の解析モデルに対して、タービン 1 の振動の計測データを適用して、解析モデルを最適化する。

実機模擬部 17 B は、最適化された解析モデルによってタービン 1 の振動を模擬する。

パラメータ設定部 17 C は、実機模擬部 17 B による模擬結果を用いて、システム同定用モデルのパラメータを調整し、適切なパラメータを設定する。

【0031】

次に図 5 を用いてシステム同定用モデルのパラメータ設定処理について説明する。

図 5 は、本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定方法を説明する図である。

まず、解析モデル最適化部 17 A は、データ取得部 11 が取得したタービン 1 の振動データ（時刻歴領域データ）を用いて、解析モデルがタービン 1 の動作を精度良く模擬するよう解析モデルを最適化する。次に実機模擬部 17 B は、最適化された解析モデルにタービン 1 の動作を模擬させる。最後にパラメータ設定部 17 C は、その模擬結果（振動の時刻歴領域データ、周波数領域データ、固有振動数、減衰定数、振動モード）を用いて、システム同定用モデル（例えば ARMA モデル）のパラメータ設定を行う。

40

【0032】

50

図5の破線100で囲んだ部分に解析モデル最適化部17Aによる処理の概要を示す。モデル100Aは、タービン1の図面データに基づくモデルである。モデル100Aに基づいて、タービン1の振動を模擬する力学的な物理モデルを作成することができる。この物理モデルは、例えば、M（質量）、K（剛性）、C（減衰）を用いた運動方程式を含む。この物理モデルは、タービン1の振動モード数に合わせて適切な自由度が設定されている。解析モデル最適化部17Aが最適化する解析モデルは、この物理モデルや、当該物理モデルに基づく様々な振動解析用の計算式（例えば固有振動数や振動モードを算出する式）によって構成される。

【0033】

解析モデルは、例えば、ある回転速度を入力した場合、その回転速度でモデル100Aを運転したときに計測点1、計測点2で計測される振動データ、固有振動数、減衰定数、振動モードなどを算出する。そのとき、解析モデル最適化部17Aは、モデル100Aにおける加振位置を様々な位置に変化させつつ、それぞれの加振位置に応じたランダム外力やアンバランス力を算出する。解析モデル最適化部17Aは、算出したランダム外力やアンバランス力を入力値として上記の解析モデルに与える。実機模擬部17Bは、ランダム外力等や所定の回転速度を入力値として、解析モデルを用いてタービン1を所定の回転速度で回転させたときの振動の状態を模擬する。解析モデル最適化部17Aは、加振位置に応じたランダム外力やアンバランス力を入力したときの解析モデルの出力値に対して、計測ノイズに相当するデータ（ランダム波）を加え、解析モデルが出力する値（グラフ100Cに示す振動の時刻歴領域データ）が、よりタービン1の振動データ（グラフ100Bに示す振動センサ4A、4Bが計測する振動データ）に近づくようにする。

【0034】

図示するように、解析モデル最適化部17Aは、解析モデルが模擬する振動データ（グラフ100C）とタービン1の実機で振動センサ4A、4Bにより計測された振動データ（グラフ100B）とを比較して、所定の方法により両者が類似しているかどうかを判定する。例えば、解析モデル最適化部17Aは、2つの波形データの相関係数を算出して類似しているかどうかを判定してもよい。また、例えば、解析モデル最適化部17Aは、対象周波数における振動モードの個数が等しく、振動数差異 $\pm 10\%$ 以内、変位差異 $\pm 30\%$ 以内程度を目安として解析と実測が類似していると判定してもよい。

類似していない場合、解析モデル最適化部17Aは、モデル100Aにおける加振位置を変化させて、ランダム外力やアンバランス力の入力設定、計測ノイズ設定を再度行い、実機模擬部17Bが解析モデルによる振動の模擬（時刻歴領域データなどの算出）を行い、上記の判定を繰り返す。解析モデル最適化部17Aは、このようにして、解析モデルが、タービン1の振動をより精緻に模擬するように解析モデルの最適化を行う。

【0035】

解析モデル最適化部17Aによる最適化が完了すると、第1システム同定用モデルパラメータ設定部17は、続いてシステム同定用モデルのパラメータ設定を行う。図5の破線101で囲んだ部分にパラメータ設定部17Cによるパラメータ設定処理の概要を示す。

まず、実機模擬部17Bが所定の回転速度でモデル100Aを運転したときの振動の模擬を行い、最適化された解析モデルが、その場合の振動の時刻歴領域データ、固有振動数、減衰定数、振動モードを算出する。パラメータ設定部17Cは、これらのシミュレーション結果値を取得して、システム同定用モデルのパラメータ設定処理を行う。ここで、システム同定用モデルの一例を示す。

【0036】

図6は、本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルの一例を示す図である。

図6にシステム同定用モデルの一例として、ARMAモデルの模式図を示す。入力 $e(n)$ は、タービン1に入力される外力を仮定したランダム波形である。一方、出力 $y(n)$ は、解析モデルによる時刻歴領域データである。 $e(n)$ と $y(n)$ に対して決定される i 、 i からARMAモデルが定まり、固有振動数、減衰定数、振動モードが算出さ

10

20

30

40

50

れる。また、ARMAモデルは、以下の式(1)で表すことができる。

【0037】

【数1】

$$y(n) = \sum_{i=1}^{n_a} \alpha_i y(n-i) + e(n) + \sum_{i=1}^{n_c} \beta_i e(n-i) \quad \dots (1)$$

10

【0038】

ARMAモデルを推定する際のパラメータとして、振動データ $y(n)$ のサンプリング周波数(Hz)、波形長さ(データ点数= n)、ARモデル次数(n_a)、MAモデル次数(n_c)の各パラメータを設定する必要がある。

【0039】

図5の説明に戻る。パラメータ設定部17Cは、ARMAモデルのパラメータとして、上記の各パラメータに任意の値を設定する。そして、実機模擬部17Bが解析モデルを用いて算出した振動の時刻歴領域データをARMAモデルの出力値($y(n)$)としたときに定まる ω_i 、 γ_i から算出される固有振動数、減衰定数、振動モードと、実機模擬部17Bが解析モデルを用いて算出した固有振動数、減衰定数、振動モードの各値とを比較する。パラメータ設定部17Cは、ARMAモデルの出力値と実機模擬部17Bによる振動モードなどの値の差が所定の範囲内であれば、ARMAモデルの精度は基準以上であると判定し、今回設定したパラメータの値を正式なパラメータとして採用する。例えば、パラメータ設定部17Cは、安定した解が得られ、差異が振動数 $\pm 5\%$ 、減衰 $\pm 30\%$ 以内を目安としてARMAモデルの精度は基準以上であると判定してもよい。

20

【0040】

また、パラメータ設定部17Cは、ARMAモデルの出力値と実機模擬部17Bによる振動モードなどの値の差が所定の範囲内に収まらない場合、サンプリング周波数、波形長さ、ARモデル次数、MAモデル次数の値を他の値に変更して、再度、上記の比較および判定を行う。パラメータ設定部17Cは、このようにして、システム同定用モデルが、タービン1の固有振動数、減衰定数、振動モードを精度良く推定できるようなシステム同定用モデルのパラメータを決定する。

30

以上で、第1システム同定用モデルパラメータ設定部17によるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理が完了する。システム同定用モデルのパラメータ設定処理が完了すると、振動診断装置10Aは、設定したシステム同定用モデルパラメータを用いて、第一実施形態と同様にタービン1の振動の診断処理をリアルタイムに行う。

【0041】

次に第二実施形態のシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の流れについて説明を行う。

図7に本発明に係る第二実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の一例を示すフローチャートである。

40

前提として、第1システム同定用モデルパラメータ設定部17は、予めタービン1に基づく物理モデルを含む解析モデル、パラメータが設定されていない状態のシステム同定用モデルを有しているとする。

まず、データ取得部11が、振動センサ4A、4Bが計測したタービン1の計測データを取得する(ステップS21)。データ取得部11は、計測データを記憶部14に記録する。

次に解析モデル最適化部17Aが、実際に計測された計測データを用いて、解析モデルが算出する振動に関して、タービン1と同様の挙動を示すように解析モデルを最適化する(ステップS22)。具体的な処理については図5を用いて説明したとおりである。解析

50

モデルが最適化されると、実機模擬部 17B が、解析モデルを用いて、タービン 1 の定格運転時（タービン 1 の診断対象となる運転状態。例えば部分負荷で運転する場合は、その負荷での運転時）の振動を模擬する。そして、実機模擬部 17B は、定格運転時のタービン 1 の振動の時刻歴領域データ、固有振動数、減衰定数、振動モードを算出する。また、実機模擬部 17B は、時刻歴領域データからフーリエ変換などを行って周波数領域データを算出してもよい。実機模擬部 17B は、算出したこれらの情報を記憶部 14 に記録する。

【0042】

次にパラメータ設定部 17C が、システム同定用モデルのパラメータを適切に設定する。より具体的には、まず、パラメータ設定部 17C は、システム同定用モデルにパラメータを仮設定する（ステップ S23）。そして、パラメータ設定部 17C は、記憶部 14 に記録された時刻歴領域データもしくは周波数領域データ、固有振動数、減衰定数、振動モードを読み出して、その時刻歴領域データもしくは周波数領域データをシステム同定用モデルに入力する。システム同定用モデルは、固有振動数、減衰定数、振動モードを算出する（ステップ S24）。次にパラメータ設定部 17C は、システム同定用モデルが算出した固有振動数等と、読み出した固有振動数等とを比較する（ステップ S25）。

10

【0043】

それぞれの値の差が、所定の範囲内であれば、パラメータ設定部 17C は、システム同定用モデルの精度は基準以上であると判定する。精度が基準以上の場合（ステップ S27；Yes）、パラメータ設定部 17C は、仮設定したパラメータを正式なパラメータの値として採用する（ステップ S28）。精度が基準未満の場合（ステップ S27；No）、ステップ S23 以下の処理を繰り返す。これにより、第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 は、適切なパラメータ設定を行って、システム同定用モデルを確定する。システム同定用モデルが確定すると、振動診断装置 10A は、図 3 で説明したフローチャートと同様の処理を行って、タービン 1 の振動診断を行う。

20

【0044】

本実施形態によれば、第一実施形態の効果に加え、実機での計測データを再現することができる解析モデルを作成し、その解析モデルによって再現した実機の模擬結果を用いて、システム同定用モデルのパラメータを設定する。これにより、システム同定の精度を確保することができる。

30

なお、図 6 にて ARMA モデルを例示したが、システム同定用モデルは、これに限定されない、例えば、他の AR モデル、ARX モデルなどであっても良く、確率的部分空間同定法などの他の手法でもよい。

また、上記例では、1 台の振動診断装置 10A が、第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 を備える構成としたが、第 1 システム同定用モデルパラメータ設定部 17 は、別のコンピュータ装置（パラメータ設定用装置）に実装し、パラメータ設定用装置で、予めシステム同定用モデルのパラメータの設定を行い、データ分析部 12 にパラメータ設定済みのシステム同定用モデルを実装するようにしてもよい。

【0045】

< 第三実施形態 >

40

以下、本発明の第三実施形態による振動診断装置について図 8 ~ 図 10 を参照して説明する。

以下、第三実施形態に係る振動診断装置 10B について説明を行う。第三実施形態に係る振動診断装置 10B は、第二実施形態の振動診断装置 10A と同様に、システム同定用モデルのパラメータ設定を行う機能を備えている。ただし、振動診断装置 10B は、振動診断装置 10A とは異なる方法でパラメータ設定を行う。

【0046】

図 8 は、本発明に係る第三実施形態における振動診断装置のブロック図である。

本発明の第三実施形態に係る構成のうち、第一実施形態に係る振動診断装置 10 を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。図示するように

50

振動診断装置 10C は、データ取得部 11 と、データ分析部 12 と、振動状態診断部 13 と、記憶部 14 と、入出力部 15 と、制御部 16 と、第 2 システム同定用モデルパラメータ設定部 18 とを備える。

第 2 システム同定用モデルパラメータ設定部 18 は、タービン 1 の回転速度変化中に計測された振動データから算出された固有振動数、減衰定数、振動モードに基づいて、データ分析部 12 がシステム同定に用いるパラメータを設定する。第 2 システム同定用モデルパラメータ設定部 18 は、振動特性推定部 18A、パラメータ設定部 18B を備えている。

振動特性推定部 18A は、タービン 1 の回転速度の変化中に計測した振動データに基づいて、前記機器の振動特性を推定する。

パラメータ設定部 18B は、タービン 1 が診断対象となる運転中（例えば、定格運転中）に計測された振動データに基づいて、システム同定用モデルが推定する振動特性と、振動特性推定部 18A が推定した振動特性とが等しくなるように、システム同定用モデルの各種パラメータを設定する。なお、等しくなるようにとは、完全に一致することに限定されず、2 つの振動特性の差が、所定の所要範囲内に収まることを意味する。

【0047】

次に図 9 を用いてシステム同定用モデルのパラメータ設定処理について説明する。

図 9 は、本発明に係る第三実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定方法を説明する図である。

本実施形態では、まず、振動特性推定部 18A が、データ取得部 11 が取得した回転速度変化中のタービン 1 の振動データを用いて、タービン 1 の固有振動数と減衰定数と振動モードを推定する。これは、回転速度の変化中の計測データからは固有振動数などを精度よく推定しやすいことを利用している。なお、回転速度の変化中の計測データとは、例えば、タービン 1 の起動中（回転速度が上昇している間）に計測された振動データや、タービン 1 が停止する間（回転速度が下降している間）に計測された振動データのことである。次にパラメータ設定部 18B は、振動特性推定部 18A が推定したタービン 1 の固有振動数などを正しい値として、システム同定用モデル（例えば ARMA モデル）のパラメータ設定を行う。

【0048】

図 9 の破線 200 で囲んだ部分に振動特性推定部 18A による処理の概要を示す。上述のとおり、本実施形態では、タービン 1 の起動時や停止時など回転速度の変化中に振動センサ 4A、4B が計測した振動データに基づいて、固有振動数などを推定する。図中、3 つのグラフは、例えば、タービン 1 の起動後、回転速度上昇中に計測した振動データに基づくグラフである。左上のグラフは、タービン 1 の回転速度上昇中に、ある回転速度 R で回転しているときの振動データから得られる周波数（横軸）と位相の関係を示すグラフである。左下のグラフは、ある回転速度 R で回転しているときの振動データから得られる周波数（横軸）とコンプライアンスの関係を示すグラフである。また、右図のグラフは、ある回転速度 R で回転しているときの振動データから得られる位相と振幅の関係を示すグラフである。

ところで、タービン 1 は、その固有振動数に対応する回転速度においては、大きな振幅で振動するはずである。この性質を利用し、振動特性推定部 18A は、回転速度上昇中の実機で計測した振動データを基に、固有振動数、減衰定数、振動モードを推定する。振動特性推定部 18A は、推定した振動特性（固有振動数、減衰定数、振動モード）を、記憶部 14 に記録する。

【0049】

一方、パラメータ設定部 18B は、振動特性推定部 18A が推定したタービン 1 の固有振動数などを取得して、これらの値を正しい値として、システム同定用モデル（例えば ARMA モデル）のパラメータ設定を行う。図 6 を用いて説明したとおり、システム同定用モデルが ARMA モデルの場合、式 (1) の各パラメータ（サンプリング周波数、波形長さ、AR モデル次数、MA モデル次数）を適切に設定する必要がある。

10

20

30

40

50

本実施形態では、タービン1の起動後、定格運転（あるいは、振動の診断対象とする運転状態が部分負荷での運転であれば、その運転状態）に至ったら、パラメータ設定部18Bは、その運転状態のときに振動センサ4A, 4Bが計測した振動データ（時刻歴領域データ）と、振動特性推定部18Aが推定した固有振動数などを用いて各パラメータの値を調整する。

【0050】

破線201で囲んだ部分にパラメータ設定部18Bによる処理の概要を示す。例えば、図6に例示したARMAモデルの場合、パラメータ設定部18Bは、ARMAモデルのパラメータとして、まず図6で説明した各パラメータに任意の値を設定する。そして、データ取得部11が取得した振動の時刻歴領域データをARMAモデルの入力値($y(n)$)としたときの出力値(\hat{y}_i 、 \hat{y}_i から算出される固有振動数、減衰定数、振動モード)と、振動特性推定部18Aによる固有振動数、減衰定数、振動モードの各値を比較する。パラメータ設定部18Bは、ARMAモデルの出力値と振動特性推定部18Aによる固有振動数などの値の差が所定の範囲内であれば、ARMAモデルの精度は基準以上であると判定し、今回設定したパラメータの値を正式なパラメータとして採用する。例えば、パラメータ設定部18Bは、安定した解が得られ、差異が振動数 $\pm 5\%$ 、減衰 $\pm 30\%$ 以内を目安としてARMAモデルの精度は基準以上であると判定してもよい。

【0051】

また、パラメータ設定部18Bは、ARMAモデルの出力値と振動特性推定部18Aによる固有振動数などの値の差が所定の範囲内に収まらない場合、サンプリング周波数、波形長さ、ARモデル次数、MAモデル次数の値を他の値に変更して、再度、上記の比較および判定を行う。パラメータ設定部18Bは、このようにしてパラメータの値を調整し、システム同定用モデルが、タービン1の固有振動数、減衰定数、振動モードを精度良く推定できるようなパラメータを決定する。

以上で、第2システム同定用モデルパラメータ設定部18によるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理が完了する。システム同定用モデルのパラメータ設定処理が完了すると、振動診断装置10Bは、作成したシステム同定用モデルを用いて、第一実施形態と同様にタービン1の振動の診断処理をリアルタイムに行う。

【0052】

次に第三実施形態のシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の流れについて説明を行う。

図10は、本発明に係る第三実施形態におけるシステム同定用モデルのパラメータ設定処理の一例を示すフローチャートである。

前提として、第2システム同定用モデルパラメータ設定部18は、予めパラメータが設定されていない状態のシステム同定用モデルを有している。また、タービン1を起動して、システム同定用モデルのパラメータ設定を行い、続いて定格負荷運転時に振動診断処理を行う場合を例に説明を行う。

まず、データ取得部11が、振動センサ4A, 4Bが計測したタービン1の起動時（回転速度上昇時）の計測データを取得する（ステップS31）。データ取得部11は、計測データを記憶部14に記録する。

次に振動特性推定部18Aが、回転速度の上昇時に実際に計測された計測データを用いて、タービン1の振動特性（固有振動数、減衰定数、振動モード）を推定する（ステップS32）。具体的な処理については図9を用いて説明したとおりである。振動特性推定部18Aは、推定した振動特性のデータを記憶部14に記録する。

【0053】

次にデータ取得部11が、定格運転時の計測データを取得する（ステップS33）。次にパラメータ設定部18Bが、システム同定用モデルのパラメータを適切に設定する。まず、パラメータ設定部18Bは、システム同定用モデルにパラメータを仮設定する（ステップS34）。そして、パラメータ設定部18Bは、定格運転時の実測値に基づく時刻歴領域データ、もしくは時刻歴領域データからフーリエ変換などを行って算出した周波数領

10

20

30

40

50

域データをシステム同定用モデルに入力する。システム同定用モデルは、固有振動数、減衰定数、振動モードを算出する（ステップS35）。次にパラメータ設定部18Bは、ステップS32で記憶部14に記録された固有振動数、減衰定数、振動モードを読み出して、システム同定用モデルが算出した固有振動数等と、読み出した固有振動数等とを比較する（ステップS36）。

【0054】

それぞれの差が、所定の範囲内であれば、パラメータ設定部18Bは、システム同定用モデルの精度は基準以上であると判定する。精度が基準以上の場合（ステップS37；Yes）、パラメータ設定部18Bは、仮設定したパラメータを正式なパラメータの値として採用する（ステップS38）。精度が基準未満の場合（ステップS37；No）、ステップS34以下の処理を繰り返す。これにより、第2システム同定用モデルパラメータ設定部18は、システム同定用モデルのパラメータを確定する。システム同定用モデルのパラメータが確定すると、振動診断装置10Bは、図3で説明したフローチャートと同様の処理を行って、タービン1の振動診断を行う。

10

【0055】

本実施形態によれば、第一実施形態の効果に加え、タービン1の回転速度が変化しているときに計測した振動データから得た振動特性と、定格運転中に計測した振動データによってシステム同定用モデルのパラメータを設定することで、システム同定の精度を確保することができる。また、第二実施形態と比較して、解析モデル作成の手間を省力化することができる。例えば、図10のフローチャートで例示したようにタービン1が起動し、定格で運転する場合、その起動中に計測した振動データや定格運転に至った直後に計測した振動データに基づいてシステム同定用パラメータ設定を行い、そのまま定格運転中のタービン1のリアルタイム振動診断を行うことも考えられる。

20

【0056】

<第四実施形態>

以下、本発明の第四実施形態による振動診断装置について図11～図12を参照して説明する。

以下、第四実施形態に係る振動診断装置10Cについて説明を行う。第四実施形態に係る振動診断装置10Cは、参照データとして、過去の計測データや正常時の振動モードだけでなく、損傷発生時の各種データを保持する。本実施形態では、損傷発生時のデータ（損傷モード）で正常時のデータを補完することで、想定される多種多様な異常兆候の診断や、損傷位置の推定を可能とする。

30

【0057】

図11は、本発明に係る第四実施形態における振動診断装置のブロック図である。

本発明の第四実施形態に係る構成のうち、第一実施形態に係る振動診断装置10を構成する機能部と同じものには同じ符号を付し、それぞれの説明を省略する。図示するように振動診断装置10Cは、データ取得部11と、データ分析部12と、振動状態診断部13と、記憶部14と、入出力部15と、制御部16と、損傷状態推定部19とを備える。

損傷状態推定部19は、振動データまたは振動特性（固有振動数など）に対応付けて記憶部14に予め記録された損傷情報に基づいて、機器の振動が示す損傷状態を推定する。損傷情報とは、タービン1と同種のタービンで過去に実際に生じた損傷や、タービン1の振動データなどを解析して得られる発生のある損傷から得られる損傷の内容や損傷の発生箇所などのことである。記憶部14には、実際に生じた損傷の損傷情報（損傷の種類、内容、程度、発生箇所など）と、そのときに計測された振動データやその振動データを解析することによって得られた振動モード、固有振動数、減衰定数が対応付けて記録されている。さらに、損傷情報と対応付けて損傷発生時のタービン1の温度や圧力などの環境情報が記録されていてもよい。また、記憶部14には、例えば、解析上で再現した損傷の損傷情報と、そのときの振動データ、振動モード、圧力、温度などの損傷を再現する条件が対応付けて記録されている。損傷状態推定部19は、記憶部14に記録されたこれらの損傷情報に基づいて、どのような振動モードが生じた場合にどのような損傷が生じる

40

50

か、あるいはどのような振動データが計測されたときにどのような損傷が生じ得るかなどを推定する。

【0058】

次に図12を用いて、第四実施形態の振動診断装置10Cによる振動状態の診断処理について説明を行う。

図12は、本発明に係る第四実施形態における振動診断処理の一例を示すフローチャートである。図3と重複する処理については簡単に説明を行う。

まず、データ取得部11が、振動センサ4A、4B、温度センサ5、圧力センサ6が計測した計測値を取得し(ステップS11)、記憶部14に記録する。次にデータ分析部12は、記憶部14から振動データを読み出して、システム同定を行う(ステップS12)。データ分析部12は、システム同定によって得られた振動特性、時刻歴領域データ、周波数領域データの各情報を振動状態診断部13へ出力する。

10

【0059】

次に振動状態診断部13は、入力した各データを、参照用データおよび損傷情報と照合する(ステップS13)。このとき、振動状態診断部13は、図3の各処理に加え、記憶部14に記録された損傷情報との照合も行う。次に振動状態診断部13は、照合結果に基づいて、タービン1の振動が異常かどうかを診断する(ステップS14)。

【0060】

診断の結果が正常ではない場合(ステップS14; No)、振動状態診断部13は異常検出情報とともに損傷情報を入出力部15に出力する(ステップS15)。入出力部15は、異常の発生を通知する情報や、その異常に対応する現在生じている可能性がある損傷情報を例えばディスプレイに表示する。

20

診断の結果が正常の場合(ステップS14; Yes)、またはステップS15の処理を実行後、制御部16は、診断処理を継続するか否かを判定する(ステップS16)。診断処理を終了すると判定した場合(ステップS16; No)、制御部16は、診断処理を停止する。この場合、本フローチャートを終了する。診断処理を継続する場合(ステップS16; Yes)、ステップS11からの処理を繰り返す。

【0061】

本実施形態によれば、第一実施形態の効果に加え、過去に生じた損傷や解析上で再現した損傷時の挙動を用いて、参照用データを補完することで、想定される多種多様な異常兆候の診断や、損傷位置、損傷程度の推定が可能となる。

30

【0062】

なお、上述した振動診断装置10、10A、10B、10Cにおける各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムを振動診断装置10等のコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしてもよい。

【0063】

また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル(差分プログラム)であってもよい。

40

また、振動診断装置10、10A、10B、10Cは、1台のコンピュータで構成されていても良いし、通信可能に接続された複数のコンピュータで構成されていてもよい。

【0064】

その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施の形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。また、この発明の技術範囲は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。例えば、振動診断対象は、タービン1に限定されず、他の回転機

50

械の軸や車室の振動、あるいは、柱、梁などの振動を診断対象とすることもできる。なお、振動診断装置 10、10A、10B、10Cは、振動診断システムの一部である。また、回転速度は動作速度の一例である。また、タービン 1 は機器の一例である。

【符号の説明】

【0065】

- 1・・・タービン
- 2A、2B・・・軸受台
- 3・・・回転軸
- 10、10A、10B、10C・・・振動診断装置
- 11・・・データ取得部
- 12・・・データ分析部
- 13・・・振動状態診断部
- 14・・・記憶部
- 15・・・出力部
- 16・・・制御部
- 17・・・第1システム同定用モデルパラメータ設定部
- 17A・・・解析モデル最適化部
- 17B・・・実機模擬部
- 17C・・・パラメータ設定部
- 18・・・第2システム同定用モデルパラメータ設定部
- 18A・・・振動特性推定部
- 18B・・・パラメータ設定部
- 19・・・損傷状態推定部

10

20

【図1】

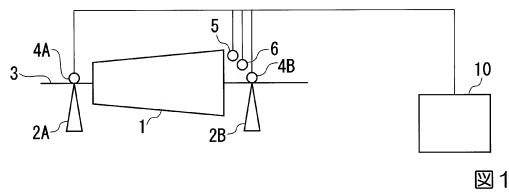


図1

【図2】

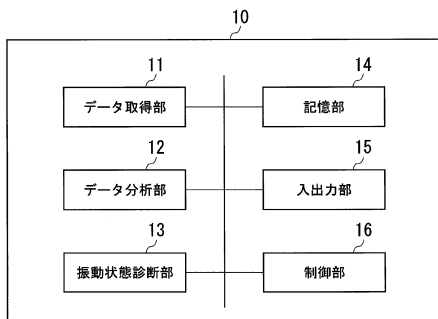


図2

【図3】

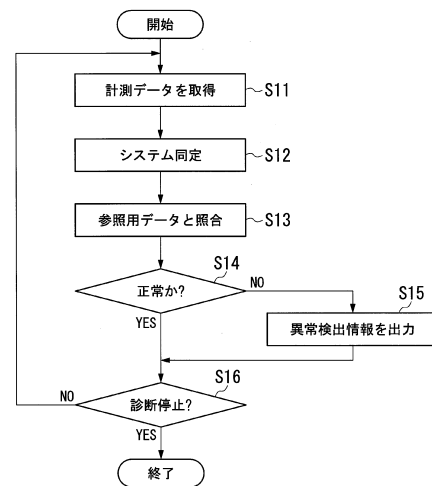


図3

【図4】

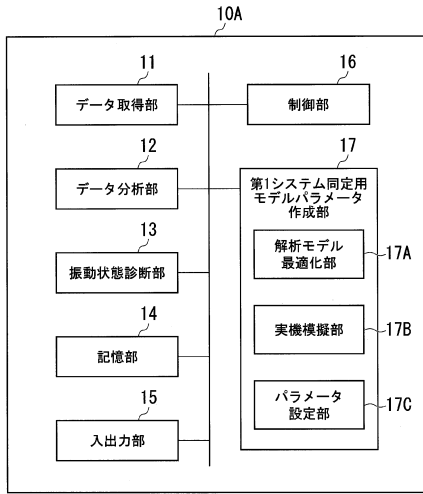


図4

【図5】

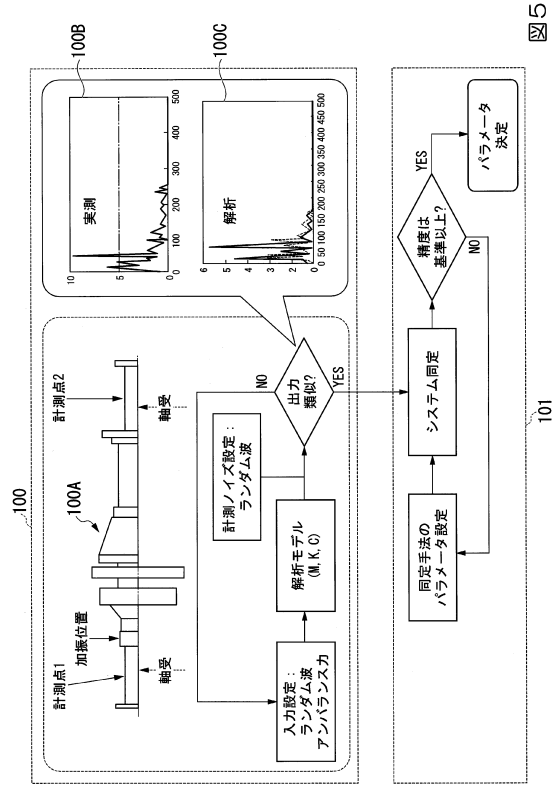


図5

【図6】

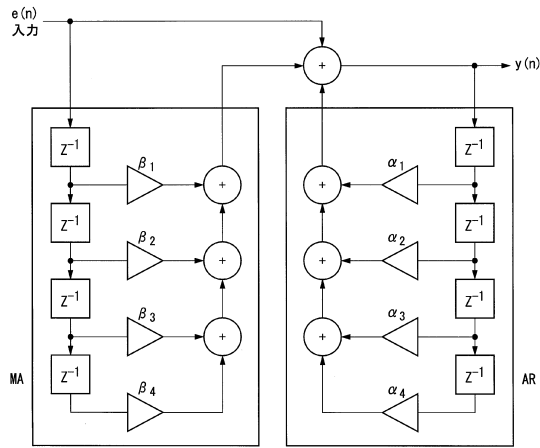


図6

【図7】

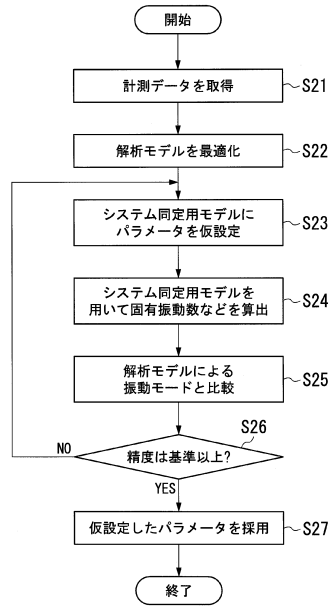


図7

【図8】

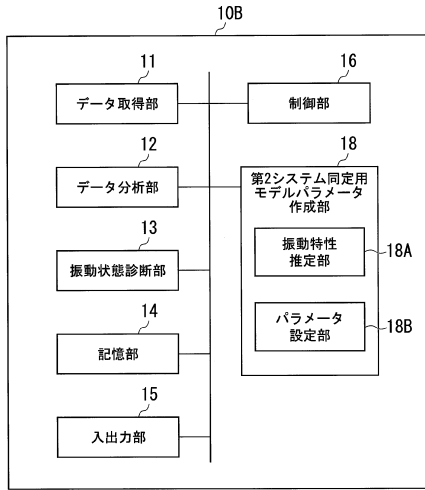


図8

【図9】

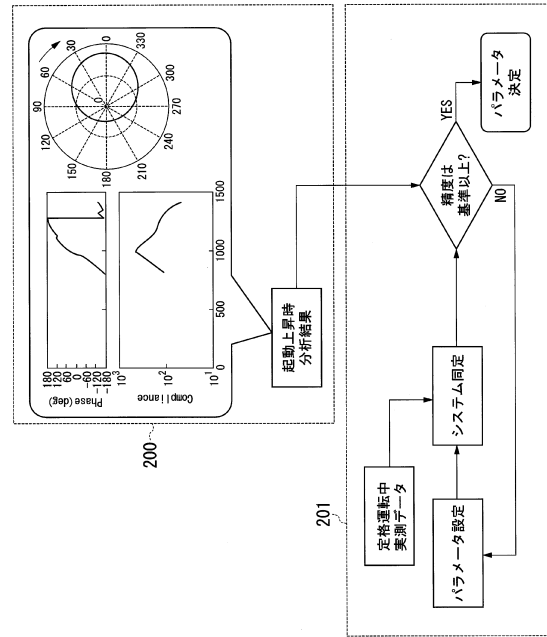


図9

【図10】

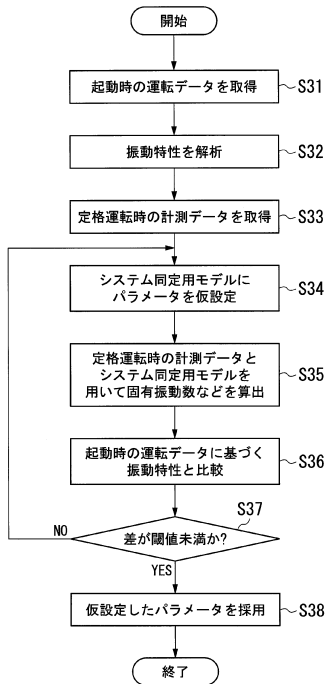


図10

【図11】

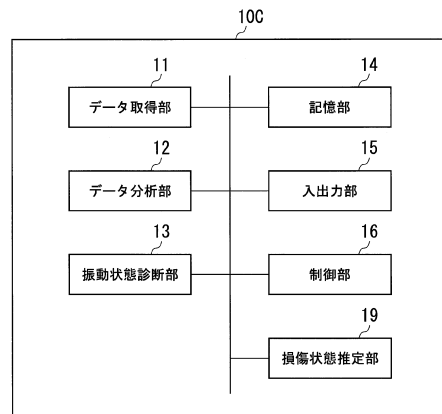


図11

【図12】

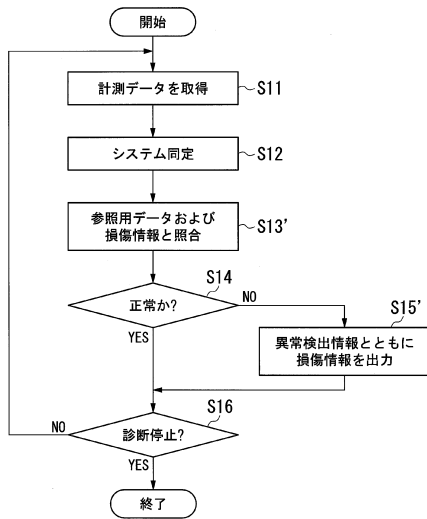


図12

フロントページの続き

- (74)代理人 100134544
弁理士 森 隆一郎
- (74)代理人 100064908
弁理士 志賀 正武
- (74)代理人 100108578
弁理士 高橋 詔男
- (74)代理人 100126893
弁理士 山崎 哲男
- (72)発明者 白石 晴子
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 梅原 隆一
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 田村 和浩
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

審査官 岡村 典子

- (56)参考文献 特開2005-250985(JP,A)
特開2001-153719(JP,A)
特開平09-145530(JP,A)
国際公開第2015/079975(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01H 1/00-17/00