

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5653786号
(P5653786)

(45) 発行日 平成27年1月14日 (2015. 1. 14)

(24) 登録日 平成26年11月28日 (2014. 11. 28)

(51) Int. Cl.

F I

FO2C 9/00 (2006.01)

FO1D 25/00 (2006.01)

FO2C 9/00 A

FO1D 25/00 V

FO1D 25/00 W

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-26580 (P2011-26580)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成23年2月9日 (2011. 2. 9)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-167550 (P2012-167550A)		東京都港区港南二丁目16番5号
(43) 公開日	平成24年9月6日 (2012. 9. 6)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成25年7月30日 (2013. 7. 30)		弁理士 酒井 宏明
		(74) 代理人	100118762
			弁理士 高村 順
		(72) 発明者	伊藤 真悟
			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	立石 浩毅
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異常検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスタービンの運転条件及び前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサから出力されたセンサ出力値と、前記ガスタービンの運転状態を示す第1の運転指標との対応関係が規定された運転指標推定関数が予め記憶された記憶部と、

前記運転指標推定関数を用いて、前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサ出力値及び前記ガスタービンの運転条件から定常運転時の特定の運転状態における第1の運転指標を、複数のタイミングで求める第1の推定部と、

前記第1の推定部が推定した前記定常運転時の特定の運転状態における第1の運転指標の集合に基づき、前記ガスタービンの異常を検出するための第1の異常検出情報を求める異常情報演算部と、

前記異常情報演算部が求めた前記異常検出情報と予め設定された所定の閾値とを比較して、前記ガスタービンの異常の有無を検出する異常検出部と、

を含む異常検出装置。

【請求項 2】

前記定常運転時の特定の運転状態は、定格運転時である請求項1に記載の異常検出装置。

【請求項 3】

前記異常情報演算部が求めた前記異常検出情報と、前記異常検出部が検出した前記ガスタービンに異常が発生したことの情報とから、所定の期間における前記ガスタービンの異

常の発生頻度を求める情報加工部を有する請求項 1 又は 2 に記載の異常検出装置。

【請求項 4】

前記第 1 の推定部が推定した前記第 1 の運転指標を用いて、前記第 1 の運転指標とは異なる前記ガスタービンの運転状態を示す第 2 の運転指標を、複数のタイミングで推定する第 2 の推定部を有し、

前記異常情報演算部は、前記第 2 の推定部が求めた前記第 2 の運転指標の集合と、前記第 2 の運転指標に相当する前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサから出力されたセンサ出力値とに基づき、前記ガスタービンの異常を検出するための第 2 の異常検出情報を求め、

前記異常検出部は、前記異常情報演算部が求めた前記第 2 の異常検出情報と予め設定された所定の閾値とを比較して、前記ガスタービンの異常の有無を検出する請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の異常検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機器類に何らかの異常が発生したことを検出する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスタービン発電プラントや原子力発電プラント、あるいは化学プラントといった各種のプラントでは、プラントの運転中に異常の有無を監視する。例えば、特許文献 1 には、1 以上の機械から作動データを収集するステップと、これらの作動データから例外的異常スコアを計算するステップとを含む、標的機械の性能を表わす作動的指標 (operational metric) が異常値を有するか否かを判定する方法が記載されている。また、特許文献 1 には、技術データ (例えば、作動センサデータ) について例外的異常スコア (EAS) を計算することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2009-075081 号公報 (0010、0013)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 に記載された技術は、作動センサデータから例外的異常スコアを計算するが、センサで直接データを得ることができない機器類の運転状態又はセンサで直接データを得ることが困難な機器類の運転状態については、異常の発生を検出することが困難である。本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、ガスタービンが有する機器類のうちセンサによって計測が困難又は計測できない機器類の運転状態の異常を検出することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、ガスタービンの運転条件と、前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサから出力されたセンサ出力値とから、前記ガスタービンの運転状態を示す第 1 の運転指標を、複数のタイミングで求める第 1 の推定部と、前記第 1 の推定部が推定した前記第 1 の運転指標の集合に基づき、前記ガスタービンの異常を検出するための第 1 の異常検出情報を求める異常情報演算部と、前記異常情報演算部が求めた前記異常検出情報と予め設定された所定の閾値とを比較して、前記ガスタービンの異常の有無を検出する異常検出部と、を含むことを特徴とする異常検出装置である。

【0006】

この異常検出装置は、第 1 の運転指標を、ガスタービンの物理モデル等から所定のタイ

10

20

30

40

50

ミングで推定して求め、得られた第1の運転指標の集合を統計処理して得られた異常検出情報に基づいて、ガスタービンの異常の有無を検出する。このように、この異常検出装置は、第1の運転指標を、ガスタービンの物理モデル等から求めるので、センサによる検出が困難又は検出できない機器類の運転状態であっても、異常を検出することができる。

【0007】

本発明の望ましい態様として、前記第1の推定部は、前記第1の運転指標と、前記ガスタービンの運転条件及び前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサ出力値との対応関係から、前記ガスタービンの定格運転時における前記第1の運転指標を求めることが好ましい。このように、第1の運転指標を定格運転時における値に変換することで、異なるタイミングで得られた第1の運転指標を定格運転時という同じ基準の下に評価することができる。

10

【0008】

本発明の望ましい態様として、前記異常情報演算部が求めた前記異常検出情報と、前記異常検出部が検出した前記ガスタービンに異常が発生したことの情報とから、所定の期間における前記ガスタービンの異常の発生頻度を求める情報加工部を有することが好ましい。このようにすることで、ガスタービンに発生した異常が急性であるか、慢性であるか等の判定が可能となる。

【0009】

本発明の望ましい態様として、前記第1の推定部が推定した前記第1の運転指標を用いて、前記第1の運転指標とは異なる前記ガスタービンの運転状態を示す第2の運転指標を、複数のタイミングで推定する第2の推定部を有し、前記異常情報演算部は、前記第2の推定部が求めた前記第2の運転指標の集合と、前記第2の運転指標に相当する前記ガスタービンの運転状態を検出するセンサから出力されたセンサ出力値とに基づき、前記ガスタービンの異常を検出するための第2の異常検出情報を求め、前記異常検出部は、前記異常情報演算部が求めた前記第2の異常検出情報と予め設定された所定の閾値とを比較して、前記ガスタービンの異常の有無を検出することが好ましい。このようにすることで、より多様な手法によるガスタービンの異常検出を実現できる。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明は、ガスタービンが有する機器類のうちセンサによって計測が困難又は計測できない機器類の運転状態の異常を検出することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】図1は、実施形態1に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。

【図2】図2は、実施形態1に係る異常検出装置の制御ブロック図である。

【図3】図3は、第1の運転指標と、ガスタービンのセンサ出力値との対応関係の一例を示す概念図である。

【図4】図4は、第1の運転指標と、ガスタービンの運転条件との対応関係の一例を示す概念図である。

【図5】図5は、第1の運転指標と、ガスタービンの運転条件及びガスタービンのセンサ出力値との対応関係の一例を示す概念図である。

40

【図6】図6は、第1の異常検出情報を求める手法の説明図である。

【図7】図7は、実施形態2に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。

【図8】図8は、実施形態2に係る異常検出装置の制御ブロック図である。

【図9】図9は、ガスタービンの異常の発生頻度を示す概念図である。

【図10】図10は、実施形態3に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。

【図11】図11は、実施形態3に係る異常検出装置の制御ブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。

50

以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。本実施形態では、本発明をガスタービンの発電プラントの状態監視に適用した例を説明するが、本発明が適用できる対象はこれに限定されるものではない。例えば、原子力発電プラントや化学プラント等、計測が困難又は計測できないプラントの運転状態の異常を検出する必要のあるプラント全般に対して本発明は適用できる。

【0013】

(実施形態1)

図1は、実施形態1に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。異常検出装置10は、ガスタービン発電プラント1が有するガスタービン6の状態（特に運転中の状態）を監視して、ガスタービン6の異常を検出する。異常検出装置10の監視対象であるガスタービン6は、ガスタービン発電プラント1の発電機5を駆動するための駆動源である。発電機5は、ガスタービン6によって駆動されて、電力を発生する。

【0014】

ガスタービン6は、圧縮機2と、燃焼器3と、圧縮機2を回転させるタービン4とを含む。圧縮機2の吸気口から吸入された空気は圧縮機2で圧縮され、高温、高圧の空気となって燃焼器3へ導かれる。燃焼器3では、高温、高圧の空気に燃料が供給され、燃焼する。燃焼器3で燃焼した燃料は、高温、高圧の燃焼ガスとなってタービン4へ供給され、これを回転させる。ガスタービン6の出力軸、すなわちタービン4及び圧縮機2の回転軸は、発電機5に連結されている。このような構造により、ガスタービン6が運転されてタービン4が回転することによって得られる出力は発電機5に伝達される。このような構造により、ガスタービン6は発電機5を駆動して、発電機5に電力を発生させる。

【0015】

本実施形態において、ガスタービン発電プラント1は、ガスタービン6で発電機5を駆動するが、ガスタービン6に加え、ガスタービン6の排熱で駆動される蒸気タービンで発電機5を駆動してもよい。すなわち、ガスタービン発電プラント1は、コンバインドサイクルのプラントであってもよい。

【0016】

異常検出装置10は、ガスタービン6の状態を監視する。なお、本実施形態において、異常検出装置10は、1台のガスタービン6の状態を監視するが、複数台のガスタービン6の状態を監視してもよい。異常検出装置10は、例えば、コンピュータであり、入出力部11と、処理部12と、記憶部13とを備える。異常検出装置10は、いわゆるパーソナルコンピュータを利用してもよいし、CPU（Central Processing Unit）とメモリとを組み合わせてもよい。

【0017】

ガスタービン6は、自身の運転状態を検出する手段（運転状態検出手段）として、複数のセンサ7を有している。センサ7の種類としては、例えば、ガスタービン6に供給される燃料の温度を検出する燃料温度センサ、圧縮機2の出口温度を検出する圧縮機出口温度センサ、タービン4が排出した排ガスの温度を検出する排ガス温度センサ及びタービン4の回転速度を検出する回転速度センサ等がある。本実施形態では、2つのセンサ7を示しているが、センサ7の種類及び数は、ガスタービン6に応じて適宜変更される。一般に、1台のガスタービン6は、50個～60個のセンサ7を有している。

【0018】

センサ7の出力（センサ出力）は、異常検出装置10の入出力部11に入力される。センサ出力は、電気信号の形で異常検出装置10の入出力部11へ送られる。処理部12は、入出力部11からセンサ出力を取得し、センサ出力の値（センサ出力値）に基づき、ガスタービン6の異常を検出する。処理部12は、例えば、CPUであり、記憶部13上に存在するプログラム（コンピュータプログラム）と呼ぶ命令列を順に読み込み、解釈し、その結果に従ってデータを移動したり加工したりする。

【0019】

なお、処理部12は、専用のハードウェアによって実現されるものであってもよい。また、処理部12の機能を実現するためのコンピュータプログラムをコンピュータが読み取り可能な記録媒体に記録し、この記録媒体に記録されたコンピュータプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより本実施形態に係るプラント状態監視方法の処理手順を実行してもよい。ここでいう「コンピュータシステム」とは、OSや周辺機器などのハードウェアを含むものとする。

【0020】

「コンピュータが読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROMなどの可搬媒体、あるいはコンピュータシステムに内蔵されるハードディスクのような記録装置のことをいう。さらに、「コンピュータが読み取り可能な記録媒体」とは、インターネットや電話回線等の通信回線を介してコンピュータプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間の間、動的にコンピュータプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間コンピュータプログラムを保持しているものを含むものとする。また、上記コンピュータプログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってよく、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コンピュータプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよい。

【0021】

本実施形態において、ガスタービン6の異常を検出する方法（異常検出方法）は、予め用意されたコンピュータプログラムをパーソナルコンピュータやワークステーションなどのコンピュータで実行することによって実現できる。このコンピュータプログラムは、インターネット等の通信回線を介して配布することができる。また、このコンピュータプログラムは、ハードディスク、フレキシブルディスク（FD）、CD-ROM、MO、DVD等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録され、コンピュータによって前記録媒体から読み出されることによって実行されるようにしてもよい。

【0022】

処理部12は、第1の推定部12aと、異常情報演算部12bと、異常検出部12cとを有する。第1の推定部12aは、ガスタービン6の運転条件と、ガスタービン6の運転状態を検出するセンサ7から出力されたセンサ出力値とから、ガスタービン6の運転状態を示す第1の運転指標を、複数のタイミングで求める。異常情報演算部12bは、第1の推定部12aが推定した第1の運転指標の集合に基づき、ガスタービン6の異常を検出するための第1の異常検出情報を求める。異常検出部12cは、異常情報演算部12bが求めた異常検出情報と予め設定された所定の閾値とを比較して、ガスタービン6の異常の有無を検出する。

【0023】

異常検出装置10の入出力部11には、センサ7の他に、入出力手段であるコントロールパネル14が接続される。コントロールパネル14は、表示手段であるディスプレイ14D及び異常検出装置10に対する指令を入力する入力手段14Cが設けられる。異常検出装置10の記憶部13は、例えば、RAM（Random Access Memory）のような揮発性のメモリ、ROM（Read Only Memory）のような不揮発性のメモリ、ハードディスク装置、光磁気ディスク装置、CD-ROM等のような読み出しのみが可能な記憶媒体、あるいはこれらを組み合わせて構成することができる。

【0024】

記憶部13には、本実施形態に係る異常検出方法を実現するためのコンピュータプログラム及びデータ等が格納されている。処理部12は、これらのコンピュータプログラム及びデータ等を用いて、本実施形態に係る異常検出方法を実現する。なお、記憶部13を異常検出装置10の外部に設け、通信回線を介して異常検出装置10が記憶部13へアクセスできるようにしてもよい。次に、異常検出装置10がガスタービン6の異常を検出する手法を説明する。

【0025】

図2は、実施形態1に係る異常検出装置の制御ブロック図である。異常検出装置10は、センサ7では検出が困難又は検出できないガスタービン6の運転状態を推定して求めることに有用である。これを実現するため、異常検出装置10は、図2に示すように、センサ7によるセンサ出力値 x と、ガスタービン6の運転条件 y とを第1の推定部12aの入力値とする。第1の推定部12aは、センサ出力値 x と運転条件 y とから、ガスタービンの運転状態を示す第1の運転指標 a を複数のタイミングで求める。

【0026】

センサ出力値は、ガスタービン6の運転状態を検出する。センサ出力値 x としては、ガスタービン6の発電量、ガスタービン6に供給される燃料の発熱量、流量、温度、ガスタービン6の圧縮機2の出口温度、出口圧力、吸気温度、ガスタービン6のタービン4の排ガス温度、回転速度、大気圧、燃空比、圧縮機2のIGV(Inlet Guide Vane:入口案内羽根)角度、空気バイパス弁開度、コンバインドサイクルである場合にはコンバインドサイクルでの発電量、蒸気タービンへの給水流量等である。運転条件 y は、ガスタービン6に対する操作量、外気温度、外気圧力等である。

【0027】

第1の運転指標 a は、センサ7では検出が困難又は検出できないガスタービン6の運転状態である。第1の運転指標 a は、例えば、ガスタービン6のタービン4の入口温度(タービン入口温度)がある。また、図1に示すガスタービン発電プラント1が一軸コンバインドサイクルプラントである場合、第1の運転指標 a は、一軸コンバインドサイクルプラントの構成要素である蒸気タービン及びガスタービン各々の発電量である。

【0028】

第1の運転指標 a がガスタービン6のタービン入口温度である場合、センサ出力値 x は、ガスタービン6の発電量、ガスタービン6に供給される燃料の発熱量、流量、温度、ガスタービン6の圧縮機2の出口温度、出口圧力、吸気温度、ガスタービン6のタービン4の排ガス温度、回転速度、大気圧、燃空比、圧縮機2のIGV(Inlet Guide Vane:入口案内羽根)角度、空気バイパス弁開度等が用いられる。第1の運転指標 a が、一軸コンバインドサイクルプラントの蒸気タービン及びガスタービン各々の発電量である場合、センサ出力値 x は、コンバインドサイクルでの発電量、ガスタービン6に供給される燃料の発熱量、流量、温度、ガスタービン6の圧縮機2の出口温度、出口圧力、吸気温度、ガスタービン6のタービン4の排ガス温度、回転速度、大気圧、燃空比、圧縮機2のIGV(Inlet Guide Vane:入口案内羽根)角度、空気バイパス弁開度、蒸気タービンへの給水流量等が用いられる。

【0029】

センサ出力値 x 及び運転条件 y を取得した第1の推定部12aは、第1の運転指標(例えば、タービン入口温度) a と、ガスタービン6の運転条件 y 及びガスタービン6のセンサ出力値 x との対応関係から、ガスタービン6の定格運転時における第1の運転指標 a を求める。前記対応関係は、例えば、ガスタービン6の性能曲線を用いたり、ガスタービン6の物理モデルを用いたりすることができる。ガスタービン6の物理モデルは、例えば、ガスタービン6の熱サイクルに基づいて作成することができる。前記性能曲線及び前記物理モデルは、センサ出力値 x 及び運転条件 y が定格運転時の値から外れた場合に、第1の運転指標 a はどれだけ変化するかを知ることができる。

【0030】

図3は、第1の運転指標と、ガスタービンのセンサ出力値との対応関係の一例を示す概念図である。図4は、第1の運転指標と、ガスタービンの運転条件との対応関係の一例を示す概念図である。図5は、第1の運転指標と、ガスタービンの運転条件及びガスタービンのセンサ出力値との対応関係の一例を示す概念図である。例えば、ガスタービン6の物理モデルから、図3の実線に示すような第1の運転指標 a と、センサ出力値 x との対応関係が得られ、図4の実線に示すような第1の運転指標 a と、運転条件 y との対応関係が得られたとする。図5は、第1の運転指標 a と、センサ出力値 x 及び運転条件 y との対応関

係を3次元座標で表している。

【0031】

図3から図5の実線で示すLMは、第1の運転指標aと、センサ出力値x及び運転条件yとの対応関係を示している。LMで示されるように、第1の運転指標aは、センサ出力値x及び運転条件yの関数となる。以下、LMを運転指標推定関数という。運転指標推定関数LMは、異常検出装置10の記憶部13に保存されている。

【0032】

図3、図5の $x(t)$ は、時刻tにおけるセンサ出力値xであり、図4、図5の $y(t)$ は、時刻tにおける運転条件yである。図3、図5の x_c は、ガスタービン6の定格運転時に対応するセンサ出力値xであり、図4、図5の y_c は、ガスタービン6の定格運転時における運転条件yである。図3から図5の $a(t)$ は、時刻tにおける第1の運転指標aである。図3から図5の $a_c(t)$ は、 $x(t)$ 、 $y(t)$ における第1の運転指標 $a(t)$ を、ガスタービン6の定格運転時での値に合わせ込んだ第1の運転指標である。

【0033】

例えば、第1の運転指標aとしてのタービン入口温度Tは、 P^2/G^2 のようになる。Pはタービン入口圧力、Gはタービン入口流量である。上式で、タービン入口圧力Pはガスタービン6により定まり、タービン入口流量Gは、圧縮器吐出空気量と燃料量との和になる。圧縮器吐出空気量は、圧縮器出口温度、圧縮器出口圧力、回転数、IGV角度の関数となり、燃料量は、燃料流量の関数となる。ガスタービン6の発電機端出力あるいは熱効率の値は、吸気温度あるいは大気圧等の運転条件により変化する。これらの値の変化にともない、タービン入口温度Tの値も変化する。本実施形態においては、これらの運転条件が異なる値を、定格運転時の運転条件の値へと写像した値へと変換する。

【0034】

時刻t1におけるセンサ出力値 $x(t)$ と運転条件 $y(t)$ とを取得した第1の推定部12aは、記憶部13から運転指標推定関数LMを読み出す。そして、第1の推定部12aは、センサ出力値 $x(t)$ と運転条件 $y(t)$ とを、運転指標推定関数LMを用いて定格運転時における値に写像して、第1の運転指標aを定格運転時における値 $a_c(t)$ に合わせ込む。第1の推定部12aは、この値を第1の運転指標aとして出力する($a=a_c(t)$)。

【0035】

第1の運転指標aがタービン入口温度Tである場合、タービン入口温度Tは、タービン入口部の熱エネルギーとタービン6の仕事、排ガス熱量、損失等との釣り合い、圧縮比と修正流量との圧縮器2の特性等の複数の式から推定することができる。このように、タービン入口温度Tが複数のパラメータの関数となる場合、タービン入口温度Tを前記複数のパラメータのうち例えば1つ(例えば、吸気温度)以外のパラメータを定格運転時における値とする。このようにすると、タービン入口温度Tは、前記複数のパラメータのうち例えば1つ(この例では吸気温度)との関数で表すことができる。

【0036】

このように、第1の運転指標 $a(=a_c(t))$ を定格運転時における値に変換することで、異なるタイミングで得られた第1の運転指標 $a(=a_c(t))$ を定格運転時という同じ基準の下に評価することができる。また、異常検出装置10は、推定のための物理モデル等により、センサによる検出が困難又は検出できない機器類の運転状態を推定し、異常の有無を判定することが可能となる。また、定格運転時における値に変換しない場合、運転条件の近い値を選択し、それぞれの条件に合った比較対象との比較により異常を判定することになる。しかし、異常検出装置10は、センサ出力値 $x(t)$ と運転条件 $y(t)$ とを定格運転時の値に変換するので、異常の検出にあたってセンサ出力値 $x(t)$ を選択する必要がないという利点がある。また、比較対象の値は1つ(定格運転時における比較対象値)でよいという利点がある。

【0037】

本実施形態において、第1の推定部12aは、第1の運転指標 $a_c(t)$ を複数のタイ

10

20

30

40

50

ミングで求める。例えば、第1の推定部12aは、所定の間隔（例えば、10秒間隔）でセンサ出力値 $x(t)$ 及び運転条件 $y(t)$ を取得して、第1の運転指標 $ac(t)$ を求める。そして、異常情報演算部12bは、所定の時間T内に求められた複数の第1の運転指標 $ac(t)$ の集合A $\{ac(t_1), ac(t_2), \dots, ac(t_n)\}$ に基づき、ガスタービン6の異常を検出するための第1の異常検出情報G1を求める（ t_1, t_2 等は、第1の推定部12aがセンサ出力値 x 及び運転条件 y を取得して第1の運転指標 ac を求める時刻、 n は集合Aに含まれるデータの数）。このため、異常情報演算部12bは、第1の運転指標 $ac(t)$ を異常情報演算部12bに出力する。本実施形態において、第1の推定部12aは、第1の運転指標 $ac(t)$ を一つ求める毎に異常情報演算部12bに出力してもよいし、複数の第1の運転指標 $ac(t)$ の集合Aを異常情報演算部12bに出力してもよい。

10

【0038】

図6は、第1の異常検出情報を求める手法の説明図である。異常情報演算部12bは、第1の運転指標 $ac(t)$ の集合A $\{ac(t_1), ac(t_2), \dots, ac(t_n)\}$ を入力として、統計的手法により第1の異常検出情報G1を求める。本実施形態において、第1の異常検出情報G1は、式(1)によって求める。 m は自然数、 σ は式(2)から求められる集合Aの標準偏差、 μ は集合Aの平均値、 ac はガスタービン6の定格運転時に対応する第1の運転指標 a である。 m の値は、異常を検出する際の目的等に応じて任意に設定することができる。式(2)の n は、上述したように、集合Aに含まれるデータの数である。

20

$$G1 = m \times \sigma - |\mu - ac| \cdots (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\{1 / (n - 1) \times \sum (ac(t_i) - \mu)^2\}}, [i = 1 \sim n] \cdots (2)$$

【0039】

異常情報演算部12bは、第1の異常検出情報G1を求めたら、これを異常検出部12cに出力する。異常検出部12cは、第1の異常検出情報G1と予め設定された所定の閾値（異常検出閾値） Gc とを比較して、ガスタービン6の異常の有無を検出する。そして、異常検出部12cは、異常の有無を示す信号（異常判定信号）Jを出力して記憶部13に保存したり、異常判定信号Jを図1に示すコントロールパネル14に出力したりする。異常判定信号Jを取得したコントロールパネル14は、ガスタービン6に異常が発生したことを、例えば、ディスプレイ14Dに表示する。

30

【0040】

所定の閾値 Gc は、ガスタービン6の過去の運転から得られた情報又はガスタービン6と類似のガスタービンの運転から得られた情報に基づき予め求められ、異常検出装置10の記憶部13に保存される。異常検出部12cは、ガスタービン6の異常の有無を検出する場合、記憶部13から異常検出閾値 Gc を読み出し、第1の異常検出情報G1と比較する。その結果、 $Gc \leq G1$ であればガスタービン6に異常が発生しているとして、異常検出部12cは、異常発生信号J(f)を異常判定信号Jとして出力する。また、 $Gc > G1$ であればガスタービン6に異常は発生していないとして、異常検出部12cは、正常運転信号J(c)を異常判定信号Jとして出力する。

40

【0041】

上述したように、異常検出装置10は、ガスタービン6の運転状態を示す第1の運転指標 $a (= ac(t))$ を、ガスタービン6の物理モデル等から所定のタイミングで推定して求め、得られた第1の運転指標 a の集合を統計処理して得られた統計値（異常検出情報）に基づいて、ガスタービン6の異常の有無を検出する。このように、異常検出装置10は、第1の運転指標 a を、ガスタービン6の物理モデル等から求めるので、センサ7による検出が困難又は検出できない第1の運転指標であっても、異常を検出することができる。本実施形態の構成は、以下の実施形態に対しても適宜適用することができ、本実施形態と同様の構成を有するものは、本実施形態と同様の作用、効果を奏する。

【0042】

（実施形態2）

50

図7は、実施形態2に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。図8は、実施形態2に係る異常検出装置の制御ブロック図である。図9は、ガスタービンの異常の発生頻度を示す概念図である。実施形態2の異常検出装置10Aは、実施形態1の異常検出装置10に加え、異常情報演算部12bが求めた異常検出情報と、異常検出部12cが検出したガスタービン6に異常が発生したことの情報（異常判定信号）とから、所定の期間におけるガスタービン6の異常の発生頻度を求める情報加工部12dを有する点が異なる。次に、異常検出装置10Aについて、より詳細に説明する。

【0043】

図8に示すように、異常情報演算部12bは、第1の推定部12aが求めた第1の運転指標 $a (= a_c(t))$ を取得し、第1の運転指標 $a_c(t)$ の集合Aに基づいて異常検出情報G1を求める。そして、異常情報演算部12bは、求めた異常検出情報G1を、異常検出部12cと情報加工部12dとに出力する。異常検出情報G1を取得した異常検出部12cは、異常判定信号Jを情報加工部12dへ出力する。

【0044】

情報加工部12dは、異常検出情報G1と、異常判定信号Jとから、所定の期間におけるガスタービン6の異常の発生頻度を求める。例えば、情報加工部12dは、異常検出情報G1と、異常判定信号とから、秒、分、時間のような所定の時間幅で、ガスタービン6の異常の発生頻度、すなわち、異常発生信号J(f)の発生頻度、あるいは異常検出閾値Gc以上になった第1の異常検出情報G1（図9のF）の平均値等を計算する。情報加工部12dは、これらの計算値と、記憶部13に保存された、予め求められた閾値とを比較することにより、ガスタービン6に発生した異常の種類（急性であるか、慢性であるか等）を判定する。例えば、異常検出情報G1が異常検出閾値Gcを超えた回数、頻度、超えていくパターン等によってガスタービン6に発生した異常の種類を判定することができる。

【0045】

このように、本実施形態は、ガスタービン6に発生した異常が急性であるか、慢性であるか等の判定が可能となる。本実施形態の構成は、以下の実施形態に対しても適宜適用することができ、本実施形態と同様の構成を有するものは、本実施形態と同様の作用、効果を奏する。

【0046】

（実施形態3）

図10は、実施形態3に係る異常検出装置の構成例を示す模式図である。図11は、実施形態3に係る異常検出装置の制御ブロック図である。実施形態3の異常検出装置10Bは、実施形態1の異常検出装置10に加え、第1の推定部12aが推定した第1の運転指標 $a (= a_c(t))$ を用いて、第1の運転指標aとは異なるガスタービン6の運転状態を示す第2の運転指標qを、複数のタイミングで推定する第2の推定部12eを有する。そして、異常検出装置10Bが有する異常情報演算部12bは、第2の推定部12eが求めた第2の運転指標qの集合と、第2の運転指標qに相当するガスタービン6の運転状態を検出するセンサ7から出力されたセンサ出力値 x_q とに基づき、ガスタービン6の異常を検出するための第2の異常検出情報G2を求める。また、異常検出装置10Bが有する異常検出部12cは、異常情報演算部12bが求めた第2の異常検出情報G2と予め設定された所定の閾値G2cとを比較して、ガスタービン6の異常の有無を検出する。

【0047】

第1の推定部12aは、センサ出力値x及び運転条件yを入力として、実施形態1で説明した手法により、第1の運転指標 $a (= a_c(t))$ を求め、これを第2の推定部12eに出力する。第2の推定部12eは、第1の運転指標 $a (= a_c(t))$ を用いて、第1の運転指標aとは異なるガスタービン6の運転状態を示す第2の運転指標qを求める。第2の推定部12eは、第1の推定部12aと同様の手法により、第2の運転指標qを求める。本実施形態において、第2の推定部12eは、第1の運転指標aのみを入力とし、運転条件yは入力としないので、第2の運転指標qと第1の運転指標aとの対応関係から

、第2の運転指標 q が求められる。なお、本実施形態において、第2の推定部12eは、第1の運転指標 a に加え、運転条件 y 又はセンサ出力値 x 等を入力として、第2の運転指標 q を求めてもよい。第2の推定部12eは、求めた第2の運転指標 q を、異常情報演算部12bへ出力する。

【0048】

異常情報演算部12bは、第2の運転指標 q の集合と、センサ出力値 xq とに基づき、ガスタービン6の異常を検出するための第2の異常検出情報 $G2$ を求める。上述したように、このセンサ出力値 xq は、第2の運転指標 q に相当するガスタービン6の運転状態を検出するセンサ7から出力された値である。センサ出力値 xq は、第1の推定部12aが第1の運転指標 a を求めるときに用いなかったものを用いてもよい。

10

【0049】

異常情報演算部12bは、例えば、複数のタイミングで取得したセンサ出力値 xq の集合を統計処理して得られた当該集合の平均値と、複数のタイミングで求められた第2の運転指標 q の集合を統計処理して得られた当該集合の平均値との差（平均値差分）を求める。そして、異常情報演算部12bは、得られた前記平均値差分を第2の異常検出情報 $G2$ として異常検出部12cに出力する。なお、第2の異常検出情報 $G2$ は、上述した手法以外の手法で求めてもよい。例えば、異常情報演算部12bは、センサ出力値 xq の集合及び第2の運転指標 q の集合を統計処理して得られた標準偏差、最大値、最小値等を用いて第2の異常検出情報 $G2$ を求めてもよい。

【0050】

20

異常検出部12cは、第2の異常検出情報 $G2$ と、予め設定され、記憶部13に保存されている所定の閾値 $G2c$ とを比較して、ガスタービン6の異常の有無を検出する。その結果、 $G2c \leq G2$ であればガスタービン6、より具体的には、第2の異常検出情報 $G2$ に関係する部分に異常が発生しているとして、異常検出部12cは、異常発生信号 $J(f)$ を異常判定信号 J として出力する。また、 $G2c > G2$ であればガスタービン6に異常は発生していないとして、異常検出部12cは、正常運転信号 $J(c)$ を異常判定信号 J として出力する。所定の閾値 $G2c$ は、ガスタービン6の過去の運転から得られた情報又はガスタービン6と類似のガスタービンの運転から得られた情報に基づき予め求められ、異常検出装置10の記憶部13に保存される。

【0051】

30

本実施形態において、例えば、ガスタービン6の燃焼器3のノズル詰りに発生した異常を検出する場合、第2の推定部12eへの入力、ガスタービン6の発電量になる。ガスタービン6の発電量は、第1の推定部12aによって求められ、第1の運転指標 a として第2の推定部12eへ入力される。第2の推定部12eは、BPT（Blade Pass Temperature：ガスタービン6のタービン4の最終段動翼出口ガス温度）を第2の運転指標 q として出力する。

【0052】

異常情報演算部12bは、複数のタイミングで取得したセンサ出力値 xq と、複数のタイミングで求められた第2の運転指標 q とが入力される。このときのセンサ出力値 xq は、BPTを検出するセンサによって検出されたBPTとする。異常情報演算部12bは、センサ出力値 xq の集合を統計処理して得られた当該集合の平均値と、第2の運転指標 q の集合を統計処理して得られた当該集合の平均値との差（平均値差分）を求める。そして、異常情報演算部12bは、得られた前記平均値差分を第2の異常検出情報 $G2$ として異常検出部12cに出力する。異常検出部12cは、異常検出情報 $G2$ と、BPTについて予め求めた所定の閾値 $G2c$ とを比較し、BPTの異常を検出する。

40

【0053】

本実施形態は、第1の運転指標 a を用いたり、第1の運転指標 a を求める際に用いなかったセンサ出力値 xq を用いたりすることにより、より多様な手法によるガスタービン6の異常検出を実現できる。

【符号の説明】

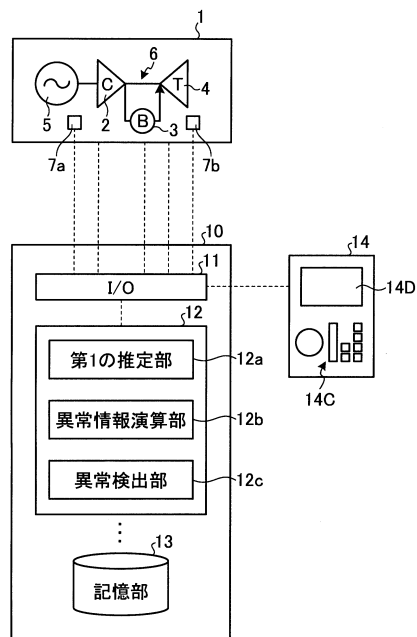
50

【0054】

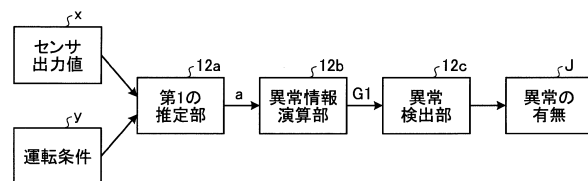
- 1 ガスタービン発電プラント
- 2 圧縮機
- 3 燃焼器
- 4 タービン
- 5 発電機
- 6 ガスタービン
- 7 センサ
- 10、10A、10B 異常検出装置
- 11 入出力部
- 12 処理部
- 12a 第1の推定部
- 12b 異常情報演算部
- 12c 異常検出部
- 12d 情報加工部
- 12e 第2の推定部
- 13 記憶部

10

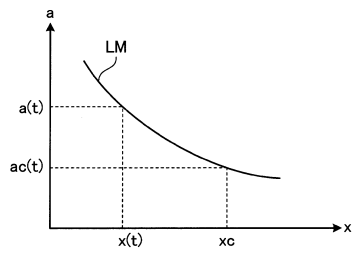
【図1】



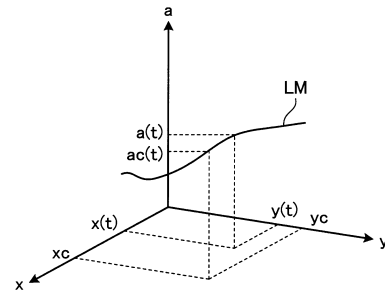
【図2】



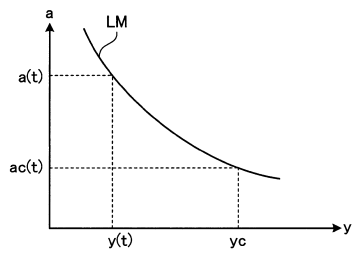
【図 3】



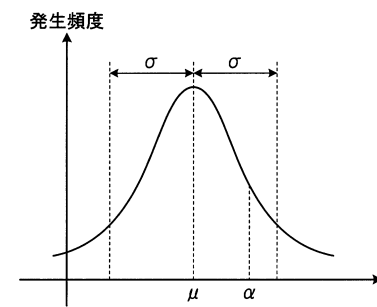
【図 5】



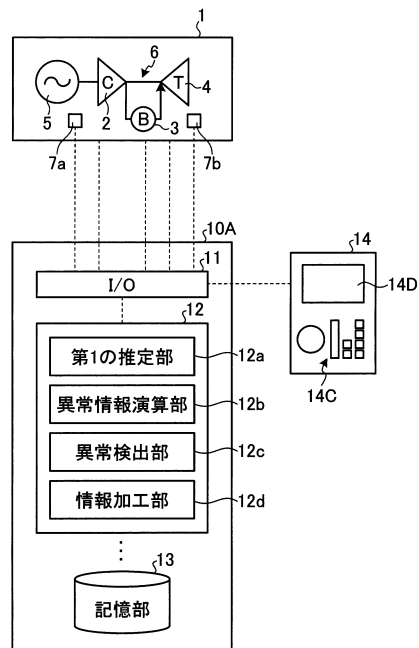
【図 4】



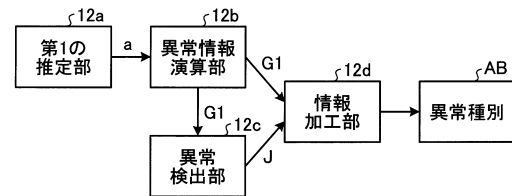
【図 6】



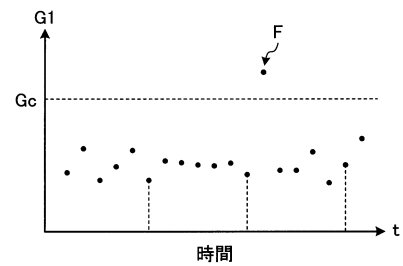
【図 7】



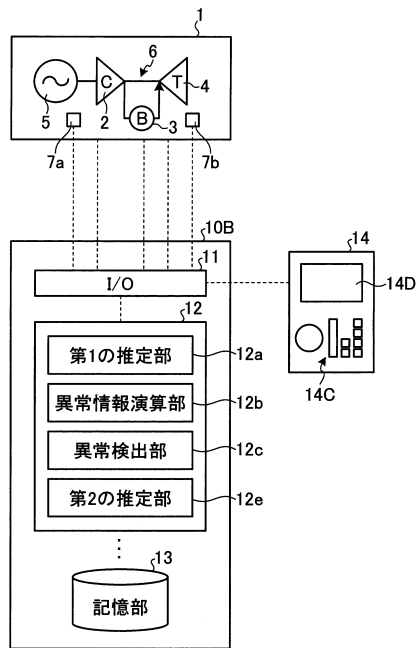
【図 8】



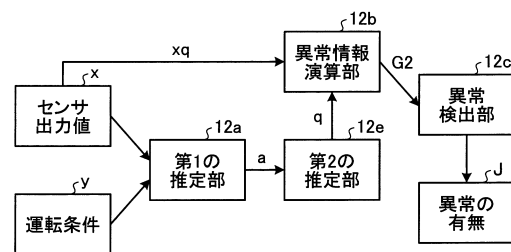
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 野村 真澄
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 井須 寛之
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 中村 慎祐
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 瀬戸 康平

- (56)参考文献 特開２００７－１９２１３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１０６３６４（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４２４９２３８（ＵＳ，Ａ）
特開２００７－１３８９２１（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１０７４４６（ＪＰ，Ａ）

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F 0 2 C 1 / 0 0 - 9 / 5 8