

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6770802号
(P6770802)

(45) 発行日 令和2年10月21日(2020.10.21)

(24) 登録日 令和2年9月30日(2020.9.30)

(51) Int.Cl. F 1
G 0 5 B 23/02 (2006.01) G 0 5 B 23/02 3 0 2 S

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-256477 (P2015-256477)	(73) 特許権者	000000974
(22) 出願日	平成27年12月28日(2015.12.28)		川崎重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2017-120504 (P2017-120504A)		兵庫県神戸市中央区東川崎町3丁目1番1号
(43) 公開日	平成29年7月6日(2017.7.6)	(74) 代理人	100101454
審査請求日	平成30年11月27日(2018.11.27)		弁理士 山田 卓二
		(74) 代理人	100081422
			弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100132241
			弁理士 岡部 博史
		(72) 発明者	榎本 雅幸
			兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラント異常監視方法およびプラント異常監視用のコンピュータプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータシステムで構成される異常監視装置において実行されるプラント異常監視方法であって、前記異常監視装置が、

プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成する、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集する、

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出する、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較する、
および

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新する、ことを含むプラント異常監視方法。

【請求項2】

前記異常監視装置が、前記基準データおよび前記計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較するときにおいて、

前記異常監視装置が、前記基準データおよび前記計測データに対して低周波成分の除去処理を実行した後、当該基準データおよび当該計測データの分散値を一定周期毎に算出し

10

20

、比較する、ことを含む請求項 1 に記載のプラント異常監視方法。

【請求項 3】

前記異常監視装置が、算出されたマハラノビス距離が閾値である基準値を越えたとき、前記基準値を超えたマハラノビス距離を含む一定期間のマハラノビス距離群における一定幅のマハラノビス距離間の差分値を算出する、および

算出された差分値が閾値である設定値を越えたとき、前記基準データの更新処理の必要性が高いことを通知する、ことを含む請求項 1 または 2 に記載のプラント異常監視方法。

【請求項 4】

プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成する手順、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集する手順、

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出する手順、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較する手順、および

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新する手順、

を備えるプラント異常監視用のコンピュータプログラム。

【請求項 5】

前記基準データおよび前記計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較する手順において、

前記基準データおよび前記計測データに対して低周波成分の除去処理を実行した後、当該基準データおよび当該計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較する、請求項 4 に記載のプラント異常監視用のコンピュータプログラム。

【請求項 6】

算出されたマハラノビス距離が閾値である基準値を越えたとき、前記基準値を超えたマハラノビス距離を含む一定期間のマハラノビス距離群における一定幅のマハラノビス距離間の差分値を算出する手順、および

算出された差分値が閾値である設定値を越えたとき、前記基準データの更新処理の必要性が高いことを通知する手順、を含む請求項 4 または 5 に記載のプラント異常監視用のコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラントの運転状態をマハラノビス距離を用いて監視するプラント異常監視方法およびプラント異常監視用のコンピュータプログラムに関し、特にプラント異常監視方法における基準データの更新処理要否の判定処理に関する。

【背景技術】

【0002】

プラントの運転状態は、プラントにおける各種設備／機器において発生する温度、圧力、振動などの多くのファクターの状態量が検出されて、これらの検出された状態量に基づいてプラントが正常に運転されているか否かが判定されている。近年、このように検出された多くの状態量が解析されマハラノビス距離を用いて、プラントの運転状態における異常を監視する方法が提案されている。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、マハラノビス距離を用いて、年間の季節変動などに応じて複数の基準空間（単位空間）を使い分けることにより、冷凍サイクル装置の運転状態を監視する技術が開示されている。また、特許文献 2 には、定格負荷時と運転状態が異なる起動

10

20

30

40

50

時においても、また、機器の経年劣化による許容され得るレベルの性能低下時においても、当該プラントが正常に運転しているか否かを判定するプラント状態監視方法が開示されている。特許文献2に開示されたプラント状態監視方法においては、判定の基準となる一定期間のデータの集合体である単位空間が作成されて、その単位空間からマハラノビス距離を求め、求められたマハラノビス距離と所定の閾値との比較により、プラント状態が正常か否かの判定を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-207644号公報

10

【特許文献2】特開2012-067757号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

マハラノビス距離を用いた従来のプラント異常監視方法では、上記のように、一定期間の正常なデータから判定基準となる正常な分布（単位空間）を構成して、その単位空間からの逸脱度をマハラノビス距離により周期的に算出し、算出されたマハラノビス距離と所定の閾値との比較により、プラントの異常監視を行っていた。

【0006】

しかしながら、マハラノビス距離に基づく従来のプラント異常監視においては、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合であっても、状態変化前の基準データ（単位空間、所定の閾値などを含む）に基づいて判定を行っているときには、プラントの異常検出の感度の低下、即ち正常/異常の誤検出のおそれがあり、継続して精度の高い異常監視を行うことが難しいという課題を有していた。また、特許文献2における従来のプラント状態監視方法においては、基準データを過去の一定期間に基づいて周期的に自動更新しており、周期的に自動更新する監視方法では、異常時のデータに基づいて基準データを更新した場合には、異常検出の感度の低下を招く可能性があった。

20

【0007】

プラントの異常監視の分野においては、プラントにおける監視対象である設備/機器の状態変化を確実に検出することができ、必要な場合には基準データを適切に更新して、常に精度の高い異常監視を行うことができる異常監視方法を提供することが最重要課題である。

30

【0008】

本発明は、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を確実に検出することが可能であり、検出された状態変化に基づいて必要な場合には適切に基準データを更新して、常に精度の高い異常監視を行うことができる異常監視方法およびプラント異常監視用のコンピュータプログラム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】

【0009】

本発明のプラント異常監視方法は、コンピュータシステムで構成される異常監視装置において実行されるプラント異常監視方法であって、前記異常監視装置が、

40

プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成することと、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集することと、

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出することと、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較することと、

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記

50

基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新することと、を含む。

【0010】

本発明のプラント異常監視用のコンピュータプログラムは、プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成する手順と、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集する手順と、

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出する手順と、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較する手順と、

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新する手順と、を備える。

10

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を確実に検出することが可能であり、検出された状態変化に基づいて必要な場合には基準データを適切に更新して、プラントに対する常に精度の高い異常監視を行うことができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明に係る第1の実施の形態におけるガスタービン発電プラントを監視する異常監視装置の構成を模式的に示したブロック図

【図2】異常監視方法における問題点とその解決方法を概念的に示した図

【図3】計測データが上昇している異常傾向時の状態を示すグラフ

【図4】図3に示した計測データに対して低周波成分の除去処理を行った後の計測データの例示を概念的に示す図

【図5】算出されたマハラノビス距離の増大時における具体的な3パターンのマハラノビス距離データを示す図

30

【図6】具体的なマハラノビス距離における差分値を算出する流れを示す図

【図7】第1の実施の形態の異常監視方法における基準データの更新方法のフローチャート

【図8】第1の実施の形態の異常監視方法におけるマハラノビス距離の増大判定方法およびマハラノビス距離の差分値の判定方法を模式的に示した図

【図9】第1の実施の形態の異常監視方法における低周波成分の除去処理による信号処理方法および分散比較方法を模式的に示した図

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本発明に係る実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、図面を参照して本発明に係る実施の形態を詳細に説明する前に、本発明の種々の態様について説明する。

40

【0014】

本発明に係る第1の態様のプラント異常監視方法は、

コンピュータシステムで構成される異常監視装置において実行されるプラント異常監視方法であって、前記異常監視装置が、

プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成する、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集する、

50

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出する、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較する、および

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新する、ことを含んでいる。

このような第1の態様のプラント異常監視方法では、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を確実に検出することが可能であり、基準データを適切に更新して、プラントに対する精度の高い異常監視を常に行うことができる。

【0015】

本発明に係る第2の態様のプラント異常監視方法は、前記の第1の態様の前記異常監視装置が、前記基準データおよび前記計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較するときにおいて、

前記異常監視装置が、前記基準データおよび前記計測データに対して低周波成分の除去処理を実行した後、当該基準データおよび当該計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較する、ことを含む。

このような第2の態様のプラント異常監視方法においては、異常傾向時に分散値が増加したとして誤判定して、基準データの望ましくない更新処理が実行されることを防止することができる。

【0016】

本発明に係る第3の態様のプラント異常監視方法は、前記の第1の態様または第2の態様において、前記異常監視装置が、算出されたマハラノビス距離が閾値である基準値を越えたとき、前記基準値を超えたマハラノビス距離を含む一定期間のマハラノビス距離群における一定幅のマハラノビス距離間の差分値を算出する、および

算出された差分値が閾値である設定値を越えたとき、前記基準データの更新処理の必要性が高いことを通知する、ことをさらに含んでいる。

このような第3の態様のプラント異常監視方法においては、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化の差分値を用いて検出し、検出された状態変化に基づいて、基準データの更新処理の必要性が高いことを通知することができる、プラントに対する常に精度の高い異常監視を行うことができる。

【0017】

本発明に係る第4の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムは、プラントの運転状態を判定するための基準となる単位空間を、前記プラントの基準期間における監視対象からの基準データから形成する手順、

前記プラントの運転状態における監視対象からの計測データを収集する手順、

形成された単位空間に基づいて、前記基準データおよび収集された計測データの集合体のマハラノビス距離を算出する手順、

算出されたマハラノビス距離に関する、前記基準期間における前記基準データおよび最新の一定期間における計測データのそれぞれの分散値を一定周期毎に算出し、比較する手順、および

前記最新の一定期間における計測データの分散値に対する、前記基準期間における前記基準データの分散値の比率が閾値である判定基準値を越えたとき、前記最新の一定期間を新たな基準期間として前記基準データを更新する手順、を備えている。

このような第4の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムを用いることにより、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を確実に検出することが可能であり、基準データを適切に更新して、プラントに対する精度の高い異常監視を常に行うことが可能となる。

10

20

30

40

50

【0018】

本発明に係る第5の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムは、前記の第4の態様における前記基準データおよび前記計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較する手順において、

前記基準データおよび前記計測データに対して低周波成分の除去処理を実行した後、当該基準データおよび当該計測データの分散値を一定周期毎に算出し、比較している。

このような第5の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムを用いることにより、異常傾向時に分散値が増加したとして誤判定して、基準データの望ましくない更新処理が実行されることを防止することが可能となる。

10

【0019】

本発明に係る第6の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムは、前記の第4の態様または第5の態様の算出されたマハラノビス距離が閾値である基準値を越えたとき、前記基準値を超えたマハラノビス距離を含む一定期間のマハラノビス距離群における一定幅のマハラノビス距離間の差分値を算出する手順、および

算出された差分値が閾値である設定値を越えたとき、前記基準データの更新処理の必要性が高いことを通知する手順、を含んでいる。

このような第6の態様のプラント異常監視用のコンピュータプログラムを用いることにより、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を差分値を用いて検出し、検出された状態変化に基づいて、基準データの更新処理の必要性が高いことを通知することができ、プラントに対する常に精度の高い異常監視を行うことが可能となる。

20

【0020】

以下の実施の形態においては、産業用ガスタービンをを用いた発電プラントの異常監視方法などについて説明するが、本発明はガスタービン発電プラントに限定されるものではなく、各種プラント、例えば、その他の発電プラントを含むエネルギープラント、製造プラント、化学プラントなどにおいて適用することができる。なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも本発明の一例を示すものである。以下の実施の形態において示される数値、形状、構成、ステップ、およびステップの順序などは、一例を示すものであり、本発明を限定するものではない。以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

30

【0021】

《第1の実施の形態》

以下、図面を参照して本発明に係る第1の実施の形態におけるプラント異常監視装置およびその異常監視方法について説明する。第1の実施の形態におけるマハラノビス距離に基づくプラント異常監視装置およびその異常監視方法は、産業用ガスタービンをを用いた発電プラントに適用した例である。

【0022】

図1は、ガスタービン発電プラント1を監視する異常監視装置10の構成を模式的に示したブロック図である。図1において、ガスタービン発電プラント1は、通常の発電プラントの各設備を有しており、タービン6、圧縮機7、燃焼室8および発電機9などの主要な機器をガスタービンとして備えている。

40

【0023】

第1の実施の形態の異常監視装置10は、ガスタービン発電プラント1の運転中の動作を継続的に監視している。異常監視装置10に対しては、ガスタービン発電プラント1における監視対象である各設備/機器からの各種計測データが状態量として逐次送信される。例えば、ガスタービンの各設備/機器における各ファクターの位置、温度、圧力および振動などの各種計測データが状態量として、異常監視装置10に入力される。

【0024】

異常監視装置10は、例えば、ガスタービンの各機器からの複数の状態量が制御部2に

50

入力されて、後述する異常監視方法により処理され、ガスタービン発電プラント1における異常状態を検知する構成である。制御部2は、例えばマイクロプロセッサ、ROM、RAM、ハードディスクユニット、ディスプレイユニット、キーボード、マウスなどから構成されるコンピュータシステムである。前記RAM又はハードディスクユニットには、本実施の形態における異常監視方法のコンピュータプログラムが記憶されている。

【0025】

また、異常監視装置10には、各種データを格納する記憶部5と、各種データを表示することが可能な表示部4と、使用者が制御部2などに各種指令を発するための操作部3と、を備えている。操作部3においては、各種指令を入力するための入力手段が設けられており、入力された各種指令は表示部4において表示可能に構成されている。

10

【0026】

(異常監視方法)

上記のように構成された第1の実施の形態における異常監視装置10を用いた異常監視方法について説明する。異常監視装置10においては、ガスタービン発電プラント1の正常運転時の各設備/機器におけるデータ(基準データ)から得られた状態量に基づいてマハラノビスの単位空間が作成される。この単位空間は、ガスタービン発電プラント1の運転状態が正常な運転か否かの判定を行うための基準となるデータの集合体である。ガスタービン発電プラント1における状態量としては、圧縮機7の吸入空気温度、発電機9の出力、ガスタービンの出力軸である主軸の振動などのガスタービンにおける各部の温度、圧力、振動、回転速度などの各種機器に関する多くの状態量が含まれる。

20

【0027】

マハラノビス距離に基づくプラント異常監視方法においては、基準データから正常な空間(単位空間)を形成して、その単位空間に対する最新の計測データの逸脱度の指標としてマハラノビス距離が算出される。算出されたマハラノビス距離が大きいほど、監視対象であるガスタービン発電プラントの設備の異常度が高いと判定される。

【0028】

但し、上記のように基準データから形成された単位空間からのマハラノビス距離を用いて、設備の異常を監視する方法においては、次のような問題を有している。

例えば、プラントのメンテナンスなどで設備の一部を修理したり、または交換し、プラント状態が変化した場合、基準データから作成された単位空間をそのままマハラノビス距離の対象としたとき、監視対象である設備/機器が正常にもかかわらず設備/機器が異常であると検出したり、逆に設備/機器に異常が生じていても異常と認識しないという大きな問題を生じるおそれがある。

30

【0029】

図2は、上記の問題とその解決方法を概念的に示した図である。図2の(a)の上下の2つ図は、状態変化前の基準データに基づいてマハラノビス距離を算出した場合の問題点を概念的に示している。図2の(a)において、上のグラフは計測データ(状態量)の時間的変化を示しており、下のグラフは縦軸および横軸に示す2つの計測データ(状態量)に基づいてマハラノビス距離を算出する単位空間を概念的に示している。

【0030】

図2の(a)の上のグラフで示す計測データ(信号値)は、メンテナンスなどにより振れ幅が小さくなっているが、信号値が徐々に上昇して異常傾向となっていることを示している。図2の(a)に示す従来の異常監視方法においては、計測データの振れ幅が小さくなる前(状態変化前)の一定期間を基準期間として、その基準期間の基準データにより単位空間を形成している。このため、形成されている単位空間は、計測データの振れ幅が小さくなったときの状態に対しては、過剰に拡大した単位空間となっている。その結果、計測データの振れ幅が小さくなった状態変化後において、実際の計測データ(信号値)が異常値であるとしても、マハラノビス距離を算出するための単位空間が大きいため、マハラノビス距離が大きな値とならず異常値と判定されない状態となる。

40

【0031】

50

上記のように、異常検出の感度の低下の要因は、メンテナンスなどにより計測データの分散が変化して、データのばらつきが小さくなった場合、分散変化前の基準データを使用し続けると、分散変化後の正常状態に対して単位空間が過剰に拡大した状態となる。この結果、異常検出の感度が低下するという大きな問題を招くことになる。

【 0 0 3 2 】

図 2 の (b) において、上のグラフは計測データ (状態量) の時間的变化を示しており、状態変化後の一定期間を基準期間として設定して、この状態変化後の基準期間における計測データを基準データとして、新たな空間単位が形成した場合を示している。図 2 の (b) の下のグラフは、縦軸と横軸に示す 2 つの計測データ (状態量) に基づいてクマハラノビス距離を算出する単位空間を示している。図 2 の (b) に示す単位空間 (実線の楕円) は、図 2 の (a) に示す単位空間 (図 2 の (b) における破線の楕円) に比べて小さくなっている。このため、状態変化後の計測データにおける異常検出時データは、確実に単位空間から逸脱した状態となる。

10

【 0 0 3 3 】

本発明に係る第 1 の実施の形態の異常監視装置 1 0 を用いた異常監視方法においては、図 2 の (a) に示した問題点を解決し、図 2 の (b) 示すように、計測データに対して、適切に基準データを更新して、単位空間からの逸脱度の指標であるマハラノビス距離を算出し、設備の異常を確実に検出することが可能である。

【 0 0 3 4 】

本発明に係る第 1 の実施の形態の異常監視装置 1 0 を用いた異常監視方法においては、基準データの分散値と最新の一定期間の計測データにより求めた分散値とを比較し、その比較結果に応じて基準データを更新するように構成されている。

20

【 0 0 3 5 】

また、本発明に係る第 1 の実施の形態の異常監視装置 1 0 を用いた異常監視方法においては、計測データから算出されたマハラノビス距離の増大時に、一定期間のマハラノビス距離群に対して、一定の刻み幅 (一定幅) にて算出する差分値の大小によりマハラノビス距離の増大傾向を判定し、その結果に応じて基準データを更新している。

【 0 0 3 6 】

(計測データに対する低周波成分除去処理)

以下、異常監視方法において、上記のように基準データの更新の判定を行う更新方法について説明する。基準データの更新の判定を行う場合において、所定の判定期間の計測データが上昇しているとき、その判定期間の計測データの分散値が増大しているように誤認される場合がある。

30

【 0 0 3 7 】

図 3 は、計測データが上昇している異常傾向時の状態を模式的に示したグラフである。図 3 の計測データのグラフは、左に示す所定の基準期間 A 内における計測データの分散値に比べて、右に示す所定の判定期間 B 内において上昇している計測データの分散値が大きくなっている場合を示している。前述のように判定期間 B の計測データの分散値が基準データ A の分散値と比較され、その比較結果に応じて基準データを更新するように構成されている場合においては、図 3 に示したように、判定期間 B において分散値が大きく変化したと認識した場合には、例えば判定期間 B における分散値が予め設定された閾値を超えて変化したと認識した場合には、基準期間 A の基準データが、判定期間 B における計測データである評価データを基準データとして更新し、その更新された基準データにより単位空間が形成される。このように更新された基準データにより単位空間が形成された場合には、単位空間が拡大し、マハラノビス距離が異常傾向時にもかかわらず減少してしまうという、好ましくない基準データの更新が行われてしまう。

40

【 0 0 3 8 】

上記のような、好ましくない基準データの更新を防止するために、本実施の形態においては、計測データに対して、事前に低周波成分を除去するハイパスフィルター (H P F) 処理を行っている。図 4 は、図 3 に示した計測データに対して低周波成分の除去 (H P F

50

）処理を行った後の計測データの例示を概念的に示している。図4の（a）に示すような異常傾向データの場合においても、低周波成分の除去処理を行うことにより、判定期間Bにおいて上昇する計測データに起因する分散値の変化がなくなり、上昇する計測データにおける分散値による基準データの不要な更新が防止される。この結果、上昇する計測データに起因して分散値が大きく変化する場合であっても、従前の基準期間Aの基準データに基づいて形成された単位空間により、判定期間Bにおける計測データ（状態量）に関する適切なマハラノビス距離が算出され、精度の高い分散値比較を行うことができる。

【0039】

（マハラノビス距離による判定）

前述のように、プラントにおける設備／機器の状態が変化することによって、計測データ（検出信号：状態量）が大きく変化すると、単位空間に対するマハラノビス距離が増大する。例えば、メンテナンスなどにより設備／機器の一部が交換されて状態が大きく変化した場合には、突発的にマハラノビス距離が大きく変化する。このように、プラントの設備異常によるマハラノビス距離の増大ではない場合には、状態変化後の正常な単位空間を新たに定義する基準データを設定して、マハラノビス距離を正常な単位空間に基づいて算出する必要がある。逆に、プラントの設備異常によるマハラノビス距離の増大である場合には、至急に設備異常を使用者に通知する必要がある。

【0040】

図5は、算出されたマハラノビス距離の増大時における具体的な3パターンのマハラノビス距離データを示している。3パターンのいずれのマハラノビス距離データも予め設定された閾値（図5において破線にて示す基準値F）を超えた状態を示している。

【0041】

図5の（a）に示すパターン1は、算出されたマハラノビス距離データが徐々に上昇し、閾値を超えた状態を示している。図5の（b）に示すパターン2は、算出されたマハラノビス距離データが急激に上昇し、閾値を超えた状態がそのまま維持されている。図5の（c）に示すパターン3は、算出されたマハラノビス距離データが急激に変化し、振れ幅が大きくなり、振れ幅の最大値が閾値を超えた状態を示している。

【0042】

図5に示す3つのパターン1、2、3において、マハラノビス距離が閾値を超えた時点から所定期間遡った時点までの一定期間（抽出期間C）におけるマハラノビス距離の差分値が算出されて、当該プラントが異常傾向か否か、若しくは基準データの更新が必要か否かの判定が行われる。抽出期間Cにおける複数のマハラノビス距離を含むマハラノビス距離群において、一定刻み幅（一定幅）を持つマハラノビス距離（MD値）間の差分値を用いることにより、少なくとも、パターン1のマハラノビス距離データと、パターン2、3のマハラノビス距離データとを識別することが可能となる。

【0043】

なお、抽出期間Cとしては、マハラノビス距離の単位時間当たりの移動平均値が閾値を超えた時点から所定期間遡った時点までの一定期間としてもよい。または、抽出期間Cとして、マハラノビス距離が閾値を超えた時点から一定時間経過した後、その一定時間経過後の時点から所定期間遡った時点までの一定期間としてもよい。

【0044】

図6は、具体的なマハラノビス距離における差分値を算出する流れを示す図である。図6の（a）は、マハラノビス距離（MD値）が予め設定された閾値（基準値F）を超えた時点から一定期間遡った時点までの抽出期間Cにおいて複数のマハラノビス距離を抽出することを示している。なお、抽出期間Cより短い算出期間を予め設定して、その算出期間におけるマハラノビス距離の移動平均値が、予め設定された閾値を超えた時点から一定期間遡った時点までの抽出期間Cにおける複数のマハラノビス距離を抽出してもよい。

【0045】

図6の（b）に示すように、抽出期間Cにおいて抽出されたマハラノビス距離群における一定刻み幅のマハラノビス距離（MD値）間の差分値が算出される。算出された差分値

10

20

30

40

50

が所定の閾値（設定値 E）より大きい場合には、基準データの更新処理の必要性が高いことを異常監視装置 10 の表示部 4 が表示するよう通知する（図 6 の（c））。

【0046】

図 6 のフローに示すように、抽出期間 C における一定刻み幅のマハラノビス距離（MD 値）間の差分値を算出することにより、前述の図 5 の（a）に示すパターン 1 の場合は、マハラノビス距離の差分値が小さく、従前の基準データによる単位空間がそのまま維持される。その結果、パターン 1 の算出されたマハラノビス距離は、閾値（基準値 F）を越えているため当該プラントが異常傾向にあると仮定される。

【0047】

一方、図 5 の（b）、（c）に示すパターン 2、3 の場合には、マハラノビス距離の差分値が大きく、当該プラントのメンテナンスなどに起因することが考えられるため、基準データの更新処理を必要とする可能性が高いことを表示部 4 に表示させる。

【0048】

（基準データに関する更新処理要否の判定方法）

以下、第 1 の実施の形態の異常監視方法における基準データの更新処理要否の判定方法について、より具体的に説明する。

【0049】

図 7 は、第 1 の実施の形態の異常監視方法における基準データの更新処理要否の判定方法のフローチャートである。実施の形態 1 における異常監視装置 10 においては、ガスタービン発電プラント 1 における監視対象である各設備 / 機器からの各種計測データが順次収集され入力されている。異常監視装置 10 においては、順次入力される計測データ（状態量）が収集されて記憶部 5 に格納されると共に、マハラノビス距離（MD 値）が算出される（S101）。

【0050】

ステップ S102 においては、マハラノビス距離が閾値（基準値 F）を越えているか否かが判定される。マハラノビス距離が基準値 F を越えている場合には、マハラノビス距離が基準値 F を越えた時点から一定期間遡った時点までの抽出期間 C におけるマハラノビス距離群の一定刻み幅を有するマハラノビス距離（MD 値）間の差分値 d_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) が算出され、その最大差分値 d_{max} が抽出される。ステップ S103 においては、抽出された最大差分値 d_{max} が閾値である設定値 G を越えるか否かが判定される（最大差分値 $d_{max} >$ 設定値 G）。最大差分値 d_{max} が設定値 G を越えている場合には、基準データの更新処理の必要の可能性が高いため、基準データ更新の要否判定結果を表示部 4 が表示する（S104）。

【0051】

一方、ステップ S103 において、最大差分値 d_{max} が設定値 G を越えていない場合には、基準データを更新する必要がないため、そのままの基準データによる単位空間に基づいたマハラノビス距離による各設備 / 機器に対する異常監視が継続され、算出されたマハラノビス距離に基づいて異常監視が行われる（S101）。

【0052】

ステップ S102 において、マハラノビス距離が基準値 F を越えていない場合には、ステップ S105 に移行する。ステップ S105 においては、基準データおよび最新の計測データに対する低周波成分の除去処理（HPF 処理）が行われる。このように HPF 処理を行うことにより、前述のようにマハラノビス距離における分散値拡大の誤認による不要な基準データ更新処理を除外している。

【0053】

ステップ S106 においては、HPF 処理された対象データに対してマハラノビス距離（MD 値）を改めて算出し、基準期間 A における基準データのマハラノビス距離の分散値 V_1 と、一定周期毎に行われる判定期間 B における最新の計測データのマハラノビス距離の分散値 V_2 と、を算出する。その結果、判定期間 B におけるマハラノビス距離の分散値 V_2 が、基準データのマハラノビス距離の分散値 V_1 に比べて小さく、分散値 V_2 に対す

10

20

30

40

50

る分散値 V_1 の比率 (V_1 / V_2) が予め設定された判定基準値 H より大きい場合、即ち、 $V_1 > V_2$ 、であり、 $V_1 / V_2 > H$ 、である場合には、ステップ $S101$ で算出されたマハラノビス距離における分散の変化が大きいと判定される。

【0054】

上記のように、ステップ $S106$ においてマハラノビス距離における分散の変化が大きいと判定されると、ステップ $S107$ において、基準データの更新処理が行われる。なお、ステップ $S107$ においては、基準データの更新処理を自動的に行ってもよいが、使用者に基準データの更新処理が必要であることを通知する構成としてもよい。基準データの更新処理を行う場合には、判定期間 B を新たな基準期間として基準データを更新してもよい。または、改めてプラントの正常時における基準期間を設定してそのデータを基準データとして更新処理を行ってもよい。以後、上記の基準データの更新処理が行われた異常監視方法においては発電プラントの異常監視が継続され、更新された基準データに基づいて単位空間が形成され、その単位空間によりマハラノビス距離が算出される。

10

【0055】

一方、ステップ $S106$ においてマハラノビス距離における分散の変化が小さくないと判定されると、基準データがそのまま維持されて、従前の単位空間によりマハラノビス距離の算出が継続される ($S101$)。

【0056】

(ステップ $S102$ から $S104$ の処理)

以下、上記の第1の実施の形態の異常監視方法における基準データの更新処理要否の判定方法において、図7に示したフローチャートのステップ $S102$ からステップ $S104$ で行われるマハラノビス距離の増大判定方法、およびマハラノビス距離の差分値の判定方法について具体的に説明する。

20

【0057】

図8は、ステップ $S102$ からステップ $S104$ におけるマハラノビス距離の増大判定方法およびマハラノビス距離の差分値の判定方法を模式的に示した説明図である。図8の(a)は、ステップ $S101$ において算出されたマハラノビス距離が増大しており、閾値である基準値 F を越えていることを示している。即ち、監視対象の設備/機器の異常度が高くなっていることを示している。図8の(a)に示す状況において、マハラノビス距離が基準値 F を越えた時点から一定期間遡った時点までの抽出期間 C におけるマハラノビス距離群が抽出される (図8の(b)参照)。

30

【0058】

抽出されたマハラノビス距離群における複数のマハラノビス距離における一定刻み幅(一定幅)を有するマハラノビス距離間の差分値 d_i ($i = 1, \dots, n$) が算出され、その算出された差分値 d_i から最大差分値 d_{max} が抽出される。抽出された最大差分値 d_{max} に対しては、予め設定された設定値 G を越えているか否かが判定される (図8の(c)参照)。最大差分値 d_{max} が、設定値 G を越えている場合には、マハラノビス距離が基準値 F を越えている場合であっても、プラントの設備に異常があるのではなく、例えばメンテナンスなどにより設備の一部の変更などに起因する場合が考えられる。このため、制御部2は、使用者に対して基準データ更新の必要の可能性が高いことを通知するように、表示部4にその旨を表示させる。基準データ更新の必要の可能性が高いことを通知する手段としては、表示部4に表示する他、音、および/または光により通知する構成としてもよい。

40

【0059】

(ステップ $S105$ からステップ $S107$ の処理)

次に、前述の図7に示したフローチャートにおいて、ステップ $S105$ からステップ $S107$ に示した基準データと最新の計測データとの分散値比較処理について説明する。

【0060】

図9は、低周波成分の除去処理であるハイパスフィルター (HPF) 処理による信号処理方法、および分散比較方法を模式的に示した説明図である。

50

【 0 0 6 1 】

図9の(a)に示すように、前述のように、計測データに対して低周波成分を除去するHPFによる信号処理が行われて、マハラノビス距離における好ましくない分散値拡大による基準データ更新処理を防止している。より具体的には、基準データ、および最新の計測データの計測時から一定期間遡った時点までの判定期間Bにおける計測データに対して、それぞれHPFによる信号処理が行われて、HPFによる信号処理後の基準データおよび判定期間Bにおける最新の計測データが形成される。

【 0 0 6 2 】

次に、図9の(b)示すように、HPFによる信号処理後の基準データおよび判定期間Bにおける最新の計測データに対して、マハラノビス距離が算出されて、それぞれの分散値が算出される。

10

【 0 0 6 3 】

算出された分散値を用いて、検定統計量($V1/V2$ 、 $V1 > V2$)を算出し、予め定めた判定基準値Hとの大小比較が行われる(図9の(c)参照)。

【 0 0 6 4 】

上記のように、算出された検定統計量が予め定めた判定基準値Hより大きい場合には、基準データが判定期間Bの計測データを基準データとした単位空間が自動的に更新される(図9の(d)参照)。上記の基準データと最新の計測データの分散値比較処理は、一定周期毎に実行されて、当該発電プラントが常に精度の高い異常監視を行うことができる。

【 0 0 6 5 】

20

以上のように、第1の実施の形態の異常監視方法およびプラント異常監視用のコンピュータプログラムにおいては、マハラノビス距離を算出するとき、若しくは算出したマハラノビス距離に基づいてプラントの運転状態が正常か否かを判定するとき、の基準となる単位空間が、一定期間(基準期間A)の適正なデータ(基準データ)から形成されるとともに、プラントの運転状態を評価するために最新の計測データを含む一定期間だけ過去に遡った判定期間Bにおける計測データのマハラノビス距離群に基づいて精度の高いプラント異常監視を行うことが可能である。

【 0 0 6 6 】

上記のように、本発明は、第1の実施の形態を用いて説明したように、異常監視方法およびプラント異常監視用のコンピュータプログラムを用いることにより、メンテナンスなどによりプラントの状態が変化した場合においても、その状態変化を確実に検出することが可能であり、検出された状態変化に基づいて必要な場合には基準データを適切に更新して、常に精度の高い異常監視を行うことが可能となる。

30

【 0 0 6 7 】

なお、本発明は前記第1の実施の形態の構成に限定されるものではなく、その他種々の態様で実施することができる。例えば、前記第1の実施の形態においては、基準データの分散値と最新の一定期間の計測データにより算出した分散値とを比較し、その比較結果に応じて基準データを更新する処理(ステップS106からS107)と、マハラノビス距離の増大時に、一定期間のマハラノビス距離群に対して一定の刻み幅にて算出する差分値の大小の比較により、マハラノビス距離の増大傾向を判定して、その結果に応じて基準データを更新する処理(ステップS102からS104)と、を行う異常監視方法であるが、本発明としては、いずれか一方の処理を有する異常監視方法であっても、異常監視の精度を高めることが可能であり、この方法は本発明に含まれるものである。

40

【 0 0 6 8 】

また、第1の実施の形態においては、基準データおよび最新の計測データに対する低周波成分の除去処理(ステップS105:HPF処理)が行った後、分散値の比較処理(ステップS106)を行う構成で説明したが、本発明においては、HPF処理を行うことなく、分散値の比較処理を行う構成でもよい。このように構成した場合には、ステップS107においては、自動的に基準データの更新処理を行うのではなく、使用者に基準データの更新処理の必要性が高いことを通知するように構成してもよい。

50

【 0 0 6 9 】

また、本発明の異常監視装置の一部又は全部は、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、ハードディスクユニット、ディスプレイユニット、キーボード、マウスなどから構成されるコンピュータシステムである。前記RAM又はハードディスクユニットには、コンピュータプログラムが記憶されている。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各制御部、操作部、表示部、および記憶部などは、その機能を達成する。ここでコンピュータプログラムは、所定の機能を達成するために、コンピュータに対する指令を示す命令コードが複数個組み合わせられて構成されたものである。

【 産業上の利用可能性 】

10

【 0 0 7 0 】

本発明の異常監視方法は、各種プラントに適用可能であり、適用したプラントに対して精度の高い異常監視を行うことが可能となり、プラントの信頼性を継続的に高位に維持できる有用な方法である。

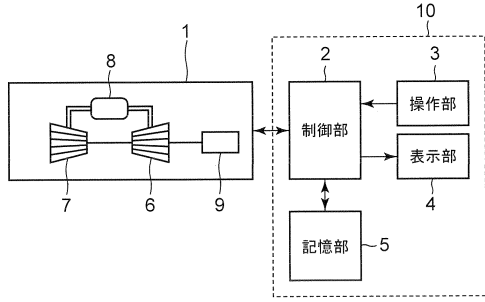
【 符号の説明 】

【 0 0 7 1 】

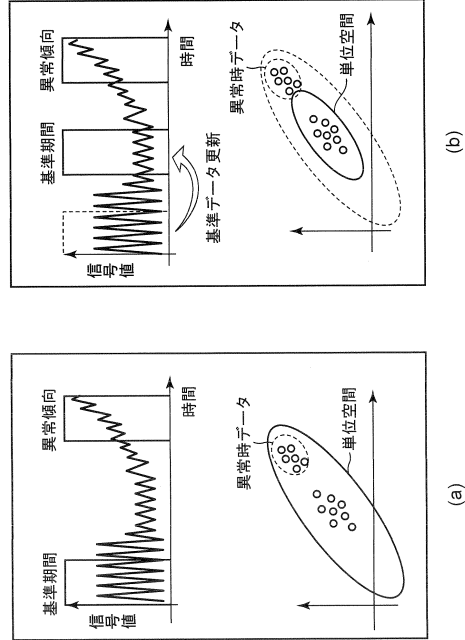
- 1 ガスタービン発電プラント
- 2 制御部
- 3 操作部
- 4 表示部
- 5 記憶部
- 6 タービン
- 7 圧縮機
- 8 燃焼室
- 9 発電機
- 10 異常監視装置

20

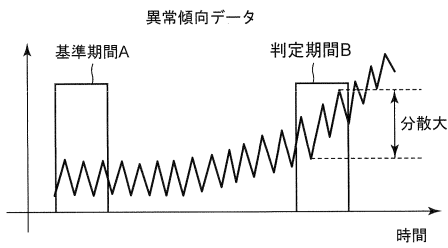
【図1】



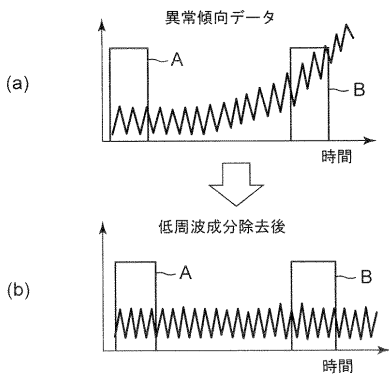
【図2】



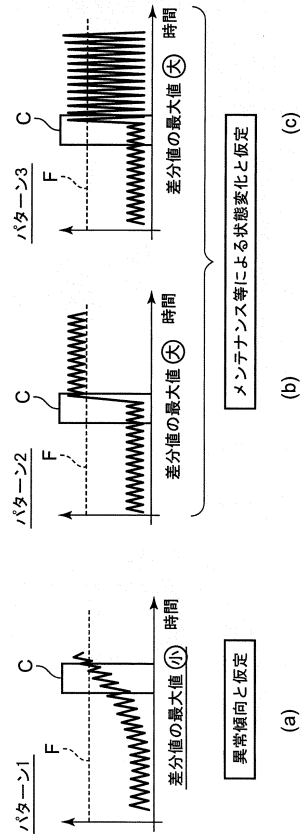
【図3】



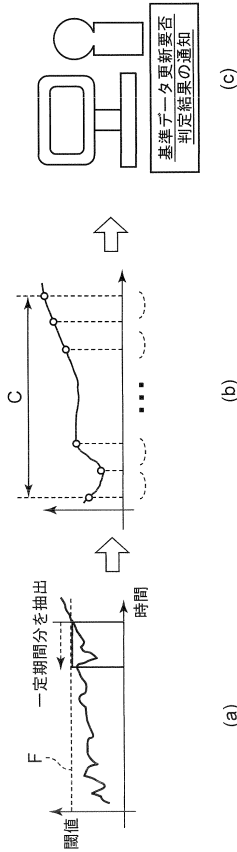
【図4】



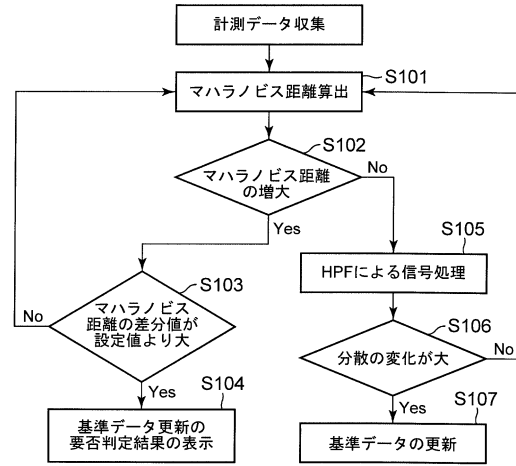
【図5】



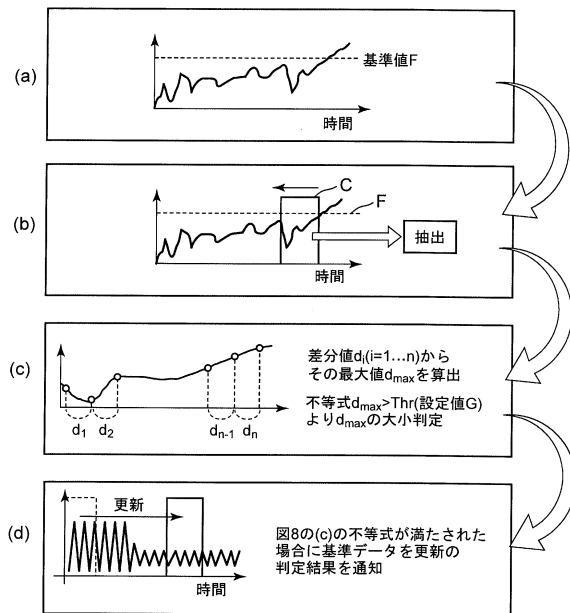
【図6】



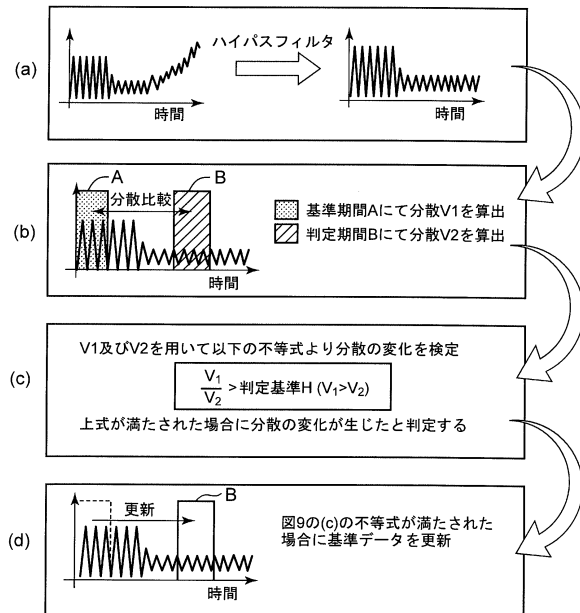
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

- (72)発明者 藤原 一継
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内
- (72)発明者 横尾 篤志
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内
- (72)発明者 小倉 幸弘
兵庫県明石市川崎町1番1号 川崎重工業株式会社 明石工場内

審査官 稲垣 浩司

- (56)参考文献 国際公開第2014/064816(WO, A1)
特開2012-067757(JP, A)
特開2011-090382(JP, A)
特開2010-181188(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 23/02