(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2011-90382
(P2011-90382A)
(43)公開日　平成23年5月6日(2011.5.6)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G05B 23/02	***(2006.01)***	G05B	23/02	302R	5C087
G08B 31/00	***(2006.01)***	G08B	31/00	B	5H223
		G05B	23/02	V	
		G05B	23/02	301U	
		G05B	23/02	302Y	

審査請求 未請求　請求項の数 4　ＯＬ　（全 14 頁）

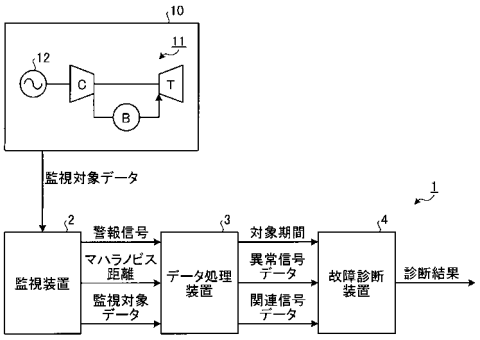
(21)出願番号　特願2009-241348 (P2009-241348)
(22)出願日　平成21年10月20日 (2009.10.20)

(71)出願人　000006208
三菱重工業株式会社
東京都港区港南二丁目１６番５号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(74)代理人　100118762
弁理士　高村　順
(72)発明者　青山　邦明
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　寺崎　正雄
東京都港区港南二丁目１６番５号　三菱重工業株式会社内

Ｆターム(参考)　5C087 AA02 DD08 DD21 GG14
5H223 AA02 BB02 BB05 BB10 DD03 EE30 FF06

(54)【発明の名称】監視システム

(57)【要約】
【課題】監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる監視システムを提供すること。
【解決手段】この監視システム１は、監視対象データのマハラノビス距離を算出すると共にマハラノビス距離に基づいて監視対象１０の異常を検知する監視装置２と、複数の監視対象データから異常の予兆が現れている監視対象データ（異常信号）および異常信号に関連する監視対象データ（関連信号）を抽出すると共にこれらの異常信号および関連信号に基づいて所定の入力信号を生成するデータ処理装置３と、この入力信号に基づいて監視対象１０の故障診断を行う故障診断装置４とを備えている。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる監視システムであって、
監視対象から所定の監視対象データを取得して、前記監視対象データのマハラノビス距離を算出すると共に前記マハラノビス距離に基づいて前記監視対象の異常を検知する監視手段と、複数の前記監視対象データから異常の予兆が現れている監視対象データ（以下、異常信号という。）および前記異常信号に関連する監視対象データ（以下、関連信号という。）を抽出すると共に前記異常信号および前記関連信号に基づいて所定の入力信号を生成するデータ処理手段と、前記入力信号に基づいて前記監視対象の故障診断を行う故障診断手段とを備えることを特徴とする監視システム。
【請求項２】
前記マハラノビス距離の時間微分値が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される請求項１に記載の監視システム。
【請求項３】
前記異常信号の時間微分値が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される請求項１に記載の監視システム。
【請求項４】
前記対象期間内であって前記マハラノビス距離が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される請求項２または３に記載の監視システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この発明は、監視システムに関し、さらに詳しくは、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる監視システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
近年のガスタービン発電プラント、原子力プラント、化学プラントなどの各種プラントでは、マハラノビス距離を用いてプラントの運転状態を監視するシステムが採用されている。かかる監視システムでは、監視対象であるプラントから複数の監視対象データを所定の時間間隔で取得し、これらの監視対象データごとにマハラノビス距離を算出し、このマハラノビス距離が所定の閾値を越えたときに、プラントの運転状態に異常があると判定している。このような監視システムとして、特許文献１に記載される技術が知られている。
【０００３】
一方、プラントの運転状態に異常があるときに、監視対象の故障診断を行う装置（故障診断装置）が知られている。この故障診断装置は、監視対象に関する所定の入力データとベイジアンネットワークとを用いて、監視対象の故障部品を確率的に推定できる。
【０００４】
従来の技術では、上記の監視システムと故障診断装置とが相互に独立しており、専門の技術者がこれらを時間をかけて使いこなして、監視対象の故障診断を行っている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開昭５９－６８６４４号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】

【０００６】
この発明は、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる監視システ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】
【０００７】
上記目的を達成するため、この発明にかかる監視システムは、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる監視システムであって、監視対象から所定の監視対象データを取得して、前記監視対象データのマハラノビス距離を算出すると共に前記マハラノビス距離に基づいて前記監視対象の異常を検知する監視手段と、複数の前記監視対象データから異常の予兆が現れている監視対象データ（以下、異常信号という。）および前記異常信号に関連する監視対象データ（以下、関連信号という。）を抽出すると共に前記異常信号および前記関連信号に基づいて所定の入力信号を生成するデータ処理手段と、前記入力信号に基づいて前記監視対象の故障診断を行う故障診断手段とを備えることを特徴とする。
【０００８】
この監視システムは、監視対象に異常があると判定されたときに、監視対象データから異常信号および関連信号が抽出される。また、これらの異常信号および関連信号に基づいて、故障診断手段への入力信号が生成される。そして、この入力信号に基づいて監視対象の故障診断が行われる。これにより、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる利点がある。
【０００９】
また、この発明にかかる監視システムは、前記マハラノビス距離の時間微分値が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される。
【００１０】
この監視システムでは、マハラノビス距離の時間微分値が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間とし、この対象期間内の監視対象データから異常信号および関連信号が抽出される。かかる構成では、異常の予兆が顕著に現れている期間を対象期間として選択できるので、有用な異常信号および関連信号を抽出できる。これにより、故障診断の精度が向上する利点がある。また、かかる構成では、マハラノビス距離が監視対象の経年劣化や環境変化（例えば、大気温度の変化などのノイズ）により緩やかに変化したときに、かかる環境変化を監視対象の異常と判断する誤った故障診断が防止される利点がある。
【００１１】
また、この発明にかかる監視システムは、前記異常信号の時間微分値が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される。
【００１２】
この監視システムでは、異常信号の時間微分値に基づいて異常信号および関連信号が抽出される。かかる構成では、異常の予兆が顕著に現れている期間を対象期間として選択できるので、有用な異常信号および関連信号を抽出できる。これにより、故障診断の精度が向上する利点がある。また、かかる構成では、マハラノビス距離が監視対象の経年劣化や環境変化により緩やかに変化したときに、かかる環境変化を監視対象の異常と判断する誤った故障診断が防止される利点がある。
【００１３】
また、この発明にかかる監視システムは、前記対象期間内であって前記マハラノビス距離が所定の閾値を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段を備え、且つ、前記対象期間における前記監視対象データから前記異常信号および前記関連信号が抽出される。
【００１４】
この監視システムでは、（１）マハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’とマハラノビス距

離Ｄとの組み合わせ、あるいは、（２）異常信号の時間微分値とマハラノビス距離Ｄとの組み合わせにより、対象期間が選択される。かかる構成では、より好適な対象期間が選択されるので、故障診断の精度がさらに向上する利点がある。

【発明の効果】

【００１５】

この発明にかかる監視システムは、監視対象に異常があると判定されたときに、監視対象データから異常信号および関連信号が抽出される。また、これらの異常信号および関連信号に基づいて、故障診断手段への入力信号が生成される。そして、この入力信号に基づいて監視対象の故障診断が行われる。これにより、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

【図１】図１は、この発明の実施の形態にかかる監視システムを示す構成図である。

【図２】図２は、図１に記載した監視システムの監視装置を示す機能ブロック図である。

【図３】図３は、図１に記載した監視システムのデータ処理装置を示す機能ブロック図である。

【図４】図４は、図１に記載した監視システムの故障診断装置を示す機能ブロック図である。

【図５】図５は、図１に記載した監視システムの作用を示すフローチャートである。

【図６】図６は、図１に記載した監視システムの作用を示す説明図である。

【図７】図７は、マハラノビス距離の算出方法を示す説明図である。

【図８】図８は、図１に記載した監視システムの変形例を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１７】

以下、この発明につき図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、この実施の形態の構成要素には、発明の同一性を維持しつつ置換可能かつ置換自明なものが含まれる。また、この実施の形態に記載された複数の変形例は、当業者自明の範囲内にて任意に組み合わせが可能である。

【００１８】

［監視システム］

この監視システム１は、監視対象の運転状態を監視するシステムであり、より詳しくは、監視対象から所定の監視対象データを取得し、この監視対象データのマハラノビス距離を用いて監視対象の運転状態を監視するシステムである。この監視システム１は、例えば、ガスタービン発電プラント、原子力プラント、化学プラントなどの各種プラントを監視対象１０とする。この実施の形態では、一例として、監視システム１がガスタービン発電プラントを監視対象１０とする場合について説明する（図１参照）。なお、監視システム１は、単一の監視対象１０のみならず、複数の監視対象１０を同時に監視できる（図示省略）。

【００１９】

監視システム１は、監視装置２と、データ処理装置３と、故障診断装置４とを備える（図１参照）。これらの装置２～４は、例えば、ＰＣ（Personal Computer）により構成される。例えば、この実施の形態では、監視装置２、データ処理装置３および故障診断装置４が相互に独立しており、これらが情報通信可能に接続されて監視システム１が構成されている（図１参照）。また、監視装置２、データ処理装置３および故障診断装置４は、それぞれ独立して設置が可能で、ガスタービン発電プラント、または、遠方の監視センターのいずれかに設置されている。

【００２０】

なお、これに限らず、監視システム１は、各装置２～４の機能を実現するためのプログラムを有する単一の装置により構成されても良い（図示省略）。また、複数の監視対象１０がある場合には、これらの監視対象１０に対して監視装置２がそれぞれ設置され、これ

らの監視装置２がデータ処理装置３および故障診断装置４に対してそれぞれ接続されても良い（図示省略）。

【００２１】

監視装置２は、監視対象１０から所定の監視対象データを取得してマハラノビス距離Ｄを算出し、このマハラノビス距離Ｄに基づいて監視対象１０の運転状態の異常を検知する装置である。なお、監視対象データならびにマハラノビス距離Ｄの算出については後述する。この監視装置２は、マハラノビス距離算出部２１と、異常判定部２２と、警報信号発生部２３と、記憶部２４とを有する。マハラノビス距離算出部２１は、取得された監視対象データのマハラノビス距離Ｄを算出する。異常判定部２２は、マハラノビス距離Ｄに基づいて監視対象１０の運転状態に異常があるか否かを判定する。警報信号発生部２３は、監視対象１０の運転状態に異常があるときに所定の警報信号を発生する。記憶部２４は、監視対象１０から取得された複数の監視対象データ、マハラノビス距離Ｄの算出処理に必要なデータ（例えば、後述するマハラノビス単位空間に関する基準データ群）、監視対象１０の運転状態の異常判定に必要なデータ（例えば、運転状態に異常があるか否かを判定するためのマハラノビス距離Ｄの閾値ｋ）などを記憶する記録媒体である。

【００２２】

データ処理装置３は、監視対象１０の運転状態に異常があるときに、複数の監視対象データから異常の予兆が現れている監視対象データ（異常信号）および異常信号に関連する監視対象データ（関連信号）を抽出し、これらの異常信号および関連信号とマハラノビス距離Ｄとに基づいて故障診断装置への入力信号（異常信号データおよび関連信号データ）を生成する装置である。このデータ処理装置３は、対象信号抽出部３１と、対象期間選択部３２と、異常信号データ算出部３３と、関連信号データ算出部３４とを有する。対象信号抽出部３１は、取得された複数の監視対象データから異常信号および関連信号を抽出する。対象期間選択部３２は、異常信号データの算出および関連信号データの算出にあたり用いられる期間（対象期間）を、監視対象データのすべてのサンプリング期間から選択する。異常信号データ算出部３３は、異常信号とマハラノビス距離Ｄとに基づいて故障診断装置４への入力信号（異常信号データ）を生成する。関連信号データ算出部３４は、関連信号とマハラノビス距離Ｄとに基づいて故障診断装置への入力信号（関連信号データ）を生成する。

【００２３】

故障診断装置４は、異常信号データおよび関連信号データに基づいて監視対象１０の故障診断を行う装置である。この故障診断装置４は、故障診断部４１と、ベイジアンネットワーク４２と、データベース４３と、診断結果生成部４４と、表示部４５とを有する。故障診断部４１は、対象期間、異常信号データおよび関連信号データに基づきベイジアンネットワーク４２を用いて監視対象１０の故障診断を行う。ベイジアンネットワーク４２は、異常信号および関連信号と監視対象１０の故障部品との因果関係を確率的に記述するグラフィカルモデルである。データベース４３は、故障診断に必要なデータを蓄積する記録媒体である。診断結果生成部４４は、故障診断部４１にて行われた故障診断の結果を生成する。表示部４５は、例えば、ＰＣのモニタであり、診断結果生成部４４にて生成された故障診断の結果を表示する。

【００２４】

監視対象１０は、ガスタービン発電プラントであり、ガスタービン１１と発電機１２とを有する。ガスタービン１１は、圧縮機Ｃ、燃焼器ＢおよびタービンＴから構成される。このガスタービン発電プラントでは、まず、圧縮機Ｃが、空気取込口から取り込まれた空気を圧縮して圧縮空気を生成する。次に、燃焼器Ｂが、この圧縮空気に燃料を噴射して高温・高圧の燃焼ガスを発生させる。次に、タービンＴがこの燃焼ガスの熱エネルギーをロータの回転エネルギーに変換して駆動力を発生させる。そして、この駆動力がロータに連結された発電機１２に伝達され、発電機１２が稼動して発電する。

【００２５】

［監視対象データ］

監視対象データは、監視対象１０の運転状態に関する測定データであり、複数の状態量により構成される。これらの監視対象データは、例えば、プラントの機器を制御するための制御信号（例えば、燃料制御弁の開度）、各種センサの出力値（例えば、発電機出力センサ、タービン回転数センサ、燃料温度センサ、燃料流量センサ、空気圧縮機の入口温度センサおよび出口温度センサ、ブレードパス温度センサ、排ガス温度センサ、窒素酸化物濃度センサ、燃料圧力変動センサ、軸受振動センサ、軸受メタル温度センサ、ロータ冷却空気温度センサ、ディスクキャビティ温度センサなどの出力値）などにより構成される。

【００２６】

［マハラノビス距離］

マハラノビス距離Ｄは、所定の基準データ群（マハラノビス単位空間）に対する監視対象データの概念的な距離である（図７参照）。例えば、図７は、横軸を発電機１２の出力とし、縦軸をガスタービン１１のブレードパス温度とした相関図を示している。同図では、複数の基準データ（測定データ）が監視対象１０の正常運転時に予め取得され、これらの基準データにより、マハラノビス距離Ｄ＝１となる基準データ群が構成されている。同図に示すように、発電機１２の出力が上昇すると、これに伴ってブレードパス温度が上昇することが分かる。また、各基準データは、大気条件や運転状態などの相異によりばらつきがあるものの、発電機１２の出力とブレードパス温度との相関関係により特定の範囲内に収まることが分かる。

【００２７】

ここで、監視対象１０の運転状態に異常が発生すると、その時刻の監視対象データが基準データ群から外れた位置に現れ、マハラノビス距離Ｄが大きくなる。したがって、監視対象データと基準データ群とのマハラノビス距離Ｄを算出し、このマハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとを比較することにより、監視対象１０の運転状態が異常であるか否かを判定できる。

【００２８】

例えば、この実施の形態では、監視対象１０がガスタービン発電プラントであり、その正常運転時における所定期間の監視対象データが基準データとして予め取得されている。そして、この基準データ群により、マハラノビス単位空間が算出されている。そして、このマハラノビス単位空間におけるマハラノビス距離ＤをＤ＝１として、現在の監視対象データのマハラノビス距離Ｄが算出される。そして、このマハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとが比較されて、監視対象１０の運転状態の異常判定が行われる。

【００２９】

なお、マハラノビス距離Ｄは、一般に以下のように算出される。まず、監視対象１０の状態を示す複数の状態量（監視対象データ）の合計数をｕとし、各状態量をそれぞれ変数Ｘに割り付けて、変数Ｘ１～Ｘｕでこの状態量を定義する（ｕは２以上の整数）。次に、基準となる監視対象１０の運転状態において、変数Ｘ１～Ｘｕの状態量を合計ｖ個ずつそれぞれ取得する（ｖは２以上の整数）。

【００３０】

次に、変数Ｘ１～Ｘｕの平均値Ｍｉおよび標準偏差σｉ（基準データのばらつき度合い）を以下の数式（１）および数式（２）によりそれぞれ算出する。なお、数式（１）および数式（２）において、ｉは、項目数（状態量の数。整数。）であり、ｉ＝１～ｕに設定されて変数Ｘ１～Ｘｕに対応する値を示す。ｊは、ｊ＝１～ｖのいずれかの値（整数）であり、それぞれの状態量の個数がｖ個であることを意味する。例えば、それぞれの状態量を６０個ずつ取得した場合には、ｖ＝６０となる。また、標準偏差とは、状態量とその平均値との差を２乗したものの期待値の正平方根とする。

【００３１】

【数１】

$$M_i = \frac{1}{v}\sum_{j=1}^{v} X_{ij} \qquad \cdots(1)$$

【００３２】
【数２】

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{v-1}\sum_{j=1}^{v}\left(X_{ij} - M_i\right)^2} \qquad \cdots(2)$$

【００３３】
次に、算出された平均値Ｍｉおよび標準偏差σｉを用いて、元の変数Ｘ１～Ｘｕを以下の数式（３）によりｘ１～ｘｕに変換する（状態量の基準化）。すなわち、監視対象１０の状態量を平均０かつ標準偏差１の確率変数に変換する。なお、数式（３）において、ｊは、ｊ＝１～ｖのいずれかの値（整数）であり、それぞれの状態量の個数がｖ個であることを意味する。
【００３４】
【数３】

$$X_{ij} = \left(X_{ij} - M_i\right) / \sigma_i \qquad \cdots(3)$$

【００３５】
次に、変量を平均０かつ標準偏差１に標準化したデータでの分析を行うため、変数Ｘ１～Ｘｕの相関関係、すなわち、変量の間の相関性を示す共分散行列（相関行列）Ｒおよび共分散行列Ｒの逆行列R^{-1}を以下の数式（４）により算出する。なお、数式（４）において、ｋは、項目数（状態量の数）であり、ここではｋ＝ｕである。また、ｉおよびｐは、各状態量での値であり、ここではｉ＝１～ｕかつｐ＝１～ｕである。
【００３６】
【数４】

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

$$R^{-1} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}^{-1} \qquad \cdots(4)$$

$$r_{ip} = r_{pi} = \frac{1}{v}\sum_{j=1}^{v} X_{ij} X_{pj}$$

【００３７】
次に、マハラノビス距離Ｄを以下の数式（５）を用いて算出する。なお、数式（５）において、ｊは、ｊ＝１～ｖのいずれかの値（整数）であり、それぞれの状態量の個数がｖ個であることを意味する。また、ｋは、項目数（状態量の数）であり、ここではｋ＝ｕである。また、ａ１１～ａｋｋは、数式（４）における共分散行列Ｒの逆行列R^{-1}の係数である。
【００３８】

【数５】

$$D_j^2 = \frac{1}{k}\left(X_{ij}, X_{2j}, \cdots, X_{kj}\right) \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{1j} \\ X_{2j} \\ \vdots \\ X_{kj} \end{pmatrix} \quad \cdots (5)$$

$$= \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\sum_{p=1}^{k} a_{ip} X_{ij} X_{pj} = \frac{1}{k}\left(X_{1j}, X_{2j}, \cdots, X_{kj}\right) \cdot R^{-1} \cdot \begin{pmatrix} X_{1j} \\ X_{2j} \\ \vdots \\ X_{kj} \end{pmatrix}$$

【００３９】

マハラノビス単位空間では、マハラノビス距離Ｄの平均値がＤ　１となる。また、基準となる監視対象１０の運転状態（正常な運転状態）では、マハラノビス距離Ｄが、概ねＤ≦３の範囲に収まる。しかしながら、監視対象１０に異常が発生すると、マハラノビス距離Ｄが大きくなる。したがって、マハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとを比較することにより、監視対象１０の運転状態が異常であるか否かを判定できる。なお、閾値ｋは、例えば、ｋ＞３であり、監視対象データの種類に応じて適宜設定され得る。

【００４０】

［監視対象の故障診断］

この監視システム１では、監視対象１０の故障診断が以下のように行われる（図５および図６参照）。

【００４１】

ステップＳＴ１では、監視対象１０の運転時にて、監視対象１０から複数の監視対象データが取得される。例えば、この実施の形態では、監視装置２がこれらの監視対象データを所定の測定間隔にてリアルタイムで取得し、測定時刻に関する情報と共に記憶部２４に記憶している。なお、監視対象データの測定間隔は、任意に設定できる。このステップＳＴ１の後に、ステップＳＴ２に進む。

【００４２】

ステップＳＴ２では、ステップＳＴ１にて取得された複数の監視対象データについて、マハラノビス距離Ｄがそれぞれ算出される。例えば、この実施の形態では、監視装置２のマハラノビス距離算出部２１が、各時刻にて取得された監視対象データとマハラノビス距離Ｄの算出処理に必要な情報とを記憶部２４から読み込み、これらの監視対象データについてマハラノビス距離Ｄをそれぞれ算出している。このステップＳＴ２の後に、ステップＳＴ３に進む。

【００４３】

ステップＳＴ３では、ステップＳＴ２にて算出されたマハラノビス距離Ｄに基づいて、監視対象１０の運転状態に異常があるか否かが判定される。例えば、この実施の形態では、監視装置２の異常判定部２２が、ステップＳＴ２にて算出されたマハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとを比較し、Ｄ＞ｋであるときに、監視対象１０の運転状態に異常ありと判定（肯定判定）している。このステップＳＴ３にて、肯定判定が行われた場合には、ステップＳＴ４に進み、否定判定が行われた場合には、処理が終了される。

【００４４】

なお、監視対象１０の運転状態に異常がある場合（ステップＳＴ３の肯定判定）には、監視装置２の警報信号発生部２３が所定の警報信号を発生する。そして、監視装置２が、この警報信号と、ステップＳＴ１にて取得された複数の監視対象データと、ステップＳＴ２にて算出されたマハラノビス距離Ｄとをデータ処理装置３に送信する。そして、これらの情報に基づいて、データ処理装置３がステップＳＴ４～ステップＳＴ７の処理を行う。

【００４５】
ステップＳＴ４では、ステップＳＴ１にて取得された複数の監視対象データから、異常信号および関連信号が抽出される（対象信号抽出ステップＳＴ４）。異常信号とは、複数の監視対象データのうち、異常の予兆が現れている監視対象データをいう。関連信号とは、異常信号に関連する他の監視対象データをいう。例えば、この実施の形態では、データ処理装置３の対象信号抽出部３１が、ステップＳＴ１にて取得された複数の監視対象データのうち、マハラノビス距離Ｄの望大特性に寄与率の高い監視対象データを、異常信号として抽出している。また、対象信号抽出部３１が、この異常信号に関連する他の監視対象データを関連信号として抽出している。なお、ある監視対象データと他の監視対象データとの相互関係（異常信号と関連信号との関係）は、予め規定されている。このステップＳＴ４の後に、ステップＳＴ５に進む。

【００４６】
ステップＳＴ５では、対象期間の選択が行われる（対象期間選択ステップＳＴ５）。対象期間とは、後述する異常信号データの算出ステップＳＴ６および関連信号データの算出ステップＳＴ７にあたり用いられる期間であり、監視対象データの全サンプリング期間から選択される。例えば、この実施の形態では、データ処理装置３の対象期間選択部３２が、ステップＳＴ４にて抽出された異常信号についてマハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’を算出すると共にこの時間微分値Ｄ’が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間を、対象期間として選択している（図６参照）。なお、閾値ｋ’は、監視対象データの種類に応じて適宜設定され得る。このステップＳＴ５の後に、ステップＳＴ６に進む。

【００４７】
ステップＳＴ６では、ステップＳＴ４にて抽出された異常信号について、異常信号データの算出が行われる（異常信号データ算出ステップＳＴ６）。異常信号データとは、異常信号（異常の予兆が現れている監視対象データ）に基づいて算出されるデータであり、故障診断装置４への入力信号として用いられる。例えば、この実施の形態では、データ処理装置３の異常信号データ算出部３３が、ステップＳＴ５の対象期間における異常信号の絶対値、積分値、微分値、平均値、最大値、最小値および標準偏差を、異常信号データとして算出している。このステップＳＴ６の後に、ステップＳＴ７に進む。

【００４８】
ステップＳＴ７では、ステップＳＴ４にて抽出された関連信号について、関連信号データの算出が行われる（関連信号データ算出ステップＳＴ７）。関連信号データとは、関連信号（異常信号に関連する他の監視対象データ）に基づいて算出されるデータであり、故障診断装置４への入力信号として用いられる。例えば、この実施の形態では、データ処理装置３の関連信号データ算出部３４が、ステップＳＴ５の対象期間における関連信号の絶対値、積分値、微分値、平均値、最大値、最小値および標準偏差を、関連信号データとして算出している。このステップＳＴ７の後に、ステップＳＴ８に進む。

【００４９】
なお、異常信号データおよび関連信号データのうちデータ特性が明確な一部の数値については、その算出および故障診断装置４への入力が省略されても良い。

【００５０】
ステップＳＴ８では、ステップＳＴ５にて選択された対象期間、ステップＳＴ６にて算出された異常信号データおよびステップＳＴ７にて算出された関連信号データに基づいて、監視対象１０の故障診断が行われる。例えば、この実施の形態では、故障診断部４１が、対象期間、異常信号および関連信号に基づきベイジアンネットワーク４２を用いて監視対象１０の故障診断を行っている。この故障診断では、ベイジアンネットワーク４２およびデータベース４３の情報が用いられて、監視対象１０の故障部品が確率的に推定される。このステップＳＴ８の後に、ステップＳＴ９に進む。

【００５１】
ステップＳＴ９では、ステップＳＴ８にて行われた故障診断の結果が出力される。例えば、この実施の形態では、診断結果生成部４４が、ステップＳＴ８にて行われた故障診断

の結果を生成し、表示部４５が、この故障診断の結果を表示している。このステップＳＴ９の後に、処理が終了される。

【００５２】

［監視対象の故障診断の具体例］

次に、監視対象１０の故障診断の具体例について説明する。ここでは、一例として、監視対象１０がガスタービン発電プラント（図１参照）である場合について説明する。

【００５３】

この監視システム１では、監視対象１０であるガスタービン発電プラントの運転時にて、監視装置２が複数の監視対象データを取得している（ステップＳＴ１）（図５参照）。これらの監視対象データは、ガスタービン発電プラントのキャビティ温度、ブレードパス温度、ロータ軸の変位量および各種バルブの開度である。具体的には、監視対象データが、ロータおよびステータ間に配置された複数のキャビティ温度センサ、燃焼ガス出口の周方向に配置された複数のブレードパス温度センサ、ロータの周方向に沿って配置された複数のロータ軸変位量センサ、各種バルブに設置された開度センサなどの出力値として取得されている。また、監視装置２がマハラノビス距離Ｄを算出し（ステップＳＴ２）、このマハラノビス距離Ｄに基づいて監視対象１０の運転状態に異常があるか否かを判定している（ステップＳＴ３）。正常な運転状態では、すべての監視対象データのマハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとがＤ≦ｋの関係にある（ステップＳＴ３の否定判定）。

【００５４】

ここで、これらの監視対象データのうち、ブレードパス温度に異常が発生したとする（図６参照）。例えば、ブレードパス温度が正常運転時の温度Ｔ０から温度Ｔ１に短時間で急上昇したとする。すると、ブレードパス温度のマハラノビス距離Ｄが増加する。そして、マハラノビス距離Ｄと所定の閾値ｋとがＤ＞ｋの関係となると、監視装置２が監視対象１０の運転状態に異常があると判定して（ステップＳＴ３の肯定判定）、警報信号を発生する。

【００５５】

すると、データ処理装置３が、ブレードパス温度を異常信号（異常の予兆が現れている監視対象データ）として抽出し、また、他のキャビティ温度、ロータ軸の変位量および各種バルブの開度を関連信号として抽出する（対象信号抽出ステップＳＴ４）。また、データ処理装置３が、異常信号（ブレードパス温度）のマハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’を算出し、この時間微分値Ｄ’が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間ｔａ～ｔｂを対象期間として選択する（対象期間選択ステップＳＴ５）。

【００５６】

また、データ処理装置３が、対象期間ｔａ～ｔｂにおける異常信号の異常信号データ（ブレードパス温度の絶対値、積分値、微分値、平均値、最大値、最小値および標準偏差）を算出し（異常信号データ算出ステップＳＴ６）、また、対象期間ｔａ～ｔｂにおける関連信号の関連信号データ（他の監視対象データの絶対値、積分値、微分値、平均値、最大値、最小値および標準偏差）を算出する（関連信号データ算出ステップＳＴ７）。

【００５７】

次に、故障診断装置４が、対象期間ｔａ～ｔｂ、異常信号データおよび関連信号データに基づいて監視対象１０の故障診断を行う（ステップＳＴ８）。この故障診断では、ベイジアンネットワーク４２およびデータベース４３の情報が用いられて、監視対象１０の故障部品が確率的に推定される。そして、故障診断装置４が、この診断結果を表示部４５に表示する（ステップＳＴ９）。これにより、監視員がガスタービン発電プラントにおける異常の発生の予兆および故障部品の推定結果を取得できる。なお、故障診断装置４は、一般に学習機能を有し、診断結果の蓄積により、その故障診断の精度を向上させ得る。

【００５８】

［効果］

以上説明したように、この監視システム１は、監視対象データのマハラノビス距離Ｄを算出すると共にこのマハラノビス距離Ｄに基づいて監視対象１０の異常を検知する監視手

段（監視装置２）と、監視対象データから異常信号および関連信号を抽出すると共にこれらの異常信号および関連信号に基づいて所定の入力信号（異常信号データおよび関連信号データ）を生成するデータ処理手段（データ処理装置３）と、この入力信号に基づいて監視対象１０の故障診断を行う故障診断手段（故障診断装置４）とを備える（図１参照）。かかる構成では、監視対象１０に異常があると判定されたときに（ステップＳＴ３の肯定判定）、監視対象データから異常信号および関連信号が抽出される（対象信号抽出ステップＳＴ４）。また、これらの異常信号および関連信号に基づいて、故障診断手段への入力信号（異常信号データおよび関連信号データ）が生成される（異常信号データ算出ステップＳＴ６および関連信号データ算出ステップＳＴ７）。そして、この入力信号に基づいて監視対象１０の故障診断が行われる（ステップＳＴ８）（図５参照）。これにより、監視対象１０における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる利点がある。

【００５９】

また、かかる構成では、監視対象データから異常信号および関連信号を抽出する処理（対象信号抽出ステップＳＴ４）が自動化されるので、異常信号および関連信号の抽出精度が向上する。これにより、故障診断の精度が向上する利点がある。例えば、監視員が多数の監視対象データのトレンドチャートを目視しながら異常信号および関連信号を抽出して故障診断装置への入力信号を算出する構成では、監視員に高い熟練度が必要となるため、故障診断の精度向上が困難である。

【００６０】

また、この監視システム１では、マハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間（対象期間）を選択する手段（データ処理装置３）を備え、且つ、対象期間における異常信号および関連信号が抽出される（対象信号抽出ステップＳＴ４および対象期間選択ステップＳＴ５）（図５および図６参照）。すなわち、マハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間を対象期間とし、この対象期間内の監視対象データから異常信号および関連信号が抽出される。かかる構成では、異常の予兆が顕著に現れている期間を対象期間として選択できるので、有用な異常信号および関連信号を抽出できる。これにより、故障診断の精度が向上する利点がある。また、かかる構成では、マハラノビス距離Ｄが監視対象１０の経年劣化や環境変化（例えば、大気温度の変化などのノイズ）により緩やかに変化したときに、かかる環境変化を監視対象１０の異常と判断する誤った故障診断が防止される利点がある。

【００６１】

［変形例］

なお、これに限らず、この監視システム１では、異常信号の時間微分値が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間を対象期間として選択する手段（データ処理装置３）を備え、且つ、この対象期間における監視対象データから異常信号および関連信号が抽出されても良い（対象信号抽出ステップＳＴ４および対象期間選択ステップＳＴ５）（図５および図８参照）。すなわち、異常信号の時間微分値に基づいて異常信号および関連信号が抽出されても良い。かかる構成としても、異常の予兆が顕著に現れている期間を対象期間として選択できるので、有用な異常信号および関連信号を抽出できる。これにより、故障診断の精度が向上する利点がある。また、かかる構成では、マハラノビス距離Ｄが監視対象１０の経年劣化や環境変化により緩やかに変化したときに、かかる環境変化を監視対象１０の異常と判断する誤った故障診断が防止される利点がある。

【００６２】

例えば、図８に示す変形例では、複数の監視対象データのうちブレードパス温度に異常（温度の急上昇）が現れており、このブレードパス温度が異常信号として抽出されている（対象信号抽出ステップＳＴ４）。また、この異常信号（ブレードパス温度）の時間微分値が算出され（異常信号データ算出ステップＳＴ６）、この異常信号の時間微分値が所定の閾値ｋ’を連続して超えている期間が対象期間ｔａ～ｔｂとして選択されている（対象期間選択ステップＳＴ５）。これにより、異常の予兆が顕著に現れている期間が対象期間

として選択され、この対象期間における異常信号および関連信号に基づいて異常信号データおよび関連信号データが算出されている（異常信号データ算出ステップＳＴ６および関連信号データ算出ステップＳＴ７）。

【００６３】

また、上記の構成では、さらに、上記の対象期間内であってマハラノビス距離Ｄが所定の閾値ｋを連続して超えている期間を対象期間として選択する手段（データ処理装置３）を備え、且つ、この対象期間における監視対象データから異常信号および関連信号が抽出されてもよい（対象信号抽出ステップＳＴ４および対象期間選択ステップＳＴ５）（図５、図６および図８参照）。すなわち、（１）マハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’とマハラノビス距離Ｄとの組み合わせ、あるいは、（２）異常信号の時間微分値とマハラノビス距離Ｄとの組み合わせにより、対象期間が選択されても良い。かかる構成では、より好適な対象期間が選択されるので、故障診断の精度がさらに向上する利点がある。例えば、ガスタービン発電プラントの起動時には、多くの監視対象データにノイズが現れ易い。したがって、（１）マハラノビス距離Ｄの時間微分値Ｄ’とマハラノビス距離Ｄとの双方、あるいは、（２）異常信号の時間微分値とマハラノビス距離Ｄとの双方を考慮して対象期間を選択することにより、プラント起動時のノイズによる誤診断を効果的に防止できる。

【産業上の利用可能性】

【００６４】

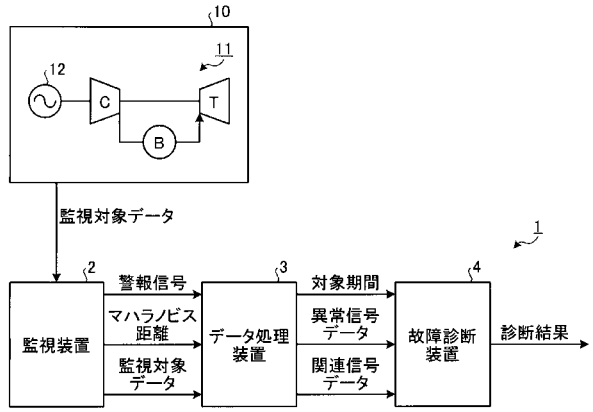
以上のように、この発明にかかる監視システムは、監視対象における異常の予兆の監視から故障診断までの一連の処理を自動化できる点で有用である。

【符号の説明】

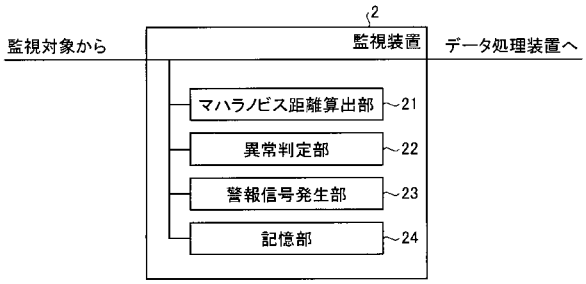
【００６５】

１　監視システム
２　監視装置
２１　マハラノビス距離算出部
２２　異常判定部
２３　警報信号発生部
２４　記憶部
３　データ処理装置
３１　対象信号抽出部
３２　対象期間選択部
３３　異常信号データ算出部
３４　関連信号データ算出部
４　故障診断装置
１０　監視対象
１１　ガスタービン
１２　発電機
４１　故障診断部
４２　ベイジアンネットワーク
４３　データベース
４４　診断結果生成部
４５　表示部

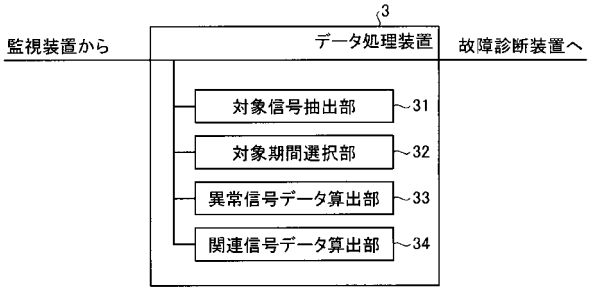
【図１】



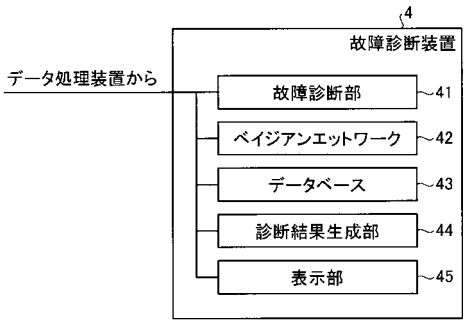
【図２】



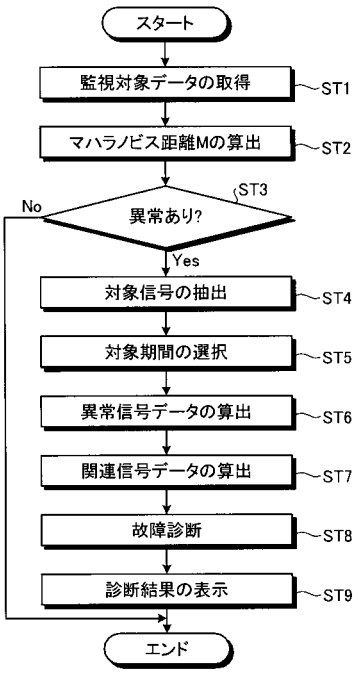
【図３】



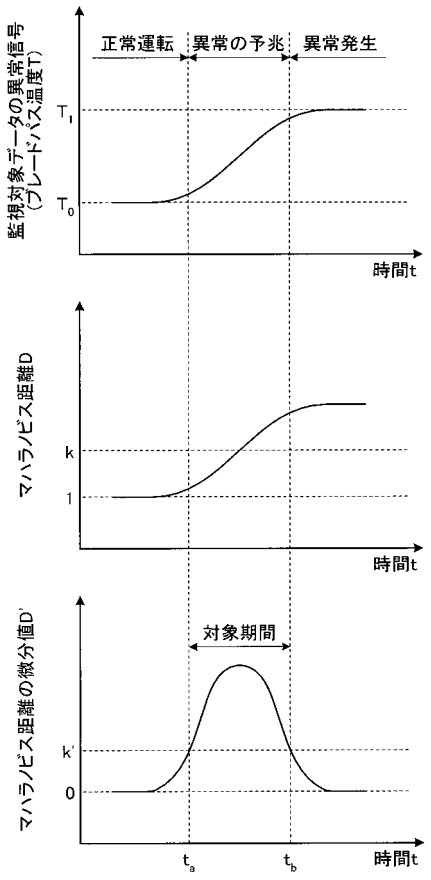
【図４】



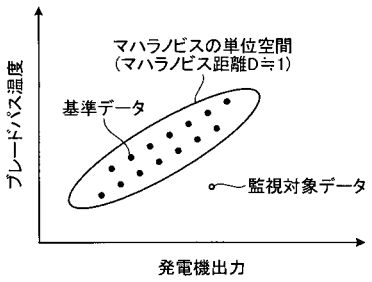
【図５】



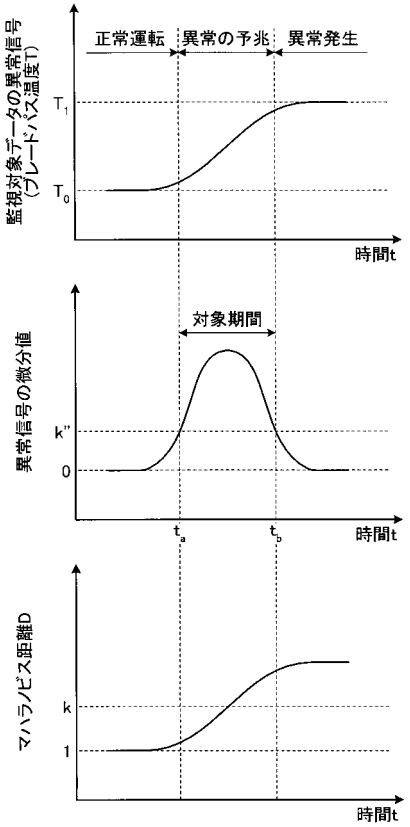
【図６】



【図７】


マハラノビスの単位空間
（マハラノビス距離D≒1）
基準データ
監視対象データ
ブレードパス温度
発電機出力

【図８】


正常運転
異常の予兆
異常発生
監視対象データの異常信号
（ブレードパス温度T）
T1
T0
時間t
対象期間
異常信号の微分値
k''
0
ta
tb
時間t
マハラノビス距離D
k
1
時間t