

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7580257号
(P7580257)

(45)発行日 令和6年11月11日(2024.11.11)

(24)登録日 令和6年10月31日(2024.10.31)

(51)国際特許分類

F I

G 0 5 B 23/02 (2006.01)

G 0 5 B 23/02 3 0 2 V

請求項の数 10 (全20頁)

(21)出願番号	特願2020-196311(P2020-196311)	(73)特許権者	000006208
(22)出願日	令和2年11月26日(2020.11.26)		三菱重工業株式会社
(65)公開番号	特開2022-84435(P2022-84435A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43)公開日	令和4年6月7日(2022.6.7)	(74)代理人	100149548
審査請求日	令和5年10月17日(2023.10.17)		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 古都 智
		(74)代理人	100196689
			弁理士 鎌田 康一郎
		(72)発明者	酒見 光太郎
			東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 異常検知システム、異常検知方法およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

監視対象の装置の稼働データを取得するデータ取得部と、
前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第1パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出するスコア算出部と、
複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知する異常検知部と、
を備え、

複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第2パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である、
異常検知システム。

【請求項2】

複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記第1パラメータとの関係性が強い所定の計測値である第3パラメータについて、前記稼働データに含まれる前記第3パラメータの値が観測されたときに、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である、

請求項1に記載の異常検知システム。

【請求項 3】

複数の前記スコアのうちの 1 つに係る前記確率は、前記第 1 パラメータを除く複数の他の計測値である第 4 パラメータについて、前記稼働データに含まれる第 4 パラメータの値が観測されたときに、当該稼働データに含まれる前記第 1 パラメータの値が観測される確率である、

請求項 1 または請求項 2 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

【請求項 4】

複数の前記スコアのうちの 1 つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記第 1 パラメータの値が観測される確率密度である、

請求項 1 から請求項 3 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

10

【請求項 5】

前記異常検知部は、複数の前記スコアのうち値が最も大きいスコアに基づいて異常を検知する、

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

【請求項 6】

前記異常検知部が検知した異常を出力する出力部、

をさらに備える請求項 1 から請求項 5 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

【請求項 7】

前記装置が正常な運転状態にあるときの前記稼働データに基づいて、前記スコア算出部が算出した複数種類の前記スコアのそれぞれについて、前記スコアが正常である範囲を示す前記判定モデルを作成する判定モデル作成部、

20

をさらに備える請求項 1 から請求項 6 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

【請求項 8】

複数種類の前記スコアの推移を示すグラフを含むレポートを作成するレポート作成部をさらに備える請求項 1 から請求項 7 の何れか 1 項に記載の異常検知システム。

【請求項 9】

異常検知システムが、

監視対象の装置の稼働データを取得し、

前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第 1 パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、

30

複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知し、
複数の前記スコアのうちの 1 つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第 2 パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第 1 パラメータの値が観測される確率である、

異常検知方法。

【請求項 10】

コンピュータに、

監視対象の装置の稼働データを取得し、

40

前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第 1 パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、

複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知し、
複数の前記スコアのうちの 1 つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第 2 パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第 1 パラメータの値が観測される確率である処理、

を実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本開示は、異常検知システム、異常検知方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

プラント、工場などの機械や設備の異常を検知するシステムが提案されている。例えば、特許文献1には、学習フェーズにて監視対象となる設備の稼働データを収集し、稼働データから異常検知モデルを構築し、監視フェーズでは、稼働データと異常検知モデルから、個々の稼働データに対して異常スコアを算出し、異常スコアが閾値を超過すると、異常が発生したと判断する異常検知システムが開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2020-8997号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

稼働データに含まれる温度や圧力などの1つの監視項目について異常スコアを算出し、その異常スコアを閾値によって判定する異常検知方法の場合、その監視項目の瞬時値で判断できる異常は検知することができる。しかし、例えば、設備の運転状態によっては、異常が発生していなくても監視項目の値が閾値を超過する場合があります、1つの監視項目の異常を1つの異常スコアにだけ注目して判定しては、異常検知の精度が低下してしまう可能性がある。

20

【0005】

本開示は、上記課題を解決することができる異常検知システム、異常検知方法およびプログラムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の異常検知システムは、監視対象の装置の稼働データを取得するデータ取得部と、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第1パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出するスコア算出部と、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知する異常検知部と、を備え、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第2パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である。

30

【0007】

本開示の異常検知方法では、異常検知システムが、監視対象の装置の稼働データを取得し、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第1パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知し、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第2パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である。

40

【0008】

本開示のプログラムは、コンピュータに、監視対象の装置の稼働データを取得し、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第1パラメータの値について、当該値が観

50

測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知し、複数の前記スコアのうちの１つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第２パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第１パラメータの値が観測される確率である処理を実行させる。

【発明の効果】

【０００９】

上述の異常検知システム、異常検知方法およびプログラムによれば、異常検知の精度を保つことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】実施形態に係る異常検知システムの構成例を示す機能ブロック図である。

【図２Ａ】実施形態に係る異常検知方法を説明する第１の図である。

【図２Ｂ】実施形態に係る異常検知方法を説明する第２の図である。

【図２Ｃ】実施形態に係る異常検知方法を説明する第３の図である。

【図２Ｄ】実施形態に係る異常検知方法を説明する第４の図である。

【図３】実施形態に係る異常検知の判定方法の一例を示す図である。

【図４】実施形態に係るレポートの一例を示す図である。

【図５】実施形態に係る異常検知モデル作成処理の一例を示すフローチャートである。

【図６】実施形態に係る異常検知処理の一例を示すフローチャートである。

【図７】実施形態に係る異常検知システムのハードウェア構成の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

<実施形態>

以下、実施形態に係る異常検知システムについて、図１～図７を参照しながら詳しく説明する。

（構成）

図１は、実施形態に係る異常検知システムの構成例を示す機能ブロック図である。

異常検知システム１０は、監視対象の装置２０から稼働データを取得し、稼働データの挙動を監視することで装置２０の異常を検知する。装置２０とは、例えば、プラントのボイラ、コンプレッサ、タービンなどの設備や、生産工場の工作機械などである。異常検知システム１０は、データ取得部１１と、スコア算出部１２と、設定受付部１３と、学習部１４と、異常検知部１５と、記憶部１６と、レポート作成部１７と、出力部１８と、を備える。

【００１２】

データ取得部１１は、装置２０の稼働データを取得する。稼働データとは、温度、圧力、流量、振動、電流、電力量、回転数など装置２０に設けられたセンサが計測した計測値や計測値に基づいて算出された値である。データ取得部１１は、稼働データとその稼働データの計測時刻とを装置２０から取得する。以下、稼働データに含まれる計測値や計測値に基づいて算出された値をパラメータと記載する。

【００１３】

スコア算出部１２は、データ取得部１１が取得した稼働データについて異常の程度を示すスコアを算出する。スコア算出部１２は、第１スコア算出部１２１と、第２スコア算出部１２２と、第３スコア算出部１２３と、第４スコア算出部１２４と、を備える。スコア算出部１２は、監視対象のパラメータにのみ注目したスコアを算出するだけでなく、他のパラメータとの関係性を考慮したスコアを算出する。

【００１４】

具体的には、第１スコア算出部１２１は、ある１つの監視対象パラメータ について、

10

20

30

40

50

パラメータ についてのみ注目したときのスコアである第 1 スコアを算出する。例えば、第 1 スコア算出部 121 は、パラメータ の確率密度 $P(\quad)$ を算出し、その値に基づいて第 1 スコアを算出する。例えば、パラメータ の確率密度 $P(\quad)$ のマイナスの常用対数（例えば、 $-\log_{10}(P(\quad))$ ）を第 1 スコアとして算出する。つまり、パラメータ について、確率密度が小さい値が計測されると、そのときの第 1 スコアは大きな値となる。簡単な例では、パラメータ の値が 1000 個得られ、そのうちの 999 個の値が “1” で 1 個が “10” であったとすると、計測値 “10” の確率密度は、 $1 \div 1000 = 0.001$ 、第 1 スコアは 3.0 となる。

【0015】

第 2 スコア算出部 122 は、監視対象のパラメータ について、装置 20 の運転状態を反映する他のパラメータとの関係を考慮したスコアである第 2 スコアを算出する。例えば、装置 20 がガスタービン等の発電設備の場合、装置 20 の運転状態とは、装置 20 が定格出力で運転しているのか、部分負荷で運転しているのかといった運転モードのことであり、この場合、装置 20 の運転状態を反映する他のパラメータとは、例えば、発電設備の負荷である。装置 20 の運転状態を反映する他のパラメータをパラメータ 、データ取得部 11 が取得した稼働データに含まれるパラメータ の値を 1、パラメータ の値を 1 とした場合、例えば、第 2 スコア算出部 122 は、パラメータ の値が 1 となる条件で、パラメータ の値が 1 となる確率、つまり、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ を算出し、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ のマイナスの常用対数を第 2 スコアとして算出する。つまり、小さい値の条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ が観測されると、そのときの第 2 スコアは大きな値となる。このことは、以下の第 3 スコア、第 4 スコアでも同様である。なお、装置 20 の運転状態を反映する他のパラメータの数は 2 個以上であってもよい。

【0016】

第 3 スコア算出部 123 は、監視対象のパラメータ について、パラメータ と関係性が強い他のパラメータとの関係を考慮したスコアである第 3 スコアを算出する。関係性が強いパラメータとは、例えば、同じ設備の稼働系の温度データと、冗長系の温度データのようなものである。あるいは、例えば、発電設備の場合、負荷の上昇に伴い、タービンの回転数や燃料ガスの温度が上昇すれば、これらは関係性が強いパラメータである可能性がある。パラメータ と関係性が強い他のパラメータは、例えば、決定木などの機械学習により選定することができる。あるいは、知見を有するユーザが、パラメータ と関係性が強い他のパラメータを設定してもよい。パラメータ と関係性が強い他のパラメータをパラメータ 、データ取得部 11 が取得した稼働データに含まれるパラメータ の値を 1、パラメータ の値を 1 とした場合、例えば、第 3 スコア算出部 123 は、パラメータ の値が 1 となる条件で、パラメータ の値が 1 となる確率、つまり、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ を算出し、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ のマイナスの常用対数を第 3 スコアとして算出する。なお、パラメータ と関係性が強い他のパラメータは 2 個以上であってもよい。

【0017】

第 4 スコア算出部 124 は、監視対象のパラメータ について、パラメータ 以外の他の全てのパラメータとの関係を考慮したスコアである第 4 スコアを算出する。例えば、データ取得部 11 が取得した稼働データに含まれる他の全てパラメータの値の組み合わせを 1、パラメータ の値を 1 としたときに、第 4 スコア算出部 124 は、他の全てパラメータの値の組み合わせが 1 となる条件で、パラメータ の値が 1 となる確率、つまり、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ を算出する。第 4 スコア算出部 124 は、条件付き確率 $P(\quad 1 | \quad 1)$ のマイナスの常用対数を第 4 スコアとして算出する。

【0018】

設定受付部 13 は、各種設定を受け付ける。例えば、設定受付部 13 は、運転状態を反映するパラメータ の設定を受け付ける。また、設定受付部 13 は、パラメータ と関係性が強いパラメータ の設定や異常を判定するための閾値の設定などを受け付けてもよい。例えば、設定受付部 13 は、現場作業者の知見として、負荷や気温といった状態を定義

10

20

30

40

50

する指標や冗長系の設備の設定を受け付ける。

【 0 0 1 9 】

学習部 1 4 は、第 1 スコア算出部 1 2 1 ~ 第 4 スコア算出部 1 2 4 が算出した各スコアに基づいて、装置 2 0 に異常が発生したかどうか、あるいは異常の予兆があるかどうかを判定する判定モデルを作成する。例えば、学習部 1 4 は、過去に装置 2 0 が正常に稼働していたときの稼働データを収集し、収集した稼働データに含まれるパラメータ の第 1 スコアを学習して、第 1 スコアがどのような値であれば正常であることを示す判定モデル 1 を作成する。また、学習部 1 4 は、正常な稼働データに含まれるパラメータ とパラメータに基づいて算出された第 2 スコアを学習して、第 2 スコアがどのような値であれば正常であることを示す判定モデル 2 を作成する。学習部 1 4 は、第 3 スコア、第 4 スコアについて、同様に、判定モデル 3、判定モデル 4 を作成する。

10

【 0 0 2 0 】

また、例えば、学習部 1 4 は、過去に装置 2 0 で異常が生じたときに採取された正常時と異常時の両方を含む稼働データからパラメータ を抽出し、パラメータ に関する正常時の第 1 スコアと異常時の第 1 スコアとを学習して、第 1 スコアがどのような値となると、異常が発生するかを判定するための閾値（判定モデル 1 ）を算出してもよい。同様に、学習部 1 4 は、正常時と異常時の両方を含む装置 2 0 の稼働データに基づいて算出された正常時の第 2 スコアと異常時の第 2 スコアを学習して、第 2 スコアがどのような値となると、異常が発生するかを判定するための判定モデル 2 を作成してもよい。同様に、学習部 1 4 は、第 3 スコアに基づく正常と異常を判別するための判定モデル 3、第 4 スコアに基づく正常と異常を判別するための判定モデル 4 を作成してもよい。

20

【 0 0 2 1 】

また、学習部 1 4 は、更に、第 1 スコア ~ 第 4 スコアに依らない異常判定モデルを 1 つ又は複数、作成してもよい。例えば、装置 2 0 の正常な稼働データを収集して、稼働データに含まれるパラメータ について、k 近傍法などによるクラスタや M T（マハラノビス・タグチ）法における単位空間を判定モデルとして作成してもよい。

【 0 0 2 2 】

異常検知部 1 5 は、スコア算出部 1 2 が算出したスコア（第 1 スコア ~ 第 4 スコア）と学習部 1 4 が作成した判定モデル（判定モデル 1 ~ 4）とに基づいて、装置 2 0 の異常を検知する。異常検知部 1 5 は、第 1 スコア ~ 第 4 スコアのうち、複数のスコアを用いて異常検知を行う。例えば、正常な稼働データから算出した第 1 スコア ~ 第 4 スコアに基づいて判定モデル 1 ~ 4 を作成した場合、異常検知部 1 5 は、スコア算出部 1 2 が算出した第 1 スコアの値と、判定モデル 1 が示す正常な第 1 スコアの差が閾値以上であれば、パラメータ の第 1 スコアについて異常であると判定する。同様に異常検知部 1 5 は、第 2 スコアの値を判定モデル 2 と比較して第 2 スコアが異常か否かを判定し、第 3 スコア、第 4 スコアについても、それぞれ判定モデル 3、4 に基づいて正常か否かを判定する。

30

また、例えば、学習部 1 4 が、第 1 スコア ~ 第 4 スコアの各々について異常判定のための閾値を算出した場合、異常検知部 1 5 は、スコア算出部 1 2 が算出した第 1 スコアの値が、学習部 1 4 によって算出された閾値を超過していれば、パラメータ の第 1 スコアについて異常であると判定する。異常検知部 1 5 は、第 2 スコア ~ 第 4 スコアについても同様に、それぞれの閾値に基づいて異常か否かの判定を行う。

40

そして、異常検知部 1 5 は、各スコアについて判定した異常か否かの判定結果および各スコアに基づいて、装置 2 0 の異常検知を行う。例えば、異常検知部 1 5 は、異常と判定されたスコアの中で最も大きなスコアを選択し、選択したスコアが示す値を異常検知結果として出力する。

【 0 0 2 3 】

記憶部 1 6 は、データ取得部 1 1 が取得した稼働データ、設定受付部 1 3 が受け付けた各種設定、第 1 スコア ~ 第 4 スコア、判定モデル 1 ~ 4、異常検知部 1 5 による検知結果などの情報を記憶する。

レポート作成部 1 7 は、所定期間における稼働データの推移や、第 1 スコア ~ 第 4 スコ

50

アの推移などを記載したレポートを作成する。レポートについては、後に図 4 を参照して説明する。

【 0 0 2 4 】

出力部 1 8 は、スコア算出部 1 2 が算出した第 1 スコア～第 4 スコアの推移を示すグラフ、異常検知部 1 5 による異常検知結果などを表示装置に出力する。また、出力部 1 8 は、レポート作成部 1 7 が作成したレポートを表示装置に表示したり、電子ファイルへ出力したりする。

【 0 0 2 5 】

(4 つのスコア)

次に図 2 A ～図 2 D、図 3 を参照して、第 1 スコア～第 4 スコアを用いた異常検知の方法について説明する。

10

パラメータ の推移の一例を図 2 A に示す。第 1 スコアは、単一のパラメータ に注目して算出した確率密度である。例えば、パラメータ が図 2 A に示すように変動すれば、第 1 スコアも同様に変動する。第 1 スコアの変動を監視することによって、パラメータ の変動を把握することができる。例えば、パラメータ の値が Q 1 のときの第 1 スコアが閾値を超過していれば、異常検知部 1 5 は、第 1 スコアが異常であると判定する。

【 0 0 2 6 】

監視対象のパラメータ および運転状態を示すパラメータ の推移の一例を図 2 B に示す。第 2 スコアは、そのときの運転状態におけるパラメータ の変動を示す。例えば、正常運転時において、パラメータ とパラメータ の挙動が正の相関を有しているとする。Q 2 に示すようにパラメータ が一定（運転状態が一定）であるにもかかわらず、パラメータ の値だけが低下すれば、第 2 スコアも変動する。第 2 スコアの変動を監視することによって、パラメータ の変動が、現在の運転状態において異常か否かを判定することができる。更に第 1 スコアと第 2 スコアを監視対象とすると、パラメータ について、第 1 スコアだけが変動する場合と、第 2 スコアだけが変動する場合と、第 1 スコアと第 2 スコアが共に変動する場合を想定することができるが、複数のスコアに基づいて異常検知を行うことで誤検知を抑制することができる。例えば、第 1 スコアだけが変動する場合、運転状態の変化によって、パラメータ の値が変動し、運転状態の変化を考慮すれば、パラメータ の変動は正常な範囲のものである状況が考えられるが、第 1 スコアだけを監視している場合、第 1 スコアの変動により、異常が発生したと誤検知する可能性がある。第 1 スコアと第 2 スコアに基づいて異常検知を行うことにより、このような誤検知を抑制することができる。また、第 1 スコアはパラメータ の単純な変動を示す値であり、第 2 スコアは運転状態を考慮したパラメータ の変動を示す値である。ユーザは、それぞれのスコアの算出方法を把握することにより、各スコアが変動したときにその意味を理解することができる。これにより、異常の発生個所や原因の特定、異常に対する対処を迅速に行うことができる。

20

30

【 0 0 2 7 】

パラメータ および関係性が強いパラメータ 1、 2 の推移の一例を図 2 C に示す。第 3 スコアは、関係性が強いパラメータ 1、 2 に対するパラメータ の変動を示す。例えば、正常運転時において、パラメータ とパラメータ 1、 2 の挙動が正の相関を有しているとする。Q 3 に示すようにパラメータ 1、 2 が低下しているにもかかわらず、パラメータ の値だけが上昇すれば、第 3 スコアも変動する。第 3 スコアの変動を監視することによって、パラメータ の変動が、他のパラメータ 1、 2 に比べて異常か否か（又は、パラメータ 1、 2 の変動がパラメータ に比べて異常か否か）を判定することができる。更に、第 1 スコア、第 2 スコアと組み合わせで監視することにより、異常検知の精度を向上させることができる。例えば、第 1 スコアが上昇しても、第 3 スコアが上昇しないような場合、何らかの要因で関係性が強いパラメータ が同時に変動し、またその変動が珍しい事象ではないことを意味する可能性がある。これにより、第 1 スコアだけを監視していた場合に生じる誤検知を抑制することができる。また、第 3 スコアの算出方法を把握することによって、ユーザは、第 3 スコアが示す挙動の意味を理解することが

40

50

できる。例えば、第3スコアが上昇せずに、第2スコアが上昇する場合、関係性が強いパラメータ群の変動を引き起こし、現在の運転状態では生じない事象が発生していること、第3スコアが上昇しないことから、その事象は、（他の運転状態では）しばしば発生する事象である可能性があること、などを推定することができる。

【0028】

全パラメータの推移の一例を図2Dに示す。第4スコアは、全パラメータ1～3が示す状態におけるパラメータの変動を示す。例えば、他の全パラメータの挙動に対して、パラメータだけが特殊な挙動を示していれば、第4スコアも変動する。第4スコアの変動を監視することによって、パラメータの変動が、他の全パラメータ1～3に比べて異常か否かを判定することができる。更に、第1スコア～第3スコアと組み合わせて監視することにより、異常検知の精度向上を図ることができる。

10

【0029】

一般に異常検知システムでは、センサの計測値等に統計処理を施した値がスコアとしてユーザへ提示されることがあるが、統計処理に不慣れなユーザにとっては、その値が異常であることを認識することができたとしても、その意味を理解することが難しい。これに対し、本実施形態の第1スコア～第4スコアであれば、各スコアの算出方法を事前に把握しておくことで、各スコアの値がどのような意味であるかを理解したり、装置20にどのような事象が生じているかを推定したりすることができる。例えば、第1スコアであれば、そのパラメータが示す値の中でどれくらい珍しい値が観測されたかを示す。第2スコアであれば、その運転状態の中で、どれくらい珍しい値が観測されたかを示す。第3スコアであれば、同調した振る舞いをする関係性が高いパラメータ群によって示される状態で、どれくらい珍しい値が観測されたかを示す。第4スコアであれば、全パラメータが示す状態で、どれくらい珍しい値が観測されたかを示す。ユーザは、各スコアの意味を理解し、異常が検知された際に事象の理解や対処に役立てることができる。また、ユーザは、各スコアを監視することで、監視対象のパラメータの挙動に、突変、劣化、乖離、振動の何れが生じているかを判断することができる。

20

【0030】

次に図3を参照して、第1スコア～第4スコアを用いて、突変、劣化、乖離、振動の4つの指標を判断する方法について説明する。突変とは、監視対象のパラメータの値が時間的に急峻な変化をすることである。劣化とは、パラメータの値が時間的に漸減・漸増する等の変化をすることである。乖離とは、パラメータの値が、類似する他のパラメータの値から乖離することである。振動とは、パラメータの変動の周波数成分が急に早くなる等の変化をすることである。熟練した監視員は、これら4つの指標に基づいて、パラメータの挙動を監視し、異常検知を行うことが多い。図3に示す表中の二重丸の印は、指標の判断に最も適したスコアであることを示し、一重丸の印は、そのスコアによっても検知可能であることを示し、三角の印は、そのスコアでは検知できない可能性があることを示し、×印はそのスコアによっては検知できないことを示している。

30

【0031】

突変については、第1スコアの監視によって検知が可能であるが、第2スコア～第4スコアによっても突変の検知が可能である。例えば、異常検知部15が第1スコアについて異常と判定すると、ユーザは、異常と判定されたパラメータについて突変が生じていると判断する。

40

【0032】

劣化については、第2スコアが最も適しているが、第1スコアの監視によっても劣化の検知が可能である。例えば、異常検知部15が第2スコアについて異常と判定すると、ユーザは、異常と判定されたパラメータについて劣化が生じていると判断する。

【0033】

乖離については、第3スコアを監視することにより検知が可能である。例えば、異常検知部15が第3スコアについて異常と判定すると、ユーザは、異常と判定されたパラメータについて乖離が生じていると判断する。

50

【 0 0 3 4 】

振動については、第 4 スコアによって検知することができる。例えば、全パラメータが一定の周期で振動しているときにパラメータの周期が変動すれば、第 4 スコアに変動が生じる。この性質を利用すると、第 4 スコアによって振動を検知することができる。また、第 2 スコアによっても振動を検知することができる。例えば、異常検知部 1 5 が第 4 スコアについて異常と判定すると、ユーザは、異常と判定されたパラメータについて振動が生じていると判断する。

【 0 0 3 5 】

また、例えば、出力部 1 8 が、パラメータについて、数分前から現在までの第 1 スコア～第 4 スコアの推移を示すグラフを表示装置へ出力し、ユーザが、各スコアの変動を確認して、突変、劣化、乖離、振動の判断を行ってもよい。あるいは、異常検知部 1 5 に突変、劣化、乖離、振動を判断する基準を与えて、異常検知部 1 5 に判定させてもよい。例えば、突変の場合、監視対象のパラメータごとに第 1 スコアの変動量の閾値を定義し、所定時間内にこの閾値を超える変動があると、異常検知部 1 5 は、突変が発生したと判定する。本実施形態に係る第 1 スコア～第 4 スコアを用いることによって、従来は、熟練した監視員が、各パラメータの挙動を監視して判断していた 4 つの指標の判断が容易となる。

【 0 0 3 6 】

(レポート)

図 4 にレポート作成部 1 7 が作成するレポートの一例を示す。

レポート 1 0 0 は、例えば、月次の定期レポートであって、1 カ月ごとに直前の 1 か月間に計測された各パラメータの計測値、第 1 スコア～第 4 スコアの値が記載される。レポート 1 0 0 は、データ関係性を表示する領域 1 0 1 と、スコア上位ランキングを表示する領域 1 0 2 と、1 か月間のトレンドを表示する領域 1 0 3 と、長期トレンドを表示する領域 1 0 4 と、を含む。

【 0 0 3 7 】

領域 1 0 1 には、パラメータ間の関係性が表示される。例えば、計測点の列には、パラメータの種類が示される。計測点の列のパラメータは、全てが監視対象のパラメータであってもよいし、一部が監視対象のパラメータであってもよい。設備状態の列には、運転状態を示すパラメータに丸印が記載される。相関の列には、関係性の強いパラメータに同じアルファベットが表示される。図 4 のレポート 1 0 0 の場合、計測点として Para1 ～ Para3 が記載され、Para1 と Para2 の関係性が強く（相関の列の “ A ” ）、Para3 が運転状態を示すパラメータ（設備状態の列の丸印）である。従って、例えば、Para1 が監視対象のパラメータの場合、Para1 の確率密度が第 1 スコア、条件付き確率 $P(\text{Para1} | \text{Para3})$ が第 2 スコア、条件付き確率 $P(\text{Para1} | \text{Para2})$ が第 3 スコア・・・等となる。領域 1 0 1 を参照することにより、ユーザは、第 2 スコアに関して運転状態を示すパラメータを確認することができ、第 3 スコアに関して関係性の強いパラメータを確認することができる。

【 0 0 3 8 】

領域 1 0 2 には、各パラメータについて観測された 1 か月間の第 1 スコア～第 4 スコアのうち値が大きいものから順に 2 0 個程度が表示される。No の列には順位が表示され、時刻の列には、そのスコアが観測された時刻が表示され、スコアの列にはスコアの値が表示され、監視項目の列には監視対象のパラメータの種類が表示され、スコア種類の列には、そのスコアが第 1 スコア～第 4 スコアの何れであるかが表示される。図 4 のレポート 1 0 0 の場合、最も値が大きかったのは “ Y/M/D hh:m1 ” に観測された Para1 の第 1 スコアの値 “ X 1 ”、2 番目に値が大きかったのは “ Y/M/D hh:m2 ” に観測された Para2 の第 2 スコアの値 “ X 2 ”、3 番目に値が大きかったのは “ Y/M/D hh:m3 ” に観測された Para2 の第 1 スコアの値 “ X 3 ” である。領域 1 0 2 を参照することにより、ユーザは、過去の 1 カ月において高い値を示したパラメータの情報を確認することができる。

【 0 0 3 9 】

領域 1 0 3 には、1 か月間の各パラメータの計測値および第 1 スコア～第 4 スコアの値の推移が示される。領域 1 0 4 には、各パラメータの計測値および第 1 スコア～第 4 スコ

10

20

30

40

50

アの値の長期（例えば、過去５年）における推移が示される。ユーザは、領域１０３、１０４を参照することにより、各パラメータについて算出された第１スコア～第４スコアのトレンドを確認することができる。異常検知には、短期的評価を行うニーズと、中長期的評価を行うニーズの２つが存在する。短期的評価は、現在を基準とする短期間における異常の発生状況に基づいて、例えば、現在、装置２０に生じている故障や異常を把握するために必要である。一方、中長期的評価とは、過去から現在へ至るまでの間に検知される異常や異常予兆の傾向（頻度などの発生状況やスコアの大きさ）に基づいて、装置２０の劣化や故障を予測するために必要となる。ユーザは、領域１０３、１０４を参照することで、装置２０の中長期的評価を行うことができる。装置２０の異常は、突発的な故障に至る前に何らかの兆候を示すケースが多い。レポート１００を活用することにより、異常の兆候を確認することができる。また、時系列的に将来発生しうる異常の予測に活用することができる。

10

【００４０】

例えば、ユーザは、レポート１００を用いて以下のような手順により、第１スコア～第４スコアの確認、計測値の確認を行うことで、従来の事後保全中心の設備運用から予防保全的設備管理をサポートするための仕組みを整えることができる。

（１）データの関係性を把握する。

ユーザは、領域１０１を参照して、具体的なスコアの値を参照する前に各パラメータの関係性、組合せを確認しておく。これにより、第１スコア～第４スコアが意味する内容を把握することができる。

20

（２）スコアの上昇箇所を確認する。

ユーザは、領域１０２～１０４を参照し、第１スコア～第４スコアの値が高かった箇所や時刻を確認する。

【００４１】

（３）関連パラメータを確認する。

ユーザは、（２）で確認した高いスコアが観測されたパラメータを確認する。ユーザは、以下の観点で対象とするパラメータを確認する。

（３－１）第１スコアが上昇している。

対象のパラメータのみに着目し、そのパラメータの計測値が突変していないか、通常ではあり得ないレンジの値となっていないか等を確認する。

30

（３－２）第２スコアが上昇している。

対象のパラメータ、あるいは運転状態パラメータに着目する。その片方、あるいは両方が異常な値となっていないかを確認する。運転状態パラメータは領域１０１の設備状態に丸印が付いているパラメータである。

（３－３）第３スコアが上昇している。

対象のパラメータ、あるいは対象のパラメータと関係性が強いパラメータに注目する。何れかが異常な値となっていないかを、各パラメータのトレンド（領域１０３）で確認する。関係性が強いパラメータは領域１０１の相関の欄に示されている。例えば、図４の例の場合、Para1の第３スコアが上昇した場合は、Para2も併せて注目する必要がある。

【００４２】

40

レポート作成部１７は、例えば、月に一度、レポート１００を作成し、出力部１８がレポート１００を電子ファイル等として出力する。ユーザは、出力されたレポート１００に基づいて、上記の手順で設備２０の異常に関する中長期的評価を行うことができる。また、ユーザは、レポート１００に基づいて、図３を用いて説明した４つの指標の観点から設備２０の状態に対する評価を行うことができる。

【００４３】

（動作）

次に図５、図６を参照して、異常検知システム１０の動作について説明する。

まず、図５を参照して、学習フェーズの動作の一例について説明する。

図５は、実施形態に係る異常検知モデル作成処理の一例を示すフローチャートである。

50

まず、設定受付部 13 が、各種設定を受け付ける（ステップ S 11）。例えば、ユーザが、監視対象のパラメータの設定、運転状態を示すパラメータの設定、関係性の強いパラメータの設定を異常検知システム 10 に入力する。設定受付部 13 は、これらの設定を受け付け、記憶部 16 に書き込んで保存する。関係性の強いパラメータは、予め機械学習などにより、関係性が強いことが解析されたパラメータである。

【0044】

次にデータ取得部 11 が、装置 20 が正常な運転状態で運転しているときに計測された稼働データを収集する（ステップ S 12）。収集する稼働データは、異常判定モデルの学習データとなる為、様々な条件下で稼働しているときに計測された稼働データをなるべく多く収集することが好ましい。また、第 2 スコアの評価のためには、装置 20 の全ての運転状態における稼働データを収集することが好ましい。データ取得部 11 は、収集した稼働データを、記憶部 16 に書き込んで保存する。

【0045】

次にスコア算出部 12 が、第 1 スコア～第 4 スコアを算出する（ステップ S 13）。例えば、第 1 スコア算出部 121 が、記憶部 16 が記憶する学習データとして収集された稼働データの中から監視対象として設定されたパラメータのデータを読み出し、各時刻のパラメータについて確率密度を算出する。例えば、パラメータ について 1 万個の計測値が収集されていれば、1 万個の計測値のそれぞれについて、1 万個の計測値の中での確率密度（第 1 スコア）を算出する。第 1 スコア算出部 121 は、算出した第 1 スコアを記憶部 16 に書き込んで保存する。同様に、第 2 スコア算出部 122 が、監視対象として設定されたパラメータのデータと、運転状態を示すものとして設定されたパラメータのデータの組み合わせを収集された稼働データの中から読み出し、運転状態を示すパラメータの値が示す運転状態ごとに監視対象パラメータのデータを分類し、分類したデータごとに同じ分類の中でその値が観測される確率（第 2 スコア）を算出する。第 2 スコア算出部 122 は、算出した第 2 スコアを記憶部 16 に書き込んで保存する。第 3 スコア算出部 123 は、監視対象パラメータのデータと、関係性が強いパラメータのデータの組み合わせを収集された稼働データの中から読み出し、関係性が強いパラメータの値が観測されることを条件とする、監視対象パラメータの値が観測される確率（第 3 スコア）を算出し、第 3 スコアを記憶部 16 に書き込んで保存する。第 4 スコア算出部 124 は、監視対象パラメータの値のそれぞれについて、同時刻に計測された他の全パラメータの値の組み合わせが観測されることを条件とする、監視対象パラメータの値が観測される確率（第 4 スコア）を算出し、第 4 スコアを記憶部 16 に書き込んで保存する。

【0046】

次に学習部 14 が、判定モデル 1～4 を作成する（ステップ S 14）。例えば、学習部 14 は、ステップ S 13 にて算出された第 1 スコアに基づいて、判定モデル 1 を作成する。例えば、学習部 14 は、第 1 スコアの平均値を判定モデル 1 としてもよいし、第 1 スコアの最小値と最大値の範囲を正常とみなす判定モデル 1 を作成してもよいし、第 1 スコアを k 近傍法によりクラスタリングして作成したクラスタを判定モデル 1 としてもよい。学習部 14 は、第 2 スコア、第 3 スコア、第 4 スコアについても、それぞれ、各スコアの正常な範囲を示す判定モデル 2、判定モデル 3、判定モデル 4 を作成する。学習部 14 は、作成した判定モデル 1～4 を記憶部 16 に書き込んで保存する。

【0047】

又は、学習部 14 は、正常と異常を判別する閾値を算出してもよい。例えば、データ取得部 11 は、装置 20 が正常な状態で運転しているときに計測された稼働データと異常が生じたときに計測された稼働データを取得し、記憶部 16 に保存する。次にスコア算出部 12 が、収集された稼働データに含まれる監視対象のパラメータの計測値について第 1 スコア～第 4 スコアを算出し、記憶部 16 に保存する。次に、学習部 14 が、算出された第 1 スコア～第 4 スコアの各々について、そのスコアが装置 20 の正常時に計測されたパラメータに基づいて算出された第 1 スコア～第 4 スコアであるか、又は、異常時に計測されたパラメータに基づいて算出された第 1 スコア～第 4 スコアであるか、を示すラベル情報

10

20

30

40

50

を付す。次に学習部 14 は、ラベル情報を付加した第 1 スコアを学習データとして、所定の手法により、第 1 スコアの値に基づいて異常の有無を判定するための判定モデル 1 を作成する。例えば、学習部 14 は、SVM (Support Vector Machine)、決定木などを用いることにより、判定モデル 1 を作成する。学習部 14 は、同様の手法により、判定モデル 2 ~ 4 を作成する。

【0048】

このように本実施形態では、稼働データを確率密度や条件付き確率に変換して、判定モデル 1 ~ 4 を作成する。これにより、第 1 スコア ~ 第 4 スコアに基づいて異常検知を行うことができる。また、後述するようにアンサンブル学習を用いて異常検知を行うことができる。学習部 14 は、アンサンブル学習用に、第 1 スコア ~ 第 4 スコアでは無く、例えば、パラメータの値を学習データとして判定モデル 1 ~ 4 とは異なる判定モデルを作成してもよい。

【0049】

次に、図 6 を参照して、監視フェーズの動作の一例について説明する。

図 6 は、実施形態に係る異常検知処理の一例を示すフローチャートである。

前提として、記憶部 16 には、作成済みの判定モデル 1 ~ 4 と、異常判定用の閾値が予め登録されているとする。例えば、監視対象のパラメータの第 1 スコアについて判定するための閾値 1、第 2 スコアについて判定するための閾値 2、第 3 スコアについて判定するための閾値 3、第 4 スコアについて判定するための閾値 4 が記憶部 16 に登録されているとする。

【0050】

まず、データ取得部 11 が、装置 20 から最新の稼働データを取得する (ステップ S21)。データ取得部 11 は、最新の稼働データをスコア算出部 12 へ出力する。次にスコア算出部 12 (第 1 スコア算出部 121 ~ 第 4 スコア算出部 124) が、最新の稼働データについて、第 1 スコア ~ 第 4 スコアを算出する (ステップ S22)。記憶部 16 には学習フェーズにて収集された稼働データが蓄積されているので、例えば、スコア算出部 12 は、蓄積された稼働データと最新の稼働データを用いて、第 1 スコア ~ 第 4 スコアを算出する。スコア算出部 12 は、第 1 スコア ~ 第 4 スコアを異常検知部 15 へ出力する。次に異常検知部 15 は、判定モデル 1 ~ 4 に基づいて異常の判定を行う (ステップ S23)。まず、異常検知部 15 は、第 1 スコアと判定モデル 1 に基づいて、第 1 スコアが異常か否かの判定を行う。例えば、判定モデル 1 が正常時の第 1 スコアの平均値として作成された場合、異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 1 スコアと、第 1 スコアの平均値 (判定モデル 1) との差が閾値 1 を超過していれば、最新の第 1 スコアは異常であると判定してもよい。例えば、判定モデル 1 が正常時の第 1 スコアの最大値と最小値によって作成された場合、異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 1 スコアが、最大値および最小値によって示される範囲から閾値 1 以上乖離していれば、最新の第 1 スコアは異常であると判定してもよい。例えば、判定モデル 1 が正常時の第 1 スコアのクラスタの場合、異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 1 スコアと、クラスタの重心との距離が閾値 1 以上であれば、最新の第 1 スコアは異常であると判定してもよい。異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 2 スコア ~ 第 4 スコアについても、同様の方法で異常か否かを判定する。

【0051】

また、学習フェーズにて、正常と異常を判別する判定モデル 1 ~ 4 が作成されている場合、異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 1 スコアの値を判定モデル 1 に入力する。判定モデル 1 は、正常または異常を判別し、その判別結果を出力する。異常検知部 15 は、判定モデル 1 が出力した判別結果が異常の場合、最新の第 1 スコアは異常であると判定する。異常検知部 15 は、最新の稼働データに基づく第 2 スコア ~ 第 4 スコアについても、それぞれ、判定モデル 2 ~ 4 に基づいて、同様の方法で異常か否かを判定する。また、アンサンブル学習を行った場合、異常検知部 15 は、学習フェーズで作成した判定モデルを用いて、最新の稼働データが異常か否かを判定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

次に異常検知部 1 5 は、各スコアによる判定結果を分析する（ステップ S 2 4）。具体的には、異常検知部 1 5 は、異常と判定されたスコアのうち、スコアの値が最大のものを選択する。例えば、第 1 スコアの値が“ 5 ”、第 2 スコアの値が“ 1 0 ”、第 3 スコアの値が“ 0 . 5 ”、第 4 スコアの値が“ 0 . 5 ”で、第 1 スコアと第 2 スコアが異常と判定された場合、異常検知部 1 5 は、第 2 スコアを装置 2 0 で生じている異常を、最も端的に示すスコアとして選択する。

【 0 0 5 3 】

また、アンサンブル学習を行う場合であって、アンサンブル学習用に作成した判定モデルによって異常と判定された場合、異常検知部 1 5 は、稼働データが示す異常度を所定の方法で算出する。算出された異常度は、第 1 スコア～第 4 スコアと比較可能な値である。異常検知部 1 5 は、第 1 スコア～第 4 スコアおよびアンサンブル学習用に算出された異常度の中から最大値を選択する。

異常検知部 1 5 は、第 1 スコア～第 4 スコアおよび各スコアの判定結果、判定時刻、最も高い値を示すスコアの情報を出力部 1 8 へ出力するとともに記憶部 1 6 に書き込んで保存する。この情報は、レポート作成部 1 7 がレポート 1 0 0 を作成する際に用いられる。

【 0 0 5 4 】

次に出力部 1 8 が、異常検知結果を表示装置等へ出力する（ステップ S 2 5）。例えば、出力部 1 8 は、異常検知部 1 5 から、第 1 スコア～第 4 スコアの値、各スコアについての判定結果（異常か否か）および判定時刻、異常検知部 1 5 が選択した最大値を示すスコアの情報を取得して、これらを表示する。異常検知部 1 5 は、例えば、第 1 スコア～第 4 スコアの値について、所定期間前からの推移を示すグラフを作成して表示してもよい。例えば、ユーザは、異常検知部 1 5 によって選択された最大値を示すスコアに注目することで、突変、劣化、乖離、振動の発生を確認し、装置 2 0 の異常検知を行うことができる。出力部 1 8 は、異常検知部 1 5 が第 1 スコア～第 4 スコアの中から選択した最大値を表示する。これにより、ユーザに対して、複数の手法による判定結果（第 1 スコア～第 4 スコアそれぞれに対する判定結果）の中からも最良の結果を伝えることができ、異常検知の精度度を向上することができる。また、第 1 スコア～第 4 スコアを表示することで、ユーザは、複数のスコアを確認することができ、誤検知を防止や、各スコアが意味する内容から、装置 2 0 に生じている異常の原因や内容を推定することができる。

【 0 0 5 5 】

上記の実施形態では、異常検知部 1 5 によって異常を検知する処理を例に説明を行ったが、単に異常を検知するだけではなく、第 1 スコア～第 4 スコアの値に基づいて、装置 2 0 の状態監視を行ってもよい。例えば、異常検知システム 1 0 は、複数のスコア（第 1 スコア～第 4 スコア、又は第 1 スコア～第 3 スコア）と、判定モデルと、に基づいて、複数のスコアそれぞれについて稼働状態を検知し、複数の前記稼働状態の結果に基づいて装置 2 0 の状態を判定する状態判定部をさらに備えていてもよい。または、異常検知部 1 5 が、上記の状態判定部を備えていてもよい。例えば、予め第 1 スコア～第 4 スコアのうちの一つ又は複数の値や値の傾向と対応付けた状態を示す指標が定義されていて（例えば、状態 A、状態 B・・・、又は、良好、通常、異常ではないが X X の傾向がある等）、状態判定部は、第 1 スコア～第 4 スコアに基づいて、予め定義された状態を示す指標の何れであるかを判定する処理を行う。更に、状態判定部は、判定した 1 つ又は複数の状態を示す指標に基づいて、装置 2 0 の状態を判定してもよい。

また、出力部 1 8 は、状態判定部が判定した状態を示す指標や状態判定部が判定した状態をリアルタイムに出力してもよい。

【 0 0 5 6 】

（効果）

以上説明したように、本実施形態によれば、1 つのスコアだけでなく、複数の観点から算出されたスコアを用いて異常検知を行う。これにより、機器ごとの状態を定義する指標に基づいて、その指標が一定の条件となるように調整したうえで、異常度を評価できるた

10

20

30

40

50

め、誤検知を防ぎ、異常検知の精度を向上することができる。より具体的には、一般的な教師なしの異常検知手法であるMT法、k近傍法、LOFといったデータの分布に基づき異常度を評価する手法やそれらに寄与した指標を提示するだけの手法と異なり、データ確率密度を推定し、複数の条件における条件付き確率から総合的に異常度を評価できるため、誤検知を防ぎ、異常検知の精度を向上することができる。また、第1スコア～第4スコアは、監視対象のパラメータが観測される様々な確率に基づく値である。各スコアの背景となっている確率の内容を把握することができる。つまり、本実施形態によれば、各スコアの意味についてユーザへの説明性を向上することができる。スコアの意味を把握することにより異常箇所の特定や異常時の対処、ユーザによる監視業務の質、精度を高めることができる。また、レポート100によれば、第1スコア～第4スコアの長期トレンドを確認することができる。これにより、装置20の中長期的評価が可能になり、その評価結果を予防保全に活用することができる。

10

また、本実施形態によれば、1つのスコアだけでなく、複数の観点から算出されたスコアを用いて状態監視を行うことができる。

【0057】

図7は、実施形態に係る予測システムのハードウェア構成の一例を示す図である。

コンピュータ900は、CPU901、主記憶装置902、補助記憶装置903、入出力インタフェース904、通信インタフェース905を備える。

上述の異常検知システム10は、コンピュータ900に実装される。そして、上述した各機能は、プログラムの形式で補助記憶装置903に記憶されている。CPU901は、プログラムを補助記憶装置903から読み出して主記憶装置902に展開し、当該プログラムに従って上記処理を実行する。また、CPU901は、プログラムに従って、記憶領域を主記憶装置902に確保する。また、CPU901は、プログラムに従って、処理中のデータを記憶する記憶領域を補助記憶装置903に確保する。

20

【0058】

なお、異常検知システム10の全部または一部の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録された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各機能部による処理を行ってもよい。ここでいう「コンピュータシステム」とは、OSや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータシステム」は、WWWシステムを利用している場合であれば、ホームページ提供環境（あるいは表示環境）も含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、CD、DVD、USB等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。また、このプログラムが通信回線によってコンピュータ900に配信される場合、配信を受けたコンピュータ900が当該プログラムを主記憶装置902に展開し、上記処理を実行しても良い。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良く、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。

30

異常検知システム10は、複数のコンピュータ900によって構成されていても良い。

【0059】

以上のとおり、本開示に係るいくつかの実施形態を説明したが、これら全ての実施形態は、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を意図していない。例えば、第4スコアを採用せずに、第1スコア～第3スコアの3つのスコアを算出したうえで、これらのスコアのうち値が最も大きいスコアに基づいて異常を検知してもよい。これらの実施形態は、その他の様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、変更を行うことができる。これらの実施形態及びその変形は、発明の範囲や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。

40

【0060】

<付記>

50

各実施形態に記載の異常検知システム 10、異常検知方法およびプログラムは、例えば以下のように把握される。

【0061】

(1) 第1の態様に係る異常検知システム 10は、監視対象の装置の稼働データを取得するデータ取得部 11と、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第1パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出するスコア算出部 12と、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知する異常検知部 15と、を備える。

10

複数のスコアに基づいて、異常検知を行うことにより、誤検知を防ぎ、検知精度を向上することができる。複数のスコアは、監視対象のパラメータが観測される複数種類の確率に基づく値であるので、ユーザは、複数種類の確率の算出内容を把握することで、各スコアの意味を理解することができる。つまり、スコアの説明性を向上することができる。

【0062】

(2) 第2の態様に係る異常検知システム 10は、(1)の異常検知システム 10であって、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記装置の運転状態に係る計測値である第2パラメータが示す運転状態において、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である。

これにより、現在の運転状態において第1パラメータの値が観測される確率を算出し、例えば、この確率が低い値が観測された場合に、現在の運転状態において異常な値が観測されたと判定することができる。また、当該確率に基づく第2スコアを監視することにより、パラメータが示す挙動のうち“劣化”を判断することができる。

20

【0063】

(3) 第3の態様に係る異常検知システム 10は、(1)～(2)の異常検知システム 10であって、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記第1パラメータとの関係性が強い所定の計測値である第3パラメータについて、前記稼働データに含まれる前記第3パラメータの値が観測されたときに、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である。

これにより、関係性が強い他のパラメータの値に対して第1パラメータの値が観測される確率を算出し、例えば、この確率が低い値が観測された場合に、第1パラメータ又は関係性が強いパラメータにおいて異常な値が観測されたと判定することができる。また、当該確率に基づく第3スコアを監視することにより、パラメータが示す挙動のうち“乖離”を判断することができる。

30

【0064】

(4) 第4の態様に係る異常検知システム 10は、(1)～(3)の異常検知システム 10であって、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記第1パラメータを除く複数の他の計測値である第4パラメータについて、前記稼働データに含まれる第4パラメータの値が観測されたときに、当該稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率である。

40

これにより、他のパラメータの値に対して第1パラメータの値が観測される確率を算出し、例えば、この確率が低い値が観測された場合に、第1パラメータ又は他のパラメータにおいて異常な値が観測されたと判定することができる。また、当該確率に基づく第4スコアを監視することにより、パラメータが示す挙動のうち“振動”を判断することができる。

【0065】

(5) 第5の態様に係る異常検知システム 10は、(1)～(4)の異常検知システム 10であって、複数の前記スコアのうちの1つに係る前記確率は、前記稼働データに含まれる前記第1パラメータの値が観測される確率密度である。

これにより、第1パラメータがとりうる値の中で今回の第1パラメータの値が観測される確率を算出し、例えば、この確率が低い値が観測された場合に、第1パラメータについ

50

て異常な値が観測されたと判定することができる。また、当該確率に基づく第 1 スコアを監視することにより、パラメータが示す挙動のうち“ 突変 ”を判断することができる。

【 0 0 6 6 】

(6) 第 6 の態様に係る異常検知システム 1 0 は、(1) ~ (5) の異常検知システム 1 0 であって、前記異常検知部 1 5 は、複数の前記スコアのうち値が最も大きいスコアに基づいて異常を検知する。

これにより、異常を最も端的に表すスコアをユーザへ通知することができ、異常の判断に役立てることができる。

【 0 0 6 7 】

(7) 第 7 の態様に係る異常検知システム 1 0 は、(1) ~ (6) の異常検知システム 1 0 であって、前記異常検知部 1 5 が検知した異常を出力する出力部 1 8、をさらに備える。

10

【 0 0 6 8 】

(8) 第 8 の態様に係る異常検知システム 1 0 は、(1) ~ (7) の異常検知システム 1 0 であって、前記装置 2 0 が正常な運転状態にあるときの前記稼働データに基づいて、前記スコア算出部 1 2 が算出した複数種類の前記スコアのそれぞれについて、前記スコアが正常である範囲を示す前記判定モデル 1 ~ 4 を作成する判定モデル作成部 (学習部 1 4)、をさらに備える。

これにより、スコア算出部が算出したスコアについて異常か否かの評価を行うことができる。

【 0 0 6 9 】

20

(9) 第 8 の態様に係る異常検知システム 1 0 は、(1) ~ (8) の異常検知システム 1 0 であって、複数種類の前記スコアの推移を示すグラフを含むレポートを作成するレポート作成部 1 7 をさらに備える。

スコアの推移を確認することで、装置 2 0 の異常について経時的な変化の評価を行うことができる。グラフに示す推移の範囲を例えば 1 年以上とすることで、装置 2 0 の中長期的な評価を行うことができる。

【 0 0 7 0 】

(1 0) 第 1 0 の態様に係る予測方法では、異常検知システムが、監視対象の装置の稼働データを取得し、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第 1 パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知する。

30

【 0 0 7 1 】

(1 1) 第 1 1 の態様に係るプログラムは、コンピュータに、監視対象の装置の稼働データを取得し、前記稼働データに含まれる監視対象の計測値である第 1 パラメータの値について、当該値が観測される確率を、異なる方法を用いて複数種類算出し、複数種類の前記確率のそれぞれについて、異常の程度を示すスコアを算出し、複数の前記スコアと、判定モデルと、に基づいて、複数の前記スコアそれぞれについて異常か否かを判定し、複数の前記判定の結果に基づいて、前記装置の異常を検知する処理を実行させる。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 7 2 】

1 0 . . . 異常検知システム

1 1 . . . データ取得部

1 2 . . . スコア算出部

1 3 . . . 設定受付部

1 4 . . . 学習部

1 5 . . . 異常検知部

1 6 . . . 記憶部

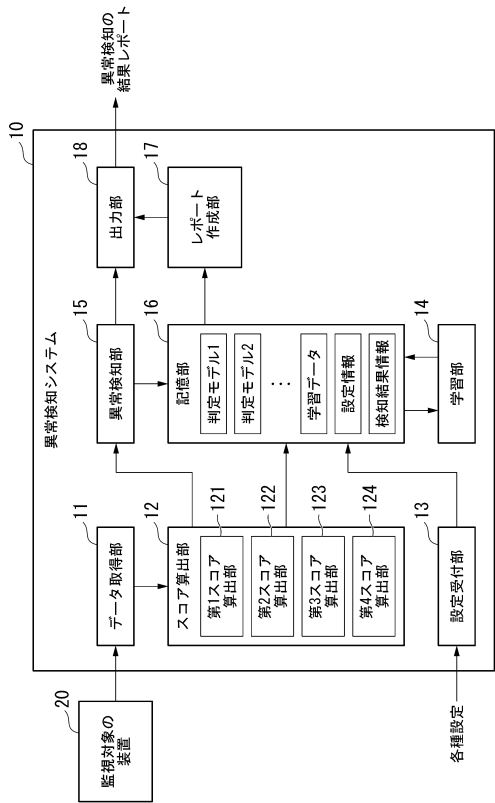
1 7 . . . レポート作成部

50

- 1 8 . . . 出力部
- 2 0 . . . 装置
- 9 0 0 . . . コンピュータ
- 9 0 1 . . . C P U
- 9 0 2 . . . 主記憶装置
- 9 0 3 . . . 補助記憶装置
- 9 0 4 . . . 入出力インタフェース
- 9 0 5 . . . 通信インタフェース

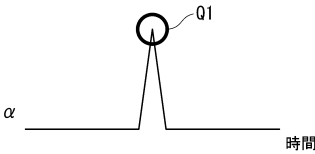
【図面】

【図 1】



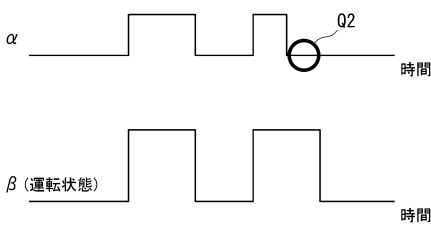
【図 2 A】

第 1 スコア : $p(\alpha)$

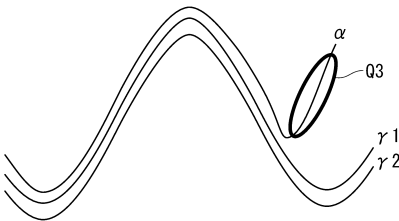


【図 2 B】

第 2 スコア : $p(\alpha \mid \text{運転状態})$



【図 2 C】



10

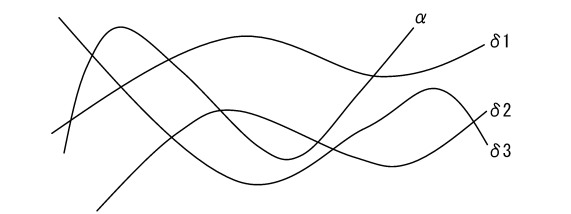
20

30

40

50

【図 2 D】

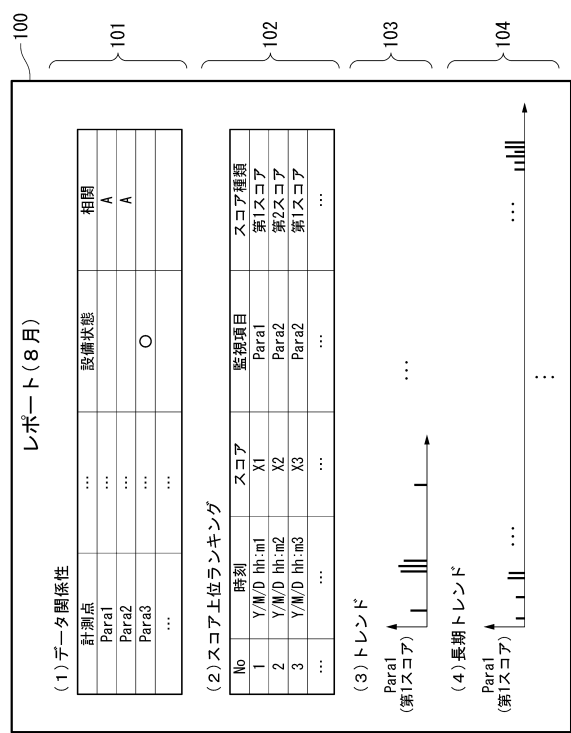


【図 3】

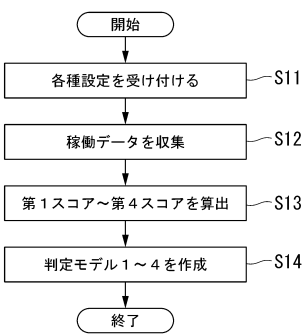
事象	意味	第1スコア	第2スコア	第3スコア	第4スコア
突変	あるパラメータが時間的に急峻な変化をする	◎	○	○	○
劣化	あるパラメータの値が時間的に漸減・漸増する等の変化をする	○	◎	△	△
乖離	あるパラメータの値が、類似の他のパラメータの値から乖離する	×	×	◎	△
振動	あるパラメータの変動の周波数成分が急に早くなるなどの変化をする	△	○	△	◎

10

【図 4】



【図 5】



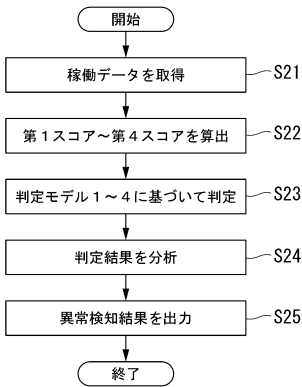
20

30

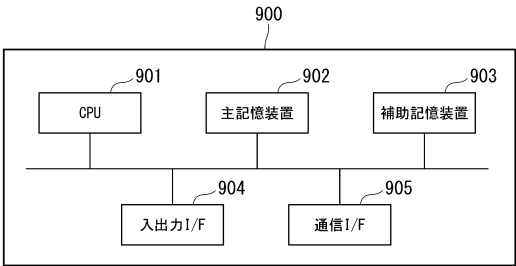
40

50

【図 6】



【図 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

三菱重工業株式会社内
(72)発明者 若杉 一幸
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
(72)発明者 酒井 渉
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 三菱重工業株式会社内
審査官 影山 直洋
(56)参考文献 国際公開第 2 0 2 0 / 1 9 4 5 3 4 (W O , A 1)
特開 2 0 1 9 - 9 6 0 1 4 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 5 B 2 3 / 0 2