

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7168127号
(P7168127)

(45)発行日 令和4年11月9日(2022.11.9)

(24)登録日 令和4年10月31日(2022.10.31)

(51)国際特許分類 F I
G 0 5 B 23/02 (2006.01) G 0 5 B 23/02 T

請求項の数 14 (全26頁)

| | | | |
|-------------|-----------------------------|----------|--|
| (21)出願番号 | 特願2022-528363(P2022-528363) | (73)特許権者 | 000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 |
| (86)(22)出願日 | 令和2年6月5日(2020.6.5) | (74)代理人 | 100109612 弁理士 倉谷 泰孝 |
| (86)国際出願番号 | PCT/JP2020/022242 | (74)代理人 | 100153176 弁理士 松井 重明 |
| (87)国際公開番号 | WO2021/245898 | (74)代理人 | 100116643 弁理士 伊達 研郎 |
| (87)国際公開日 | 令和3年12月9日(2021.12.9) | (72)発明者 | 田口 直樹 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 |
| 審査請求日 | 令和4年6月22日(2022.6.22) | (72)発明者 | 穂苅 寛光 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 |
| 早期審査対象出願 | | | |

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 故障予兆検知装置、故障予兆検知方法、故障予兆検知プログラム、学習装置、学習済みの学習モデルの生成方法、学習済みの学習モデル生成プログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

故障予兆検知対象の機器の故障予兆検知対象時における推定用データ及び比較用データを取得する取得部と、

学習モデルを用いて前記推定用データから、前記比較用データの正常運転時における推定値を算出する推定部と、

前記推定値と前記比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、前記機器の故障予兆を検知する検知部と、

前記取得部が取得した推定用データ及び比較用データのうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯の前記推定用データ及び前記比較用データを選定し、前記推定部及び前記検知部へ出力する前処理部と、を備え、

前記推定部は、前記前処理部が選定した前記推定用データを用いて前記推定値を算出し、前記検知部は、前記推定値と前記前処理部が選定した前記比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、前記機器の故障予兆を検知することを特徴とする故障予兆検知装置。

【請求項2】

前記検知部は、前記推定値と前記実測値との乖離度を算出し、前記乖離度が時間の経過に伴い増加する場合に、前記機器の故障予兆を検知する

ことを特徴とする請求項1に記載の故障予兆検知装置。

【請求項3】

前記検知部は、前記乖離度が前記複数時刻において所定の閾値を超えた場合に、前記機器の故障予兆又は前記機器周囲の環境変化を検知することを特徴とする請求項 2 に記載の故障予兆検知装置。

【請求項 4】

前記検知部は、
前記乖離度が前記閾値を超えた時間が所定の時間未満である場合に、前記機器周囲の短期的環境変化を検知する短期的乖離検知部と、
前記乖離度が前記閾値を超えた時間が所定の時間以上である場合に、前記機器の故障予兆又は前記機器周囲の長期的環境変化を検知する長期的乖離検知部と、
を備えることを特徴とする請求項 3 に記載の故障予兆検知装置。

10

【請求項 5】

前記故障予兆検知装置は、前記故障予兆検知装置のユーザーへ故障予兆の報知を行う報知装置に接続され、
前記故障予兆検知装置は、さらに、
前記長期的乖離検知部が故障予兆を検知した場合に、前記故障予兆の報知をさせる制御信号を前記報知装置に送信する制御部を備える
ことを特徴とする請求項 4 に記載の故障予兆検知装置。

【請求項 6】

前記故障予兆検知装置は、さらに、
前記長期的乖離検知部が前記長期的環境変化を検知した場合に、前記長期的乖離検知部が前記長期的環境変化を検知した時刻より後の時間帯の前記推定用データ及び前記比較用データを学習用データとして用いて、前記学習モデルの再学習を行う再学習部を備える
ことを特徴とする請求項 4 に記載の故障予兆検知装置。

20

【請求項 7】

前記機器は空調機であり、
前記検知部は、前記空調機に備えられたセンサーが取得した前記推定用データと前記比較用データとに基づき、前記空調機の故障予兆を検知する
ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の故障予兆検知装置。

【請求項 8】

前記推定部は、前記学習モデルを用いて前記推定用データから前記空調機の圧縮機周波数の推定値を算出し、
前記検知部は、前記推定部が算出した圧縮機周波数の推定値と、前記比較用データが示す圧縮機周波数の実測値とに基づき、前記空調機の故障予兆を検知する
ことを特徴とする請求項 7 に記載の故障予兆検知装置。

30

【請求項 9】

前記機器は F A 機器であり、
前記検知部は、前記 F A 機器に備えられたセンサーが取得した前記推定用データと前記比較用データとに基づき、前記 F A 機器の故障予兆を検知する
ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の故障予兆検知装置。

【請求項 10】

機器の正常運転時における学習用データを取得する学習用取得部と、
前記学習用データのうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯のデータを学習モデルの学習に用いるデータとして選定する学習用前処理部と、
前記学習用前処理部により選定された前記学習用データを用いて前記学習モデルの学習を行う学習部と、
前記学習モデルの評価値を算出する評価部と、
複数の前記選定閾値を取得し、前記学習用前処理部の選定、前記学習部の学習、及び前記評価部の評価からなる一連の処理である探索処理を前記選定閾値毎に繰り返し行う反復処理を実行させる学習制御部と、を備え、
前記学習制御部は、所定の終了条件に基づき、前記反復処理を終了し、前記反復処理を終

40

50

了した時点で、前記評価値が最も高かった前記探索処理における前記選定閾値を最終的な前記選定閾値として特定することを特徴とする学習装置。

【請求項 1 1】

故障予兆検知対象の機器の故障予兆検知対象時における推定用データ及び比較用データを取得する取得工程と、

学習済みの学習モデルを用いて前記推定用データから、前記比較用データの正常運転時における推定値を推定する推定工程と、

前記推定値と前記比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、前記機器の故障予兆を検知する検知工程と、

前記取得工程で取得した推定用データ及び比較用データのうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯の前記推定用データ及び前記比較用データを選定する前処理工程と、を含み、前記推定工程では、前記前処理工程で選定した前記推定用データを用いて前記推定値を算出し、

前記検知工程では、前記推定値と前記前処理工程で選定した前記比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、前記機器の故障予兆を検知する

ことを特徴とする故障予兆検知方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の全工程をコンピュータに実行させる故障予兆検知プログラム。

【請求項 1 3】

機器の正常運転時における学習用データを取得する学習用取得工程と、

前記学習用データのうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯のデータを学習モデルの学習に用いるデータとして選定する学習用前処理工程と、

前記学習用前処理工程で選定された前記学習用データを用いて前記学習モデルの学習を行う学習工程と、

前記学習モデルの評価値を算出する評価工程と、

複数の前記選定閾値を取得し、前記学習用前処理工程の選定、前記学習工程の学習、及び前記評価工程の評価からなる一連の処理である探索処理を前記選定閾値毎に繰り返し行う反復処理を実行させる学習制御工程と、を含み、

前記学習制御工程では、所定の終了条件に基づき、前記反復処理を終了し、前記反復処理を終了した時点で、前記評価値が最も高かった前記探索処理における前記選定閾値を最終的な前記選定閾値として特定する

ことを特徴とする学習済みの学習モデルの生成方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の全工程をコンピュータに実行させる学習済みの学習モデル生成プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、故障予兆検知装置、故障予兆検知方法、故障予兆検知プログラム、学習装置、学習済みの学習モデルの生成方法、及び学習済みの学習モデル生成プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

機器のセンサーデータを用いて、機器の故障予兆を検知する技術が提案されている（例えば、特許文献 1）。通常、故障予兆時のデータ量は少ないため、正常時のデータのみを用いて学習させた正常運転時の学習モデルを生成し、学習モデルによる予測値と取得データが示す実測値との乖離が閾値以上である場合は故障予兆と検知する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【文献】特願 2015 - 58673 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の技術では、実際には機器が劣化していなくとも、外的要因に起因する機器周辺の環境変化により、実測値が予測値と乖離してしまった場合に故障予兆と誤検知してしまう可能性がある。

本発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、より適切に故障の予兆を検知する故障予兆検知装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係る故障予兆検知装置は、故障予兆検知対象の機器の故障予兆検知対象時における推定用データ及び比較用データを取得する取得部と、学習モデルを用いて推定用データから、比較用データの正常運転時における推定値を算出する推定部と、推定値と比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知する検知部と、取得部が取得した推定用データ及び比較用データのうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯の推定用データ及び比較用データを選定し、推定部及び検知部に出力する前処理部と、を備え、推定部は、前処理部が選定した推定用データを用いて推定値を算出し、検知部は、推定値と前処理部が選定した比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知することを特徴とする。

【発明の効果】

【0006】

本発明に係る故障予兆検知装置は、推定値と比較用データが示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知する検知部を備えたので、機器周辺の環境変化を故障の予兆であると誤検知する可能性を低減し、より適切に故障の予兆を検知することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施の形態1に係る故障予兆検知システム1000の構成を示す構成図である。

【図2】実施の形態1に係る空調システム2000の構成を示す構成図である。

【図3】実施の形態1に係る故障予兆検知装置100及び発報装置300の構成を示す構成図である。

【図4】実施の形態1に係る故障予兆検知装置100のハードウェア構成を示すハードウェア構成図である。

【図5】実施の形態1に係る故障予兆検知装置100の動作を示すフローチャートである。

【図6】実施の形態1に係る短期的乖離検知部51が短期的環境変化を検知する処理を説明するための概念図である。

【図7】実施の形態1に係る長期的乖離検知部52が故障予兆又は長期的環境変化を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【図8】実施の形態1に係る長期的乖離検知部52が長期的環境変化を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【図9】実施の形態1に係る長期的乖離検知部52が故障予兆を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【図10】実施の形態1に係る学習装置200の構成を示す構成図である。

【図11】実施の形態1に係る学習用前処理部230の処理の具体例について説明するための概念図である。

【図12】評価値が高い場合の学習モデルの具体例を示す概念図である。

【図13】評価値が低い場合の学習モデルの具体例を示す概念図である。

【図14】実施の形態1に係る学習装置200のハードウェア構成を示すハードウェア構成図である。

10

20

30

40

50

【図 15】実施の形態 1 に係る学習装置の動作を示すフローチャートである。

【図 16】実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 100 及び学習装置 200 の変形例の構成を示す概念図である。

【図 17】実施の形態 2 に係る F A システム 3000 の構成を示す構成図である。

【図 18】実施の形態 2 に係る故障予兆検知装置 600 の構成を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 に係る故障予兆検知システム 1000 の構成を示す構成図である。故障予兆検知システム 1000 は故障予兆検知装置 100 と学習装置 200 とを備える。故障予兆検知装置 100 は学習装置 200 から学習済みの学習モデルを取得し、学習装置 200 は故障予兆検知装置 100 から学習用データを取得する。故障予兆検知装置 100 の詳細については、以下の推定フェーズで説明し、学習装置 200 の詳細については、以下の学習フェーズで説明する。推定フェーズは、故障予兆検知装置 100 が機器の故障予兆を学習済みの学習モデルを用いて検知するフェーズであり、学習フェーズは、学習装置 200 が推定フェーズで故障予兆検知装置 100 が用いる学習モデルの学習を行うフェーズである。

10

【0009】

<推定フェーズ>

図 2 は実施の形態 1 における空調システム 2000 の構成を示す構成図である。空調システム 2000 は、故障予兆検知装置 100、空調コントローラ 300、報知装置 400、複数の室外機 O U (O U 1 , O U 2 , . . . O U n) 及び複数の室内機 I U (I U 1 1 , I U 1 2 , . . . I U 1 p , I U 2 1 , I U 2 2 , . . . I U 2 q , I U n 1 , I U n 2 , . . . I U n r) を備える。ここで、n、p、q、及び r は任意の正の整数である。以下では、特定の室外機を指す場合には、O U の後に追加の符号を付し、任意の室外機または全室外機を指す場合には O U のみで表記することとする。室内機についても同様に、特定の室内機を指す場合には、I U の後に追加の符号を付し、任意の室内機または全室内機を指す場合には I U のみで表記することとする。符号の付し方については、後述する空調機 A C、室外センサー O U S、室内センサー I U S、受付部 I U R についても同様である。また、室外機 O U と室内機 I U とを合わせて空調機 A C と呼ぶこととする。実施の形態 1 において、機器は空調機 A C である。

20

【0010】

故障予兆検知装置 100 は、機器の故障予兆を検知する装置であり、詳細については後述する。

【0011】

報知装置 400 は、故障予兆検知装置 100 からの信号に基づき、故障予兆検知装置 100 のユーザーに発報を行うものである。詳細については、故障予兆検知装置 100 とともに後述する。

【0012】

空調コントローラ 300 は、全室外機 O U 及び全室内機 I U を集中コントロールするコントローラであり、全室外機 O U 及び全室内機 I U の情報を集約している。また、空調コントローラ 300 は、故障予兆検知装置 100 が送信した情報を受信する通信インターフェースと、受信した情報に基づいて室外機 O U 及び室内機 I U を制御するためのプロセッサ及びメモリを備えている。

40

【0013】

各室外機 O U には複数の室内機 I U が接続されており、例えば室外機 O U 1 には室内機 I U 1 (I U 1 1 , I U 1 2 , . . . I U 1 p) が接続される。空調コントローラ 300 と室内機 I U 及び室外機 O U は電磁的方法により接続され、接続される方法は有線か無線かを問わない。また、空調コントローラ 300 は室内機 I U 及び室外機 O U が設置された建築物と同じ建築物に設置される構成でも、遠隔地に備えられ、ネットワーク経由で

50

接続される構成であってもよい。

【 0 0 1 4 】

各室外機 O U は、接続された室内機 I U とともに室内の空調を行う空調機 A C (A C 1 , A C 2 , . . . A C n) を構成する。また、各室外機 O U は、当該室外機 O U が設置された室外の環境及び室外機 O U の状態を検知し、室外環境情報及び室外機情報を取得する室外センサー O U S (O U S 1 , O U S 2 , . . . O U S n) を備える。各室外センサー O U S は、取得した室外環境情報及び室外機情報を空調コントローラ 3 0 0 に出力する。ここで、室外環境情報とは、室外の環境を示すものであり、例えば、各時刻における室外温度や室外湿度等である。また、室外機情報とは室外機の状態を示すものであり、例えば、圧縮機周波数等である。

10

【 0 0 1 5 】

各室内機 I U は、当該室内機 I U が設置された室内の環境及び室内機の状態を検知し、室内環境情報及び室内機情報を取得する室内センサー I U S (I U S 1 1 , I U S 1 2 , . . . I U S 1 p , I U S 2 1 , I U S 2 2 , . . . I U S 2 q , I U S n 1 , I U S n 2 , . . . I U S n r) を備える。また、各室内機 I U は、ユーザーから設定情報を受け付ける受付部 I U R (I U R 1 1 , I U R 1 2 , . . . I U R 1 p , I U R 2 1 , I U R 2 2 , . . . I U R 2 q , I U R n 1 , I U R n 2 , . . . I U R n r) を備える。各室内機 I U は、取得した室内環境情報、室内機情報、受け付けた設定情報、及び空調機 A C の運転状態を示す運転情報を、室外機 O U を介して空調コントローラ 3 0 0 に出力する。ここで、室内環境情報とは、室内の環境を示すものであり、例えば、各時刻における室内温度及び室内湿度等である。設定情報は、受付部を介してユーザーにより設定される情報であり、例えば、室内機 I U が設置された部屋の環境値を目標値に到達させる目標時刻、目標温度、及び目標湿度等である。ここで、部屋の環境値とは、室内環境情報が示す値であり、目標値とは、設定情報が示す部屋の環境値の目標となる値である。

20

運転情報は、空調機 A C の運転状態を示すものであり、例えば、空調機 A C の運転能力、空調機 A C が起動状態か停止状態かを示す情報、並びに、空調機 A C が冷房モード、暖房モード及び除湿モードを含む運転モードのいずれのモードにあるかを示す情報等である。また、室内機 I U だけでなく、室外機 O U も運転情報を出力する構成としてもよい。ここで、運転能力とは、空調機 A C の空調能力の強さを示すものであり、例えば、室外機 O U の冷媒蒸発温度、凝縮温度、及び稼働する室内機 I U の台数等である。

30

【 0 0 1 6 】

また、上記において、室外機 O U 及び室内機 I U が、それぞれ室外センサー O U S 及び室内センサー I U S を備える構成としたが、各種センサーは室外機 O U 及び室内機 I U と独立して設ける構成としても良い。

【 0 0 1 7 】

図 3 は、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 及び報知装置 4 0 0 の構成を示す構成図である。先に報知装置 4 0 0 について説明し、その後に故障予兆検知装置 1 0 0 について説明する。

【 0 0 1 8 】

報知装置 4 0 0 は、故障予兆検知装置 1 0 0 からの信号に基づき、故障予兆検知装置 1 0 0 のユーザーへ報知を行うものであり、特に故障予兆の報知を行う。実施の形態 1 においては、ディスプレイ 4 1 0 とスピーカー 4 2 0 とを備える。

40

【 0 0 1 9 】

ディスプレイ 4 1 0 は、視覚を通してユーザーに報知を行うものであり、スピーカー 4 2 0 は、聴覚を通してユーザーに報知を行うものである。

【 0 0 2 0 】

次に、故障予兆検知装置 1 0 0 について説明する。故障予兆検知装置 1 0 0 は、接続された機器の故障予兆を検知する装置であり、より具体的には、学習モデルによる推定値と実測値とを複数時刻で比較することにより、機器の故障予兆と機器周囲の環境変化とを区別して、故障予兆及び環境変化を検知するものである。

50

【 0 0 2 1 】

実施の形態 1 において、故障予兆検知装置 1 0 0 は、取得部 1 0、記憶部 2 0、前処理部 3 0、推定部 4 0、検知部 5 0、制御部 6 0、及び再学習部 7 0 を備える。

【 0 0 2 2 】

取得部 1 0 は、故障予兆検知対象の機器の故障予兆検知対象時における推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 を取得するものである。

実施の形態 1 において、取得部 1 0 は、推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 を空調コントローラ 3 0 0 から取得する。また、推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 は、上記の室外環境情報、室外機情報、室内環境情報、室内機情報、設定情報、及び運転情報であり、これらをまとめて空調データと呼ぶこととする。また、実施の形態 1 において、比較用データは、空調機 A C の圧縮機周波数を示すものとし、推定用データは、圧縮機周波数以外の値、例えば、時間（スケジュール）、消費電力、室外温度、室内温度、設定温度、運転状態、冷媒温度、各種サーミスタ、ファン回転数、各種圧力センサーが示す値等の少なくともいずれか一つを示すものとする。ここでは、圧縮機周波数を比較用データとしたので、空調機全体において、いずれかの部位における故障予兆を精度良く検知することができるが、特定の部位ごとに故障予兆を検知したい場合には、入出力データを上記とは異なる情報を示すデータに適宜変更すればよい。

10

【 0 0 2 3 】

記憶部 2 0 は、各種情報を記憶するものである。実施の形態 1 において、記憶部 2 0 は、学習装置 2 0 0 によって学習を行った学習済みの学習モデル D 3、取得部 1 0 が取得した推定用データ D 1 及び比較用データ D 2、並びに、後述する検知部 5 0 の検知結果を比較用データ及び推定用データに付与した学習用データ D 7 及び評価用データ D 8 を記憶する。

20

【 0 0 2 4 】

記憶部 2 0 は、学習済みの学習モデル D 3、推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 をバッチで前処理部 3 0 に出力する。すなわち、記憶部 2 0 は、所定時間毎に、当該所定時間に記憶した空調データと、学習済みの学習モデル D 3 とを、前処理部 3 0 に出力する。

【 0 0 2 5 】

また、実施の形態 1 においては、記憶部 2 0 が各種データを記憶する構成を示したが、当該構成に限定されるものではない。記憶部 2 0 に替えて、通信ネットワーク N W 上に配置された単数または複数のネットワークストレージ装置（図示せず）が各種データを記憶し、当該ネットワークストレージ装置に前処理部 3 0、推定部 4 0 及び再学習部 7 0 がアクセスするように構成してもよい。これにより、取得部 1 0 が取得した空調データ、及び検知部 5 0 にて空調データに検知内容を付与した学習用データ D 7 及び評価用データ D 8 を記憶したデータベースを故障予兆検知装置 1 0 0 の外部に構築することができる。

30

【 0 0 2 6 】

前処理部 3 0 は、入力された推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 に対してデータの前処理を行い、前処理後の推定用データ D 4 を推定部 4 0 に出力し、前処理後の推定用データ D 4 及び前処理後の比較用データ D 5 を検知部 5 0 に出力するものである。より具体的には、前処理部 3 0 は、記憶部 2 0 から入力された時系列のバッチデータである空調データに対して、移動平均や使用データの選定などの処理を行い、前処理後の推定用データ D 4 を推定部 4 0 に出力するとともに、前処理後の推定用データ D 4 及び前処理後の比較用データ D 5 を検知部 5 0 に出力する。データの選定とは例えば、分散の小さい部分のみを用いる場合、その分散値の閾値を設けて閾値以下のデータを選定する。分散値の閾値は手動で設定しても良いし、後述する学習装置にて正常運転モデルを作成する際の評価値が最大時の分散値の閾値を用いる方法などがある。

40

【 0 0 2 7 】

実施の形態 1 において、前処理部 3 0 は、取得部 1 0 が取得した推定用データ D 1 及び比較用データ D 2 のうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯の推定用データ D 4 及び比較用データ D 5 を選定し、推定部 4 0 及び検知部 5 0 に出力する。

50

【 0 0 2 8 】

推定部 4 0 は、学習モデル D 3 を用いて推定用データ D 4 から、比較用データ D 5 の正常運転時における推定値を算出するものである。実施の形態 1 において、推定部 4 0 は、前処理部 3 0 が選定した推定用データ D 4 を用いて推定値を算出する。また、推定部 4 0 は、推定した推定値を示す推定データ D 6 を検知部 5 0 に出力する。

【 0 0 2 9 】

また、実施の形態 1 において、推定部 4 0 は、学習モデル D 3 を用いて推定用データ D 4 から空調機 A C の圧縮機周波数の推定値を算出する。

【 0 0 3 0 】

実施の形態 1 において、推定部 4 0 は、学習モデル D 3 として正常運転モデルを用いる。ここで、正常運転モデルとは、機器の正常運転時のデータを用いて機械学習した際に得られる学習モデルであり、故障予兆検知のための機器の正常な運転時の挙動を表したモデルである。すなわち、学習モデル D 3 は、空調データのうち比較用データ D 5 以外の情報を示す推定用データ D 4 を入力として、比較用データ D 5 が示す情報に対応する正常運転時における値を出力するものである。また、機械学習の方法としては、回帰分析等既存の学習方法を用いればよく、実施の形態 1 においても、学習方法としては回帰分析を用いる。

10

【 0 0 3 1 】

実施の形態 1 において、推定部 4 0 が算出する推定値は予測区間を有する。推定部 4 0 は、学習モデルの出力として予測区間を有する推定値を直接算出してもよいし、学習モデルの出力として実数値を算出した後に所定の幅を持たせることにより、予測区間を有する推定値を算出するようにしてもよい。

20

【 0 0 3 2 】

検知部 5 0 は、推定部 4 0 が算出した推定値と比較用データ D 5 が示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知するものである。実施の形態 1 において、検知部 5 0 は、推定部 4 0 が算出した推定値と前処理部 3 0 が選定した比較用データ D 5 が示す実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知する。

【 0 0 3 3 】

また、実施の形態 1 において、検知部 5 0 は、推定部が算出した圧縮機周波数の推定値と、比較用データが示す圧縮機周波数の実測値とに基づき、空調機の断熱不良を検知する。

30

【 0 0 3 4 】

また、実施の形態 1 において、検知部 5 0 は、推定値と実測値との乖離度を算出し、乖離度が時間の経過に伴い増加する場合に、機器の故障予兆を検知する。また、検知部 5 0 は、当該乖離度が複数時刻において所定の閾値を超えた場合に、機器の故障予兆又は機器周囲の環境変化を検知する。より具体的には、検知部 5 0 は、乖離度が所定の閾値を超えた箇所を抽出し、抽出した箇所のそれぞれに対して、後述する短期的乖離検知部 5 1 及び長期的乖離検知部 5 2 の処理を行うことにより、機器の故障予兆又は機器周囲の環境変化を検知する。これらの処理の詳細については、短期的乖離検知部 5 1 及び長期的乖離検知部 5 2 の説明の際に説明を行う。

【 0 0 3 5 】

実施の形態 1 において、検知部 5 0 は、乖離度として、予測区間と前処理済みの空調データとの最短距離を用いる。ここで、上記の距離は、空調データの基底によって張られる空間で測られる。また、予測区間内に空調データが含まれる場合には距離はゼロとする。この場合には、検知部 5 0 が、故障予兆又は環境変化を検知するための所定の閾値はゼロに設定すればよい。

40

【 0 0 3 6 】

実施の形態 1 において、検知部 5 0 は、短期的乖離検知部 5 1 と、長期的乖離検知部 5 2 とを備える。

【 0 0 3 7 】

短期的乖離検知部 5 1 は、乖離度が所定の閾値を超えた時間が所定の時間未満である場

50

合に、機器周囲の短期的環境変化を検知するものである。すなわち、短期的乖離検知部 51 は、推定部 40 が推定した推定値と、前処理部 30 から入力された比較用データ D5 が示す実測値とを比較し、一時的に乖離が確認された後、最終的に乖離が無くなった場合を検知する。そして、短期的乖離検知部 51 は、故障予兆検知対象の時間帯に短期的乖離が存在するか否かを示す検知内容 D9 を制御部 60 に出力する。

【0038】

例えば、実施の形態 1 では前処理済みの空調データが予測区間の外に一時的に存在し、一定時間後に予測区間内に存在した場合に、短期的乖離検知部 51 は短期的乖離を検知する。短期的乖離検知部 51 で検知した場合、空調の故障予兆でも長期的な環境の変化でもないため、短期間のみ乖離していたデータは短期的環境変化のラベルを付与し、学習用データ D7 として記憶部に記憶する。

10

【0039】

また、短期的環境変化とは、短期間のみ元の環境から変化し、ある程度の時間が経過すると元の環境に戻るような環境変化であり、例えば、窓の開閉等である。

上記の所定時間については、故障予兆の機器に応じて設定すればよく、例えば、空調機の場合では数分～数時間程度に設定すればよい。

【0040】

長期的乖離検知部 52 は、乖離度が所定の閾値を超えた時間が所定の時間以上である場合に、機器の故障予兆又は機器周囲の長期的環境変化を検知するものである。また、長期的乖離検知部 52 は、故障予兆検知対象の時間帯に長期的乖離が存在するか否か、また、存在する場合は、その乖離が故障予兆に起因するものなのか、長期的環境変化に起因するものなのかを示す検知内容 D9 を制御部 60 に出力する。

20

長期的環境変化とは、長期間において元の環境から変化するような環境変化であり、例えば、部屋のレイアウト変更等である。所定時間については、短期的乖離検知部 51 と同様に決定すればよく、同じ値を用いてもよい。

【0041】

例えば、実施の形態 1 では前処理済み空調データが予測区間の外に所定時間以上存在する場合に、長期的乖離検知部 52 は長期的乖離を検知する。

【0042】

また、実施の形態 1 において、長期的乖離検知部 52 は、乖離度が時間の経過に伴い増加する場合に、機器の故障予兆を検知する。また、長期的乖離検知部 52 は、乖離度が所定の閾値以上であるが、時間の経過に伴い増加しない場合に、長期的環境変化を検知する。これは、故障予兆の場合には、機器の不具合は時間の経過とともに大きくなるため乖離度は大きくなり、長期的環境変化の場合には、レイアウト変更等は、一度変化した後はほとんど時間変化せず、乖離度はほぼ一定になるという考えに基づくものである。

30

【0043】

より具体的には、長期的乖離検知部 52 は、比較用データが示す実測値と学習モデルによる推定値の距離を示す時系列データから、例えば、時間的に隣同士並んだデータの差分の積算値を算出する。環境の変化であれば、比較用データが示す実測値と学習モデルによる推定値は分散が小さく、時系列順の前ステップとの差分は小さいことが想定される。一方で、劣化による故障予兆であれば、実測値と推定値との距離は分散が徐々に大きくなり、時系列順の前ステップとの差分は大きいことが想定される。したがって、この差分の積算値が所定の閾値を超えたか否かを判定することにより、長期的な乖離が故障予兆に起因するものか、長期的環境変化によるものかを判別することができる。

40

【0044】

また、長期的環境変化を検知した場合、長期的乖離検知部 52 は、検知したタイミング以降のデータに長期的環境変化後のデータであることを示すラベルを付与し、学習用データ D7 として記憶部 20 に記憶させる。一方、故障の予兆を検知した場合、検知したタイミング以降のデータに故障予兆のデータであることを示すラベルを付与し、そのラベル付きデータは今後学習には用いず、後述する学習装置 200 で学習モデルの学習を行う際の

50

評価用データ D 8 として記憶部 2 0 に記憶させる。

【 0 0 4 5 】

制御部 6 0 は、検知部 5 0 の検知内容 D 9 に応じて各種制御を行うものである。実施の形態 1 において、制御部 6 0 は、長期的乖離検知部 5 2 が故障予兆を検知した場合に、故障予兆の報知をさせる制御信号 D 1 0 を報知装置に送信する。また、制御部 6 0 は、長期的乖離検知部 5 2 が長期的環境変化を検知した場合に、後述する再学習部 7 0 に学習モデルの再学習を行わせる制御信号 D 1 1 を送信する。

【 0 0 4 6 】

再学習部 7 0 は、長期的乖離検知部が長期的環境変化を検知した場合に、長期的乖離検知部が長期的環境変化を検知した時刻より後の時間帯の推定用データ及び比較用データを学習用データ D 7 として用いて、学習モデルの再学習を行うものである。より具体的には、再学習部 7 0 は、記憶部 2 0 に記憶された長期的環境変化後のラベルが付与されたデータを用いて再学習を行う。

10

【 0 0 4 7 】

次に、実施の形態 1 における故障予兆検知装置 1 0 0 のハードウェア構成について説明する。故障予兆検知装置 1 0 0 の各機能は、コンピュータにより実現される。図 4 は、故障予兆検知装置 1 0 0 を実現するコンピュータのハードウェア構成の例を示す構成図である。

【 0 0 4 8 】

図 4 に示したハードウェアには、CPU (Central Processing Unit) 等の処理装置 1 0 0 0 0 と、ROM (Read Only Memory) やハードディスク等の記憶装置 1 0 0 0 1 が備えられる。

20

【 0 0 4 9 】

図 3 に示す、取得部 1 0、記憶部 2 0、前処理部 3 0、推定部 4 0、検知部 5 0、制御部 6 0、及び再学習部 7 0 は、記憶装置 1 0 0 0 1 に記憶されたプログラムが処理装置 1 0 0 0 0 で実行されることにより実現され、記憶部 2 0 は記憶装置 1 0 0 0 1 により実現される。ここで、上記の構成は、単数の処理装置 1 0 0 0 0 及び記憶装置 1 0 0 0 1 により実現する構成に限らず、複数の処理装置 1 0 0 0 0 及び記憶装置 1 0 0 0 1 により実現する構成であってもよい。

【 0 0 5 0 】

また、故障予兆検知装置 1 0 0 の各機能を実現する方法は、上記したハードウェアとプログラムの組み合わせに限らず、処理装置にプログラムをインプリメントした LSI (Large Scale Integrated Circuit) のような、ハードウェア単体で実現するようにしてもよいし、一部の機能を専用のハードウェアで実現し、一部を処理装置とプログラムの組み合わせで実現するようにしてもよい。

30

【 0 0 5 1 】

以上のように、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は構成される。

【 0 0 5 2 】

次に、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 の動作について説明する。図 5 は、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 の動作を示すフローチャートである。故障予兆検知装置 1 0 0 の動作が故障予兆検知方法に対応し、故障予兆検知装置 1 0 0 の動作をコンピュータに実行させるプログラムが故障予兆検知プログラムに対応する。

40

また、取得部 1 0 の動作が取得工程に対応し、記憶部 2 0 の動作が記憶工程に対応し、前処理部 3 0 の動作が前処理工程に対応し、推定部 4 0 の動作が推定工程に対応し、検知部 5 0 の動作が検知工程に対応し、制御部 6 0 の動作が制御工程に対応し、再学習部 7 0 の動作が再学習工程に対応する。

【 0 0 5 3 】

まず、ステップ S 1 において、取得部 1 0 は、故障予兆検知対象の機器の故障予兆検知対象時における推定用データ及び比較用データを記憶部 2 0 から取得する。

【 0 0 5 4 】

50

次に、ステップ S 2 で、前処理部 3 0 は、推定用データ及び比較用データに対して前処理を実施する。より具体的には、前処理部 3 0 は、推定用データ及び比較用データのうち、センサー値の分散が小さいデータを選定し、推定部 4 0 及び検知部 5 0 に出力する。

【 0 0 5 5 】

次に、ステップ S 3 で、推定部 4 0 は、学習モデルを用いて推定用データから、比較用データの正常運転時における推定値を算出する。

【 0 0 5 6 】

次に、ステップ S 4 で、検知部 5 0 は、正常運転モデルにより推定された推定値と、比較用データが示す実測値との乖離度を算出する。

【 0 0 5 7 】

次に、ステップ S 5 で、検知部 5 0 は、乖離度が所定の閾値を超えている箇所を乖離部分データとして抽出する。ここで、乖離部分データは推定値と推定用データがセットになったものである。故障予兆検知装置 1 0 0 は、抽出した各乖離部分データに対して、ステップ S 6 からステップ S 1 4 までの処理を抽出乖離部分数繰り返し実施する。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 6 において、短期的乖離検知部 5 1 は、推定値と実測値との間に短期的な乖離が無いかを判定する。

【 0 0 5 9 】

短期的乖離検知部 5 1 が、短期的環境変化を検知する処理の具体例について、図 6 を用いて説明する。

図 6 は、実施の形態 1 に係る短期的乖離検知部 5 1 が短期的環境変化を検知する処理を説明するための概念図である。

図 6 において、実線が回帰曲線 C 1、幅を持った帯状の曲線が予測区間 I 1、白丸が取得した空調データ A 1 を示す。ここで、推定用データが示す値が空調データ A 1 の横軸の値に対応し、比較用データが示す値が空調データ A 1 の縦軸の値に対応する。また、回帰曲線 C 1 は、推定用データを学習モデル入力したときの出力として得られるものである。ここで、回帰曲線 C 1 と予測区間 I 1 とを合わせて推定値と呼ぶこととする。

【 0 0 6 0 】

短期的乖離検知部 5 1 は、図 6 に示すある時間帯 T 1 において、乖離度が所定の閾値を超えている、すなわち、空調データ A 1 に予測区間 I 1 の範囲に入っておらず推定値と実測値とが乖離しているデータが存在することを検知する。そして、短期的乖離検知部 5 1 は、推定値と実測値とが乖離している時間帯 T 1 と所定の時間 T 2 とを比較し、T 1 が T 2 より短い場合に短期的環境変化を検知する。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 6 で N O と判定された場合、すなわち、短期的な乖離が有ると判定された場合は、ステップ S 7 へと進み、短期的乖離検知部 5 1 は、ステップ S 5 で短期的な乖離が有ると判定されたことをもって、短期的環境変化を検知する。

【 0 0 6 2 】

ステップ S 6 で Y E S と判定された場合、すなわち、短期的な乖離が無いと判定された場合は、ステップ S 8 へと進む。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 8 において、長期的乖離検知部 5 2 は、推定値と実測値との間に長期的な乖離があるかを判定する。

【 0 0 6 4 】

長期的乖離検知部 5 2 が、故障予兆又は長期的環境変化を検知する処理の具体例について、図 7 を用いて説明する。

図 7 は、実施の形態 1 に係る長期的乖離検知部 5 2 が故障予兆又は長期的環境変化を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【 0 0 6 5 】

図 6 と同様に、図 7 において、実線は回帰曲線 C 2、幅を持った帯状の曲線が予測区間

10

20

30

40

50

I 2、白丸が取得した空調データ A 2 を示す。

長期的乖離検知部 5 2 は、図 7 に示すある時間帯 T 3 において、乖離度が所定の閾値を超えている、すなわち、空調データ A 2 に予測区間 I 2 の範囲に入っておらず推定値と実測値とが乖離しているデータが存在することを検知する。そして、長期的乖離検知部 5 2 は、推定値と実測値とが乖離している時間帯 T 3 と所定の時間 T 2 とを比較し、T 3 が T 2 より長い場合に故障予兆又は長期的環境変化を検知する。

【 0 0 6 6 】

ステップ S 8 において N O と判定された場合、この場合には、正常運転時の値と実測値との間に乖離がないので、故障予兆検知装置 1 0 0 は、故障予兆及び環境変化なしと判断し、動作を終了する。

【 0 0 6 7 】

ステップ S 8 において Y E S と判定された場合、ステップ S 9 に進み、長期的乖離検知部 5 2 は、前後のデータにおける乖離度の差分の積算値を、乖離部分データの最初から最後まで算出する。

【 0 0 6 8 】

次に、ステップ S 1 0 において、長期的乖離検知部 5 2 は、差分の積算値が閾値以上か否かを判定する。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 1 0 で N O と判定された場合、ステップ S 1 1 に進み、長期的乖離検知部 5 2 は、差分の積算値が閾値以上でないことをもって、長期的環境変化を検知する。また、ステップ S 1 0 で Y E S と判定された場合、ステップ S 1 2 に進み、長期的乖離検知部 5 2 は、差分の積算値が閾値以上であることをもって、故障予兆を検知する。

【 0 0 7 0 】

上記のステップ S 9 からステップ S 1 2 において、長期的乖離検知部 5 2 は、ステップ S 8 で検知した長期的な乖離が、機器の故障予兆によるものか、それとも長期的な環境変化によるものかを判定する。以下で、ステップ S 9 からステップ S 1 2 の処理の具体例について説明する。

【 0 0 7 1 】

図 8 を用いて、実施の形態 1 に係る長期的乖離検知部 5 2 が長期的環境変化を検知する処理について説明する。図 8 は、実施の形態 1 に係る長期的乖離検知部 5 2 が長期的環境変化を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【 0 0 7 2 】

図 8 の左に示されるのが、乖離度の時間変化であり、図 8 の右に示されるのが乖離度の積算値である。長期的乖離検知部 5 2 は、ある時刻の乖離度とその前の時刻の乖離度との差を積算し、積算値が所定の閾値以上か否かを確認する。図 8 に示されるように、乖離度がほぼ一定であり、積算値が所定の閾値未満である場合、長期的乖離検知部 5 2 は長期的環境変化を検知する。

【 0 0 7 3 】

次に、図 9 を用いて、実施の形態 1 に係る長期的乖離検知部 5 2 が故障予兆を検知する処理について説明する。図 9 は、実施の形態 1 に係る長期的乖離検知部 5 2 が故障予兆を検知する処理の具体例について説明するための概念図である。

【 0 0 7 4 】

図 8 と同様に、図 9 の左に示されるのが、乖離度の時間変化であり、図 9 の右に示されるのが乖離度の積算値である。長期的乖離検知部 5 2 は、ある時刻の乖離度とその前の時刻の乖離度とを積算し、積算値が所定の閾値以上か否かを確認する。図 9 に示されるように、乖離度が時間の経過に伴い増加し、積算値が所定の閾値以上である場合、長期的乖離検知部 5 2 は故障予兆を検知する。

【 0 0 7 5 】

図 5 のフローチャートに戻り、動作の続きについて説明を行う。

ステップ S 7、ステップ S 1 1 及びステップ S 1 2 の後はステップ S 1 3 に進む。短期

10

20

30

40

50

的乖離検知部 5 1 又は長期的乖離検知部 5 2 は、乖離を検知した場合、乖離部分のデータに検知結果のラベルを付与し、ラベル付きのデータを記憶部に記憶させる。また、短期的乖離検知部 5 1 または長期的乖離検知部 5 2 は、検知内容を制御部に出力する。

【 0 0 7 6 】

最後にステップ S 1 4 において、制御部 6 0 は、受信した検知内容に基づいて各種制御を行う。例えば、検知内容が長期的環境変化である場合、制御部 6 0 は、再学習部に再学習を行わせ、検知内容が故障予兆である場合、報知装置 4 0 0 に故障予兆を知らせる報知を行わせる。また、検知内容が短期的環境変化である場合、制御部 6 0 は、報知装置 4 0 0 に短期的環境変化を知らせる報知を行わせてもよいし、あるいは、ステップ S 1 4 の処理を省略しても良い。

10

故障予兆検知装置 1 0 0 は、ステップ S 6 からステップ S 1 4 までの処理を抽出乖離部分数繰り返す。

【 0 0 7 7 】

以上のような動作により、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、推定値と実測値との複数時刻における比較結果に基づいて、機器の故障予兆を検知するので、機器周辺の環境変化を故障の予兆であると誤検知する可能性を低減し、より適切に故障の予兆を検知することができる。

【 0 0 7 8 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、推定値と実測値との乖離度を算出し、乖離度が時間の経過に伴い増加する場合に、機器の故障予兆を検知するようにしたので、レイアウト変更のような長期的な環境変化を故障予兆と誤検知することをより適切に防止し、故障予兆をより適切に検知することができる。

20

【 0 0 7 9 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、乖離度が複数時刻において所定の閾値を超えた場合に、機器の故障予兆又は機器周囲の環境変化を検知するようにしたので、一瞬だけ閾値を超えた場合に故障予兆と誤検知することをより適切に防止することができる。

【 0 0 8 0 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、乖離度が閾値を超えた時間が所定の時間未満である場合に、機器周囲の短期的環境変化を検知し、乖離度が閾値を超えた時間が所定の時間以上である場合に、機器の故障予兆又は長期的環境変化を検知するようにしたので、環境変化の中でも短期的環境変化と長期的環境変化を区別し、より適切に故障予兆の誤検知を防止することができる。

30

また、環境変化に起因する乖離があったとしても、室内のレイアウト変更等の長期的な環境変化があった場合は学習モデルの再学習が必要になるが、窓を開けただけの様な、短期的な環境変化しかない場合には、学習モデルの再学習が必要ない場合も存在する。そうした長期的環境変化と短期的環境変化も区別して検知することで、再学習の必要性の有無を判別することができる。

【 0 0 8 1 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯の推定用データ及び比較用データを選定し、検知部に出力するようにしたので、分散値が大きく不安定な時間帯のデータを検知に用いて故障予兆を誤検知することをより適切に防止することができる。

40

【 0 0 8 2 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、故障予兆検知装置 1 0 0 のユーザーへ報知を行う報知装置 4 0 0 に接続され、故障予兆を検知した場合に、報知装置 4 0 0 から報知を行うようにしたので、検知した故障予兆をユーザーに認識させることができる。

【 0 0 8 3 】

また、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 は、長期的環境変化を検知した場合

50

に、長期的乖離検知部が長期的環境変化を検知した時刻より後の時間帯の推定用データ及び比較用データを再学習用データとして用いて、学習モデルの再学習を行うようにしたので、レイアウト変更等を行い長期的な環境変化が生じ、学習モデルによる推定が上手く行っていないような状況を改善することができる。また、ユーザーが日々再学習用のデータを設定し、再学習を実行させる手間を省くことができる。

【0084】

また、実施の形態1においては、故障予兆検知装置の故障予兆検知対象は空調機であり、空調機の圧縮機周波数を、学習モデルを用いて推定するようにしたので、故障検知の中でも空調機の断熱不良を適切に検知することができる。

【0085】

また、上記において、故障予兆検知装置100は、図5に示すように、検知内容の報知や再学習をループ処理の中に含めているが、ループ処理が終了した後に、全ループ処理の結果を統合してから検知内容の報知や再学習を実行するようにしてもよい。

【0086】

以上で推定フェーズの説明を終了し、次に、学習フェーズの説明を行う。

【0087】

<学習フェーズ>

推定フェーズで用いられる学習モデルの学習を行う学習フェーズについて説明する。

図10は、実施の形態1に係る学習装置200の構成を示す構成図である。

学習装置200は、機器の正常運転時のデータを用いて学習モデルの学習を行い、学習モデルを生成するものである。

【0088】

実施の形態1において、学習装置200は、学習用取得部210、学習用記憶部220、学習用前処理部230、学習部240、評価部250、及び学習制御部260を備える。

【0089】

学習用取得部210は、学習モデルの学習に用いる学習用データD21を取得するものである。ここで、学習用データは故障予兆検知装置100における比較用データ及び推定用データと同じ種類の情報を示し、また、機器の正常運転時における値を示すものとする。すなわち、実施の形態1において、学習用取得部210は、機器の正常運転時における学習用データを取得するものである。

【0090】

実施の形態1において、学習用取得部210は、後述する学習用記憶部220に記憶された学習用データD21を取得するが、故障予兆検知装置100の記憶部20に学習用データD22が記憶されている場合には、学習を行う前に、予め記憶部20から学習用データD22を取得し、取得した学習用データD22を記憶部20に記憶させる。そして、学習用データD22を含めて学習用データD21を取得する。

【0091】

学習用前処理部230は、学習用データD21の前処理を行うものであり、実施の形態1においては、学習用取得部210が取得した学習用データD21のうち、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯のデータを学習モデルの学習に用いるデータとして選定するものである。ここで、実施の形態1においては、学習モデルの出力を圧縮機周波数としたので、圧縮機周波数の分散値が所定の選定閾値未満の時間帯のデータを学習に用いるデータとして選定する。そして、学習用前処理部230は、選定後の学習用データD23を学習部240に出力する。

【0092】

ここで、学習用データの選定を行わず、分散値が大きな値を示すデータを学習に用いると、学習モデルの学習を上手く行うことができず、精度の低い推定を行う学習モデルを生成してしまうという問題が生じる。

【0093】

図11を用いて、学習用前処理部230の処理の具体例について説明する。室内温度と

10

20

30

40

50

目標温度との差が大きく、空調機 A C が安定的に運転している期間においては、センサー値の分散が小さなデータが得られるが、一度室内温度が目標温度に達し、空調機の ON / OFF が細かく切り替わる過渡期の場合にはセンサー値の分散が大きなデータが得られる。このような場合において、分散値が大きなデータを学習用データとして用いると、学習モデルの学習を上手く行うことができない場合がある。上記の課題を解決するために、学習用前処理部 230 は、センサー値の分散値を用いて学習用データの選定を行うのである。

【0094】

学習用記憶部 220 は、学習に関する各種情報を記憶するものであり、例えば、学習用データ D21、評価用データ D24、及び学習モデル D25 を記憶する。ここで、学習モデルが故障予兆検知装置 100 で再学習されている場合は、学習用取得部 210 を介して故障予兆検知装置 100 の記憶部 20 に記憶されている学習モデルを取得し、記憶するようにしてもよい。また、故障予兆検知装置 100 の記憶部 20 に評価用データ、すなわち故障予兆ラベル付きデータが記憶されている場合、同様に、学習用取得部 210 を介して故障予兆検知装置 100 の記憶部 20 に記憶されている評価用データを取得し、記憶するようにしてもよい。

10

【0095】

学習部 240 は、学習用前処理部 230 により選定された学習用データ D23 を用いて学習モデル D25 の学習を行うものである。実施の形態 1 では、推定フェーズで説明したように、回帰分析により学習モデルの学習を行う。学習部 240 は、学習を行った後の学習モデル D26 を評価部 250 に出力する。

20

【0096】

評価部 250 は、学習モデル D26 の評価を行い、学習モデル D26 の評価値を算出するものである。

実施の形態 1 において、評価部 250 は、評価用データ D24 として、正常運転データのバリデーションデータ及び故障予兆ラベル付きデータを学習用記憶部 220 から取得する。また、評価部 250 が実施する評価方法としては、決定係数や回帰誤差等、周知の技術を用いればよい。実施の形態 1 において、評価部 250 は、故障予兆検知装置 100 の推定部 40 と同様に、評価用データ D24 を用いて推定値を取得し、推定値が予測区間内に存在する割合を評価値として算出する。また、評価部 250 は、算出した評価値を示す情報を評価情報 D27 として学習制御部 260 に出力する。

30

【0097】

正常運転データのバリデーションデータを評価用データ D24 として用いる場合には、評価用データが予測区間内に存在する割合を評価値として用いることにより、評価用データ D24 が推定値の予測区間内に多く存在するほど評価値が高くなり、正しく学習できていると評価でき、故障予兆ラベル付きデータを評価用データ D24 として用いる場合には、評価用データ D24 が予測区間外に存在する割合を評価値として用いることにより、評価用データ D24 が予測区間外に多く存在するほど評価値が高くなり、正しく学習できていると評価できる。

【0098】

評価値が高い場合の学習モデル D26 と評価値が低い場合の学習モデル D26 の具体例について、図 12 及び図 13 を参照しながら説明する。図 12 は、評価値が高い場合の学習モデル D26 を示す概念図であり、図 13 は、評価値が低い場合の学習モデル D26 を示す概念図である。

40

【0099】

図 12 及び図 13 において、評価用データは全て正常運転時の空調データであるとする。

図 12 では、予測区間 I3 の中に評価用データ A3 が全て含まれており、評価値が高く、正しく学習できていると判断される状態を示している。一方で、図 13 では、予測区間 I4 の中に含まれない評価用データ A4 が多数存在しており、評価値が低く、正しく学習が出来ていないと判断される状態を示している。

【0100】

50

図 10 に戻り、構成についての説明を続ける。

学習制御部 260 は、学習に関する各種制御を行うものであり、実施の形態 1 において、学習制御部 260 は、複数の選定閾値を取得し、学習用前処理部 230 の選定、学習部 240 の学習、及び評価部 250 の評価からなる一連の処理である探索処理を選定閾値毎に繰り返し行う反復処理を実行させる。すなわち、学習制御部 260 は、反復処理を実行させるための制御指令 D28 を学習用前処理部 230、学習部 240 及び評価部 250 に出力する。

【0101】

また、学習制御部 260 は、所定の終了条件に基づき、反復処理を終了し、反復処理を終了した時点で、評価値が最も高かった探索処理における選定閾値を最終的な選定閾値として特定する。実施の形態 1 において、所定の終了条件は、所定回数の探索処理を終了することとする。

10

【0102】

また、学習制御部 260 は、報知装置 400 に接続されており、ディスプレイ 410 に学習結果の表示を行わせるための制御指令 D29 を出力する。

【0103】

次に、実施の形態 1 における学習装置 200 のハードウェア構成について説明する。学習装置 200 の各機能は、コンピュータにより実現される。図 14 は、学習装置 200 を実現するコンピュータのハードウェア構成の例を示す構成図である。

図 14 に示したハードウェアには、CPU (Central Processing Unit) 等の処理装置 20000 と、ROM (Read Only Memory) やハードディスク等の記憶装置 20001 が備えられる。

20

図 10 に示す、学習用取得部 210、学習用前処理部 230、学習部 240、及び評価部 250 は、記憶装置 20001 に記憶されたプログラムが処理装置 20000 で実行されることにより実現され、学習用記憶部 220 は記憶装置 20001 により実現される。ここで、上記の構成は、単数の処理装置 20000 及び記憶装置 20001 により実現する構成に限らず、複数の処理装置 20000 及び記憶装置 20001 により実現する構成であってもよい。

また、学習装置 200 の各機能を実現する方法は、上記したハードウェアとプログラムの組み合わせに限らず、処理装置にプログラムをインプリメントした LSI (Large Scale Integrated Circuit) のような、ハードウェア単体で実現するようにしてもよいし、一部の機能を専用のハードウェアで実現し、一部を処理装置とプログラムの組み合わせで実現するようにしてもよい。

30

【0104】

以上のように、実施の形態 1 に係る学習装置 200 は構成される。

【0105】

次に、実施の形態 1 に係る学習装置 200 の動作について説明する。図 15 は、実施の形態 1 に係る学習装置 200 の動作を示すフローチャートである。学習装置 200 の動作が、学習済みの学習モデルの生成方法に対応し、学習装置 200 の動作をコンピュータに実行させるプログラムが学習済みの学習モデル生成プログラムに対応する。

40

また、学習用取得部 210 の動作が学習用取得工程に対応し、学習用記憶部 220 の動作が学習用記憶工程に対応し、学習用前処理部 230 の動作が学習用前処理工程に対応し、学習部 240 の動作が学習工程に対応し、評価部 250 の動作が評価工程に対応し、学習制御部 260 の動作が学習制御工程に対応する。

【0106】

まず、ステップ S21 において、学習用取得部 210 は、学習用記憶部 220 から学習用データを取得する。

【0107】

次に、ステップ S22 において、学習用前処理部 230 は、所定の選定閾値に基づいて学習に用いるデータの選定を行う。

50

【0108】

次に、ステップS23において、学習部240は、ステップS22で選定された学習用データを用いて学習モデルの学習を行う。

【0109】

次に、ステップS24において、評価部250は、ステップS23で学習を行った学習モデルの評価を行う。

【0110】

次に、ステップS25において、学習制御部260は、評価結果とその時のデータ選定に用いたパラメータ、すなわち選定閾値を学習用記憶部220に記憶させる。その後、学習制御部260は、選定閾値を元の選定閾値と異なる値に再設定する。実施の形態1において、再設定の方法は、選定閾値の設定範囲を探索回数で等分割した値を順に設定する。そして、学習制御部260は、再設定した選定閾値でステップS22からステップS23までの探索処理を繰り返し実行させる。

10

【0111】

学習制御部260が所定回数探索処理を実行させ反復処理が終了した後、ステップS26において、評価部250は、各探索処理に対応する選定閾値の中で、最も評価値が良かった選定閾値を最終的な選定閾値として特定する。

【0112】

次に、ステップS27からステップS29において、学習制御部260は、ステップS26で、特定された選定閾値を用いて再度学習用データの選定、学習モデルの学習、学習モデルの評価を行わせる。

20

【0113】

次に、ステップS30において、学習制御部260は、ステップS29で算出した学習モデルの評価結果をディスプレイ410に表示させる。

【0114】

最後にステップS31で、学習部450は、学習用記憶部220に学習済みの学習モデルを記憶させるとともに、故障予兆検知装置100の記憶部20に学習済みの学習モデルを記憶させる。

【0115】

以上のようにして、実施の形態1に係る学習装置200は、分散値が所定の選定閾値未満の時間帯のデータを学習モデルの学習に用いるデータとして選定するようにしたので、回帰分析等の学習を適切に行うことができ、高精度に推定を行う学習モデルを生成することができる。

30

【0116】

また、実施の形態1に係る学習装置200は、さらに、学習モデルの評価値を算出する評価部と、選定閾値を元の選定閾値と異なる値に再設定し、学習用データ前処理部の選定、学習部の学習、及び評価部の評価からなる一連の処理である探索処理を繰り返し行う反復処理を実行させる学習制御部と、を備え、学習制御部は、所定の終了条件に基づき、反復処理を終了し、反復処理を終了した時点で、評価値が最も高かった探索処理における選定閾値を特定するようにしたので、選定閾値を複数回探索し、最適な選定閾値を特定することにより、より適切に学習モデルの学習を行うことができ、より高精度に推定を行う学習モデルを生成することができる。

40

【0117】

以下で実施の形態1に係る故障予兆検知装置100及び学習装置200の変形例について説明する。

【0118】

故障予兆検知装置100と学習装置200は、別々に記憶部20（学習用記憶部220）、前処理部30（学習用前処理部230）、再学習部70（学習部240）を備える構成としたが、図16に示すように、故障予兆検知装置100と学習装置200が共通の記憶部510、前処理部520、及び学習部530を備え、互いにアクセスする構成として

50

もよい。この場合、学習用取得部 210 は、前処理部 520 から前処理済みの学習用データを取得し、学習部 530 に出力する。また、故障予兆検知装置 100 と学習装置 200 のどちらが、上記の記憶部 510、前処理部 520、及び学習部 530 を備える構成であっても良い。

【0119】

制御部 60 は、再学習部 70 に、長期的乖離検知部が長期的環境変化を検知した時刻より後の時間帯の推定用データ及び比較用データを再学習用データとして用いて、自動で再学習を行わせるようにしたが、自動で再学習は行わず、報知装置 400 に再学習を促す報知を行わせるだけにしてもよい。あるいは、再学習は自動で行い、再学習を行うことを報知装置 400 から報知させるようにしてもよい。これにより、ユーザーが気付かないうちに学習モデルが更新されることを防ぐことができる。

10

【0120】

制御部 60 は、故障予兆を知らせる報知を報知装置 400 に行わせるだけでなく、推定値と実測値との比較結果をディスプレイ 410 に表示させるようにしてもよい。これにより、検知結果をユーザーが目視で確認することができる。

【0121】

また、検知部 50 が、乖離度の大きさや時間変化等から故障予兆のレベルを検知できる場合には、制御部 60 は、そのレベルを報知装置 400 から報知させるようにしてもよい。これにより、ユーザーは、放置された故障予兆が緊急で対応すべきものか、次の点検まで対応しなくてもよいものか判断することができる。

20

【0122】

また、検知部 50 が学習モデルの出力内容から故障箇所を検知できる場合、制御部 60 は、その故障箇所を報知装置 400 から報知させるようにしてもよい。これにより、ユーザーはどの箇所を修理すればよいか適切に把握することができる。

【0123】

長期的乖離検知部 52 において、時系列の乖離度を用いて、前後のデータの差分を積算し、積算した値が閾値を超えた場合に、故障予兆を検知するようにしたが、故障予兆と長期的環境変化を区別する方法は、この方法に限らない。データの傾向として、故障予兆の場合は推定値の予測区間に対して徐々に乖離度が大きくなっていくのに対して、長期的環境変化の場合は予測区間に対する乖離度はある程度分散があるもののおおよそ一定である。したがって、例えば、時系列順に並べた実測値と推定値との乖離度に対して移動平均を取り、データの傾向が単調増加になっているか否かを判定することにより、故障予兆か長期的環境変化かを判定してもよい。

30

【0124】

学習制御部 260 は、所定の探索回数が終了したときに、反復処理を終了するようにしたが、一回の探索処理毎に評価値と所定の評価閾値を比較し、評価値が評価閾値以上であった場合に反復処理を終了するようにしてもよい。このようにすることで、反復処理をより早く終了し、計算時間を短縮することができる。

【0125】

実施の形態 2 .

40

次に、実施の形態 2 について説明する。

実施の形態 1 では、故障予兆検知システム 1000 を空調システム 2000 に適用した場合の実施の形態について説明したが、実施の形態 2 では、故障予兆検知システムを F A (F a c t o r y A u t o m a t i o n) システムに適用した場合、すなわち故障予兆検知対象の機器が F A 機器である場合の実施の形態について説明する。実施の形態 1 と共通する構成及び動作については、適宜説明を省略する。また、実施の形態 2 では、F A システムの具体例として、故障予兆検知装置が、インバータ等の電力変換装置に接続され、当該電力変換装置の故障予兆を検知するシステムについて説明する。

【0126】

図 16 は、実施の形態 2 に係る F A システム 3000 の構成を示す構成図である。

50

F Aシステム 3 0 0 0 は、故障予兆検知装置 6 0 0、報知装置 7 0 0、電力変換装置 8 0 0、モーター 8 1 0、及び電源 8 2 0 を備える。

【 0 1 2 7 】

故障予兆検知装置 6 0 0 の構成は、実施の形態 1 に係る故障予兆検知装置 1 0 0 の構成と同様であり、学習モデルの入出力データが示す情報のみが異なる。相違点の詳細については、後述する。

【 0 1 2 8 】

報知装置 7 0 0 の構成も、実施の形態 1 に係る報知装置 4 0 0 の構成と同様であり、説明は省略する。

【 0 1 2 9 】

電力変換装置 8 0 0 は、電源 8 2 0 から入力される電力を所定の電流、電圧、周波数に変換し、負荷であるモーター 8 1 0 に供給する。電力変換装置 8 0 0 は、半導体スイッチング素子（以下、スイッチング素子という）を内蔵したパワー半導体モジュール（以下、半導体モジュールという）と、半導体モジュールが内蔵するスイッチング素子の制御を行う電力変換制御部とを有し、スイッチング素子のスイッチング動作を制御することで、入力された電力を任意の電流、電圧、周波数に変換しモーター 8 1 0 に供給している。

【 0 1 3 0 】

また、電力変換装置 8 0 0 には、各種センサーが備えられ、センサーによって取得されたセンサーデータは、故障予兆検知装置 6 0 0 に出力される。

【 0 1 3 1 】

電力変換装置 8 0 0 の運転時はスイッチング素子に損失が発生するため、スイッチング素子の温度は上昇し、電力変換装置 8 0 0 が停止するとスイッチング素子の温度は低下する。このスイッチング素子の温度の上昇と下降の繰り返しは、パワーサイクルと呼ばれており、スイッチング素子が配置される半導体チップの劣化（以下、パワーサイクル劣化という）を引き起こし、半導体チップの寿命を短くする。

【 0 1 3 2 】

電力変換装置 8 0 0 は、半導体チップ内の温度変化、すなわちジャンクション温度が分かれば、パワーサイクル劣化を推定することができるが、実際の電力変換装置 8 0 0 において、半導体チップ内のジャンクション温度を直接推定することは困難である。そこで、例えば、従来技術では、電力変換装置 8 0 0 のスイッチング周波数や出力電流から温度変動値を算出し、パワーサイクル劣化の度合を推定することが行われている。

【 0 1 3 3 】

上記を踏まえて、実施の形態 2 に係る故障予兆検知装置 6 0 0 は、電力変換装置 8 0 0 の出力電流、出力電圧、出力周波数等の出力値の推定値と実測値とを複数時刻で比較し、この複数時刻における比較結果に基づいて、電力変換装置 8 0 0 の故障予兆を行う。

【 0 1 3 4 】

故障予兆検知装置 6 0 0 の構成及び動作の詳細について説明する。

図 1 7 は、実施の形態 2 に係る故障予兆検知装置 6 0 0 及び報知装置 7 0 0 の構成を示す構成図である。故障予兆検知装置 6 0 0 は、取得部 6 1 0、記憶部 6 2 0、前処理部 6 3 0、推定部 6 4 0、短期的乖離検知部 6 5 1 と長期的乖離検知部 6 5 2 とを有する検知部 6 5 0、制御部 6 6 0、及び再学習部 6 7 0 を備え、報知装置 7 0 0 は、ディスプレイ 7 1 0 及びスピーカー 7 2 0 を備える。

各部の基本的な構成及び動作は実施の形態 1 と同様であり、相違する点のみについて説明する。

【 0 1 3 5 】

取得部 6 1 0 は、電力変換装置 8 0 0 から電力変換装置 8 0 0 の入力値や出力値等を示す各種センサーデータと電力変換制御部の制御指令値を示す制御情報とを取得する。各種センサーデータとしては、出力電流値、出力電圧値、入力電圧値、入力電流値、室内温度、半導体モジュールの表面温度等を取得すればよく、制御情報としては、電圧指令値、電流指令値、出力周波数指令値、スイッチング周波数指令値等を取得すればよく、これらを

10

20

30

40

50

総称してF Aデータと呼ぶ。実施の形態2においては、F Aデータのうち各種センサーデータに含まれる電力変換装置800の出力値を比較用データとし、他のF Aデータを推定用データとする。例えば、比較用データは電力変換装置800の出力電流値を示し、推定用データはその他のセンサー値や指令値、例えば、出力電圧値、入力電圧値、入力電流値、電圧指令値、電流指令値、出力周波数指令値、スイッチング周波数指令値、室内温度、半導体モジュールの表面温度等の少なくともいずれか一つを示すこととする。

【0136】

そして、推定部640は推定用データを用いて電力変換装置800の出力値、例えば上述の例では電力変換装置800の出力電流値を推定し、検知部650は推定部640が出力する電力変換装置800の出力値、上述の例では電力変換装置800の出力電流値の推定値と、比較用データが示す実測値を複数時刻で比較し、その比較結果に基づいて故障予兆を検知する。

10

上記のように、実施の形態1と実施の形態2とでは、推定用データ及び比較用データが示す情報のみが異なるため、故障予兆検知の具体的な説明は省略する。

【0137】

以上のようにして、実施の形態2に係る故障予兆検知装置600は、電力変換装置800の出力値の推定値と実測値とを複数時刻で比較することで、環境変化と故障予兆とを区別し、電力変換装置800の故障予兆を検知することができるため、故障予兆の検知精度を向上させることができる。

【0138】

20

実施の形態1では、故障予兆検知システムを空調システムに適用した場合の実施の形態について説明し、実施の形態2では、F Aシステムに適用した場合の実施の形態について説明したが、故障予兆検知システムの適用範囲はこれに限らず、環境変化と故障予兆を区別して、故障予兆を検知することが望まれる他のシステムに対しても適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0139】

本開示に係る故障予兆検知装置は、例えば、空調システムやF Aシステムなど、何かしらの故障予兆が運転データに対して表れるドメイン全般に対して用いられるのに適している。例えば、機器の外部からでは故障予兆の判定が難しい内部の部品等について、センサー値をモニタし、故障予兆を検知し、機器のメンテナンス作業員などに発報する形をとる。その中で、機器の運転する環境が変化した場合などを故障予兆と区別して検知することで誤検知を低減し、作業員の負荷を低減できるうえ、人の主観に頼らない定量的な指標で再学習タイミングも検知することができる。

30

【符号の説明】

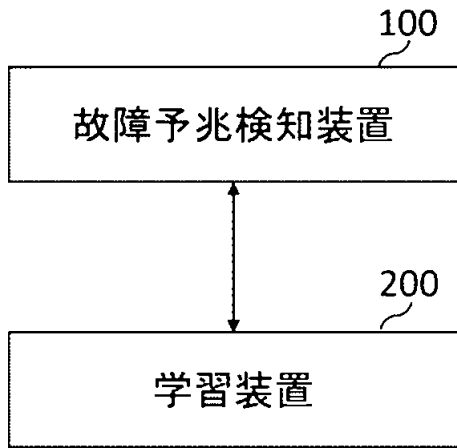
【0140】

1000 故障予兆検知システム、100 故障予兆検知装置、200 学習装置、300 空調コントローラー、400 報知装置、410 ディスプレイ、420 スピーカー、10 取得部、20 記憶部、30 前処理部、40 推定部、50 検知部、51 短期的乖離検知部、52 長期的乖離検知部、60 制御部、70 再学習部、210 学習用取得部、220 学習用記憶部、230 学習用前処理部、240 学習部、250 評価部、260 学習制御部、510 記憶部、520 前処理部、530 学習部、600 故障予兆検知装置、610 取得部、620 記憶部、630 前処理部、640 推定部、650 検知部、651 短期的乖離検知部、652 長期的乖離検知部、660 制御部、670 再学習部、700 報知装置、710 ディスプレイ、720 スピーカー、800 電力変換装置、810 モーター、820 電源。

40

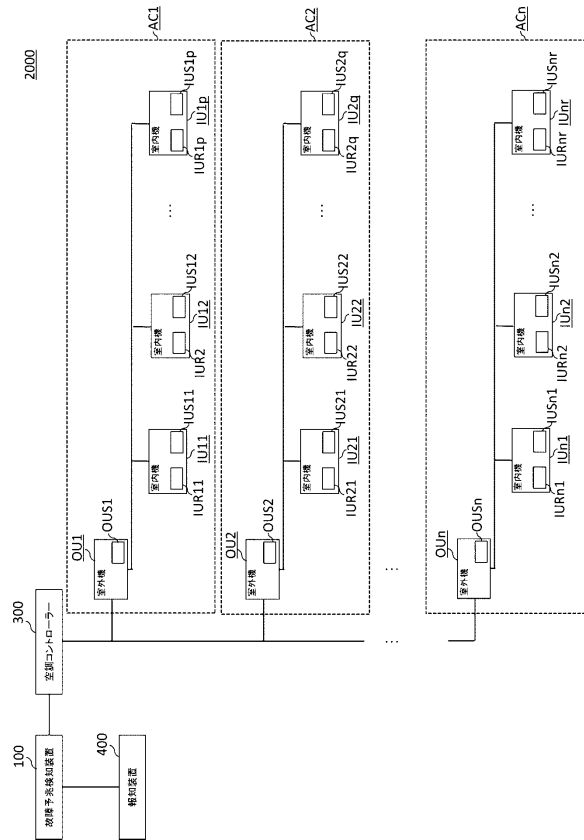
【図面】

【図 1】



【図 2】

1000



10

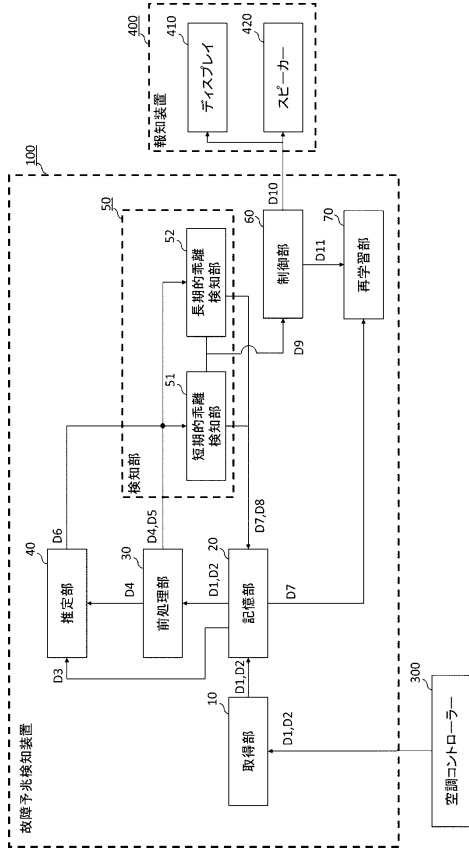
20

30

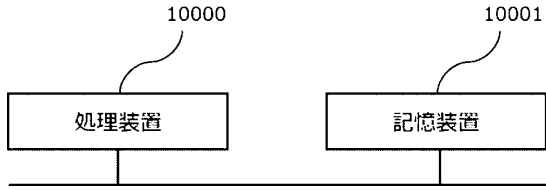
40

50

【図3】



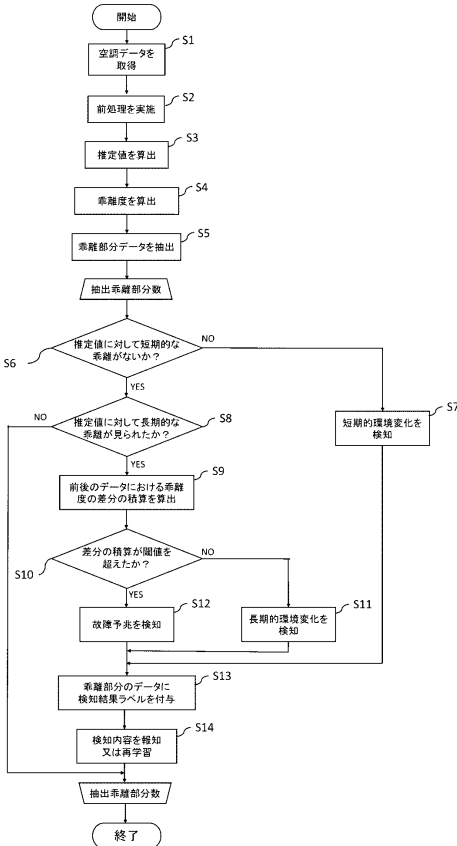
【図4】



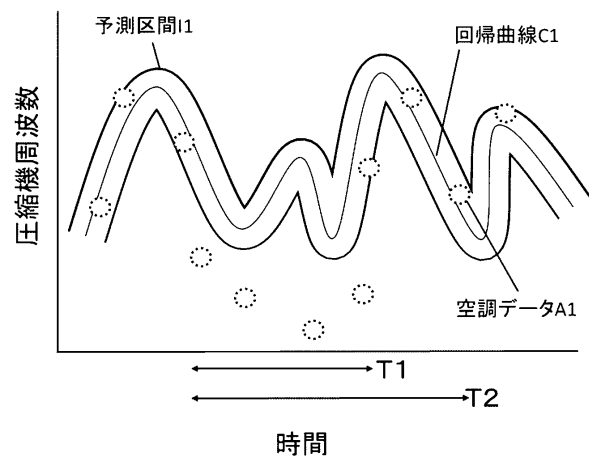
10

20

【図5】



【図6】

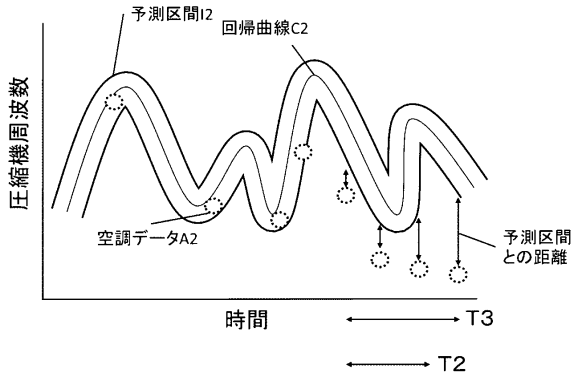


30

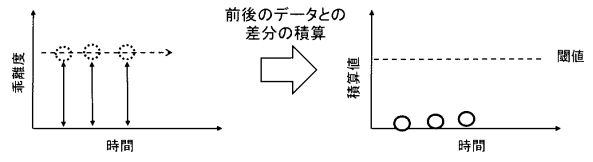
40

50

【図7】

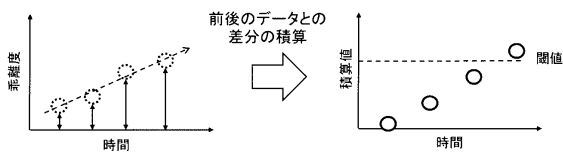


【図8】

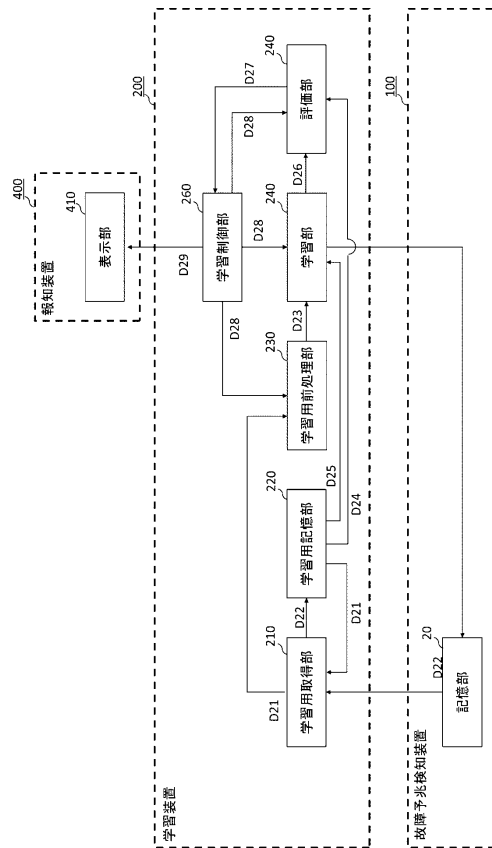


10

【図9】



【図10】



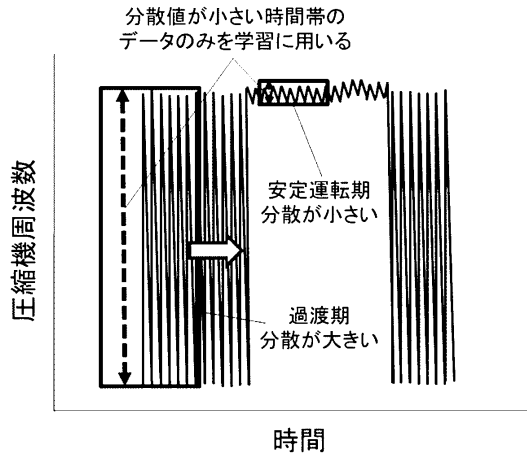
20

30

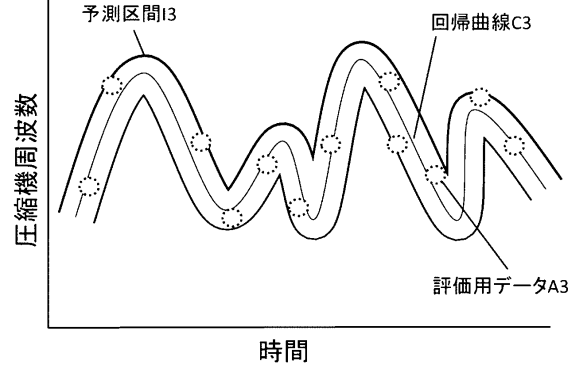
40

50

【図 1 1】

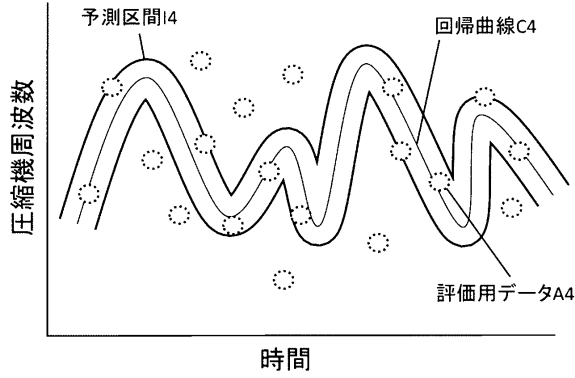


【図 1 2】

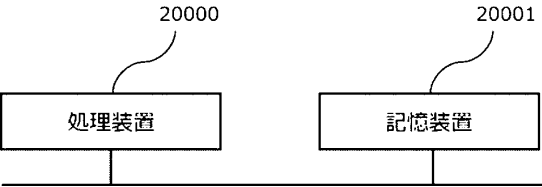


10

【図 1 3】



【図 1 4】



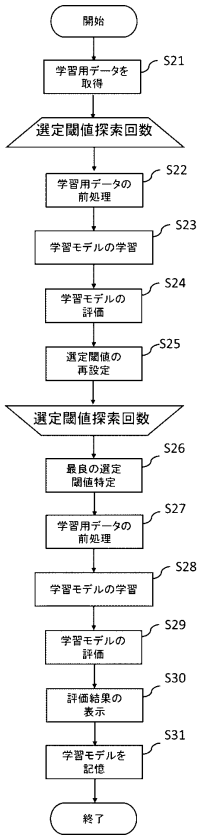
20

30

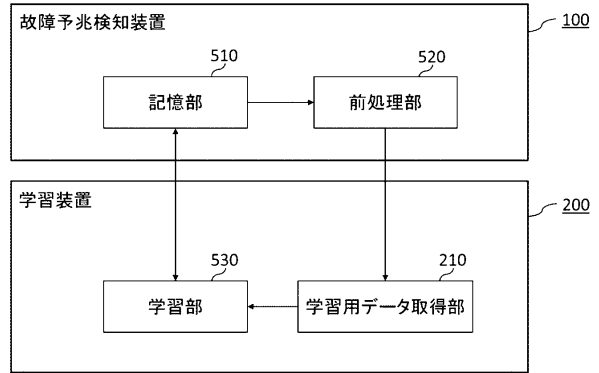
40

50

【図15】



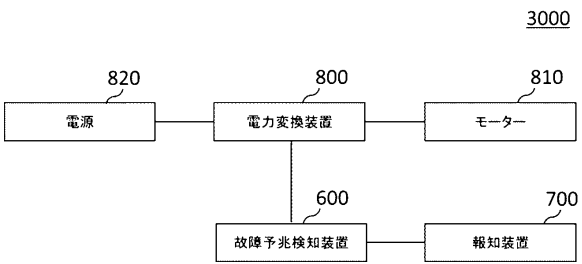
【図16】



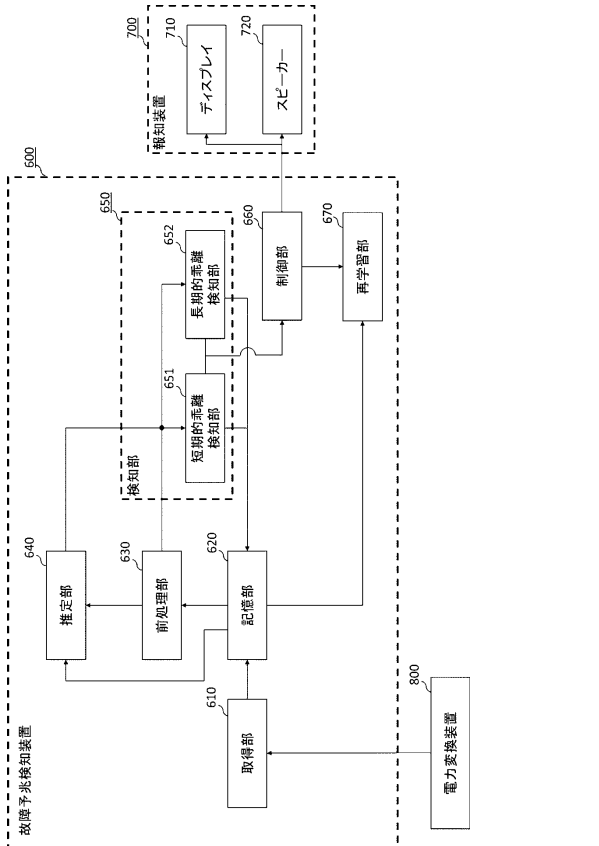
10

20

【図17】



【図18】



30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 佐藤 靖
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 吉村 玄太
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 毬山 利貞
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- 審査官 影山 直洋
- (56)参考文献 国際公開第2018/230645(WO, A1)
特開2018-77634(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G05B 23/02