

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第5684941号
(P5684941)

(45) 発行日 平成27年3月18日 (2015. 3. 18)

(24) 登録日 平成27年1月23日 (2015. 1. 23)

(51) Int. Cl. F 1
G 0 5 B 23/02 (2006. 01) G 0 5 B 23/02 R

請求項の数 5 (全 28 頁)

(21) 出願番号	特願2014-156956 (P2014-156956)	(73) 特許権者	000233044
(22) 出願日	平成26年7月31日 (2014. 7. 31)		株式会社日立パワーソリューションズ
審査請求日	平成26年7月31日 (2014. 7. 31)		茨城県日立市幸町3丁目2番2号
早期審査対象出願		(74) 代理人	110001807
			特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	宮越 尚樹
			茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会
			社日立パワーソリューションズ内
		(72) 発明者	鈴木 忠志
			茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会
			社日立パワーソリューションズ内
		(72) 発明者	野田 統治郎
			茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会
			社日立パワーソリューションズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異常予兆診断装置及び異常予兆診断方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の運転スケジュールが繰り返される機械設備に関して、前記機械設備に設置された複数のセンサの検出値を含む時系列データを取得する時系列データ取得手段と、

前記運転スケジュールを複数の時間帯に分割し、前記複数の時間帯のうち学習対象である時系列データが属する時間帯を特定し、各時間帯ごとにクラスタリングを行うことによって、前記機械設備の正常範囲を示すクラスタを生成又は更新するクラスタリング手段と

、
前記複数の時間帯のうち診断対象である時系列データが属する時間帯を特定し、前記クラスタリング手段によって生成又は更新されたクラスタのうち、当該時間帯に対応するクラスタに基づいて前記機械設備の異常予兆の有無を診断する診断手段と、を備え、

前記クラスタリング手段は、

前記時系列データ取得手段によって過去に取得された正常な時系列データを用いて、各時間帯ごとに前記クラスタを生成するクラスタ生成部と、

前記診断手段によって異常予兆なしと診断された時系列データを、前記複数の時間帯のうち当該時系列データが属する時間帯のクラスタに追加して、当該クラスタを更新するクラスタ更新部と、

前記クラスタ更新部によって更新されたクラスタに関して、前記複数のセンサの各検出値を無次元量化して互いに比較可能とする正規化処理を施した値を成分とする特徴ベクトルを、当該クラスタに対応する前記時間帯での各検出値について求め、各特徴ベクトルの

10

20

重心からの距離に基づいてクラスタ半径を算出し、更新されたクラスタの大きさを表す前記クラスタ半径が所定閾値以上である場合、当該クラスタを分割するクラスタ分割部と、を有し、

前記診断手段は、

前記クラスタ分割部による分割後のクラスタに基づいて、前記機械設備の異常予兆の有無を診断すること

を特徴とする異常予兆診断装置。

【請求項 2】

前記クラスタリング手段は、

前記運転スケジュールの実行時間を所定個数に均等に分割して、前記複数の時間帯とすること

を特徴とする請求項 1 に記載の異常予兆診断装置。

【請求項 3】

前記クラスタリング手段は、

前記時系列データ取得手段によって時系列データが取得されたときの前記機械設備の運転モードを特定する運転モード特定部を有し、

前記運転モード特定部によって、前記運転スケジュールを前記複数の時間帯である複数の運転モードに分割し、各運転モードごとにクラスタリングを行うことで前記クラスタを生成又は更新し、

前記診断手段は、

診断対象である時系列データが属する運転モードを特定し、当該運転モードに対応する前記クラスタに基づいて、前記機械設備の異常予兆の有無を診断すること

を特徴とする請求項 1 に記載の異常予兆診断装置。

【請求項 4】

前記クラスタリング手段は、

前記時系列データ取得手段によって時系列データが取得されたときの前記機械設備の運転モードを特定する運転モード特定部を有し、

前記運転モード特定部によって特定した運転モードの実行時間を、各運転モードごとに所定個数に分割し、前記所定個数の各時間帯ごとにクラスタリングを行うことで前記クラスタを生成又は更新し、

前記診断手段は、

診断対象である時系列データが属する運転モードと、前記運転モード内での時間帯と、を特定し、当該運転モード及び当該時間帯に対応する前記クラスタに基づいて、前記機械設備の異常予兆の有無を診断すること

を特徴とする請求項 1 に記載の異常予兆診断装置。

【請求項 5】

所定の運転スケジュールが繰り返される機械設備に関して、前記機械設備に設置された複数のセンサの検出値を含む時系列データを取得する時系列データ取得ステップと、

前記運転スケジュールを複数の時間帯に分割し、前記複数の時間帯のうち学習対象である時系列データが属する時間帯を特定し、各時間帯ごとにクラスタリングを行うことによって、前記機械設備の正常範囲を示すクラスタを生成又は更新するクラスタリングステップと、

前記複数の時間帯のうち診断対象である時系列データが属する時間帯を特定し、前記クラスタリングステップで生成又は更新されたクラスタのうち、当該時間帯に対応するクラスタに基づいて前記機械設備の異常予兆の有無を診断する診断ステップと、を含み、

前記クラスタリングステップは、

前記時系列データ取得ステップで過去に取得された正常な時系列データを用いて、各時間帯ごとに前記クラスタを生成するクラスタ生成ステップと、

前記診断ステップで異常予兆なしと診断された時系列データを、前記複数の時間帯のうち当該時系列データが属する時間帯のクラスタに追加して、当該クラスタを更新するクラ

10

20

30

40

50

スタ更新ステップと、

前記クラスタ更新ステップで更新されたクラスタに関して、前記複数のセンサの各検出値を無次元量化して互いに比較可能とする正規化処理を施した値を成分とする特徴ベクトルを、当該クラスタに対応する前記時間帯での各検出値について求め、各特徴ベクトルの重心からの距離に基づいてクラスタ半径を算出し、更新されたクラスタの大きさを表す前記クラスタ半径が所定閾値以上である場合、当該クラスタを分割するクラスタ分割ステップと、を含み、

前記診断ステップにおいて、

前記クラスタ分割ステップによる分割後のクラスタに基づいて、前記機械設備の異常予兆の有無を診断すること

を特徴とする異常予兆診断方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機械設備の異常予兆の有無を診断する異常予兆診断装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

ガスエンジン、化学プラント、発電設備等の機械設備は、安定して正常に稼働することが求められる。このような機械設備の異常が発生する前に、機械設備に設置されたセンサの検出値等に基づいて、異常の前触れ（異常予兆）を検知する技術が知られている。

【0003】

例えば、特許文献1には、機械設備の保守作業が行われた後のセンサデータを学習対象データとして取得する学習対象データ取得処理と、前記した学習対象データの正常範囲を示す正常モデルを学習する学習処理と、この正常モデルに基づいて機械設備の異常予兆の有無を診断する診断処理と、を行う異常予兆診断装置について記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2013-008092号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、機械設備の状態が大きく異なる複数の時刻において、センサデータの値が似通っていることがある。従来は、機械設備の起動から停止までに得られるセンサデータに基づいて、機械設備の正常モデル（複数のクラスタ）が一括で学習されていた。そうすると、機械設備の状態が大きく異なるセンサデータが同一のクラスタに分類され、正常モデルが機械設備の実際の状態から乖離する可能性があった。

【0006】

なお、特許文献1には、機械設備の運転モードごとに異常予兆診断装置が正常モデルを学習することが記載されている。しかしながら、同一の運転モード内であっても、時間の経過に伴って機械設備の状態は変化する。特許文献1に記載の発明では、このようなセンサデータを「運転モード」内で一括して取り扱っているため、正常モデルが機械設備の実際の状態から乖離し、異常予兆の有無を高精度で診断できない可能性がある。

【0007】

そこで、本発明は、機械設備の異常予兆の有無を高精度で診断できる異常予兆診断装置等を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

前記課題を解決するために、本発明に係る異常予兆診断装置は、所定の運転スケジュールが繰り返される機械設備に関して、前記機械設備に設置された複数のセンサの検出値を

10

20

30

40

50

含む時系列データを取得する時系列データ取得手段と、前記運転スケジュールを複数の時間帯に分割し、前記複数の時間帯のうち学習対象である時系列データが属する時間帯を特定し、各時間帯ごとにクラスタリングを行うことによって、前記機械設備の正常範囲を示すクラスタを生成又は更新するクラスタリング手段と、前記複数の時間帯のうち診断対象である時系列データが属する時間帯を特定し、前記クラスタリング手段によって生成又は更新されたクラスタのうち、当該時間帯に対応するクラスタに基づいて前記機械設備の異常予兆の有無を診断する診断手段と、を備え、前記クラスタリング手段は、前記時系列データ取得手段によって過去に取得された正常な時系列データを用いて、各時間帯ごとに前記クラスタを生成するクラスタ生成部と、前記診断手段によって異常予兆なしと診断された時系列データを、前記複数の時間帯のうち当該時系列データが属する時間帯のクラスタに追加して、当該クラスタを更新するクラスタ更新部と、前記クラスタ更新部によって更新されたクラスタに関して、前記複数のセンサの各検出値を無次元量化して互いに比較可能とする正規化処理を施した値を成分とする特徴ベクトルを、当該クラスタに対応する前記時間帯での各検出値について求め、各特徴ベクトルの重心からの距離に基づいてクラスタ半径を算出し、更新されたクラスタの大きさを表す前記クラスタ半径が所定閾値以上である場合、当該クラスタを分割するクラスタ分割部と、を有し、前記診断手段は、前記クラスタ分割部による分割後のクラスタに基づいて、前記機械設備の異常予兆の有無を診断することを特徴とする。

10

なお、詳細については、発明を実施するための形態において説明する。

【発明の効果】

20

【0009】

本発明により、機械設備の異常予兆の有無を高精度で診断する異常予兆診断装置等を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の第1実施形態に係る異常予兆診断装置の構成図である。

【図2】機械設備の一回の運転スケジュールにおけるセンサ出力の変化を日付ごとに分けて示した説明図である。

【図3】異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。

【図4】クラスタ生成部によって生成されるクラスタの説明図である。

30

【図5】時間帯A、B、C、Dに対応するクラスタを模式的に表した説明図であり、(a)は更新前のクラスタの説明図であり、(b)は更新後のクラスタの説明図である。

【図6】異常予兆診断装置の動作の流れを示すフローチャートである。

【図7】クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

【図8】診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

【図9】クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

【図10】本発明の第2実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。

【図11】データマイニング手段が実行するクラスタ更新・分割処理のフローチャートである。

40

【図12】クラスタが分割される過程の説明図であり、(a)はクラスタ更新処理前の状態を表す説明図であり、(b)はクラスタ更新処理後の状態を表す説明図であり、(c)は(b)のクラスタ分割処理後の状態を表す説明図である。

【図13】本発明の第3実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。

【図14】機械設備の一回の運転スケジュールにおけるセンサ出力の変化を日付ごとに分けて示した説明図である。

【図15】クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

【図16】診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

【図17】クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

50

【図18】本発明の第4実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。

【図19】クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

【図20】診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

【図21】クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

第1実施形態

図1は、第1実施形態に係る異常予兆診断装置の構成図である。

異常予兆診断装置1は、機械設備2に設置された複数のセンサの検出値を含む時系列データに基づいて、機械設備2に異常予兆があるか否かを診断する装置である。前記した「異常予兆」とは、機械設備2の異常が発生する前触れであり、「異常予兆診断」とは、異常予兆の有無を診断することである。

【0012】

以下では、異常予兆診断装置1に関する説明に先立って、機械設備2及びコンピュータ3について簡単に説明する。

機械設備2は、例えば、ガスエンジンであり、複数の装置（エンジン本体、発電機、燃焼器、冷却水ポンプ、弁類等：図示せず）を有している。なお、機械設備2の種類はこれに限定されず、ガスタービン、化学プラント、発電設備、医療設備、通信設備等であってもよい。図1に示すように、複数の機械設備2が、ネットワークNを介して異常予兆診断装置1と通信可能になっている。

【0013】

また、機械設備2には、所定の物理量（温度、圧力、流量、電圧、電流等）を検出する複数のセンサ（図示せず）が設置されている。各センサは、前記した物理量を所定のサンプリング周期（例えば、30秒）で検出する。これらの検出値は、ネットワークNを介して、時系列データとして異常予兆診断装置1に送信される。

【0014】

図2は、機械設備の一回の運転スケジュールにおけるセンサ出力の変化を日付ごとに分けて示した説明図である。図2の横軸は時刻であり、縦軸は特定のセンサ（例えば、ガスエンジンの冷却水の圧力を検出する圧力センサ）の検出値である。図2では、一例として、10月1日、2日、3日における当該センサの検出値（センサ出力）を図示した。

【0015】

図2に示す例では、時刻 t_0 に機械設備2の運転を開始し、その後、所定の制御指令（例えば、冷却水ポンプの回転速度の変化）によって機械設備2の状態を変化させ、時刻 t_7 に機械設備2の運転を終了している。つまり、時刻 $t_0 \sim t_7$ において、機械設備2の一回分の運転スケジュールが実行される。

このような制御指令の種類、制御の開始・終了時刻等は、機械設備2の運転スケジュールとして予め設定され、この運転スケジュールが各日付ごとに実行される。したがって日付が異なっても、例えば、時間帯D（図2の網掛部分）におけるセンサ出力の大きさ・変化量は、非常に似通ったものになる。他の時間帯A, B, C, E, F, Gについても同様であり、また、他のセンサについても同様である。

【0016】

本実施形態では、このように機械設備2の運転開始から運転終了まで時間（時刻 $t_0 \sim t_7$ ）を複数の時間帯A～Gに分割し、各時間帯ごとに機械設備2の正常範囲を示すクラスタを学習するようにした。なお、クラスタの詳細については後記する。

【0017】

図1に示すコンピュータ3は、ネットワークNを介して異常予兆診断装置1と通信可能になっている。コンピュータ3の記憶手段（図示せず）には、機械設備2の運転スケジュールに関する情報が格納されている。この運転スケジュールには、機械設備2の識別情報と、機械設備2の運転開始時刻 t_0 （図2参照）と、運転終了時刻 t_7 （図2参照）と、

10

20

30

40

50

が含まれる。なお、機械設備 2 の運転スケジュールに関する情報は、ネットワーク N を介してコンピュータ 3 から異常予兆診断装置 1 に送信される。

【 0 0 1 8 】

< 異常予兆診断装置の構成 >

図 1 に示すように、異常予兆診断装置 1 は、通信手段 1 1 と、時系列データ取得手段 1 2 と、時系列データ記憶手段 1 3 と、運転スケジュール取得手段 1 4 と、運転スケジュール記憶手段 1 5 と、データマイニング手段 1 6 と、診断結果記憶手段 1 7 と、表示制御手段 1 8 と、表示手段 1 9 と、を備えている。

【 0 0 1 9 】

通信手段 1 1 は、ネットワーク N を介して機械設備 2 又はコンピュータ 3 から送信されたデータを受信するものである。通信手段 1 1 として、例えば、TCP/IP の通信プロトコルに従ってデータを受信するルータを用いることができる。

【 0 0 2 0 】

時系列データ取得手段 1 2 は、ネットワーク N を介して通信手段 1 1 に送信されたデータのうち、機械設備 2 に関する時系列データを取得する。前記した時系列データには、機械設備 2 に設置されたセンサ（図示せず）の検出値と、センサの識別情報と、センサによって物理量が検出された日付・時刻と、が含まれる。

時系列データ取得手段 1 2 は、通信手段 1 1 を介して取得した時系列データを時系列データ記憶手段 1 3 に格納する。

【 0 0 2 1 】

時系列データ記憶手段 1 3 には、時系列データ取得手段 1 2 によって取得された時系列データが、データベースとして記憶されている。なお、時系列データ記憶手段 1 3 として、磁気ディスク装置、光ディスク装置、半導体記憶装置等を用いることができる。

【 0 0 2 2 】

運転スケジュール取得手段 1 4 は、通信手段 1 1 によって受信されたデータのうち、機械設備 2 の運転スケジュール（機械設備 2 の識別情報、運転の開始・終了時刻）を取得するものである。運転スケジュール取得手段 1 4 は、通信手段 1 1 を介して取得した運転スケジュールを運転スケジュール記憶手段 1 5 に格納する。

【 0 0 2 3 】

運転スケジュール記憶手段 1 5 には、運転スケジュール取得手段 1 4 によって取得された運転スケジュールが、データベースとして記憶されている。なお、運転スケジュール記憶手段 1 5 として、磁気ディスク装置、光ディスク装置、半導体記憶装置等を用いることができる。

【 0 0 2 4 】

データマイニング手段 1 6 は、統計的なデータ分類手法であるデータマイニングを行うことで、機械設備 2 の正常状態を示すクラスタを生成（又は更新）する機能を有している。また、データマイニング手段 1 6 は、生成（又は更新）したクラスタに基づき、機械設備 2 の異常予兆の有無を診断する機能も有している。なお、データマイニング手段 1 6 の詳細については後記する。

【 0 0 2 5 】

診断結果記憶手段 1 7 には、データマイニング手段 1 6 の診断結果に関する情報が格納される。前記した診断結果には、機械設備 2 の識別情報と、異常予兆の有無と、が含まれる。

表示制御手段 1 8 は、データマイニング手段 1 6 による診断結果を表示するための制御信号を表示手段 1 9 に出力する。例えば、表示制御手段 1 8 は、各機械設備 2 の名称を行とし、診断日の日付を列としてマトリクス形式で診断結果（異常予兆の有無）を表示手段 1 9 に表示させる。その他、表示制御手段 1 8 は、管理者による操作に応じて、機械設備 2 の時系列データや運転スケジュールを表示手段 1 9 に表示させる。

表示手段 1 9 は、例えば、液晶ディスプレイであり、表示制御手段 1 8 から入力される制御信号に従って、前記した診断結果等を表示する。

10

20

30

40

50

【0026】

図3は、異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。

図3に示すように、データマイニング手段16は、クラスタリング手段161と、診断手段162と、を備えている。

【0027】

(1.クラスタリング手段の構成)

クラスタリング手段161は、統計的なデータ分類手法の一つであるクラスタリングを行うことで、機械設備2の正常状態を示すクラスタを生成・更新する機能を有している。すなわち、クラスタリング手段161は、機械設備2が正常であるときの時系列データを用いてクラスタを生成し、その後、診断手段162の診断結果(異常予兆の有無)を反映させてクラスタを逐次更新する。

10

【0028】

なお、機械設備2の正常状態を示すクラスタとは、多次元ベクトル空間においてクラスタ中心 c (図4参照)及びクラスタ半径 r (図4参照)で特定される領域であり、機械設備2が正常であるときに取得した時系列データを用いて学習される。

【0029】

図3に示すように、クラスタリング手段161は、学習対象データ取得部161aと、時間帯特定部161bと、学習対象データ記憶部161cと、クラスタ学習部161dと、クラスタ情報記憶部161eと、を有している。

【0030】

20

学習対象データ取得部161aは、学習対象となる時系列データ(つまり、学習対象データ)を、時系列データ記憶手段13から取得する機能を有している。また、学習対象データ取得部161aは、後記する診断部162eによって「異常予兆なし」と診断された時系列データ(診断対象データ)を、クラスタの更新に用いる学習対象データとして診断結果記憶手段17から取得する機能も有している。

前記したように、時系列データには、機械設備2に設置されたセンサ(図示せず)の検出値と、センサの識別情報と、センサによって物理量が検出された日付・時刻と、が含まれる。

【0031】

時間帯特定部161bは、学習対象データに含まれる時刻情報(センサの検出時刻)を参照し、この時系列データが属する時間帯を特定する。前記した「時間帯」とは、例えば、前記した運転スケジュールの実行時間を所定個数(図2では、時間帯A~Gの7個)に均等に分割することで設定される。なお、運転スケジュールの実行時間を何等分にするかは、機械設備2の特性に基づいて予め設定されている。

30

時間帯特定部161bは、特定した時間帯に対応する識別情報を付した上で、学習対象データを学習対象データ記憶部161cに格納する。

【0032】

例えば、学習対象データ取得部161aによって取得された学習対象データが、図2に示す10月3日の時刻 t_{31} に検出された場合について説明する。図2に示す値 X_1 が検出された時刻 t_{31} は、時間帯D(時刻 $t_3 \sim t_4$)に属している。時間帯特定部161bは、時間帯Dに対応する識別情報を付した上で、この学習対象データを学習対象データ記憶部161cに格納する。

40

【0033】

このように、時間帯特定部161bは、予め設定された運転スケジュールが一定の周期(本実施形態では、一日)で繰り返される機械設備2に関して、一回分の運転スケジュールを複数の時間帯A~Gに分割し、学習対象データが時間帯A~G(図2参照)のいずれに属するかを特定する。

【0034】

図3に示す学習対象データ記憶部161cには、時間帯特定部161bによって識別情報(時間帯A~Gに対応:図2参照)が付された学習対象データが、データベースとして

50

記憶されている。

クラスタ学習部 161d は、前記した識別情報を参照することで、時間帯 A ~ G のうち学習対象データが属する時間帯を特定し、各時間帯ごとにクラスタリングを行うことでクラスタを生成・更新する。図 3 に示すように、クラスタ学習部 161d は、クラスタ生成部 1611d と、クラスタ更新部 1612d と、を有している。

【0035】

クラスタ生成部 1611d は、時系列データ取得手段 12 (図 1 参照) によって過去に取得された正常な時系列データを学習対象データとし、時間帯 A ~ G に対応するクラスタをそれぞれ生成する。なお、「過去に取得された正常な時系列データ」とは、機械設備 2 が正常に稼働していることが既知である所定期間 (例えば、直近の過去 2 週間) に取得された時系列データのことである。

10

【0036】

例えば、クラスタ生成部 1611d は、図 2 に示す 10 月 1 日、2 日、3 日、... の学習対象データのうち、図 2 に示す時間帯 D (時刻 $t_3 \sim t_4$) に含まれる学習対象データを用いてクラスタを生成する。他の時間帯 A, B, C, E, F, G に取得された学習対象データについても同様に、クラスタ生成部 1611d はクラスタを生成する。

【0037】

次に、クラスタ生成部 1611d によって生成されるクラスタについて説明する。

図 4 は、クラスタ生成部によって生成されるクラスタの説明図である。機械設備 2 の状態は、多次元ベクトル空間上において、各センサ (図示せず) の検出値が正規化された値を成分とする特徴ベクトルとして表される。ここで「正規化」とは、センサの検出値を当該センサの代表値 (平均値、標準偏差等) で除算するなどして無次元量化し、互いに比較できるようにする処理である。

20

【0038】

なお、説明をわかりやすくするため、図 4 では 3 個のセンサに対応する 3 次元ベクトル空間上で各特徴ベクトルを図示した。図 4 に示す印それぞれが所定時刻における機械設備 2 の状態に対応し、特徴ベクトルの各成分が各センサの検出値 (正規化された値) に対応している。通常、クラスタは複数存在するが、図 4 ではクラスタを 1 個だけ記載した。

【0039】

クラスタ生成部 1611d は、特定の時間帯 (例えば、時間帯 D : 図 2 参照) に属する複数の特徴ベクトルに関して、類似するベクトルごとにクラスタと呼ばれるいくつかの代表グループに分類する。

30

以下では、一例として、非階層的クラスタリングである k 平均法を用いてクラスタリングを行う場合について説明する。クラスタ生成部 1611d は、まず、各特徴ベクトルに対してランダムにクラスタを割り振り、割り振ったデータに基づいて各クラスタの中心 (クラスタ中心 c : 図 4 参照) を算出する。クラスタ中心 c は、例えば、クラスタに属する複数の特徴ベクトル (各軸 x, y, z の成分 : 図 4 参照) の重心である。

【0040】

次に、クラスタ生成部 1611d は、所定の特徴ベクトルと各クラスタ中心 c との距離を求め、この距離が最も小さくなるクラスタに当該特徴ベクトルを割り当て直す。このような処理を全ての特徴ベクトルについて実行し、クラスタの割り当てが変化しなかった場合はクラスタの生成処理を終了する。それ以外の場合は、新しく割り振られたクラスタからクラスタ中心 c を再計算し、前記した処理を繰り返す。このようにしてクラスタ生成部 1611d は、機械設備 2 の状態を表す特徴ベクトルを複数のクラスタに分類する。

40

【0041】

さらに、クラスタ生成部 1611d は、各クラスタについてクラスタ中心 c (図 6 参照) の座標値と、クラスタ半径 r と、を算出する。クラスタ半径 r は、例えば、クラスタ中心 c と特徴ベクトルとの距離の平均値である。なお、クラスタ半径 r の算出方法はこれに限定されず、例えば、特徴ベクトルの各成分の分散値に基づいてクラスタ半径 r を算出するようにしてもよい。

50

クラスタ生成部 1611d は、生成したクラスタに関するクラスタ情報（クラスタ中心 c 、クラスタ半径 r ）をクラスタ情報記憶部 161e（図 3 参照）に格納する。

【0042】

図 5（a）は、時間帯 A、B、C、D に対応するクラスタを模式的に表した説明図である。なお、図 2 に示す時間帯 E～G のクラスタについては、図示を省略した。印、印、 \times 印、印で示す特徴ベクトルは、それぞれ時間帯 A、B、C、D のクラスタに属している。

例えば、時間帯 A に関するクラスタは、この時間帯 A に属する印の特徴ベクトルに基づいて生成される。換言すると、例えば、時間帯 B に属する特徴ベクトル p_B は、時間帯 A に対応するクラスタの生成には用いられない。このように本実施形態では、クラスタ生成部 1611d が、各時間帯ごとに独立してクラスタを生成するようにした。

10

【0043】

なお、図 5 では、一つの時間帯に対応するクラスタが一個である場合について図示したが、一つの時間帯（例えば、時間帯 A）に対応するクラスタが複数存在することもある。

【0044】

図 3 に示すクラスタ更新部 1612d は、後記する診断部 162e によって「異常予兆なし」と診断された時系列データを用いてクラスタを更新する。より詳しく説明すると、クラスタ更新部 1612d は、診断手段 162 の時間帯特定部 162b によって付された識別情報（時間帯 A～G に対応：図 2 参照）を参照し、「異常予兆なし」の時系列データが取得された時間帯を特定する。そして、クラスタ更新部 1612d は、この時間帯に対応するクラスタに当該時系列データを追加し、クラスタ中心 c 及びクラスタ半径 r を再計算する。

20

【0045】

例えば、診断手段 162 によって「異常予兆なし」と診断された時系列データが、図 2 に示す時間帯 D 内の所定時刻に取得されたとする。この場合、クラスタ更新部 1612d は、この時系列データを時間帯 D に対応するクラスタのメンバとして追加する。そして、クラスタ更新部 1612d は、追加前のメンバである複数の時系列データと、追加した時系列データと、に基づいて、当該クラスタのクラスタ中心 c 及びクラスタ半径 r を求め、クラスタを更新する。

【0046】

図 5（b）に示す例では、時間帯 A のクラスタに特徴ベクトル q_A （「異常予兆なし」の時系列データに対応。）が追加されたことで、クラスタ中心 c_A がクラスタ中心 c_A' に移動し、クラスタ半径 r_A がクラスタ半径 r_A' （ r_A ）になっている。

30

なお、一つの時間帯（例えば、時間帯 A）に対応するクラスタが複数存在する場合、クラスタ更新部 1612d は、「異常予兆なし」と診断された時系列データの特徴ベクトルと、クラスタ中心と、の距離が最も小さいクラスタに当該時系列データを追加する。

【0047】

このようにしてクラスタ更新部 1612d は、診断手段 162 において「異常予兆なし」と診断されるたびに、診断対象となった時系列データを特定のクラスタ（時間帯が同一のクラスタ）に組み入れて逐次更新することで、クラスタを成長させる。これによって、時間帯 A～G の各クラスタに関して、機械設備 2 の正常状態に関する情報を徐々に増加させ、クラスタ中心 c 及びクラスタ半径 r をより適切な値に更新できる。

40

【0048】

図 3 に示すクラスタ情報記憶部 161e には、クラスタ生成部 1611d によって生成されたクラスタに関する情報がデータベースとして格納される。前記した情報には、機械設備 2 の識別情報と、クラスタが属する時間帯と、クラスタ中心 c の座標と、クラスタ半径 r と、が含まれる。なお、クラスタ更新部 1612d によってクラスタが更新された場合、前記した情報も更新される。

【0049】

（2．診断手段の構成）

50

図3に示す診断手段162は、クラスタリング手段161によって学習されたクラスタを用いて、機械設備2の異常予兆の有無を診断する機能を有している。

診断手段162は、診断対象データ取得部162aと、時間帯特定部162bと、診断対象データ記憶部162cと、異常測度算出部162dと、診断部162eと、を備えている。

【0050】

診断対象データ取得部162aは、診断対象となる時系列データ（つまり、診断対象データ）を時系列データ記憶手段13から所定時間毎に取得する。

なお、前記した「所定時間」（例えば、30秒）を、クラスタ更新部1612dの更新周期と等しくすることが好ましい。これによって、クラスタの生成 診断（異常予兆なし） クラスタの更新 診断（異常予兆なし） クラスタの更新 ...のように、「異常予兆なし」と診断された時系列データをそのままクラスタの更新に用い、さらに更新したクラスタに基づいて異常予兆の有無を診断できるからである。

【0051】

時間帯特定部162bは、診断対象データに含まれる時刻情報（センサの検出時刻）を参照し、この診断対象データが時間帯A～G（図2参照）のいずれに属するかを特定する。診断対象データ取得部162aは、特定した時間帯に対応する識別情報を付した上で、診断対象データを診断対象データ記憶部162cに格納する。

【0052】

診断対象データ記憶部162cには、時間帯特定部162bによって識別情報（時間帯A～Gに対応：図2参照）が付された診断対象データが、データベースとして記憶されている。

異常測度算出部162dは、診断対象データ記憶部162cから読み出した診断対象データを用いて、機械設備2の異常測度uを算出する。まず、異常測度算出部162dは、診断対象データを正規化（無次元量化）し、各時刻での機械設備2の状態を表す特徴ベクトルを生成する。

【0053】

そして、異常測度算出部162dは、診断対象データに含まれている識別情報（例えば、時間帯D：図2参照）を参照し、この識別情報に対応するクラスタをクラスタ情報記憶部161eから読み出す。このクラスタは、クラスタリング手段161によって生成・更新された最新のクラスタである。さらに、異常測度算出部162dは、読み出したクラスタに基づいて、診断対象データの異常測度uを算出する。

【0054】

例えば、一つの時間帯Dに対応するクラスタが複数存在する場合、異常測度uは、次のようにして算出される。すなわち、異常測度算出部162dは、時間帯Dに対応する複数のクラスタのうち、診断対象データに最も近いクラスタ中心cを有するものを特定する。さらに異常測度算出部162dは、特定したクラスタのクラスタ中心cから診断対象データまでの距離d（図4参照）と、クラスタ半径rと、を用いて、例えば、（数式1）に基づき異常測度uを算出する。

【0055】

$$u = d / r \cdots (\text{数式1})$$

【0056】

異常測度算出部162dは、算出した異常測度uを診断部162eに出力する。また、異常測度算出部162dは、診断対象データと、その異常測度uと、を対応付けて診断結果記憶手段17に格納する。

【0057】

診断部162eは、異常測度算出部162dから入力される異常測度uに基づき、診断対象である機械設備2について異常予兆の有無を診断する。

異常測度u 1である場合、診断対象データはクラスタ内に存在している。したがって診断部162eは、この診断対象データに対応する機械設備2に関して「異常予兆なし」

10

20

30

40

50

と診断する。

【0058】

なお、「異常予兆なし」と診断された診断対象データ(時系列データ)は、前記したように、学習対象データ取得部161aによって取得され、クラスタ更新部1612dによるクラスタの更新処理に用いられる。

【0059】

また、異常測度 $u > 1$ である場合、診断対象データはクラスタの外に存在している。この場合、診断部162eは、この診断対象データに対応する機械設備2に関して「異常予兆あり」と診断する。なお、診断結果記憶手段17に格納された情報は、表示制御手段18(図1参照)によって、表示手段19(図1参照)に表示される。

10

【0060】

<異常予兆診断装置の動作>

図6は、異常予兆診断装置の動作の流れを示すフローチャートである。

ステップS101において異常予兆診断装置1は、クラスタ生成処理を実行する。

図7は、クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

ステップS1011においてクラスタリング手段161は、学習対象データ取得部161aによって、時系列データ記憶手段13から学習対象データを取得する(時系列データ取得ステップ)。クラスタリング手段161は、例えば、過去2週間分の時系列データを、学習対象データとして時系列データ記憶手段13から取得する。なお、前記した過去2週間、機械設備2は正常に稼働していたものとする。

20

【0061】

ステップS1012においてクラスタリング手段161は、時間帯特定部161bによって、学習対象データが属する時間帯を特定する。すなわち、クラスタリング手段161は、学習対象データの検出時刻が時間帯A~G(図2参照)のいずれに属するかを特定し、その時間帯に対応する識別情報を学習対象データに付す。

【0062】

ステップS1013においてクラスタリング手段161は、時間帯特定部161bによって識別情報が付された学習対象データを、学習対象データ記憶部161cに格納する。なお、ステップS1013の終了時において、十分な個数の学習対象データが学習対象データ記憶部161cに格納されているものとする。

30

ステップS1014においてクラスタリング手段161は、クラスタ学習部161dによって、時間帯A~G(図2参照)のうち最初に学習する時間帯(例えば、時間帯A)を指定する。

【0063】

ステップS1015においてクラスタリング手段161は、クラスタ生成部1611dによって、機械設備2の正常範囲を示すクラスタを生成する(クラスタリングステップ:クラスタ生成ステップ)。すなわち、クラスタリング手段161は、ステップS1014で指定した時間帯Aの学習対象データを特徴ベクトルに変換し、各特徴ベクトルをクラスタリングすることでクラスタを生成する。

【0064】

ステップS1016においてクラスタリング手段161は、ステップS1015で生成したクラスタに関する情報をクラスタ情報記憶部161eに格納する。

ステップS1017においてクラスタリング手段161は、時間帯A~Gのうち、まだ学習していない時間帯が存在するか否かを判定する。学習していない時間帯が存在する場合(S1017 Yes)、クラスタリング手段161の処理はステップS1014に戻る。一方、全ての時間帯A~Gについて学習した場合(S1017 No)、クラスタリング手段161はクラスタ生成処理を終了する(END)。

40

【0065】

図6のステップS101でクラスタを生成した後、ステップS102において異常予兆診断装置1は、診断の開始時刻になったか否かを判定する。機械設備2の異常予兆に関す

50

る診断処理は、例えば、30秒ごとに行われる。

診断の開始時刻になった場合(S102 Yes)、異常予兆診断装置1の処理はステップS103に進む。一方、診断開始時刻になっていない場合(S102 No)、異常予兆診断装置1はステップS102の処理を繰り返す。

ステップS103において異常予兆診断装置1は、機械設備2の異常予兆に関する診断処理を実行する。

【0066】

図8は、診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

ステップS1031において診断手段162は、診断対象データ取得部162aによって、時系列データ記憶手段13から診断対象データを取得する。この診断対象データは、
10

【0067】

ステップS1032において診断手段162は、時間帯特定部162bによって、診断対象データが属する時間帯を特定する。すなわち、診断手段162は、診断対象データが検出された時刻が時間帯A~G(図2参照)のいずれに属するかを特定し、その時間帯に対応する識別情報を診断対象データに付す。

【0068】

ステップS1033において診断手段162は、時間帯特定部162bによって識別情報が付された診断対象データを診断対象データ記憶部162cに格納する。

ステップS1034において診断手段162は、異常測度算出部162dによって、診断対象データの異常測度uを算出する。すなわちステップS1034で診断手段162は、まず、診断対象データを正規化して特徴ベクトルに変換する。そして、診断手段162は、ステップS1032で特定した時間帯(例えば、時間帯A:図2参照)に対応するクラスタのうち、診断対象データの特徴ベクトルに最も近いクラスタ中心cを有するクラスタに基づき、異常測度uを算出する。
20

【0069】

ステップS1035において診断手段162は、診断部162eによって、診断対象データに関する診断処理を実行する(診断ステップ)。すなわち、診断手段162は、ステップS1034で算出した異常測度uと、所定閾値(例えば、所定閾値=1)と、の大きさを比較することで、機械設備2に関する異常予兆の有無を診断する。
30

ステップS1036において診断手段162は、ステップS1035の診断結果を診断結果記憶手段17に格納する。

【0070】

図6のステップS103で診断処理を実行した後、ステップS104において異常予兆診断装置1は、ステップS103の診断結果が「異常予兆なし」であったか否かを判定する。ステップS103の診断結果が「異常予兆なし」であった場合(S104 Yes)、異常予兆診断装置1の処理はステップS105に進む。一方、ステップS103の診断結果が「異常予兆あり」であった場合(S104 No)、異常予兆診断装置1の処理はステップS106に進む。
40

【0071】

ステップS105において異常予兆診断装置1は、クラスタ更新処理を実行する。

図9は、クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

ステップS1051においてクラスタリング手段161は、ステップS1035で「異常予兆なし」と診断された診断対象データを、学習対象データとして取得する。この学習対象データは、図3に示す学習対象データ取得部161aによって、診断結果記憶手段17から取得される。

【0072】

ステップS1052においてクラスタリング手段161は、時間帯特定部161bによって、学習対象データが属する時間帯(図2に示す時間帯A~Gのいずれか)を特定する。
50

ステップS1053においてクラスタリング手段161は、ステップS1052で特定した時間帯に属する一つ又は複数のクラスタのうち、学習対象データとクラスタ中心との距離が最小となるクラスタを特定する。

【0073】

ステップS1054においてクラスタリング手段161は、ステップS1053で特定したクラスタのメンバとして、ステップS1051で取得した学習対象データの特徴ベクトルを追加してクラスタを更新する(クラスタリングステップ:クラスタ更新ステップ)。つまり、クラスタリング手段161は、前記したクラスタのクラスタ中心 c 及びクラスタ半径 r を再計算する。

ステップS1055においてクラスタリング手段161は、ステップS1054で更新したクラスタに関する情報をクラスタ情報記憶部161eに格納する。

10

【0074】

図6のステップS105でクラスタを更新した後、ステップS106において異常予兆診断装置1は、ユーザの操作に基づき、学習処理(クラスタの更新)及び診断処理を終了するか否かを判定する。学習処理及び診断処理を終了する場合(S106 Yes)、異常予兆診断装置1は一連の処理を終了する(END)。

一方、学習処理及び診断処理を続行する場合(S106 No)、異常予兆診断装置1の処理はステップS102に戻る。このようにして異常予兆診断装置1は、「異常予兆なし」の診断結果が出るたびに(S104 Yes)、クラスタを逐次更新する(S105)。

20

なお、図6に示すステップS106の判定処理を省略し、ステップS105(又はS104)の処理を行った後、異常予兆診断装置1の処理をステップS102に戻すようにしてもよい。

【0075】

<効果>

本実施形態に係る異常予兆診断装置1は、機械設備2の運転スケジュールの実行時間を複数の時間帯A~Gに分割し、それぞれの時間帯A~Gについてクラスタを生成する。したがって、例えば、運転スケジュールの実行時間で得られた時系列データを一括して学習する場合と比較して、機械設備2の実際の状態を適切に反映したクラスタが得られる。

【0076】

30

例えば、図5に示す時間帯A(印)に属する特徴ベクトル p_A と、時間帯B(印)に属する特徴ベクトル p_B と、の間は距離は小さく、これらはデータとして似通っている。しかしながら、時間帯Aと時間帯Bとの間で、機械設備2の状態が大きく異なる可能性がある(図2参照)。

仮に、運転スケジュールの実行時間で得られた時系列データを一括で学習した場合、特徴ベクトル p_A 、 p_B (図5参照)を含む複数の特徴ベクトルから一つのクラスタが生成される可能性がある。図2に示すように、特徴ベクトル p_A が属する時間帯Aと、特徴ベクトル p_B が属する時間帯Bと、では機械設備2の状態が大きく異なっているため、機械設備2の実際の状態からクラスタが乖離する可能性がある。

【0077】

40

これに対して本実施形態に係る異常予兆診断装置1は、時間帯A~Gでそれぞれ独立にクラスタを生成する。したがって、互いに似通ったデータであるものの、時間帯(機械設備2の状態)が異なる特徴ベクトル(例えば、特徴ベクトル p_A 、 p_B :図5参照)を区別した上でクラスタを生成できる。これによって、機械設備2の実際の状態が正確に反映されたクラスタを生成し、機械設備2に関する異常予兆の有無を適切に診断できる。

【0078】

また、異常予兆診断装置1は、診断手段162において「異常予兆なし」と診断されるたびに、この診断対象データを新たな学習データとして追加し、クラスタを逐次更新する。これによって、各時間帯での機械設備2の正常状態に関する情報を徐々に増加させ、クラスタ中心 c 及びクラスタ半径 r をより適切な値に更新できる。

50

また、診断対象データから得られる特徴ベクトルは、機械設備 2 の最新の状態を表している。したがって、季節変化等に伴って機械設備 2 が経時的に変化した場合でも、この変化に追従してクラスタを更新することができ、ひいては異常予兆の診断精度を高めることができる。

【 0 0 7 9 】

また、異常予兆診断装置 1 は、機械設備 2 の運転スケジュールの実行時間を均等に分割して時間帯 A ~ G (図 2 参照) を設定する。したがって、時間帯の設定処理を単純化し、異常予兆診断装置 1 の処理負荷を軽減できる。

【 0 0 8 0 】

第 2 実施形態

第 2 実施形態に係る異常予兆診断装置 1 A (図示せず) は、クラスタ更新後のクラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合にクラスタを分割する点が、第 1 実施形態とは異なる。

なお、異常予兆診断装置 1 A の全体的な構成は、第 1 実施形態で説明した図 1 の構成と同様である。また、異常予兆診断装置 1 A が行うクラスタ生成処理 (図 7 参照) 及び診断処理 (図 8 参照) も、第 1 実施形態と同様である。したがって、第 1 実施形態と異なる部分 (クラスタ更新処理) について説明し、重複する部分についての説明は省略する。

【 0 0 8 1 】

< 異常予兆診断装置の構成 >

図 1 0 は、第 2 実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。図 1 0 に示すクラスタ学習部 1 6 1 A d は、第 1 実施形態で説明したクラスタ学習部 1 6 1 d (図 3 参照) にクラスタ分割部 1 6 1 3 d を追加した構成になっている。

クラスタ分割部 1 6 1 3 d は、クラスタ更新部 1 6 1 2 d によって更新されたクラスタのクラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合、当該クラスタを分割する機能を有している。この所定閾値 r_{th} は、クラスタを分割するか否かの判定基準となる閾値であり、事前のシミュレーションに基づいて予め設定されている。

なお、図 1 0 に示す他の構成については、第 1 実施形態と同様であるから説明を省略する。

【 0 0 8 2 】

< 異常予兆診断装置の動作 >

図 6 に示すステップ S 1 0 3 の診断結果が「異常予兆なし」であった場合 (S 1 0 4 Yes)、異常予兆診断装置 1 A は、クラスタ更新処理を実行する。

図 1 1 は、データマイニング手段が実行するクラスタ更新・分割処理のフローチャートである。第 1 実施形態で説明したステップ S 1 0 5 1 ~ 1 0 5 5 の処理 (図 9 参照) に、ステップ S 2 0 0 1 , S 2 0 0 2 の処理を追加したものが、図 1 1 に示すフローチャートである。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 1 0 5 4 においてクラスタを更新した後、ステップ S 2 0 0 1 においてクラスタリング手段 1 6 1 A は、更新したクラスタのクラスタ半径 r (図 4 参照) が所定閾値 r_{th} 以上であるか否かを判定する。

クラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 未満である場合 (S 2 0 0 1 No)、クラスタリング手段 1 6 1 は、ステップ S 1 0 5 5 でクラスタ情報を記憶する。この場合、ステップ S 1 0 5 4 で更新されたクラスタが、次回の診断処理に用いられる。

【 0 0 8 4 】

一方、クラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合 (S 2 0 0 1 Yes)、ステップ S 2 0 0 2 においてクラスタリング手段 1 6 1 は、更新したクラスタを分割する。

図 1 2 は、クラスタが分割される過程の説明図である。

例えば、クラスタの更新 (S 1 0 5 4) を行う前は、図 1 2 (a) に示すように、時間帯 A のクラスタのクラスタ中心が c_A であり、クラスタ半径が r_A であったとする。その後、図 1 2 (b) に示す学習対象データ q_A が追加され、クラスタの更新 (S 1 0 5 4) が

10

20

30

40

50

行われることで、クラスタ中心が c_A' に移動し、クラスタ半径が r_A' (r_A) に変化したとする。

【0085】

このように時間帯 A のクラスタのメンバ数が増大すると、それに伴ってクラスタ半径も徐々に大きくなる。なお、クラスタ半径が大きくなり過ぎると、異常予兆を診断する際の感度が低下する可能性がある。クラスタ半径が非常に大きい場合には、異常予兆の発生初期の特徴ベクトルがクラスタに含まれてしまい、「異常予兆なし」と診断されるからである。

【0086】

したがって、本実施形態では、クラスタを更新した後のクラスタ半径 r_A' が所定閾値 r_{th} 以上である場合、図 11 (c) に示すようにクラスタに二つに分割するようにした。なお、クラスタを分割する手順は、クラスタを生成する際の手順と同様である。すなわち、クラスタリング手段 161A は、クラスタに属する全メンバに対してランダムに二つのクラスタを割り振った後、クラスタ中心等を再計算する。

10

【0087】

これによって、図 11 (c) に示すように、印のメンバを有するクラスタ (クラスタ中心 c_{1A} , クラスタ半径 r_{1A}) と、印のメンバを有するクラスタ (クラスタ中心 c_{2A} , クラスタ半径 r_{2A}) と、が生成される。

図 11 のステップ S2002 でクラスタを分割した後、ステップ S1055 でクラスタリング手段は、クラスタ情報 (クラスタ中心、クラスタ半径) をクラスタ情報記憶部 161e に格納する。そして、分割処理を行った後のクラスタに基づき、その後の診断処理 (S103 : 図 6 参照) が行われる。

20

【0088】

< 効果 >

本実施形態によれば、クラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合にクラスタを分割することで、各時間帯 (時間帯 A ~ G : 図 2 参照) のクラスタを適切に学習できる。また、分割後の各クラスタに基づいて異常予兆診断を行うことで、クラスタのメンバ数の増加に伴って診断の感度が低下することを抑制し、機械設備 2 の異常予兆の有無を適切に診断できる。

【0089】

第 3 実施形態

第 3 実施形態では、第 1 実施形態で説明した時間帯特定部 161b , 162b (図 3 参照) に代えて、運転モード特定部 161f , 162f を備える構成とした。なお、第 3 実施形態に係る異常予兆診断装置 1B (図示せず) の全体的な構成は、第 1 実施形態で説明した図 1 の構成と同様であり、運転モード特定部 161f , 162f 以外の構成も第 1 実施形態と同様である。したがって、第 1 実施形態と異なる部分について説明し、重複する部分については説明を省略する。

30

【0090】

< 異常予兆診断装置の構成 >

図 13 は、第 3 実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。図 13 に示すように、クラスタリング手段 161B は運転モード特定部 161f を備え、診断手段 162B は運転モード特定部 162f を備えている。

40

【0091】

運転モード特定部 161f は、学習対象データ取得部 161a から入力される学習対象データの運転モードを特定する機能を有している。

図 14 は、機械設備の一回の運転スケジュールにおけるセンサ出力の変化を日付ごとに分けて示した説明図である。図 14 に示す例では、時間帯 P において機械設備 2 が起動され (起動モード)、時間帯 Q において機械設備 2 が定常運転され (定常モード)、時間帯 R において機械設備 2 が停止される (停止モード)。このような運転モードの種類と、運転モードが実行される時間帯と、を特定する情報が、運転スケジュール記憶手段 15 (図

50

13照)に格納されている。

なお、運転モードの種類は、図14に示す例に限定されない。

【0092】

図13に示す運転モード特定部161fは、前記した情報を運転スケジュール記憶手段15から読み出し、時系列データ取得手段12(図1参照)によって時系列データ(学習対象データ)が取得されたときの運転モードを特定する。

ちなみに、運転モード特定部161fが、学習対象データに含まれる制御指令を参照し、この学習対象データの取得時における運転モードを特定するようにしてもよい。

【0093】

運転モード特定部161fは、特定した運転モードに対応する識別情報を付した上で、学習対象データを学習対象データ記憶部161cに格納する。例えば、時間帯特定部161bは、図14に示す10月3日の時刻t01に取得された学習対象データに関して、起動モード(時間帯P)に対応する識別情報を付し、識別情報が付された学習対象データを学習対象データ記憶部161cに格納する。

このようにしてクラスタリング手段161Bは、機械設備2の運転スケジュールを複数の運転モード(時間帯P, Q, R:図14参照)に分割し、各運転モードごとにクラスタリングを行うことでクラスタを生成・更新する。

【0094】

図13に示す運転モード特定部162fは、診断対象データ取得部162aから入力される診断対象データの運転モードを特定する機能を有している。つまり、運転モード特定部162fは、時系列データ取得手段12(図1参照)によって時系列データ(診断対象データ)が取得されたときの運転モードを特定する。

そして、診断手段162Bは、特定した運転モードに対応するクラスタに基づいて、機械設備2の異常予兆の有無を診断する。

【0095】

<異常予兆診断装置の動作>

異常予兆診断装置1Bが実行する処理の一連の流れは、第1実施形態で説明した図6のフローチャートと同様であるが、ステップS101, S103, S105の内容が第1実施形態とは異なる。

図15は、クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

ステップS1011において学習対象データを取得した後、ステップS3001においてクラスタリング手段161Bは、運転モード特定部161fによって、学習対象データの運転モードを特定する。

【0096】

次に、ステップS1013においてクラスタリング手段161Bは、ステップS3001で特定した運転モードの識別情報を付した上で、この学習対象データを学習対象データ記憶部161cに格納する。なお、ステップS1013の終了時において、十分な個数の学習対象データが学習対象データ記憶部161cに格納されているものとする。

次に、ステップS3002においてクラスタリング手段161Bは、クラスタ学習部161dによって、最初に学習する運転モード(例えば、起動モード:図14参照)を指定する。

【0097】

そして、ステップS1015においてクラスタリング手段161Bは、ステップS3002で指定した運転モードに対応するクラスタを生成し、ステップS1016でクラスタ情報をクラスタ情報記憶部161eに格納する。

【0098】

次に、ステップS3003においてクラスタリング手段161Bは、未学習の運転モードが存在するか否かを判定する。未学習の運転モードが存在する場合(S3003 Yes)、クラスタリング手段161Bの処理はステップS3002に戻る。一方、全ての運転モードについて学習した場合(S3003 No)、クラスタリング手段161Bはク

10

20

30

40

50

ラスタ生成処理を終了する（END）。

【0099】

このようにクラスタリング手段161Bは、運転モード特定部161fによって運転スケジュールを複数の運転モードに分割し、各運転モードごとにクラスタを生成する。ちなみに、各運転モードでクラスタの個数が異なることもある。

【0100】

図16は、診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

ステップS1031において診断対象データを取得した後、ステップS4001において診断手段162Bは、運転モード特定部162fによって、診断対象データの運転モードを特定する。

10

次に、ステップS1033において診断手段162Bは、ステップS4001で特定した運転モードの識別情報を診断対象データに付した上で、この診断対象データを診断対象データ記憶部162cに格納する。

なお、ステップS1034～S1036の処理については、第1実施形態と同様であるから説明を省略する。

【0101】

このように診断手段162Bは、診断対象データが取得されたときの機械設備2の運転モードを特定し、各運転モードに対応して異常予兆の有無を個別で診断する。

【0102】

図17は、クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

20

ステップS1051で「異常予兆なし」の診断対象データを学習対象データとして取得した後、クラスタリング手段161Bの処理はステップS5001に進む。

ステップS5001においてクラスタリング手段161Bは、運転モード特定部161fによって、学習対象データの運転モードを特定する。

【0103】

次に、ステップS1053においてクラスタリング手段161Bは、ステップS5001で特定した運転モードに属する一つ又は複数のクラスタのうち、学習対象データとクラスタ中心との距離が最小となるクラスタを特定する。

なお、ステップS1054、S1055の処理については、第1実施形態と同様であるから説明を省略する。

30

【0104】

このようにクラスタリング手段161Bは、運転モード特定部161fによって運転スケジュールを複数の運転モードに分割し、各運転モードごとにクラスタを更新する。

【0105】

<効果>

本実施形態では、学習対象データの運転モードに対応して個別でクラスタを学習するようにした。したがって、運転モードの切替時刻が一つの時間帯に含まれることを回避できる。つまり、運転モードの切替前後に取得された学習対象データ（機械設備2の状態が異なる複数の時系列データ）が一つのクラスタに含まれないため、機械設備2の実際の状態をクラスタに適切に反映させることができる。

40

【0106】

なお、運転モードが同一であっても、時間の経過に伴って機械設備の状態は時々刻々と変化する。したがって、本実施形態のように一つの運転モードを複数個に分割して個別で学習するほうが、一つの運転モードごと一括して学習する場合よりも機械設備2の実際の状態をクラスタに正確に反映させることができる。その結果、異常予兆診断装置1Bによって、機械設備2の異常予兆の有無を高精度で診断できる。

【0107】

第4実施形態

第4実施形態に係る異常予兆診断装置1C（図示せず）は、第3実施形態で説明したクラスタリング手段161B（図13参照）に時間帯特定部161g（図18参照）を追加

50

し、診断手段 161B (図 13 参照) に時間帯特定部 162g (図 18 参照) を追加した構成になっている。したがって、第 3 実施形態と異なる部分について説明し、重複する部分については説明を省略する。

【0108】

<異常予兆診断装置の構成>

図 18 は、第 4 実施形態に係る異常予兆診断装置が備えるデータマイニング手段の構成図である。図 18 に示すように、クラスタリング手段 161C は、時間帯特定部 161g を備えている。また、診断手段 162C は、時間帯特定部 162g を備えている。

【0109】

時間帯特定部 161g は、運転モード特定部 161f によって特定された運転モードの
10 実行時間を所定個数の時間帯に分割し、学習対象データが属する時間帯を特定する。

すなわち、時間帯特定部 161g は、運転スケジュール記憶手段 15 に格納されている
運転スケジュールを参照し、各運転モード (例えば、定常モード) を所定個数の時間帯に
分割する。なお、運転モードの種類に応じて、運転モードの実行時間を分割する際の個数
を変えてもよい。そして、時間帯特定部 161g は、学習対象データが属する時間帯の識
別情報を付した上で、その学習対象データを学習対象データ記憶部 161c に格納する。

【0110】

図 18 に示す時間帯特定部 162g は、運転モード特定部 162f によって特定された
運転モードの実行時間を所定個数の時間帯に分割し、診断対象データが属する時間帯を特
20 定する。なお、時間帯特定部 162g の機能は、前記した時間帯特定部 161g と同様で
あるから、詳細な説明を省略する。

【0111】

<異常予兆診断装置の動作>

異常予兆診断装置 1C が実行する処理の一連の流れは、図 6 に示すフローチャートと同
様であるが、ステップ S101, S103, S105 の内容が第 3 実施形態とは異なっ
ている。

図 19 は、クラスタリング手段が実行するクラスタ生成処理のフローチャートである。

ステップ S1011 において学習対象データを取得した後、ステップ S3001 におい
てクラスタリング手段 161C は、運転モード特定部 161f によって、学習対象デー
30 々の運転モードを特定する。

【0112】

次に、ステップ S6001 においてクラスタリング手段 161C は、ステップ S300
1 で特定した運転モードの実行時間を複数の時間帯に分割し、学習対象データが属する時
間帯を特定する。

次に、ステップ S1013 においてクラスタリング手段 161C は、ステップ S300
1 で特定した運転モードの識別情報、及びステップ S6001 で特定した時間帯の識別情
報を学習対象データに付した上で、この学習対象データを学習対象データ記憶部 161c
に格納する。なお、ステップ S1013 の終了時において、十分な個数の学習対象デー
40 が学習対象データ記憶部 161c に格納されているものとする。

【0113】

次に、ステップ S6002 においてクラスタリング手段 161C は、クラスタ学習部 1
61d によって、最初に学習する運転モードを指定する。例えば、クラスタリング手段 1
61C は、最初に学習する対象として機械設備 2 の起動モードを指定する。

ステップ S6003 においてクラスタリング手段 161C は、クラスタ学習部 161d
によって、ステップ S6002 で指定した運転モードにおいて最初に学習する時間帯を指
定する。

【0114】

次に、ステップ S1015 においてクラスタリング手段 161C は、ステップ S600
2 で指定した運転モード、及びステップ S6003 で指定した時間帯に対応するクラスタ
50 を生成し、ステップ S1016 でクラスタ情報をクラスタ情報記憶部 161e に格納する

。

【0115】

次に、ステップS6004においてクラスタリング手段161Cは、ステップS6002で指定した運転モードに含まれる複数の時間帯のうち、未学習の時間帯が存在するかを判定する。

未学習の時間帯が存在する場合(S6004 Yes)、クラスタリング手段161Cの処理はステップS6003に戻る。一方、未学習の時間帯がない場合(S6004 No)、クラスタリング手段161Cの処理はステップS3003に進む。

【0116】

ステップS3003においてクラスタリング手段161Cは、運転スケジュールのうち未学習の運転モードが存在するかを判定する。未学習の運転モードが存在する場合(S3003 Yes)、クラスタリング手段161Cの処理はステップS6002に戻る。一方、未学習の運転モードが存在しない場合(S3003 No)、クラスタリング手段161Cは処理を終了する(END)。

【0117】

このように、クラスタリング手段161Cは、運転モード特定部161fによって特定した運転モードの実行時間を、各運転モードごとに所定個数に分割し、所定個数の各時間帯ごとにクラスタを生成する。ちなみに、各時間帯でクラスタの個数が異なることもある。

。

【0118】

図20は、診断手段が実行する診断処理のフローチャートである。

ステップS1031において診断対象データを取得した後、ステップS4001において診断手段162Cは、運転モード特定部162fによって、診断対象データの運転モードを特定する。

【0119】

次に、ステップS7001において診断手段162Cは、ステップS4001で特定した運転モードの実行時間を複数の時間帯に分割し、診断対象データが属する時間帯を特定する。なお、ステップS1033～S1036の処理については、第3実施形態と同様であるから説明を省略する。

【0120】

このように診断手段162Cは、診断対象データが取得されたときの機械設備2の運転モードと、当該運転モード内での時間帯と、を特定し、各運転モード及び各時間帯に対応して異常予兆の有無を個別で診断する。

【0121】

図21は、クラスタリング手段が実行するクラスタ更新処理のフローチャートである。

ステップS1051で「異常予兆なし」の診断対象データを学習対象データとして取得した後、クラスタリング手段161Cの処理はステップS5001に進む。

ステップS5001においてクラスタリング手段161Cは、運転モード特定部161fによって、学習対象データの運転モードを特定する。

【0122】

次に、ステップS8001においてクラスタリング手段161Cは、ステップS5001で特定した運転モードの実行時間を複数の時間帯に分割し、学習対象データが属する時間帯を特定する。なお、ステップS1053～S1055の処理については、第1実施形態と同様であるから説明を省略する。

【0123】

このようにクラスタリング手段161Cは、学習対象データが取得されたときの機械設備2の運転モードと、当該運転モード内での時間帯と、を特定し、各運転モード及び各時間帯に対応してクラスタを更新する。

【0124】

<効果>

10

20

30

40

50

本実施形態に係る異常予兆診断装置 1 C では、学習対象データの運転モードと、この運転モード内での時間帯と、に対応して個別でクラスタを学習できる。したがって、一つの運転モードに含まれる時間帯の中でクラスタをきめ細かく学習できる。これによって機械設備 2 の実際の状態をクラスタに適切に反映させ、異常予兆の有無を高精度で診断できる。

【 0 1 2 5 】

変形例

以上、本発明に係る異常予兆診断装置 1 , 1 A , 1 B , 1 C について各実施形態により説明したが、本発明はこれらの記載に限定されるものではなく、種々の変更を行うことができる。

例えば、各実施形態では、一日に一回、予め設定された時刻に機械設備 2 の運転を開始・終了する場合について説明したが、これに限らない。すなわち、機械設備 2 の開始時刻を任意の時刻にしてもよい（運転開始後における機械設備 2 の運転スケジュールさえ定まっていればよい）。この場合でも、時系列データに含まれる制御指令を参照することで、機械設備 2 の運転時間を算出できる。

【 0 1 2 6 】

また、第 1、第 2 実施形態では、運転スケジュールの実行時間を所定個数（7 個：図 2 参照）に均等に分割する場合について説明したが、これに限らない。すなわち、事前のシミュレーション等に基づいて、前記した所定個数や各時間帯の長さを適宜設定してもよい。この場合において、各時間帯の長さは不均等であってもよい。第 4 実施形態についても同様に、一つの運転モードに含まれる各時間帯の個数や長さを適宜設定してもよい。

【 0 1 2 7 】

また、各実施形態では、クラスタ学習部 1 6 1 d が非階層的クラスタリングとして k 平均法を用いてクラスタリングを行う場合について説明したが、これに限らない。例えば、クラスタ学習部 1 6 1 d が、非階層的クラスタリングとしてファジィクラスタリングや混合密度分布法等に基づいて学習処理を行うようにしてもよい。

【 0 1 2 8 】

また、前記実施形態では、機械設備 2 の使用開始から 2 週間分の時系列データを学習対象データとしてクラスタを生成し、さらに、クラスタを逐次更新することによってクラスタのメンバ数を徐々に増加させる場合について説明したが、これに限らない。

例えば、「異常予兆なし」の診断対象データを新たな学習対象データとしてクラスタを更新する際、このクラスタに含まれる最も古いデータをクラスタのメンバから除去した上でクラスタ更新処理を行うようにしてもよい。

これによって、経年変化や季節変化で機械設備 2 の場外が微妙に変化した場合でも、クラスタのメンバを逐次更新していく（いわば、新陳代謝を活発に行う）ことで、機械設備 2 の状態をクラスタに反映させることができる。

【 0 1 2 9 】

また、第 2 実施形態では、クラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合にクラスタを分割する場合について説明したが、これに限らない。例えば、クラスタのメンバ数が所定閾値以上である場合に当該クラスタを分割するようにしてもよい。また、クラスタ半径やメンバ数に関する閾値を、クラスタに含まれる特徴ベクトルの分散に基づいて調整してもよい。

また、第 2 実施形態では、クラスタ半径 r が所定閾値 r_{th} 以上である場合にクラスタを二つに分割する場合について説明したが、クラスタを三つ以上に分割してもよい。

【 0 1 3 0 】

また、第 2 実施形態では、クラスタを分割する際の判定基準となる所定閾値 r_{th} が固定値である場合について説明したが、これに限らない。例えば、クラスタの更新に伴ってクラスタ半径 r が徐々に大きくなり、過去に「異常予兆あり」と診断した時系列データが当該クラスタに含まれる状態になった場合、当該クラスタを分割するようにしてもよい。つまり、クラスタをそれ以上成長させると誤診断する可能性が高くなった時点で、このクラ

10

20

30

40

50

スタを分割するようにしてもよい。

【 0 1 3 1 】

また、前記実施形態は、適宜組み合わせることができる。例えば、第 2 実施形態を第 3 実施形態に適用し、クラスタ分割部 1 6 1 3 d (図 1 0 参照) による分割後のクラスタに基づいて、診断手段 1 6 2 B (図 1 3 参照) が診断処理を行うようにしてもよい。同様に、第 2 実施形態を第 4 実施形態に適用することもできる。

【 0 1 3 2 】

なお、本発明は、各実施形態で説明した全ての構成を備えるものに限定されない。また、一の実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることが可能であり、また、一の実施形態の構成に他の実施形態の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成を追加・削除・置換することも可能である。

10

【 0 1 3 3 】

また、図 1、図 3、図 1 0、図 1 3、図 1 8 に示す各構成は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、前記の各構成は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テープ、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、又は、ICカード、SDカード、DVD等の記録媒体に格納することができる。

【 0 1 3 4 】

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

20

【 符号の説明 】

【 0 1 3 5 】

1, 1 A, 1 B, 1 C 異常予兆診断装置

1 1 通信手段

1 2 時系列データ取得手段

1 3 時系列データ記憶手段

1 4 運転スケジュール取得手段

1 5 運転スケジュール記憶手段

30

1 6, 1 6 A, 1 6 B, 1 6 C データマイニング手段

1 6 1, 1 6 1 A, 1 6 1 B, 1 6 1 C クラスタリング手段

1 6 1 a 学習対象データ取得部

1 6 1 b 時間帯特定部

1 6 1 c 学習対象データ記憶部

1 6 1 d, 1 6 1 A d クラスタ学習部

1 6 1 1 d クラスタ生成部

1 6 1 2 d クラスタ更新部

1 6 1 3 d クラスタ分割部

1 6 1 e クラスタ情報記憶部

40

1 6 1 f 運転モード特定部

1 6 2, 1 6 2 B, 1 6 2 C 診断手段

1 6 2 a 診断対象データ取得部

1 6 2 b 時間帯特定部

1 6 2 c 診断対象データ記憶部

1 6 2 d 異常測度算出部

1 6 2 e 診断部

1 6 2 f 運転モード特定部

1 6 2 g 時間帯特定部

1 7 診断結果記憶手段

50

- 1 8 表示制御手段
- 1 9 表示手段
- 2 機械設備
- 3 コンピュータ

【要約】

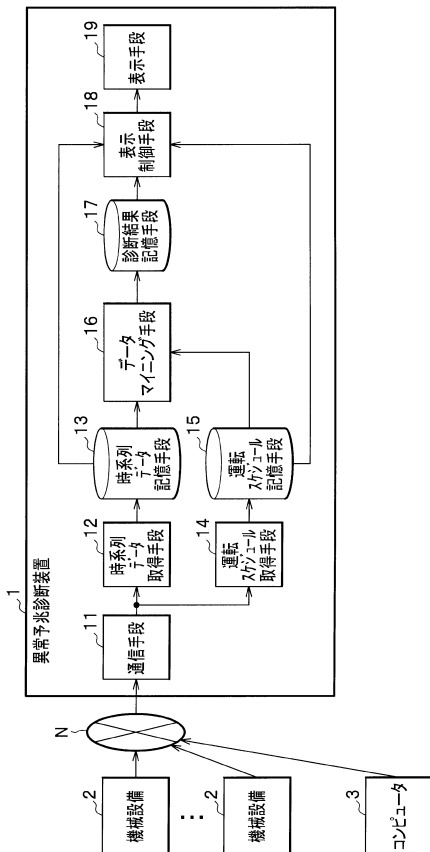
【課題】機械設備の異常予兆の有無を高精度で診断する異常予兆診断装置等を提供する。

【解決手段】異常予兆診断装置は、機械設備に設置された複数のセンサの検出値を含む時系列データを取得する時系列データ取得手段と、機械設備の運転スケジュールを複数の時間帯に分割し、各時間帯ごとにクラスタリングを行うクラスタリング手段161と、クラスタリング手段161によって生成又は更新されたクラスタを用いて機械設備の異常予兆の有無を診断する診断手段162と、を備え、クラスタリング手段161は、過去に取得された正常な時系列データを用いて各時間帯ごとにクラスタを生成するクラスタ生成部1611dと、診断手段162によって異常予兆なしと診断された時系列データをクラスタのメンバに追加して更新するクラスタ更新部1612dと、を有する。

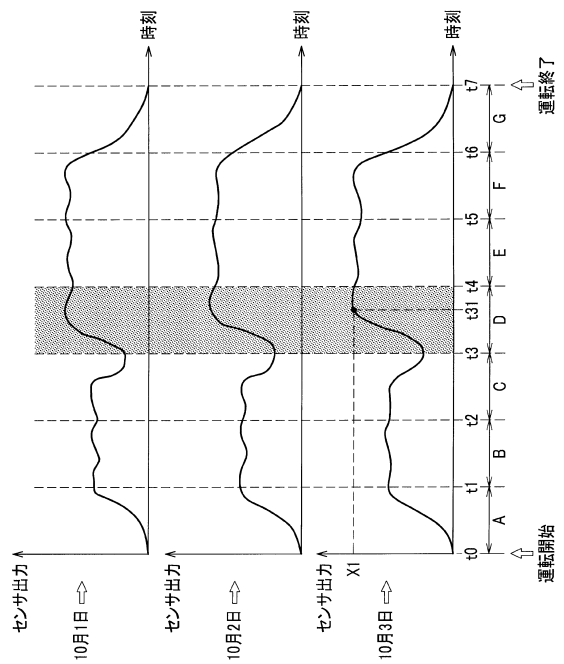
10

【選択図】図3

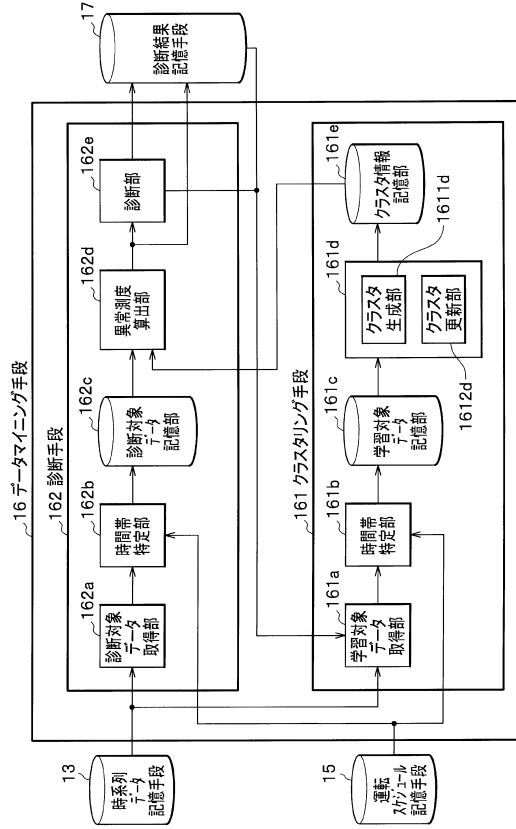
【図1】



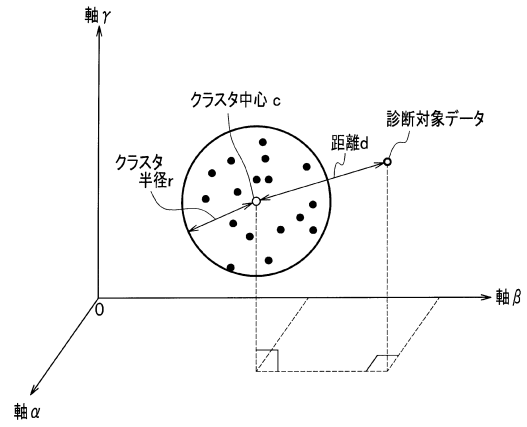
【図2】



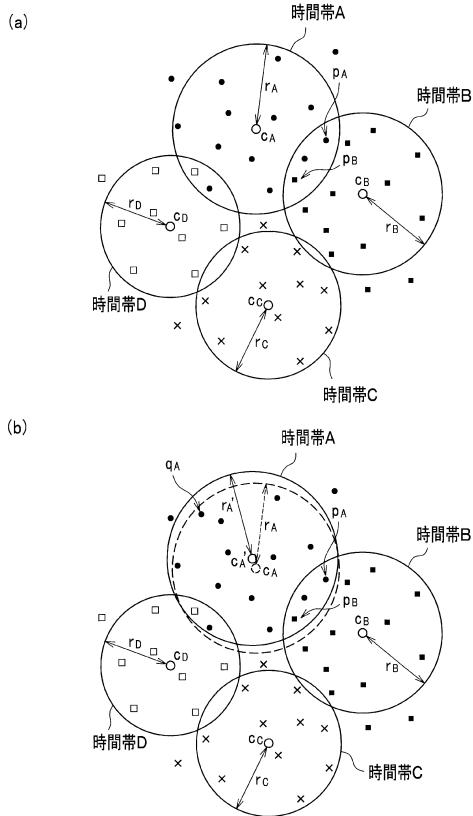
【図3】



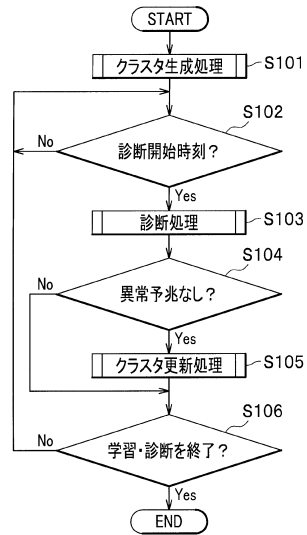
【図4】



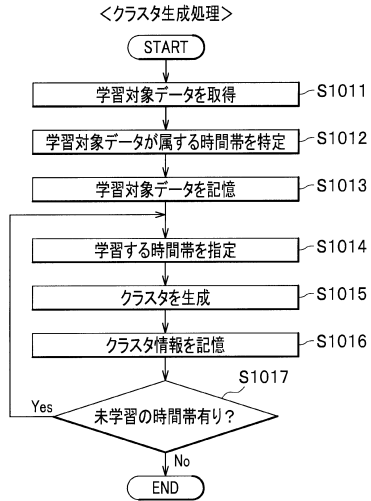
【図5】



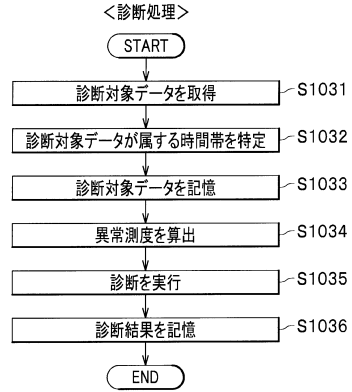
【図6】



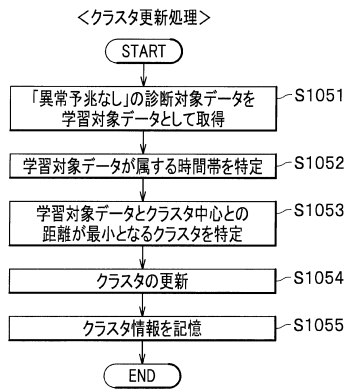
【図7】



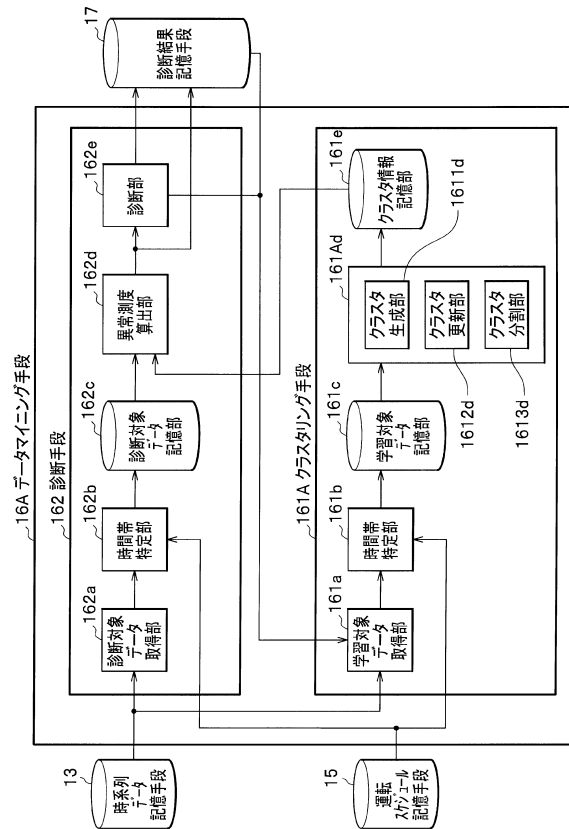
【図8】



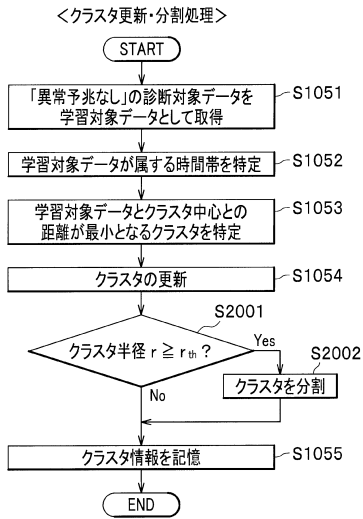
【図9】



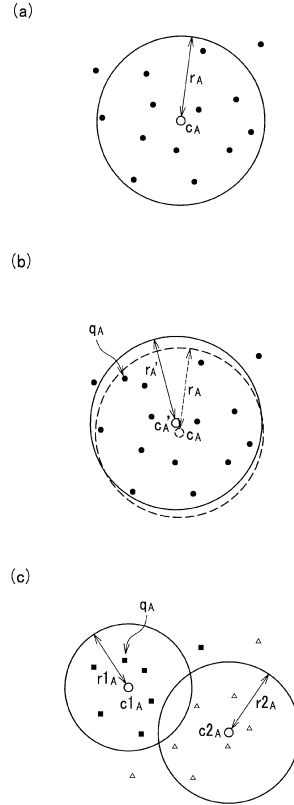
【図10】



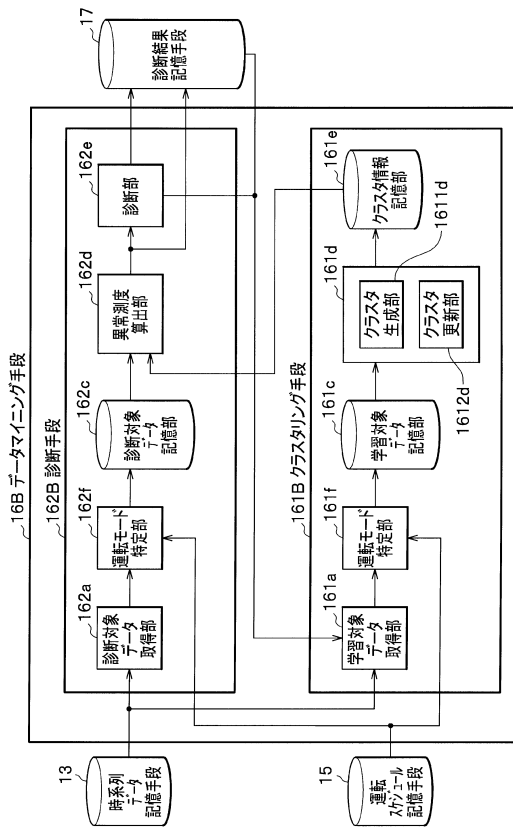
【図11】



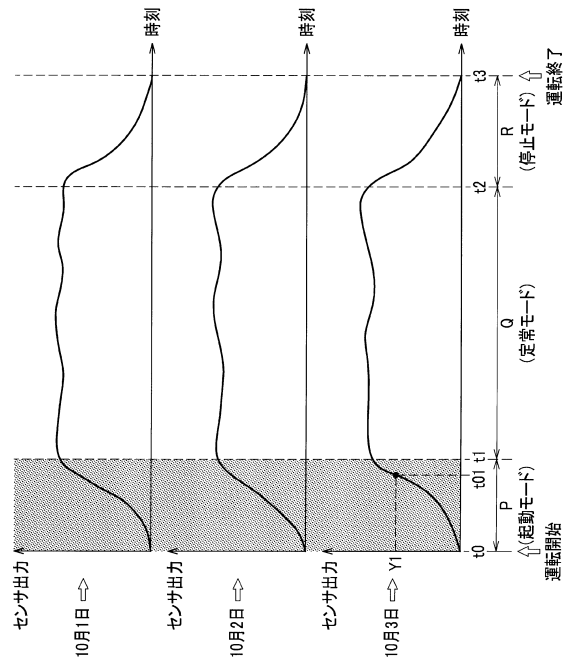
【図12】



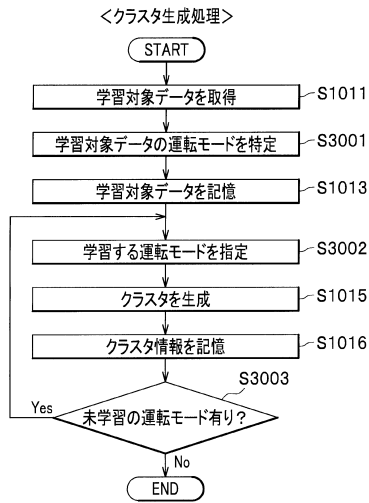
【図13】



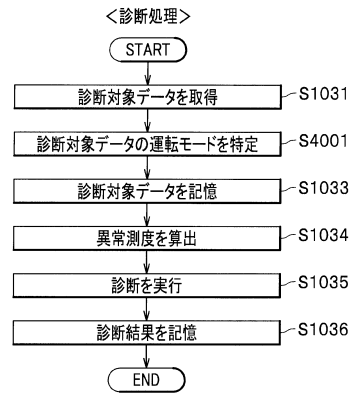
【図14】



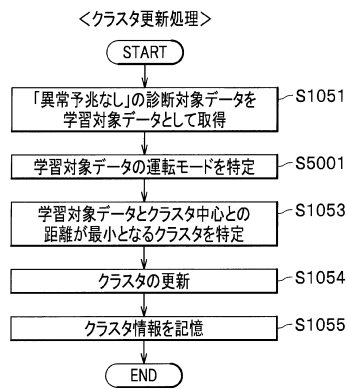
【図15】



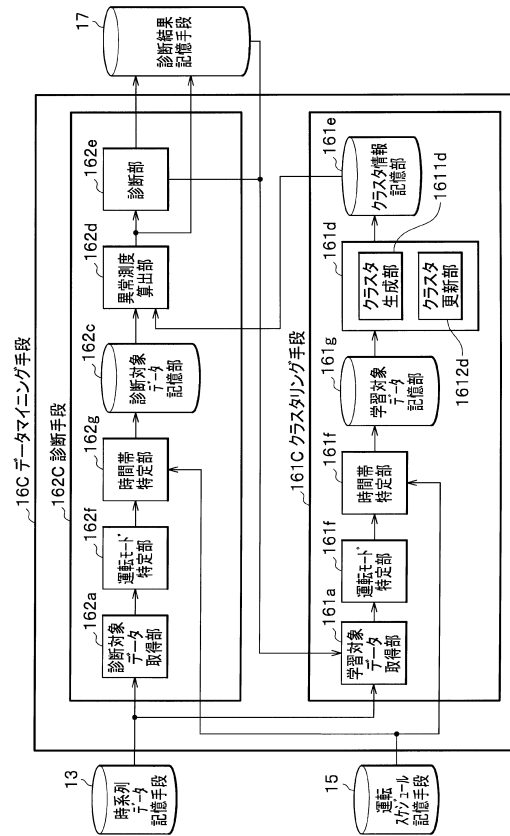
【図16】



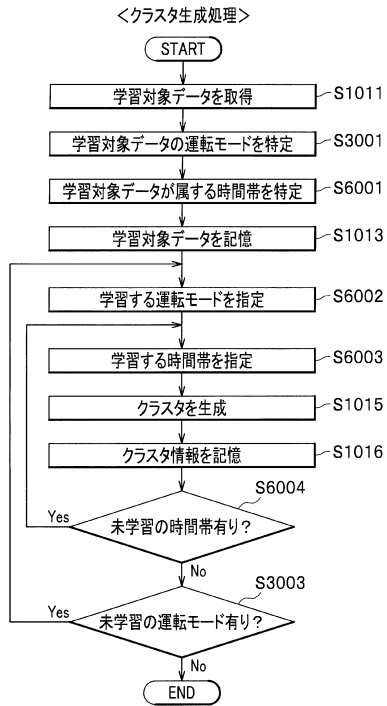
【図17】



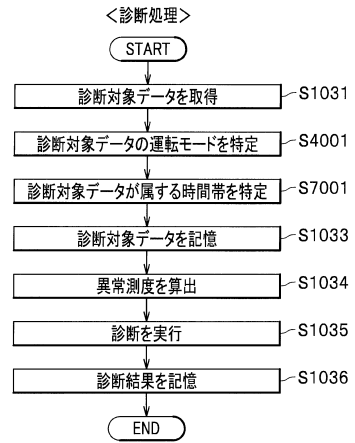
【図18】



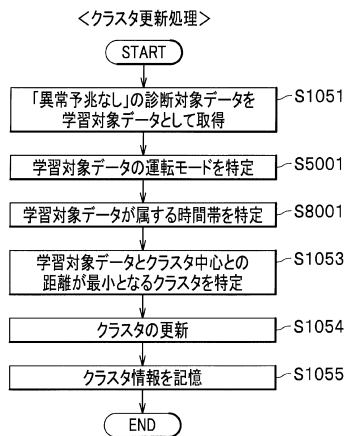
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

- (72)発明者 草野 正己
茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会社日立パワーソリューションズ内
- (72)発明者 知久馬 成美
茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会社日立パワーソリューションズ内
- (72)発明者 小針 利明
茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会社日立パワーソリューションズ内
- (72)発明者 宮部 昇三
茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会社日立パワーソリューションズ内
- (72)発明者 中嶋 巖
茨城県日立市幸町三丁目2番2号 株式会社日立パワーソリューションズ内
- (72)発明者 渋谷 久恵
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 青山 純

- (56)参考文献 特開2013-008111(JP,A)
特開平06-259678(JP,A)
特開2006-163517(JP,A)
特開昭63-257798(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 23/02