

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5108116号
(P5108116)

(45) 発行日 平成24年12月26日(2012.12.26)

(24) 登録日 平成24年10月12日(2012.10.12)

(51) Int.Cl. F I
G 0 5 B 23/02 (2006.01) G O 5 B 23/02 3 O 2 V
 G O 5 B 23/02 T

請求項の数 17 (全 42 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-546504 (P2010-546504) (86) (22) 出願日 平成21年1月14日 (2009.1.14) (86) 国際出願番号 PCT/JP2009/050385 (87) 国際公開番号 W02010/082322 (87) 国際公開日 平成22年7月22日 (2010.7.22) 審査請求日 平成23年5月17日 (2011.5.17)</p>	<p>(73) 特許権者 000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 (74) 代理人 100080001 弁理士 筒井 大和 (72) 発明者 玉置 研二 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 (72) 発明者 三輪 俊晴 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内 審査官 柿崎 拓</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 装置異常監視方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンピュータの情報処理を用いて、対象とする装置の状態を複数のセンサで計測して得られる前記装置の複数の状態データ項目に基づいて、前記装置の状態の異常を監視及び判定する処理を行う装置異常監視方法であって、

前記装置の正常時の前記複数の状態データ項目に基づき、前記監視及び判定のためのモデルを作成するモデル作成処理を行う第1のステップと、

所定時間単位で、前記装置の複数の状態データ項目を入力し、前記モデルを用いて、前記装置の状態の異常を監視及び判定し、異常を検知した場合には検知情報を出力する監視実行処理を行う第2のステップと、を有し、

前記第1のステップでは、

前記複数の状態データ項目を、回帰分析における、目的変数データ項目と、それ以外の2つ以上の説明変数データ項目とに分類するステップと、

前記モデルの集団を構成する2つ以上の個別のモデルとして、前記説明変数データ項目毎に、当該1つの説明変数データ項目から前記目的変数データ項目を予測する個別のモデルを作成することで前記モデルの集団を構成するステップと、を有し、

前記第2のステップでは、

前記複数の状態データ項目の入力に対して、

前記モデルの集団を構成する個別のモデル毎に、前記説明変数データ項目を入力として、前記目的変数データ項目の個別の予測値を計算するステップと、

前記個別の予測値毎に、前記目的変数データ項目の実測値と、当該予測値との間における個別の乖離度を計算するステップと、

前記説明変数データ項目毎に得られた前記複数の乖離度を組み合わせた集団乖離度を計算するステップと、

前記集団乖離度としきい値とを比較することで前記装置の異常を検知するステップと、を有すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記第 1 のステップでは、

前記 2 つ以上の説明変数データ項目を、相互相関強度の大きい共線性データ項目と、それ以外の独立性データ項目とに分類するステップを有し、

前記モデルの集団を構成する 2 つ以上の個別のモデルを作成するステップでは、前記共線性の説明変数データ項目毎に、当該 1 つの共線性の説明変数データ項目から前記目的変数データ項目を予測する個別のモデルを作成すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 3】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記第 2 のステップにより前記異常を検知した場合の前記検知情報に基づき、前記装置の異常の内容を診断する処理を行う第 3 のステップを有し、

前記第 3 のステップでは、前記集団乖離度が前記しきい値を超えた原因となった状態データ項目を順位付けて候補として特定し、当該原因の候補を表す情報を出力する処理を行うこと、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 4】

請求項 3 記載の装置異常監視方法において、

前記第 3 のステップにより得られた前記原因の候補を表す情報に基づいて、

前記原因のデータ項目に関連付けられる前記装置の部品の寿命を計算し、当該寿命の情報を出力する処理を行う第 4 のステップを有すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の装置異常監視方法において、

前記第 4 のステップにより得られる前記部品の寿命の情報をを用いて、保守作業による前記部品に関する前記装置を保守作業するためのスケジュールを含む保守計画情報を作成して保守作業指示として出力する第 5 のステップを有すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 6】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記集団乖離度を計算するステップでは、前記集団乖離度は、前記複数の個別の乖離度の最大値をとった集団最大値であること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 7】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記集団乖離度を計算するステップでは、前記集団乖離度は、前記複数の個別の乖離度の平均値をとった集団平均値であること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 8】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記集団乖離度を計算するステップでは、前記集団乖離度は、前記複数の個別の乖離度の集団の分布の形状あるいは統計的分位数であること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 9】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

前記集団乖離度を計算するステップでは、前記集団平均値は、前記複数の個別の乖離度の二乗平均平方根をとった実効値であること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項 10】

請求項 1 記載の装置異常監視方法において、

10

20

30

40

50

前記第2のステップでは、前記個別の乖離度毎に値の大きさを規格化することで規格化乖離度を計算し、その後、当該複数の規格化乖離度を組み合わせた前記集団乖離度を計算すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項11】

請求項1記載の装置異常監視方法において、

前記第2のステップでは、

前記集団乖離度を計算するステップでは、前記集団乖離度として、前記複数の個別の乖離度の平均値をとった集団平均値と、前記複数の個別の乖離度の最大値をとった集団最大値とを計算し、

前記集団平均値と前記集団最大値との間の差分値を計算し、

前記差分値が所定のしきい値よりも小さい場合は、前記装置の複数の状態データ項目に跨る大域的な異常が発生していると判定し、大きい場合は、前記装置の一部の状態データ項目に限定された局所的な異常が発生していると判定すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項12】

請求項1記載の装置異常監視方法において、

前記モデルの集団を構成する複数の個別のモデルは、前記説明変数データ項目毎に、線形回帰モデルまたは非線形モデルのいずれか一方を用い、前記モデルの集団としては前記線形回帰モデルと非線形モデルの両方を混在させて用いること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項13】

請求項3記載の装置異常監視方法において、

前記第3のステップでは、前記集団乖離度が前記しきい値を超えた原因となった状態データ項目に関連付けられる前記装置の部品を、順位付けて候補として特定し、当該候補を表す情報を出力する処理を行うこと、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項14】

請求項3記載の装置異常監視方法において、

前記第3のステップでは、相互相関関数を用いて、前記複数の状態データ項目間における因果関係を解析することで、前記原因の状態データ項目を特定すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項15】

請求項14記載の装置異常監視方法において、

前記第3のステップでは、時間軸上での前記目的変数データ項目の変化点の周囲での各前記説明変数データ項目の変化発生順位を調べることで、前記原因の状態データ項目を特定すること、を特徴とする装置異常監視方法。

【請求項16】

コンピュータの情報処理を用いて、対象とする装置の状態を複数のセンサで計測して得られる前記装置の複数の状態データ項目に基づいて、前記装置の状態の異常を監視及び判定する処理を行う装置異常監視システムであって、

前記装置の正常時の前記複数の状態データ項目に基づき、前記監視及び判定のためのモデルを作成するモデル作成処理を行う第1の手段と、

所定時間単位で、前記装置の複数の状態データ項目を入力し、前記モデルを用いて、前記装置の状態の異常を監視及び判定し、異常を検知した場合には検知情報を出力する監視実行処理を行う第2の手段と、を有し、

前記第1の手段では、

前記複数の状態データ項目を、回帰分析における、目的変数データ項目と、それ以外の2つ以上の説明変数データ項目とに分類する処理と、

前記モデルの集団を構成する2つ以上の個別のモデルとして、前記説明変数データ項目毎に、当該1つの説明変数データ項目から前記目的変数データ項目を予測する個別のモデルを作成することで前記モデルの集団を構成する処理と、を行い、

10

20

30

40

50

前記第 2 の手段では、
 前記複数の状態データ項目の入力に対して、
 前記モデルの集団を構成する個別のモデル毎に、前記説明変数データ項目を入力として、
 前記目的変数データ項目の個別の予測値を計算する処理と、
 前記個別の予測値毎に、前記目的変数データ項目の実測値と、当該予測値との間における
 個別の乖離度を計算する処理と、
 前記説明変数データ項目毎に得られた前記複数の乖離度を組み合わせた集団乖離度を計
 算する処理と、
 前記集団乖離度としきい値とを比較することで前記装置の異常を検知する処理と、を行
 うこと、を特徴とする装置異常監視システム。

10

【請求項 17】

請求項 16 記載の装置異常監視システムにおいて、
 前記第 1 の手段では、
 前記 2 つ以上の説明変数データ項目を、相互相関強度の大きい共線性データ項目と、そ
 れ以外の独立性データ項目とに分類する処理を行い、
 前記モデルの集団を構成する 2 つ以上の個別のモデルを作成する処理では、前記共線性
 の説明変数データ項目毎に、当該 1 つの共線性の説明変数データ項目から前記目的変数デ
 ータ項目を予測する個別のモデルを作成すること、を特徴とする装置異常監視システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、対象とする装置の状態の異常（異常兆候）や正常を監視及び判定する装置異
 常監視方法に関し、特に、装置状態計測データ（センサデータ）に基づき作成したモデル
 を用いて監視、判定、診断、及び保守作業指示等を行う方法に関する。

【背景技術】

【0002】

熱電併給（コジェネレーション）装置に代表される、燃料を少なくとも運動エネルギー
 、熱エネルギー、または電気エネルギーに変換する装置（設備）等に対して、状態を計測
 するための複数のセンサ（計測器）を備え付け、これにより装置の各状態を時々刻々と計
 測して把握し、そのデータ（装置状態計測データ（状態データ）、センサデータなどと称
 する）に基づいて装置の状態の正常や異常を判定し、異常状態を捉えて保守を行う、状態
 基準保全（CBM：Condition Based Maintenance）の技術がある。これは、保守コスト
 の削減に効果がある。

30

【0003】

特開 2002 - 110493 号公報（特許文献 1）、及び特開 2000 - 252180
 号公報（特許文献 2）には、製造ラインの品質変動原因分析を対象に、複数の説明変数を
 一定少数に分割し、線形重回帰モデル作成（ $Y_i = A \cdot X_i$ ）を全ての分割グループに適
 用して変数増減法により各分割グループ内で説明変数を絞り込み、絞り込まれた説明変数
 を合わせて再度重回帰モデル作成を適用することを多段階に繰り返す多段階多変量解析の
 方法に関して述べられている。

40

【0004】

米国特許第 7209846 号明細書（US 7,209,846 B2）（特許文献 3）に
 は、グラフィカルモデルによって、製造ラインの製品品質と工程データの間の因果解析を
 行う方法が述べられている。

【0005】

非特許文献 1 には、統計モデルが述べられている。具体的には、GLM（Generalized
 Linear Model）法、GAM（Generalized Additive Model）法、および非線形モデル法が
 述べられている。

【0006】

非特許文献 2 には、説明変数の複数の要素が同時に変動することによって引き起こされ

50

る多重共線性 (Multiple Co-linear) 現象による計算不可能問題や精度不足を回避するための射影法 (Projection Method) に基づく、目的変数 (Y) と説明変数 (X) の縮退線形回帰モデル ($Y = A \cdot X$) の複数の作成方法が説明されている。具体的には、PLS (Partial Least Squares) 法、PCR (Principal Component Regression) 法、Ridge 法、および Lasso 法が述べられている。また、非線形関係のモデル作成方法として、非線形回帰法が述べられている。具体的には、GLM (Generalized Linear Model) 法、および MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) 法が述べられている。

【0007】

非特許文献3には、PLS (Partial Least Squares) 法によって共線性があるデータ項目を混在させて線形回帰予測モデルを構築する方法が述べられている。

10

【0008】

非特許文献4には、グラフィカルモデルによって因果解析を行う統計数理的な汎用アルゴリズムの方法が述べられている。

【0009】

非特許文献5には、比例ハザードモデルとGLMの一種であるロジスティック回帰モデルを用いて部品の寿命を計算する方法が述べられている。

【特許文献1】特開2002-110493号公報

【特許文献2】特開2000-252180号公報

【特許文献3】米国特許第7209846号明細書 (US 7,209,846 B2)

【非特許文献1】ISBN: 978-0412830402 J. M. Chambers, and T.J. Hastie, "Statistical Models in S", Chapman & Hall/CRC (1991), Chapter 6: Generalized Linear Models, Chapter 7: Generalized Additive Models, Chapter 10: Nonlinear Models

20

【非特許文献2】ISBN: 978-0387952840, T. Hastie, R. Tibshirani, and J. H. Friedman, "The Elements of Statistical Learning", Springer (2003), Chapter 3: Linear Methods for Regression

【非特許文献3】ISBN: 0-471-48978-6, Richard G. Brereton, "Chemometrics, Data Analysis for the Laboratory and Chemical Plant", WILEY (2003), Chapter 5: 5.5 Partial Least Squares

【非特許文献4】ISBN: 978-0387310732, Christopher M. Bishop, "Pattern Recognition and Machine Learning", Springer (2006), Chapter 8: Graphical Models

30

【非特許文献5】Haitao Liao, Wenbiao Zhao, and Huairui Guo, "Predicting remaining useful life of an individual unit using proportional hazards model and logistic regression model", IEEE RAMS '06. Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2006. pp. 127-132

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

前記状態基準保全 (CBM) を有効に実施するためには、故障に至る前の異常の兆候を捉える必要がある。そのためには、複数のセンサのデータ項目を統計解析によって統合するモデルを作成し、装置の正常状態のモデルを基準にした乖離度を計算し、当該乖離度を状態判定基準にする方法が有効である。

40

【0011】

前記対象の装置を構成する各モジュールや個々のモジュールを構成する部品の多くは、装置がエネルギー変換等の目的を達成するために連動して動作する。よって、装置を構成する複数の部品に対して設置された複数のセンサの出力 (データ項目) の多くも、連動して変化する。この場合、各センサのデータ項目を軸にとったパラメータ空間を考えると、装置正常状態は、局在した部分空間を構成する。この装置正常状態のパラメータ部分空間を、統計解析によってモデル化すれば、異常状態を判定するための乖離度を計算することができる。

【0012】

50

上述した技術に係わり、以下に示すような課題（課題 1 ~ 3）がある。

【 0 0 1 3 】

（課題 1） 第 1 に、共線性により回帰分析が難しいという課題がある。パラメータ空間の各軸に対応する状態データ項目（装置状態計測データ項目）を、目的変数（ Y ）と説明変数（ X ）とに分類すると、回帰分析（ $Y = A \cdot X$ ）によって、装置正常状態パラメータ部分空間をモデル化することができる。目的変数（ Y ）には、装置の出力あるいは効率を設定すれば良い。この時、説明変数（ X ）の各データ項目の多くが連動して変動することから、数理統計的に多重共線性と称される現象を引き起こし、回帰分析を困難にする。具体的には、線形回帰分析における最小自乗法計算が発散してしまう。これを解決する方法として、大別すると、変数選択回帰法と縮退回帰法の 2 つがある。

10

【 0 0 1 4 】

変数選択回帰法（変数選択法）では、説明変数（ X ）を取捨選択することにより、多重共線性の発生を防止する。前記特許文献 1、特許文献 2 には、変数選択の精度を上げるために、変数群をグループに分割してグループ内で変数増減法により取捨選択し、その結果を合成して再び回帰分析を行う多段階回帰法が述べられている。しかし、変数選択法を装置監視（状態基準保全）に適用した場合、装置正常状態で取捨したデータ項目が監視の対象から外れてしまうという問題があった。装置正常状態において目的変数（ Y ）の予測精度に対する貢献度が低いために取捨されたデータ項目でも、装置異常状態で変動する可能性は捨て切れない。装置状態の監視網が全てのデータ項目に及ぶ装置正常状態パラメータ部分空間モデルが求められていた。

20

【 0 0 1 5 】

縮退回帰法では、全ての説明変数（ X ）を使って仮想的な潜在変数を合成してから回帰分析を行う。潜在変数は、互いに独立するように合成するため、回帰分析の計算が発散することは無い。前記非特許文献 2、非特許文献 3 には、PLS 法を始めとした縮退回帰法が述べられている。縮退回帰法を装置監視（状態基準保全）に適用した場合には、全てのデータ項目を監視の対象とすることができる。しかし、潜在変数を合成する際に、多重共線性データ項目の平均化計算による合成が行われるため、縮退回帰モデルで監視を行った場合は、単独のデータ項目あるいは少数のデータ項目群の異常兆候を感度良く検知できないという問題があった。単独のデータ項目の異常変動も、複数のデータ項目群の異常変動も、精度良く検知することのできる装置正常状態パラメータ部分空間モデルが求められていた。

30

【 0 0 1 6 】

また、複数のデータ項目を統合する統計モデルに対しては、異常検知精度を向上するために装置に関する設計知識や故障事例に基づく経験知識をフィードバックすることが難しい、という課題もあった。

【 0 0 1 7 】

（課題 2） 第 2 に、上記技術に係わり、装置異常の原因（モジュールや部品）が不明なことにより装置保守作業が非効率的になるという課題がある。即ち、装置正常状態パラメータ部分空間モデルからの乖離度から装置の異常兆候を検知することにより装置保守の必要性が判明したとしても、装置を構成するどのモジュールのどの部品を保守すれば良いかが分からなかった。装置保守を短時間で効率的に行うためには、異常の原因まで推定できることが求められていた。

40

【 0 0 1 8 】

（課題 3） 第 3 に、上記技術に係わり、異常のモジュールや部品に関する寿命（耐用時間）などの詳細が不明であることにより、装置保守計画がうまく立てられず非効率的になるという課題がある。即ち、装置正常状態パラメータ部分空間モデルからの乖離度から装置の異常兆候を検知することにより装置保守の必要性が判明し、かつ、どのモジュールあるいは部品を保守すべきか判明したとしても、いつまでに保守すべきか（保守実施時期）が分からなかった。保守実施時期などを最適に確定して効率化するためには、異常部品の寿命などを推定でき、その推定値に基づいて最適な保守計画を立てて実施できること

50

が求められていた。

【0019】

上述したような課題に対応して、本発明は、以下のような目的（目的1～3）がある。

【0020】

（目的1） 第1に、複数のセンサによるデータ項目（装置状態計測データ項目）が連動して変動する対象の装置の監視において、全てのデータ項目を監視し、そのうち単独のデータ項目が異常変動した場合でも、また複数のデータ項目が異常変動した場合でも、精度良く異常（異常兆候）を検知することができるモデル及びそれを用いた技術を提供することを目的とする。

【0021】

（目的2） 第2に、装置の異常兆候の検知を起点に、異常原因の部品等を推定して候補の情報を出力することができ、装置保守を短時間で効率的に行うことができる技術を提供することを目的とする。

【0022】

（目的3） 第3に、装置の異常兆候の検知を起点に、異常原因の部品等における寿命等を計算して保守計画に供する情報を出力することができる技術を提供することを目的とする。

【0023】

本発明は以上のような問題に鑑みてなされたものであり、まとめると、本発明の主な目的は、上記装置異常監視方法及び状態基準保全の技術に係わり、（1）精度良い異常検知が可能なモデル及びそれを用いた監視、（2）更に異常原因の部品等の推定による保守の効率化、（3）更に推定された部品等の寿命等の把握による効率的な保守計画、などを実現できる技術を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0024】

前記目的を達成するために、本発明の代表的な実施の形態は、装置異常監視方法及びそのシステムに係わり、以下に示す構成を有することを特徴とする。

【0025】

本形態は、基本として、コンピュータの情報処理を用いて、対象となる装置（設備、システム等）の状態を、複数（3つ以上）のセンサで計測したデータ（状態データ項目）を用いて監視し、それらのデータ（状態データ項目）を用いて予め回帰分析に基づくモデル（予測モデル、監視モデルなどと称する）を作成し、所定時間単位で収集したデータ（状態データ項目）と上記モデルに基づき、装置の異常（異常兆候）の検知（判定）を行い、更には異常の内容の診断（特に異常箇所の推定）、及びそれらの結果に基づいた保守作業指示等の処理を行う方法及びシステムである。本形態は、装置の複数の状態データ項目を分類し、それらの関係をモデル化して説明変数毎のモデルを作成し、それら複数のモデル（集団モデル）による複数の予測値及びそれらの集団関係に基づいて、上記監視、判定、診断、及び保守作業指示等を行うことを特徴とする。

【0026】

（1） 本形態は、例えば、コンピュータの情報処理を用いて、対象とする装置の状態を複数のセンサで計測して得られる前記装置の複数の状態データ項目に基づいて、前記装置の状態の異常を監視及び判定する処理を行う装置異常監視方法であって、前記装置の正常時の前記複数の状態データ項目に基づき、前記監視及び判定のためのモデルを作成するモデル作成処理を行う第1のステップと、所定時間単位で、前記装置の複数の状態データ項目を入力し、前記モデルを用いて、前記装置の状態の異常を監視及び判定し、異常を検知した場合には検知情報を出力する監視実行処理を行う第2のステップと、を有する。

【0027】

そして、前記第1のステップでは、前記複数の状態データ項目を、回帰分析における、目的変数データ項目（Y）（1つ以上）と、それ以外の2つ以上の説明変数データ項目（X）とに（統計的に）分類するステップと、前記モデルの集団を構成する2つ以上の個別

10

20

30

40

50

のモデルとして、前記説明変数データ項目（ X ）毎に、当該1つの説明変数データ項目（ X ）から前記目的変数データ項目（ Y ）を予測する個別のモデルを作成することで前記モデルの集団を構成するステップと、を有する。

【0028】

そして、前記第2のステップでは、新規（最新）の前記複数の状態データ項目の入力に対して、前記モデルの集団を構成する個別のモデル毎に、前記説明変数データ項目（ X ）を入力として、前記目的変数データ項目（ Y ）の個別の予測値を計算するステップと、前記個別の予測値毎に、前記目的変数データ項目（ Y ）の実測値と、当該予測値との間における個別の乖離度（予測乖離度）を計算するステップと、前記説明変数データ項目（ X ）毎に得られた前記複数の乖離度を組み合わせた集団乖離度を計算するステップと、前記集団乖離度としきい値とを比較することで前記装置の異常を検知するステップと、を有する。

10

【0029】

特に、前記第1のステップでは、前記2つ以上の説明変数データ項目を、相互相関強度の大きい共線性データ項目と、それ以外の独立性データ項目（任意数）とに分類するステップを有し、前記モデルの集団を構成する2つ以上の個別のモデルを作成するステップでは、前記共線性の説明変数データ項目毎に、当該1つの共線性の説明変数データ項目から前記目的変数データ項目を予測する個別のモデルを作成する。

【0030】

(2) 更なる形態では、前記第2のステップにより前記異常を検知した場合の前記検知情報に基づき、前記装置の異常の内容を診断する処理を行う第3のステップを有し、前記第3のステップでは、前記集団乖離度が前記しきい値を超えた原因となった状態データ項目を順位付けて候補として特定し、当該原因の候補を表す情報を出力する処理を行う。

20

【0031】

(3) 更なる形態では、前記第3のステップにより得られた前記原因の候補を表す情報に基づいて、前記原因のデータ項目に関連付けられる前記装置の部品の寿命を計算し、当該寿命の情報を出力する処理を行う第4のステップを有する。

【0032】

(4) 更なる形態では、前記第4のステップにより得られる前記部品の寿命の情報を用いて、保守作業による前記部品に関する前記装置を保守作業するためのスケジュールを含む保守計画情報を作成して保守作業指示として出力する第5のステップを有する。

30

【発明の効果】

【0033】

本発明の代表的な実施の形態によれば、装置異常監視方法及び状態基準保全の技術に係わり、(1)精度良い異常検知が可能なモデル及びそれを用いた監視、(2)更に異常原因の部品等の推定による保守の効率化、(3)更に推定された部品等の寿命等の把握による効率的な保守計画、などを実現できる。

【0034】

上記(1)に関しては、特に、装置の異常兆候をセンサデータから検知するためのモデル（予測モデル）を、共線性のデータ項目毎の個別のモデルの集団とすることによって、常に安定に作成することができる。

40

【0035】

また、上記個別モデルの集団とすることによって、線形モデルと非線形モデルを混在させることもできる。より一般的には、複数の種類のモデルを混在させることができる。

【0036】

また、上記各モデルの予測値における実測値からの乖離度を計算し、その乖離度の集団の分布あるいは統計量を計算することにより、精度良く装置異常兆候を検知することができる。特に、集団平均値と集団最大値を組み合わせるにより、精度良く検知できると共に、異常変動が発生して波及している規模を同時に検知することができる。また集団最大値の代わりに統計分布分位数を用いることによって、異常判定の信頼性を上げることが

50

できる場合もある。また、個別の乖離度の規格化を個別に行うことで、装置知識を反映させた集団乖離度を計算し、異常検知の精度を上げることができる。

【0037】

上記(2)に関しては、特に、装置の異常兆候の検知を基点に、因果解析を行うことにより、迅速に異常検知データ項目を順位付けて異常原因現象の候補となる関連部品を特定でき、保守作業を効率化できる。

【0038】

上記(3)に関しては、特に、装置の異常兆候の検知を基点に、異常原因の候補部品の寿命計算を行うことで、過不足の無い最適な保守計画を立てることができ、保守作業を効率化できる。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の一実施の形態である、装置異常監視方法を実現するシステム(装置異常監視システム)の主要部の構成を示す図である。

【図2】本装置異常監視システムを実装するコンピュータシステムの構成例を示す図である。

【図3】本装置異常監視システムにおけるモデル作成モジュールの詳細構成を示す図である。

【図4】本装置異常監視システムにおける監視実行モジュールの詳細構成を示す図である。

【図5】モデル作成モジュールの処理フローを示す図である。

【図6】監視実行モジュールの処理フローを示す図である。

【図7】(a)~(d)は、正常時の装置状態計測データの分類における装置運転時間(t)に対する推移を示す図であり、(a)は目的変数データ項目(Y)、(b)は第1の説明変数共線性データ項目($XA1$)、(c)は第2の説明変数共線性データ項目($XA2$)、(d)は説明変数独立性データ項目(XB)に関する推移を示す。

【図8】(a)、(b)は、説明変数共線性データ項目(XA)に対応した2つの予測モデルによる、目的変数データ項目(Y)の予測値(PY)における、装置運転時間(t)に対する推移を示す図であり、(a)は、第1の共線性説明変数($XA1$)を用いた第1の予測モデル($M1$)による第1の予測値($PY1$)、(b)は、第2の共線性説明変数($XA2$)を用いた第2の予測モデル($M2$)による第2の予測値($PY2$)を示す。

【図9】(a)、(b)は、目的変数データ項目(Y)の予測値(PY)の実測値(RY)に対する予測乖離度(EY)における装置運転時間(t)に対する推移を示す図であり、(a)は、第1の予測値($PY1$)の予測乖離度($EY1$)、(b)は、第2の予測値($PY2$)の予測乖離度($EY2$)を示す。

【図10】(a)、(b)は、規格化した予測乖離度(規格化予測乖離度)における装置運転時間(t)に対する推移を示す図であり、(a)は、第1の予測値($PY1$)の規格化予測乖離度($EY1'$)、(b)は、第2の予測値($PY2$)の規格化予測乖離度($EY2'$)を示す。

【図11】(a)、(b)は、個別の予測乖離度(EY)を組み合わせた集団予測乖離度(EG)における装置運転時間(t)に対する推移を示す図であり、(a)は、集団平均値(GA)、(b)は、集団最大値(GB)を示す。

【図12】装置の状態計測データのデータ項目の分類(表)を示す図である。

【図13】予測モデルの表を示す図である。

【図14】データ項目間における相互相関行列の例を示す図である。

【図15】(a)~(d)は、異常兆候を含む時の装置状態計測データ項目の推移の例を示す図であり、(a)は目的変数、(b)は第1の共線性説明変数(異常兆候あり)、(c)は第2の共線性説明変数、(d)は独立性説明変数に関する推移を示す。

【図16】(a)、(b)は、異常兆候を含む時のデータ項目による予測値(PY)の推移の例を示す図であり、(a)は、第1の予測モデル($M1$)からの第1の予測値(PY)

10

20

30

40

50

1) (異常兆候あり)、(b)は、第2の予測モデル(M2)からの第2の予測値(PY2)を示す。

【図17】(a)、(b)は、異常兆候を含む時のデータ項目による予測乖離度(EY)の推移の例を示す図であり、(a)は、第1の予測値(PY1)の予測乖離度(EY1)(異常兆候あり)、(b)は、第2の予測値(PY2)の予測乖離度(EY2)を示す。

【図18】(a)、(b)は、異常兆候を含む時のデータ項目による予測乖離度(EY)を組み合わせた集団予測乖離度(EG)の推移の例を示す図であり、(a)は、予測乖離度(EY1, EY2)の集団平均値(GA)(異常兆候あり)、(b)は、予測乖離度(EY1, EY2)の集団最大値(GB)(異常兆候あり)を示す。

【図19】装置状態データ項目間のグラフィカル因果モデルを示す図である。

10

【図20】本発明の実施の形態2の装置異常監視システムにおける、異常兆候判定モジュールの詳細構成を示す図である。

【図21】実施の形態2の異常兆候判定モジュールの処理フローを示す図である。

【図22】本発明の実施の形態3の装置異常監視システムにおける、因果モデルを得る処理フローを示す図である。

【図23】(a)~(d)は、実施の形態3における、異常兆候を含む時の装置状態計測データ項目の推移の例を示す図であり、(a)は目的変数、(b)は第1の共線性説明変数、(c)は第2の共線性説明変数、(d)は独立性説明変数に関する推移を示す。

【図24】(a)、(b)は、実施の形態3における、相互相関関数の計算結果を示す図であり、(a)は、XA1-Yに関する第1の相互相関関数(F1)、(b)は、XA2-Yに関する第2の相互相関関数(F2)を示す。

20

【図25】実施の形態3における、装置状態データ項目間のグラフィカル因果モデルを示す図である。

【図26】実施の形態5のシステム(遠隔装置保守システム)を実装するコンピュータシステムの構成例を示す図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0040】

以下、本発明の実施の形態(装置異常監視方法及びシステム)を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一部には原則として同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。なお、本実施の形態の装置異常監視方法及びシステムは、監視及び判定のみならず、それらの結果に基づいて装置を保守する装置保守方法及びシステムを含んでいる。また、特に明示していない場合、各動作主体は、主にコンピュータの情報処理(プログラムやプロセッサ等)である。

30

【0041】

<概要>

まず、本形態の概要は以下である。本形態において、装置の所定の状態を計測する複数のセンサの出力(状態データ項目)を、所定時間単位でサンプリング、収集して、履歴として保存する。センサ毎に所定の状態データ項目(例えば温度、電力など)が対応付けられる。これら複数の状態データ項目を用いて、以下に示すような各手段及び対応ステップの処理を行う。

40

【0042】

(1) 本形態の方法及びシステムにおいて、下記のようにモデルを作成する処理を行う第1の手段及びステップを有する。所定時間単位(指示されたタイミング、あるいは所定サイクルなど)で、装置の複数の状態データ(履歴)を用いて、それらの各データ項目を軸にとったパラメータ空間における装置正常状態が局在した部分空間モデル(装置正常状態パラメータ部分空間モデル)を作成する。具体的には、まず、各データ項目を、回帰分析($Y = A \cdot X$)における、目的変数(Y)と説明変数(X)に分類する。目的変数(Y)には、例えば、装置の出力あるいは効率などを設定すれば良い。次に、複数の説明変数(X)を、共線性(共線性モード)のデータ項目(XAとする)と、独立性(独立性モード)のデータ項目(XBとする)とに分類する。共線性データ項目(共線性説明変数デ

50

ータ項目) (X A) は、相互相関(相互相関強度)が高いデータ項目であり、独立性データ項目(独立性説明変数データ項目) (X B) は、共線性データ項目(X A) 以外のデータ項目とする。

【0043】

次に、共線性説明変数データ項目(X A) 毎に、当該1つの共線性データ項目(X A) と、1つ以上の独立性データ項目(X B) とを組み合わせる説明変数(X) とし、この説明変数(X: X A, X B) と目的変数(Y) との間における回帰モデルを作成する。即ち、少なくとも共線性説明変数データ項目(X A) の数(2つ以上) の分、個別的回帰モデル(予測モデル) が作成され、これらの回帰モデルの集団(集団回帰モデル) ができる。予め装置正常状態での状態データ項目を用いて上記回帰モデルの集団を作成する。

10

【0044】

本形態では、上記共線性説明変数データ項目(X A) 毎に作成した複数のモデル(集団回帰モデル) を用いて、当該集団回帰モデルに関する特定の計算、例えば集団予測乖離度などの計算を行い、監視及び判定等に用いることを特徴とする。

【0045】

上記回帰モデルについては、汎用性のある線形重回帰モデルを標準とするが、共線性データ項目(X A) の特性に応じて非線形モデルを選択し、線形モデルと非線形モデルとを混在させる形態とすることもできる。1つの共線性データ項目(X A) に対して、線形モデルと非線形モデルの両方を同時に作成して混在させても良い。個々のモデルを自由に組み合わせることができる柔軟性が、集団モデルを使う利点の1つである。

20

【0046】

(2) 本形態の方法及びシステムにおいて、上記作成したモデル(集団回帰モデル) を監視モデルとして用いて、下記のように装置状態の監視(異常検知) を実行する処理を行う第2の手段及びステップを有する。この監視実行の際、所定時間単位で、前記複数のセンサによる複数のデータ項目を収集する。そして、それらのデータ項目における共線性データ項目(X A) 毎に、当該1つの共線性データ項目(X A) と、1つ以上の独立性データ項目(X B) とを組み合わせる説明変数(X) グループを作成し、これらを前記モデルの入力として、目的変数(Y) を予測、即ちY予測値(P Y) を出力する。

【0047】

次に、上記監視で収集したデータ項目に含まれる実計測した目的変数値(Y実測値: R Y) と、上記モデルにより予測した目的変数値(Y予測値: P Y) との差を乖離度(予測乖離度) (E Yとする) として計算する。

30

【0048】

次に、共線性データ項目(X A) 毎の乖離度(E Y) の大きさを規格化して、基準を揃える(規格化乖離度(E Y') 群を得る)。この規格化の係数には、正常時の乖離度の正常変動の大きさの逆数を用いれば良い。あるいは、装置のデータ項目に関する経験知識などから、データ項目毎に重要度の優劣を付けて規格化しても良い。このように、データ項目に対応したモデル毎に装置知識を組み込むことができる点が、個別モデルを組み合わせる集団モデルを採用することの利点である。

【0049】

次に、共線性データ項目(X A) の数に対応して得られた複数の規格化乖離度(E Y') の分布あるいは集団指標を計算する。即ち、共線性データ項目(X A) 毎のY予測値(P Y) の乖離度(E Y) 及び規格化乖離度(E Y') をもとに、集団予測乖離度(E Gとする) を計算する。具体的には、E Gの例として、集団平均値(G Aとする) を計算する。その場合、装置の複数のデータ項目に跨る規模の大きな装置異常兆候(大域異常) を検知できる。またE Gの別の例として、集団最大値(G Bとする) を計算する。その場合、装置の任意の単独のデータ項目に発生した装置異常兆候(局所異常) を精度良く検知できる。

40

【0050】

また、G AとG Bの差をとってもよく、その場合、局所異常か大域異常か等を判定する

50

指標とすることができる。また、G Bの代わりに、集団個別乖離度（E Y群）の分布の統計的分位数としても良い。なお、統計的q分位数とは、集団個別乖離度（E Y群）の分布を、 $q : (1 - q)$ に分割する値である。また、G Aの代わりに、集団個別乖離度（E Y群）の二乗平均平方根をとった実効値としても良い。

【0051】

上記のように、装置の複数の状態データ項目に関してすべてのデータ項目を網羅した予測値（P Y）と実測値（R Y）との乖離度（E Y）の集団（集団予測乖離度：E G）を計算する。E Gの分布、あるいは個別予測乖離度（E Y）を組み合わせた集団指標に基づいて、異常を検知する。また、E Gを計算する前に、装置に関する設計知識や故障事例などに基づく経験知識をフィードバックした個々の乖離度（E Y）の規格化をデータ項目毎に行うことで、異常検知精度を向上する。

10

【0052】

(3) 本形態の方法及びシステムにおいて、上記監視（異常検知）の結果を用いて下記のように異常診断の処理を行う第3の手段及びステップを有する。装置異常兆候を検知した後、当該異常兆候を検知した時点（サンプリング点）における前記規格化乖離度（E Y'）を、降順に並べることで、異常検知したデータ項目の重要度の優先順位を付け、この情報を異常発生原因現象の候補（異常候補情報）として出力する。

【0053】

各データ項目に対しては、装置の所定の箇所のモジュールや部品等が関連付けられているので、上記異常候補情報は、異常部品候補情報などの形で出力することができる。この処理では、例えば、装置設計データ（装置を構成するモジュールや部品等の情報を含む）を用いて、当該異常検知したデータ項目に関連付けられるモジュールや部品等を特定、抽出し、これを上記異常発生原因現象の候補とする。当該異常部品候補情報を、例えば保守作業用の保守装置に送信することで保守作業に役立てる。

20

【0054】

また、異常兆候を検知した後の装置データ（状態データ項目）を収集して、前記特許文献3、非特許文献4に記載されたグラフィカルモデリングを用いた因果解析を行うことで、上記異常原因現象の候補（状態データ項目、部品等）を特定する精度を向上することができる。具体的には、グラフィカルモデリングでは、通常の相互相関係数だけでなく、グラフネットワークにおける偏相関係数を計算することにより、交絡変数によって生じた疑似相関を見つけて排除し、原因を特定する。

30

【0055】

また、時間軸上で目的変数（Y）に明確な変化点がある場合には、変化点の周囲で各説明変数データ項目（X）における変化発生順位を調べることで、最初に変化が発生した原因を特定する因果解析を行うことができる。具体的には、データ（状態データ項目）のサンプリング時間に対する微分値を計算することにより、変化点を見つけると共に、変化点の順番を決める。あるいは、目的変数（Y）と各説明変数（X）の間の相互相関関数を計算しても良い。相互相関関数とは、各説明変数（X）が、目的変数（Y）を時間シフトした信号とどれだけ良く整合するかを測る尺度であり、時間シフトの大きさの関数として表される。時間軸上の目的変数（Y）の変化点の周囲で相互相関関数が最大になる最大値の変化量を調べ、目的変数（Y）の変化点に対応した説明変数（X）の変化点があるかが分かる。また、時間軸上の変化点の周囲で相互相関関数が最大になる時間シフト量を調べ、時間シフト量がプラスかマイナスかで目的変数（Y）の変化点に対して説明変数（X）の変化点が過去か未来かが分かり、時間シフト量の大きさから、目的変数（Y）の変化点から説明変数（X）の変化点がどれだけ離れているかが分かる。説明変数（X）毎に変化点の有無と時間シフト量を調べることで、目的変数（Y）の変化点に対する因果の順番を知ることができる。

40

【0056】

(4) 本形態の方法及びシステムにおいて、上記異常診断の結果を用いて下記のように部品寿命等の計算及び保守計画（保守作業指示）の処理を行う第4の手段及びステップ

50

を有する。上記異常診断により異常原因現象の候補となる箇所の関連部品等を特定することができた場合、その部品等の寿命を計算する。この計算には、例えば、データ項目の履歴から予め作成しておいた、前記非特許文献5に述べられている比例ハザードモデルを使用する。そして、計算した寿命に基づいて、装置の保守対象のモジュールや部品の手配計画、作業計画、実施計画といった、時間的なスケジュールを含んだ保守計画の情報を作成し、当該保守計画を実行する。例えば当該保守計画の情報を保守作業者が使用する保守装置へ送信して表示させる。

【0057】

(実施の形態1)

図1～図6、図7～図14、図15～図18、図19等を用いて、本発明の実施の形態1の装置異常監視方法及びそのシステムについて説明する。実施の形態1では、モデルを作成し監視及び判定を実行する処理までを行うものである。なお、図1等に示す構成では、実施の形態1のみでなく、実施の形態2以降で説明する要素を含む構成をまとめて示している。

10

【0058】

<システム(1)>

図1は、実施の形態1の装置異常監視方法を実現するシステム(装置異常監視システム)の主要部の構成を示している。本システムは、監視等の対象となる装置(設備)1に対し、モデル作成モジュール2、監視実行モジュール3(換言すれば異常検知モジュール)、異常診断モジュール4(換言すれば異常部品推定モジュール)、部品寿命予測モジュール5、保守計画モジュール6、保守作業指示モジュール7、及び保守履歴記録モジュール8を有する構成である。各モジュール・サブモジュール(処理部)は、所定のハードウェア及びソフトウェアを用いて一般的なコンピュータの情報処理により実現される。そのコンピュータシステムとしての構成は図2に示される。

20

【0059】

対象の装置1は、例えば、燃料を少なくとも運動エネルギー、熱エネルギー、または電気エネルギーに変換するエネルギー変換装置(熱電併給装置、電気装置、動力装置、あるいは熱源装置など)である。なお、装置1は、複数の装置から成るシステム等であっても構わない。装置1に対して、所定の部位や種類の状態を計測する複数のセンサが内蔵または外部近隣に具備される(図2、S)。複数のセンサは、それぞれ、対応するセンサデータ(状態計測データ)DSを出力する。

30

【0060】

モデル作成モジュール2は、装置1からのセンサデータDSや、保守履歴データD0などを用いて、監視等のためのモデルを作成及び更新等する処理を行う。モデルとしては、監視モデル(予測モデル)DM1と、寿命予測モデルDM2とを含む。

【0061】

監視実行モジュール3は、装置1からのセンサデータDSや、モデル作成モジュール2からの監視モデルDM1のデータを用いて、装置1の監視(異常検知)の処理を行い、その結果、装置1の異常(異常兆候)の検知の場合に、その事を表す検知情報D1などを出力する。また例えば、監視実行モジュール3から装置1へ、必要に応じて、停止信号D5を出力することで、装置1の稼働を停止させることができる。

40

【0062】

異常診断モジュール4は、監視実行モジュール3の監視による検知情報D1を用いて、異常診断、特に異常部品推定の処理を行い、その結果、異常部品情報(候補情報)D2などを出力する。また例えば、異常診断モジュール4から保守作業指示モジュール7へ異常部品情報(候補情報)D2を直接に出力する。

【0063】

部品寿命予測モジュール5は、モデル作成モジュール2からの寿命予測モデルDM2のデータ、及び異常診断モジュール4からの結果(異常部品情報D2)を用いて、部品寿命の予測計算の処理を行い、その結果、異常部品寿命情報D3を出力する。

50

【 0 0 6 4 】

保守計画モジュール 6 は、部品寿命予測モジュール 5 からの結果（異常部品寿命情報 D 3）を用いて、保守計画の処理を行い、保守計画情報 D 4 を出力する。

【 0 0 6 5 】

保守作業指示モジュール 7 は、監視実行モジュール 3 からの直接の検知情報 D 1 や、保守計画モジュール 6 からの保守計画情報 D 4 等に基づき、保守作業を指示する処理を行う。保守作業の指示は、保守作業員（図 2、U 1）が使用する保守装置（図 2、5 4）に対して保守作業を指示する情報を出力することを含む。保守作業員（U 1）は、この指示に従って、装置 1 に対する保守作業、例えば所定のモジュールの部品を交換すること等を行う。

10

【 0 0 6 6 】

保守履歴記録モジュール 8 は、保守作業の結果を履歴データとして記録する処理を行い、必要に応じてこの保守履歴データ D 0 を外部に提供する。例えば、保守履歴記録モジュール 8 は、装置 1 から、あるいは保守装置（5 4）から、保守作業の結果（内容）の情報を入力する。

【 0 0 6 7 】

< システム（2） >

図 2 は、図 1 のシステムを実装するコンピュータシステムの構成例を示している。図 1 の各モジュール等の要素は、本コンピュータシステムにおいて、主にコンピュータで動作するプログラムの形で実現されている。各モジュールとコンピュータとの対応付けは図 2 の通りである。各コンピュータは、図示しないプロセッサ、メモリ、通信インタフェース、入出力装置等を備える。コンピュータ間の接続は例えば専用線や通信ネットワークなどによる。

20

【 0 0 6 8 】

本コンピュータシステムにおいて、センサ情報管理コンピュータ 5 1 と、装置監視コンピュータ 5 2 と、保守管理コンピュータ 5 3 と、保守装置（保守作業端末）5 4 とを有する。保守装置 5 4 は、例えば保守作業員（U 1）が使用する。

【 0 0 6 9 】

センサ情報管理コンピュータ 5 1 は、装置 1 の複数（n）のセンサ S（S 1 ~ S n）と接続されており、複数のセンサ S を通じて装置 1 の状態計測データ D S のインターフェース（I/F）となって当該データ（D S）をサンプリング、収集する装置状態計測 I/F 6 1 の機能を備える。

30

【 0 0 7 0 】

装置監視コンピュータ 5 2 は、センサ情報管理コンピュータ 5 1 及び保守管理コンピュータ 5 3 と接続されており、モデル作成モジュール 2、監視実行モジュール 3、異常診断モジュール 4、部品寿命予測モジュール 5、及び保守計画モジュール 6 をプログラムの処理により実現する。例えば、装置監視コンピュータ 5 2 は、プロセッサがメモリ上のプログラムやデータを実行することにより、モデル作成モジュール 2 等の処理機能を実現する。

【 0 0 7 1 】

保守管理コンピュータ 5 3 は、装置監視コンピュータ 5 2 及び保守装置 5 4 と接続されており、保守作業指示モジュール 7、及び保守履歴記録モジュール 8 をプログラムの処理により実現する。

40

【 0 0 7 2 】

保守装置 5 4 は、保守作業処理 9 1、履歴収集 I/F 9 2、表示処理 9 3 などの機能をプログラムの処理により実現する。保守作業処理 9 1 は、例えば、保守作業員（U 1）による保守作業データ入力による保守履歴データ D 0 の保存の処理を含む。表示処理 9 3 は、例えば、保守作業指示モジュール 7 からの保守作業指示の情報に従って、当該情報を表示装置画面に表示する処理である。履歴収集 I/F 9 2 の機能は、保守履歴データ D 0 を収集する処理である。

50

【 0 0 7 3 】

システム管理者（U2）は、本システムのコンピュータに対し、本システムの管理や設定の操作、例えば、使用する方式や、目的変数（Y）の設定などを行う。各しきい値などの必要な数値や情報は、本システムに対し予め設定されているか、またはシステム管理者（U2）などにより適宜設定されるようになっている。

【 0 0 7 4 】

<モデル作成モジュール>

図3において、モデル作成モジュール2の詳細構成を示している。モデル作成モジュール2は、各サブモジュール（処理部）として、データ洗浄21、データ項目分類22、予測モデル構築23、集団予測乖離度計算モデル構築24、及び記憶25などを有する。

10

【 0 0 7 5 】

モデル作成モジュール2は、装置1の複数のセンサSからの状態計測データDSを入力し、記憶手段に履歴として格納する（履歴201）。この格納手段は、例えば記憶25のサブモジュールを利用する。

【 0 0 7 6 】

データ洗浄21では、保守履歴データ（D0）に基づき、状態計測データDS（履歴201）を洗浄し、データ項目分類22では、各種データ項目に分類する。本例では、状態計測データ項目の分類として、目的変数データ項目（Y）220と、第1の共線性説明変数データ項目（XA1）221と、第2の共線性説明変数データ項目（XA2）222と、独立性説明変数データ項目（XB）223とを有する。これらのデータ項目分類250

20

【 0 0 7 7 】

データ項目分類22に基づき、予測モデル構築23では、共線性説明変数データ項目（XA）毎に作成される複数の予測モデルが構築される。予測モデルとして、本例では、2つの共線性説明変数データ項目（XA1, XA2）に対応して、第1の予測モデル（M1）、第2の予測モデル（M2）を有する。第1の予測モデル（M1）は、目的変数データ項目（Y）220と、第1の共線性説明変数データ項目（XA1）221と、独立性説明変数データ項目（XB）223とを用いて構築される。第2の予測モデル（M1）は、目的変数データ項目（Y）220と、第2の共線性説明変数データ項目（XA2）222と、独立性説明変数データ項目（XB）223とを用いて構築される。これらの予測モデル

30

【 0 0 7 8 】

上記構築された予測モデル（M1, M2）を用いて、集団予測乖離度計算モデル構築24では、集団予測モデル群251（集団予測乖離度計算モデルMGを含む）を構築し、記憶25のサブモジュールに記憶する。構築されたモデルは、監視モデル（DM1）等として利用される。

【 0 0 7 9 】

なお、予測の対象となる目的変数（Y）220は、システム管理者（U2）等による指定（設定）、またはコンピュータによる自動計算などにより決定される。目的変数（Y）の設定の例は、装置1の出力として例えば電力（[W]）である。

40

【 0 0 8 0 】

<監視実行モジュール>

図4において、監視実行モジュール3の詳細構成を示している。監視実行モジュール3は、各サブモジュールとして、データ洗浄31、データ項目選択（装置状態監視パラメータ選択）32、及び異常兆候判定33を有する。データ項目選択32及び異常兆候判定33では、モデル作成モジュール2からの監視モデル（DM1）のデータを利用する。

【 0 0 8 1 】

監視実行モジュール3は、装置1の複数のセンサSからのデータ（DS）を記憶手段に履歴301として格納する。データ洗浄31では、状態計測データDS（履歴301）を洗浄する。データ項目選択32では、モデル作成モジュール2からの監視モデル（DM1

50

)のデータに基づき、データ項目を選択する。このデータ項目は、目的変数データ項目(Y)320と、第1の共線性説明変数データ項目(XA1)321と、第2の共線性説明変数データ項目(XA2)322と、独立性説明変数データ項目(XB)323とを有する。

【0082】

異常兆候判定33では、第1の予測モデル予測値計算331、第2の予測モデル予測値計算332、第1の予測値乖離度計算333、第2の予測値乖離度計算334、集団予測乖離度計算335、しきい値照合・異常判定336を有する。

【0083】

第1の予測モデル予測値計算331では、XA1(321)とXB(323)から、第1の予測モデル(M1)により第1の予測値(PY1)を計算する。第2の予測モデル予測値計算332では、XA2(322)とXB(323)から、第2の予測モデル(M2)により第2の予測値(PY2)を計算する。

10

【0084】

第1の予測値乖離度計算333では、Y(320)と第1の予測値(PY1)とから、第1の予測値(PY1)の乖離度(第1の予測乖離度: EY1)を計算する。第2の予測値乖離度計算334では、Y(320)と第2の予測値(PY2)とから、第2の予測値(PY2)の乖離度(第2の予測乖離度: EY2)を計算する。

【0085】

集団予測乖離度計算335では、第1と第2の予測乖離度(EY1, EY2)から、集団予測乖離度(EG)を計算する。

20

【0086】

しきい値照合・異常判定336では、集団予測乖離度(EG)を、しきい値(H)と比較照合して、異常判定を行う。そして、その異常判定の結果(異常の有無)と、第1及び第2の予測乖離度(EY1, EY2)とを含む情報を、検知情報34(D1)として出力する。

【0087】

<モデル作成処理>

図5において、モデル作成モジュール2によるモデル作成実行の処理フローを示している。各処理ステップの主体は、モデル作成モジュール2(プログラム)である。

30

【0088】

S101では、装置1の状態計測データDSの履歴201のデータを収集し、また、装置1の保守履歴データ(D0)を収集する。S102では、データ洗浄21により、装置1の正常稼働時の状態計測データDSを洗浄し、抽出する。

【0089】

S103では、データ項目分類22により、装置1の複数の状態計測データDSの中から、目的変数データ項目(Y)と説明変数データ項目(X)を指定する。S104では、データ項目分類22により、複数の状態計測データDSのデータ項目における複数の説明変数データ項目(X)の各々について、説明変数データ項目(X)の目的変数データ項目(Y)に対する共線性モードと独立性モードを分類する。即ち、前述の共線性説明変数データ項目(XA: XA1, XA2)と独立性説明変数データ項目(XB)に分類する。

40

【0090】

S105では、予測モデル構築23により、共線性説明変数データ項目(XA)と独立性データ説明変数項目(XB)とを組み合わせ、共線性説明変数データ項目(XA)の数(本例では2つ)の分、共線性説明変数データ項目(XA)毎の目的変数データ項目(Y)に対する予測モデルを作成する。即ち例えば、前述のXA1とXBの組み合わせに対応する第1の予測モデル(M1)、及び、XA2とXBの組み合わせに対応する第2の予測モデル(M2)を作成する。

【0091】

S106では、集団予測乖離度計算モデル構築25により、上記複数の予測モデル(M

50

1, M2)の予測値乖離度(予測乖離度: EY)を組み合わせた、集団予測乖離度(EG)を計算するための集団予測乖離度計算モデル(MG)を構築する。構築されたモデルは、記憶25のサブモジュールへ格納される。

【0092】

<監視実行処理>

図6において、監視実行モジュール3による監視実行の処理フローを示している。

【0093】

S111では、装置1の複数の状態計測データDSを収集し、データ洗浄31により、洗浄する。S112では、データ項目選択32により、装置1の複数の状態計測データ項目の中から、目的変数データ項目(Y)と説明変数データ項目(X)を選択する。S113では、データ項目選択32により、複数の説明変数データ項目(X)の中から、共線性説明変数データ項目(XA)と独立性説明変数データ項目(XB)を選択する。

10

【0094】

S114では、異常兆候判定33により、共線性説明変数データ項目(XA)の数の分の複数の予測モデルを用いて、目的変数データ項目(Y)に対する複数の予測値(PY)を計算する。S115では、各予測値(PY)の乖離度(EY)を計算する。

【0095】

S116では、集団予測乖離度計算335により、各乖離度(EY)を組み合わせることで集団予測乖離度(EG)を計算する。S117では、集団予測乖離度(EG)としきい値(H)とを比較照合する。比較の結果、S118では、異常兆候の検知の有無を判断し、検知有り(Y)の場合、S119では、検知情報34(D1)及び保守指示を出力する。

20

【0096】

以下、装置状態計測データ(DS)、予測モデル(M)、予測値(PY)、予測乖離度(EY)、規格化予測乖離度(EY')、集団予測乖離度(EG)などについて例を挙げながら説明する。

【0097】

<正常時の状態データ>

図7において、装置1の状態が正常の時ににおける状態計測データDSのデータ項目の例を示している。順に、(a)装置状態パラメータP1-目的変数データ項目値(Y)220y、(b)装置状態パラメータP2-第1の説明変数共線性データ項目値(XA1)221x、(c)装置状態パラメータP3-第2の説明変数共線性データ項目値(XA2)222x、(d)装置状態パラメータP4-説明変数独立性データ項目値(XB)223xを示す。横軸(t)は、装置1の運転時間、縦軸は各データ項目値である。

30

【0098】

<予測値>

図8において、予測モデル(M1, M2)による目的変数データ項目(Y)220yの予測値データ(PY)の例を示している。(a)は、図7(b)P2-XA1及び(d)P4-XBに対応した、Yの第1の予測モデル(M1)に基づく、第1の予測値(PY1)331pを示し、(b)は、図7(c)P3-XA2及び(d)P4-XBに対応した、Yの第2の予測モデル(M2)に基づく、第2の予測値(PY2)332pを示す。

40

【0099】

<予測乖離度>

図9において、各予測値(PY1, PY2)の目的変数データ項目(Y)に対する乖離度データ(予測乖離度: EY)の例を示している。(a)は、図8(a)PY1に対応した、PY1(第1)の予測乖離度333e(EY1)を示す。(b)は、図8(b)PY2に対応した、PY2(第2)の予測乖離度334e(EY2)を示す。

【0100】

乖離度(EY)における大きい矢印で示す333v, 334vは、それぞれ基準値に対する変動幅の大きさを示す。

【0101】

50

<規格化予測乖離度>

図10において、予測値(PY)の目的変数データ項目(Y)に対する規格化した乖離度データ(規格化予測乖離度: EY')の例を示している。(a)は、図9(a)EY1に対応した、PY1(第1)の規格化予測乖離度 $333ek(EY1')$ を示す。(b)は、図9(b)EY2に対応した、PY2(第2)の規格化予測乖離度 $334ek(EY2')$ を示す。 $333vk$, $334vk$ は、前述同様に変動幅である。

【0102】

<集団乖離度>

図11において、規格化予測乖離度(EY')に基づく、集団乖離度データ(EG)、特に、集団平均値(GA)、及び集団最大値(GB)の例を示している。(a)は、図10(a)EY1'と(b)EY2'とを組み合わせた、第1の集団乖離度(EG1)である、集団平均値(GA) $335e$ を示す。(b)は、同様に図10(a)EY1'と(b)EY2'とを組み合わせた、第2の集団乖離度(EG2)である、集団最大値(GB) $336e$ を示す。 $335v$, $336v$ は、前述同様に変動幅である。 $335s1$, $336s1$ は、変動幅 $335v$, $336v$ の上限値である。 $335s2$, $336s2$ は、変動幅 $335v$, $336v$ の下限値である。

【0103】

<データ項目分類>

図12において、装置1の状態計測データDSのデータ項目を分類した情報データである、データ項目分類(表)250を示している。データ項目の分類(種類)として、前述した、目的変数(Y), 説明変数(X), 共線性, 独立性を有する。装置状態パラメータP(例えばP1~P4)において、P1に対しては、目的変数(Y)がフラグのオン(1)によって対応付けられ、即ち、P1は、目的変数データ項目(Y)に指定されている。同様に、P2に対しては、説明変数(X)及び共線性がオンされており、即ち、P2は、第1の共線性説明変数データ項目XA1に指定されている。P3に対しては、説明変数(X)及び共線性がオンされており、即ち、P3は、第2の共線性説明変数データ項目XA2が指定されている。P4に対しては、説明変数(X)及び独立性がオンされており、即ち、P4は、独立性説明変数データ項目XBが指定されている。

【0104】

<予測モデル>

図13において、装置1の状態計測データ項目の中の目的変数データ項目(Y)を予測するための予測モデルに関する情報データ(表)を示している。モデル名の各モデルに対し、切片及び各パラメータ(例えばP1~P4)が対応付けられる。例えば、モデル名がモデル1である第1の予測モデル(M1)では、切片が0.1、パラメータP2(XA1)が1.2、パラメータP4(XB)が0.9である。モデル名がモデル2である第2の予測モデル(M2)では、切片が0.0、パラメータP3(XA2)が1.1、パラメータP4(XB)が1.0である。

【0105】

<相互相関行列>

図14において、データ項目分類22のサブモジュールが分類の根拠にする、データ項目間の相互相関行列を示している。前記パラメータP1(Y), P2(XA1), P3(XA2), P4(XB)に関する行列である。例えば、P1(Y)とP2(XA1)の相関の値が0.9である。

【0106】

<異常兆候時の状態データ>

図15において、図7の装置1の正常状態での状態データに対して、装置1に異常兆候がある場合の状態計測データ項目(パラメータ値)を示している。(a)は、正常な目的変数データ項目値(Y)220y、(b)は、異常兆候がある第1の共線性説明変数データ項目値(XA1)221x、(c)は、正常な第2の共線性説明変数データ項目値(XA2)222x、(d)は、正常な独立性説明変数データ項目値(XB)223xを示し

10

20

30

40

50

ている。(b)の異常兆候があるXA1(221x)において、221fは、異常兆候としての時間遅れを示す。

【0107】

図16において、図8の装置1の正常状態での予測値データ(PY1, PY2)に対して、装置1に異常兆候がある場合の予測値データ(PY1, PY2)を示している。(a)は、第1の予測モデル(M1)に基づくYの第1の予測値331p(PY1)を示し、331fで示す異常兆候としての時間遅れを含む。(b)は、第2の予測モデル(M2)に基づくYの正常な予測値332p(PY2)を示している。

【0108】

図17において、図9の装置1が正常状態での予測乖離度データ(EY1, EY2)に対して、装置1に異常兆候がある場合の予測乖離度データ(EY1, EY2)を示している。(a)は、第1の予測値(PY1)に関する第1の予測乖離度333e(EY1)を示し、333fで示す異常変動を含む。(b)は、第2の予測値(PY2)に関する正常な第2の予測乖離度334e(EY2)を示す。異常変動333fは、変動幅333vを超える大きさの変動である。

10

【0109】

図18において、図11の装置1が正常状態での集団予測乖離度(EG)に対して、装置1に異常兆候がある場合における第1の集団予測乖離度335e及び第2の集団予測乖離度336eを示している。(a)は、集団平均値335e(GA)、(b)は、集団最大値336e(GB)を示す。異常変動335f, 336fは、変動幅335v, 336vを超える大きさの変動である。

20

【0110】

<モデル作成>

次に、モデル作成処理について説明する。本構成では、装置1の異常兆候を監視するために、以下に説明する手順で監視モデル(予測モデル)を予め作成する。

【0111】

装置1(熱電併給装置など、エネルギー変換装置)の3項目以上の状態計測データDSは、収集サイクル毎に随時にモデル作成モジュール2に送致される(図1)。モデル作成モジュール2(図3)は、状態計測データDSの履歴(201)を蓄積する。また、保守作業(保守装置54)により装置1に対して施された保守作業の実施情報は、保守作業履歴記録モジュール8に保守履歴データD0として記録、蓄積される。モデル作成モジュール2は、保守履歴データD0を参照する。

30

【0112】

モデル作成モジュール2が、指示されたタイミングで集団予測乖離度計算モデルを構築するに当たって、データ洗浄21のサブモジュールが、まず、図5のS101で、装置1の状態(状態計測データDS)の履歴201の収集、及び装置1の保守履歴データD0の収集を行う。続いて、S102で、同サブモジュールが当該データの洗浄を行うことで、装置1の正常稼働時の状態計測データDSを抽出する。具体的には、保守履歴データD0から装置1の正常稼働時間区間情報を抽出し、その時間区間における状態計測データDSのデータ項目(状態データ項目)を抽出する。

40

【0113】

次に、S103で、モデル作成モジュール2のデータ項目分類22のサブモジュールが、装置1の複数の状態データ項目を、目的変数データ項目(Y)と説明変数データ項目(X)に分類(指定)する。この分類(指定)は、記憶25のサブモジュールのデータ項目分類(表)250に予め記録されたフラグ指定(図12)に基づいて実施される。目的変数(Y)が決定されると、そのYから自動的に説明変数(X)が決定される。目的変数データ項目(Y)の指定に制限は無いが、少なくとも、装置1における運動出力、熱出力、電力出力、またはエネルギー変換効率のいずれか1つを予め指定すると良い。

【0114】

データ項目分類22は、その他の残りの状態データ項目を、説明変数データ項目(X)

50

に予め指定する。説明変数データ項目 (X) の指定に制限は無いが、少なくとも、以下のいずれか 1 つを含む。即ち、燃料供給量、燃料燃焼温度、燃料燃焼圧力、機械部品の運動速度、機械部品の振動、機械部品の加速度、機械部品の歪み、機械部品の音響、機械部品の摩耗量、潤滑油の成分、潤滑油の圧力、潤滑油の温度、電気部品の電圧、電気部品の電流、電気部品の周波数、環境の温度、環境の湿度、環境の気圧、電力系統の電圧、電力系統の電流、装置の稼働時間、または部品の稼働時間である。

【 0 1 1 5 】

目的変数データ項目 (Y) については、1 個以上の任意の個数を指定して良く、説明変数データ項目 (X) については、2 個以上の任意の個数を指定して良い。

【 0 1 1 6 】

S 1 0 3 の指定 (分類) では、本例では、人 (システム管理者 U 2) による設定に基づいて本システムのコンピュータが自動的に目的変数データ項目 (Y) を指定し、指定された目的変数データ項目 (Y) から説明変数データ項目 (X) も決定される。

【 0 1 1 7 】

前記図 1 2 に、上記データ項目分類 (表) 2 5 0 の例を示している。本例では、4 個のパラメータ P 1 (Y)、P 2 (X A 1)、P 3 (X A 2)、P 4 (X B) の通りである。本例では、目的変数データ項目 (Y) が 1 個であり、説明変数データ項目が 3 個 (X A 1、X A 2、X B) の場合を説明するが、一般性を失うものではない。

【 0 1 1 8 】

続いて、S 1 0 4 では、データ項目分類 2 2 のサブモジュールは、上記説明変数データ項目 (X) を上記目的変数データ項目 (Y) に対する共線性モードと独立性モードに分類する。分類は、データ項目分類 2 2 のサブモジュールが計算するデータ項目間の相互相関係数行列 (図 1 4) に基づいて自動的に実施される。

【 0 1 1 9 】

図 1 4 の例で、具体的には、相関係数の大小を判定するしきい値 (本例では 0 . 6) を予め定めておき、しきい値との大小により分類する。即ち、上記目的変数データ項目 (Y) である P 1 に対して相関係数が大きな上記説明変数データ項目である P 2 (相関係数 0 . 9 > 0 . 6) と、P 3 (相関係数 0 . 8 > 0 . 6) とを、共線性データ項目 (X A 1、X A 2) に分類し、相関係数が小さな上記説明変数データ項目である P 4 (相関係数 0 . 3 < 0 . 6) を、独立性データ項目 (X B) に分類する。上記説明変数データ項目である P 2 (X A 1) と P 3 (X A 2) の相互相関係数 (0 . 7 > 0 . 6) から、共線性モードを確認できる。分類した結果は、記憶 2 5 のサブモジュールにデータ項目分類 (表) 2 5 0 として記録される。

【 0 1 2 0 】

< 分類方法 >

図 1 9 において、別の例によるデータ項目分類方法 (S 1 0 4) を示す。この例では、前記特許文献 3、非特許文献 4 に説明されている偏相関係数に基づくグラフィカル因果モデルによって分類する。図 1 9 のグラフ (グラフィカル因果モデル) の頂点 (ノード) には、目的変数データ項目 (Y) (2 2 0) のパラメータ P 1、第 1 の説明変数データ項目 (共線性説明変数データ項目 X A 1) (2 2 1) のパラメータ P 2、第 2 の説明変数データ項目 (共線性説明変数データ項目 X A 2) (2 2 2) のパラメータ P 3、第 3 の説明変数データ項目 (独立性説明変数データ項目 X B) (2 2 3) のパラメータ P 4 が配置されている。各頂点を結ぶリンク (相互相関係数) は、因果の大きさと方向を示している。

【 0 1 2 1 】

例えば、説明変数データ項目 (X) である P 2 (X A 1) と P 3 (X A 2) は、互いに強い偏相関係 (偏相関係数 = 0 . 8) を持っていて、共に、目的変数データ項目 (Y) である P 1 (Y) の原因となっている (偏相関係数 = 0 . 7)。そのため、これら (P 2、P 3) は、共線性データ項目 (共線性モード) と判定される。一方、他の説明変数データ項目である P 4 (X B) は、目的変数データ項目 (Y) である P 1 の原因となっているが (偏相関係数 = 0 . 6)、P 2 (X A 1) と P 3 (X A 2) に対しては弱い偏相関係

10

20

30

40

50

(偏相関係数 = 0.1)しか無く、因果関係が無いため、独立性データ項目(独立性モード)と判定される。上述した分類は、データ項目分類22のサブモジュールによって自動的に実施することが可能である。

【0122】

前記図7の正常時の推移チャートの例において、(a)に、目的変数データ項目(Y)であるP1(220y)の例、(b)に、説明変数共線性データ項目(XA1)であるP2(221x)の例、(c)に、説明変数共線性データ項目(XA2)であるP3(222x)の例、(d)に、説明変数独立性データ項目(XB)であるP4(223x)の例をそれぞれ示している。

【0123】

次に、S105では、モデル作成モジュール2の予測モデル構築モジュール23が、上記共線性データ項目(XA1, XA2)に個別に対応した2つの予測モデル(M1, M2)を構築する。第1の予測モデル(M1)(231)は、第1の共線性データ項目(XA1)であるP2と、独立性データ項目(XB)であるP4とを入力として、目的変数データ項目(Y)であるP1の第1の予測値(PY1)を出力する線形回帰式として、回帰分析に基づき下記式(1)に示すように構築される。Pの上に付いた波線は、予測値であることを表す。

【0124】

【数1】

$$\tilde{P}_1(t, 2) = a_{20} + a_{22} \cdot P_2(t) + a_{24} \cdot P_4(t) \quad \dots (1)$$

【0125】

一方、第2の予測モデル(M2)(232)は、第2の共線性データ項目(XA2)であるP3(222)と独立性データ項目(XB)であるP4(223)とを入力として、目的変数データ項目(Y)であるP1の第2の予測値(PY2)を出力する線形回帰式として、回帰分析に基づき式(2)に示すように構築される。

【0126】

【数2】

$$\tilde{P}_1(t, 3) = a_{30} + a_{33} \cdot P_3(t) + a_{34} \cdot P_4(t) \quad \dots (2)$$

【0127】

式(1)及び式(2)の各aは、線形回帰式の係数であり、二桁の添え字の中の左の添え字は、予測モデルに対応した説明変数共線性データ項目(XA)の種別を表し、右の添え字は、説明変数データ項目(X)の種別を表す。ただし、右の添え字が0のaは、回帰式の切片を表す。また、式(1)及び式(2)の各データ項目の括弧内のパラメータのtは、装置1の運転時間を表し、パラメータの2と3は、それぞれ上記予測モデルに対応した上記説明変数共線性データ項目(XA)の種別を表す。

【0128】

前記図8の(a)PY1(331p)の推移チャートには、前記図7の(b)P2-XA1(221x)、及び(d)P4-XB(223x)を入力として作成した第1の予測モデル(M1)(図3の231)の出力としてのP1(Y)(220)の第1の予測値(PY1)の推移チャートを示している。また、前記図8の(b)PY2(332p)の推移チャートには、前記図7の(c)P3-XA2(222x)、及び(d)P4-XB(223x)を入力として作成した第2の予測モデル(M2)(図3の232)の出力としてのP1(Y)(220)の第2の予測値(PY2)の推移チャートを示している。

【0129】

上記式(1)及び式(2)の予測モデルを、任意の数のモデルに拡張した一般式は、下記式(3)となる。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 0 】

【 数 3 】

$$\tilde{P}_k(t, m) = a_{m0} + a_{mm} \cdot P_m(t) + \sum_n a_{mn} \cdot P_n(t) \quad \dots (3)$$

【 0 1 3 1 】

上記式(3)において、 P_k は、 k を識別番号とする目的変数データ項目(Y)であり、 P_m は、 m を識別番号とする説明変数共線性データ項目(XA)であり、 P_n は、 n を識別番号とする説明変数独立性データ項目(XB)である。上記式(1)及び式(2)では、 $P_n = P_4$ である1つの独立性データ項目(XB)が存在する場合を説明しているが、 P_n は1つの予測モデルに複数存在しても良い。

10

【 0 1 3 2 】

なお、本実施の形態では、上述のように予測モデルを線形回帰式の形式としたが、これに限定されるものではなく、前記非特許文献1、非特許文献2に述べられているGLM法、MARS法、GAM法、あるいは非線形モデル法を用いて、非線形モデルを作成することもできる。

【 0 1 3 3 】

また、状態データ項目の種別毎に線形モデルと非線形モデルを使い分けて、前述の集団予測モデル群(図3の251)の中にそれら両モデルを混在させても良い。これにより、非線形関係にある状態データ項目に対しては予測モデルの精度を上げて、異常兆候の検知精度を向上できる効果がある。

20

【 0 1 3 4 】

例えば、目的変数(Y)がエンジン出力であり、説明変数(X)が燃料バルブ開閉度($X1$)及び過給機圧力($X2$)である場合は、エンジン出力(Y)を燃料バルブ開閉度($X1$)から予測するモデルについては線形モデルとし、エンジン出力(Y)を過給機圧力($X2$)から予測するモデルについては、圧力をLog変換したり排気圧に応答する遅れ無駄時間を加えた非線形モデルにすると良い。

【 0 1 3 5 】

次に、S106で、モデル作成モジュール2の集団予測乖離度計算モデル構築モジュール24が、前記複数の予測モデル($M1, M2$)の予測乖離度($EY1, EY2$)を組み合わせた集団予測乖離度(EG)を計算するモデル(集団予測乖離度計算モデル)を構築する。第1の予測モデル($M1$)231及び第2の予測モデル($M2$)232の各予測値($PY: PY1, PY2$)の乖離度(予測乖離度)($EY: EY1, EY2$)の定義を、前記式(1)及び式(2)の $P1(Y)$ の予測値($PY: PY1, PY2$)を用いて、式(4)及び式(5)に示す。

30

【 0 1 3 6 】

【 数 4 】

$$E_1(t, 2) = P_1(t) - \tilde{P}_1(t, 2) \quad \dots (4)$$

40

【 0 1 3 7 】

【 数 5 】

$$E_1(t, 3) = P_1(t) - \tilde{P}_1(t, 3) \quad \dots (5)$$

【 0 1 3 8 】

上記式(4)及び式(5)の予測乖離度($EY: EY1, EY2$)の定義を、任意のモデルに拡張した一般式を、下記式(6)のように定義する。

【 0 1 3 9 】

【数6】

$$E_k(t, m) = P_k(t) - \tilde{P}_k(t, m) \quad \dots (6)$$

【0140】

前記図9の(a) EY1(333e)の推移チャートには、図7の(b) P2 - XA1(221x)と、図8の(a) M1(231)に基づく第1の予測値(PY1)(331p)との間における、式(4)に基づく第1の乖離度(EY1)の推移チャートを示している。また、前記図9の(b) EY2(334e)の推移チャートには、図7の(c) P3 - XA2(221x)と、図8の(b) M2(232)に基づく第2の予測値(PY2)(332p)との間における、式(5)に基づく第2の乖離度(EY2)の推移チャートを示している。

10

【0141】

上記式(4)及び式(5)の複数の予測乖離度(EY: EY1, EY2)を組み合わせた集団予測乖離度(EG)を計算するモデルの組み合わせの方式を、前記集団平均値(GA)にした場合(第1の集団予測乖離度EG1)の計算式を、下記式(7)のように定義する。

【0142】

【数7】

$$E_1(t) = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{E_1(t, 2)}{\Delta_2} + \frac{E_1(t, 3)}{\Delta_3} \right\} \quad \dots (7)$$

20

【0143】

また、別の例として、上記式(4)及び式(5)の複数の予測乖離度(EY: EY1, EY2)を組み合わせた集団予測乖離度(EG)を計算するモデルの組み合わせの方式を、前記集団最大値(GB)にした場合(第2の集団予測乖離度EG2)の計算式を、下記式(8)のように定義する。

【0144】

【数8】

$$E_1(t) = \max \left\{ \frac{E_1(t, 2)}{\Delta_2}, \frac{E_1(t, 3)}{\Delta_3} \right\} \quad \dots (8)$$

30

【0145】

上記式(7)及び式(8)の右辺第一項の分母にある 2 は、上記第1の予測モデル(M1)(231)の予測値(PY1)の予測乖離度(EY1)の式(4)(図9のEY1(333e))の変動幅(333v)を表し、他の予測乖離度と正常状態の変動の大きさを揃えて組み合わせるために右辺第一項を規格化している。また、上記式(7)及び式(8)の右辺第二項の分母にある 3 は、上記第2の予測モデル(M2)(232)の予測値(PY2)の予測乖離度(EY2)の式(5)(図9のEY2(334e))の変動幅(334v)を表し、他の予測乖離度と正常状態の変動の大きさを揃えて組み合わせるために右辺第二項を規格化している。

40

【0146】

また、これらの規格化係数(2, 3)を、単純に正常状態の変動の大きさにするのではなく、そのデータ項目の重要度を当該装置1に関する設計知識あるいは故障の経験知識から判断して、値の大きさを変更しても良い。任意のデータ項目の乖離度の規格化を操作しても、他のデータ項目の乖離度に干渉することは無い。この特徴によって、装置1に関する設計知識あるいは故障の経験知識をフィードバックして、異常検知の精度を上げることができる。

50

【 0 1 4 7 】

図 1 0 の (a) E Y 1 ' (3 3 3 e k) には、上記第 1 の予測乖離度 (図 9 の E Y 1 (3 3 3 e)) を規格化した値 (第 1 の規格化予測乖離度) を示し、同様に、(b) E Y 2 ' (3 3 4 e k) には、上記第 2 の予測乖離度 (図 9 の E Y 2 (3 3 4 e)) を規格化した値 (第 2 の規格化予測乖離度) を示す。

【 0 1 4 8 】

図 1 1 の (a) G A (3 3 5 e) には、上記式 (7) の予測乖離度 (規格化予測乖離度) の集団平均値 (G A) に基づく第 1 の集団予測乖離度 (E G 1) の推移チャートを示し、図 1 1 の (b) G B (3 3 6 e) には、上記式 (8) の予測乖離度 (規格化予測乖離度) の集団最大値 (G B) に基づく第 2 の集団予測乖離度 (E G 2) の推移チャートを示す。

10

【 0 1 4 9 】

なお、上記式 (7) 及び式 (8) の予測乖離度計算モデルを、任意の数のモデルに拡張した一般式は、それぞれ下記式 (9) 及び式 (1 0) となる。

【 0 1 5 0 】

【数 9】

$$E_k(t) = \frac{1}{M} \cdot \sum_m \left\{ \frac{E_k(t, m)}{\Delta_m} \right\} \quad \dots (9)$$

20

【 0 1 5 1 】

【数 1 0】

$$E_k(t) = \max_k \left\{ \frac{E_k(t, m)}{\Delta_m} \right\} \quad \dots (10)$$

【 0 1 5 2 】

上記式 (9) において、M は、予測乖離度計算モデルの数、すなわち説明変数共線性データ項目 (X A) の数を表す。

30

【 0 1 5 3 】

図 5 のモデル作成処理ステップの最後に、モデル作成モジュール 2 は、上記構築された目的変数データ項目 (Y) の予測モデル (式 (3))、及び上記集団予測乖離度計算モデル (式 (9)、式 (1 0)) を、集団予測モデル群 2 5 1 として、記憶 2 5 のサブモジュールに格納する。

【 0 1 5 4 】

< 監視実行 >

本実施の形態では、装置 1 の異常兆候を監視するために、上記作成したモデルに基づき、監視実行モジュール 3 により、以下に説明する手順で監視を実行する。

40

【 0 1 5 5 】

装置 1 の状態計測データ D S は、収集サイクル毎に随時にモデル作成モジュール 2 に送致される (図 1)。監視実行モジュール 3 (図 4) は、記憶 2 5 のサブモジュールに格納されたデータ項目分類 (表) 2 5 0 と集団予測モデル群 2 5 1 に基づき、監視を実行する。

【 0 1 5 6 】

監視実行モジュール 3 が収集サイクル毎に監視を実行するに当たり、データ洗浄 3 1 のサブモジュールが、まず図 6 の S 1 1 1 で、装置 1 の状態 (D S) の履歴 3 0 1 の収集と洗浄とを行う。洗浄としては、欠損データの除去あるいは補間を行う。

【 0 1 5 7 】

50

続いて、S 1 1 2 で、監視実行モジュール 3 のデータ項目選択 3 2 のサブモジュールが、装置状態 (D S) の履歴 3 0 1 の複数のデータ項目の中から目的変数 (Y) と説明変数 (X) を選択し、続いて、S 1 1 3 で、複数の説明変数データ項目 (X) の中から共線性データ項目 (X A) と独立性データ項目 (X B) を選択する。具体的には、前記モデル作成モジュール 2 の記憶 2 5 サブモジュールに格納されたデータ項目分類表 2 5 0 (図 1 2) に基づき選択を行う。

【 0 1 5 8 】

続いて、監視実行モジュール 3 の異常兆候判定 3 3 サブモジュールが、S 1 1 4 で、複数の説明変数共線性データ項目 (X A) の数の分の予測モデル (M 1 , M 2) を用いて、目的変数データ項目 (Y) に対する複数の予測値 (P Y : P Y 1 , P Y 2) を計算する。具体的には、予測値計算手段である M 1 - P Y 1 計算 3 3 1、及び M 2 - P Y 2 計算 3 3 2 が、前記モデル作成モジュール 2 の記憶 2 5 サブモジュールに格納された集団予測モデル群 2 5 1 の一部を構成する前記式 (3) に基づき、目的変数データ項目 (Y) の複数の予測値 (P Y : P Y 1 , P Y 2) を計算する。

10

【 0 1 5 9 】

図 1 5 において、異常兆候を含むデータ項目の推移チャートの例を示す。本例では、(b) P 2 - X A 1 (2 2 1 x) において時間遅れ (2 2 1 f) が異常兆候として発生しており、他のデータ項目 (P 1 , P 3 , P 4) には異常兆候は発生していない。

【 0 1 6 0 】

図 1 6 において、(a) P Y 1 (3 3 1 p)、及び (b) P Y 2 (3 3 2 p) には、前述した例において前記式 (3) を具体化した前記式 (1) 及び式 (2) に基づき、異常兆候を含む図 1 5 (b) のデータ項目 (P 2 - X A 1) から計算した図 1 5 (a) の目的変数データ項目 P 1 (Y) (2 2 0 y) の予測値 (P Y : P Y 1 , P Y 2) を、それぞれ示している。

20

【 0 1 6 1 】

前記図 1 5 の (b) P 2 - X A 1 (2 2 1 x) (異常兆候あり) と (d) P 4 - X B (2 2 3 x) を組み合わせて予測した、図 1 6 (a) の P 1 (Y) の第 1 の予測値 (P Y 1) (3 3 1 p) には、P 2 - X A 1 (2 2 1 x) の時間遅れ (2 2 1 f) に起因する時間遅れ (3 3 1 f) が反映される。

【 0 1 6 2 】

一方、前記図 1 5 の (c) P 3 - X A 2 (2 2 2 x) と (d) P 4 - X B (2 2 3 x) を組み合わせて予測した、図 1 6 (b) の P 1 (Y) の第 2 の予測値 (P Y 2) (3 3 2 p) は、前記図 8 (b) の装置 1 の正常状態の P 1 (Y) の第 2 の予測値 (P Y 2) (3 3 2 p) と同様の推移を示す。

30

【 0 1 6 3 】

続いて、S 1 1 5 で、異常兆候判定 3 3 サブモジュールは、目的変数データ項目 (Y) に対する複数の予測値 (P Y 1 , P Y 2) の乖離度 (E Y 1 , E Y 2) を計算する。具体的には、予測乖離度計算手段である、P Y 1 - E Y 1 計算 3 3 3、及び P Y 2 - E Y 2 計算 3 3 4 が、前記モデル作成モジュール 2 の記憶 2 5 サブモジュールに格納された集団予測モデル群 2 5 1 の一部を構成する前記式 (6) に基づき、目的変数データ項目 (Y) の複数の予測乖離度 (E Y) を計算する。

40

【 0 1 6 4 】

図 1 7 (a) E Y 1 (3 3 3 e)、及び (b) E Y 2 (3 3 4 e) には、前述した例において前記式 (6) を具体化した前記式 (4) 及び式 (5) に基づき、時間遅れ (3 3 1 f) を含む図 1 6 の予測値 (P Y) から計算した P 1 (Y) (2 2 0 y) の予測乖離度 (E Y : E Y 1 , E Y 2) を、それぞれ示す。

【 0 1 6 5 】

前記図 1 6 (a) の P Y 1 (3 3 1 p) { P 2 - X A 1 (2 2 1 x) と P 4 - X B (2 2 3 x) の組み合わせによる予測値 } の予測乖離度である、図 1 7 (a) E Y 1 (3 3 3 e) には、前記第 1 の予測値 (P Y 1) (3 3 1 p) の時間遅れ (3 3 1 f) が反映した

50

異常変動(333f)が発生する。

【0166】

一方、前記図16(b)のPY2(332p){P3(XA2)(222x)とP4(XB)(223x)の組み合わせによる予測値}の予測乖離度である、図17(b)EY2(334e)は、前記図9(b)の装置1の正常状態の予測乖離度(EY2(334e))と同様の推移を示す。

【0167】

続いて、S116で、異常兆候判定33サブモジュールは、目的変数データ項目(Y)に対する複数の予測値(PY)の乖離度(EY)を組み合わせて集団予測乖離度(EG)を計算する。具体的には、集団予測乖離度(EG)計算335が、前記モデル作成モジュール2の記憶25サブモジュールに格納された集団予測モデル群251の一部を構成する前記式(9)あるいは式(10)に基づき、目的変数データ項目(Y)の複数の予測乖離度(EY)を組み合わせた集団予測乖離度である、予測乖離度集団平均値(GA)あるいは予測乖離度集団最大値(GB)を計算する。

【0168】

図18(a)GA(335e)には、前述した例において前記集団平均値(GA)の計算式(式(9))を具体化した前記式(7)に基づき、前記異常変動(333f)を含む図17の予測乖離度(EY: EY1, EY2)から計算したP1(Y)(220y)の予測乖離度集団平均値(GA)を示す。また、図18(b)GB(336e)には、前述した例において前記集団最大値(GB)の計算式(式(10))を具体化した前記式(8)に基づき、前記異常変動(333f)を含む図17の予測乖離度(EY: EY1, EY2)から計算したP1(Y)(220y)の予測乖離度集団最大値(GB)を示す。

【0169】

上記集団平均値(GA)(335e)あるいは集団最大値(GB)(336e)には、共に、図15(b)P2-XA1(221x)の時間遅れ(221f)が反映した異常変動(335f)あるいは異常変動(336f)が発生する。

【0170】

続いて、S117で、異常兆候判定33サブモジュールは、上記集団予測乖離度(EG: EG1(GA)またはEG2(GB))をしきい値(H)と照合して、装置1の異常兆候を判定する。具体的には、しきい値照合・異常判定336が、前記モデル作成モジュール2の記憶25サブモジュールに格納されたしきい値(H)と前記計算した集団予測乖離度(EG)とを比較する。

【0171】

上記しきい値(H)については、予め指定値を格納しておいても良いし、モデルを作成する際に正常データから計算した前記集団予測乖離度(EG)の正常変動幅(図11の335v、336v)をしきい値(図11の335s1, 335s2, 336s1, 336s2)として格納しても良い。なお、前述の予測乖離度の規格化を、全データ項目に適用すれば、当該しきい値=1と単位量にすることもできる。

【0172】

モデルを作成する際の正常データから計算した前記集団予測乖離度(EG)(図11のGA(335e), GB(336e))は、上記しきい値(H)(335s1, 336s1)を超えることはない。本例の時間遅れに伴う異常変動を含む前記集団予測乖離度(図18のGA(335e), GB(336e))は、上記異常変動(335f, 336f)の発生時間に上記しきい値(H)(335s1, 336s1)を超えるため、異常兆候を検知できる。

【0173】

S118で、上記しきい値照合・異常判定336は、上記しきい値(H)と集団予測乖離度(EG)とを照合した結果に基づき分岐判断を行う。異常検知しない場合(N)には、S111に戻り、異常検知した場合(Y)には、S119に進み、検知情報34(D1)を出力し、及び装置1の保守の実施を指示する。具体的には、監視実行モジュール3は

10

20

30

40

50

、検知情報 34 (D1) を、保守管理コンピュータ 53 の保守作業指示モジュール 7 に送信し、保守作業の指示を、保守作業を行うための保守装置 54 に表示する。この時、検知情報 34 (D1) を装置 1 に送信して (図 1、停止信号 D5)、装置 1 に予め組み込まれている運転停止シーケンスを起動するようにしても良い。

【0174】

実施の形態 1 では、集団予測乖離度 (EG) として、集団平均値 (GA) (式 (9)) と集団最大値 (GB) (式 (10)) とのいずれか一方を使用する例を示した。

【0175】

以上のように、実施の形態 1 によれば、精度良い異常検知が可能なモデル及びそれを用いた監視が実現できる。

10

【0176】

(実施の形態 2)

次に、図 20、図 21 等を用いて、本発明の実施の形態 2 について説明する。

【0177】

< 集団平均値と集団最大値の組み合わせ >

実施の形態 2 では、実施の形態 1 とは異なり、集団乖離度 (EG) として、予測乖離度 (EY) の集団平均値 (GA:EG1) (式 (9)) と集団最大値 (GB:EG2) (式 (10)) との両方を混在させて使用する例である。

【0178】

前記図 18 (a) に示したように、集団平均値 (GA) による異常変動 (335f) は、平均をとることによって元の異常変動の幅 (図 17 (a) の 333f) よりも縮小してしまう。全ての状態データ項目に同時発生した異常変動は、平均をとることによって縮小しないが、1つの状態データ項目に孤立発生した異常変動は、平均をとることによって、データ項目の数に反比例して縮小する。よって、集団平均値 (GA) は、異常検知の感度は低いが、異常発生データ項目数への感度は高いと言える。

20

【0179】

一方、集団最大値 (GB) による異常変動 (図 18 (b) の 336f) は、最大値をデータ項目間でトレースすることによって元の異常変動の幅 (図 17 (a) の 333f) を維持する。全ての状態データ項目に同時発生した異常変動も、1つの状態データ項目に孤立発生した異常変動も、変動幅に違いが無い。よって、集団最大値 (GB) は、異常検知の感度は高いが、異常発生データ項目数への感度は低いと言える。

30

【0180】

そこで、本実施の形態 2 では、図 20 と図 21 に示すように、集団平均値 (GA) と集団最大値 (GB) を組み合わせて混在させることによって、装置 1 の異常の規模までも判定する方法を示す。

【0181】

図 20 において、異常兆候判定 33B モジュールは、前記図 4 の異常兆候判定 33 モジュールの機能を拡張した形態である。図 21 は、その異常兆候判定 33B モジュールの処理フローを示している。

【0182】

図 20 で、M1 - PY1 計算 331 では、式 (1)、M1 に基づき、PY1 を計算して出力する。341 は回帰係数掛算器、342 は加算器である。PY1 - EY1 計算 333 では、式 (4) に基づき、PY1 から EY1 を計算して出力する。343 は加算器、344 は規格化係数掛算器である。同様に、M2 - PY2 計算 332 では、式 (2)、M2 に基づき、PY2 を計算して出力する。PY2 - EY2 計算 334 では、式 (5) に基づき、PY2 から EY2 を計算して出力する。

40

【0183】

図 21 で、S111 から S115 までは、前記図 6 で説明した処理と同じである。前記 S116 に関して、本実施の形態では、EG 計算 335 により、EY (EY1, EY2) から、GA と GB を計算する。S116a では、GA 計算 335a により、予測乖離度集

50

団平均値 (GA) を計算し、また、並行して、S116b では、GB 計算 335b により予測乖離度集団最大値 (GB) を計算する。

【0184】

S117 では、しきい値照合・異常判定 336 により、集団予測乖離度 (EG) として、常に装置異常兆候の検知感度の高い集団最大値 (GB) の方を用い、集団最大値 (GB) と所定のしきい値とを照合する。そして、S118 では、異常兆候を検知したかどうかの分岐判定を行う。検知した場合 (Y) は、S120 へ進む。

【0185】

S120 では、集団統計値の偏差の計算及び異常規模の判定 337 を行うサブモジュールにより、上記集団最大値 (GB) と集団平均値 (GA) についての偏差を計算 (具体的には両者の差分値を計算) して相互比較する。

10

【0186】

S121 では、上記計算した偏差の大小による分岐判定を行う。具体的には、上記偏差が予め定めた所定の判定用しきい値よりも小さい場合 (「小」) は、装置 1 全体の大域的な異常が起こっていると判定し、S119a に進む。S119a では、前記検知情報 34 (D1) の中に、装置大域異常の情報 (34a) を含めて、前記保守作業指示モジュール 7 に送信することにより、装置大域保守 (例えば装置交換) を指示する。逆に、上記偏差が予め定めた所定の判定用しきい値よりも大きい場合 (「大」) は、装置 1 の一部分の局所的な異常が起こっていると判定し、S119b に進む。S119b では、前記検知情報 34 (D1) の中に、装置局所異常の情報 (34b) を含めて、前記保守作業指示モジュール 7 に送信することにより、装置局所保守 (例えば部品交換) を指示する。

20

【0187】

このように、実施の形態 2 では、集団平均値 (GA) と集団最大値 (GB) を組み合わせることによって、実施する保守作業の内容や規模を決定することができる効果がある。

【0188】

なお、上記集団最大値 (GB) の代わりに、前記個別乖離度の分位数を用いても良い。また、上記集団平均値 (GA) の代わりに、前記個別乖離度の二乗平均平方根を計算した実効値を用いても良い。また、実施の形態 2 で説明した方式を一般化して、前記説明変数共線性データ項目 (XA) 毎の予測乖離度 (EY) の集団の分布形状を判定するようにしても良い。

30

【0189】

< 時間遅れ以外の異常兆候 >

本実施の形態 2 では、装置 1 の状態計測データ DS に発生した異常兆候の例として、前記図 15 (b) P2 - XA1 (221x) の時間遅れ (221f) で説明した。しかしながら、本実施の形態 2 では、その他に、目的変数データ項目 (Y) と説明変数データ項目 (X) との間で正常状態よりも大きな予測乖離を発生する任意の異常兆候を検知することができる。例えば、状態計測データ DS の過大値や過小値の発生の場合も、異常兆候として検知できる。また、状態計測データ DS の振動波形の発生の場合についても、前処理として周波数スペクトル変換を施したデータを状態計測データとすれば、異常兆候として検知できる。

40

【0190】

(実施の形態 3)

次に、図 22 ~ 図 25 を用いて、本発明の実施の形態 3 について説明する。実施の形態 3 は、実施の形態 1 (図 1) のモデル作成モジュール 2 及び監視実行モジュール 3 の処理に加えて、異常診断モジュール 4 の処理 (異常診断による異常部品 (候補) 推定) を行う。異常部品の推定の処理では、異常原因のセンサ S (対応データ項目) が特定されることで、当該センサ S (対応データ項目) に対応付けられるモジュールや部品を抽出することができる。

【0191】

< 異常診断 >

50

前記実施の形態 2 では、監視実行モジュール 3 から、装置 1 の大域異常や局所異常に関する情報を含む検知情報 3 4 (D 1) を、保守作業指示モジュール 7 に送信することで、装置保守対象規模を指示している (図 1) 。さらに、異常変動した状態データ項目の名称と、その異常変動の大きさの降順のランキングなどの異常候補推定情報を、検知情報 3 4 (D 1) に含めて送信するようにすれば、保守作業内容が事前に定まる効果がある。そこで、実施の形態 3 では、そのような処理を行う異常診断モジュール 4 を含む構成とした。

【 0 1 9 2 】

前記実施の形態 1 において、前記しきい値照合・異常判定 3 3 6 のサブモジュールが集団乖離度 (E G) としきい値 (H) とを照合して異常判定し (図 6 、 S 1 1 7) 、異常兆候を検知した際には (S 1 1 8 - Y) 、前記検知情報 3 4 (D 1) を保守作業指示モジュール 7 に送信している (S 1 1 9) 。

10

【 0 1 9 3 】

それに代わり、実施の形態 3 では、前記図 6 の S 1 1 5 で計算した複数の各予測値 (P Y : P Y 1 , P Y 2) の予測乖離度 (E Y : E Y 1 , E Y 2) も全て検知情報 3 4 (D 1) の中に含めて、異常診断モジュール 4 に送信するようにする。異常診断モジュール 4 は、各データ項目に対応した予測乖離度 (E Y) の大きさを降順にランキングした後に、当該情報 (異常と関連のある状態データ項目をランキング付きで列挙した情報) を、保守作業指示モジュール 7 に送信する。保守作業指示モジュール 7 は、上記各データ項目の予測乖離度 (E Y) の降順ランキングなどの異常候補推定情報を、保守装置 5 4 を用いる保守作業者 (U 1) に提示する。例えば保守装置 5 4 の表示装置画面に表示する。これにより、保守作業者 (U 1) が保守作業を行う対象となる装置 1 の箇所 (モジュールや部品など) などを的確に指示することができる効果がある。

20

【 0 1 9 4 】

例えば、熱電併給装置において、異常候補推定情報として発電機側の電流、電圧、電力等の項目が上位のランキングに挙がって来た場合には、保守作業者 (U 1) が保守作業を行う対象となる装置 1 の箇所として、発電制御モジュールを指示する。また、異常候補推定情報として回転速度、振動等の項目が上位のランキングに挙がって来た場合には、保守作業者 (U 1) が保守作業を行う対象となる装置 1 の箇所として、エンジンモジュールを指示する。また、異常候補推定情報として冷却水温度、潤滑油温度等の項目が上位のランキングに挙がって来た場合には、保守作業者 (U 1) が保守作業を行う対象となる装置 1 の箇所として、冷却モジュールを指示する。

30

【 0 1 9 5 】

また、前記特許文献 3 、非特許文献 4 に開示されているグラフィカルモデリングによる因果解析を実行する機能を、異常診断モジュール 4 が備えるようにしてもよい。その場合、上記異常と関連のある状態データ項目をランキング付きで列挙した情報だけでなく、推定した因果関係、すなわち推定根本原因を、異常診断モジュール 4 から保守作業指示モジュール 7 へ送り、保守作業者 (U 1) に提示する。これにより、同様に、保守作業対象となる装置 1 の箇所を的確に指示できる効果がある。グラフィカルモデリングでは、状態データ項目間の偏相関係数を計算して条件独立を判定し、条件独立が成り立つ場合には、グラフのリンクを切断することで、因果モデルを得る。

40

【 0 1 9 6 】

また、装置 1 の緊急自動停止の場合のように、異常に伴う明確な装置状態の変化点を抽出できた場合には、状態データ項目間の相互相関関数を変化点周辺で計算して、時間の前後関係を確定し因果モデルを得る方法が有効である。相互相関関数 (Cross correlation function) とは、1 つ目の信号 f が 2 つ目の時間シフトした信号 g とどれだけ良く整合するかを測る尺度であり、時間シフト s の大きさの関数として下記式 (1 1) で表される。

【 0 1 9 7 】

【数 1 1】

$$R_{fg}(s) = \sum_n f(n)g(n-s) \quad \dots (11)$$

【0198】

相互相関関数は、ノイズに埋もれた信号間の遅延時間を検出するのに有用である。上記式(11)において、信号 f を説明変数 (X) とし、信号 g を目的変数 (Y) とすると、時間シフト s から説明変数 (X) の変化点が目的変数 (Y) の変化点よりも過去か未来か、及びどれだけの時間離れているかを調べることができる。勿論、説明変数 (X) 同士の変化時間順序を直接調べることもできる。

10

【0199】

< 相互相関関数 >

次に、図 2 2 ~ 図 2 5 を用いて、実施の形態 3 における相互相関関数から因果モデルを得る方法を説明する。図 2 2 は、異常診断モジュール 4 による相互相関関数から因果モデルを得る処理フローを示している。図 2 3 は、装置 1 の各状態データ項目 ((a) P1 - Y, (b) P2 - XA1, (c) P3 - XA2, (d) P4 - XB) の時系列推移の例を前述同様に示している。図 2 3 (b) P2 - XA1 では、異常兆候があり、時間遅れ 2 2 1 f を含んでいる。図 2 4 は、状態データ項目に基づき相互相関関数を計算した結果を示している。(a) は、P2 (XA1) と P1 (Y) の相互相関関数 (2 2 1 c) を示し、(b) は、P3 (XA2) と P1 (Y) の相互相関関数 (2 2 2 c) を示す。横軸は時間シフト量 (右が未来方向、左が過去方向) で、縦軸は相互相関関数の値である。図 2 5 は、上記相互相関関数の計算結果から導いた因果モデル (グラフィカル因果モデル) を示している。

20

【0200】

< 因果モデルを得る処理 >

図 2 2 の処理フロー (処理主体は異常診断モジュール 4) において、まず S 4 0 1 では、目的変数 (Y) に選んだ状態データ項目 P1 (図 2 3 (a) P1 - Y (2 2 0 y)) の変化点を検出する。この検出方法は、複数考えられるが、一般的によく知られている方法として微分偏算を用いることができる。

【0201】

次に、S 4 0 2 では、変化点の有無を判定する。上記状態データ項目 P1 (Y) には、2 つの立ち上がりの変化点 (図 2 3 (a) の第 1 の変化点 2 2 0 v 1、第 2 の変化点 2 2 0 v 2) と、2 つの立ち下がりの変化点 (図示せず) とが存在する。ここでは、2 つの立ち上がりの変化点 (2 2 0 v 1, 2 2 0 v 2) の中で、2 つ目 (後) の立ち上がりの変化点 (2 2 0 v 2) を対象にして説明するが、他の変化点についても同じ手順を適用すれば良い。

30

【0202】

S 4 0 2 で変化点がない場合 (N) は、精度の良い相互相関関数計算を行うことができないため、S 4 0 3 に分岐して、前記グラフィカルモデリングを利用して因果モデルを得る。グラフィカルモデリングでは、状態データ項目間の偏相関係数を計算して条件独立を判定し、条件独立が成り立つ場合にはグラフのリンクを切断することで因果モデルを得るため、必ずしも明確な変化点が無くても計算を続行できる利点がある。

40

【0203】

S 4 0 2 で変化点がある場合 (Y) は、精度の良い相互相関関数計算を行うことができるため、S 4 0 4 に分岐する。S 4 0 4 では、変化点近傍のデータを切り出す。上記例の P1 - Y (2 2 0 y) の変化点 (2 2 0 v 2) に対しては、変化点近傍 (図 2 3 (a) の 2 2 0 n) のデータが切り出される。

【0204】

次に、S 4 0 5 では、目的変数 (Y) に選択した状態データ項目 P1 (2 2 0 y) と、各説明変数 (X) に選択した状態データ項目 (P2, P3, P4) との相互相関係数を計

50

算する。即ち、 $P_1(Y)(220y)$ に対し、 XA_1 に選択した $P_2(221x)$ から切り出した変化点近傍 (図 23 (b) の $221n$) のデータ、及び XA_2 に選択した $P_3(222x)$ から切り出した変化点近傍 (図 23 (c) の $222n$) のデータ、及び XB に選択した $P_4(223x)$ から切り出した変化点近傍 (図 23 (d) の $223n$) のデータにおける相互相関関数を、前記式 (11) を用いてそれぞれ計算する。

【0205】

これらの中で、 $P_2(XA_1)$ 、及び $P_3(XA_2)$ との間の相互相関関数の計算結果を、それぞれ図 24 の (a) $F_1(221c)$ 、及び (b) $F_2(222c)$ に示している。なお、上記 $P_4(XB)(223x)$ から切り出した変化点近傍 ($223n$) のデータとの間の相互相関関数の計算結果 (図示せず) については、最大値の存在しない一定値となる。

10

【0206】

図 24 (a) 相互相関関数 $F_1(221c)$ において、時間の遅れ $221f$ は、時間シフト原点 ($221o$) から未来方向に時間シフトした位置に、最大値 ($221m$) が存在する。また図 24 (b) 相互相関関数 $F_1(222c)$ において、時間の進み $222f$ は、時間シフト原点 ($222o$) から過去方向に時間シフトした位置に、最大値 ($222m$) が存在する。

【0207】

次に、 $S406$ では、上記相互相関関数の計算結果から最大値を探索する。その結果、上記 $P_2(XA_1)$ と $P_1(Y)$ の相互相関関数 $F_1(221c)$ からは最大値 $221m$ が抽出され、上記 $P_3(XA_2)$ と $P_1(Y)$ の相互相関関数 $F_2(222c)$ からは最大値 $222m$ が抽出される。

20

【0208】

次に、 $S407$ では、上記最大値をとる時間シフトの順番で過去から未来に順位付ける。その結果、上記 $P_2(XA_1)$ と $P_1(Y)$ の相互相関関数 $F_1(221c)$ の最大値 ($221m$) は、上記 $P_1(Y)$ の変化点 ($220v_2$) に対する遅れ ($221f$) に対応して、時間シフト原点 ($221o$) から未来方向にシフトしていることが分かる。一方、上記 $P_3(XA_2)$ と $P_1(Y)$ の相互相関関数 $F_2(222c)$ の最大値 ($222m$) は、上記 $P_1(Y)$ の変化点 ($220v_2$) に対する進み ($222f$) に対応して、時間シフト原点 ($222o$) から過去方向にシフトしていることが分かる。

30

【0209】

次に、 $S408$ では、時間シフト量から変化の遷移の順番を並べ直してグラフィカル因果モデルを作成する。得られたグラフィカル因果モデルを図 25 に示している。図 25 において、説明変数共線性データ項目 $P_3(XA_2)(222)$ が原因で、目的変数データ項目 $P_1(Y)(220)$ が変動し、その次に、説明変数共線性データ項目 $P_2(XA_1)(221)$ が変動したことがグラフィカルモデルに示される。

【0210】

なお、前記 $S402$ で変化点の有無によってグラフィカルモデルを作成する方法を分岐したが、まず $S403$ で状態データ項目間の偏相関係数から条件独立を判定して得たグラフィカル因果モデルを、相互相関関数に基づく時間因果関係から修正するようにしてもよい。十分な装置知識が無い場合には、相互相関関数に基づく時間因果関係から矢印の向きが決まる。

40

【0211】

上記作成したグラフィカルモデルから、説明変数 (X) として選択していたデータ項目が本当に原因を説明するデータ項目であったのか、それとも本来は目的変数 (Y) として選択すべきデータ項目であったのか、を明らかにできる。また、複数の説明変数データ項目 (X) が変動した場合には、その中から真の変動原因となったデータ項目を特定することができる。

【0212】

例えば、熱電併給装置において、異常候補推定情報として発電機側の電流、電圧、電力

50

等の項目が上位のランキングに挙がって来た場合に、上記の相互相関関数に基づく時間因果関係が電流から電力の向きに取られれば、保守作業者（U1）が保守作業を行う対象となる装置1の箇所として、電流制御系を根本原因として指示する。また、異常候補推定情報として冷却水温度、潤滑油温度等の項目が上位のランキングに挙がって来た場合に、上記の相互相関関数に基づく時間因果関係が冷却水温度から潤滑油温度の向きに取られれば、保守作業者（U1）が保守作業を行う対象となる装置1の箇所として、冷却系を根本原因として指示する。逆に、潤滑油温度から冷却水温度の向きに取られれば、潤滑油に直接作用するエンジン燃焼系を根本原因として指示する。

【0213】

以上のように、実施の形態3によれば、異常診断モジュール4が異常診断に基づき異常部品情報D2を出力し、異常原因と推定されるデータ項目に対応付けられる装置1の箇所（モジュールや部品）が候補として保守作業者（U1）に提示されるので、保守作業を効率化できる。

【0214】

（実施の形態4）

次に、前記図1等を用いて、本発明の実施の形態4について説明する。実施の形態4では、前述した実施の形態の構成に加えて、更に、部品寿命予測モジュール5により部品寿命予測の処理を行い、また、保守計画モジュール6により保守計画の処理を行う。

【0215】

<寿命予測及び保守計画>

前述した構成によって異常兆候を捉えたとしても、いつ保守作業を行う必要があるか等については従来必ずしも明確ではない。そこで、本実施の形態4では、前記非特許文献5に述べられている方法を使って、寿命予測モデル（DM2）を予め前記モデル作成モジュール2が作成しておく。そして、異常診断モジュール4から、異常診断後に、異常（原因）部品情報D2を、部品寿命予測モジュール5に送信する。それを受けて、部品寿命予測モジュール5が、上記寿命予測モデル（DM2）を使って、異常部品の寿命を予測する処理を行う。その結果（異常部品寿命情報D3）を、部品寿命予測モジュール5から保守計画モジュール6に送信するようにする。

【0216】

例えば、熱電併給装置において、電流制御系を電力瞬時変動の根本原因として推定した場合には、一定期間における発生頻度から電流制御系を構成する電子部品の寿命予測を行う。また、冷却系を燃焼温度異常の根本原因として推定した場合には、その冷却水の温度変化から冷却器（熱交換器）の寿命予測を行う。

【0217】

そして、保守計画モジュール6は、上記異常部品の寿命予測結果（D3）に基づいて、時間情報（スケジュール情報）を含む保守計画情報を計算により作成し、この作成した保守計画情報D4を、保守作業指示モジュール7へ送る。保守計画情報D4は、言い換えれば、保守作業手順計画と、作業配置計画、及び交換部品手配計画などの情報である。

【0218】

例えば、電流制御系を構成する電子部品の交換手順計画、交換作業者の配置計画、交換電子部品の手配計画などの情報である。あるいは、冷却器の交換手順計画あるいは洗浄手順計画、交換作業者あるいは洗浄作業者の配置計画、交換の場合の冷却器の手配計画などの情報である。

【0219】

保守作業指示モジュール7では、受信した保守計画情報D4に従い、例えば図2の保守装置54の表示装置画面に、前述した保守指示情報と合わせて、保守計画の情報を表示する。これによって、保守作業者（U1）は、画面の情報を見ながら、装置1の対象箇所に対して、いつ保守作業を行う必要があるか等を把握することができる。即ち装置1に関する保守が必要な時に無駄無く効率的に保守作業を行うことができる効果がある。

【0220】

10

20

30

40

50

(実施の形態5)

次に、図26を用いて、本発明の実施の形態5について説明する。実施の形態5では、複数の装置1を対象として、遠隔診断を行う。

【0221】

<遠隔診断及び機差解析>

前述した実施の形態(図1)では1台の装置1を対象とした異常監視等の例を説明したが、図26のように、複数台の同種の装置1を同時に監視すると、装置1間の比較(機差解析)によって異常兆候を検知することができる。

【0222】

図26において、本装置保守方法を実現するシステム(装置遠隔保守システム)を実装するコンピュータシステムの構成例を示している。それぞれ遠隔地に存在する複数台(例えば3つ)の同種の装置1{1a, 1b, 1c}を有する。各装置1に対しては前述同様に複数のセンサSが備えられる。また、各装置1a, 1b, 1cの状態計測データDSのインターフェースとなってデータを収集する、それぞれのセンサ情報管理コンピュータ51a, 51b, 51cを有する。また、装置遠隔監視コンピュータ52Bは、前記図1、図2と同様に、モデル作成モジュール2、監視実行モジュール3、異常診断モジュール4、部品寿命予測モジュール5、及び保守計画モジュール6等のモジュールをハードウェア及びソフトウェアにより実装し、ネットワーク99等を経由で、各センサ情報管理コンピュータ51a, 51b, 51cから収集したデータ(DS)に対して処理を実行する。また、保守管理コンピュータ53Bは、装置遠隔監視コンピュータ52Bに接続され、前述同様の保守作業指示モジュール7及び保守履歴記録モジュール8をハードウェア及びソフトウェアにより実装し、保守に係わる処理を実行する。また、各装置1に対応して、保守作業者が使用する保守装置54a, 54b, 54cを有し、保守管理コンピュータ53とネットワーク99等を介して接続し、図2と同様に、保守作業と保守履歴収集などのインターフェースとなる。

【0223】

前述した共線性データ項目(XA)に対応した予測モデル(前記予測値(PY)に関する式(3))を、本実施の形態5における複数台の同種の装置1に拡張すると、下記式(12)となる。

【0224】

【数12】

$$\begin{aligned} \tilde{P}_k(t, m, \xi) = & (a_{m0} + b_{m0}(\xi)) \\ & + (a_{mm} + b_{mm}(\xi)) \cdot P_m(t) \quad \dots (12) \\ & + \sum_n (a_{mn} + b_{mn}(\xi)) \cdot P_n(t) \end{aligned}$$

【0225】

前記式(3)において、Pkは、kを識別番号とする目標変数データ項目(Y)であり、Pmは、mを識別番号とする説明変数共線性データ項目(XA)であり、Pnは、nを識別番号とする説明変数独立性データ項目(XB)である。各データ項目の括弧内のパラメータの中のtは上記各装置1の運転時間を表す。各aは各装置1間で共通の線形回帰式の係数であり、二桁の添え字の中の左の添え字は上記予測モデルに対応した前記説明変数共線性データ項目(XA)の種別を表し、右の添え字は前記説明変数データ項目(X)の種別を表す。ただし、右の添え字が0のaは各装置1間で共通の回帰式切片を表す。各bは各装置1間の違いを表す線形回帰式の係数(回帰係数装置間偏差パラメータ)であり、二桁の添え字の中の左の添え字は上記予測モデルに対応した前記説明変数共線性データ項目(XA)の種別を表し、右の添え字は前記説明変数データ項目(X)の種別を表す。ただし、右の添え字が0のbは各装置1間の違いを表す回帰式切片を表す。は装置番号で

10

20

30

40

50

ある。

【0226】

複数台の装置1が全て正常状態にあっても、全ての上記回帰係数が一致して $b = 0$ となることは一般に無い。そこで、予め所定のモデル係数偏差しきい値を設定し、所定のサイクルで繰り返すモデル作成毎に、上記回帰係数装置間偏差パラメータ b の大きさを判定し、上記モデル係数偏差しきい値を超えていた場合には異常兆候の検知とすれば良い。上記モデル係数偏差しきい値は、正常状態の各装置1の上記回帰係数装置間偏差パラメータ b のばらつきの大きさあるいは標準偏差から定めることができる。

【0227】

これにより、単一の装置1の状態データ項目間の比較だけでなく、複数装置1間の比較も行うことができることから、本実施の形態5では異常兆候を検知し易くなる効果がある。

10

【0228】

<対象装置>

上述した実施の形態では、装置1として、前記熱電併給装置に代表されるエネルギー変換装置を対象に説明したが、これに限定されるものではない。例えば、本発明は、燃料を燃焼させる代わりに、風力あるいは波力を運動エネルギーまたは電気エネルギーの少なくとも1つに変換する装置に適用できる。この場合、目的変数データ項目(Y)には、エネルギー変換装置の運動出力、電力出力、あるいはエネルギー変換効率の少なくとも1つを選べば良い。説明変数データ項目(X)には、風速、機械部品の運動速度、機械部品の振動、機械部品の加速度、機械部品の歪み、機械部品の音響、機械部品の摩耗量、潤滑油の成分、潤滑油の圧力、潤滑油の温度、電気部品の電圧、電気部品の電流、電気部品の周波数、環境の温度、環境の湿度、環境の気圧、電力系統の電圧、電力系統の電流、装置の稼働時間、あるいは部品の稼働時間の少なくとも1つを含む。

20

【0229】

また、本発明は、地熱を運動エネルギー、熱エネルギー、または電気エネルギーの少なくとも1つに変換する装置に適用できる。この場合、目的変数データ項目(Y)には、少なくともエネルギー変換装置における、運動出力、熱出力、電力出力、あるいはエネルギー変換効率の少なくとも1つを選べば良い。説明変数データ項目(X)には、上記目的変数(Y)と重複しない、水蒸気供給量、水蒸気温度、水蒸気圧力、機械部品の運動速度、機械部品の振動、機械部品の加速度、機械部品の歪み、機械部品の音響、機械部品の摩耗量、潤滑油の成分、潤滑油の圧力、潤滑油の温度、電気部品の電力、電気部品の無効電力、電気部品の電圧、電気部品の電流、電気部品の周波数、環境の温度、環境の湿度、環境の気圧、電力系統の電圧、電力系統の電流、装置の稼働時間、あるいは部品の稼働時間の少なくとも1つを含む。

30

【0230】

また、本発明は、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する電動機装置に適用できる。電動機装置の例として、エレベータやエスカレータを代表とする昇降機、あるいはポンプや圧縮機を代表とするプラント機器、あるいは旋盤やボール盤やフライス盤や研削盤を代表とする工作機械がある。この場合、目的変数データ項目(Y)には、機械部品の仕事量、機械部品の運動速度、機械部品の振動、機械部品の加速度、機械部品の歪み、機械部品の音響、機械部品の摩耗量、あるいはエネルギー変換効率の少なくとも1つを選べば良い。説明変数データ項目(X)には、少なくとも上記目的変数(Y)と重複しない、機械部品の運動速度、機械部品の振動、機械部品の加速度、機械部品の歪み、機械部品の音響、機械部品の摩耗量、潤滑油の成分、潤滑油の圧力、潤滑油の温度、電気部品の電力、電気部品の無効電力、電気部品の電圧、電気部品の電流、電気部品の周波数、環境の温度、環境の湿度、環境の気圧、装置の稼働時間、あるいは部品の稼働時間の少なくとも1つを含む。

40

【0231】

また、本発明は、電気エネルギーをプラズマエネルギーに変換するプラズマ加工装置に

50

適用できる。プラズマ加工装置の例として、半導体エッチング装置や半導体成膜装置を代表とする半導体加工装置がある。この場合、目的変数データ項目（Y）には、少なくとも半導体の加工量あるいは成膜量、半導体ウェハ面内の加工均一性あるいは成膜均一性、あるいはエネルギー変換効率を選べば良い。説明変数データ項目（X）には、機械部品の摩耗量、電気部品の電力、電気部品の無効電力、電気部品の電圧、電気部品の電流、電気部品の周波数、電気部品のインピーダンス、処理室内環境の温度、処理室内環境の圧力、処理室内環境の発光、装置の稼働時間、あるいは部品の稼働時間の少なくとも1つを含む。

【0232】

以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

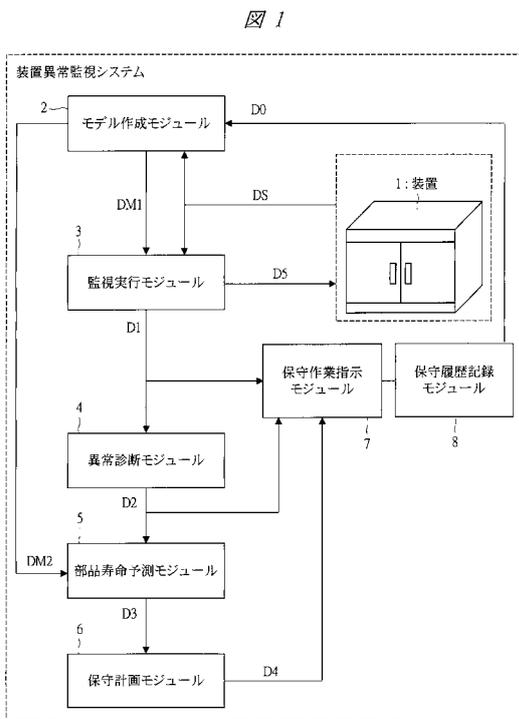
【産業上の利用可能性】

【0233】

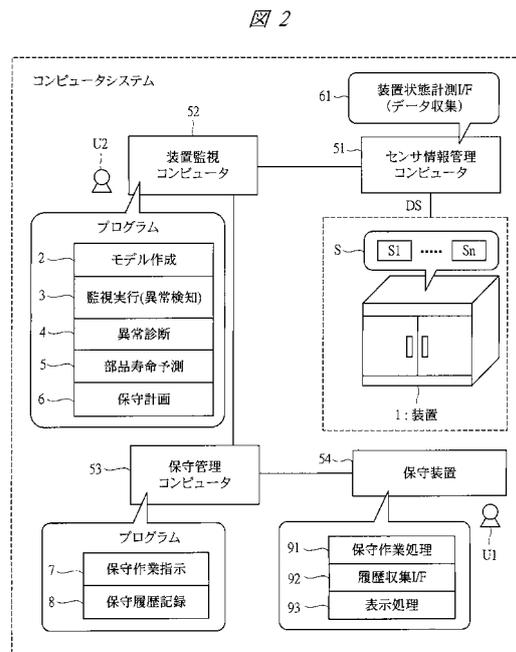
本発明は、装置異常監視システム、装置保守システムなどに利用可能である。

10

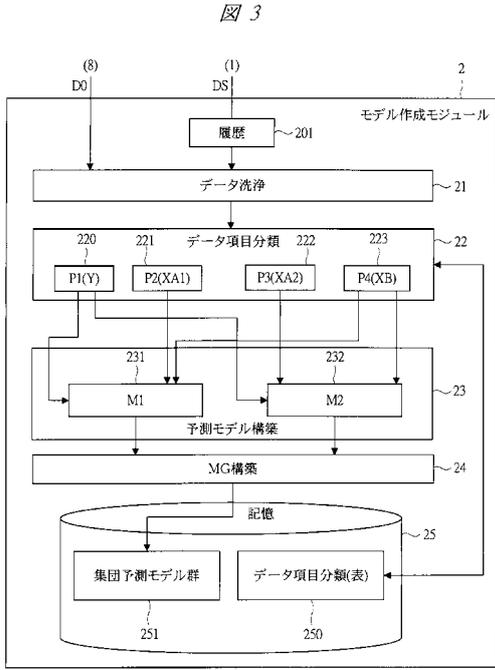
【図1】



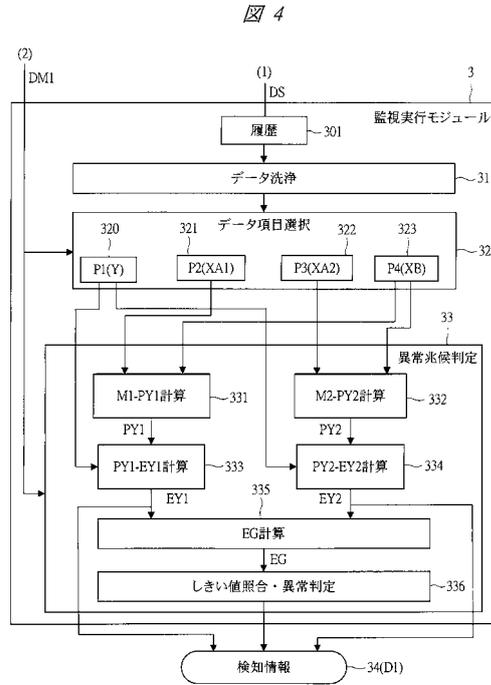
【図2】



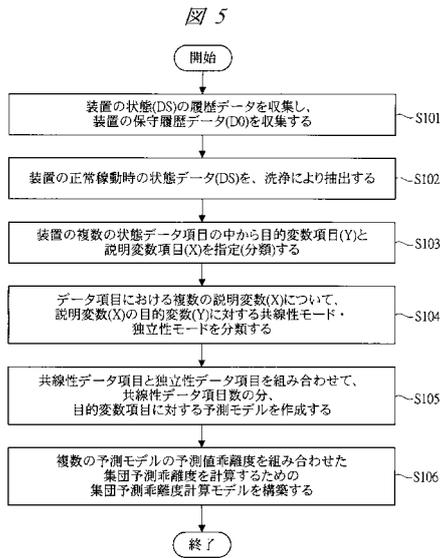
【図3】



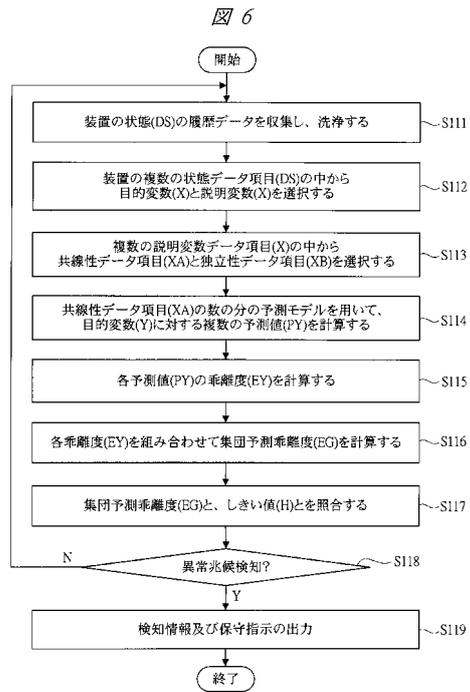
【図4】



【図5】

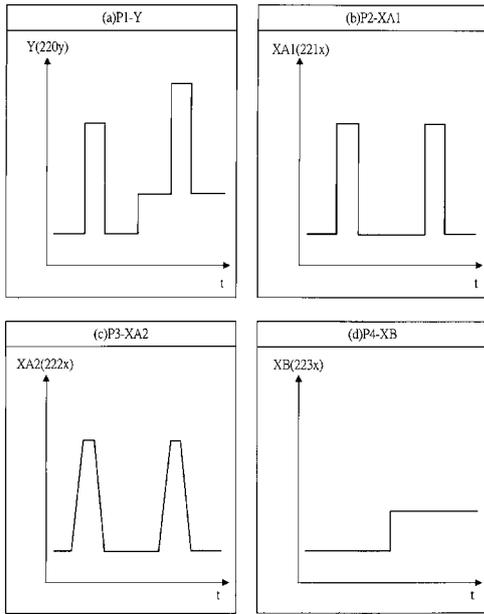


【図6】



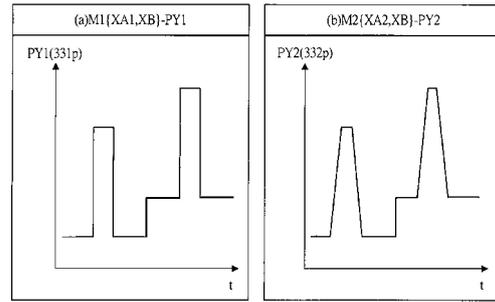
【 図 7 】

図 7



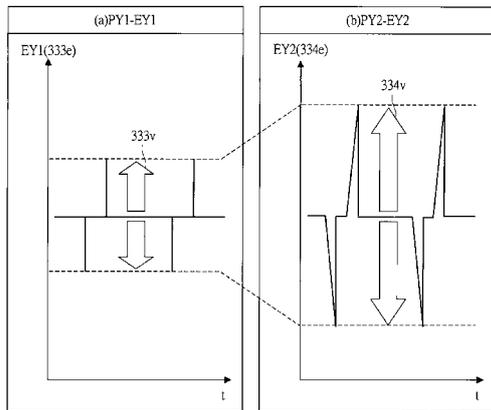
【 図 8 】

図 8



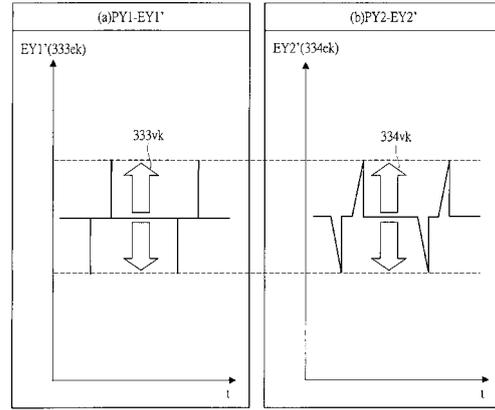
【 図 9 】

図 9



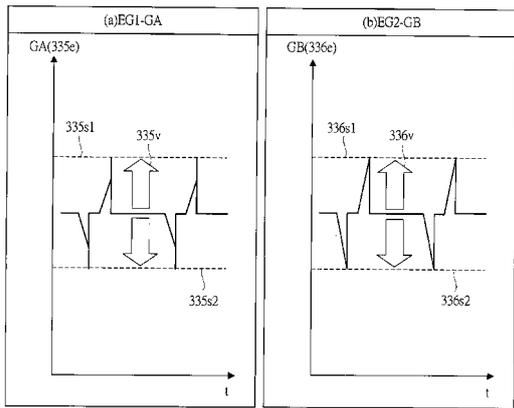
【 図 10 】

図 10



【図 1 1】

図 11



【図 1 2】

図 12

パラメータ	P1(Y)	P2(XA1)	P3(XA2)	P4(XB)	...
分類					
目的変数	1	0	0	0	...
説明変数	0	1	1	1	...
共線性	-	1	1	0	...
独立性	-	0	0	1	...

【図 1 3】

図 13

パラメータ	切片	P1	P2	P3	P4	...
モデル名						
モデル1	0.1	-	1.2	-	0.9	...
モデル2	0.0	-	-	1.1	1.0	...
モデル3

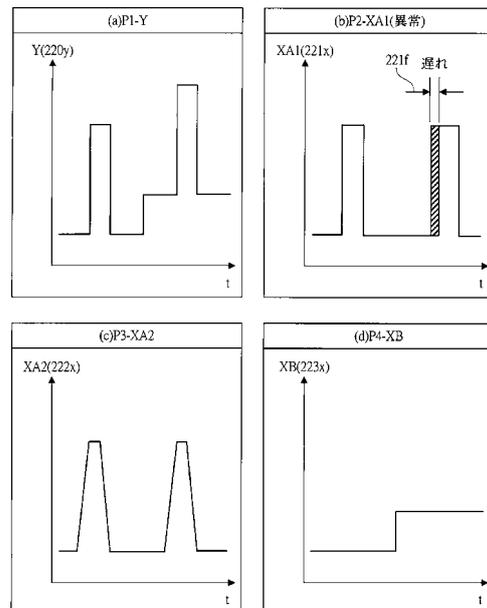
【図 1 4】

図 14

	P1	P2	P3	P4
P1	1	0.9	0.8	0.3
P2	0.9	1	0.7	0.1
P3	0.8	0.7	1	0.1
P4	0.3	0.1	0.1	1

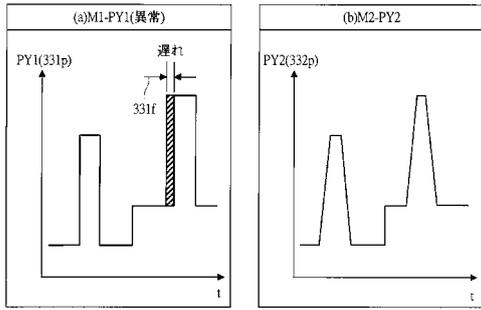
【図 1 5】

図 15



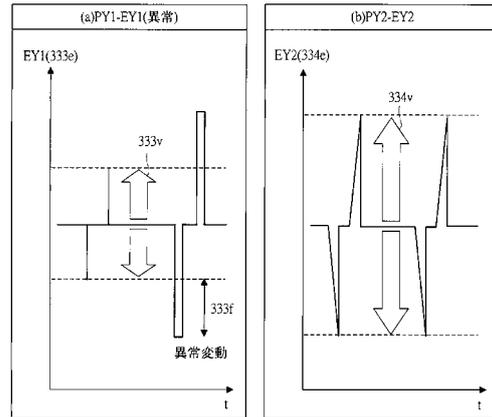
【図16】

図16



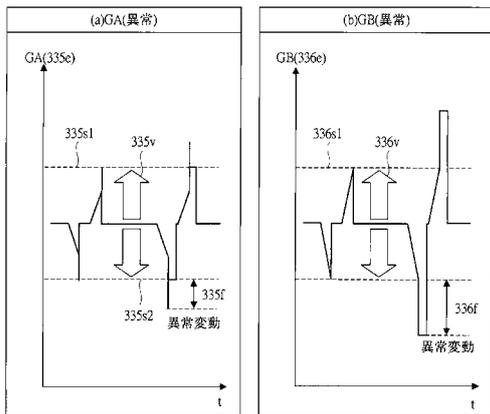
【図17】

図17



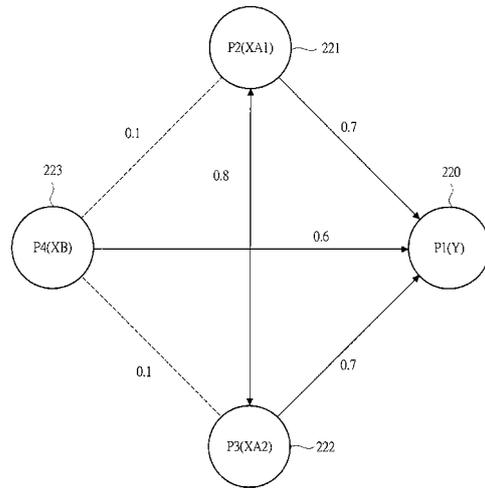
【図18】

図18

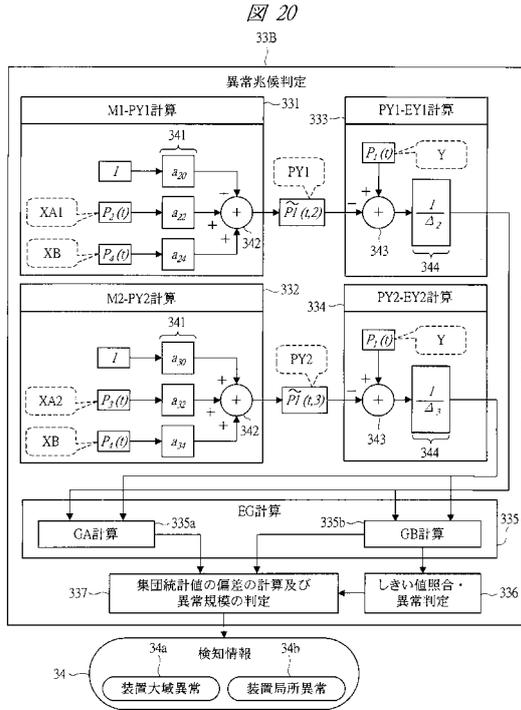


【図19】

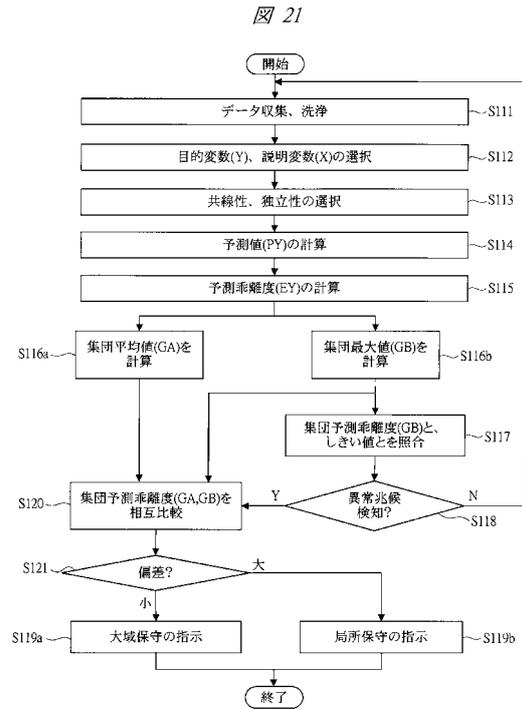
図19



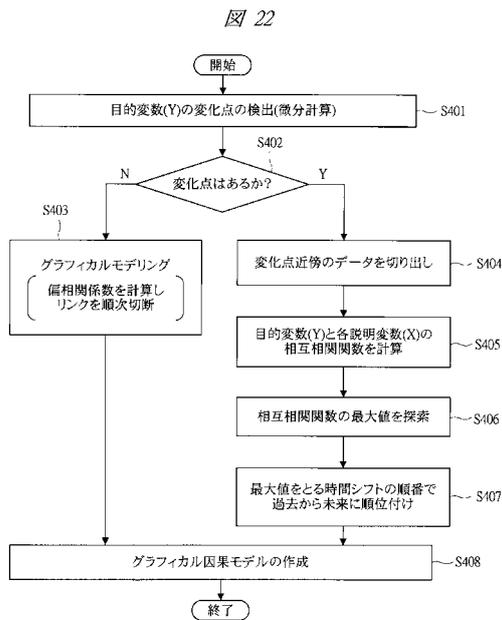
【図20】



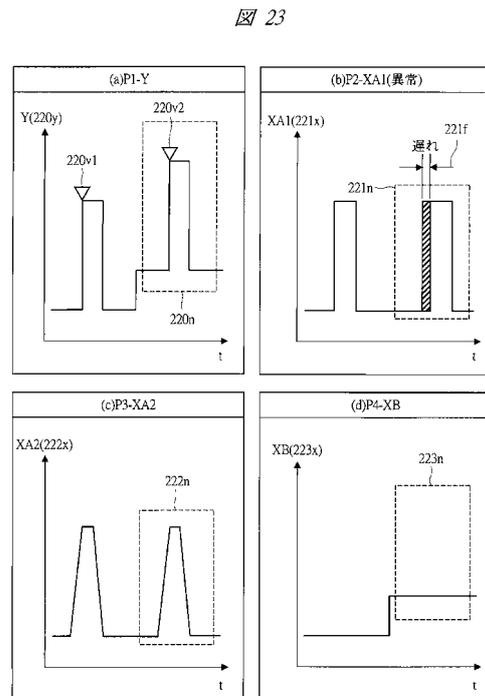
【図21】



【図22】

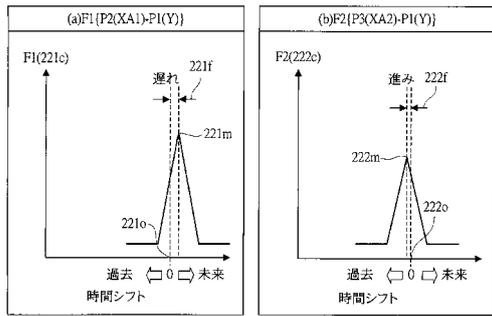


【図23】



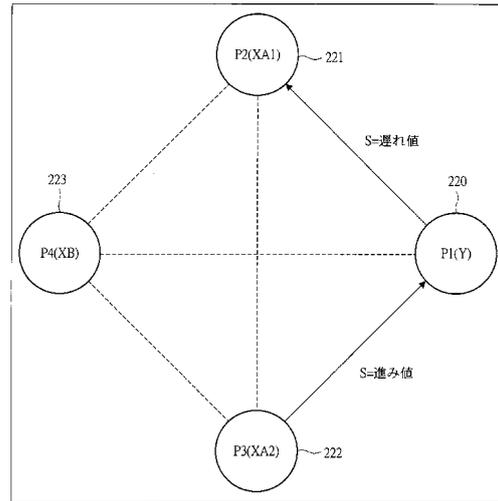
【 図 2 4 】

図 24



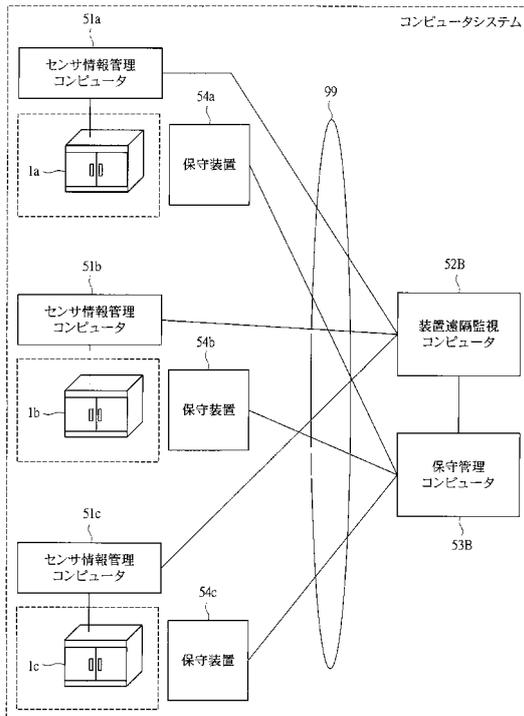
【 図 2 5 】

図 25



【 図 2 6 】

図 26



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-204282(JP,A)
特開2007-26134(JP,A)
特開2008-72047(JP,A)
特開平6-187030(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 23/02