

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2011/027607 A1

(43) 国際公開日

2011年3月10日(10.03.2011)

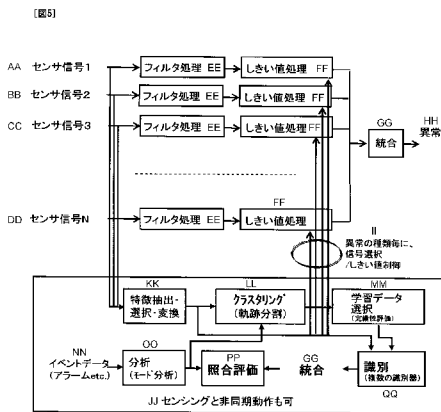
PCT

- (51) 国際特許分類:  
G05B 23/02 (2006.01) G06Q 50/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/060232
- (22) 国際出願日: 2010年6月16日(16.06.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2009-206103 2009年9月7日(07.09.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 前田 俊二 (MAEDA Shunji) [JP/JP]; 〒2440817 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 Kanagawa (JP). 渋谷久恵 (SHIBUYA Hisae) [JP/JP]; 〒2440817 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 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人第一国際特許事務所 (Patent Corporate Body Dai-ichi Kokusai Tokkyo Jimusho); 〒1080014 東京都港区芝4丁目10番5号 ダヴィンチ田町 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ANOMALY DETECTION AND DIAGNOSTIC METHOD, ANOMALY DETECTION AND DIAGNOSTIC SYSTEM, AND ANOMALY DETECTION AND DIAGNOSTIC PROGRAM

(54) 発明の名称: 異常検知・診断方法、異常検知・診断システム、及び異常検知・診断プログラム



- AA... SENSOR SIGNAL 1
- BB... SENSOR SIGNAL 2
- CC... SENSOR SIGNAL 3
- DD... SENSOR SIGNAL N
- EE... FILTER PROCESSING
- FF... THRESHOLD PROCESSING
- GG... COMBINATION
- HH... ANOMALY
- II... FOR EACH TYPE OF ANOMALY, SELECT SIGNAL AND CONTROL THRESHOLD VALUE
- JJ... SENSING AND ASYNCHRONOUS ACTION ARE ALSO POSSIBLE
- KK... CHARACTERISTIC EXTRACTION, SELECTION AND CONVERSION
- LL... CLUSTERING (TRACE PARTITION)
- MM... LEARNING DATA SELECTION (COMPLETENESS EVALUATION)
- NN... EVENT DATA (ALARMS, ETC.)
- OO... ANALYSIS (MODE ANALYSIS)
- PP... MATCHING EVALUATION
- QQ... IDENTIFICATION (PLURALITY OF CLASSIFIERS)

(57) Abstract: Provided is an anomaly detection method and system capable of constructing determination condition rules of anomaly detection from case-based anomaly detection by way of multivariate analysis of a multi-dimensional sensor signal, applying the rules to design-based anomaly detection of individual sensor signals, and also appropriately executing setting and control of threshold values for highly sensitive, early, and clearly visible detection of anomalies. Anomaly detection on the basis of a case base by way of multivariate analysis controls design-based anomaly detection. That is to say, (1) anomaly detection on the basis of a case base performs selection of sensor signals and anomaly detection according to various types of anomalies. Specifically, anomaly detection (characteristic conversion), evaluation of level of effect of each signal, construction of determination conditions (rules), and display and selection of sensor signals corresponding to the anomaly are performed. (2) Design-based anomaly detection for individual sensor signals performs anomaly detection after the above have been performed. Specifically, setting and control of thresholds, display of thresholds, and anomaly detection and display are performed.

(57) 要約: 多次元センサ信号の多変量解析による事例ベースの異常検知から異常検知の判定条件ルールを構築し、個別センサ信号の設計ベースの異常検知に適用し、更にしきい値の設定及び制御も適切に実行可能として、異常を高感度、早期に、かつ視認性よく検知異常検知方法及びシステムを提供する。多変量解析による事例ベースに基づく異常検知が、設計ベースの異常検知を制御する。すなわち、

(1) 事例ベースに基づく異常検知が、各種異常に応じた、センサ信号の選択と異常検知を行う。具体的には、異常検知(特徴変換)、各信号の影響度の評価、判定条件(ルール)の構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行う。(2) 個別センサ信号に対する設計ベースの異常検知は、上記を受けて、異常検知を行う。具体的には、しきい値の設定と制御、しきい値表示、異常検知と表示を行う。



WO 2011/027607 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

### 発明の名称：

異常検知・診断方法、異常検知・診断システム、及び異常検知・診断プログラム

### 技術分野

[0001] 本発明は、プラントや設備などの異常を早期に検知する異常検知・診断方法及び異常検知・診断システムに関する。

### 背景技術

[0002] 電力会社では、ガスタービンの廃熱などを利用して地域暖房用温水を供給したり、工場向けに高圧蒸気や低圧蒸気を供給したりしている。石油化学会社では、ガスタービンなどを電源設備として運転している。このようにガスタービンなどを用いた各種プラントや設備において、その異常を早期に発見することは、社会へのダメージを最小限に抑えることができ、極めて重要である。

[0003] ガスタービンや蒸気タービンのみならず、水力発電所での水車、原子力発電所の原子炉、風力発電所の風車、航空機や重機のエンジン、鉄道車両や軌道、エスカレータ、エレベータ、MRIなどの医療機器、半導体やフラットパネルディスプレイ向けの製造・検査装置、機器・部品レベルでも、搭載電池の劣化・寿命など、早期に異常を発見しなければならない設備は枚挙に暇がない。最近では、健康管理のため、脳波測定・診断に見られるように、人体に対する異常（各種症状）の検知も重要になりつつある。

[0004] このため、例えば米国のSmart Signal社では、特許文献1や特許文献2に記載のように、おもにエンジンを対象に、異常検知の業務をサービスしている。そこでは、過去のデータをデータベース（DB）としてもっておき、観測データと過去の学習データとの類似度を独自の方法で計算し、類似度の高いデータの線形結合により推定値を算出して、推定値と観測データのはずれ度合いを出力する。General Elect

ric社のように、特許文献3の内容を見ると、異常検知をk-meansクラスタリングにより検出している例もある。

## 先行技術文献

### 特許文献

- [0005] 特許文献1：米国特許第6,952,662号明細書  
特許文献2：米国特許第6,975,962号明細書  
特許文献3：米国特許第6,216,066号明細書

### 非特許文献

- [0006] 非特許文献1：StephanW. Wegerich;Nonparametric modeling of vibration signal features for equipment health monitoring, Aerospace Conference, 2003. Proceedings. 2003 IEEE, Volume 7, Issue, 2003 Page(s) :3113-3121

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0007] 一般には、観測データをモニタし、設定したしきい値と比較して、異常を検知するシステムがよく用いられている。この場合は、各観測データであるところの測定対象の物理量などに着目してしきい値を設定するため、設計ベースの異常検知であると言える。この方法では、設計が意図しない異常は検知が困難であり、見逃しが発生し得る。例えば、設備の稼動環境や、稼動年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響などにより、設定したしきい値が妥当とは言えなくなる。
- [0008] 一方、Smart Signal社が用いている、事例ベースの異常検知に基づく手法では、学習データを対象に、観測データと類似度の高いデータの線形結合により推定値を算出し、推定値と観測データのはずれ度合いを出力するため、学習データの準備次第で、設備の稼動環境や、稼動年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響などを考慮できる。しかし、観測データになぜ異常が含まれるのかは、説明が必要である。General Electric社のk-meansクラスタリングのよう

な、物理的意味が希薄な特徴空間内での異常検知では、さらに異常の説明は困難である。説明が困難な場合は、誤検出として扱われることになる。従来、設計ベースの異常検知と事例ベースの異常検知は、互いに連動することなく、独立に動く場合が多い。

[0009] そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、設計ベースの異常検知と事例ベースの異常検知を連動させる方法を与えるものである。これにより、多変量解析による事例ベースの異常検知から、異常検知の判定条件とも言えるルールを構築し、これを設計ベースの異常検知に適用する。さらに、しきい値の設定および制御も適切に実行できるようにする。これらにより、異常を高感度、早期に、かつ視認性よく検知することが可能な異常検知方法およびシステムを提供する。

### 課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するために、本発明は、多次元センサ信号を対象にした多変量解析による事例ベースに基づく異常検知が、個別センサ信号を対象にした設計ベースの異常検知を制御する。すなわち、(1) 事例ベースに基づく異常検知が、各種異常に応じて、センサ信号の選択としきい値設定を行う。具体的には、異常検知(特徴変換)、各信号の影響度の評価、判定条件(ルール)の構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行う。(2) 個別センサ信号に対する設計ベースの異常検知は、上記を受けて、異常検知を行う。具体的には、しきい値の設定と制御

[0011] また、観測データごとに、学習データに含まれる個々のデータに対し、類似度の高い上位k個のデータを求め、これにより部分空間を生成する。上記kは固定値でなく、観測データごとに適切な値とすべく、観測データからの距離が所定範囲内にある学習データを選択し、しかも学習データを最低個数から選択個数まで順次増やして投影距離が最小になるものを選ぶ。顧客へのサ

ービス形態としては、異常検知を行う手法をプログラムとして実現し、これを、メディア媒体やオンラインサービスにより顧客に提供する。

### 発明の効果

[0012] 本発明によれば、観測データに対する着眼点が明瞭になり、異常の説明性が格段に向上する。具体的には、個別センサ信号を対象に表示、しきい値設定を行うため、物理量を表す個別センサ信号と対応が付き、物理的意味が理解しやすい。演算負荷の大きい多変量解析手法も実装でき、高感度な異常予兆検知を可能とできる。これにより、微弱な異常を早期に検知できる。

[0013] これらによって、ガスタービンや蒸気タービンなどの設備のみならず、水力発電所での水車、原子力発電所の原子炉、風力発電所の風車、航空機や重機のエンジン、鉄道車両や軌道、エスカレータ、エレベータ、そして機器・部品レベルでは、搭載電池の劣化・寿命など、種々の設備・部品において異常の早期・高精度な発見が可能となる。

### 図面の簡単な説明

[0014] [図1] 図1は本発明の異常検知システムが対象とする多次元時系列信号の一例である。

[図2] 図2は多次元時系列信号のしきい値処理による異常検知を行う、個別検知技術の一例である。

[図3] 図3は事例ベースの異常検知の代表例である。

[図4] 図4は事例ベースの異常検知に使われる各種特徴変換を説明する図である。

[図5] 図5は本発明の異常検知システムの構成図である。

[図6] 図6は役割分担の説明図である。

[図7] 図7は観測信号の一例であり、個別検知手法においてあるしきい値により異常検知した結果を示した図である。

[図8] 図8は複数の識別器を用いた、事例ベースの異常検知手法の説明図である。

[図9] 図9は事例ベースの異常検知の結果を示した図である。

[図10] 図10は事例ベースの異常検知の結果と同じになるように、個別検知手法においてしきい値制御した例である。

[図11] 図11は事例ベースの異常検知の結果に基づき、観測信号を選択し、かつしきい値を制御した例である。

[図12] 図12は本発明のフローを示したものである。

[図13] 図13は本発明のフローを示したものである。

[図14] 図14は本発明による影響度のほかの例を示したものである。

[図15] 図15は本発明の部分空間法の一手法を説明したものである。

[図16] 図16は本発明を実行するプロセッサ周辺の構成図である。

[図17] 図17は本発明の全体構成を示したものである。

[図18] 図18は本発明によるセンサ信号間のネットワークを示したものである。

[図19] 図19は本発明による異常検知、原因診断の構成を示したものである。

。

[図20] 図20は本発明によるコンポーネント情報の一例を示したものである。

。

[図21] 図21は本発明によるグラフィックユーザインターフェースGUIの一例を示したものである。

[図22] 図22は偏差時系列パターンによる異常発生の予兆検知技術の(a)偏差時系列パターンの類似度算出の手法と、(a)に対応した(b)観測データの偏差信号の説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

[0016] 図1は本発明の異常検知システムが対象とするセンサ信号の一例である。センサ信号の種類は、数十から数万個存在する。設備の規模、設備が故障したときの社会的ダメージなどにより、センサ信号の種類が決まる。対象は、多次元・時系列のセンサ信号であり、発電電圧、排ガス温度、冷却水温度、冷却水圧力、運転時間などである。設置環境のたぐいもモニタされる。セン

サのサンプリングタイミングも、同様に、数十msから数十秒程度まで、いろいろなものがある。

- [0017] 図2は、多次元時系列センサ信号を入力として、異常を検知する方法を示したものである。多次元時系列センサ信号に対して、何を異常とするかの知識に基づき、種々の視点でセンサ信号を加工する。例えば、同図のフィルタ処理のところで、センサ信号を微分し、信号の時間変化を捉える。あるいは、積分処理により、一定期間の信号を加算することもある。さらには、信号の周波数に着目し、フーリエ変換やWavelet変換のような処理であることもある。
- [0018] このような加工を施した後に、同図に示すしきい値処理（例えば、上限と下限のしきい値をそれぞれ設定）において、しきい値を設定して、異常の有無を判定する。フィルタ処理は、センサ信号ごとに、異なるものでもよいし、同じでもよい。また、図示していないが、センサ信号の正規化（正準化）をほどこしてもよい。
- [0019] 上記方法の場合、しきい値は、設計の知識に基づき、設定される。すなわち、センサ信号が表す物理量として、何が望ましいか、どうあるべきか、設備の動作状態、環境、履歴も踏まえ、これらが考慮されて、しきい値が設定される。言わば、設計ベースの異常検知である。この設計ベースの異常検知は、設計者にとって、あるいはサービス要員にとって分かりやすい。しきい値は、物理現象に基づくため、視覚的であり設定しやすい。すなわち、対象が回転数であったり、圧力であったりするなど、設計基準を適用しやすく、かつ他のセンサ信号との絡みも少なく、独立・個別に考えてよい場合が多く、現象を理解しやすく、信号の取り得るレンジ、上限や下限などを設計基準に基づき設定しやすい。一方で、複数のセンサ信号にまたがる異常は、これを識別しがたいというデメリットがある。
- [0020] また、重要な点は、設計者が意図しない異常は、これを検知できないことである。実際の異常は、設計者が意図しないものも多く、その点で設計ベースの異常検知方法は問題がある。勿論、センサ信号を蓄積し、統計的に扱う

ことも可能である。しかし、この方法では、他の信号の振舞いを考慮できず、検知限界が低いと考えられる。

[0021] 図3は、事例ベースに基づいて異常を検知する方法を示したものである。多次元時系列センサ信号に対して、多変量解析により、正常データから見て、はずれ値を抽出する。センサデータ以外に、イベントデータ（アラーム情報など）を用いて、学習データの選択（完備性評価）や異常診断を行うこともある。さらには、複数の識別器を用いた識別による、よりロバストな異常検知も実現できる。

[0022] 図4は、図3にて使われる多次元時系列信号の次元を削減する特徴変換の例を示したものである。主成分分析以外にも、独立成分分析、非負行列因子分解、潜在構造射影、正準相関分析など、いくつかの手法が適用可能である。図4に、方式図と機能を併せて示した。主成分分析は、PCAと呼ばれ、M次元の多次元時系列信号を、次元数 $r$ の $r$ 次元多次元時系列信号に線形変換し、ばらつき最大となる軸を生成するものである。KL変換でも構わない。次元数 $r$ は、主成分分析により求めた固有値を降順に並べ、大きい方から加算した固有値を全固有値の和で割り算した累積寄与率なる値に基づいて決める。

[0023] 独立成分分析は、ICAと呼ばれ、非ガウス分布を顕在化する手法として効果がある。非負行列因子分解は、NMFと呼ばれ、行列で与えられるセンサ信号を、非負の成分に分解する。教師なしとしたものは、本実施例のように、異常事例が少なく、活用できない場合に、有効な変換手法である。ここでは、線形変換の例を示した。非線形の変換も適用可能である。

[0024] 上述した特徴変換は、標準偏差で正規化する正準化なども含め、学習データと観測データを並べて同時に実施する。このようにすれば、学習データと観測データを同列に扱うことができる。このような特徴変換により、センサ信号を変換するため、事例ベースに基づく異常検知では、設計者にとって、あるいはサービス要員にとって分かりづらい。他のセンサ信号との絡みがあり、独立・個別でないため、現象を理解しづらいのである。一方で、正常デ

一タから見て、はずれ値を抽出するため、感度が良いという大きなメリットがある。

- [0025] 図5は、本発明の異常検知方法を示す。上段が、図2に示した、個別センサ信号に対する設計ベースの異常検知であり、下段が図3に示した、多次元センサ信号の多変量解析による事例ベースに基づく異常検知である。事例ベースに基づく異常検知が、設計ベースの異常検知を制御する構成になっている。多変量解析による事例ベースに基づく異常検知は、イベントデータも入力している。センサ信号のモード分解などを行っている。クラスタリングは、センサデータのクラスタへの分解である。ポイントは、下記である。
- [0026] 1) 多次元センサ信号の多変量解析による事例ベースに基づく異常検知が、各種異常に応じて、センサ信号の選択としきい値設定を行う。具体的には、異常検知（特徴変換）、各信号の影響度の評価、異常の種類毎の判定条件（ルール）の構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行う。
- [0027] 2) 個別センサ信号に対する設計ベースの異常検知は、上記を受けて、異常検知を行う。具体的には、しきい値の設定と制御、しきい値表示、異常検知と表示を行う。
- [0028] 図6に、本発明の基本となる考え方をまとめる。以下、これらの考え方と動作をさらに説明する。
- [0029] 図7に、設計ベースの異常検知のセンサ信号の一例と、設定しきい値、異常検知結果を示す。しきい値は、設計者が与えている。センサ信号としきい値が1対1なので、理解しやすいことが分かる。異常検知の時期としては、若干遅いようである。もう少し早い検知ができると、予防保全になり、故障を引き起こす部品の早期交換なども可能となる。しきい値が適切でない理由は、例えば、設備の稼働環境や、稼働年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響などが設計者の想定範囲外にあることによる。
- [0030] 次に、事例ベースに基づく異常検知を説明する。図8に事例ベースに基づく異常検知手法を示す。この異常検知において、11は多次元時系列信号取得部、12は特徴抽出／選択／変換部、13は識別器、14は統合（グロー

バル異常測度)、15は主に正常事例からなる学習データを示している。

[0031] 多次元時系列信号取得部11から入力された多次元時系列信号は、特徴抽出／選択／変換部12で次元が削減され、複数の識別器13により識別され、統合(グローバル異常測度)14によりグローバル異常測度が判定される。主に正常事例からなる学習データ15も複数の識別器13により識別されて、グローバル異常測度の判定に用いられると共に、主に正常事例からなる学習データ15自体も取捨選択され、蓄積・更新が行われて精度の向上が図られる。

[0032] 図8には、ユーザがパラメータを入力する操作PCも図示している。ユーザ入力のパラメータは、データのサンプリング間隔、観測データの選択、異常判定のしきい値などである。データのサンプリング間隔は、例えば、何秒おきにデータを取得するかを指示するものである。観測データの選択は、センサ信号のどれをおもに使うかを指示するものである。異常判定のしきい値は、算出した、モデルからの偏差・逸脱、はずれ値、乖離度、異常測度などと表現した、異常らしさの値を2値化するしきい値である。

[0033] 図8に示される複数の識別器13はいくつかの識別器(h1、h2、・・・)を準備し、それらの多数決をとる(統合14)ことが可能である。即ち、異なる識別器群(h1、h2、・・・)を用いたアンサンブル(集団)学習が適用できる。例えば、第一の識別器は投影距離法、第二の識別器は局所部分空間法、第三の識別器は線形回帰法と言ったものである。事例データに基づくものならば、任意の識別器が適用可能である。

[0034] 図9が、事例ベースに基づく異常検知の結果の一例を示す。センサ信号は、図7に示したものと同一であるが、多次元時系列センサ信号を対象にした多変量解析により算出した異常測度を表示している。異常測度は、後で説明する図15にて求められる。この例によれば、異常の検知時期は、設計ベースの異常検知時期より、かなり早い。

[0035] しかしながら、異常発報の根拠は不明瞭である。このため、図9では、センサ信号における異常への影響度を表している。平均的な値よりはずれてい

れば、その信号が異常をあらわしていることになる。同図では、下から三番目の信号が、異常をあらわしていることになる。このように個別に見れば、どのセンサが異常と関係があるかが分かる。ただし、複数のセンサ信号が異常を表すことの方が多いため、解析には多少負荷がかかることがある。

[0036] 図10は、図8において、しきい値を制御して、異常検知を早めた例である。この場合、適切な異常検知になったと言える。しかし、しきい値の設定が、マニュアルであり、人為的であり、設定根拠が不明瞭である。

[0037] 図11は、事例ベースに基づく異常検知の結果を利用し、センサ信号における異常への影響度を使って、センサ信号を選択し、次に、しきい値を制御して、異常を検知したものである。設備の稼動環境や、稼動年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響なども反映されており、しきい値の設定根拠も与えられた。異常の視認性も向上している。

[0038] 図12、図13に、上記動作のフローを示す。図12において、観測データ、学習データ、イベント解析の結果を用いて、まず観測データと学習データの乖離度（類似度）を算出する。イベントデータ（アラーム情報など）は、例えば、学習データを選択に用いる。次に、観測データと学習データの乖離度（類似度）に基づき、異常の有無を判定する（しきい値は外部～設定する）。同時に、異常の影響度を算出する。

[0039] ここでは、各クラスにおけるk近傍データの平均と観測データの距離を用いて観測データの識別を行う（LAG法と呼ばれる）。これにより、図9の下段のグラフが得られる。つぎに、各種異常と異常の影響度に基づき、該当するセンサ信号の選択を行う。場合によっては、各種異常と異常の影響度をデータベースとして蓄積することが必要になる。そして、異常の検知結果は、もとの各センサ信号に対するしきい値の制御に使われる。すなわち、ほぼ同じ感度になるように、しきい値が制御される。

[0040] これにより、図11に示したグラフが得られる。見逃しがないように感度を設定すると、誤検出が発生する恐れがあるが、ここではこれをOKとする。選択された複数のセンサ信号に対して、同様のしきい値設定を行う。このと

き、選択された複数のセンサ信号の異常検知の多数決や論理積により、極力、誤検出が発生しないよう、しきい値を決める。そして、これらを表示し、異常検知結果も表示する。選択された複数のセンサ信号の異常検知の多数決や論理積などの論理が、判定条件（ルール）になる。

[0041] 判定条件；選択されたセンサ信号のしきい値処理結果の多数決や論理積などの条件

各センサ信号は、冷却水の温度や圧力、発電電流、発電電圧など具体的な物理量を表しているため、各センサ信号に対してしきい値が設定できると、異常に至る物理限界などが、設計者にとって理解しやすく、また異常現象も視覚的に捉えやすく、設備の動作原理や物理現象との対応をとりやすいという大きなメリットがある。個別センサ信号に対して得られた判定条件（ルール）は、外部表示、または出力される。

[0042] また、図 11 に示した異常検知結果もモニタなどに表示される。なお、多変量解析による事例ベースの異常検知では、複数のセンサ信号の線形結合などによって表されることが多い。この場合、冷却水温度と発電電流の線形結合であったりすると、その解釈が難しい。もちろん、後で述べるように、センサ信号間のつながりが分かり、ネットワークを構成できるという大きなメリットがあるが、保守エンジニアや顧客の直接理解とは隔たりがあるのも事実である。従って、いかに個別センサ信号の変動として、簡単に事象をとらえることができるか、あるいは、少ないセンサ信号の組み合わせで、事象を説明できるかという点で、上記判定条件の導出、明確化は重要なものとなる。

[0043] 多次元センサ信号を対象とした多変量解析による事例ベースの異常検知は、常時連動（同期）させる必要もなく、データサンプリングと非同期で行うことができ、逆に言うと、データ量に対し、演算負荷が大きく、データサンプリング時間に比べ、異常検知の処理時間を要する、複雑な異常検知手法も搭載適用できることになり、異常検知の感度がさらに向上できる。1ms 周期といった速いサンプリングの場合、非同期化が重要となる。逆に、1日単

位の異常検知でよく処理速度を要求しない劣化形の異常の場合は、同期化しても問題ない。

[0044] 図13には、選択されたセンサ信号の例を示す。さらに、選択された各センサ信号S1, S2, S3, S4などに対し、しきい値 $th1_l$ ,  $th1_u$ ,  $th2_l$ ,  $th2_u$ ,  $th3_u$ ,  $th4_l$ などを設定する。この例では、選択された各センサ信号のしきい値処理結果（2値論理）の論理積により、異常を検知している。これらが、異常検知の判定条件（ルール）になる。しきい値 $th1_l$ ,  $th1_u$ ,  $th2_l$ ,  $th2_u$ ,  $th3_u$ ,  $th4_l$ は、多変量解析による異常検知と同じ検知能力に近づける。完全には一致しないが、見逃しをしないように設定することが可能である。

$$th1_l < S1 < th1_u \text{ and } th2_l < S2 < th2_u \text{ and } S3 < th3_u \text{ and } th4_l < S4$$

[0045] 以上説明したように、異常検知の高感度化、視認性向上、解釈容易化などが図られるが、異常の種類に応じた対応が課題になる。すなわち、異常の種類に応じて、選択された複数のセンサ信号は異なるものになる可能性が高い。従って、過去事例に基づき、異常の種類ごとに、センサ信号の選択と設定したしきい値を、データベースに蓄え、これらを使うこともあり得る。この場合、複数の選択と複数のしきい値が指示される。このような異常事例、センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータベースは、異常診断においても有効な判断材料として使われることになる。

[0046] 図14に、影響度の評価の別の例を示す。図14においては、信号Aに変動があり、異常の予兆が発生している。しかし、他のセンサ信号、例えばBにも変動が見られる。多変量解析によれば、信号Bの影響度も大きいと判断されたのである。しかし、信号のスケールの違い（標準偏差で正規化する正準化を施しても信号のスケールがきちっと一致することは少ない。なぜなら、ON状態とOFF状態が混在し、これによりON状態の変動の正規化などは困難になっている。

[0047] 最低でもON状態とOFF状態を区別する必要があるが、過渡期の扱いは依然として不明瞭である）、学習データがすべてのケースを網羅している訳でもな

いという網羅性の問題があり、図 14 の場合は、信号Bの影響度は実は大きくない。このような場合、設計情報をもとにすれば、信号Bは変動が大きくても問題ないなどの判断が可能である。したがって、センサ信号の選択を設計情報も加味して実施できる。具体的には、設計情報も活用し、補正係数を設定し、影響度に補正係数をかけて、信号を選択する。

[0048] 係数も加味して選択されたセンサ信号は、異常発生時に結びつきが強いことを表しており、有用な情報である。これらを事例ごとに集めれば、対象設備のモデル化ができる。図 18 に、得られた、各センサ信号の異常への影響度の情報から、各センサ信号のネットワークを作成した例を示す。基本的な温度、圧力、電力などのセンサ信号に関して、異常への影響度の割合に基づき、センサ信号間に重みを付与できる。こういった関連性ネットワークができると、設計者が意図しない信号間の連動性、共起性、相関性などが明示でき、異常の診断時にも有用である。ネットワークの生成は、各センサ信号の異常への影響度のほか、相関、類似度、距離、因果関係、位相の進み／遅れなどの尺度で、これを生成することができる。

[0049] 対象設備のモデル；選択されたセンサ信号のネットワークについて、図 15 に一般的な CLAFIC 法を図解して示す。モデルからの偏差を求めるものである。2 クラス、2 次元パターンの場合を示す。各クラスの部分空間、即ち、ここでは 1 次元の直線として表される部分空間を求める。

[0050] 一般的には、各クラスのデータの自己相関行列を固有値分解して、固有ベクトルを基底として求める。値が大きい、上位何個かの固有値に対応する固有ベクトルを用いる。未知パターン  $q$ （最新の観測パターン）が入力されると、部分空間への正射影の長さ、或いは部分空間への投影距離を求める。そして、正射影の長さが最大、或いは投影距離が短いクラスに、未知パターン（最新の観測パターン） $q$  を分類する。

[0051] 図 15 では未知パターン  $q$ （最新の観測パターン）は、クラス A に分類される。図 1 に

示した多次元時系列信号では、基本的に正常部を対象とするため、1 クラス

識別の問題になるので、クラスAを正常部とし、未知パターン $q$ （最新の観測パターン）からクラスAまでの距離を求めて、これを偏差とする。そして、偏差が大きいと、はずれ値と判断する。このような部分空間法では、異常値が若干混ざっていても、次元削減し、部分空間にした時点で、その影響が緩和される。部分空間法適用のメリットである。

[0052] なお、投影距離法では、各クラスの重心を原点とする。各クラスの共分散行列にKL展開を適用して得られた固有ベクトルを基底として用いる。いろいろな部分空間法が立案されているが、距離尺度を有するものならば、はずれ度合いが算出可能である。なお、密度の場合も、その大小により、はずれ度合いを判断可能である。CLAFIC法は、正射影の長さを求めることから、類似度尺度である。

[0053] このように、部分空間にて距離や類似度を計算し、はずれ度合いを評価することになる。投影距離法などの部分空間法は、距離に基づく識別器のため、異常データが利用できる場合の学習法として、辞書パターンを更新するベクトル量子化や距離関数を学習するメトリック学習を使うことができる。

[0054] また、局所部分空間法と呼ぶ、未知パターン $q$ （最新の観測パターン）に近い $k$ 個の多次元時系列信号を求め、各クラスの最近傍パターンが原点となるような線形多様体を生成し、その線形多様体への投影距離が最小となるクラスに未知パターンを分類する方法も適用できる（図8の局所部分空間法の枠内参照）。局所部分空間法も部分空間法の一つである。

[0055]  $k$ は、パラメータである。異常検知では、先ほどと同様に、1クラス識別の問題になるので、大多数のデータが属するクラスAを正常部とし、未知パターン $q$ （最新の観測パターン）からクラスAまでの距離を求めて、これを偏差とする。

[0056] この手法では、例えば、 $k$ 個の多次元時系列信号を用いて形成される部分空間への、未知パターン $q$ （最新の観測パターン）からの正射影した点を推定値として算出することもできる（図8の局所部分空間法の枠内に説明した推定値なるデータ）。また、 $k$ 個の多次元時系列信号を、未知パターン $q$ （

最新の観測パターン)に近い順に並べ替え、その距離に反比例した重み付けを行って、各信号の推定値を算出することもできる。投影距離法などでも、同様に推定値を算出できる。

[0057] パラメータ  $k$  は通常は 1 種類に定めるが、パラメータ  $k$  をいくつか変えて実行すると、類似度に応じて対象データを選択することになり、それらの結果から総合的な判断となるため、一層効果的である。さらには、正常部は設備の ON/OFF などの過渡期を含む多様な状態なため、観測データ入力ごとに、観測データからの距離に基づき観測データと類似する学習データを逐次選択することにした。また、学習データを最低個数から選択個数まで順次増やして投影距離が最小になるものを選んでよい。これは、投影距離法にも適用できる。この場合は、図 8 に示したクラスタリングが不要になる。

局所部分空間法では、異常値が若干混ざっていても、局所部分空間にした時点で、その影響が大きく緩和される。

[0058] 未知パターン  $q$  (最新の観測パターン) に近い  $k$  個の多次元時系列信号を求め、 $k$  個のうち最も多くが属すクラスタが、未知パターン  $q$  が属すクラスタであると判定し、このクラスタが属す学習データを対象に、再度、未知パターン  $q$  に近い  $L$  個の多次元時系列信号を求め、これを用いて局所部分空間法を適用することもできる。

[0059] なお、単に、1 クラス識別の問題と考えれば、1 クラスサポートベクターマシンなどの識別器も適用可能である。この場合、高次空間に写像する、radial basis function などのカーネル化が使えることになる。1 クラスサポートベクターマシンでは、原点に近い側が、はずれ値、即ち異常になる。ただし、サポートベクターマシンは、特徴量の次元は大きくても対応できるが、学習データ数が増えると計算量が膨大となるという欠点もある。

[0060] このため、MIRU2007 (画像の認識・理解シンポジウム、Meeting on Image Recognition and Understanding 2007) にて発表されている、「IS-2-10 加藤丈和, 野口真身, 和田俊和 (和歌山大), 酒井薫, 前田俊二 (日立); パターンの近接性に基づく 1 クラス識別器」などの手

法も適用可能であり、この場合、学習データ数が増えても、計算量は膨大なものにならないというメリットがある。

[0061] このように、低次元モデルで多次元時系列信号を表現することにより、複雑な状態を分解でき、簡単なモデルで表現できるため、現象を理解しやすいという利点がある。また、モデルを設定するため、SmartSignal社の方法のように完全に、データを完備する必要はない。データの欠落があっても良いというメリットがある。

[0062] 図16に、本発明の異常検知システムのハードウェア構成を示す。異常検知を実行するプロセッサ119に、対象とするエンジンなどのセンサデータを入力し、欠損値の修復などを行って、データベースDB121に格納する。プロセッサ119は、取得した観測センサデータ、学習データからなるDBデータを用いて、異常検知を行う。表示部120では、各種表示を行い、異常信号の有無や、後述する異常説明のメッセージを出力する。トレンドを表示することも可能とする。イベントの解釈結果も表示可能とする。

上記ハードウェアとは別に、これに搭載するプログラムを、メディア媒体やオンラインサービスにより顧客に提供することもできる。

[0063] データベースDB121は、熟練エンジニアらがDBを操作できる。特に、異常事例や対策事例を教示でき、格納できる。(1)学習データ(正常)、(2)異常データ、(3)対策内容が、格納される。データベースDBを、熟練エンジニアらが手を加えられる構造にすることにより、洗練された、有用なデータベースができあがることになる。また、データ操作は、学習データ(個々のデータや重心位置など)を、アラームの発生や部品交換に伴い、自動的に移動させることにより行う。また、取得データを自動的に追加することも可能である。異常データがあれば、データの移動に、一般化ベクトル量子化などの手法も適用できる。

[0064] 図17に、異常検知、及び異常検知後の診断を示す。図17において、設備からの時系列信号から、時系列信号の特徴抽出・分類24により、異常を検知する。設備は、1台のみとは限らない。複数台の設備を対象にしてもよ

い。同時に、各設備の保守のイベント（アラームや作業実績など。具体的には、設備の起動、停止、運転条件設定、各種故障情報、各種警告情報、定期点検情報、設置温度などの運転環境、運転累積時間、部品交換情報、調整情報、清掃情報など）などの付帯情報を取り込み、異常を高感度に検知する。

[0065] 同図に示すように、予兆検知 25 により早期に予兆として発見できれば、故障となって稼働停止となる前に、何らかの対策がうてることになる。そして、部分空間法などにより予兆検知し、イベント列照合なども加えて総合的に予兆かどうか判断し、この予兆に基づき、異常診断を行い、故障候補の部品の特定やいつ当該部品が故障停止に至るかなどを推測する。そして、必要な部品の手配を、必要なタイミングで行う。

[0066] 異常診断 26 は、予兆を内包しているセンサを特定する現象診断と、故障を引き起こす可能性のあるパーツを特定する原因診断に分けると考えやすい。異常検知部では、異常診断部に対して、異常の有無という信号のほか、特徴量に関する情報を出力する。異常診断部は、これらの情報をもとに診断を行う。

[0067] 図 19 に異常検知、原因診断の部分に関して、さらにその構成を示す。図 19 において、複数のセンサからデータを取得するセンサデータ取得部、ほぼ正常データからなる学習データ、学習データをモデル化するモデル生成部、観測データとモデル化した学習データの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部、各信号の影響度を評価するセンサ信号の影響度評価部、各センサ信号の関連性を表すネットワーク図を作成するセンサ信号ネットワーク生成部、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなる関連データベース、設備の設計情報からなる設計情報データベース、原因診断部、診断結果を格納する関連データベース、および入出力からなる。

[0068] 設計情報データベースには、設計情報以外の情報も含み、エンジンを例にとると、年式、モデル、図 21 に示すコンポーネント、部品表 (BOM)、過去の保守情報（オンコール内容、異常発生時のセンサ信号データ、調整日時、撮像画像データ、異音情報、交換部品情報など）、原因診断ツリー（設計者

が作成した簡易ツリー。症例により枝分かれして、交換を要するユニットや部品を特定する)、稼動状況情報、輸送・据付時の検査データなどを含む。図20に示したコンポーネントは、電気部品のブロックに関する情報である。

[0069] この構成の特徴は、各センサ信号の関連性を表すネットワークを用いて、これとコンポーネント情報を結びつけ、原因診断支援を図るものである。センサ信号の影響度から生成される各センサ信号の関連性を表すネットワークが、原因診断の知識材料となる。診断では、複数の事例の中の現象、部位、処置を表す要素(曖昧な表現)間の連結性に基づき、現象が発生した時、対策処置の可能性リストを提示する。具体的には、例えば、医療用機器の例では、画像にゴーストが発生するといった現象に対し、各センサ信号の関連性を表すネットワークを用いて、コンポーネント要素であるケーブルと結びつけ、ケーブルシールド処理を対策処置の可能性リストのひとつとして提示する。

[0070] 図21に、グラフィカルユーザインターフェース(GUI)の一例を示す。単調に変化するセンサ信号や分散の小さいセンサ信号を除くためのセンサ信号の選択、多変量解析に用いる識別器の選択(局所部分空間法や投影距離法など)、識別器の識別パラメータの選択、季節変動などに応じて季節ごとに準備した複数学習データの選択などに関して、ユーザが必要な項目を入力する。実行後に、多変量解析の結果である異常測度や各センサ信号の影響度の評価結果などが表示される。また同時に、各センサ信号のネットワーク関係が図示される(図18に示した一例が表示される)。

[0071] 多変量解析の結果から、異常に応じて、着目し選択すべきセンサ信号を選び、その選択結果を表示する。また、個別センサ信号に対する判定条件(ルール)を表示する。この判定条件に基づき、個別信号波形としきい値の表示、選択した信号波形に対する異常検知結果の表示を行う。最後に、異常の診断結果も表示する。

[0072] 図22は偏差時系列パターンによる異常発生の予兆検知技術の説明図であ

る。図22の(a)は、偏差時系列パターンの類似度算出の手法を示しており、図22の(b)は、図22の(a)に対応した観測データの偏差信号を示している。

[0073] 図22の(a)の空間の「0」点は、図8に示す局所部分空間法により求めた各観測データの正常重心に対応し、各時点でのセンサ信号Aとセンサ信号Bとセンサ信号Cの正常重心からの偏差が空間内の軌跡として表現されている。図22の(a)では、時刻 $t-1$ 、時刻 $t$ 、時刻 $t+1$ を経過する観測データの偏差系列が矢印のついた点線で示されている。

[0074] 観測データ及び異常事例それぞれの類似度は、それぞれの偏差の内積( $A \cdot B$ )を算出して推定することができる。また、内積( $A \cdot B$ )を大きさ(ノルム)で割って、角度 $\theta$ で類似度を推定することも可能である。

[0075] 観測データの偏差時系列パターンに対して類似度を求め、その軌跡により、発生すると予測される異常を推測する。具体的には、図22の(a)には、異常事例Aの偏差、異常事例Bの偏差、異常事例Cの偏差が示されている。矢印のついた点線で示されている観測データの偏差系列パターンを見ると、時刻 $t$ では異常事例Bに近いが、その軌跡からは、異常事例Bではなく、異常事例Aの発生を予測することができる。

[0076] 異常事例を予測するために、異常事例が発生するまでの偏差時系列の軌跡データをデータベース化しておき、観測データの偏差時系列パターンと軌跡データベースに蓄積された軌跡データの時系列パターンの類似度を算出して異常発生の予兆を検知することができる。

[0077] また、複合事象の異常事例の場合には、複合事象の各事象毎のベクトル加算演算を行うことにより、複合事象の異常発生の予兆を検知することができる(未発生複合事象の模擬)。

[0078] 図22の(b)は、図22の(a)のセンサ信号A、B、C等に対応した複数の観測データの偏差信号の時間的推移を示している。図22の(b)上部の11/17の時刻で、例えば、ジャケット水圧が低下するといった異常事態が発生するが、時刻 $t-1$ 、 $t$ 、 $t+1$ において観測データの偏差信号

を検出し、軌跡データベースに蓄積された軌跡データの時系列パターンの類似度を算出して、特定の異常発生の予兆を検知することができる。

[0079] 上述したいくつかの実施例に関する総合的効果をさらに補足する。たとえば、発電設備を所有している会社では、機器の保守費用削減を希望しており、保証期間中に機器を点検、部品交換を実施している。これは時間ベースの設備保全と言われている。

[0080] しかし、最近では機器の状態を見て、部品交換を実施する状態ベースの保全に移行しつつある。状態保全を実施するには、機器の正常・異常データを収集する必要があり、このデータの量、質が状態保全の品質を決めてしまう。しかし、異常データの収集は、まれなケースも多く、大型の設備になるほど、異常データを収集することは困難である。従って、正常データから、はずれ値を検出することが重要となる。上述したいくつかの実施例によれば、

- [0081] (1) 正常データから、異常を検知できる、  
(2) データ収集が不完全でも精度の高い異常検知が可能となる、  
(3) 異常データが包含されていても、この影響を許容できる、  
といった直接的効果に加え、  
(4) ユーザにとって、異常現象を視覚的に捉えやすく、現象を理解しやすい、  
(5) 設計者にとって、異常現象を視覚的に捉えやすく、物理現象との対応をとりやすい、  
(6) エンジニアの知識を活用できる  
(7) 物理モデルも併用できる、  
(8) 演算負荷が大きく、処理時間を要する異常検知手法も搭載適用できるといった副次的な効果がある。

### 産業上の利用可能性

[0082] 本発明は、プラント、設備の異常検知として利用することが出来る。

### 符号の説明

[0083] 1 1 多次元時系列信号取得部

- 1 2 特徴抽出／選択／変換部
- 1 3 識別器
- 1 4 統合（グローバル異常測度）
- 1 5 主に正常事例からなる学習データデータベース
- 2 4 時系列信号の特徴抽出・分類
- 2 5 予兆検知
- 2 6 異常診断
- 1 1 9 プロセッサ
- 1 2 0 表示部
- 1 2 1 データベース（DB）

## 請求の範囲

- [請求項1] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、
- 、
- 複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、
- 前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、
- 各センサ信号の影響度の評価、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行うことを特徴とする異常検知方法。
- [請求項2] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、
- 、
- 複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、
- 前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、
- 各センサ信号の影響度の評価結果を、異常事例と共に蓄積し、この蓄積データに基づいて、個別センサ信号に対して、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行い、しきい値の設定を行って、これに基づき異常検知を行うことを特徴とする異常検知方法。
- [請求項3] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、
- 、
- 複数のセンサから観測データを取得し、
- 学習データを部分空間法でモデル化し、
- 観測データと部分空間の距離関係に基づき、異常を検知することを特徴とする請求項1乃至請求項2記載の異常検知方法。
- [請求項4] 請求項3記載の異常検知方法において、
- 前記部分空間法は、投影距離法、CLAFIC法、観測データの近

傍を対象とする局所部分空間法であることを特徴とする異常検知方法。

[請求項5] 請求項2記載の異常検知方法において、観測データと学習データの類似度により観測データの異常の有無を検知する頻度は、データ収集とは非同期に行うことを特徴とする異常検知方法。

[請求項6] 請求項2記載の異常検知方法において、個別センサ信号に対して得られた判定条件（ルール）を外部表示、または出力することを特徴とする異常検知方法。

[請求項7] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、  
複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、  
前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、各センサ信号の影響度を評価することにより、各センサ信号の関連性ネットワーク図を作成し、対象設備のモデル化を行うことを特徴とする異常検知方法。

[請求項8] 請求項7記載の異常検知方法において、各センサ信号の関連性ネットワーク図を異常の原因診断に使うことを特徴とする異常検知方法。

[請求項9] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、  
複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、  
前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータを記憶するデータベースを備え、前記データを異常診断に使うことを特徴とする異常検知方法。

[請求項10] プラントまたは設備の異常を早期に検知し、診断する異常検知・診断方法であって、

複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、

前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータを記憶積するデータベースを備え、複数の事例の中の現象、部位、処置を表す要素間の連結性にに基づき、新たな異常に関する現象が発生した時、対策処置の可能性リストを提示することを特徴とする異常検知・診断方法。

[請求項11]

プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、正常データからなる学習データをモデル化するモデル生成部と、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部と、各センサ信号の影響度の評価、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行う判定条件生成部とからなり、

前記複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、前記観測データとモデル化した前記学習データの類似度により観測データの異常の有無を検知し、各センサ信号の影響度の評価、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項12]

プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、正常データからなる学習データをモデル化するモデル生成部と、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部と、各センサ信号の影響度の評価結果と異常事例を記憶するデータ蓄積部と、判定条件ルールの構築、

異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行う判定条件生成部とからなり、

前記複数のセンサからデータを取得し、正常データからなる前記学習データをモデル化し、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、各センサ信号の影響度の評価結果を、異常事例とともに蓄積し、この蓄積データに基づいて、個別センサ信号に対して、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行い、しきい値の設定を行って、これに基づき異常検知を行うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項13] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、学習データを部分空間法でモデル化するモデル生成部、観測データと部分空間の距離関係に基づき、異常を検知する異常検知部とからなり、

複数のセンサから観測データを取得し、

学習データを部分空間法でモデル化し、

観測データと部分空間の距離関係に基づき、異常を検知することを特徴とする請求項 1 1 乃至請求項 1 2 記載の異常検知システム。

[請求項14] 請求項 1 3 記載の異常検知システムにおいて、

前記部分空間法は、投影距離法、C L A F I C法、観測データの近傍を対象とする局所部分空間法であることを特徴とする異常検知システム。

[請求項15] 請求項 1 2 記載の異常検知システムにおいて、観測データと学習データの類似度により観測データの異常の有無を検知する頻度は、データ収集とは非同期に行うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項16] 請求項 1 2 記載の異常検知システムにおいて、個別センサ信号に対して得られた判定条件ルールを外部表示、または出力することを特徴とする異常検知システム。

[請求項17] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、正常データからなる学習データをモデル化するモデル生成部と、前記観測データとモデル化した前記学習データの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部と、各センサ信号の影響度を評価する影響度評価部、各センサ信号の関連性ネットワーク図を作成するネットワーク生成部とからなり、

前記複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、各センサ信号の影響度の評価することにより、各センサ信号の関連性ネットワーク図を作成し、対象設備のモデル化を行うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項18] 請求項17記載の異常検知システムにおいて、各センサ信号の関連性ネットワーク図を異常の原因診断に使うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項19] プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、正常データからなる学習データをモデル化するモデル生成部と、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部と、各センサ信号の影響度を評価する影響度評価部と、各センサ信号の関連性ネットワーク図を作成するネットワーク生成部と、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータを蓄積するデータベースとを備え、

複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、前記観測データとモデル化した前記学習データと

の類似度により観測データの異常の有無を検知し、これらを、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータをデータベースに記憶し、このデータを異常診断に使うことを特徴とする異常検知システム。

[請求項20]

プラントまたは設備の異常を早期に検知・診断する異常検知・診断システムであって、

複数のセンサから観測データを取得するセンサデータ取得部と、正常データからなる学習データをモデル化するモデル生成部と、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知する異常検知部と、各センサ信号の影響度を評価する影響度評価部と、各センサ信号の関連性ネットワーク図を作成するネットワーク生成部と、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータを記憶するデータベースと、複数の事例の中の現象、部位、処置を表す要素間の連結性を評価する連結性評価部とを備え、

複数のセンサから観測データを取得し、正常データからなる学習データをモデル化し、前記観測データとモデル化した前記学習データとの類似度により観測データの異常の有無を検知し、

これらを、異常事例、各センサ信号の影響度、選択結果などからなるデータを前記データベースに記憶し、

複数の事例の中の現象、部位、処置などを表す要素間の連結性に基づき、新たな異常に関する現象が発生した時、対策処置の可能性リストを提示することを特徴とする異常検知・診断システム。

[請求項21]

プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知プログラムであって、

複数のセンサから取得した、ほぼ正常データからなる学習データを対象にモデル化し、観測データとモデル化した学習データの類似度を算出することにより観測データの異常の有無を検知し、各信号の影響度

の評価結果を、異常事例とともに蓄積し、この蓄積データに基づいて、個別センサ信号に対して、判定条件ルールの構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行い、しきい値の設定を行って、これに基づき異常検知を行う手順をコンピュータに実行させることを特徴とする異常検知プログラム。

[請求項22]

プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知プログラムであって、

複数のセンサから取得した、ほぼ正常データからなる学習データを対象にモデル化し、観測データとモデル化した学習データの類似度を算出することにより観測データの異常の有無を検知し、各信号の影響度の評価結果を、異常事例とともに蓄積し、この蓄積データに基づいて、個別センサ信号に対して、判定条件（ルール）の構築、異常に応じたセンサ信号の選択と表示を行い、しきい値の設定を行って、これに基づき異常検知を行うプログラムを、メディア媒体やオンラインサービスにより提供する手順をコンピュータに実行させることを特徴とする異常検知プログラム。

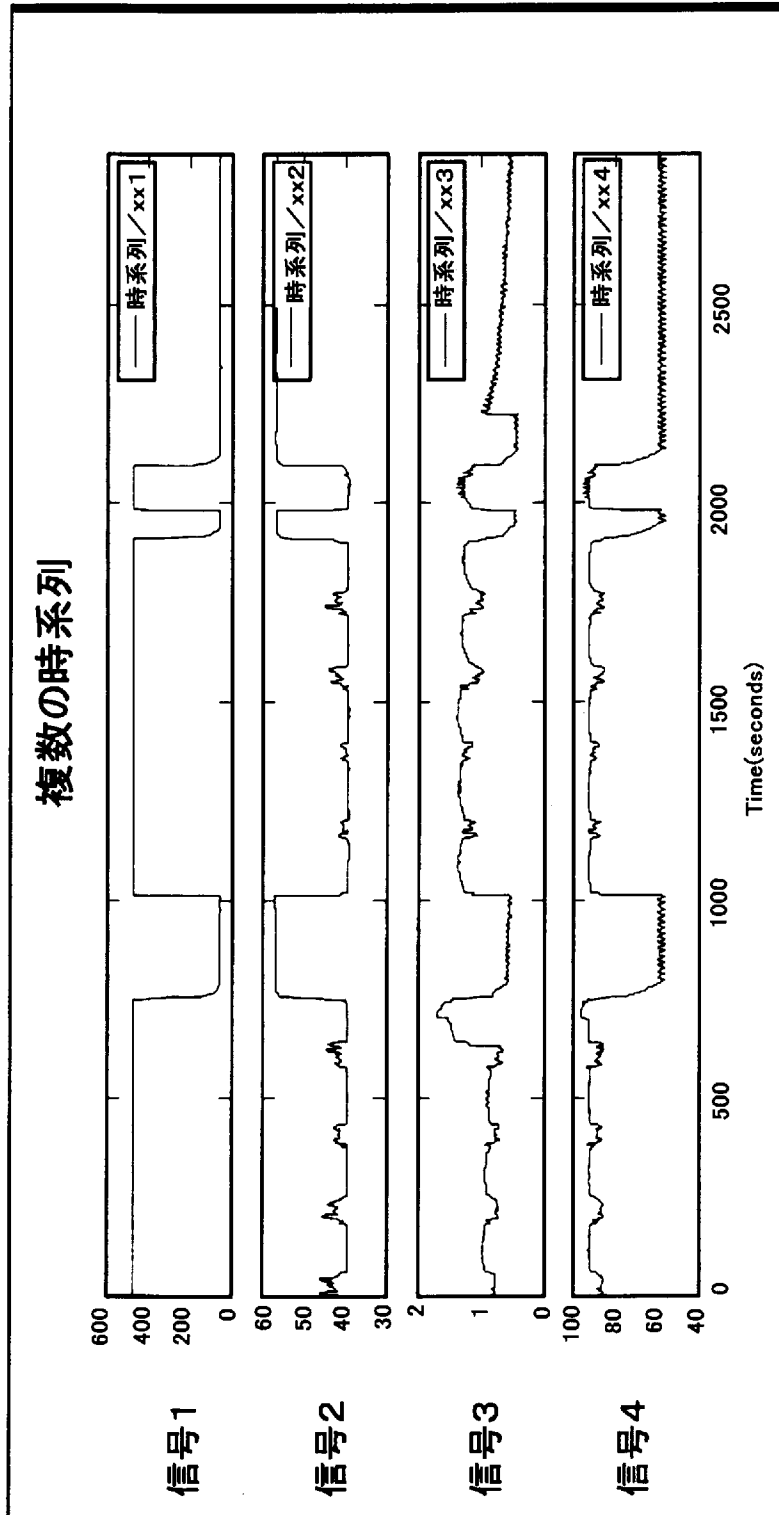
[請求項23]

プラントまたは設備の異常を早期に検知する異常検知方法であって、

複数のセンサから取得した、ほぼ正常データからなる学習データと、観測データを並べて同時に特徴変換することを特徴とする請求項2記載の異常検知方法。

[図1]

多次元時系列センサ信号(ガスエンジンの例)

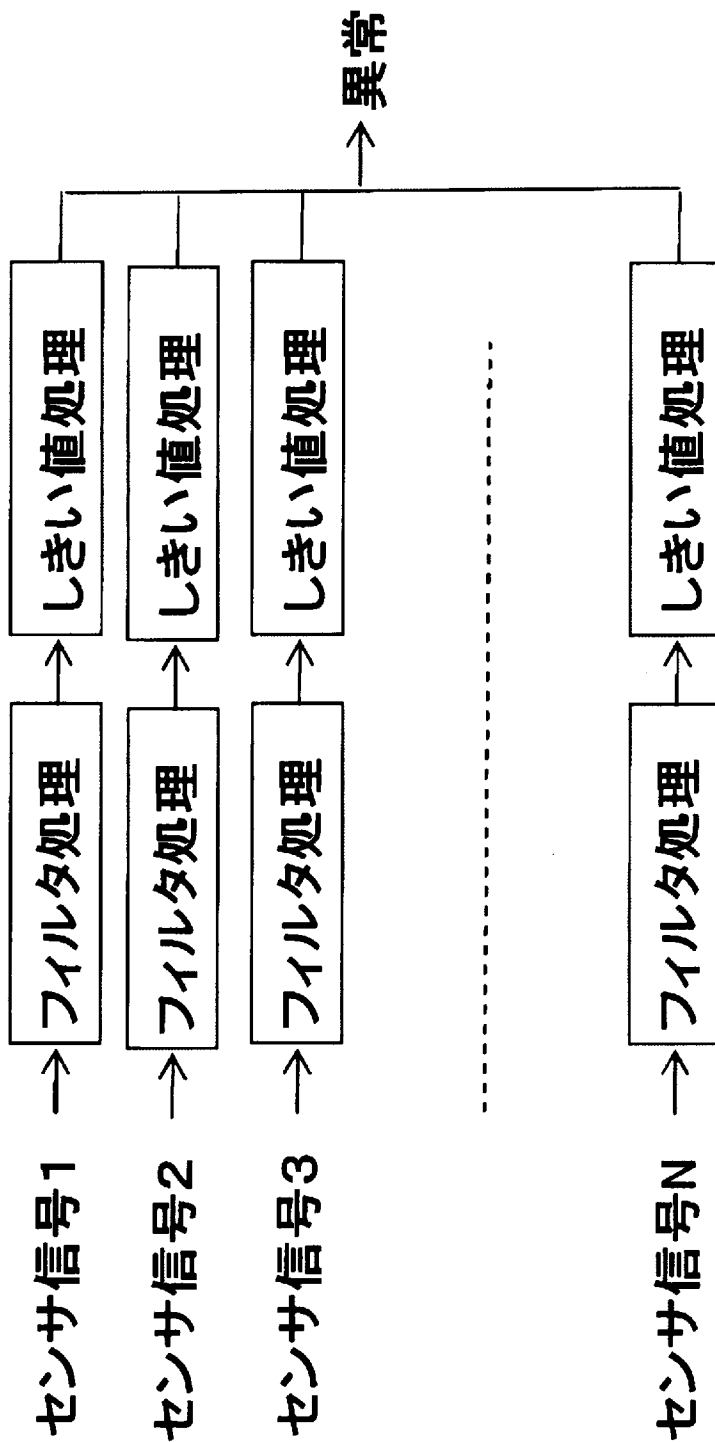


センサ信号の種類は、数十から数万個。

[図2]

個別センサ信号を対象にした設計ベース異常検知：1変量解析

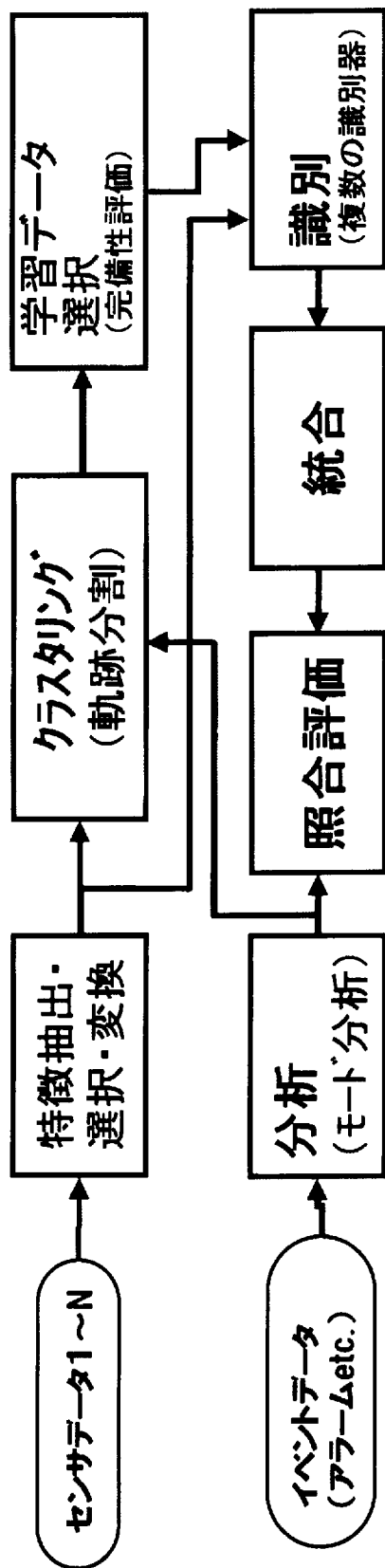
(図1の信号に対応)



フィルタ処理は、微分、一定範囲の積分、ダウンサンプリングなど。  
しきい値は、設備に関する知識がある設計者、エンジニアが設定。

[図3]

(多次元センサ信号を対象にした事例ベース異常検知:多変量解析)



イベントデータは、設備のON/OFF制御、各種アラーム、設備の定期検査・調整などからなる。

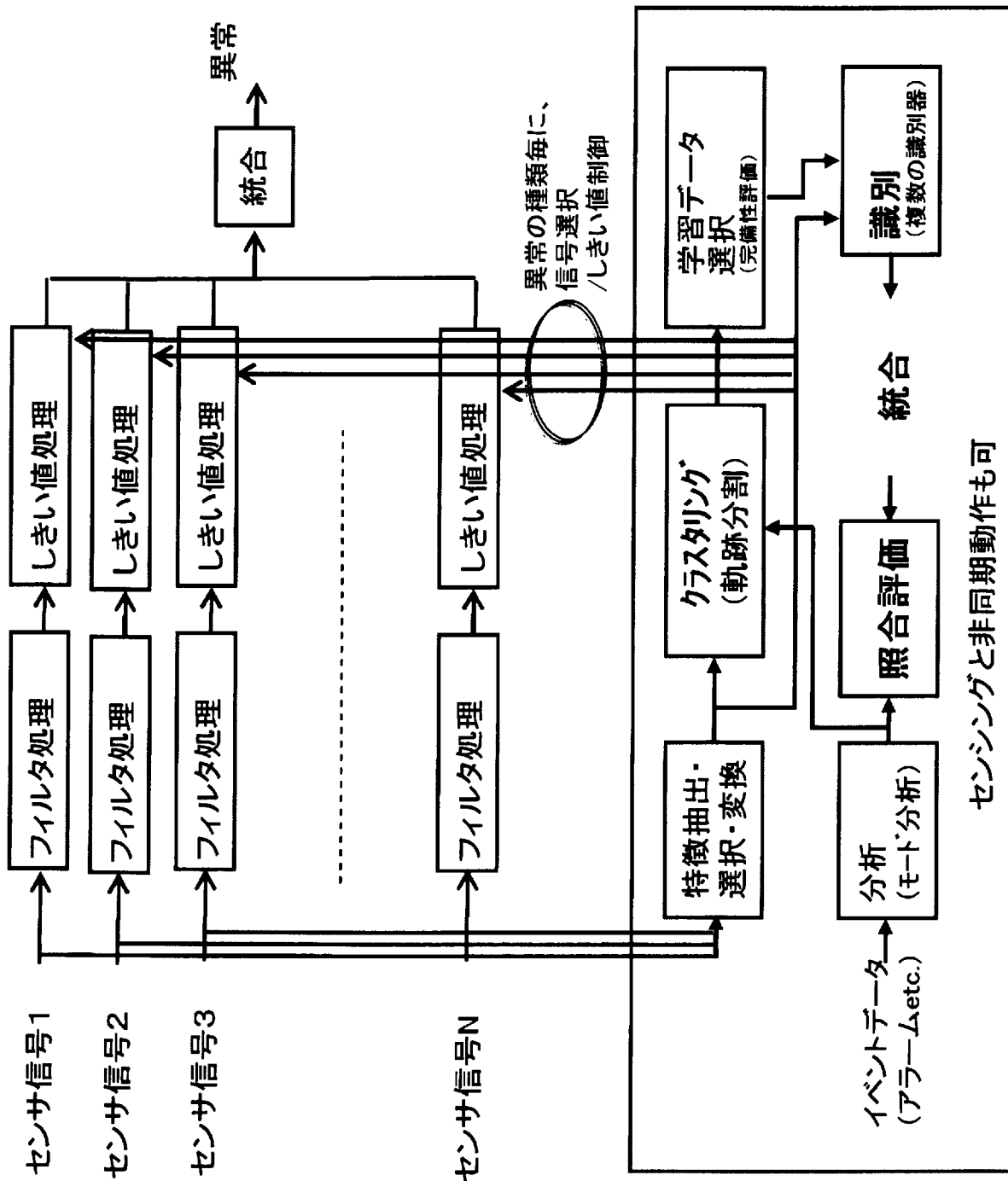
[図4]

(特徴変換)

種類	方式図	機能
主成分分析 (PCA: Principal Component Analysis)		<p>データXの分散(情報量)最大。Xのみ考慮。目的変数なし(教師なし)。次元削減。</p>
独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis)		<p>Xを互いに独立なベクトルの線形結合で表す(<math>X=X1 \cdot X2</math>)。非ガウス分布が現れる。目的変数なし(教師なし)。次元削減。</p>
非負行列因子分解 (NMF: Non-negative Matrix Factorization)		<p>Xを非負の行列の積に分解する(<math>X=X1 \cdot X2</math>)。二乗誤差最小。非負信号を対象。目的変数なし(教師なし)。</p>
潜在構造射影 (PLS: Projection to Latent Structure)		<p>Xを潜在変数に変換後(<math>X'=AX</math>)、Yとの回帰分析。XでYを間接的に説明。</p>
正準相関分析 (CCA: Canonical Correlation Analysis)		<p>Xの線形結合AXとYの線形結合BYの相関が高く(角度最小)なるAとBを求める。 <math>\theta</math>: 最小</p>

X: 説明変数、Y: 目的変数

[図5]



[図6]

多次元センサ信号を対象にした事例ベース異常検知: 多変量解析

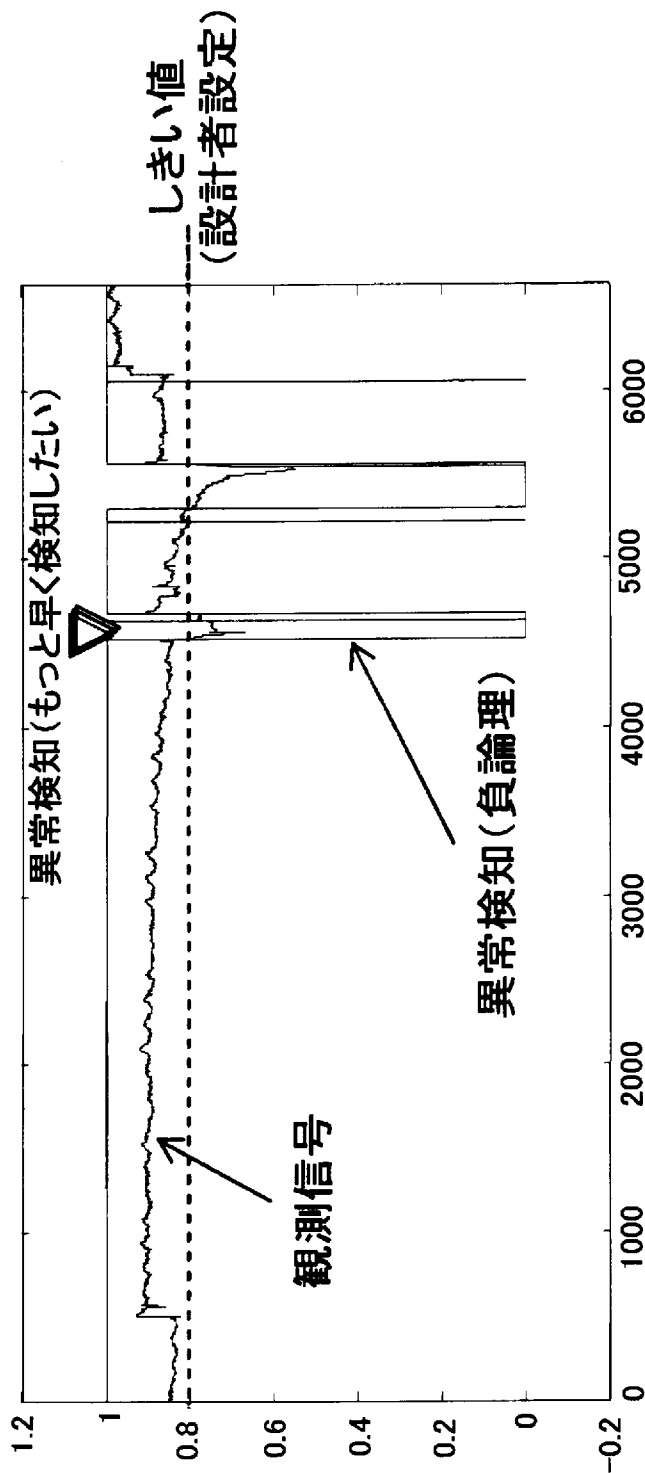
- ・異常検知(特徴変換)
- ・各信号の影響度の評価
- ・判定条件(ルール)の構築
- ・異常に応じたセンサ信号の選択と表示

個別センサ信号を対象にした設計ベース異常検知: 1変量解析

- ・しきい値の設定と制御
- ・各信号としきい値の表示
- ・検知した異常の表示

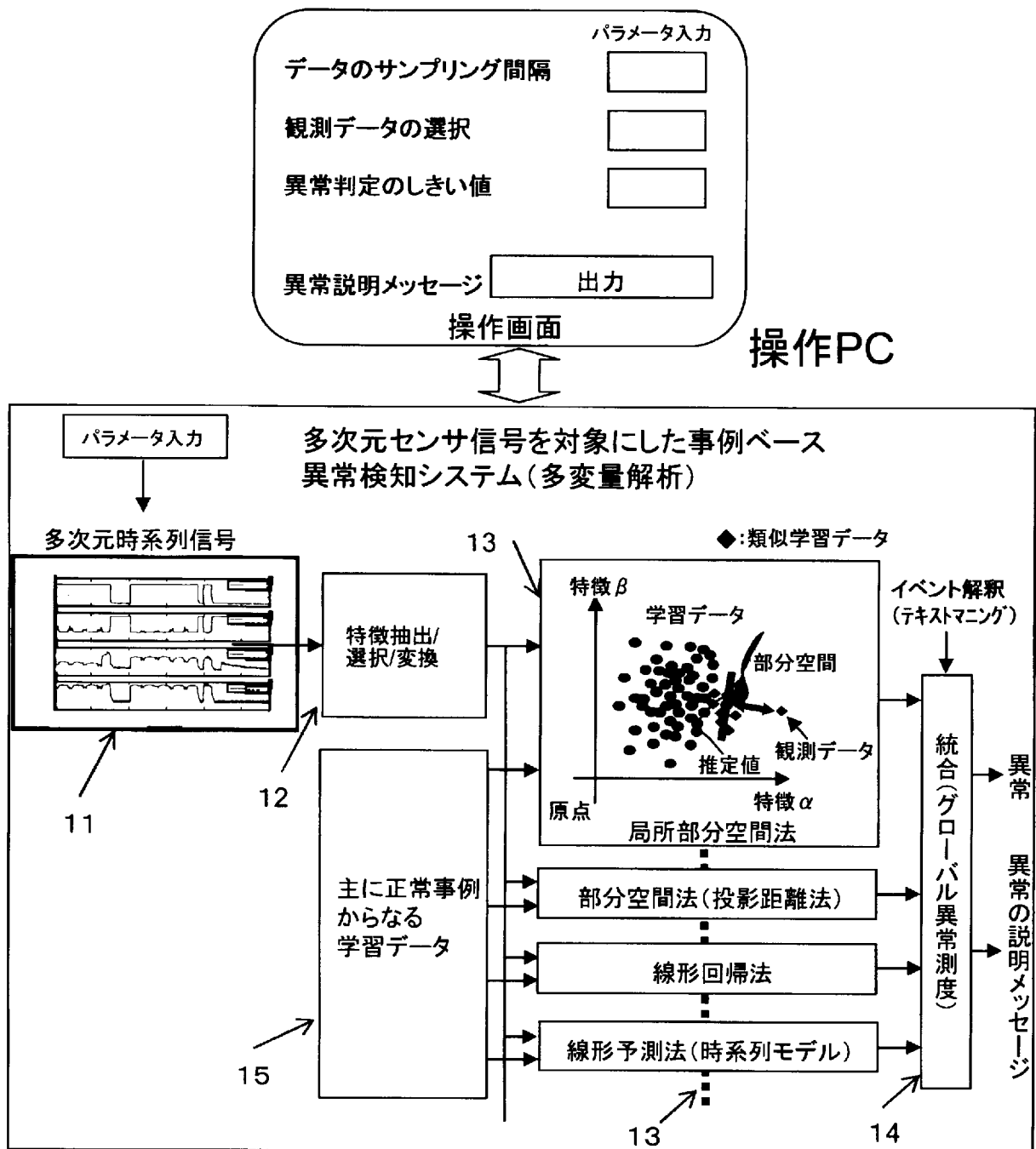
[図7]

(個別センサ信号を対象にした設計ベース異常検知: 1変量解析)



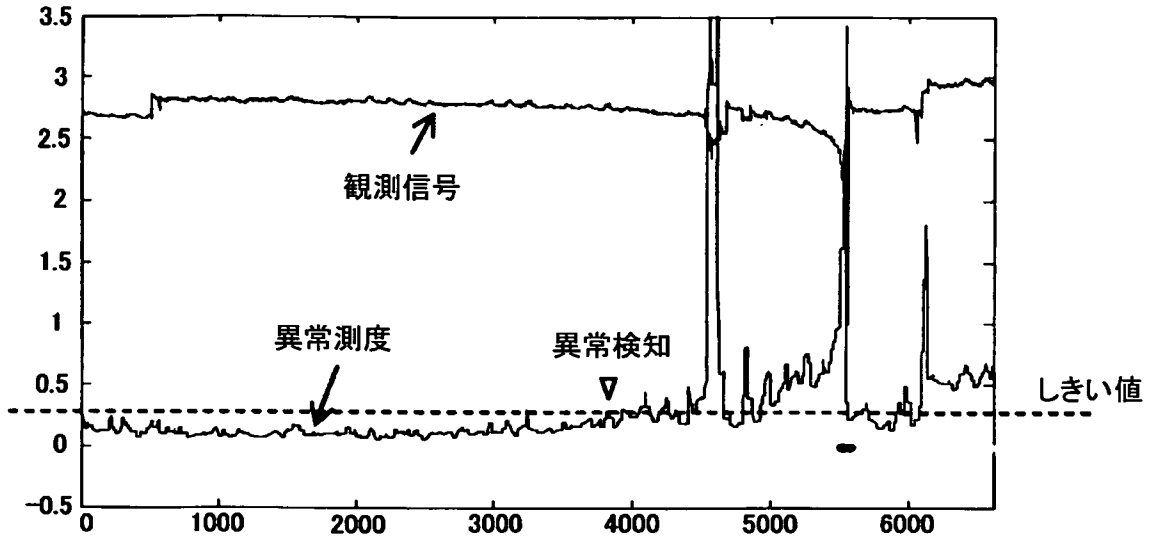
- ・設備の稼働環境や、稼働年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響などにより、設計者が設定したしきい値が妥当とは言えない。
- ・より早い検知ができると、予防保全になり、故障を引き起こす部品の早期交換なども可能

[図8]

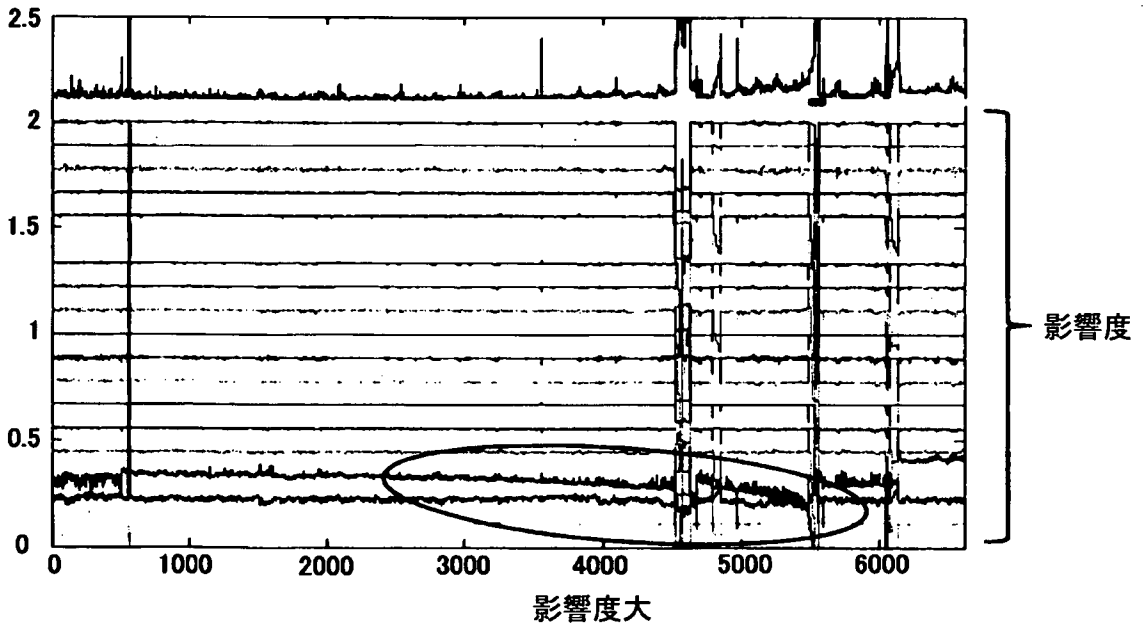


[図9]

(多次元センサ信号を対象にした事例ベース異常検知:多変量解析)

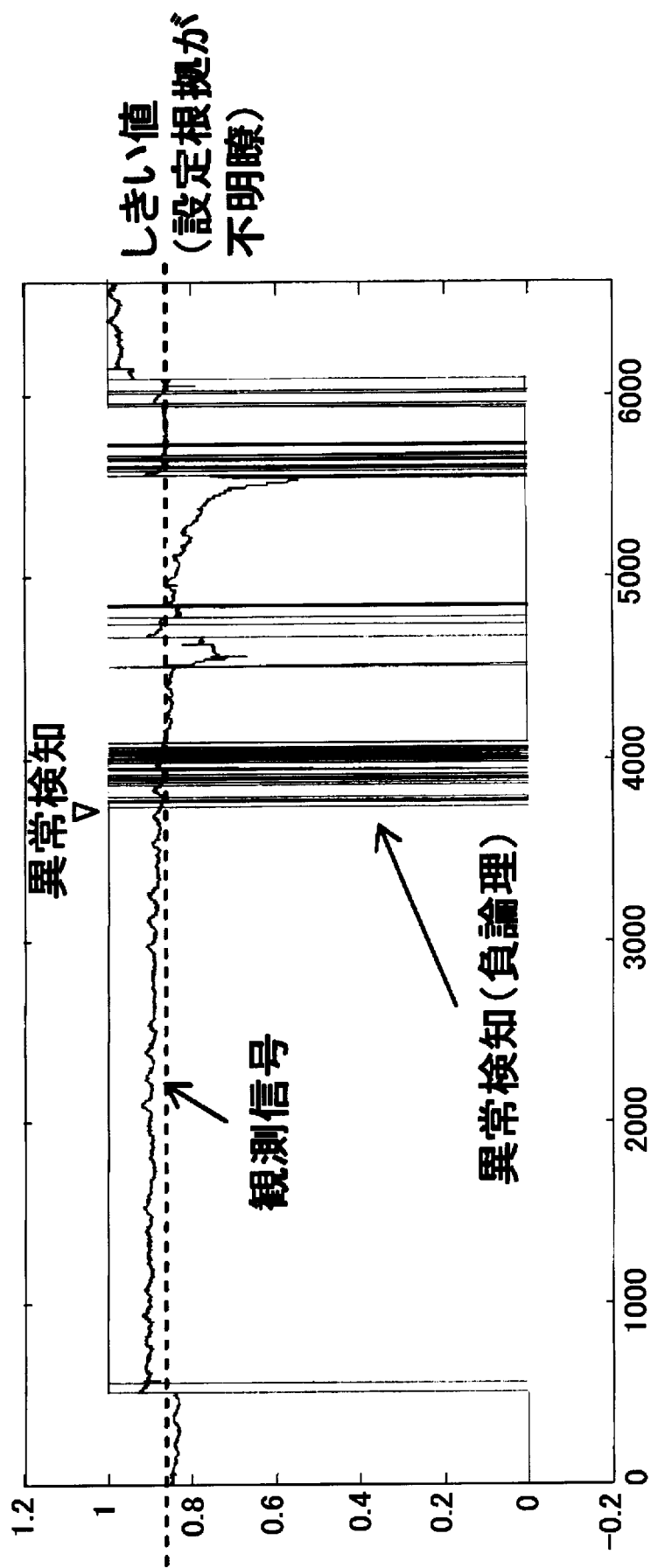


異常に対するセンサ信号の影響度推移

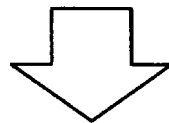
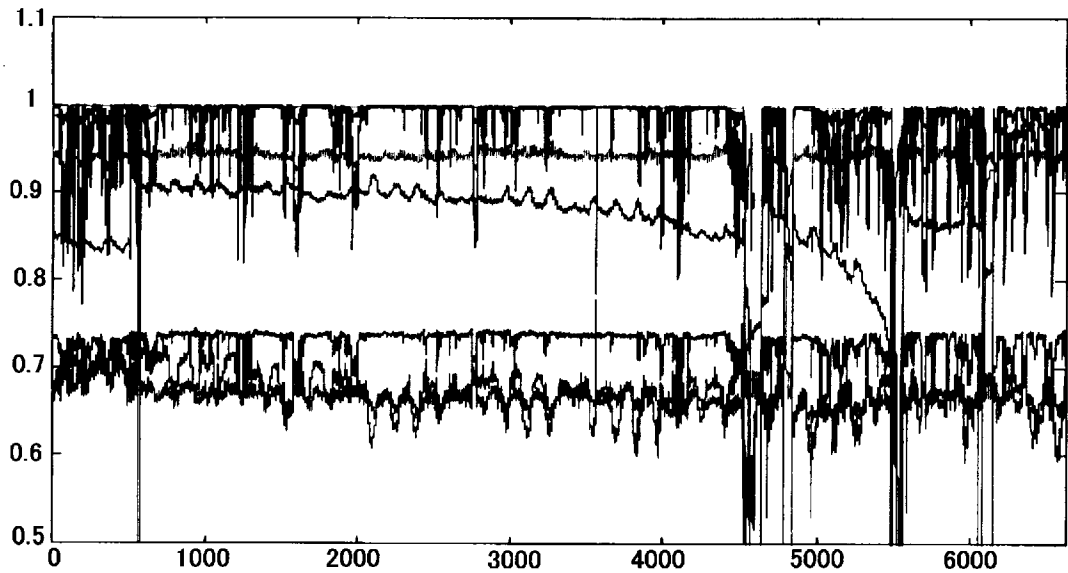


[図10]

(個別センサ信号を対象にした設計ベース異常検知)

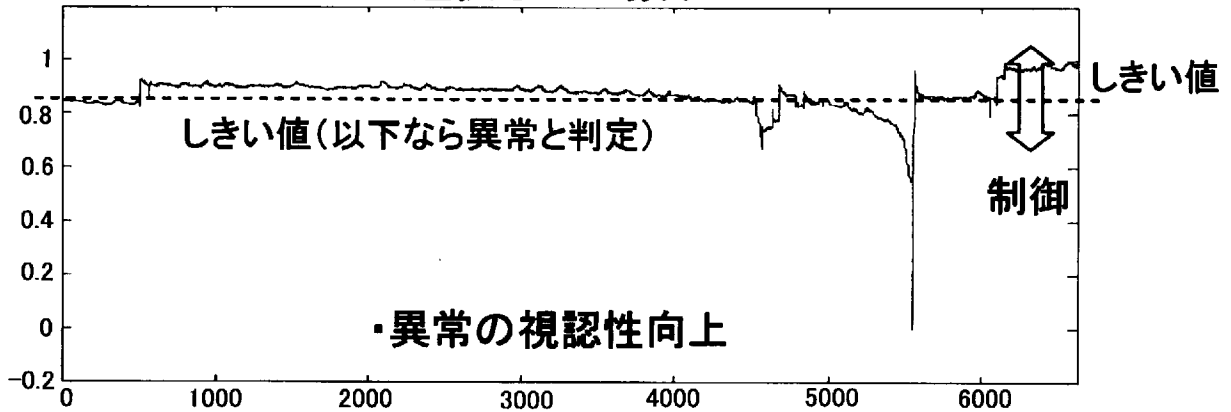


[図11]



信号の選択(着目センサ)

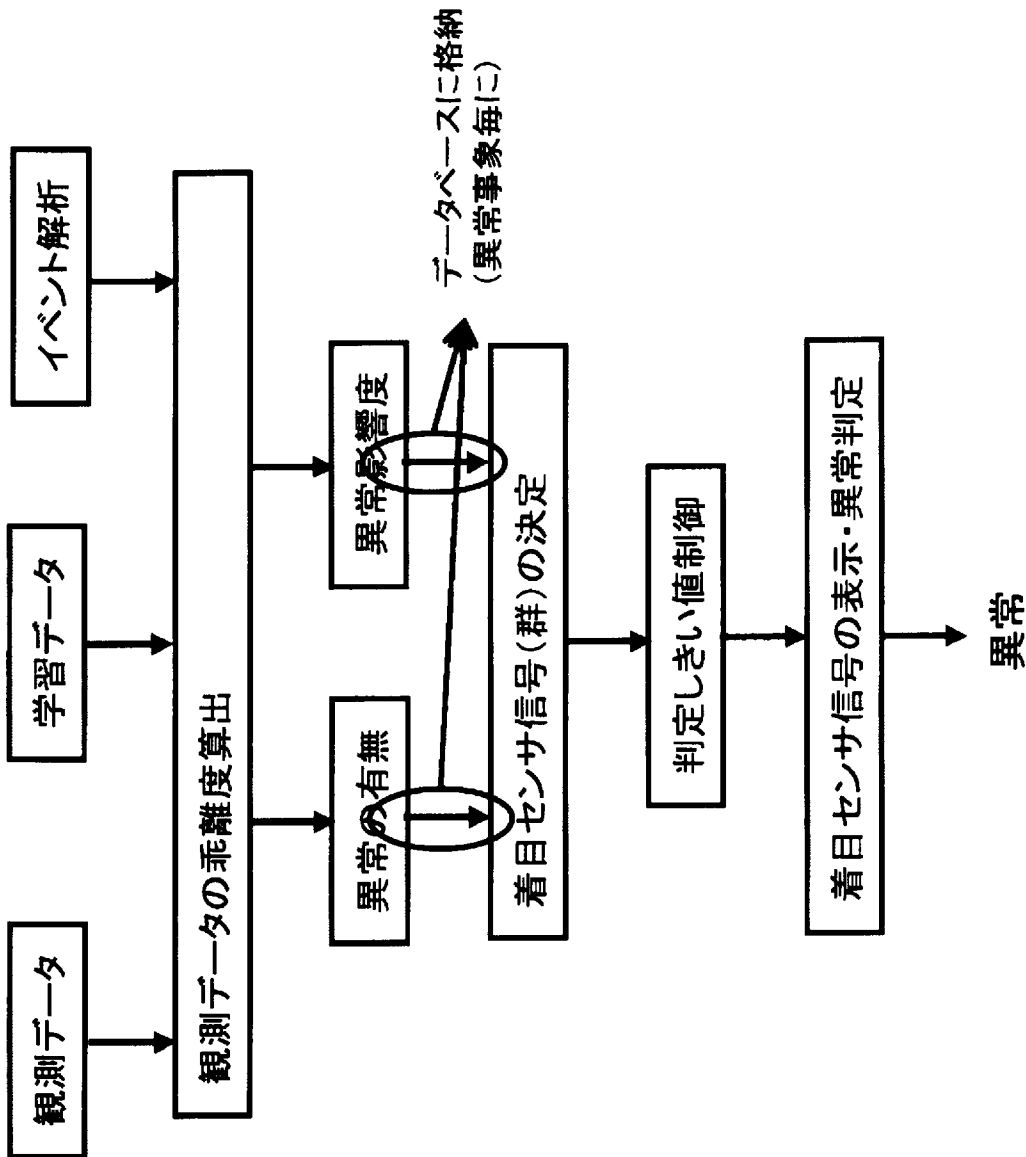
センサ信号がひとつ選択された場合



- ・設備の稼働環境や、稼働年数による状態変化、運転条件、部品交換の影響などを反映可能。
- ・より早い検知ができ、予防保全になり、故障を引き起こす部品の早期交換などが可能

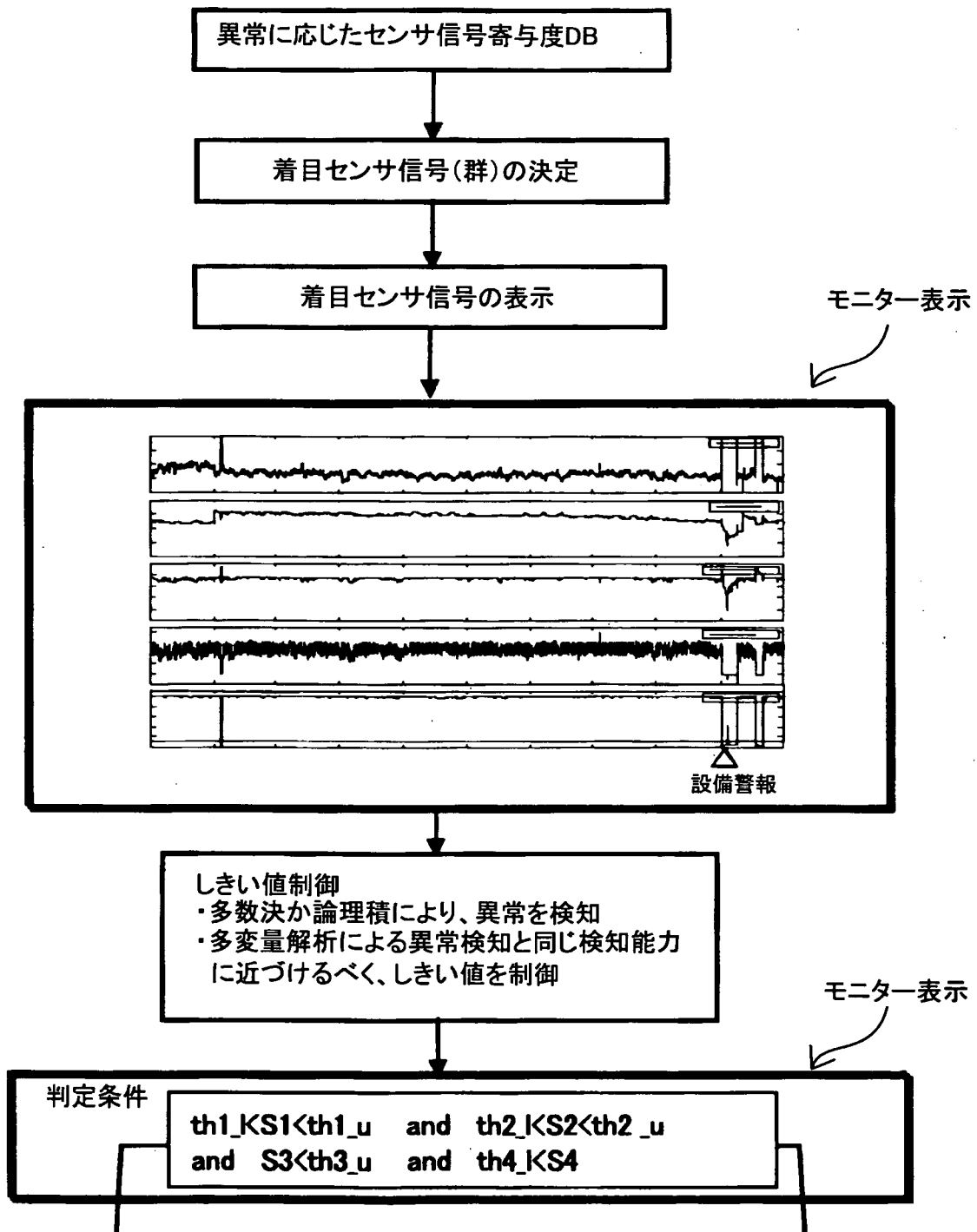
[図12]

(動作フロー)

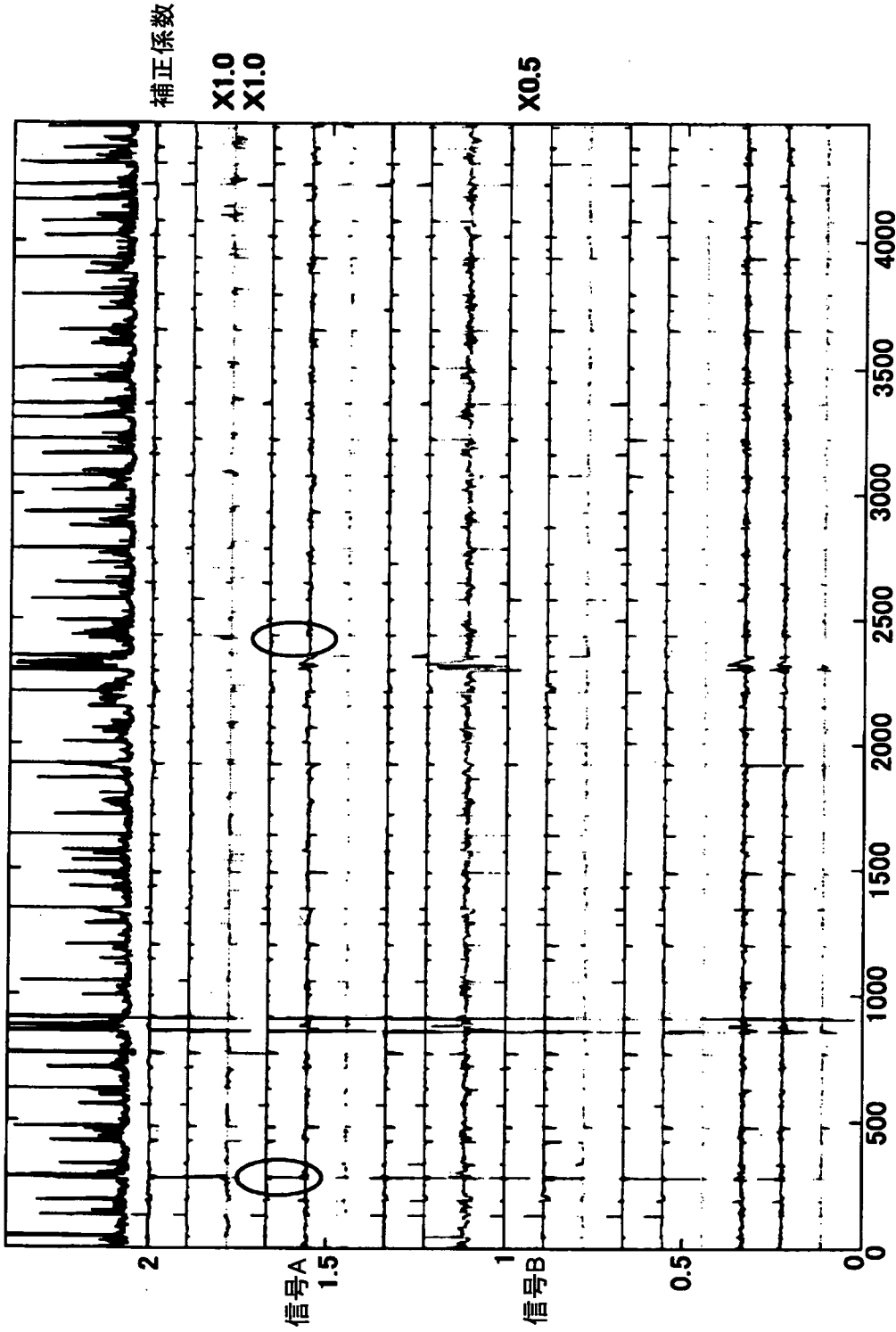


[図13]

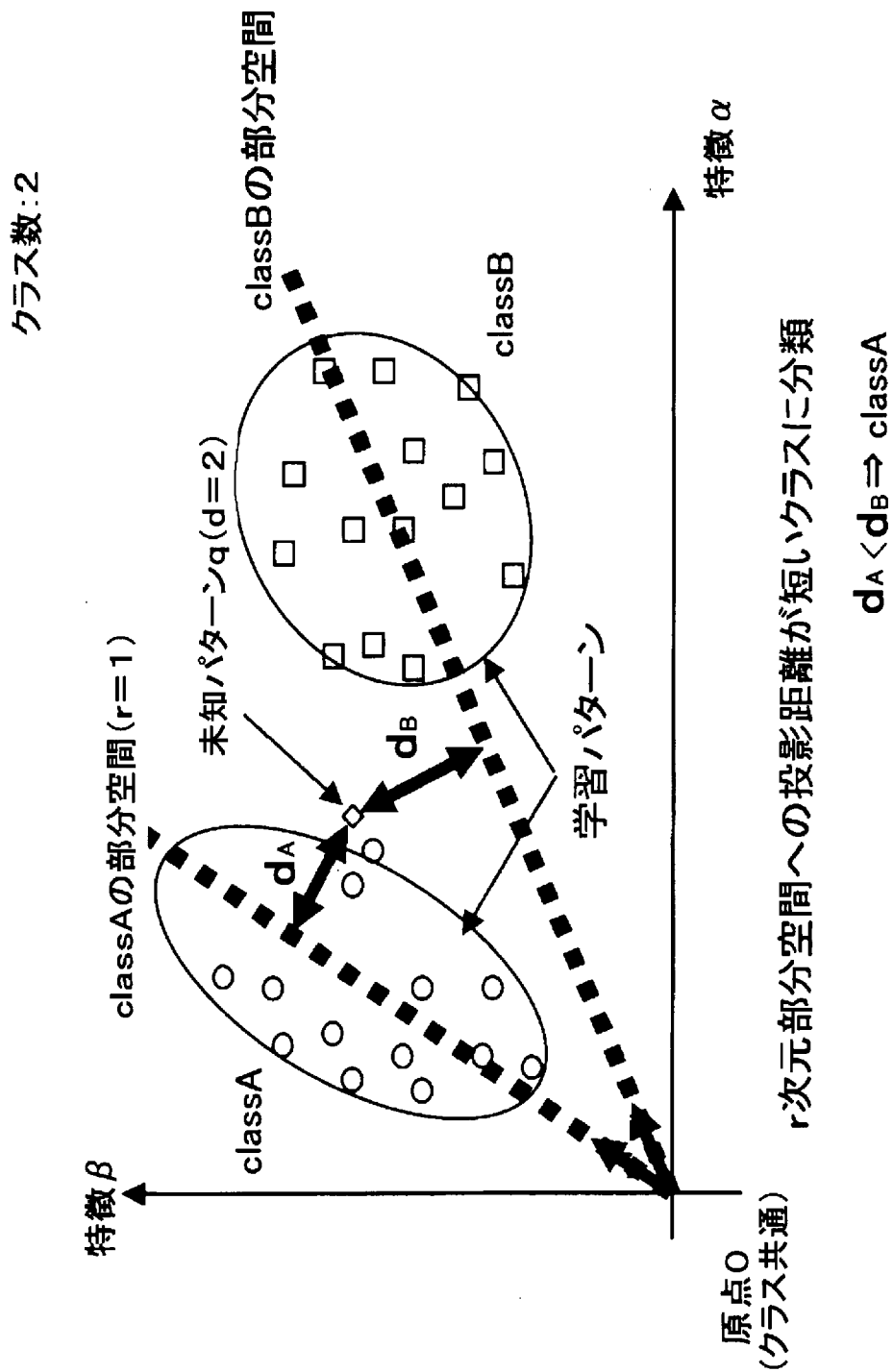
(着目センサ信号の決定としきい値制御フロー)



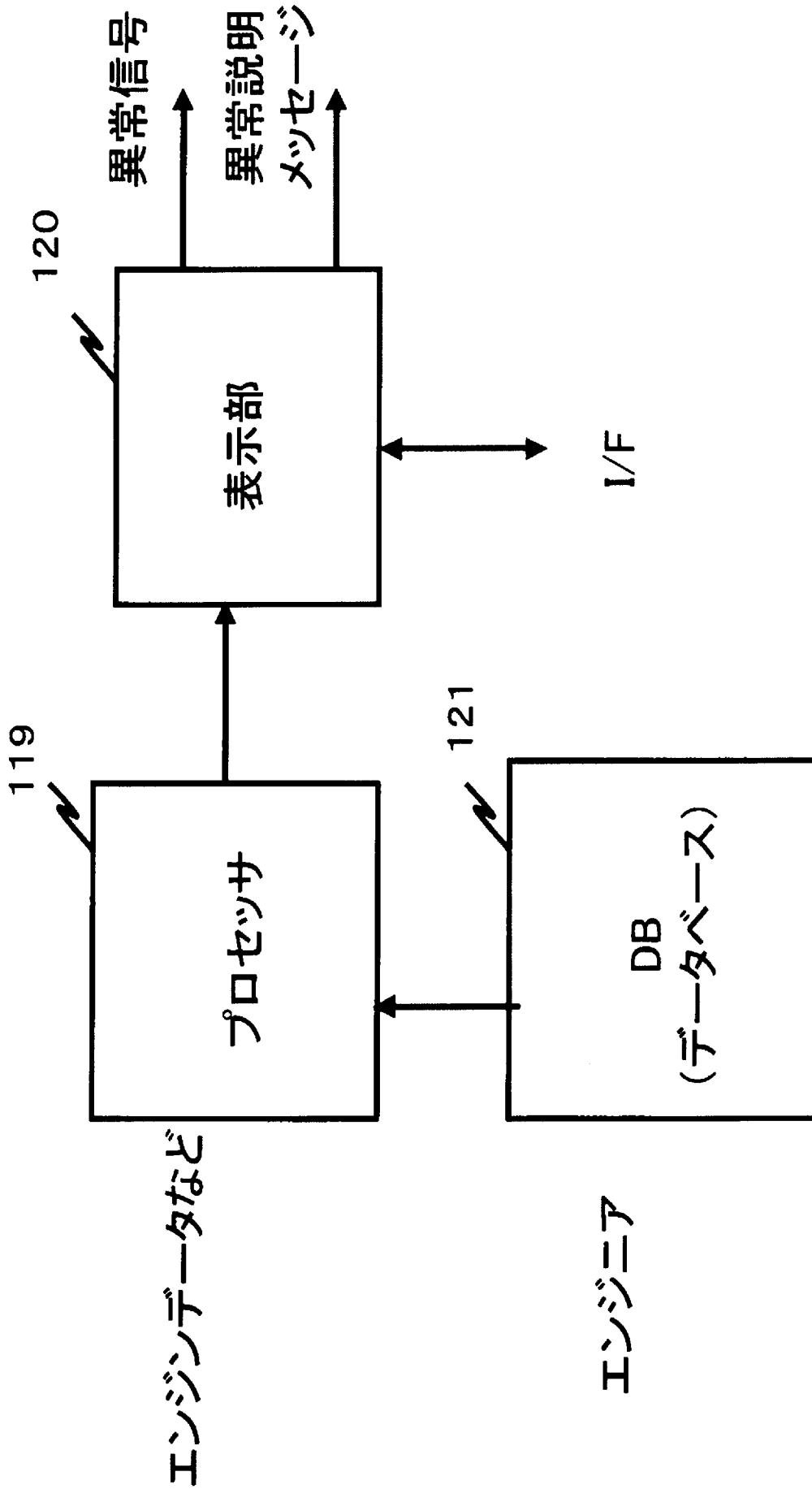
[図14]



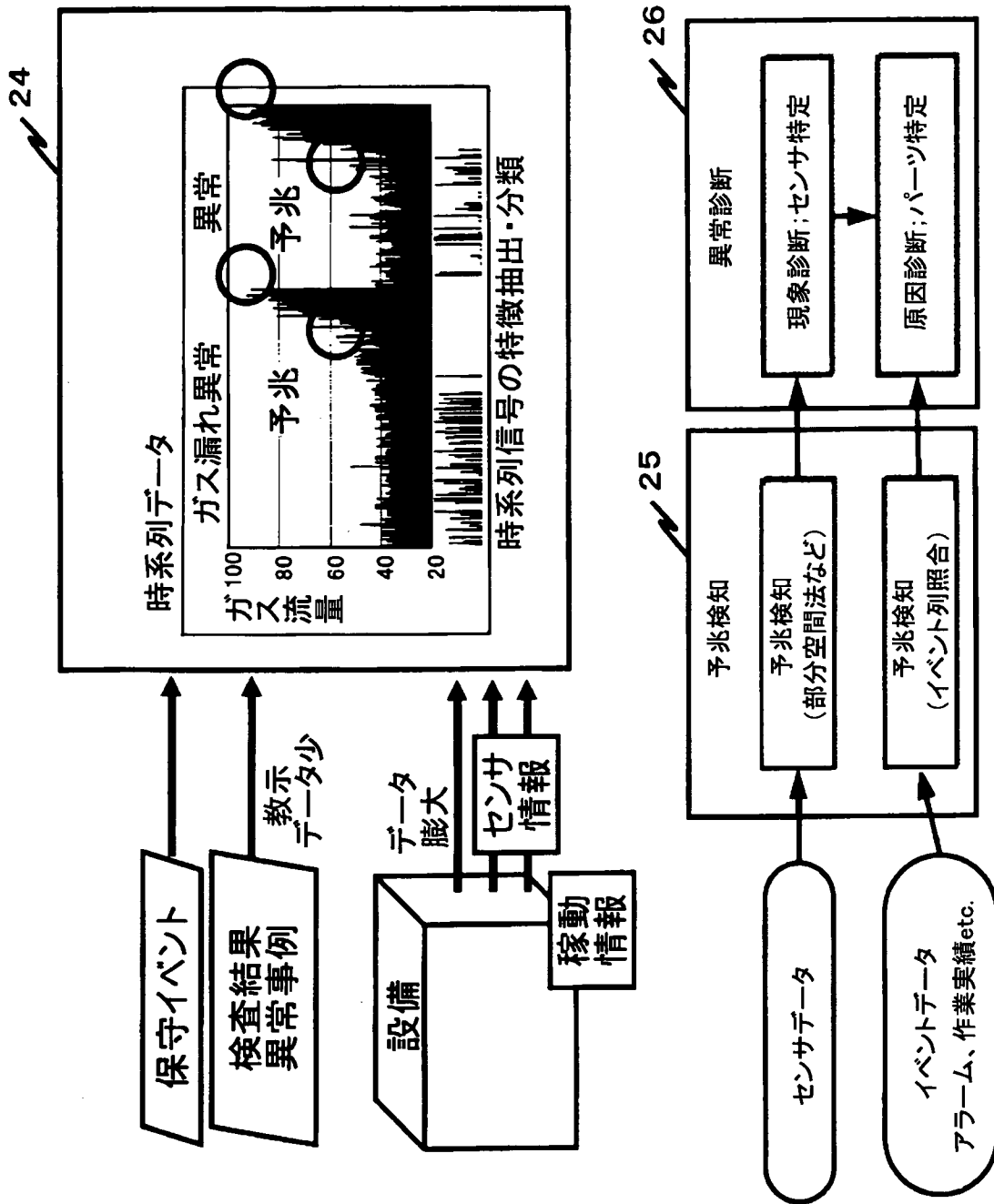
[図15]



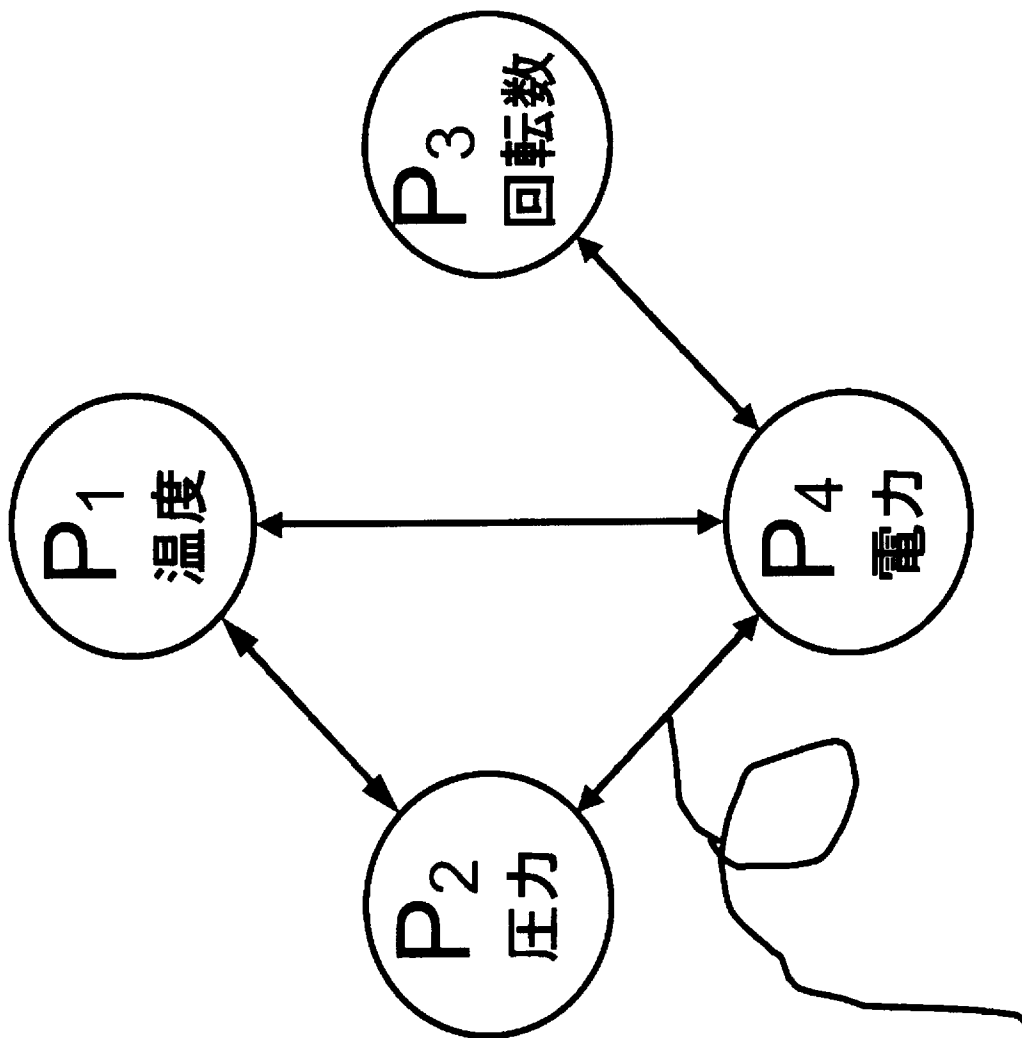
[図16]



[図17]

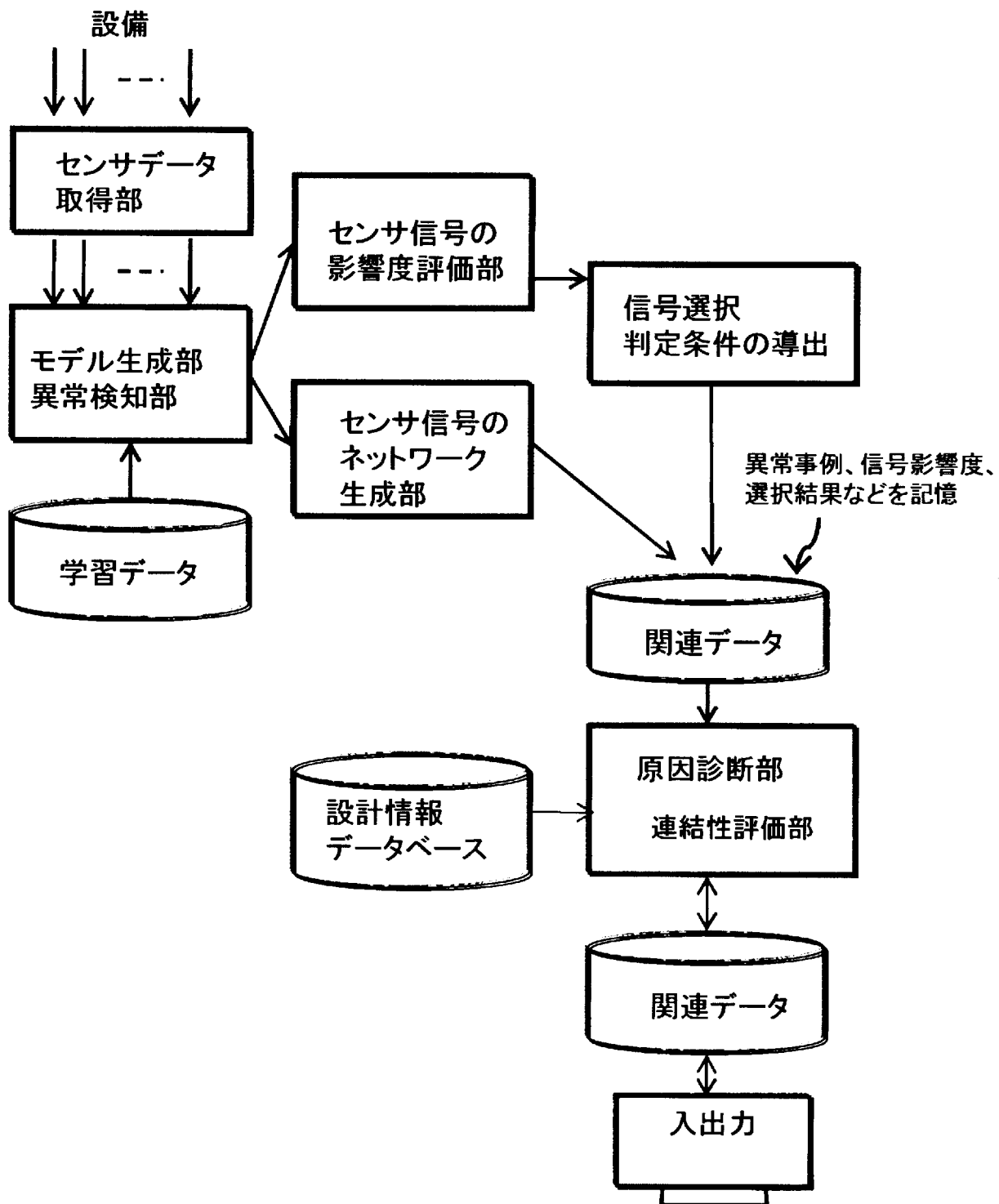


[図18]



異常への影響度の割合に基づき、センサ信号間に重みを付与

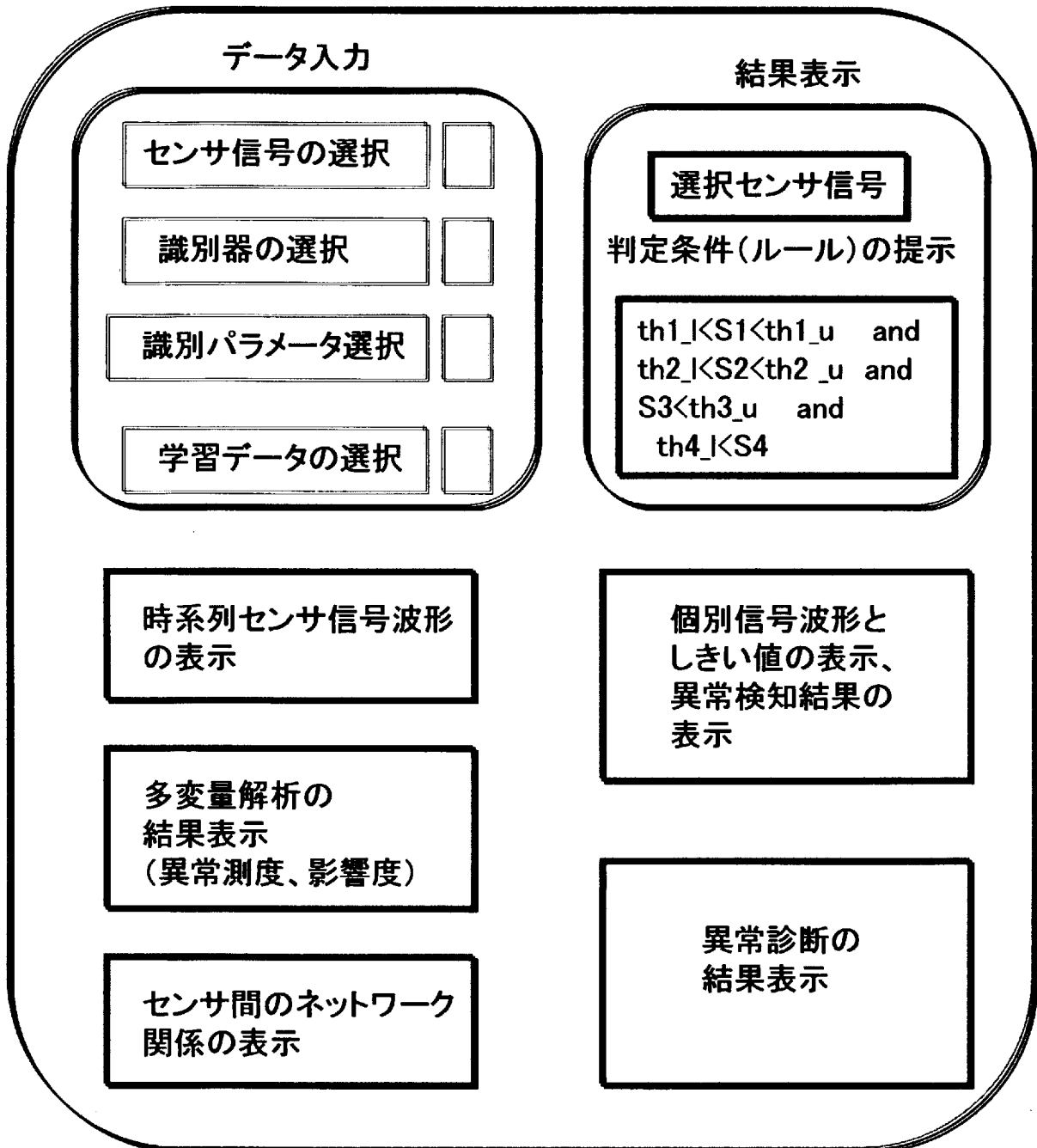
[図19]



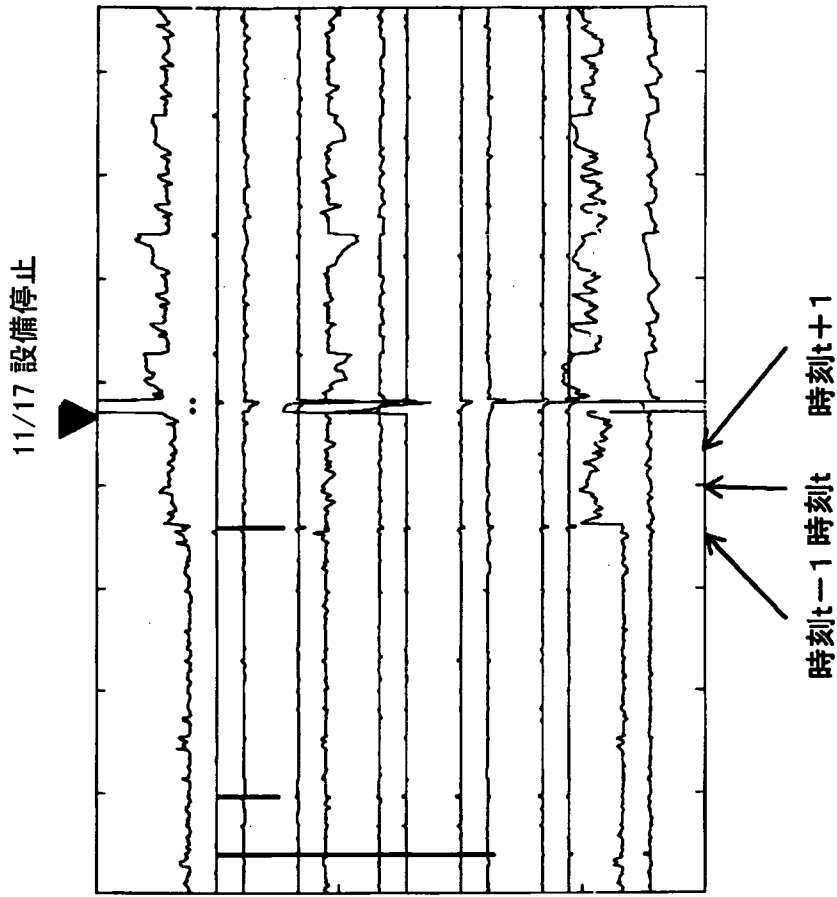
[図20]

ブロック名	主要部品	信号情報	リンク先ブロック	リンク先主要部品
ブロックA	J001	+12V	ブロックB	U001
ブロックB	K001	Signal	ブロックC	U001
ブロックC	U001	+5V	...	...
...	...	...	...	...

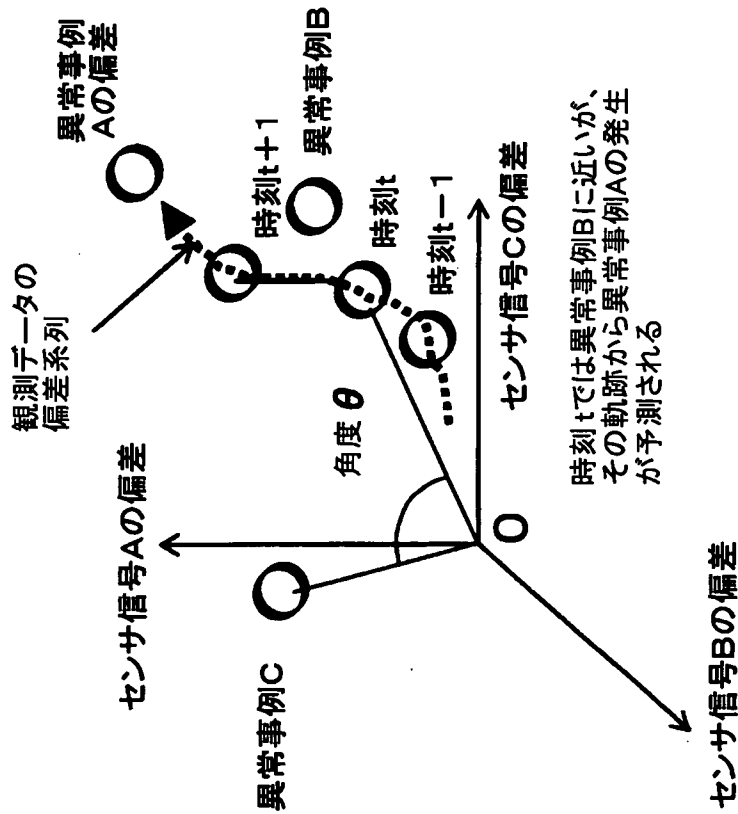
[図21]



[図22]



(b)観測データの偏差信号



(a)偏差時系列パターンの類似度算出

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2010/060232

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G05B23/02(2006.01)i, G06Q50/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B23/02, G06Q50/00, G05B9/02-9/03, G06T7/00-7/20, G06F13/00, G01R31/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-070071 A (Toshiba Corp.), 02 April 2009 (02.04.2009), paragraphs [0047] to [0052], [0108], [0111] to [0112], [0125] to [0126], [0148], [0157] to [0159] (Family: none)	1-23
Y	JP 2006-053818 A (Kagawa University, Shin Caterpillar Mitsubishi Ltd.), 23 February 2006 (23.02.2006), "Problem Solving Means"; paragraphs [0011], [0014] & US 2007/0244841 A1      & EP 1777601 A1 & WO 2006/016440 A1      & CN 101027617 A	1-23

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 08 July, 2010 (08.07.10)	Date of mailing of the international search report 20 July, 2010 (20.07.10)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060232

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-139377 A (Hitachi Engineering Co., Ltd.), 17 May 2002 (17.05.2002), claim 1; paragraphs [0015], [0028], [0030]; fig. 2, 5 (Family: none)	1-23
Y	JP 2007-334756 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 27 December 2007 (27.12.2007), claim 4 & US 2007/0291991 A1 & EP 1868162 A2	3-4,13-14
Y	JP 06-295271 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 21 October 1994 (21.10.1994), claim 3 (Family: none)	5,15
Y	JP 07-160327 A (Komatsu Ltd.), 23 June 1995 (23.06.1995), paragraphs [0001], [0014] to [0025] & US 5621158 A & WO 1995/016226 A1 & AU 1120995 A & AU 687945 B	6,16
Y	Yoshiteru ISHIDA, "Sensor Diagnosis of Process Plants by an Immune-Based Model", Systems, Control and Information, vol.38, no.1, 15 January 1994 (15.01.1994), vol.7, no.1, 4-7	7-8,17-18
Y	JP 05-045186 A (Mitsubishi Electric Corp.), 23 February 1993 (23.02.1993), claim 1; paragraphs [0002] to [0003], [0009], [0017] to [0020] (Family: none)	10,20
Y	JP 2008-256981 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 23 October 2008 (23.10.2008), "Problems"; "Problem Solving Means" (Family: none)	10,20
Y	JP 2002-099323 A (Hitachi, Ltd.), 05 April 2002 (05.04.2002), paragraphs [0019], [0047] & US 2002/0035447 A1 & KR 10-2002-0022530 A	22
Y	JP 2006-106870 A (Toshiba Corp.), 20 April 2006 (20.04.2006), paragraphs [0030] to [0033], [0059] (Family: none)	23

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. G05B23/02(2006.01)i, G06Q50/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G05B23/02, G06Q50/00, G05B9/02-9/03, G06T7/00-7/20, G06F13/00, G01R31/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2009-070071 A (株式会社東芝) 2009.04.02, 段落【0047】-【0052】【0108】【0111】- 【0112】【0125】-【0126】【0148】【0157】- 【0159】 (ファミリーなし)	1-23

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日  
 08.07.2010

国際調査報告の発送日  
 20.07.2010

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 佐藤 彰洋  
 電話番号 03-3581-1101 内線 3324

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-053818 A (国立大学法人香川大学, 新キャタピラー三菱株式会社) 2006. 02. 23, 【解決手段】, 段落【0011】【0014】 & US 2007/0244841 A1 & EP 1777601 A1 & WO 2006/016440 A1 & CN 101027617 A	1-23
Y	JP 2002-139377 A (日立エンジニアリング株式会社) 2002. 05. 17, 【請求項1】, 段落【0015】【0028】【0030】, 第2図, 第5図 (ファミリーなし)	1-23
Y	JP 2007-334756 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2007. 12. 27, 【請求項4】 & US 2007/0291991 A1 & EP 1868162 A2	3-4, 13-14
Y	JP 06-295271 A (富士写真フイルム株式会社) 1994. 10. 21, 【請求項3】 (ファミリーなし)	5, 15
Y	JP 07-160327 A (株式会社小松製作所) 1995. 06. 23, 段落【0001】【0014】 - 【0025】 & US 5621158 A & WO 1995/016226 A1 & AU 1120995 A & AU 687945 B	6, 16
Y	石田 好輝 Yoshiteru ISHIDA, 免疫型並列分散モデルによるプラントのセンサ自律診断 Sensor Diagnosis of Process Plants by an Immune-Based Model, システム/制御/情報 第38巻 第1号 SYSTEMS, CONTROL AND INFORMATION, 1994. 01. 15, 第7巻 第1号, 4-7	7-8, 17-18
Y	JP 05-045186 A (三菱電機株式会社) 1993. 02. 23, 【請求項1】, 段落【0002】 - 【0003】【0009】, 【0017】 - 【0020】 (ファミリーなし)	10, 20
Y	JP 2008-256981 A (富士ゼロックス株式会社) 2008. 10. 23, 【課題】【解決手段】 (ファミリーなし)	10, 20
Y	JP 2002-099323 A (株式会社日立製作所) 2002. 04. 05, 段落【0019】【0047】 & US 2002/0035447 A1 & KR 10-2002-0022530 A	22
Y	JP 2006-106870 A (株式会社東芝) 2006. 04. 20, 段落【0030】 - 【0033】【0059】 (ファミリーなし)	23