

(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

(43) 国際公開日
2023年10月5日(05.10.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/188018 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 23/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/015595

(22) 国際出願日: 2022年3月29日(29.03.2022)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者:高野 直人(TAKANO, Naoto); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 堀澤 洋一(HORISAWA,

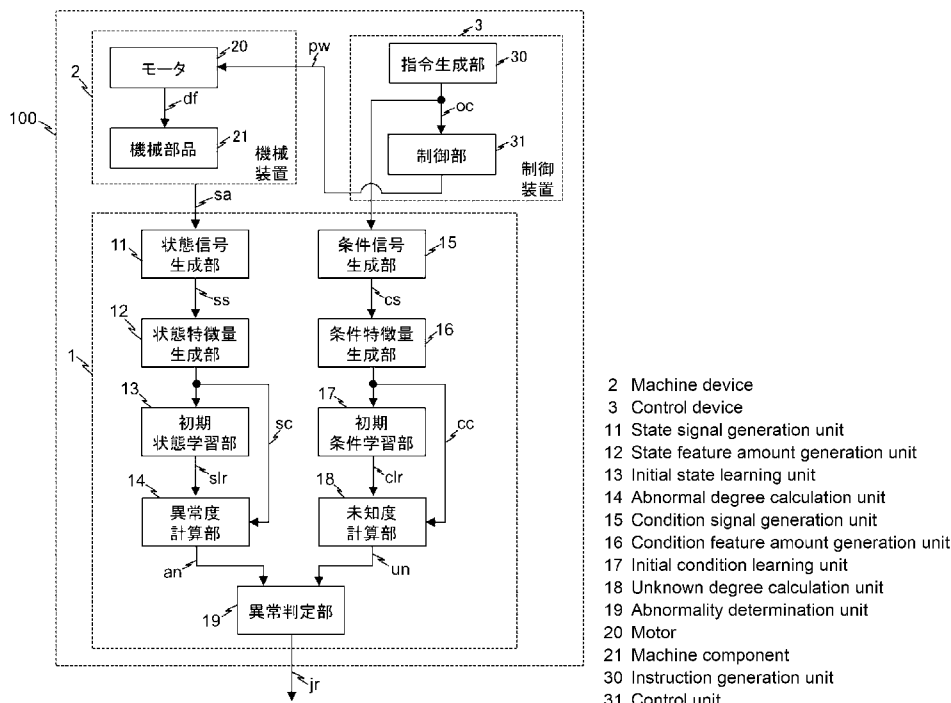
Yoichi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人:村上 加奈子, 外(MURAKAMI, Kanako et al.); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社 知的財産センター内 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,

(54) Title: ABNORMALITY DETECTION DEVICE, MACHINE SYSTEM, AND ABNORMALITY DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 異常検知装置、機械システム及び異常検知方法



(57) Abstract: In order to perform abnormality detection with few errors when detecting the state of a machine device, this abnormality detection device comprises: a state signal generation unit (11) that detects the state of a machine device (2) as a state signal; a condition signal generation unit (15) that generates a condition signal in which the situation of operation of the machine device is detected as an operation condition; a state feature amount generation unit (12) that generates a state feature amount from the state signal; a condition feature amount generation unit (16) that generates a

NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

condition feature amount from the condition signal; an initial state learning unit (13) that performs learning on the basis of an initial learning state feature amount and that outputs the learning result as an initial state learning result; an initial condition learning unit (17) that performs learning on the basis of an initial learning condition feature amount and that outputs an initial condition learning result; an abnormal degree calculation unit (14) that calculates an abnormal degree on the basis of a detection state feature amount and a state learning result which is an initial state learning result or an additional state learning result; and an unknown degree calculation unit (18) that calculates an unknown degree on the basis of a detection condition feature amount and a condition learning result which is an initial condition learning result or an additional condition learning result.

(57) 要約：機械装置の状態を検知する場合に誤りの少ない異常検知を行うために、機械装置（２）の状態を状態信号として検出する状態信号生成部（１１）と、機械装置の運転の状況を運転条件として検出した条件信号を生成する条件信号生成部（１５）と、状態信号から状態特徴量を生成する状態特徴量生成部（１２）と、条件信号から条件特徴量を生成する条件特徴量生成部（１６）と、初期学習用状態特徴量に基づき学習し初期状態学習結果として出力する初期状態学習部（１３）と、初期学習用条件特徴量に基づき学習し初期条件学習結果を出力する初期条件学習部（１７）と、初期状態学習結果又は追加状態学習結果である状態学習結果と検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算部（１４）と、初期条件学習結果又は追加条件学習結果である条件学習結果と検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算部（１８）とを備える。

明 細 書

発明の名称：異常検知装置、機械システム及び異常検知方法

技術分野

[0001] この開示は、機械装置の異常の検知に関するものである。

背景技術

[0002] 機械装置にセンサを設置し、設置したセンサからの信号を解析し、生産設備に発生する故障、劣化等を検知する異常検知は、機械装置の効率的な運用を実現する上で重要な技術である。異常検知を行うことにより、機械装置の部品の経年劣化、外乱などに起因して機械装置に異常が発生した際に、異常を検知して機械装置の運転条件の変更、機械装置の停止、修理などの対応をとることが可能になる。機械装置の部品の例としては、ボールねじ、減速機、ベアリング、ポンプなどを挙げることができる。また、機械装置に発生する異常の例としては、摩擦の増加、振動の発生、筐体の破損等を挙げることができる。

[0003] 異常を検知する技術の一例として、異常検知 (Anomaly detection)、外れ値検知 (Outlier detection) などと呼ばれる技術がある。この異常検知技術では、正常時のセンサ信号の特性を学習する機械学習を実行してモデルを生成する。そして、生成したモデルを用いて、異常検知の対象となる監視対象の時間帯に得たセンサ信号が、正常時のセンサ信号からどの程度乖離しているかを定量的に評価して異常を検知する。

[0004] この異常検知技術によれば、事前に異常発生時のセンサ信号を取得できていない場合でも、異常の発生を検知できるという利点がある。一方、学習に用いるセンサ信号を取得する際の機械装置の運転条件と監視対象の時間帯の運転の条件とが異なる場合、この技術では、運転条件の違いに起因して誤検知が発生するという課題があった。特許文献1には、機械学習で異常度を算出し、さらに機械装置の負荷条件を示す負荷データを用いて正常又は異常を判断する異常度のしきい値を調整する技術が開示されている。特許文献1に

記載の技術は、環境条件、負荷条件等が変化した場合の故障の予測精度を高めることを目的としている。

[0005] 特許文献 1 に記載の制御装置は、機械設備の状態に係る計測値と機械設備の負荷条件とを機械設備が正常な状態において取得し、当該計測値を学習データとして用いて機械学習により学習済モデルを生成する。また、特許文献 1 に記載の制御装置は、機械設備が正常な状態から異常な状態に至るまでの機械設備の状態に係る計測値を取得し、取得した当該計測値と生成した学習済モデルとを用いて第 1 閾値を取得する。

[0006] そして、特許文献 1 に記載の制御装置は、評価時における機械設備の状態に係る計測値と機械設備の負荷条件とを取得する。そして、特許文献 1 に記載の制御装置は、取得した評価時における負荷条件、学習済みモデル生成時における負荷条件及び第 1 閾値に基づいて第 2 閾値を取得する。そして、特許文献 1 に記載の制御装置は、学習済みモデルと評価時における機械設備の状態に係る計測値と第 2 閾値とに基づいて評価時における機械設備の状態を判定する。

[0007] そして、特許文献 1 の制御装置は、学習モデル生成時と評価時の負荷条件の違いに基づいて第 1 閾値を第 2 閾値へと補正し、学習モデル生成時と評価時の間の機械設備の変化を第 2 閾値に反映することによって、誤検知の発生を抑制している。

[0008] 特許文献 1 に記載の制御装置では、第 2 閾値が正確に算出されず、判定の結果は不正確になる。特に、学習モデル生成時と判定時との状態の変化が負荷条件の違いに表れない場合などには、判定の結果は不正確となる。

以上説明したように、特許文献 1 の制御装置では、運転の条件が変化する機械装置の状態を検知する場合において、誤検知の少ない異常検知ができないという課題があった。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開 2 0 2 1 - 0 8 6 2 2 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 以上説明したように、運転の条件が変化する機械装置の状態を検知する場合において、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力の少ない異常検知を実行できないという課題があった。

課題を解決するための手段

- [0011] この開示に係る異常検知装置は、機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信号生成部と、機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成部と、状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成部と、条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成部と、初期状態学習時の状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習部と、初期条件学習時の条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習部と、初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果として取得し状態学習結果と検知時の状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算部と、初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し条件学習結果と検知時の条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算部とを備える。
- [0012] この開示に係る機械システムは、機械装置と、機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信号生成部と、機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成部と、状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成部と、条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成部と、初期状態学習時の状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習部と、初期条件学習時の条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習部と、初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果と

して取得し状態学習結果と検知時の状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算部と、初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し条件学習結果と検知時の条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算部とを備える。

[0013] この開示に係る異常検知方法は、機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信号生成工程と、機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成工程と、状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成工程と、条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成工程と、初期状態学習時の状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習工程と、初期条件学習時の条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習工程と、初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果として取得し状態学習結果と検知時の状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算工程と、初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し条件学習結果と検知時の条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算工程とを備える。

発明の効果

[0014] 本開示によれば、運転の条件が変化する機械装置の状態を検知する場合において、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力の少ない異常検知を実行することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施の形態1による機械システムの構成の一例を示す図である。
[図2]実施の形態1による機械装置及び制御装置の構成を例示する図である。
[図3]実施の形態1による機械システムが備える処理回路をプロセッサ及びメモリで構成する場合の構成例を示す図である。

[図4]実施の形態1による機械システムが備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の構成例を示す図である。

[図5]実施の形態1によるモータ速度とモータトルクの時間波形の一例を示す図である。

[図6]実施の形態1による連続する位置決めのモータ速度とモータトルクの時間波形の一例を示す図である。

[図7]実施の形態1による連続する位置決めのモータ速度とモータトルクの時間波形の一例を示す図である。

[図8]実施の形態1によるオートエンコーダの一例を示す図である。実施の形態1による従来の異常検知装置の異常度と判定結果の時間変化を示す図である。

[図9]実施の形態1による異常検知装置から異常判定部を省いた構成の一例を示す図である。

[図10]実施の形態1による異常検知装置から異常判定部を省いた構成が生成する異常度及び判定結果の時間変化の一例である。

[図11]実施の形態1による異常検知装置から異常判定部を省いた構成が生成する異常度、未知度及び判定結果の時間変化の図10とは別の一例である。

[図12]実施の形態1による異常検知装置が生成する異常度、未知度及び判定結果の時間変化を示す図である。

[図13]実施の形態1による異常判定部の動作フローの一例を示す図である。

[図14]実施の形態1による機械システムの構成の一例を示すブロック図である。

[図15]実施の形態2による機械システムの構成の一例を示すブロック図である。

[図16]実施の形態2による追加条件学習部の構成の一例を示すブロック図である。

[図17]実施の形態2による追加状態学習部の構成の一例を示すブロック図である。

[図18]実施の形態2による追加条件学習部の動作の一例を示すフロー図である。

[図19]実施の形態2による追加状態学習部の動作の一例を示すフロー図である。

[図20]実施の形態2による異常検知装置から追加条件学習部及び追加状態学習部を省いた構成が生成する異常度、未知度及び判定結果の時間変化の一例を示す図である。

[図21]実施の形態2による異常検知装置から追加状態学習部を省いた構成が生成する異常度、未知度及び判定結果の時間変化の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下に、実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施の形態は例示であり、本開示の範囲は、以下に説明する実施の形態によって限定されるものではない。また、以下に説明する実施の形態は、適宜組み合わせて実行することができる。

[0017] 実施の形態1

図1は、本実施の形態による機械システム100の構成の一例を示す図である。機械システム100は、機械装置2に発生する異常を検知する異常検知装置1、機械装置2、及び、機械装置2を制御する制御装置3を備える。異常検知装置1は、状態信号 s_s を生成する状態信号生成部11、及び、状態特徴量 s_c を生成する状態特徴量生成部12を備える。また、異常検知装置1は、状態特徴量 s_c に基づいて学習を実行し初期状態学習結果 $s_l r$ を出力する初期状態学習部13、及び、異常度 a_n を計算する異常度計算部14を備える。

[0018] また、異常検知装置1は、条件信号 c_s を生成する条件信号生成部15、条件特徴量 c_c を生成する条件特徴量生成部16、及び、条件特徴量 c_c に基づいて学習を実行し初期条件学習結果 $c_l r$ を出力する初期条件学習部17を備える。また、異常検知装置1は、未知度 u_n を計算する未知度計算部18、異常度 a_n 及び未知度 u_n に基づいて機械装置2の状態について、異

常であるか正常であるかを判定する異常判定部 19 を備える。

[0019] ここで、初期条件学習部 17 が実行する初期状態学習及び実施の形態 2 に記載する追加状態学習の各々は、状態学習の一形態である。また、検知用状態信号 dss 、初期学習用状態信号 iss 、実施の形態 2 に記載する追加学習用状態信号 $alss$ の各々は、状態信号 ss の一形態である。初期学習用状態特徴量 isc 、検知用状態特徴量 dsc の各々は、状態特徴量の一形態である。また、初期状態学習結果 sir 、追加状態学習結果 $asir$ の各々は、状態学習結果の一形態である。また、初期状態学習、初期条件学習を初期学習と称する場合がある。

[0020] 初期条件学習及び実施の形態 2 に記載する追加条件学習の各々は、条件学習の一形態である。検知用条件信号 dcs 、初期学習用条件信号 ics 、実施の形態 2 に記載する追加学習用状態信号 $alss$ の各々は、条件信号 cs の一形態である。初期学習用条件特徴量 icc 、検知用条件特徴量 dcc の各々は、条件特徴量 cc の一形態である。初期条件学習結果 cir 、及び、実施の形態 2 に記載する追加条件学習結果 $acir$ は、条件学習結果の一形態である。

[0021] 図 1 の機械装置 2 は、駆動力 df を発生するモータ 20、及び、駆動力 df によって駆動される機械部品 21 を備える。制御装置 3 は、運転条件 oc を出力する指令生成部 30、及び、運転条件 oc に基づいて電力 pw を機械装置 2 に向けて出力する制御部 31 を備える。機械装置 2 の例としては、電子部品実装機、半導体製造装置、産業用ロボット、食品製造装置、包装機械、搬送装置、自動ドア、プレス機械、ロールフィーダ、空調設備、発電機などを挙げることができる。

[0022] 機械装置 2 及び制御装置 3 の動作を例示する。指令生成部 30 は、機械装置 2 の動作を規定する制御信号となる運転条件 oc を生成する。指令生成部 30 は、運転条件 oc に基づいて電力 pw を機械装置 2 へ供給する。モータ 20 は、電力 pw を用いて機械部品 21 に対して駆動力 df を発生し、機械装置 2 を駆動する。機械部品 21 は、駆動力 df によって動作する部品であ

ればよい。機械部品 21 の例としては、モータ 20 の駆動力 $d f$ によって動作する可動部品、可動部品の間を接続する部材、などを挙げることができる。

[0023] 図 2 は、本実施の形態による機械装置 2 及び制御装置 3 の構成を例示する図である。図 2 に示す機械装置 2 は、ボールねじ 201、カップリング 202、サーボモータ軸 203、及び図 1 のモータ 20 に対応するサーボモータ 204 を備える。ここで、図 1 の駆動力 $d f$ は、図 2 の例示では、サーボモータ 204 の発生する駆動トルクに対応している。ボールねじ 201 は、ボールねじ軸 2013 が回転することによって移動する可動部 2011、可動部 2011 の移動の方向を制限するガイド 2012、及び、ボールねじ軸 2013 を備える。

[0024] ボールねじ軸 2013、サーボモータ軸 203 の各々は、カップリング 202 に機械的に接続されている。そして、サーボモータ 204 の発生する駆動トルクである駆動力 $d f$ は、サーボモータ軸 203 から、カップリング 202 を介してボールねじ軸 2013 に伝達される。ボールねじ 201 は、回転動作をねじ機構によって直動動作に変換し、可動部 2011 を図 2 に示す矢印のように 2 方向に移動させる。ガイド 2012 は、可動部 2011 を矢印の方向に移動可能な状態で動きを制限するように補助することによって、可動部 2011 の動作の精度を向上させる。なお、可動部 2011 は、機械部品 21（図示せず）に接続され、機械部品 21 は、機械装置 2 の目的に応じて動作する。

[0025] 図 2 に示す指令生成部 30 は、P L C（Programmable Logic Controller）301 を備える。P L C 301 は、サーボモータ 204 を動かす指令を生成し、ドライバ 311 へ出力する。指令の例としては、サーボモータ 204 の位置、速度、トルクなどを指示する信号を挙げることができる。また、この指令は、図 1 の運転条件 $o c$ に対応する。必要に応じて、さらに、P L C 301 に、P C（Personal Computer）401 を設けてもよい。図 2 の例では、P C 401 は P L C 301 に向けて機械装置 2 の動作に関する命令を出力す

る。PC401としては、例えば、産業用PC（Factory Automation PC、又は、Industrial PC）を用いてもよい。

[0026] 制御部31は、ドライバ311及び電流センサ310を備える。また、機械装置2には、サーボモータ204の回転角度を計測するエンコーダ205が取り付けられている。電流センサ310は、ドライバ311からサーボモータ204に供給される駆動電流を計測する。この駆動電流は、図1の電力pwに対応している。

[0027] ドライバ311は、電流センサ310の計測値及びエンコーダ205の計測値に基づいてサーボモータ204のフィードバック制御を行い、駆動電流をサーボモータ204に供給する。言い換えると、ドライバ311は、フィードバック制御を実行することによってサーボモータ204の動作を、PLC301の生成する指令に追従させる。PLC301の生成する指令は、前述のように、図1の運転条件ocに対応する。

[0028] なお、図1、図2の例示では、機械装置2の状態を検出するために用いる状態信号ssは、モータトルクmtである。本実施の形態の状態信号ssは、この例に限定されるものではない。状態信号ssは、機械装置2の状態に関する情報を含む信号であればよい。状態信号ssの例としては、位置、速度、加速度、電流、電圧、トルク、力、圧力、音声、光量などの機械装置2に設けられたセンサ又は機械装置2の周辺に設けられたセンサによって物理量を計測した信号を挙げることができる。また、状態信号ssは、画像情報の信号であってもよい。

[0029] また、図2の例示では、状態量saの取得に用いるセンサの例として、エンコーダ205及び電流センサ310を例示しているが、状態量saの取得に用いるセンサは、これに限定されない。状態量saの取得に用いるセンサの例として、レーザ変位計、角度エンコーダ、ジャイロセンサ、振動計、加速度センサ、電圧計、トルクセンサ、圧力センサ、マイク、光センサ、カメラなどを挙げることができる。これらのセンサは、必ずしも機械装置2、モータ20などに近接して設置される必要はなく、状態量saを生成すること

ができれば、どのような場所に設けてもよい。例えば、加速度センサをガイド 2012 の外面に設置し、加速度センサの計測した加速度を状態信号 s_s として出力する構成としてもよい。ここで、ガイド 2012 の外面とは、可動部 2011 の配置された側と反対の側の面である。

[0030] また、図 2 に示すように、指令生成部 30 は、PLC 301 の状態を表示する PLC 用表示器 402 を備えてもよく、PC 401 の状態を表示する PC 用表示器 403 を備えてもよい。なお、サーボモータ 204 などの駆動源は、一つの機械装置 2 に対して複数設けてもよい。また、ドライバ 311 も、必要に応じて、一つの機械装置 2 に対して複数設けてもよい。また、単一の PLC 301 が統括して機械装置 2 を動作させてもよく、複数の PLC 301 が協調して機械装置 2 を動作させてもよい。以上が図 2 に示す機械装置 2 及び制御装置 3 の例示についての説明である。

[0031] なお、異常検知装置 1 の異常検知の対象となる機械装置 2 は、図 2 に挙げる例示に限定されるものではない。また、異常検知の対象となる異常の種類も図 2 に挙げる例示に限定されるものではない。異常検知装置 1 は、機械装置 2 に発生する現象の全般にわたって広く適用することができる。機械装置 2 に発生する事象、機械装置 2 に発生する現象、機械装置 2 の状態などを異常とみなすことができる。異常とみなすことができる現象の例として、機械装置 2 への異物の混入、機械装置 2 の筐体の破損、グリスの劣化、材料の剥離、ワークの不良、流体の不具合、装置の設置不良、組立不良などを挙げるることができる。また、2 つ以上の現象が発生した状況を異常として検知してもよい。

[0032] 図 3 は、本実施の形態による機械システム 100 が備える処理回路をプロセッサ 1151 及びメモリ 1152 によって構成する場合の構成例を示す図である。例えば、図 3 の処理回路を、図 1 に示す異常検知装置 1、制御装置 3、図 2 に示すドライバ 311 などが備えるとしてもよい。処理回路がプロセッサ 1151 及びメモリ 1152 で構成される場合、異常検知装置 1、制御装置 3、ドライバ 311 などの処理回路の各機能は、ソフトウェア、ファ

ームウェア、又はソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現される。ソフトウェア又はファームウェアはプログラムとして記述され、メモリ 1152 に格納される。処理回路では、メモリ 1152 に記憶されたプログラムをプロセッサ 1151 が読み出して実行することによって、各機能を実現する。即ち、異常検知装置 1、制御装置 3、ドライバ 311 などが処理回路を備える場合、処理回路は、異常検知装置 1、制御装置 3、ドライバ 311 などの処理が結果的に実行されることになるプログラムを格納するためのメモリ 1152 を備える。また、これらのプログラムは、異常検知装置 1、制御装置 3、ドライバ 311 などの実行する手順及び方法をコンピュータに実行させるものであるとも言える。

[0033] ここで、プロセッサ 1151 は、CPU (Central Processing Unit)、処理装置、演算装置、マイクロプロセッサ、マイクロコンピュータ、又はDSP (Digital Signal Processor) と称される演算手段であってもよい。メモリ 1152 は、例えば、RAM、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable ROM)、EEPROM (登録商標) (Electrically EPROM) などの、不揮発性又は揮発性の半導体メモリとしてもよい。また、メモリ 1152 を、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、又はDVD (Digital Versatile Disc) などの、記憶手段とする構成としてもよい。

[0034] 図 4 は、本実施の形態による機械システム 100 が備える処理回路を専用のハードウェアで構成する場合の構成例を示す図である。例えば、図 4 の処理回路を、図 1 に示す異常検知装置 1、制御装置 3、図 2 に示すドライバ 311 などが備えるとしてもよい。処理回路が専用のハードウェアで構成される場合、図 4 に示す処理回路 1161 は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、又はこれらを組み合わせたものとしてもよい。機械システム 100 が備える処理回路は、図 1 に示す異常検知装置 1、制御装置 3、ド

ライバ３１１などの複数の機能を、機能毎に処理回路１１６１によって実現してもよく、複数の機能をまとめて処理回路１１６１によって実現してもよい。なお、異常検知装置１、制御装置３、ドライバ３１１、ＰＬＣ４０１などは、ネットワークを介して接続されていてもよい。また、異常検知装置１、制御装置３、ドライバ３１１、ＰＬＣ４０１などのうちの少なくともいずれかひとつがクラウドサーバ上に存在してもよい。

[0035] なお、図２の構成から、ドライバ３１１、ＰＬＣ３０１、ＰＣ４０１などを省くこともできる。例えば、ドライバ３１１、ＰＬＣ３０１、ＰＣ４０１などに代えて、異常検知装置１による異常の検知を実施するためのデバイスを別途用意し、当該デバイスが異常検知装置１の動作を実行してもよい。例えば、バッテリー、マイコン、センサ、表示器及び通信機能を備えるデバイスを用意し、このデバイスが、機械装置２が発生する音を、マイクによって状態信号ｓｓとして取得する。そして、異常検知装置１は、この状態信号ｓｓに基づいて、機械装置２の状態を検知してもよい。

[0036] また、図２の構成例において、ＰＬＣ用表示器４０２、ＰＣ用表示器４０３などを省くこともできる。また、図２の構成例において、これらの表示装置に代えて、ドライバ３１１、ＰＬＣ３０１に備えられたＬＥＤなどを使用してサーボモータ２０４、ボールねじ２０１などの状態を表示してもよい。また、状態についての正常、異常の判定結果を、ＬＥＤなどを使用して表示してもよい。また、状態、状態についての判定結果などを表示せずに、異常が生じたと判定された場合に、サーボモータ２０４の駆動を停止する構成としてもよい。

[0037] また、図２の説明では、サーボモータ２０４の速度を、サーボモータ２０４に設けたエンコーダ２０５から得るとしたが、本実施の形態は、このような形態に限定されるものではない。例えば、図１の構成において、モータ２０へ駆動の命令を発する指令生成部３０からの制御信号を運転条件ｏｃとして用い、条件信号生成部１５は、モータ速度を条件信号ｃｓとして生成してもよい。

[0038] また、図2の例示では、サーボモータ204が回転型のサーボモータである例について説明したが、図1のモータ20を、回転型以外のモータとした場合でも、本実施の形態の異常検知装置1を適用することができる。回転型以外のモータの例としては、リニア型のサーボモータ、誘導機モータ、ステッピングモータ、ブラシモータ、超音波モータ等を挙げることができる。また、モータに代えてモータとは異なる駆動源を採用した場合でも、本実施の形態の異常検知装置1を適用することができる。モータ以外の駆動源の例としては、例えば、機械装置2は、ガソリンエンジン、ジェットエンジン、ロケットエンジン、ガスタービンなどの内燃機関によって駆動されるものでもよい。このように駆動源は、電力によって駆動されるものには限定されない。

[0039] そして、機械装置2は、風力、地熱、水力など、自然エネルギーによって駆動されてもよい。例えば、機械装置2は、風力発電装置、地熱発電装置、水力発電装置などであってもよい。モータ、内燃機関などに対する指令に従って機械装置2が駆動される場合、この指令を運転条件〇〇として利用することができる。指令は多くの外乱をふくまないため、指令を運転条件〇〇として利用することにより、異常検知装置1は、高精度に異常を検知できる。また、異常検知装置1は、誤検知、見逃しなどの発生を抑制しつつ異常を検知できる。機械装置2が、例えば、風力発電装置のように、自然エネルギーによって駆動される場合、機械システム100は、制御装置3を含まない場合もあり得る。

[0040] また、図1の機械装置2は、構成要素として、ボールねじ201及びカップリング202を含む場合を例示したが、機械装置2の構成要素は、これらに限定されるものではない。ボールねじ201及びカップリング202以外の機械装置2の構成要素の例として、減速機、ガイド、ベルト、スクリュー、ポンプ、ベアリング、筐体などを挙げることができる。このように、多様な機械装置2に対して、異常検知装置1を適用することができる。

[0041] 異常検知装置1の動作を例示する。図2の例示では、ボールねじ201の

摺動部の劣化による振動増加、摩擦増加等を、異常検知装置 1 が検知する異常の例としている。状態信号生成部 11 は、機械装置 2 に発生した物理現象を、センサ等を用いて検出した状態量 s_a を取得し、時系列の状態信号 s_s として出力する。ここで、物理現象とは、機械装置 2 についてセンサなどを用いて検出できる量である。例えば、状態量 s_a を、機械装置 2 に発生した故障、劣化などの影響が現れた量としてもよい。状態量 s_a を、機械装置 2 の状態、機械装置 2 に発生した故障、劣化などを検出することが可能な量としてもよい。また、異常検知装置 1 の構成を、状態量 s_a が、機械装置 2 の状態、機械装置 2 に発生した故障、劣化などと相関を有する量となる構成としてもよい。

[0042] 本実施の形態では、時系列の信号とは、複数の時点の各々について対応付けられた情報を有している信号であるとする。例えば、時系列の信号の複数の時点のうちのある時点を指定すれば、その時点に対応する信号又は信号の示す値が決まるような信号を時系列の信号としてもよい。

[0043] ここで、状態信号生成部 11 が、初期状態学習時間において機械装置 2 の状態を検出した状態信号 s_s を初期学習用状態信号 l_s と称する。ここで、初期状態学習時間は、機械装置 2 が正常な状態にある時間であることが望ましい。また、状態信号生成部 11 が、機械装置 2 の状態を検知する異常検知の対象の時間を検知時間とする。そして、この検知時間に状態信号生成部 11 が検出した状態信号 s_s を、検知用状態信号 d_s と称する。なお、初期状態学習時間と検知時間との関係は限定されるものではないが、検知時間が初期状態学習時間より後である場合、初期状態学習の結果を異常の検知に利用できるという利点がある。

[0044] 図 2 の例示では、モータ 20 の一例であるサーボモータ 204 に流れる電流の値から計算した駆動トルクの値を状態量 s_a とする。また、状態信号生成部 11 は、電流センサ 310 を用いて駆動電流の値を計測し、この電流値をサーボモータ 204 が発生した駆動トルクの値であるトルク値に換算し、状態信号 s_s とする。状態量 s_a は、機械装置 2 の挙動、時間などに応じて

時々刻々と変化してもよい。

[0045] また、状態特徴量生成部 12 は、状態信号 s_s を時系列に取得する。そして、時系列の状態信号 s_s から状態特徴量 s_c を生成する。状態特徴量 s_c は、機械装置 2 の状態を表す特徴を抽出した量であることが望ましい。状態特徴量 s_c は、時系列の信号でなくてもよいが時系列に生成することが望ましい。また、状態特徴量生成部 12 は、状態信号 s_s の生成された複数の時点を含む組の各々について状態特徴量 s_c を一つずつ生成してもよい。また、状態特徴量生成部 12 は、状態信号 s_s の生成された複数の時点の各々について状態特徴量 s_c を一つずつ生成してもよい。ここで、状態特徴量生成部 12 が、初期学習用状態信号 l_{s_s} から生成した状態特徴量 s_c を初期学習用状態特徴量 l_{s_c} と称する。また、状態特徴量生成部 12 が、検知用状態信号 d_{s_s} から生成した状態特徴量 s_c を検知用状態特徴量 d_{s_c} と称する。

[0046] 初期状態学習部 13 は、初期学習用状態特徴量 l_{s_c} に基づいて学習を実行し学習の結果を初期状態学習結果 s_{lr} として出力する。この初期状態学習部 13 が実行する学習を初期状態学習と称している。例えば、初期状態学習部 13 は、初期学習用状態信号 l_{s_s} の特性についてモデルを生成し、モデルの構造、パラメータなどを初期状態学習結果 s_{lr} として出力してもよい。なお、異常検知装置 1 は、初期状態学習部 13 に代えて初期状態学習を実行済みの学習モデル、出力済みの初期状態学習結果 s_{lr} などを備えてもよい。例えば、本実施の形態で説明する初期状態学習部 13 が出力する初期状態学習結果 s_{lr} に基づくモデルを備えてもよい。学習済みの学習モデル、出力済みの初期状態学習結果 s_{lr} などを備える場合、初期状態学習を実行せずに、初期状態学習の結果を利用することができる。

[0047] 異常度計算部 14 は、検知用状態特徴量 d_{s_c} 及び初期状態学習結果 s_{lr} に基づいて異常度 a_n を算出する。異常度計算部 14 は、検知用状態信号 d_{s_s} の特性と初期学習用状態信号 l_{s_s} の特性との乖離の度合いを異常度 a_n として算出してもよい。また、異常度計算部 14 は、検知用状態特徴量

d s c の特性と初期学習用状態特徴量 l s c の特性との差異を異常度 a n と
して算出してもよい。

[0048] また、例えば、初期状態学習結果 s l r が、モデルの構造、モデルのパラ
メータなどを含むとする。この場合、異常度計算部 1 4 は、当該のモデルの
構造、当該のモデルのパラメータなどからモデルを生成する。そして、異常
度計算部 1 4 は、初期学習用状態特徴量 l s c を当該のモデルに入力した場合
の出力と、検知用状態特徴量 d s c を当該のモデルに入力した場合の出力
との差異を異常度 a n として算出してもよい。

[0049] 条件信号生成部 1 5 は、機械装置 2 の運転の条件を運転条件 o c として取
得し、条件信号 c s として生成する。運転条件 o c は、機械装置 2 の運転の
状況を示すものであればよい。図 1、図 2 の説明では、運転条件 o c は、モ
ータ 2 0 の速度の設定値又は指令値、モータ 2 0 の加速度の設定値又は指令
値、モータ 2 0 の移動距離の設定値又は指令値などであるとする。また、図
1、2 の説明では、条件信号 c s は、速度の指令であって時系列の信号であ
る指令速度 d s であるとする。そして、条件信号 c s を、運転条件 o c を時
系列に取得した信号とする。運転条件 o c 及び条件信号 c s のその他の例と
して、ジャーク、負荷の大きさ、外気温、圧力、流量などを挙げることがで
きる。

[0050] ここで、条件信号生成部 1 5 が、初期条件学習時間において機械装置 2 の
状態を検出した条件信号 c s を初期学習用条件信号 l c s と称する。ここで
、初期条件学習時間は、機械装置 2 が正常な状態にある時間であることが望
ましい。また、条件信号生成部 1 5 が、機械装置 2 の状態の検知の対象の時
間である検知時間に検出した条件信号 c s を、検知用条件信号 d c s と称す
る。

[0051] 初期条件学習時間と検知時間との関係は限定されるものではないが、初期
条件学習の結果を異常検知に利用できるため、検知時間は、初期条件学習時
間より後の時間であるのが好適である。ここで、初期状態学習時間と初期条
件学習時間とは、必ずしも一致している必要はない。一方、検知用状態信号

d s s の説明における検知時間は、検知用条件信号 d c s の説明における検知時間と一致している。

[0052] 条件特徴量生成部 16 は、初期学習用条件信号 l c s から初期学習用条件特徴量 l c c を生成する。例えば、条件特徴量生成部 16 は、初期学習用条件信号 l c s から初期条件学習時間における運転条件 o c の特性を表す特徴を抽出し、初期学習用条件特徴量 l c c として生成してもよい。初期条件学習部 17 は、初期学習用条件特徴量 l c c に基づいて学習を実行し、学習の結果を初期条件学習結果 c l r として出力する。この初期条件学習部 17 が実行する学習を初期条件学習と称する。初期条件学習、初期状態学習などを、初期学習と称する場合がある。

[0053] 例えば、初期条件学習部 17 は、初期学習用条件特徴量 l c c に基づいて、初期条件学習時間における運転条件 o c の特性をモデル化し、モデルの構造、パラメータなどを初期条件学習結果 c l r として出力してもよい。また、異常検知装置 1 は、初期条件学習部 17 に代えて学習済みの学習モデル、出力された初期条件学習結果 c l r などを備えてもよい。異常検知装置 1 が、学習済みの学習モデル、出力された初期条件学習結果 c l r などを備える場合、学習を実行せずに、学習の結果を利用し、短い時間に高精度な異常検知を実行できる。また、計算の負荷を低減することができる。例えば、学習済みの学習モデルは、初期条件学習部 17 の出力した初期条件学習結果 c l r に基づくモデルであってもよい。

[0054] 未知度計算部 18 は、初期条件学習結果 c l r と検知用条件信号 d c s とに基づき未知度 u n を計算する。未知度 u n は、初期学習用条件信号 l c s と検知用条件信号 d c s との乖離の度合いを表す量であってもよい。また、未知度計算部 18 は、検知用条件特徴量 d c c と初期学習用条件特徴量 l c c との特性の乖離度合いを未知度 u n として算出してもよい。

[0055] また、例えば、初期条件学習結果 c l r が、モデルの構造、モデルのパラメータなどを含むとする。この場合、未知度計算部 18 は、当該のモデルの構造、当該のモデルのパラメータなどからモデルを生成する。そして、未知

度計算部 18 は、初期学習用条件特徴量 lcc を当該のモデルに入力した場合の出力と、検知用条件特徴量 dcc を当該のモデルに入力した場合の出力との差異を未知度 un として算出してもよい。

[0056] 異常判定部 19 は、異常度 an と未知度 un とに基づいて機械装置 2 に異常が生じているか否かを判定し、判定結果 jr として出力する。例えば、異常判定部 19 は、異常度 an が予め定めた第 1 のしきい値より大きく、かつ、未知度 un が予め定めた第 2 のしきい値より小さい場合、機械装置 2 の状態が異常であると判定してもよい。

[0057] そして、異常度 an が第 1 のしきい値以下の場合、未知度 un が第 2 のしきい値以上の場合の 2 つの場合のどちらかの場合、異常判定部 19 は、機械装置 2 の状態は正常であると判定してもよい。ここで、異常度 an が第 1 のしきい値以下の場合とは、異常度 an が第 1 のしきい値より小さいか、又は、第 1 のしきい値と同じの場合である。また、未知度 un が第 2 のしきい値以上の場合とは、未知度 un が第 2 のしきい値より大きい、又は、第 2 のしきい値と同じの場合である。

[0058] なお、異常検知装置 1 は、異常判定部 19 を備えない形態とすることもできる。この場合、異常検知装置 1 の外部の装置が異常判定部 19 の処理を実行してもよい。また、異常判定部 19 の処理を作業者が行ってもよい。また、異常判定部 19 は、異常度 an 及び未知度 un を学習データとして機械学習を行い、モデルを生成する。そして、異常判定部 19 は、生成したモデルと、機械装置 2 の異常検知の対象となる検知時間に取得された異常度 an 及び未知度 un とに基づいて判定を行ってもよい。また、異常検知装置 1 は、判定結果 jr 、未知度 un 、異常度 an などを表示する表示部を備えてもよい。

[0059] 図 5 は、本実施の形態によるモータ速度 ms とモータトルク mt の時間波形の一例を示す図である。条件信号生成部 15 は、指令速度 ds を条件信号 cs として生成する。図 5 (a) には、条件信号生成部 15 が条件信号 cs として生成する指令速度 ds の時系列の波形を点線、すなわち破線によって

示す。指令速度 d_s は、指令生成部 30 が生成した運転条件 o_c により規定されたモータの指令速度 d_s である。また、図 5 (a) には、指令速度 d_s に加えて、エンコーダ 205 の計測結果から計算したモータ速度 m_s を実線によって示す。図 5 (b) には、状態信号生成部 11 が状態信号 s_s として生成するモータトルク m_t の時系列の波形を示す。図 5 (a) 及び図 5 (b) の横軸は時間を表している。図 5 (a) の時間軸上の符号が付されている点と、当該の符号と同じ符号が付されている図 5 (b) の時間軸上にある点とは、同じ時刻を指定している。

[0060] 図 5 (a) に示す指令速度 d_s の時間変化について説明する。時刻 t_{r0} から時刻 t_{r1} までの間は、指令速度 d_s は 0 である。時刻 t_{r1} から時刻 t_{r2} までの間、指令速度 d_s は、一定の加速度で加速するという指令になっている。そして、時刻 t_{r1} において 0 であった指令速度 d_s は、時刻 t_{r2} において速度 V_{cmd} に達する。時刻 t_{r2} から時刻 t_{r3} までの間、指令速度 d_s は、速度 V_{cmd} に保持される。指令速度 d_s は、時刻 t_{r3} から時刻 t_{r4} までの間は、指令速度 d_s は一定の加速度で減速する指令となっている。時刻 t_{r3} において速度 V_{cmd} であった指令速度 d_s は、時刻 t_{r4} において 0 となる。そして、時刻 t_{r4} から時刻 t_{r5} までの間、指令速度 d_s は 0 に維持される。

[0061] 図 5 (a) のモータ速度 m_s は、モータ 20 の速度の実測値である。言い換えると、モータ速度 m_s は、図 2 のサーボモータ 204 の速度の実測値である。サーボモータ 204 は、指令生成部 30 によって、すなわち、図 2 のドライバ 311 によって、モータ速度 m_s が指令速度 d_s に追従するよう制御される。指令速度 d_s とモータ速度 m_s との関係は、指令生成部 30 の構成に依存して変化する。図 5 (a) には、指令速度 d_s に対して、モータ速度 m_s がやや遅れて追従している場合を例示している。図 5 (b) には、電流センサ 310 の計測値から算出されたモータトルク m_t の時系列の波形を実線で示している。電流センサ 310 から直接得られる信号は、図 2 のサーボモータ 204 内を流れる三相の電流を計測した信号であるとする（三相の

電流は図示せず)。状態信号生成部 11 は、この三相の電流に変換を施して、図 5 (b) に示したモータトルク m_t を状態信号 s_s として生成する。

[0062] 図 5 の例示のように、機械装置 2 に対して、適宜、センサを設置してもよい。また、センサは、状態信号生成部 11 に含まれる構成としてもよく、異常検知装置 1 に含まれる構成としてもよい。また、状態信号生成部 11 は、センサの計測値に対する変換を適宜行ってもよい。図 5 の説明において例示したセンサに加えて、又はセンサに代えて、状態信号生成部 11 は、機械部品 21 に生じるトルク、力、振動、速度、位置、光量、音などの値を検出するセンサの計測結果に基づいて状態信号 s_s を生成してもよい。また、センサの例としては、トルクセンサ、力センサ、振動センサ、ジャイロセンサ、エンコーダ、レーザ変位計、フォトセンサ、マイク等を挙げることができる。なお、状態信号生成部 11 は、電流センサ 310 によって検出された三相の電流値を直接、状態信号 s_s として生成してもよい。また、状態信号生成部 11 は、エンコーダ 205 から得られたサーボモータ 204 の回転角度、又は回転角度から数値微分等で求めたモータ速度 m_s を状態信号 s_s として生成してもよい。

[0063] 状態信号 s_s の時系列の変化について説明する。図 5 (a) を用いて説明したモータトルク m_t の時系列の波形は、時刻 t_{r1} から時刻 t_{r2} までの間はサーボモータ 204 の加速を指示する波形となっている。そして、時刻 t_{r3} から時刻 t_{r4} までの間は、サーボモータ 204 の減速を指示する波形となっている。これに対応して、図 5 (b) に示すモータトルク m_t は、時刻 t_{r1} から時刻 t_{r2} までの間は増加している。また、図 5 (b) に示すモータトルク m_t は、時刻 t_{r3} から時刻 t_{r4} までの間は減少している。

[0064] 図 5 (b) の時間波形には、摩擦力が働くことによって、モータ速度 m_s に依存してモータトルク m_t が変化する様子が示されている。例えば、時刻 t_{r1} から時刻 t_{r2} の間、モータ速度 m_s は、同じ加速度で加速する状態を維持しているにもかかわらず、モータ速度 m_s が大きくなるに従ってモ-

タトルク m_t は大きくなっている。

[0065] 図5 (a) 及び図5 (b) には、サーボモータ204が停止している状態から位置決めと呼ばれる単発の駆動を実施した際の波形を例示した。図5の例示では、位置決めの回数が1回の場合を例示したが、位置決めを複数回実行してもよい。また、図5では、サーボモータ204によって機械部品21の位置決めを実行する場合の動作について説明したが、本実施の形態の異常検知装置1の適用対象は、位置決め動作に限定されるものではない。例えば、速度制御、トルク制御などの位置決め動作と異なる制御にも、本実施の形態の異常検知装置1を適用することが可能である。また、例えば、指令に追従して制御されない機械装置2の異常検知にも、本実施の形態の異常検知装置1を適用することができる。

[0066] また、図5の例示では、指令速度 d_s が一定となる時間を含む場合を例示した。言い換えれば、図5の例示では、指令速度 d_s の時間波形が台形状の形状となる場合を例示した。本実施の形態の異常検知装置1は、指令速度 d_s が一定となる時間がない場合、すなわち、波形が三角形となる場合など、指令速度 d_s の時間波形が台形状でない場合にも適用可能である。また、図5の例示では、加速時の速度の傾きが一定、すなわち指令速度 d_s の加速度が矩形に近い形状となる場合を例示した。しかしながら、異常検知装置1の適用可能な構成は、指令の時系列の波形に依存して限定されるものではない。例えば、急加速に伴う振動の発生を抑制するため、ジャークに上限を設ける制限を加える制御が実行される場合の指令速度 d_s の加速度の波形についても、本実施の形態の異常検知装置1を適用することができる。また、機械装置2の振動を抑えるため、指令にフィルタ処理などを施した構成についても、本実施の形態の異常検知装置1を適用することができる。

[0067] また、図2の例示では、PLC301が生成するサーボモータ204への指令を運転条件 o_c として例示したが、運転条件 o_c は、モータ20への指令に限定されるものではない。運転条件 o_c は、機械装置2の運転に関する情報を含むものであればよい。また、異常の発生の有無と相関の小さい量で

あって、状態信号 s_s 又は状態量 s_a に、外乱として影響を与える量を、運転条件 o_c として選択することが望ましい。

[0068] 条件信号 c_s の含む情報は、機械装置 2 に生じた異常の原因とはなり難い情報であることが望ましい。そして、条件信号 c_s の含む情報は、状態信号 s_s に外乱として影響を与える可能性のある情報が望ましい。上記のような条件信号 c_s を生成するように、条件信号生成部 15 を構成するのが望ましい。

[0069] また、異常の発生が有の状態と異常の発生が無の状態とで、運転条件 o_c の検出値、又は、条件信号 c_s が大きく変化しないことが望ましい。また、異常有の場合の未知度 u_n と異常無の場合の未知度 u_n との間に差異が生じる場合でも、この差異は、未知度 u_n に設けられるしきい値を超える変化をもたらさない程度の差異であることが望ましい。

[0070] 異常判定部 19 は、機械装置 2 が未知の状況にあるか否かの判定結果を制御装置 3 に対して出力する。機械装置 2 が未知の状況にあるとの判定結果を取得した場合に、指令生成部 30 は、機械装置 2 を既知の状況に変更する運転条件 o_c を出力する。そして、異常判定部 19 は、未知度 u_n の値に基づいて、機械装置 2 が既知の状況にあるとの判定結果を得た後に、未知度 u_n 及び異常度 a_n に基づいて異常検知を行ってもよい。ここで、異常判定部 19 は、判定結果に代えて、未知度 u_n を制御装置 3 に出力し、制御装置 3 が機械装置 2 は、未知の状況にあるか既知の状況にあるかを判定してもよい。

[0071] 異常検知装置 1 に、機械装置 2 が未知の状況にあるか否かの判定結果 j_r を表示する表示部を設け、未知の状況にある場合に、作業者が、機械装置 2 を既知の状況に変更する運転条件 o_c に切り替える操作を行ってもよい。ここで、判定結果 j_r に代えて、未知度 u_n を表示部に表示し、作業者が、未知の状況にあるか否かを判定してもよい。

[0072] 条件信号 c_s が含む情報の例としては、外気温、機械装置 2 に関する振動値、機械装置 2 の取り扱うワークの質量、機械装置 2 の操作に際しての機械装置 2 への入力等を挙げることができる。ここで、機械装置 2 に関係する振

動値とは、機械装置 2 の少なくとも一部に接触しているものに発生する振動に関する値である。また、機械装置 2 に関係する振動値を、機械装置 2 の少なくとも一部に、振動を発生させるもの又は振動を励起させるものについての振動に関する値としてもよい。上記のものの例としては、機械装置 2 が設置されている床、架台、周囲の空気などを挙げることができる。振動に関する数値の例としては、振動の振幅、周波数、及びこれらの組み合わせを挙げるができる。条件信号生成部 15 は、これらの情報に基づいて条件信号 c_s を生成することができる。複数種類の情報を組み合わせて条件信号 c_s を生成してもよいことは言うまでもない。

[0073] 状態特徴量生成部 12 及び条件特徴量生成部 16 の動作を説明する。図 6、図 7 は、本実施の形態による連続する位置決めの指令速度 d_s とモータトルク m_t の時間波形の一例を示す図である。図 6 (a)、図 7 (a) には、条件信号生成部 15 が条件信号 c_s として出力する指令速度 d_s の時間波形が示されている。図 6 (a) には、時刻 0 秒から時刻 10 秒までの範囲の時間波形が示され、図 7 (a) には、時刻 10 秒から時刻 20 秒までの範囲の時間波形が示されている。図 6 (b)、図 7 (b) には、状態信号生成部 11 が状態信号 s_s として出力するモータトルク m_t の時間波形が示されている。図 6 (b) には、時刻 0 秒から時刻 10 秒までの範囲の時間波形が示され、図 7 (b) には、時刻 10 秒から時刻 20 秒までの範囲の時間波形が示されている。

[0074] 図 6 (a)、図 6 (b)、図 7 (a) 及び図 7 (b) の横軸は時間を表しており、単位は秒 (s) である。図 6 (a) の時間軸上の符号が付された位置と、当該符号と同じ符号が付された図 6 (b) の時間軸上の位置とは、同じ時刻となっている。図 7 (a) の時間軸上の符号が付された位置と、当該符号と同じ符号が付された図 7 (b) の時間軸上の位置とは、同じ時刻となっている。図 6 (a) 及び図 7 (a) の縦軸は、指令速度 d_s を表しており、単位は回転数毎分 (r/min (round per minute)) である。図 6 (b) 及び図 7 (b) の縦軸はモータトルク m_t を表しており、単位はニュート

ンメートル (Nm) である。

[0075] 図5は、1回の位置決めを図示したものであるのに対し、図6及び図7には、10回の連続した位置決めを図示している。この10回の位置決めの各々を、位置決めD1から位置決めD10と称する。位置決めD1から位置決めD10は、指令の速度、加速時の加速度、減速時の加速度、移動距離などのうちの少なくともひとつが互いに異なっている。例えば、位置決めD1では、最大速度は 3200 r/min であり、位置決めD2では、最大速度は 2200 r/min である。

[0076] また、位置決めD2では、加速時の加速度は大きく、減速時の加速度が位置決めD1より小さい。また、位置決めD2では、加速時の加速度の絶対値が位置決めD1より小さく、減速時の加速度の絶対値が位置決めD1より大きい。また、位置決めD3は、サーボモータ204の移動の方向が位置決めD1とは異なり、速度の方向が負となっている。また、位置決めD3では、移動距離が位置決めD1、位置決めD2に比べて小さく、指令速度 d_s 、すなわち運転条件 o_c の時間波形の形状が三角形になっている。このように、位置決めD1から位置決めD10の指令速度 d_s の形状は、互いに異なっている。そして、指令生成部30の生成する運転条件 o_c は、位置決めD1から位置決めD10の間で互いに異なっている。

[0077] 指令生成部30は、機械装置2の動作の状況に応じて運転条件 o_c を生成する。例えば、機械装置2が搬送装置の場合、搬送工程の効率を向上が望ましい状況にあるため、指令生成部30は、できるだけ短時間で毎度の位置決めを完了する運転条件 o_c を生成するのが望ましい。また、ゆれ、衝撃などを低減する必要のあるワークを搬送する状況にある場合には、指令生成部30は、速度、加速度、ジャークなどに上限を設け、速度、加速度、ジャークなどが、この上限を超えないように運転条件 o_c を生成する。また、例えば、機械装置2が電子部品実装機であり、電子部品の設置位置が頻繁に変更される状況になる場合、指令生成部30は、移動距離、移動方向が位置決めごとに異なる運転条件 o_c を生成する。

[0078] 状態特徴量生成部12は、モータトルク m_t に基づき、状態特徴量 s_c を生成する。モータトルク m_t の一例を、図6(b)及び図7(b)に示す。状態特徴量生成部12は、時系列に生成される複数の状態特徴量 s_c の間で、状態特徴量 s_c の変数の数が同じとなるように状態特徴量 s_c を生成することが望ましい。ここで、状態特徴量 s_c の変数の数とは、例えば、状態特徴量 s_c の各々が有する可変パラメータ、パラメータの数などとしてもよい。この複数のパラメータは、複数の状態特徴量 s_c の間で互いに異なる値をとる。複数の状態特徴量 s_c を比較することによって機械装置2の状態の変化を検知するため、状態特徴量 s_c の間で変数の数が同じである方が、より容易に、精度良く比較を行うことができる。生成された状態特徴量 s_c は、初期状態学習部13及び異常度計算部14に入力され、状態特徴量 s_c に基づいて、初期状態学習部13によって学習が実行される。そして、異常度計算部14によって、異常度 a_n の計算が実行される。

[0079] 例えば、状態特徴量生成部12は、時刻 t_{s1} から時刻 t_{e1} までの間のモータトルク m_t を等しい時間間隔の N の時点において取得した時系列信号を、1組の状態特徴量 s_{c1} とする。このときのモータトルク m_t のサンプル数、すなわち状態特徴量 s_c の変数の数は、 N となる。時刻 t_{s1} から時刻 t_{e1} までの間を処理時間と称する。具体的な数値を例示する。例えば、サンプリング周期が1ミリ秒(ms)、時刻 t_{e1} が1501ms、時刻 t_{s1} が1700msの場合、状態特徴量 s_c は、変数の数 $N=100$ のベクトルとなる。ここに挙げた状態特徴量 s_{c1} は一例に過ぎず、本実施の形態は、このような形態に限定されるものではない。サンプリング周期、処理の開始時間 t_{s1} 、処理の終了時間 t_{e1} などは、適宜、変更することができる。例えば、 N を大きな値に設定し、複数の位置決めにまたがって1組の状態特徴量 s_c を生成してもよい。また、状態量 s_a 、状態特徴量 s_c 、運転条件 o_c 、条件特徴量 c_c などの時系列の信号は、等しい時間間隔の信号に限定されるものではない。例えば、多くのデータを取得する必要のある部分だけ、時系列信号の時間間隔を短く設定してもよい。

- [0080] 状態特徴量生成部 12 は、対象とする時間を変更しながら、順次、状態特徴量 s_c を生成する。図 6 の時刻 t_{s2} から時刻 t_{e2} までのモータトルク m_t を 2 組目の状態特徴量 s_{c2} とする。このとき、状態特徴量 s_c の変数の数を N に揃えるために、処理の開始時刻と終了時刻の間隔となる時刻 t_{e2} から時刻 t_{s2} を減じた値 ($t_{e2} - t_{s2}$) と、時刻 t_{e1} から時刻 t_{s1} を減じた値 ($t_{e1} - t_{s1}$) とが、同じ値になるようにしてもよい。
- [0081] 同様に、状態特徴量生成部 12 は、図 6 に示す位置決め D3 の実施中に取得されたモータトルク m_t から、状態特徴量 s_{c3} を生成する。また、位置決め D4 の実施中に取得されたモータトルク m_t から、状態特徴量 s_{c4} を生成する。また、図 7 に示す位置決め D8 の実施中に取得されたモータトルク m_t から、状態特徴量 s_{c8} を生成する。
- [0082] 図 6、図 7 の例示では、状態特徴量 s_{c1} から状態特徴量 s_{c8} を生成する複数の処理時間が互いに重複していないが、本実施の形態は、状態特徴量 s_c を生成する時間が互いに重複していない場合に限定されるものではない。例えば、時刻 t_{s1} と時刻 t_{s2} との関係は、先、後、同時のいずれであってもよく自由に選ぶことができる。
- [0083] 上述のように、複数の処理時間は、互いに重複してもよい。例えば、サンプリングを実行する時間、すなわち、処理時間を一つの窓（ウィンドウ）とみなして、この処理時間の開始時刻を、等間隔に実行されるサンプリングの時間間隔であるサンプル時間だけ窓をずらしてサンプリングを行い、状態特徴量 s_c としてもよい。例えば、サンプル時間を 1 ミリ秒、ひとつの窓のサンプリング数となる状態特徴量 s_c の変数の数 N を 100 とした場合、計算した状態特徴量 s_c は、サンプル数のうちの 99% が重複し、1% が異なることになる。このように、所定のサンプル数、順次ずらした窓によってサンプリングを実施する手法を、スライディングウィンドウ法と呼ぶ。このスライディングウィンドウ法を採用してもよい。
- [0084] 図 6、図 7 の例示では、時系列に得られた状態信号 s_s をあらかじめ定めたサンプル数サンプリングして 1 セットの状態特徴量 s_c として出力してい

る。図6、図7の例示と異なる状態特徴量 s_c の生成方法を例示する。例えば、時系列の条件信号 c_s から、統計量を複数計算して1セットの状態特徴量 s_c 又は条件特徴量 c_c とする。状態量 s_a として検出した時系列信号に対して統計的なアルゴリズムを適用して得た数値を統計量としてもよい。また、一定数の標本データからその特徴を要約した値としてもよい。ここで、統計的なアルゴリズム、要約の手法については、複数の手法が存在する。統計量の例としては、平均、標準偏差、分散、2乗平均平方根、最大値、最小値、ピーク値、波高率、尖度、歪度などを挙げることができる。

[0085] また、時系列の信号に対して周波数解析を実施して、状態特徴量 s_c 又は条件特徴量 c_c としてもよい。例えば、周波数解析による、特定の周波数のゲイン、特定の周波数の位相などを計測して状態特徴量 s_c 又は条件特徴量 c_c としてもよい。状態特徴量 s_c 又は条件特徴量 c_c の算出に際して、統計量の算出、周波数解析といった処理を行う場合、特徴量の算出に用いる信号の処理時間の間のサンプリング数は、必ずしも同じとする必要はない。一方、算出される状態特徴量 s_c 又は条件特徴量 c_c の変数の数は、同じとすることが望ましい。

[0086] 状態特徴量生成部12は、時系列に得られた状態信号 s_s をあらかじめ定めたサンプル数だけ並べて1セットの状態特徴量 s_c として出力する。このような場合、状態特徴量 s_{c1} 、状態特徴量 s_{c2} 、状態特徴量 s_{c3} 、状態特徴量 s_{c4} 、状態特徴量 s_{c8} は、それぞれの運転条件 o_c に応じて、機械装置2の状態に関する情報を含み複数の変数で構成されるベクトルになる。

[0087] 例えば、状態特徴量 s_{c1} と状態特徴量 s_{c2} とでは、サーボモータ204の速度が異なる。また、状態特徴量 s_{c3} は、サーボモータ204の速度が一定ではなく、サーボモータ204が加速している時間を含む。また、位置決めD4は、サーボモータ204が加速する時間、速度が一定の時間、減速する時間を含んでおり、状態特徴量 s_{c4} は、加速する時間についてサンプリングを行っている。また、状態特徴量 s_{c8} は、サーボモータ204の

移動距離が微小であり、最大速度も小さい。

[0088] このように、様々な運転条件 o_c の下で運用される機械装置 2 において、予め全ての運転条件 o_c の組み合わせについて学習を実施することは困難である。あらかじめ指定した速度の範囲に含まれる速度でサーボモータ 204 が動いている時間、又は、あらかじめ定めた加速度の範囲に含まれる加速度でサーボモータ 204 が動いている時間にデータを抽出する方法をとることもできる。この方法では、安定したデータを取得することができるが、信号を取り出す処理に手間がかかるという課題がある。また、運転条件 o_c によっては、異常を検知できない場合が発生し得る。

[0089] そして、発明者らが知る限り、このように時系列に取得した多数の変数として計測される検知対象の運転の状況と、時系列に取得した多数の変数として計測される学習時の運転の状況との間の乖離の度合いを定量的に評価する方法はなかった。また、前述の 2 つの状況の間の乖離を定量的に評価することが困難であるという課題も認識されていなかった。ここで、図 6、図 7 の例示では、検知対象となる運転の状況は時系列の検知用条件信号 dcs として表現される。また、初期学習時間の運転の状況は、初期学習用条件信号 lcs として表現される。

[0090] 条件特徴量生成部 16 は、初期学習用条件信号 lcs に基づいて初期学習用条件特徴量 lcc を生成する。また、検知用条件信号 dcs に基づいて検知用条件特徴量 dcc を生成する。図 6 の例では、図 6 (a)、図 7 (a) に示す指令速度 ds を条件信号 cs とする。そして、条件特徴量生成部 16 は、複数の処理時間の各々に含まれる指令速度 ds を検知用条件特徴量 dcc とする。

[0091] 条件特徴量生成部 16 は、位置決め D1 を実行した時刻 $ts1$ から時刻 $te1$ までの間の 1 組の指令速度 ds の時系列信号を条件特徴量 $cc1$ とする。また、位置決め D2 を実行した時刻 $ts2$ から時刻 $te2$ までの間の 1 組の指令速度 ds を条件特徴量 $cc2$ とする。また、位置決め D3 を実行した時刻 $ts3$ から時刻 $te3$ までの間の 1 組の指令速度 ds を条件特徴量 cc

3とする。また、位置決めD4を実行した時刻 t_{s4} から時刻 t_{e4} までの間の1組の指令速度 d_s を条件特徴量 c_{c4} とする（図6中には条件特徴量 c_{c4} として表示）。また、位置決めD8を実行した時刻 t_{s8} から時刻 t_{e8} までの間の1組の指令速度 d_s を条件特徴量 c_{c8} とする。ここで、条件特徴量 c_{c1} 、条件特徴量 c_{c2} 、条件特徴量 c_{c3} 、条件特徴量 c_{c4} 、条件特徴量 c_{c8} の各々は、検知用条件特徴量 d_{cc} としてもよく、初期学習用条件特徴量 l_{cc} としてもよい。

[0092] 以上説明したように、条件特徴量生成部16が生成した検知用条件特徴量 d_{cc1} 、検知用条件特徴量 d_{cc2} 、検知用条件特徴量 d_{cc3} 、検知用条件特徴量 d_{cc4} 、及び検知用条件特徴量 d_{cc8} の各々は、検知用状態特徴量 d_{sc1} 、検知用状態特徴量 d_{sc2} 、検知用状態特徴量 d_{sc3} 、検知用状態特徴量 d_{sc4} 、及び検知用状態特徴量 d_{sc8} に、順次、対応している。ここで、検知用条件特徴量 d_{cc} と検知用状態特徴量 d_{sc} とが対応しているとは、各々の生成に用いられた状態信号 s_s と運転条件 o_c とが、同じ処理時間の間に検出されていることを意味する。

[0093] なお、図6及び図7の例示では、理解を容易にするため、指令速度 d_s とモータトルク m_t とのサンプリング周波数を同一とした。また、一組の状態特徴量 s_c の変数の数と、一組の条件特徴量 c_c の変数の数とを同一とした。しかしながら、本実施の形態は、このような形態に限定されるものではない。例えば、条件信号 c_s のサンプリング周波数と、状態信号 s_s のサンプリング周波数とが異なってもよい。また、例えば、一組の状態特徴量 s_c の変数の数と、一組の条件特徴量 c_c の変数の数とが互いに異なってもよい。なお、対応する検知用状態特徴量 d_{sc} と検知用条件特徴量 d_{cc} の各々の算出に用いられた検知用状態信号 d_{ss} と検知用条件信号 d_{cs} とが、同じ処理時間の間に取得される構成とすれば、同じ処理時間に取得されたデータに基づいて、異常度 a_n 及び未知度 u_n が算出されるため、より正確に、異常検知を行うことができる。

[0094] また、条件特徴量生成部16が条件特徴量 c_c を生成する手法と、状態特

微量生成部 12 が状態特徴量 s_c を生成する手法は、同じでもよく異なってもよい。例えば、条件特徴量 c_c の生成手法については、統計量の算出を用い、状態特徴量 s_c の生成手法として周波数解析を用いてもよい。

[0095] 初期状態学習部 13 は、初期学習用状態特徴量 l_{sc} に基づき学習を実行し学習の結果を初期状態学習結果 s_{lr} として出力する。また、初期条件学習部 17 は、初期学習用条件特徴量 l_{cc} に基づき学習を実行し、学習の結果を初期条件学習結果 c_{lr} として出力する。図 8 は、本実施の形態によるオートエンコーダ (Autoencoder) の一例を示す図である。

[0096] オートエンコーダは、ニューラルネットワークモデルの一種で、図 8 に例示するオートエンコーダは、ノード X_1 から X_3 で構成される入力層、ノード Y_1 と Y_2 とで構成される中間層、ノード Z_1 から Z_3 で構成される出力層を有している。図 8 のオートエンコーダのノードの各々は重み W_{11} から W_{26} をパラメータとして与えられた複数のエッジで結合されている。図 8 のオートエンコーダによれば、入力層に入力された値に基づき、エッジを介して接続された次の層のノードにエッジに設定された関数で計算された値を伝達し、最終的に出力層から結果を得ることができる。

[0097] つまり、ニューラルネットワークが全体として一つの複雑な関数を構成している。オートエンコーダは、教師なし学習器の一種で、入力層に入力したデータと、出力層から出力されるデータが近づくように各パラメータ (重み) を学習する。入力するデータは、多数用意し、いずれのデータに対しても入力と出力の間の誤差が小さくなるように重みであるパラメータを調整することで、入力される信号の特性をネットワークが学習していく。

[0098] 図 8 の例示では、理解を容易にするため、入力層のノード数を 3、出力層のノード数を 3 としたが、入出力のノード数は、対象とする入力の変数の数 N (例えば図 6 の例示では $N = 100$) に合わせる必要があり、入出力のノード数は、例えば、図 6、7 の例示では、それぞれ 100 としてもよい。また、説明のため、図 8 の例示では、中間層のノード数を 2、中間層の総数を 1 としたが、中間層のノード数及び層数は、これに限定されるものではない。

。

[0099] 初期状態学習部 13 は、ネットワークに初期学習用状態特徴量 l_{sc} である状態特徴量 s_{c1} を入力すると出力として状態特徴量 s_{c1} の推定値である s_{c1}' が得られるよう、ニューラルネットワークを学習する。そして、学習後のニューラルネットワークモデルを、初期状態学習結果 s_{lr} として出力する。初期状態学習結果 s_{lr} は、モデルを特定することができればよく、例えば、モデルのパラメータ、モデルの構造などでもよい。初期条件学習部 17 は、ネットワークに初期学習用条件特徴量 l_{cc} である条件特徴量 c_{c1} を入力すると、出力として条件特徴量 c_{c1} の推定値である c_{c1}' が得られるよう、ニューラルネットワークを学習する。学習後のニューラルネットワークモデルを初期条件学習結果 c_{lr} として出力する。初期条件学習結果 c_{lr} は、モデルを特定することができればよく、例えば、モデルのパラメータ、モデルの構造などでもよい。

[0100] 図 8 では、初期状態学習部 13、初期条件学習部 17 の例示として、オートエンコーダを用いた構成を説明したが、本実施の形態は、この構成に限定されるものではない。オートエンコーダと異なる初期状態学習部 13、初期条件学習部 17 の構成の例としては、自己組織化写像 (Self-organizing map, SOM)、MT 法 (Mahalanobis Taguchi Method)、主成分分析 (principal component analysis, PCA)、1 クラスサポートベクターマシン (One class support vector machine, OCSVM)、k 近傍法 (k Nearest Neighbors method)、アイソレーションフォレスト (Isolation Forest) などを挙げることができる。上記に例示した手法と異なる手法でも、予め入力した特徴量を学習し、学習後に得られた特徴量の特性と学習済みの特徴量の特性とが、どの程度乖離しているかを評価可能な学習の手法であれば、初期状態学習部 13 又は初期条件学習部 17 の学習手法として用いることができる。

[0101] 図 8 の例示では、初期状態学習部 13 と初期条件学習部 17 とを同じ構成を有するとして説明した。必ずしも、初期状態学習部 13 と初期条件学習部 17 の構成は、同一である必要はなく、異なる学習方法を組み合わせてもよ

い。ただし、状態特徴量 s_c と条件特徴量 c_c とが同一の複雑性を保つ場合には、初期状態学習部 13 と初期条件学習部 17 とを、同程度の説明能力を持つ学習方法で構成する方が望ましい。例えば、初期状態学習部 13 と初期条件学習部 17 の、ニューラルネットワークのノード数やエッジ数を同一とすることが望ましい。また、初期状態学習部 13 と初期条件学習部 17 の、入力データの数を同じとすることが望ましい。

[0102] 異常度計算部 14 と未知度計算部 18 の動作について説明する。異常度計算部 14 は、初期状態学習結果 $s_l r$ と検知用状態信号 $d s s$ とに基づいて、異常度 a_n を計算する。異常度 a_n を、初期学習用状態信号 $l s s$ と検知用状態信号 $d s s$ との乖離の度合いとしてもよい。例えば、異常度計算部 14 は、初期状態学習結果 $s_l r$ を用いて構成したモデルに、検知用状態特徴量 $d s c$ を入力する。そして、初期学習用状態特徴量 $l s c$ と検知用状態特徴量 $d s c$ との乖離の度合いを計算し、この乖離の度合い、乖離の度合いを示す情報などを異常度 a_n としてもよい。

[0103] 図 8 の例示のように、学習にオートエンコーダを用いる場合、例えば、オートエンコーダに入力した状態特徴量 s_c と、オートエンコーダから出力された状態特徴量 s_c の推定値との差を異常度 a_n としてもよい。状態特徴量 s_c と状態特徴量 s_c の推定値は、どちらもベクトル量であるため、両者の差もベクトル量となる。図 8 の例示では、異常度 a_n をスカラー値として評価するため、両者の差である残差ベクトルの 2 乗和の平方根を異常度 a_n とする。

[0104] オートエンコーダを用いた異常度 a_n の計算方法として、前述のような入力と出力との差ではなく、学習時の中間層の値と評価時の中間層の値との差を異常度 a_n とする方法もある。中間層のノードが一つの場合、学習時の中間層の平均値と、推論時（検知時）の中間層の値との差を計算し、差の大きさを異常度 a_n としてもよい。中間層に複数のノードがある場合は、前述の入出力の差を計算する場合と同様に、それぞれの推論時の中間層の値から学習時の中間層の平均値を引いた残差ベクトルの 2 乗和の平方根を異常度 a_n

とする。

[0105] 学習方法に、自己組織化写像を用いる場合、量子化誤差 (minimum quantization error, MQE) を異常度 a_n として用いてもよい。主成分分析を用いる場合、 T^2 統計量や Q 統計量を異常度 a_n として用いてもよい。1 クラスサポートベクターマシンを用いる場合、写像後の空間上の原点からの距離を異常度 a_n として用いてもよい。 k 近傍法を用いる場合、評価したい特徴量と、評価したい特徴量からの距離が近い k 個の学習済みの特徴量との距離を異常度 a_n としてもよい。

[0106] 未知度計算部 18 は、初期条件学習結果 $c_l r$ と検知用条件信号 $d c s$ とに基づいて、初期学習用条件信号 $l c s$ と検知用条件信号 $d c s$ との乖離の度合いである未知度 u_n を計算する。例えば、未知度計算部 18 は、初期条件学習結果 $c_l r$ を用いてモデルを構成する。そして、構成したモデルに対して検知用条件特徴量 $d c c$ を入力し、構成したモデルからの出力と、検知用条件特徴量 $d c c$ との乖離の度合いを計算する。この乖離の度合いを未知度 u_n としてもよい。

[0107] 図 8 の例示のように、オートエンコーダを学習に用いる場合、入力した検知用条件特徴量 $d c c$ とモデルから出力された推定値との差を未知度 u_n としてもよい。検知用条件特徴量 $d c c$ とモデルから出力された検知用条件特徴量 $d c c$ の推定値は、どちらもベクトル量のため、ベクトルの差もまた、ベクトルとなる。そのため、未知度 u_n をスカラー値として評価するため、ベクトルの差である残差ベクトルの 2 乗和の平方根を未知度 u_n としてもよい。

[0108] 図 9 は、本実施の形態による異常検知装置 1 から異常判定部 19 を省いた構成の一例を示す図である。異常検知装置 1 の構成から異常判定部 19 を省いた構成を、異常検知装置 1 p と称する。図 9 において、図 1 と同じ構成要素、信号については同一の符号を付す。

[0109] 異常検知装置 1 p は、図 1 に示す異常検知装置 1 の構成から、条件信号生成部 15、条件特徴量生成部 16、初期条件学習部 17、及び未知度計算部

18の4つの構成要素を省いたものである。また、異常検知装置1pは、図1に示す異常検知装置1の異常判定部19に代えて、異常判定部19aを備える。異常判定部19aと異常判定部19との相違点について説明する。異常判定部19は、異常度 a_n 及び未知度 u_n に基づいて判定を実行する。一方、異常判定部19aは、未知度 u_n を用いず、異常度 a_n に基づいて判定を実行する。

[0110] 異常検知装置1pは、上記以外の点については、異常検知装置1と同じである。図10は、本実施の形態による異常検知装置1から異常判定部19を省いた構成が生成する異常度 a_n 及び判定結果 j_r の時間変化の一例である。言い換えれば、図10は、異常検知装置1pが生成する異常度 a_n 及び判定結果 j_r の時間変化の一例である。図11は、本実施の形態による異常検知装置1から異常判定部19を省いた構成が生成する異常度 a_n 、未知度 u_n 及び判定結果 j_r の時間変化の図10とは別の一例である。言い換えれば、図11は、異常検知装置1pが生成する異常度 a_n 及び判定結果 j_r の時間変化の一例である。

[0111] そして、図10、図11の判定結果 j_r は、異常検知装置1pの異常判定部19aが判定結果 j_r を出力したものである。一方、後述する図12は、異常検知装置1の異常判定部19が未知度 u_n を用いて異常判定を行った動作である。両者を比較して、未知度 u_n を用いる効果を説明する。

[0112] 図10、図11の横軸は時間を表し、単位は時間(hr)である。図10(a)及び図11(a)は、異常度 a_n の時間変化である。図10(a)及び図11(a)の縦軸は異常度 a_n を示している。図10(b)及び図11(b)は、判定結果 j_r の時間変化である。図10(b)及び図11(b)の縦軸は、判定結果 j_r を示している。図10(a)と図10(b)において、時間軸上の同じ符号が付された2つの位置は、同じ時刻を表している。また、図11(a)と図11(b)において、時間軸上の同じ符号が付された2つの位置は、同じ時刻を表している。

[0113] 図10の例示は、異常検知装置1pの運用を開始してから t_{a1} だけの時

間が経過した時刻である時刻 t_{a1} から、時刻 t_{g1} までの異常度 a_n の値を1時間毎にプロットしている。異常検知装置 1 p の運用を開始してから時刻 t_{a1} までの間に機械装置 2 の初期状態学習は完了済みであるとする。時刻 t_{a1} から時刻 t_{d1} までの間、異常度 a_n は、多少のばらつきは含むものの、全て 0 から 1 までの間にプロットされており、概ね時間変化の小さい特性を示している。また、時刻 t_{d1} から時刻 t_{g1} までの間、異常度 a_n は運用時間の経過に従い徐々に増加している。これは、時刻 t_{d1} 以降、機械装置 2 が徐々に劣化することを反映している。異常度 a_n は、時刻 t_{e1} で初めて 1 を超え、時刻 t_{f1} 以降は、全ての異常度 a_n が 1 を超えている。

[0114] 図 10 (a) の例示では、異常判定部 19 a が判定結果 j_r を算出する際に用いる異常度 a_n のしきい値 $THF1$ を 1 とした。異常判定部 19 a は、異常度 a_n の値が、しきい値 $THF1$ を超える場合、異常と判定する。そして、異常度 a_n の値がしきい値 $THF1$ と同じか又はしきい値 $THF1$ を下回る場合、正常と判定する。

[0115] さらに、図 10 (a) には、機械装置 2 の真の異常度 $TRUE1$ を太線の実線で図示している。真の異常度 $TRUE1$ は、外乱の影響を完全に排除した状態量 s_a に基づく異常度 a_n であり、わかりやすく説明するための仮想的な異常度 a_n である。各時点において、検知用の状態量 s_a を、外乱の影響を完全に排除して取得し、さらに、この状態量 s_a に基づいて、検知用状態特徴量 d_{sc} 及び異常度 a_n を算出した場合に得られる異常度 a_n である。外乱の例としては、例えば、初期状態学習時と検知時とで、機械装置 2 の運転条件 oc が変更されていることなどを挙げることができる。この場合、運転条件 oc を初期状態学習時に戻して、検知用の状態量 s_a を計測することにより、外乱を排除することができる。現実には、外乱を排除することが困難、又は不可能な場合でも、ここでは、外乱を排除して真の異常度を算出することができたと仮定した場合に算出される異常度 a_n を真の異常度 $TRUE1$ と呼んでいる。なお、真の異常度 $TRUE1$ は、異常検知装置 1 p が推

定した異常度 a_n とは異なる。また、真の異常度 $TRUE_1$ は、運転条件 o_c 等の外乱に左右されない。一般的な異常検知装置の理想的な動作は、この真の異常度 $TRUE_1$ を推定し、異常を検知することが目的といえる。言い換えれば、異常度 a_n が機械装置 2 の状態を正しく表している場合、異常度 a_n は、真の異常度 $TRUE_1$ と同じ値になる。真の異常度 $TRUE_1$ を検知することは、理想であるが、実際の異常検知装置は、外乱の影響を受けるため、真の異常度 $TRUE_1$ を検知することができない場合が多い。図 10 には、真の異常度 $TRUE_1$ を、理解を容易にするためにプロットしており、必ずしも真の異常度 $TRUE_1$ を算出する必要はない。

[0116] 図 10 (b) には、異常検知装置 1 p による判定結果 j_r の時間変化を 1 時間毎にプロットしている。機械装置 2 が正常である場合、判定結果 j_r を 0 とし、機械装置 2 が異常である場合、判定結果 j_r を 1 としている。異常判定部 19 a による判定結果 j_r の出力の形態については、このような形態に限定されるものではない。判定結果 j_r の出力の形態は、判定結果 j_r から正常、異常の別を判別できるものでもよい。また、異常の度合いを知ることができるものでもよい。

[0117] また、判定結果 j_r の出力の形態には、判定結果 j_r の情報を含む信号の出力、判定結果 j_r の作業員への表示（表示しないことを含む）、警報の発令（例えば、サイレンなどの音、赤色灯など）、警報の停止（警報を出力しないことを含む）などだけでなく、機械装置 2 の停止、機械装置 2 の運転速度の低減、機械装置 2 に接続された装置の停止、機械装置 2 のメンテナンス装置の発動指示なども含むものとする。

[0118] 図 10 (b) の例示では、時刻 t_{a1} から時刻 t_{e1} までの判定結果 j_r は、正常を示す値である正常値となっている。すなわち、判定結果 j_r の値は 0 となっている。そして、判定結果 j_r は、時刻 t_{e1} で、少なくとも一度、正常値から異常値へと変化する。時刻 t_{e1} から時刻 t_{f1} までの判定結果 j_r は、異常度 a_n のばらつきに起因して正常値と異常値とが混在している。

[0119] 図10(a)によれば、機械装置2は、時刻 t_{d1} に劣化が始まり、時刻 t_{d1} 以降、徐々に劣化が進行している。時刻 t_{d1} 以降の判定結果 j_r が異常値であることは、誤検知（正常な状態を異常とする判定）には該当しない。以上、説明したように、機械装置2が図10に示す状況にある場合は、異常検知装置1pによって、誤検知が発生することなく異常検知を実施できている。すなわち、機械装置2が図10に示す状況であれば、異常検知に、未知度 u_n を利用しなくても、誤検知が発生しない。また、異常検知装置1pは、真の異常度 $TRUE_1$ に近い異常度 a_n を出力することができている。

[0120] 図11について説明する。前述のとおり、図11は、異常検知装置1pによって検知した結果の一例である。そして、図11に示す時間帯と図10に示す時間帯とは互いに異なる。図11の例示では、時刻 $t_{d1'}$ に機械装置2の劣化が始まり、時刻 $t_{d1'}$ 以降、機械装置2が徐々に劣化する。そして、時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間は、モータ20の速度が初期状態学習の時のモータ20の速度と異なる値に変更されている。そして、時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間を除く、時刻 $t_{a1'}$ から時刻 $t_{g1'}$ までの間の時間は、モータの速度が学習時のモータの速度と同じであるとしている。

[0121] 図11(a)は、異常度 a_n の時間変化を示している。図11(b)は、判定結果 j_r の時間変化を示している。図11(a)及び図11(b)の横軸は時間を表しており、単位は時間(hr)である。図11(a)の時間軸と図11(b)の時間軸とにおいて、同一の符号が示されている時刻は、同じ時刻である。また、図11の例では、異常検知装置1pの運用を開始して、 $t_{a1'}$ だけの時間が経過した時刻である時刻 $t_{a1'}$ から時刻 $t_{g1'}$ までのデータを示している。そして、時刻 $t_{a1'}$ より前に、初期状態学習部13による初期状態学習は完了しているものとして説明する。

[0122] 図11(a)において、縦軸は異常度 a_n を示し、1時間毎に異常度 a_n のデータ点をプロットしている。時刻 $t_{a1'}$ から時刻 $t_{b1'}$ までの間と

、時刻 $t_{c1'}$ から時刻 $t_{d1'}$ までの間は、異常度 a_n は、多少のばらつきは含むものの、全て 0 から 1 までの範囲にプロットされており、概ね時間変化の小さい特性を示している。

[0123] また、時刻 $t_{d1'}$ から時刻 $t_{g1'}$ までの間、異常度 a_n は、多少のばらつきは含むものの、運用時間の経過に従い徐々に増加する特性を示している。図 10 (a) と図 11 (a) との違いについて説明する。図 11 (a) では、時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間、異常度 a_n が 1 を超えている。一方、図 10 (a) では、時刻 t_{a1} から時刻 t_{d1} までの間、異常度 a_n は 1 を下回る値に維持されている。図 11 (a) の時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間の、異常度 a_n の増加は、機械装置 2 に劣化に起因するものではない。この異常度 a_n の増加は、時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間の運転の条件が初期学習の時と変更されていること、すなわち、運転条件 o_c が変更されていることに起因する。

[0124] 図 11 (a) に示すように、異常度 a_n についてのしきい値 $THF1'$ を 1 とした。そして、しきい値 $THF1'$ は、機械装置 2 が正常な場合の異常度 a_n の分布から決定されているとする。さらに、図 11 (a) には、機械装置 2 の真の異常度 $TRUE1'$ を太い実線で示している。図 11 の真の異常度 $TRUE1'$ についての説明は、図 10 の説明に記載した真の異常度 $TRUE1$ についての説明と同様であるため省略する。

[0125] また、図 11 (b) は、縦軸に判定結果 j_r をプロットしている。図 11 (b) の判定結果 j_r は、1 時間毎に取得したデータ点の間を線で結んで示している。図 11 (b) では、判定結果 j_r の形態の一例として、機械装置 2 が正常である場合、判定結果 j_r の値を 0 としてプロットし、機械装置 2 が異常である場合、判定結果 j_r の値を 1 としてプロットしている。

[0126] 異常判定部 19a は、図 10 (a) の異常度 a_n としきい値 $THF1'$ とを比較し、異常度 a_n がしきい値 $THF1'$ 以下の場合、機械装置 2 の状態を正常と判定し、判定結果 j_r を 0 とする。一方、異常度 a_n がしきい値 $THF1'$ を上回っている場合は、機械装置 2 の状態を異常とみなし、判定

結果 j_r を 1 とする。ここで、異常度 a_n がしきい値 THF_1' 以下とは、異常度 a_n の値がしきい値 THF_1' を下回るか、又は、異常度 a_n の値がしきい値 THF_1' と同じであることを意味する。

[0127] 図 11 (b) に示すように、異常判定部 19a は、時刻 t_{a1}' から時刻 t_{b1}' までの間と、時刻 t_{c1}' から時刻 t_{e1}' までの間の 2 つの時間帯は、判定結果 j_r として、正常を示す値として 0 を出力する。そして、時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' までの間、異常度 a_n が 1 を超えるため、異常判定部 19a は、判定結果 j_r として、異常を示す値 1 を出力する。

[0128] 図 10、図 11 を対比して説明したように、図 10 の例示においては、検知時の運転条件 o_c が初期学習時と同じに維持されている。一方、図 11 の例示においては、検知時間の一部の時間帯で、運転条件 o_c が初期状態学習時と変更されている。そして、図 10 の例示においては、異常検知装置 1p の検出結果に誤検知が発生しない。一方、図 11 の例示においては、上記の運転条件 o_c の初期学習時からの変更に起因して、異常検知装置 1p の検出結果に誤検知が発生している。ここで、機械装置 2 が正常である場合に機械装置 2 は異常であるという判定結果を出力するという事象を誤検知と称している。

[0129] 図 10、図 11 の対比によれば、運転条件 o_c が初期状態学習時と検知時とで異なる時間帯が検知時間に含まれる場合、未知度 u_n を利用しないで判定結果 j_r を出力する異常検知装置 1p には、誤検知が発生しうる。

[0130] 図 12 を用いて、本実施の形態の異常検知装置 1 の異常判定部 19 の動作について説明する。図 12 は、本実施の形態による異常検知装置 1 が生成する異常度 a_n 、未知度 u_n 及び判定結果 j_r の時間変化を示す図である。図 12 では、時刻 t_{d1}'' 以降、機械装置 2 が徐々に劣化する場合の時間変化を示している。また、図 12 の時刻 t_{b1}'' から時刻 t_{c1}'' までの間は、モータ 20 の速度が初期学習時と異なる設定に変更されているとしている。そして、図 12 の時刻 t_{a1}'' から時刻 t_{b1}'' までの間、及び、時刻 t_{c1}'' から時刻 t_{g1}'' までの間は、モータ 20 の速度が初期

学習時と同じ設定になっている。

[0131] 図12(a)は、異常度 a_n の時間変化を示している。図12(b)は、未知度 u_n の時間変化を示している。図12(c)は、判定結果 j_r の時間変化を示している。図12(a)、図12(b)及び図12(c)の横軸は時間を表しており、単位は時間(h r)である。図12(a)、図12(b)、図12(c)の時間軸上の時刻のうち、同じ符号を付された時刻は、同じ時刻を示している。図12の例示では、異常検知装置1の運用を開始して t_{a1}' だけの時間が経過した時刻である時刻 t_{a1}' から時刻 t_{g1}' までのデータを示している。なお、時刻 t_{a1}' より前に機械装置2についての初期学習、すなわち、初期状態学習及び初期条件学習は完了しているものとする。

[0132] 図12(a)の異常度 a_n は、1時間毎にデータ点をプロットしている。図12(a)の時刻 t_{a1}' から時刻 t_{b1}' までの間と、時刻 t_{c1}' から時刻 t_{d1}' までの間、異常度 a_n の値は、多少のばらつきは含むものの、全て0から1までの間の範囲にあり、値の変化が小さい。また、異常度 a_n は、時刻 t_{d1}' から時刻 t_{g1}' までの間、時間の経過に従って徐々に増加している。

[0133] また、図12(a)では、時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' までの間、異常度 a_n が1を超えている。この時間帯の異常度 a_n の増大は、図11(a)の時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' の間の異常度 a_n について説明した内容と同様である。つまり、図12(a)の時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' までの間の異常度 a_n の増大は、機械装置2に劣化が生じたことに起因する異常度 a_n の増加ではなく、運転の条件、言い換えれば、運転条件 o_c の変更に起因する。すなわち、図11の時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' の間と同様に、図12の時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' の間、モータ20の速度が、初期学習時に対して変更されていることに起因するとしている。

[0134] 図12では、時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' までの間、機械装置2の劣化は生じていない。このように、異常の状態ではないにも関わらず、時刻

$t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間に取得される状態特徴量 s_c の特性は、初期状態学習時の状態特徴量 s_c の特性とは異なっている。この状態特徴量 s_c の初期学習時からの変化に起因して、図 11 (a) に示す異常度 a_n は、 $THF_{1'}$ を超える大きな値となっている。

[0135] また、図 12 の異常度 a_n は、時刻 $t_{e1'}$ で 1 を超える値となり、時刻 $t_{f1'}$ より後の時刻では、全ての異常度 a_n が 1 を超えている。図 12 (a) に示すように、異常度についてのしきい値 $THF_{1'}$ を 1 としている。なお、しきい値 $THF_{1'}$ は、機械装置 2 が正常な際の異常度 a_n の分布などから決定してもよい。さらに、図 12 (a) には、異常検知装置 1 が出力した異常度 a_n とは異なり、運転条件 o_c 等の外乱に左右されない機械装置 2 の真の異常度 $TRUE_{1'}$ を太線の実線で示している。真の異常度 $TRUE_{1'}$ についての説明は、図 10 の真の異常度 $TRUE_1$ についての説明と同様である。

[0136] 図 12 (b) の縦軸は、未知度計算部 18 が計算した未知度 u_n である。図 12 (b) では、時刻 $t_{a1'}$ から時刻 $t_{b1'}$ までの間、及び、時刻 $t_{c1'}$ から時刻 $t_{g1'}$ までの間、未知度 u_n は、全て 0 から 1 までの間にプロットされている。一方、時刻 $t_{b1'}$ から時刻 $t_{c1'}$ までの間、未知度 u_n は、全て 1 から 2 までの間にプロットされている。図 12 (b) に示すように、未知度 u_n についてのしきい値 $THU_{1'}$ を 1 としている。

[0137] しきい値 $THU_{1'}$ は、初期条件学習を実施する際の未知度 u_n の分布などから決定してもよい。しきい値 $THU_{1'}$ を、初期条件学習を実施する際の未知度 u_n の分布から決定することにより、未知度 u_n から異常度 a_n が機械装置 2 の状態を正確に表しているか否かを判定することができる。例えば、異常判定部 19 は、検知時間に算出された未知度 u_n と初期条件学習の際の未知度 u_n の分布との間の乖離が大きい場合に、異常度 a_n は、機械装置 2 の状態を正確に表していないと未知度 u_n から判断してもよい。また、例えば、異常判定部 19 は、算出された未知度 u_n と初期条件学習の際

の未知度 u_n の分布との間の乖離が小さい場合に、異常度 a_n は、機械装置 2 の状態を正確に表していると、未知度 u_n から判断してもよい。

[0138] また、図 12 (c) の縦軸は、異常判定部 19 が判定した機械装置 2 の異常の有無の判定結果 j_r を示す。判定結果 j_r は、図 12 (c) の例示では、1 時間毎に算出されるデータ点を線で結んでプロットしている。判定結果 j_r の出力の形態の一例として、機械装置 2 の状態が正常である場合、判定結果 j_r を 0 とし、機械装置 2 の状態が異常である場合、判定結果 j_r を 1 としている。本実施の形態の判定結果 j_r の出力の形態は、このような形態に限定されるものではない。

[0139] 異常判定部 19 は、図 12 (a) に示す異常度 a_n としきい値 $THF1'$ とを比較する。また、図 11 (b) に示す未知度 u_n としきい値 $THU1''$ を比較する。そして、異常判定部 19 は、異常度 a_n がしきい値 $THF1''$ を上回り、かつ、未知度 u_n がしきい値 $THU1''$ 以下の場合に機械装置 2 の状態を異常とみなし、判定結果 j_r を 1 とする。

[0140] 上記以外の場合は、機械装置 2 の状態を正常とみなし、判定結果 j_r を 0 とする。ここで、上記以外の場合とは、以下に記載する第 1 の場合か又は第 2 の場合かの少なくともいずれか一方である。第 1 の場合とは、異常度 a_n がしきい値 $THF1''$ 以下となる場合である。第 2 の状態とは、未知度 u_n がしきい値 $THU1''$ を上回る場合である。

[0141] 異常判定部 19 は、判定結果 j_r を出力する際に、未知度 u_n を利用する。図 12 (c) に示すように、異常判定部 19 は、時刻 t_{a1}'' から時刻 t_{e1}'' までの間は、判定結果 j_r として、正常を示す値 0 を出力する。そして、異常検知装置 1 には、誤検知が発生していない。一方、図 11 に説明した異常判定部 19 a は、未知度 u_n を利用しない。そして、異常判定部 19 a は、図 11 (b) に示すように、時刻 t_{b1}' から時刻 t_{c1}' までの間は、判定結果 j_r として異常を示す値 1 を生成する。そして、異常検知装置 1 a には、誤検知が発生している。このように、図 12 と図 11 とを対比する説明によれば、本実施の形態の異常検知装置 1 は、未知度 u_n を利用

することにより、誤検知の少ない異常検知を実行することができる。

[0142] なお、上記のように、異常度 a_n と未知度 u_n の各々にしきい値を設定する異常判定部 19 の構成に代えて、異常度 a_n を未知度 u_n で除す処理を施した値（異常度 a_n を未知度 u_n で割った値。つまり、 a_n / u_n ）などを用いて、運転条件 o_c の違いを判定結果 j_r の出力に反映することにより、誤検知を発生しにくい異常検知装置 1 を構成しても良い。例えば、異常度 a_n を未知度 u_n で除した値に対してしきい値を設ける。そして、この値がしきい値を超えた場合に、異常であると判定する。また、異常度 a_n を未知度 u_n で除した値がしきい値以下である場合に、正常であると判定する。

[0143] 図 13 は、本実施の形態による異常判定部 19 の動作フローの一例を示す図である。ステップ S101 において、異常判定部 19 は、異常度計算部 14 が算出した異常度 a_n と、未知度計算部 18 が算出した未知度 u_n の組を取得する。一組の異常度 a_n と未知度 u_n とは、対応していることが望ましい。言い換えれば、異常度 a_n と未知度 u_n とは、同じ検知時間の間に取得された情報に基づくものであることが望ましい。つまり、異常度 a_n の生成に用いられた検知用状態信号 d_{ss} と、未知度 u_n の生成に用いられた検知用条件信号 d_{cs} とは、同じ検知時間に取得されたものであることが望ましい。また、例えば、モータ 20 を運転する際の指令速度 d_s を検知用条件信号 d_{cs} として未知度 u_n を算出した場合、当該の指令速度 d_s によってモータ 20 が運転された際のトルクを検知用状態信号 d_{ss} として異常度 a_n を決定する。このように異常度 a_n と未知度 u_n とが対応していることが望ましい。

[0144] 未知度 u_n の生成に用いる検知用条件信号 d_{cs} と、異常度 a_n の生成に用いる検知用状態信号 d_{ss} とが対応していることによって、高精度に異常検知を実行することができる。また、誤検知、見逃しなどの発生が少ない異常検知を実行することができる。

[0145] 次に、ステップ S102 において、異常判定部 19 は、異常度 a_n がしきい値 $THF1'$ を超え、かつ、未知度 u_n がしきい値 $THU1'$ 以下で

ある場合に、ステップS103へ進む。それ以外の場合には、ステップS104に進む。ここで、未知度 u_n がしきい値 $THU1'$ 以下の場合とは、未知度 u_n がしきい値 $THU1'$ と同じ場合か、又は、未知度 u_n がしきい値 $THU1'$ より小さい場合のいずれかである。ステップS102は、異常判定部19が、異常であるか又は正常であるかの判定を実施するステップとなっている。

[0146] ステップS103において、異常判定部19は、機械装置2に異常が生じていることを示す判定結果を、判定結果 j_r として出力する。ステップS104において、異常判定部19は、機械装置2に正常であることを示す判定結果を、判定結果 j_r として出力する。ステップS103、ステップS104は、必要に応じて、インターフェイスなどを通じて、判定結果 j_r を、ユーザに通知する動作を含んでもよい。以上が、図12の動作フローの説明である。

[0147] 図14は、本実施の形態による機械システム100xの構成の一例を示すブロック図である。図14を用いて本実施の形態のバリエーションを例示する。以下では、異常検知装置1との相違点について主に説明する。機械システム100xは、異常検知装置1xを備える。異常検知装置1xは、複数の機械装置2-1から機械装置2-nの監視を行う際に、学習モデルを共通化する点が異常検知装置1と異なる。複数の機械装置2-1から機械装置2-nが、ほぼ同等の特性を有している場合に、本実施の形態の図14を用いて説明する異常検知装置1xの効果は、より大きく発揮される。

[0148] 上記の同等の特性の例としては、例えば、機械装置2-1から機械装置2-nは、同じ仕様で製造されており、異なる運転条件 oc によって運転を行う場合を挙げることができる。また、別の例としては、機械装置2-1から機械装置2-nを駆動するモータが共通しており、もっぱら、モータの動きに起因する異常を検知し、運転条件 oc 、状態量 sa は、モータ又はモータの駆動対象に関するものである場合を挙げることができる。異常検知装置1xは、機械装置2-k（ k は1から n までの整数）からの状態信号 $ss-k$

を取得する。また、制御装置 3-k からの運転条件 $oc-k$ を取得するとする。

[0149] 初期状態学習部 13x は、初期学習用状態特徴量 $isc-1$ に基づいて初期状態学習結果 $sir-1$ を出力する。そして、異常度計算部 14x は、初期状態学習結果 $sir-1$ 及び検知用状態特徴量 $dsc-k$ に基づいて、機械装置 2-k についての異常度 $an-k$ を出力する。

[0150] また、初期条件学習部 17x は、初期学習用条件特徴量 $icc-1$ に基づいて初期条件学習結果 $cir-1$ を出力する。そして、未知度計算部 18x は、初期条件学習結果 $cir-1$ 及び検知用条件特徴量 $dcc-k$ に基づいて、機械装置 2-k についての未知度 $un-k$ を出力する。

[0151] 異常判定部 19 は、異常度 $an-k$ 及び未知度 $un-k$ に基づいて機械装置 2-k についての判定結果 $jr-k$ を出力する。異常検知装置 1x は、 $k=1$ から n までの機械装置 2-k の学習モデルを共通化しているため、 $k=1$ から n までの機械装置 2-k の各々について計算モデルを用意した場合に比べて計算負荷を減らすことができる。また、初期状態学習の際のデータを並行して多数用意することができる。以上が、図 14 に示す本実施の形態のバリエーションについての説明である。

[0152] 図 1 に示す本実施の形態の異常検知装置 1 のバリエーションを説明する。図 13 のフロー図では、異常度 an と未知度 un との各々について、各 1 つずつ、しきい値が設けられている。これを、異常度 an 及び未知度 un の値に複数のしきい値を設けて複数の範囲に区切り、異常度 an が含まれる範囲と、未知度 un が含まれる範囲との組み合わせに基づいて、異常か正常かを判定してもよい。

[0153] また、図 13 のフロー図では、異常と正常の 2 種類のいずれかを判定結果 jr として出力するが、異常判定部 19 は、異常度 an と未知度 un とに応じて、3 種類以上の判定結果 jr を出力する構成としてもよい。例えば、重度の異常、軽度の異常、さらに軽度の要観察の正常、観察不要の正常の 4 段階の判定結果 jr を決定する構成としてもよい。そして、このとき、上述し

た、異常度 a_n 又は未知度 u_n に複数のしきい値を設ける構成としてもよい。また、図 13 のフロー図では、1 組の異常度 a_n と未知度 u_n とを使用して異常の検知を実行するが、異常度 a_n と未知度 u_n との組を複数組算出して、各々の組について、異常状態か又は正常状態かの判定結果を出力してもよい。ここで、組に応じて異なる異常度 a_n を使用してもよく、同じ異常度 a_n を使用してもよい。また、組に応じて異なる未知度 u_n を使用してもよく、同じ未知度 u_n を使用してもよい。なお、以上に説明した変形例は、互いに組み合わせて実施することもできる。

[0154] 特許文献 1 の制御装置は、負荷条件を、単一の数値を用いて、言い換えれば、単一のスカラー値を用いて定量的に表現する。特許文献 1 の制御装置では、単一の数値の負荷条件によって表現できない場合、第 2 閾値の値は不正確になり、判定の結果も誤検知、見逃しなどが発生しやすいものとなる。機械装置の状態の変化を負荷条件によって表現できない場合の例としては、機械設備の状態が時間的に複雑に変化する場合、機械設備の負荷条件は同一で、外部環境が変化する場合などを挙げることができる。本実施の形態の異常検知装置 1 によれば、時系列の信号を利用した条件学習を行う。そのため、学習モデル生成時と評価時（検知時）との間に複雑な変化が発生した場合でも、正確に判定を行うことができる。

[0155] 本実施の形態に説明した異常検知装置 1 の一例は、状態信号生成部 11、条件信号生成部 15、状態特徴量生成部 12、条件特徴量生成部 16、初期状態学習部 13、初期条件学習部 17、異常度計算部 14、及び、未知度計算部 18 を備える。

[0156] 状態信号生成部 11 は、機械装置 2 の状態を時系列に検出した状態信号 s_s を生成する。条件信号生成部 15 は、機械装置 2 の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号 c_s を生成する。状態特徴量生成部 12 は、状態信号 s_s に基づいて状態特徴量 s_c を生成する。条件特徴量生成部 16 は、条件信号 c_s に基づいて条件特徴量 c_c を生成する。初期状態学習部 13 は、初期状態学習時の状態特徴量 s_c である初期学習用状態特徴量 l_s

cに基づき学習した結果を初期状態学習結果s | rとして出力する。

[0157] 初期条件学習部17は、初期条件学習時の条件特徴量ccである初期学習用条件特徴量lccに基づき学習した結果を初期条件学習結果c | rとして出力する。異常度計算部14は、初期状態学習結果s | r又は追加状態学習結果as | rを状態学習結果として取得し、状態学習結果と検知時の状態特徴量scである検知用状態特徴量dscとに基づいて異常度anを計算する。未知度計算部18は、初期条件学習結果c | r又は追加条件学習結果ac | rを条件学習結果として取得し、条件学習結果と検知時の条件特徴量ccである検知用条件特徴量dccとに基づいて未知度unを計算する。ここで、条件特徴量ccの検知時と状態特徴量scの検知時とは同じであることが望ましい。

[0158] また、本実施の形態の異常検知装置1は、異常判定部19を備えてもよい。異常判定部19は、異常度anと未知度unとに基づいて機械装置2の異常を検知する。また、上記の異常判定部19は、異常度anがあらかじめ定めた第1のしきい値より大きく未知度unがあらかじめ定めた第2のしきい値より小さい場合に機械装置2の状態を異常と判定する。また、異常度anが第1のしきい値以下であるか又は未知度unが第2のしきい値以上である場合に機械装置2の状態が正常であると判定してもよい。

[0159] また、条件特徴量生成部16は、複数の時点の条件信号csから算出した複数の統計量を条件特徴量ccとして生成してもよい。また、条件特徴量生成部16は、時系列の条件信号csの周波数解析による周波数特性を条件特徴量ccとして生成してもよい。また、機械装置2はモータ20に駆動されて動作してもよい。そして、運転条件ocは、モータ20の位置、モータ20の速度、モータ20の加速度、モータ20のジャーク、モータ20の駆動力のうちの少なくともいずれかひとつの時間応答の形状を規定する制御信号としてもよい。

[0160] 本実施の形態に説明した機械システムの一例は、機械装置2、状態信号生成部11、条件信号生成部15、状態特徴量生成部12、条件特徴量生成部

16、初期状態学習部13、初期条件学習部17、異常度計算部14、及び、未知度計算部18を備える。

[0161] 状態信号生成部11は、機械装置2の状態を時系列に検出した状態信号 s_s を生成する。条件信号生成部15は、機械装置2の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号 c_s を生成する。状態特徴量生成部12は、状態信号 s_s に基づいて状態特徴量 s_c を生成する。条件特徴量生成部16は、条件信号 c_s に基づいて条件特徴量 c_c を生成する。初期状態学習部13は、初期状態学習時の状態特徴量 s_c である初期学習用状態特徴量 l_{s_c} に基づき学習した結果を初期状態学習結果 s_l_r として出力する。

[0162] 初期条件学習部17は、初期条件学習時の条件特徴量 c_c である初期学習用条件特徴量 l_{c_c} に基づき学習した結果を初期条件学習結果 c_l_r として出力する。異常度計算部14は、初期状態学習結果 s_l_r 又は追加状態学習結果 $a_{s_l_r}$ を状態学習結果として取得し状態学習結果と検知時の状態特徴量 s_c である検知用状態特徴量 d_{s_c} とに基づいて異常度 a_n を計算する。未知度計算部18は、初期条件学習結果 c_l_r 又は追加条件学習結果 $a_{c_l_r}$ を条件学習結果として取得し条件学習結果と検知時の条件特徴量 c_c である検知用条件特徴量 d_{c_c} とに基づいて未知度 u_n を計算する。ここで、条件特徴量 c_c の検知時と状態特徴量 s_c の検知時とは同じであることが望ましい。

[0163] 本実施の形態に説明する異常検知方法の一例は、状態信号生成工程、条件信号生成工程、状態特徴量生成工程、条件特徴量生成工程、初期状態学習工程、初期条件学習工程、異常度計算工程、未知度計算工程を備える。

[0164] 状態信号生成工程は、機械装置2の状態を時系列に検出した状態信号 s_s を生成する。条件信号生成工程は、機械装置2の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号 c_s を生成する。状態特徴量生成工程は、状態信号 s_s に基づいて状態特徴量 s_c を生成する。条件特徴量生成部16は、条件信号 c_s に基づいて条件特徴量 c_c を生成する。初期状態学習工程は、初期状態学習時の状態特徴量 s_c である初期学習用状態特徴量 l_{s_c} に基づ

き学習した結果を初期状態学習結果 $s \mid r$ として出力する。

[0165] 初期条件学習工程は、初期条件学習時の条件特徴量 $c \mid c$ である初期学習用条件特徴量 $l \mid c \mid c$ に基づき学習した結果を初期条件学習結果 $c \mid l \mid r$ として出力する。異常度計算工程は、初期状態学習結果 $s \mid l \mid r$ 又は追加状態学習結果 $a \mid s \mid l \mid r$ を状態学習結果として取得し状態学習結果と検知時の状態特徴量 $s \mid c$ である検知用状態特徴量 $d \mid s \mid c$ とに基づいて異常度 $a \mid n$ を計算する。未知度計算工程は、初期条件学習結果 $c \mid l \mid r$ 又は追加条件学習結果 $a \mid c \mid l \mid r$ を条件学習結果として取得し条件学習結果と検知時の条件特徴量 $c \mid c$ である検知用条件特徴量 $d \mid c \mid c$ とに基づいて未知度 $u \mid n$ を計算する。ここで、条件特徴量 $c \mid c$ の検知時と状態特徴量 $s \mid c$ の検知時とは同じであることが望ましい。

[0166] なお、本実施の形態では、誤検知の抑制について説明してきたが、見逃しの抑制についても誤検知と同様に抑制することが可能である。なお、本開示では、異常が発生していない正常な機械装置 2 について、異常の判定結果 $j \mid r$ を出力することを誤検知と称する。一方、異常が発生している機械装置 2 に対して、正常の判定結果 $j \mid r$ を出力することを見逃しと称している。また、判定結果が、重度の異常、軽度の異常、正常の 3 段階に出力される場合など、3 以上の判定結果が出力される場合にも、誤検知の抑制と同様に誤った判定結果の出力を抑制することができる。以上説明したように、本実施の形態における異常検知装置 1 によれば、機械装置 2 の運転の条件が変化する場合でも、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力の少ない異常検知を実行することができる。また、初期状態学習を実行する際の機械装置 2 の運転の条件と、異常検知の対象となる機械装置 2 の運転の条件とが異なる場合においても、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力の発生を抑制することができる。本実施の形態に説明した形態では、初期学習用条件信号 $l \mid c \mid s$ と検知用条件信号 $d \mid c \mid s$ とが異なる場合においても、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力の発生を抑制することができる。ここで、運転の条件とは、本実施の形態であれば、運転条件 $o \mid c$ である。ここで、本開示の誤った判定結果の出力とは、作業への表示、判定結果を示す信号の出力などが

誤ったものとなることだけでなく、機械装置 2 の運転状態の変更が誤ったものとなることも含むものとする。

[0167] 本実施の形態における異常検知装置によれば、機械装置 2 で発生する異常を検知するシステムにおいて、運転の条件が複雑に変化する機械装置 2 に対しても、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力を抑制することができる。

[0168] 実施の形態 2.

図 15 は、本実施の形態による機械システム 100a の構成の一例を示すブロック図である。機械システム 100a は、実施の形態 1 の異常検知装置 1 に代えて異常検知装置 1a を備える。異常検知装置 1a は、異常検知装置 1 の構成要素に加えて、追加条件学習部 22 及び追加状態学習部 23 を備える。また、異常検知装置 1a は、未知度計算部 18 に代えて未知度計算部 18a を備える。また、異常検知装置 1a は、異常度計算部 14 に代えて異常度計算部 14a を備える。また、異常検知装置 1a は、異常判定部 19 に代えて異常判定部 19a を備える。このような点について、異常検知装置 1a は、異常検知装置 1 と異なる。図 15 において、実施の形態 1 の図 1 と同じ構成要素又は対応する構成要素については、同じ符号を付す。

[0169] 図 16 は、本実施の形態による追加条件学習部 22 の構成の一例を示すブロック図である。追加条件学習部 22 は、条件特徴量 c を記憶する条件特徴量記憶部 221、及び、追加の条件学習である追加条件学習を実行するかどうかを判定する条件学習判定部 222 を備える。また、追加条件学習部 22 は、条件特徴量 c を抽出する条件特徴量抽出部 223、及び、追加条件学習を実行する追加条件学習実行部 224 を備える。追加条件学習実行部 224 は、条件特徴量抽出部 223 が抽出した検知用条件特徴量 d について追加条件学習を実行する。

[0170] 図 17 は、本実施の形態による追加状態学習部 23 の構成の一例を示すブロック図である。追加状態学習部 23 は、状態特徴量 s を記憶する状態特徴量記憶部 231、及び、未知度 u の各々について追加の状態学習である

追加状態学習を実行するか否かを判定する状態学習判定部 232 を備える。

また、追加状態学習部 23 は、状態特徴量 s_c を抽出する状態特徴量抽出部 233、及び、追加状態学習を実行する追加状態学習実行部 234 を備える。追加状態学習実行部 234 は、状態特徴量抽出部 233 が抽出した検知用状態特徴量 d_{sc} について追加状態学習を実行する。

[0171] 図 16 に示す追加条件学習部 22 の各構成要素の形態を例示する。条件特徴量記憶部 221 は、検知用条件特徴量 d_{cc} を、一定の時間の間、記憶する。ここで、検知用条件特徴量 d_{cc} は、時系列に複数出力されとする。そして、未知度計算部 18a は、初期条件学習結果 c_{lr} と時系列に出力される複数の検知用条件特徴量 d_{cc} の各々に基づいて、未知度 u_n を、時系列に複数出力する。条件学習判定部 222 は、この複数の未知度 u_n の各々について、追加条件学習を実行するか否かの判定を実行する。例えば、条件学習判定部 222 は、取得した未知度 u_n を、あらかじめ定めたとしきい値（第 3 のしきい値）と比較してもよい。

[0172] 条件学習判定部 222 の動作を例示する。複数の未知度 u_n のうちのひとつを未知度 u_{n-i} （ i は 1 以上の整数）とする。そして、複数の未知度 u_n のうちのひとつであって、未知度 u_{n-i} とは異なる未知度 u_n を、未知度 u_{n-j} （ j は i と異なる 1 以上の整数）とする。ここで、 i 及び j の各々は、未知度 u_{n-i} 及び未知度 u_{n-j} の引数であるとする。比較の結果、未知度 u_{n-i} は第 3 のしきい値以下であり、未知度 u_{n-j} が第 3 のしきい値より大きいとする。この場合、条件学習判定部 222 は、引数 i を出力し、引数 j を出力しない。以上が条件学習判定部 222 の動作の例示である。

[0173] 条件特徴量抽出部 223 は、条件学習判定部 222 が出力した引数 i を取得する。そして、取得した引数 i に対応する検知用条件特徴量 d_{cc-i} を、条件特徴量記憶部 221 の記憶する複数の検知用条件特徴量 d_{cc} の中から抽出する。追加条件学習実行部 224 は、抽出された検知用条件特徴量 d_{cc-i} に基づく条件学習を実行する。この条件学習を追加条件学習と称す

る。実施の形態 1 に説明した初期条件学習及び追加条件学習は、条件学習に含まれる。言い換えれば、初期条件学習及び追加条件学習の各々は、条件学習の一形態である。

[0174] 追加条件学習実行部 224 が実行する追加条件学習の形態は、初期学習用条件特徴量 lcc に代えて検知用条件特徴量 dcc に基づいて条件学習を行う点を除き、実施の形態 1 に説明した初期条件学習の形態と同じとしてもよい。また、実施の形態 1 に説明した初期条件学習の変形例は、追加条件学習についても適用可能である。なお、追加条件学習を初期条件学習と同じ形態で行ってもよく、異なる形態で行うこともでき、同じ形態とすることが望ましい。追加条件学習と初期条件学習とを、同じ形態とすることによって、追加条件学習後の未知度 un が追加条件学習前の未知度 un と同じように算出されるため、異常判定部 19a が実行する判断に、一貫性を持たせることができる。前述の、異常判定部 19a が実行する判断とは、異常度 an 及び未知度 un に基づく異常検知の判断である。ここで、追加条件学習の結果を追加条件学習結果 $alcr$ と称する。前述のように、初期条件学習結果 clr 及び追加条件学習結果 $alcr$ は、条件学習結果に含まれる。図 16 の例示では、追加条件学習実行部 224 は、引数 i に対応する追加条件学習結果 $alcr-i$ を出力する。以上が、図 16 に示す追加条件学習部 22 の構成要素についての説明である。

[0175] さらに、追加条件学習実行部 224 が追加条件学習結果 $alcr$ を出力した後の処理について説明する。図 15 のように、未知度計算部 18a は、条件学習結果を、初期条件学習結果 clr から追加条件学習結果 $alcr$ に更新する。そして、未知度計算部 18a は、更新後の条件学習結果である追加条件学習結果 $alcr$ と更新後に取得した検知用条件特徴量 dcc とに基づいて未知度 un を計算する。図 15 の例示では、未知度計算部 18a の未知度 un の計算方法は、追加条件学習結果 $alcr$ の取得の前後で、初期条件学習結果 clr に代えて追加条件学習結果 $alcr$ を用いることを除いて同じとして説明している。追加条件学習結果 $alcr$ の取得の前後で、未知度

u_n の計算方法を変化させてもよい。異常判定部19aの動作については、追加状態学習部23の説明の後に後述する。

[0176] なお、図16の例示では、未知度 u_n と条件特徴量 c_c （この場合は、検知用条件特徴量 d_{cc} ）とを対応付けるために、未知度 u_{n-i} に引数 i を設けている。しかしながら、未知度 u_n と条件特徴量 c_c とを対応付けるために、引数と異なるものを利用してもよい。例えば、データに付すことのできる、引数 i とは異なる符号、記号などを用いて対応付けてもよい。また、例えば、引数に代えて、条件信号 c_s 、条件特徴量 c_c 、未知度 u_n などの互いに対応する一組のデータに同じ番号を付して対応付けてもよい。また、未知度 u_{n-i} の算出に用いた条件特徴量 c_c を条件特徴量 c_{c-i} とし、条件特徴量 c_{c-i} を求めるのに用いた運転条件 o_c を、運転条件 o_{c-i} とする。この場合、運転条件 o_{c-i} を取得した時刻を、引数 i に代えて未知度 u_n 、条件特徴量 c_c に付すことによって対応付けてもよい。

[0177] 次に、図17に示す追加状態学習部23の形態を例示する。追加状態学習部23は、状態特徴量記憶部231、状態学習判定部232、状態特徴量抽出部233、及び、追加状態学習実行部234を備える。状態特徴量記憶部231は、検知用状態特徴量 d_{sc} を、一定の時間の間、記憶する。ここで、図17の例示では、検知用状態特徴量 d_{sc} が、時系列に複数出力されるとする。一方、未知度計算部18aは、初期条件学習結果 c_{lr} と時系列に出力される複数の検知用条件特徴量 d_{cc} の各々に基づいて、未知度 u_n を、時系列に複数出力する。状態学習判定部232は、未知度計算部18aから出力される複数の未知度 u_n の各々について、追加状態学習を実行するか否かの判定を実行する。

[0178] 状態学習判定部232の動作を例示する。例えば、状態学習判定部232は、取得した未知度 u_n を、あらかじめ定めたしきい値（第4のしきい値）と比較してもよい。複数の未知度 u_n のうちのひとつを未知度 u_{n-m} （ m は1以上の整数）とする。そして、複数の未知度 u_n のうちのひとつであって、未知度 u_{n-m} とは異なるひとつを、未知度 u_{n-n} （ n は m と異なる1

以上の整数)とする。ここで、 m 及び n の各々は、未知度 u_{n-m} 及び未知度 u_{n-n} の引数であるとする。比較の結果、未知度 u_{n-m} は第4のしきい値以下であり、未知度 u_{n-n} は第4のしきい値より大きいとする。この場合、条件学習判定部222は、引数 m を出力し、引数 n を出力しない。以上が、状態学習判定部232の動作の例示である。

[0179] 状態特徴量抽出部233は、状態学習判定部232が出力した引数(図17の例示では引数 m)に対応する検知用状態特徴量 $dsc-m$ を、状態特徴量記憶部231の記憶する複数の検知用状態特徴量 dsc の中から抽出する。追加状態学習実行部234は、抽出された検知用状態特徴量 $dsc-m$ に基づく状態学習を実行する。この状態学習を、追加状態学習と称する。前述したとおり、実施の形態1に説明した初期状態学習及び本実施の形態に説明する追加状態学習は、状態学習に含まれる。言い換えれば、初期状態学習及び追加状態学習の各々は、状態学習の一形態である。

[0180] 図17の例示のように、追加状態学習の形態は、初期学習用状態特徴量 lsc に代えて検知用状態特徴量 dsc に基づいて状態学習を行う点を除き、実施の形態1に説明した初期状態学習の形態と同じとしてもよい。なお、追加状態学習を初期状態学習と同じ形態で行ってもよく、異なる形態で行うこともできるが、同じ形態とすることが望ましい。追加状態学習と初期状態学習とを、同じ形態とすることによって、追加状態学習後の異常度 a_n が追加状態学習前の異常度 a_n と同じように算出されるため、異常判定部19aが実行する判断に、一貫性を持たせることができる。前述の、異常判定部19aが実行する判断とは、異常度 a_n 及び未知度 u_n に基づく異常検知の判断である。なお、実施の形態1に説明した初期状態学習の変形例は、追加状態学習についても適用可能である。

[0181] ここで、追加状態学習の結果を追加状態学習結果 $aslr$ と称する。初期状態学習結果 slr 及び追加状態学習結果 $aslr$ は、状態学習結果に含まれる。図17の例示では、追加状態学習実行部234は、引数 m に対応する追加状態学習結果 $aslr-m$ を出力している。以上が、図17に示す追加

状態学習部 23 の各構成要素についての説明である。

[0182] さらに、出力された追加状態学習結果 $a s l r$ についての処理を例示する。図 15 に示すように、異常度計算部 14 a は、保持する状態学習結果を、初期状態学習結果 $s l r$ から追加状態学習結果 $a s l r$ に更新する。そして、異常度計算部 14 a は、更新後の状態学習結果である追加状態学習結果 $a s l r$ と更新後に取得した検知用状態特徴量 $d s c$ とに基づいて異常度 $a n$ を出力する。ここで、状態学習結果の更新の前後で、異常度計算部 14 a の異常度 $a n$ の計算方法は、同じでもよく異なってもよい。更新の前後で、異常度 $a n$ の計算方法を同じとした場合、異常度 $a n$ に一貫性を持たせることができる。

[0183] さらに、異常判定部 19 a は、実施の形態 1 に説明した異常判定部 19 と同様に、異常度 $a n$ 及び未知度 $u n$ に基づいて判定結果 $j r$ を出力する。ここで、異常判定部 19 a が取得する異常度 $a n$ 及び未知度 $u n$ は、未知度計算部 18 a が条件学習結果を更新し、かつ、異常度計算部 14 a が状態学習結果を更新した後に出力されたものである。以上説明したように、本実施の形態の異常検知装置 1 a は、初期条件学習に加えて追加条件学習を実行し、初期状態学習に加えて追加状態学習を実行する。

[0184] ここで、条件学習判定部 222 は、追加条件学習結果 $a c l r$ を用いて算出された未知度 $u n$ を、さらに、追加条件学習を行うか否かの判定に用い、条件学習結果を更新してもよい。また、状態学習判定部 232 は、追加状態学習結果 $a s l r$ を用いて算出された未知度 $u n$ を、さらに、追加状態学習を行うか否かの判定に用い、適宜、状態学習結果を更新してもよい。なお、追加状態学習部 23 において、未知度 $u n$ と状態特徴量 $s c$ とを、引数以外のものによって対応付けてもよいことは、追加条件学習部 22 における未知度 $u n$ と条件特徴量 $c c$ との対応付けと同様である。

[0185] 図 18 は、追加条件学習部 22 の動作の一例を示すフロー図である。前提として、図 18 のスタート (START) より前の初期学習時間の間に、初期条件学習部 17 は、初期学習用条件特徴量 $l c c$ に基づいて初期条件学習

結果 $c \mid r$ を出力済である。そして、未知度計算部 18 a は、初期条件学習結果 $c \mid r$ を有している。

[0186] 以下に説明するのは、検知時間の動作である。このとき、異常検知装置 1 a は、異常検知を実行中である。条件特徴量生成部 16 は、検知時間における運転条件 $o c$ に基づいて検知用条件特徴量 $d c c$ を生成する。検知用条件特徴量 $d c c$ は、条件特徴量 $c c$ に含まれるので、図 15 には、条件特徴量 $c c$ の符号が示されている。

[0187] ステップ S 2021 において、条件特徴量記憶部 221 は、検知用条件特徴量 $d c c$ を記憶する。ステップ S 2022 において、条件学習判定部 222 は、引数をひとつ増加させる。例えば、時系列に取得された検知用条件特徴量 $d c c$ に、順次時間の経過に従って引数が付されている。この引数を、図 16 において説明した引数 $i - 1$ から引数 i へと更新するとしてもよい。ステップ S 2023 において、条件学習判定部 222 は、未知度 $u n - i$ が図 16 に説明した第 3 のしきい値より大きいかなかを判定する。このしきい値は、異常判定部 19 a が、異常度 $a n$ に基づいて正常又は異常の判定を行うことが適切かどうか判定するしきい値と同じ値としてもよく、異なる値としてもよい。異常判定部 19 a が、異常度 $a n$ に基づいて正常又は異常の判定を行うことが適切かどうか判定するしきい値とは、例えば、実施の形態 1 の図 12 の動作例において説明したしきい値 $T H U 1' '$ のような値である。このしきい値を、異常判定部 19 a が、異常度 $a n$ に基づいて正常又は異常の判定を行うと同じ値とした場合、異常判定部 19 a が、正常又は異常の判定を行うことが適切ではない場合に、追加条件学習が実行されるため、好適である。

[0188] 未知度 $u n - i$ がしきい値以下の場合、引数 i の未知度 $u n - i$ については、追加条件学習を行う必要がないと判断し、追加条件学習部 22 は、ステップ S 2022 へと進む。この場合、引数 i について追加条件学習は実行されず、未知度計算部 18 a が所持している条件学習結果は更新されずに維持される。そして、未知度 $u n$ の算出は、引き続き、未知度計算部 18 a が所

持っている条件学習結果と検知用条件特徴量 dcc とに基づいて行われる。
この場合、再び引数の増加がステップ S 2 0 2 2 において実行され、条件学習判定部 2 2 2 は、更新された引数 $i + 1$ の未知度 un について追加条件学習を実施するか否か判定することになる。

[0189] ステップ S 2 0 2 3 において、未知度 $un - i$ がしきい値より大きい場合、ステップ S 2 0 2 4 へと進む。ステップ S 2 0 2 4 において、条件特徴量抽出部 2 2 3 は、引数 i を取得し、条件特徴量記憶部 2 2 1 から、引数 i に対応する条件特徴量 cc 、言い換えれば、検知用条件特徴量 $dcc - i$ を抽出する。そして、追加条件学習部 2 2 は、ステップ S 2 0 2 5 へと進む。ステップ S 2 0 2 5 において、追加条件学習実行部 2 2 4 は、条件特徴量抽出部 2 2 3 が抽出した検知用条件特徴量 $dcc - i$ に基づき、追加条件学習結果 $ac lr - i$ を出力する。

[0190] ステップ S 2 0 2 5 に進んだ場合、未知度計算部 1 8 a は、これまで保持していた条件学習結果を、追加条件学習結果 $ac lr - i$ へと更新する。以上が、図 1 8 に示す追加条件学習部 2 2 の動作フローである。条件学習結果の更新が実行された後、未知度計算部 1 8 a は、更新された条件学習結果と、更新後に取得した検知用条件特徴量 dcc とに基づいて未知度 un を算出する。この未知度計算部 1 8 a の処理は、条件学習結果が次に更新されるまで、条件特徴量生成部 1 6 において生成される検知用条件特徴量 dcc の各々について実行される。

[0191] なお、図 1 8 に示す例示では、追加条件学習実行部 2 2 4 は、検知用条件特徴量 $dcc - i$ に基づき、追加条件学習結果 $ac lr - i$ を出力としている。しかしながら、本実施の形態は、このような形態に限定されるものではない。追加条件学習に用いる検知用条件特徴量 dcc の数及び検知用条件特徴量 dcc の引数を、自由に選択することができる。例えば、検知用条件特徴量 $dcc - i$ より後に取得された複数のデータを選択してもよい。一例を挙げると、検知用条件特徴量 $dcc - i + 1$ から検知用条件特徴量 $dcc - i + 100$ までのデータ数が 100 のデータを抽出する。そして、抽出

した100のデータに基づいて追加条件学習結果 acc_{r-i} を出力してもよい。そして、データを抽出する間、条件学習判定部222は、条件学習結果の更新を行わないと判断する構成としてもよい。

[0192] また、例えば、図18は、条件特徴量記憶部221などが初期条件学習に用いられた初期学習用条件特徴量 lcc を記憶する。そして、図18のステップS2025において、追加条件学習実行部224は、記憶されていた初期学習用条件特徴量 lcc とその後に取得した検知用条件特徴量 $dcc-i$ とに基づいて追加条件学習を実行してもよい。追加条件学習実行部224は、初期学習用条件特徴量 lcc を、学習データの一部として追加条件学習に利用することにより、取得される検知用条件特徴量 dcc の量が十分でない場合にも、データの不足を補って学習を行うことができる。

[0193] また、条件学習判定部222に代えて、異常判定部19aが、追加条件学習を実行するか否かを判断してもよい。言い換えれば、異常判定部19aが、未知度 un は、しきい値より大きいと判定した場合に、追加条件学習部22が追加条件学習を実行してもよい。このような形態であれば、異常判定部19aが、正常又は異常の判定を行うのが適切ではない未知の状況であるとした場合に、追加条件学習が行われるため、効率的に異常検知を行うことができる。また、このような形態の場合、条件学習判定部222を省くこともできる。

[0194] また、条件学習判定部222は、実行する未知度 un に基づいて追加条件学習を実行するか否かを判断すればよく、その方法は図18を用いて説明した方法に限定されない。例えば、未知度 un についてしきい値を設定する。そして、このしきい値を未知度 un が超えるか否かの判断を、時系列に取得した複数の un の各々について実行し、未知度 un が、しきい値をあらかじめ定めた回数だけ連続して超えた場合に、追加条件学習を実行すると判定してもよい。また、追加条件学習実行部224は、しきい値を超える未知度 un に対応する検知用条件特徴量 dcc を複数取得し、取得した複数の検知用条件特徴量 dcc に基づいて追加条件学習を実施してもよい。このような形

態によって、追加条件学習を実行するか否かの判定を行えば、時系列に連続した複数の未知度 u_n の値によって追加条件学習の実行可否を判断できるため、追加条件学習の実行可否について誤った判断が発生しにくいという利点がある。

[0195] 上記のように、追加条件学習を実施することによって、未知の運転条件 o_c 、検知用条件特徴量 d_{cc} などが算出された場合に、異常検知装置 1 a は、未知の運転条件 o_c 、検知用条件特徴量 d_{cc} などの情報を取得する。そして、未知の運転条件 o_c 、検知用条件特徴量 d_{cc} などに対応した異常検知を実行することができる。これにより、多様な運転条件 o_c 、多様な検知用条件特徴量 d_{cc} に対して、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力が少ない異常検知を実行することができる。

[0196] 図 19 は、本実施の形態による追加状態学習部 23 の動作の一例を示すフロー図である。前提として、図 19 のスタート (START) より前の初期学習時間の間に、初期状態学習部 13 は、初期学習用状態特徴量 l_{sc} に基づいて初期状態学習結果 s_{lr} を出力済である。そして、異常度計算部 14 a は、初期状態学習結果 s_{lr} を有している。

[0197] 以下に説明するのは、初期学習時間の後の検知時間の動作である。このとき、異常検知装置 1 a は、異常検知を実行中である。状態特徴量生成部 12 は、検知時間における状態量 s_a に基づいて検知用状態特徴量 d_{sc} を生成する。検知用状態特徴量 d_{sc} は、状態特徴量 s_c に含まれるので、図 15 中には、状態特徴量 s_c の符号が示されている。

[0198] ステップ S2151 において、状態特徴量記憶部 231 は、検知用状態特徴量 d_{sc} を記憶する。ステップ S2152 において、例えば状態学習判定部 232 は、引数をひとつ増加させる。例えば、時系列に取得された検知用状態特徴量 d_{sc} に、順次時間の経過に従って引数が付されている。この引数を、図 17 において説明した引数 $m-1$ から引数 m へと更新するとしてもよい。ステップ S2153 において、状態学習判定部 232 は、未知度 u_{n-m} があらかじめ定めたしきい値より大きいかなかを判定する。このしきい

値は、異常判定部 19 a が、異常度 a_n に基づいて異常か正常化を判定する際に用いるしきい値と同じとしてもよく、異なる値としてもよい。この状態学習判定部 232 のしきい値を、異常度 a_n に基づいて異常か正常化を判定する際に用いるしきい値と同じ値とした場合、異常判定部 19 a が、正常又は異常の判定を行うことが適切ではない場合に、追加状態学習が実行されるので好適である。また、この状態学習判定部 232 のしきい値を、条件学習判定部 222 のしきい値と同じとしてもよく、異なる値としてもよい。同じ値とした場合、条件学習判定部 222、状態学習判定部 232 の一方を省くことができる。また、計算負荷を軽減することができる。さらに、追加条件学習が実行される場合に、追加状態学習も実行されるため、状態学習結果、条件学習結果が同時に更新されることになる。このような場合、未知度計算部 18 a で用いられる更新後の条件学習結果に合った更新後の状態学習結果を、異常度計算部 14 a が用いることになるため、より精度の高い異常検知を行うことができる。

[0199] 未知度 u_{n-m} があらかじめ定めたしきい値以下の場合、引数 m の未知度 u_{n-m} については、追加状態学習を行う必要がないと判断し、追加状態学習部 23 は、ステップ S 2152 へと進む。この場合、引数 m について追加状態学習は実行されず、異常度計算部 14 a が用いる状態学習結果は更新されずに維持される。そして、異常度 a_n の算出は、引き続き、異常度計算部 14 a が保持している状態学習結果と検知用状態特徴量 d_{sc} とに基づいて行われる。再び、ステップ S 2152 において、引数が m から $m+1$ へと更新され、状態学習判定部 232 は、次の引数 $m+1$ について追加状態学習を実施するか否かを判定する。

[0200] ステップ S 2153 において、未知度 u_{n-m} がしきい値より大きい場合、追加状態学習部 23 は、ステップ S 2154 へと進む。ステップ S 2154 において、状態特徴量抽出部 233 は、引数 m を取得し、状態特徴量記憶部 231 から、引数 m に対応する状態特徴量 s_c 、言い換えれば、検知用状態特徴量 d_{sc-m} を抽出する。そして、追加状態学習部 23 は、ステップ

S 2 1 5 5 へと進む。ステップ S 2 1 5 5 において、追加状態学習実行部 2 3 4 は、状態特徴量抽出部 2 3 3 が抽出した検知用状態特徴量 $dsc-m$ に基づき、追加状態学習結果 $asl-r-m$ を出力する。以上が、図 1 9 に示す追加状態学習部 2 3 の動作フローである。

[0201] ステップ S 2 1 5 5 に進んだ場合、異常度計算部 1 4 a は、これまで保持していた状態学習結果を、追加状態学習結果 $asl-r-m$ へと更新する。状態学習結果の更新が実行された後、異常度計算部 1 4 a は、更新された状態学習結果と、更新後に取得した検知用状態特徴量 dsc とに基づいて異常度 an を算出する。この更新された状態学習結果と更新後に取得した検知用状態特徴量 dsc とに基づいて異常度 an を算出する異常度計算部 1 4 a の処理は、状態学習結果が次に更新されるまでの間、状態特徴量生成部 1 2 において生成される検知用状態特徴量 dsc の各々について実行される。

[0202] なお、図 1 9 に示す例示では、追加状態学習実行部 2 3 4 は、検知用状態特徴量 $dsc-m$ に基づき、追加状態学習結果 $asl-r-m$ を出力するとしているが、このような形態に限定されるものではない。追加状態学習に用いる状態特徴量 sc は、自由に選択することができる。例えば、検知用状態特徴量 $dsc-m+1$ から検知用状態特徴量 $dsc-m+100$ までのように、検知用状態特徴量 $dsc-m$ の後に生成された 1 0 0 の検知用条件特徴量 dcc を、追加状態学習に用いてもよい。これらに基づいて追加状態学習結果 $asl-r-m$ を出力してもよい。

[0203] 追加状態学習部 2 3 は、追加条件学習部 2 2 において追加条件学習が行われた未知度 un に対して追加状態学習を実行する構成とした場合、未知度計算部 1 8 a が保持する条件学習結果だけでなく、異常度計算部 1 4 a が保持する状態学習結果を更新することができる。そのため、より正確な異常検知を実現できる。より誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力が少ない異常検知などを実現できる。なお、追加条件学習部 2 2 による追加条件学習のみを実行し、異常度計算部 1 4 a における状態学習結果の更新は行わない構成としてもよい。言い換えれば、追加状態学習部 2 3 を省き、異常度計算部

14aは、初期状態学習結果 $s_l r$ と検知用状態特徴量 $d_s c$ とに基づいて異常度 a_n を算出する構成を維持してもよい。このような構成においても、未知の運転条件 o_c と判定された場合に条件学習結果が更新されるため、追加条件学習部22を備えない構成、例えば、実施の形態1に説明した異常検知装置1と比較すると、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力が少ない異常検知を行うことができる。

[0204] 次に、追加条件学習の効果の説明するために、異常検知装置1aから追加状態学習部23を省いた構成と異常検知装置1aから追加状態学習部23及び追加条件学習部22を省いた構成との対比を行う。以下の説明では、異常検知装置1aから追加状態学習部23及び追加条件学習部22を省いた構成の一例として、図1を用いて説明した実施の形態1の異常検知装置1の構成及び動作を説明する。

[0205] 図20は、本実施の形態による異常検知装置1aから追加条件学習部22及び追加状態学習部23を省いた構成が生成する異常度 a_n 、未知度 u_n 及び判定結果 j_r の時間変化の一例を示す図である。図20には、追加条件学習部22及び追加状態学習部23を有しない構成の一例として、実施の形態1に説明した異常検知装置1による検出結果を示した。また、図21は、本実施の形態による異常検知装置1aから追加状態学習部23を省いた構成が生成する異常度 a_n 、未知度 u_n 及び判定結果 j_r の時間変化の一例を示す図である。図21は、異常検知装置1aから追加状態学習部23を省いた構成によって機械装置2の状態を検知した結果である。以下に、図20と図21の対比を行う。

[0206] 図20に示すデータを取得した際の機械装置2の状態は、時刻 t_{d2} までは機械装置2に劣化は発生せず、時刻 t_{d2} 以降、機械装置2が徐々に劣化しているとする。また、時刻 t_{b2} から時刻 t_{c2} までの間、及び、時刻 t_{d2} から時刻 t_{g2} までの間は、モータの速度が、初期学習時と異なる設定に変更されている。そして、時刻 t_{a2} から時刻 t_{b2} までの時間、及び、時刻 t_{c2} から時刻 t_{d2} までの時間は、運転条件 o_c 、すなわち、モータ

の速度は初期学習時と同じである。

[0207] 図20(a)及び図21(a)は、異常度 a_n の時間変化を示している。異常度 a_n のデータ点は1時間毎にプロットされている。図20(b)及び図21(b)は、未知度 u_n の時間変化を示している。図20(c)及び図21(c)は、判定結果 j_r の時間変化を示している。図20及び図21の横軸は時間を表しており、単位は時間(h r)である。図20(a)から図20(c)の時間軸において、同じ符号が付された位置は、同じ時刻であることを示している。また、図21(a)から図21(c)の時間軸において、同じ符号が付された位置は、同じ時刻であることを示している。

[0208] 図20の例示では、各々の異常検知装置の運用が開始されてから時間 t_{a2} が経過した時刻である時刻 t_{a2} から時刻 t_{g2} までのデータを示している。そして、図20に示す例示では、異常検知装置の各々の運用の開始時刻から検知時間が開始される時刻 t_{a2} までの間に、初期条件学習及び初期状態学習が、実行されているとする。

[0209] 図20(a)において、時刻 t_{a2} から時刻 t_{d2} までの間の異常度 a_n は、多少のばらつきは含むものの、全て0から1までの間にプロットされていて、概ね変化が小さい。また、図20(a)において、時刻 t_{d2} から時刻 t_{g2} までの間、異常度 a_n は、運用時間の経過に従い徐々に増大している。図20(a)において、異常度 a_n についてのしきい値 THF_2 を1とした。しきい値 THF_2 は、機械装置2が正常な場合の異常度 a_n の分布などから決定してもよい。さらに、図20(a)には、理解を容易にするため、機械装置2の真の異常度 $TRUE_2$ を実線で示している。真の異常度 $TRUE_2$ についての説明は、図10において説明した真の異常度 $TRUE_1$ の説明と同様であるため省略する。

[0210] 図20(b)の時刻 t_{a2} から時刻 t_{b2} までの間及び時刻 t_{c2} から時刻 t_{d2} までの間、未知度 u_n は、全て0から1までの間にプロットされている。一方、時刻 t_{b2} から時刻 t_{c2} までの間、及び、時刻 t_{d2} から時刻 t_{g2} までの間、未知度 u_n は、全て1から2までの間の範囲にプロット

されている。図20(b)において、未知度 u_n についてのしきい値であるしきい値 THU_2 を1とした。また、図20(c)の判定結果 j_r は、1時間毎のデータ点を線で結んでプロットしている。機械装置2が正常である場合、判定結果 j_r は0という値を表示している。また、機械装置2が異常である場合、判定結果 j_r は1という値を表示している。なお、判定結果 j_r の出力の形態は、このような形態に限定されるものではない。

[0211] 図20の例示では、異常判定部19が、実施の形態1の図12の説明と同様に、判定結果 j_r を出力している。そのため、図20(b)に示すように、判定結果 j_r は、時刻 t_{a2} から時刻 t_{g2} まで全ての間、異常度 a_n が1以下となっていることから、判定結果 j_r が正常を示す0の値となっている。一方、図20(a)の時刻 t_{d2} より後の時刻において、真の異常度 $TRUE_2$ は、徐々に増大している。

[0212] このように、図20の判定結果 j_r 、すなわち、異常検知装置1の判定結果 j_r によれば、機械装置2が異常な状態を、正常な状態と判定する見逃しが発生している。この見逃しの発生は、時刻 t_{d2} 以降、機械装置2には、初期学習時の運転条件 oc と異なる運転条件 oc が適用されていることに起因する。言い換えれば、検知用条件信号 dcs と初期学習用条件信号 lcs とが異なることに起因して見逃しが発生している。

[0213] 次に、図21の例示について説明する。図21の例示では、異常検知装置の運用が開始されてから時間 t_{a2}' が経過した時刻である時刻 t_{a2}' から時刻 t_{g2}' までのデータを示している。そして、図21に示す例示では、異常検知装置の各々の運用の開始時刻から検知時間が開始される時刻 t_{a2}' までの間に、初期条件学習及び初期状態学習が、実行されているとする。図21では、時刻 t_{d2}' 以降、機械装置2が徐々に劣化している。また、図21において、時刻 t_{b2}' から時刻 t_{c2}' までの時間、及び、時間 t_{d2}' から t_{g2}' までの時間では、モータの速度が、初期学習時と異なる設定に変更されている。すなわち、初期学習時の運転条件 oc に対して、検知時の運転条件 oc が変更されている。そして、時刻 t_{a2}' から時刻 t

b 2' までの時間、及び、時刻 t c 2' から時刻 t d 2' までの時間は、モータの速度は初期学習時と同じであるとしている。すなわち、初期学習時の運転条件 o c と、同じ運転条件 o c に設定されているとしている。

[0214] 図 2 1 (a) において、時刻 t a 2' は、異常検知装置 1 a の運用を開始後、時間 t a 2' が経過した時刻である。また、時刻 t g 2' は、異常検知装置 1 a の運用を開始後、時間 t g 2' が経過した時刻である。なお、時刻 t a 2' より前の時刻に、機械装置 2 が正常である場合の初期状態学習及び初期条件学習は、完了しているものとする。図 2 1 (a) では、異常度 a n のデータ点を、1 時間毎にプロットしている。

[0215] 図 2 1 (a) において、時刻 t a 2' から時刻 t b 2' までの間、及び、時刻 t b 2' から時刻 t d 2' までの間、異常度 a n の値は、0 から 1 までの間にプロットされている。そして、一方、図 2 1 (a) において、時刻 t b 2' の時点において、異常度 a n は、値 F v にプロットされている。値 F v は、1 を超えた値となっている。また、図 2 1 (a) において、時刻 t d 2' から時刻 t g 2' までの間、異常度 a n は、運用時間の経過に従って増加している。

[0216] 図 2 1 (a) では、異常度 a n のしきい値 T H F 2' を 1 に設定している。しきい値 T H F 2' は、あらかじめ定めたしきい値である。しきい値 T H F 2' は、機械装置 2 が正常な状態における異常度 a n の分布等から決定してもよい。また、図 2 1 (a) には、異常検知装置 1 a が推定した異常度 a n に加え、運転条件 o c 等の外乱に左右されない機械装置 2 の真の異常度 T R U E 2' を太線で示している。真の異常度 T R U E 2' についての説明は、実施の形態 1 の図 1 0 に説明した真の異常度 T R U E 1 についての説明と同様であるため省略する。

[0217] また、図 2 1 (b) では、時刻 t a 2' から時刻 t b 2' までの間、及び、時刻 t b 2' から時刻 t d 2' までの間の期間、未知度 u n は、0 から 1 までの間にプロットされている。一方、時刻 t b 2' の時点において、未知度 u n は、位値 U v にプロットされている。位置 U v は、時刻 t b 2' にお

いて、未知度 u_n の値が、1 を超えた値となっていることを示している。

[0218] 図 21 の例示では、時刻 t_{b2}' の時点において、追加条件学習部 22 が、追加条件学習を実行する。そのため、時刻 t_{b2}' より後の時間において、未知度 u_n の増加が抑制されている。一方、図 20 の例示では、追加条件学習部 22 がなく条件学習結果の更新が行われない。これにより、時刻 t_{b2} より後の時間において、初期条件学習結果 c_{lr} に基づく未知度 u_n が出力され続ける。そのため、時刻 t_{b2} から t_{c2} の間、及び時刻 t_{d2} から時刻 t_{g2} の間の時間では、未知度 u_n が 1 より大きな値となっている。

[0219] 図 21 (b) に示すように、時刻 t_{b2}' より後の時間において未知度 u_n の増加が抑制される結果、図 21 (c) の判定結果 j_r は、図 20 (c) と異なり、機械装置 2 の異常度 a_n の増加を、異常として正しく検知することが可能となっている。

[0220] 以上説明したように、異常検知装置 1a は、未知度 u_n に基づいて追加条件学習の可否を判断する。そして、必要な場合に条件学習結果を更新することができる。そのため、運転条件 o_c の変化した場合にも、条件学習結果の更新によって誤検知及び見逃しの少ない異常検知を実行することができる。また、異常検知装置 1a は、未知度 u_n に基づいて追加状態学習の可否を判断する。そして、必要な場合に状態学習結果を更新することができる。そのため、運転条件 o_c の変化に伴って状態量 s_a が変化した場合にも、状態学習結果の更新によって誤検知及び見逃しの少ない異常検知を実行することができる。これらの構成により、異常検知装置 1a は、機械装置 2 の運転条件 o_c が変化する場合にも、誤検知及び見逃しを抑制することができる。また、異常検知装置 1a は、追加条件学習、追加状態学習などを実行するか否かを、時系列の検知用条件信号 d_{cs} に基づいて判断する。これにより、運転条件 o_c が、時間に依存して複雑に変化する場合にも、追加条件学習、追加状態学習などを実行する必要があるか否かを、正確に判断することができる。また、時系列の検知用条件信号 d_{cs} を用いて追加条件学習、追加状態学習を実行する場合、運転条件 o_c が、時間に依存して複雑に変化する場合に

も、異常検知装置 1 a は、正確な未知度 u_n 、異常度 a_n などを算出できる。そのため、誤検知、見逃しなどの誤った判定結果の出力を抑制しつつ高精度に異常を検知することができる。なお、本実施の形態では、誤検知、見逃しの抑制について説明してきたがこれに限定されるものではない。例えば、実施の形態 1 と同様に、判定結果が、重度の異常、軽度の異常、正常の 3 段階に出力される場合など、3 以上の判定結果が出力される場合にも、誤った判定結果の出力を抑制することができる。

[0221] 本実施の形態の異常検知装置 1 a は、実施の形態 1 に説明した異常検知装置 1 の構成要素に加えて、追加条件学習部 2 2 をさらに備えてもよい。この追加条件学習部 2 2 は、条件特徴量記憶部 2 2 1、条件学習判定部 2 2 2、条件特徴量抽出部 2 2 3、追加条件学習実行部 2 2 4 を備える。

[0222] 条件特徴量記憶部 2 2 1 は、検知用条件特徴量 dcc を記憶する。条件学習判定部 2 2 2 は、未知度 u_n に基づいて追加条件学習を実行するか否かを判定する。条件特徴量抽出部 2 2 3 は、条件学習判定部 2 2 2 が追加条件学習を実行すると判定した場合に追加条件学習に使用する検知用条件特徴量 dcc を条件特徴量記憶部 2 2 1 から抽出する。追加条件学習実行部 2 2 4 は、抽出された検知用条件特徴量 dcc に基づいて追加条件学習を実行した結果を追加条件学習結果 $acir$ として出力する。

[0223] 本実施の形態の異常検知方法は、実施の形態 1 に説明した異常検知方法の工程に加えて、追加条件学習工程をさらに備えてもよい。この追加条件学習工程は、条件特徴量記憶工程、条件学習判定工程、条件特徴量抽出工程、追加条件学習実行工程を備える。

[0224] 条件特徴量記憶工程は、検知用条件特徴量 dcc を記憶する。条件学習判定工程は、未知度 u_n に基づいて追加条件学習を実行するか否かを判定する。条件特徴量抽出工程は、条件学習判定工程において追加条件学習を実行すると判定した場合に、追加条件学習に使用する検知用条件特徴量 dcc を条件特徴量記憶工程において記憶した検知用条件特徴量 dcc の中から抽出する。追加条件学習実行工程は、抽出した検知用条件特徴量 dcc に基づいて

追加条件学習を実行した結果を追加条件学習結果 $a c l r$ として出力する。

[0225] 未知度計算部 18a は、追加条件学習実行部 224 が追加条件学習結果 $a c l r$ を出力した場合に条件学習結果を保持している条件学習結果から追加条件学習結果 $a c l r$ に更新してもよい。そして、未知度計算部 18a は、条件学習結果の更新を実行した後、更新後の条件学習結果と更新後に条件特徴量生成部から出力される検知用条件特徴量 $d c c$ とに基づいて未知度 $u n$ を計算してもよい。

[0226] 条件学習判定部 222 は、未知度 $u n$ があらかじめ定めた第 3 のしきい値を超える場合に追加条件学習を実行すると判定する。そして、未知度 $u n$ があらかじめ定めた第 3 のしきい値以下である場合に追加条件学習を実行しないと判定する。

[0227] 条件学習判定部 222 は、複数の未知度 $u n$ があらかじめ定めたしきい値を、時系列に連続してあらかじめ定めた回数だけ超えた場合に限り、追加条件学習を実行すると判定してもよい。

[0228] 本実施の形態の異常検知装置 1a は、実施の形態 1 に説明した異常検知装置 1 の構成要素に加えて、追加状態学習部 23 を備えてもよい。追加状態学習部 23 は、状態特徴量記憶部 231、状態学習判定部 232、状態特徴量抽出部 233、及び追加状態学習実行部 234 を備える。

[0229] 状態特徴量記憶部 231 は、検知用状態特徴量 $d s c$ を記憶する。状態学習判定部 232 は、未知度 $u n$ に基づいて追加状態学習を実行するか否かを判定する。状態特徴量抽出部 233 は、状態学習判定部 232 が追加状態学習を実行すると判定した場合に追加状態学習に使用する検知用状態特徴量 $d s c$ を状態特徴量記憶部 231 から抽出する。追加状態学習実行部 234 は、抽出された検知用状態特徴量 $d s c$ に基づいて追加状態学習を実行した結果を追加状態学習結果 $a s l r$ として出力する。

[0230] 本実施の形態の異常検知方法は、実施の形態 1 に説明した異常検知方法の備える工程に加えて、追加状態学習工程を備えてもよい。追加状態学習工程は、状態特徴量記憶工程、状態学習判定工程、状態特徴量抽出工程及び追加

状態学習実行工程を備える。

[0231] 状態特徴量記憶工程は、検知用状態特徴量 dsc を記憶する。状態学習判定工程は、未知度 un に基づいて追加状態学習を実行するか否かを判定する。状態特徴量抽出工程は、状態学習判定工程において追加状態学習を実行すると判定した場合に、追加状態学習に使用する検知用状態特徴量 dsc を、状態特徴量記憶工程において記憶した検知用状態特徴量 dsc から抽出する。追加状態学習実行工程は、抽出された検知用状態特徴量 dsc に基づいて追加状態学習を実行した結果を追加状態学習結果 $aslr$ として出力する。

[0232] 以上説明したように、本実施の形態によれば、運転の条件が変化する機械装置 2 の状態を検知する場合において、誤検知及び見逃しの少ない異常検知装置を提供することができる。また、必要な場合に追加条件学習を実施することによって、未知度計算部 18a が保持する条件学習結果を更新できる。また、必要な場合に追加状態学習を実施することによって、異常度計算部 14a が保持する条件学習結果を更新してもよい。これにより、運転の条件が変化する機械装置 2 の状態を検知する場合において、より正確な異常検知ができる。また、誤検知及び見逃しの発生を減らすことができる。

符号の説明

[0233] 1、1a 異常検知装置、2 機械装置、3 制御装置、11 状態信号生成部、12 状態特徴量生成部、13 初期状態学習部、14 異常度計算部、15 条件信号生成部、16 条件特徴量生成部、17 初期条件学習部、18 未知度計算部、19 異常判定部、20 モータ、22 追加条件学習部、23 追加状態学習部、201 ボールねじ、202 可動部、203 ガイド、204 ボールねじ軸、202 カップリング、203 サーボモータ軸、204 サーボモータ、205 エンコーダ、221 条件特徴量記憶部、222 条件学習判定部、223 条件特徴量抽出部、224 追加条件学習実行部、231 状態特徴量記憶部、232 状態学習判定部、233 状態特徴量抽出部、234 追加状態学習実行部、310 電流センサ、311 ドライバ、301 PLC、401 PC、402

PLC用表示器、403 PC用表示器、cc 条件特徴量、clr 条件学習結果、cs 条件信号、df 駆動力、jr 判定結果、oc 運転条件、電力 pw、状態量 sa、状態特徴量 sc、状態学習結果 slr、状態信号 ss。

請求の範囲

- [請求項1] 機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信号生成部と、
- 前記機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成部と、
- 前記状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成部と、
- 、
- 前記条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成部と、
- 、
- 初期状態学習時の前記状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習部と、
- 初期条件学習時の前記条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習部と、
- 前記初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果として取得し前記状態学習結果と検知時の前記状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算部と、
- 前記初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し前記条件学習結果と前記検知時の前記条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算部と
- を備える異常検知装置。
- [請求項2] 前記異常度と前記未知度とに基づいて前記機械装置の異常を検知する異常判定部を備える請求項1に記載の異常検知装置。
- [請求項3] 前記異常判定部は、
- 前記異常度があらかじめ定めた第1のしきい値より大きく前記未知度があらかじめ定めた第2のしきい値より小さい場合に前記機械装置の状態を異常と判定する請求項2に記載の異常検知装置。

- [請求項4] 前記条件特徴量生成部は、
複数の時点の前記条件信号から算出した複数の統計量を前記条件特徴量として生成することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の異常検知装置。
- [請求項5] 前記条件特徴量生成部は、
時系列の前記条件信号の周波数解析による周波数特性を前記条件特徴量として生成することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の異常検知装置。
- [請求項6] 前記機械装置はモータに駆動されて動作し、
前記運転条件は、前記モータの位置、前記モータの速度、前記モータの加速度、前記モータのジャーク、前記モータの駆動力のうちの少なくともいずれかひとつの時間応答の形状を規定する制御信号であることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の異常検知装置。
- [請求項7] 追加条件学習部を備え、
前記追加条件学習部は、
前記検知用条件特徴量を記憶する条件特徴量記憶部と、
前記未知度に基づいて追加条件学習を実行するか否かを判定する条件学習判定部と、
前記条件学習判定部が前記追加条件学習を実行すると判定した場合に前記追加条件学習に使用する前記検知用条件特徴量を前記条件特徴量記憶部から抽出する条件特徴量抽出部と、
抽出された前記検知用条件特徴量に基づいて前記追加条件学習を実行した結果を前記追加条件学習結果として出力する追加条件学習実行部と
を備えることを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の異常検知装置。
- [請求項8] 前記未知度計算部は、前記追加条件学習実行部が前記追加条件学習

結果を出力した場合に前記条件学習結果を保持している前記条件学習結果から出力された前記追加条件学習結果に更新し、前記条件学習結果の更新を実行した後、更新後の前記条件学習結果と更新後に前記条件特徴量生成部から出力される前記検知用条件特徴量とに基づいて前記未知度を計算することを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

[請求項9] 前記条件学習判定部は、前記未知度があらかじめ定めた第 3 のしきい値を超える場合に前記追加条件学習を実行すると判定し、前記未知度があらかじめ定めた第 3 のしきい値以下である場合に前記追加条件学習を実行しないと判定することを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

[請求項10] 前記条件学習判定部は、前記未知度が、あらかじめ定めたしきい値を、時系列に連続してあらかじめ定めた回数だけ超えた場合にのみ、前記追加条件学習を実行すると判定することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の異常検知装置。

[請求項11] 追加状態学習部を備え、
前記追加状態学習部は、
前記検知用状態特徴量を記憶する状態特徴量記憶部と、
前記未知度に基づいて追加状態学習を実行するか否かを判定する状態学習判定部と、
前記状態学習判定部が前記追加状態学習を実行すると判定した場合に前記追加状態学習に使用する前記検知用状態特徴量を前記状態特徴量記憶部から抽出する状態特徴量抽出部と、
抽出された前記検知用状態特徴量に基づいて前記追加状態学習を実行した結果を追加状態学習結果として出力する追加状態学習実行部とを備えることを特徴とする請求項 7 に記載の異常検知装置。

[請求項12] 機械装置と、
前記機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信

号生成部と、

前記機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成部と、

前記状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成部と、

前記条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成部と、

初期状態学習時の前記状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習部と、

初期条件学習時の前記条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習部と、

前記初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果として取得し前記状態学習結果と検知時の前記状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算部と、

前記初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し前記条件学習結果と検知時の前記条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算部とを備える機械システム。

[請求項13] 機械装置の状態を時系列に検出した状態信号を生成する状態信号生成工程と、

前記機械装置の運転の状況を示す運転条件を時系列に検出した条件信号を生成する条件信号生成工程と、

前記状態信号に基づいて状態特徴量を生成する状態特徴量生成工程と、

前記条件信号に基づいて条件特徴量を生成する条件特徴量生成工程と、

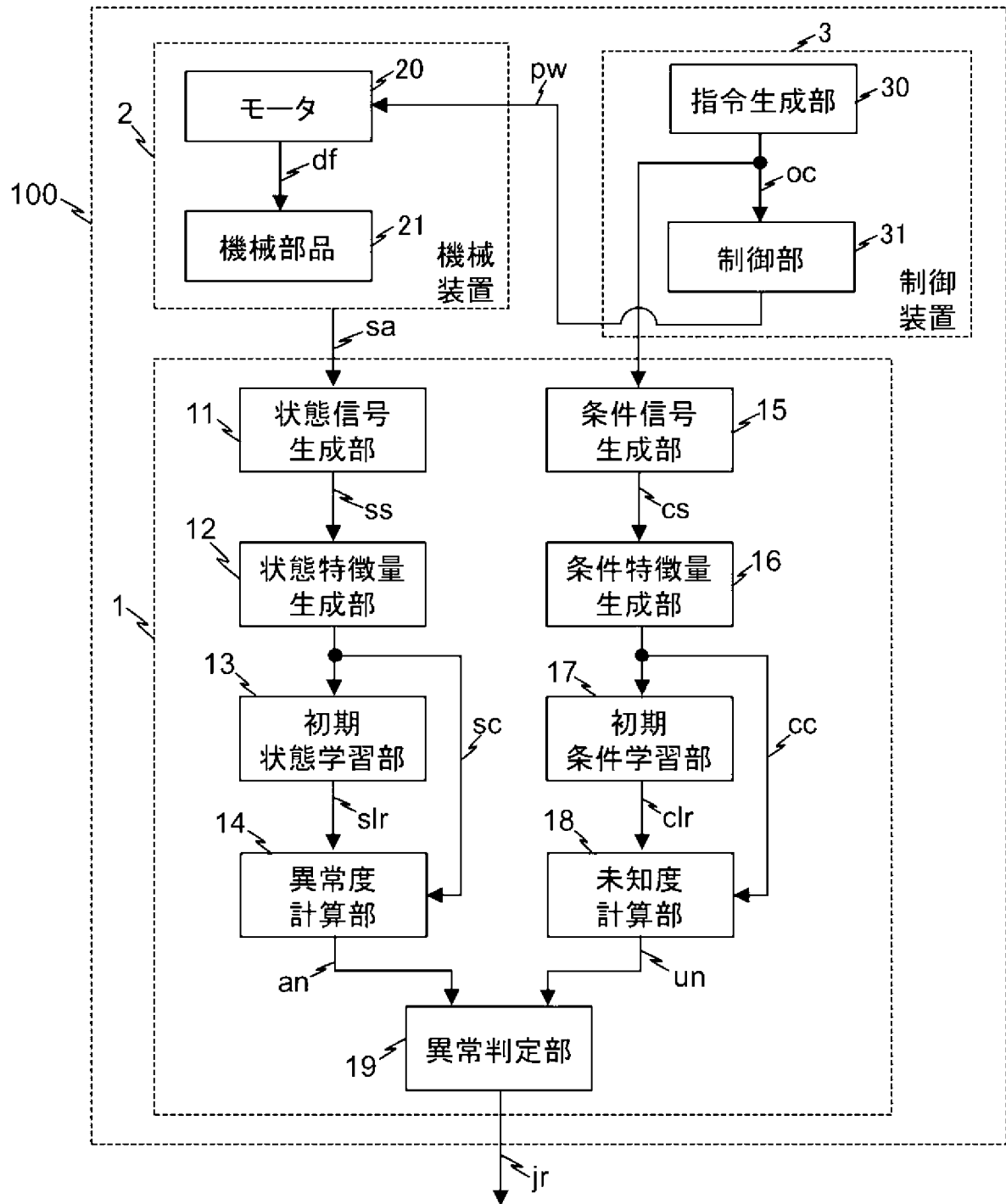
初期状態学習時の前記状態特徴量である初期学習用状態特徴量に基づき学習した結果を初期状態学習結果として出力する初期状態学習工程と、

初期条件学習時の前記条件特徴量である初期学習用条件特徴量に基づき学習した結果を初期条件学習結果として出力する初期条件学習工程と、

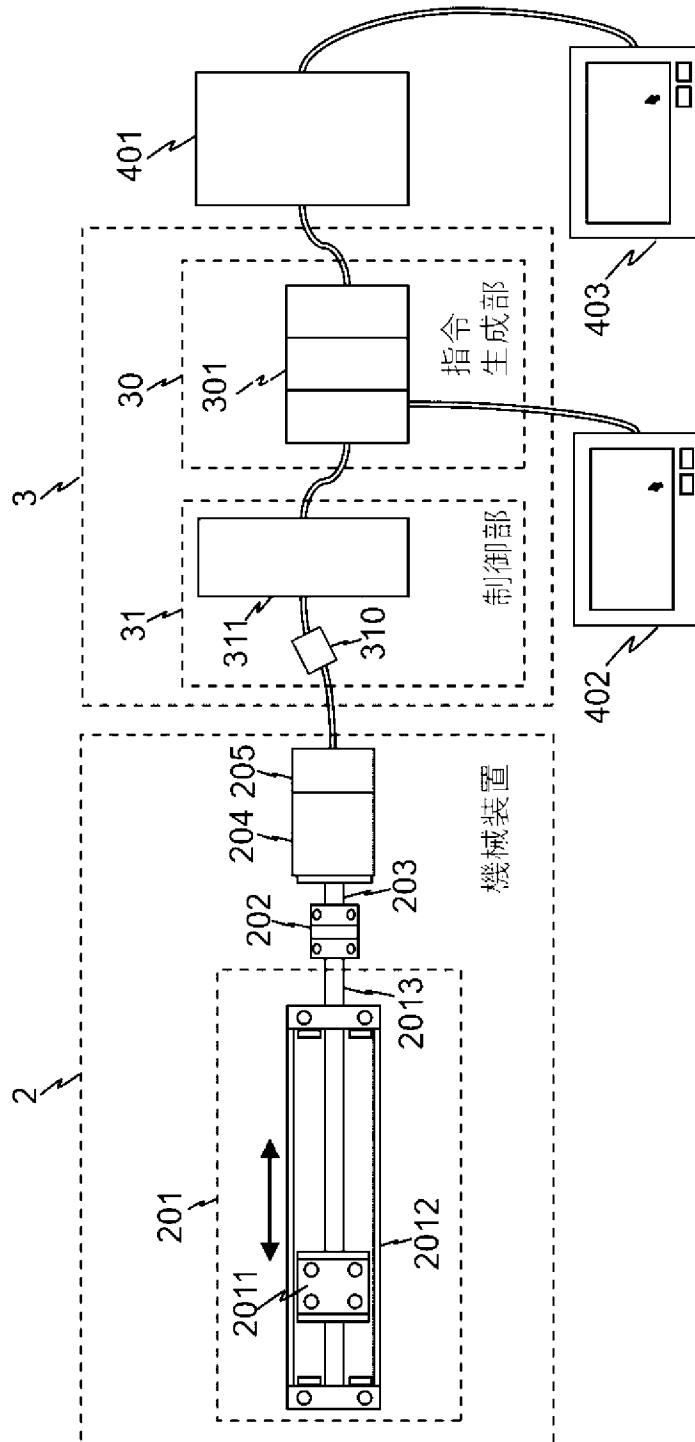
前記初期状態学習結果又は追加状態学習結果を状態学習結果として取得し前記状態学習結果と検知時の前記状態特徴量である検知用状態特徴量とに基づいて異常度を計算する異常度計算工程と、

前記初期条件学習結果又は追加条件学習結果を条件学習結果として取得し前記条件学習結果と前記検知時の前記条件特徴量である検知用条件特徴量とに基づいて未知度を計算する未知度計算工程とを備える異常検知方法。

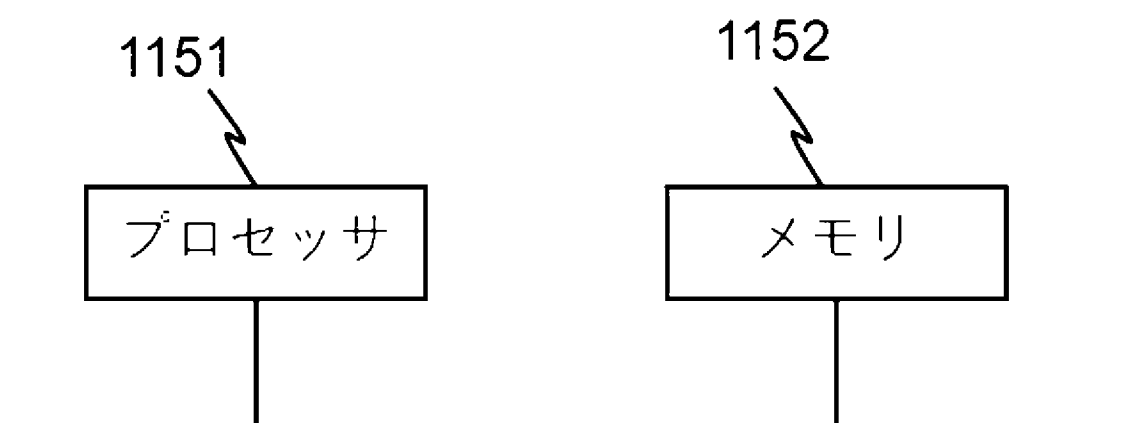
[図1]



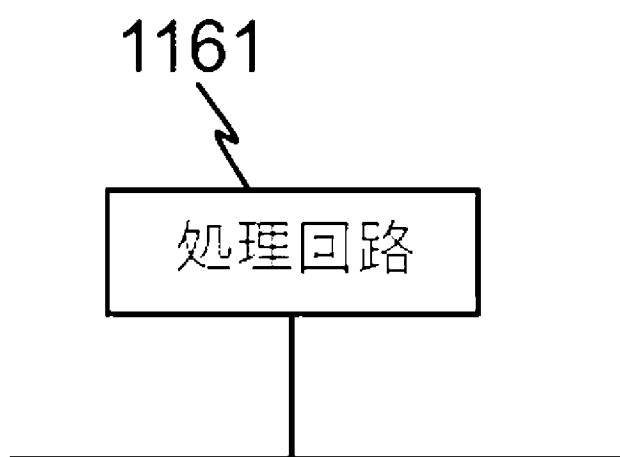
[図2]



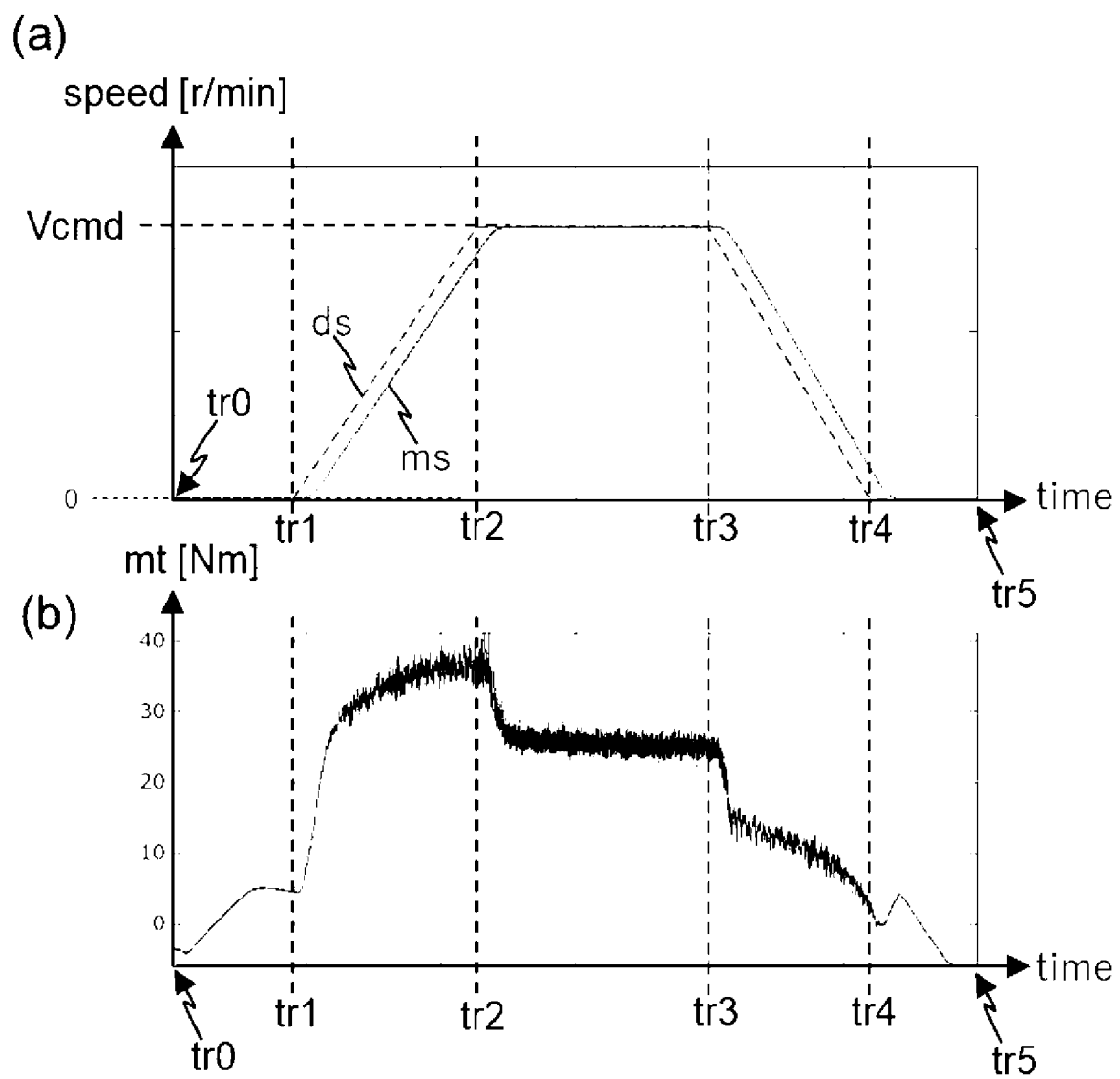
[図3]



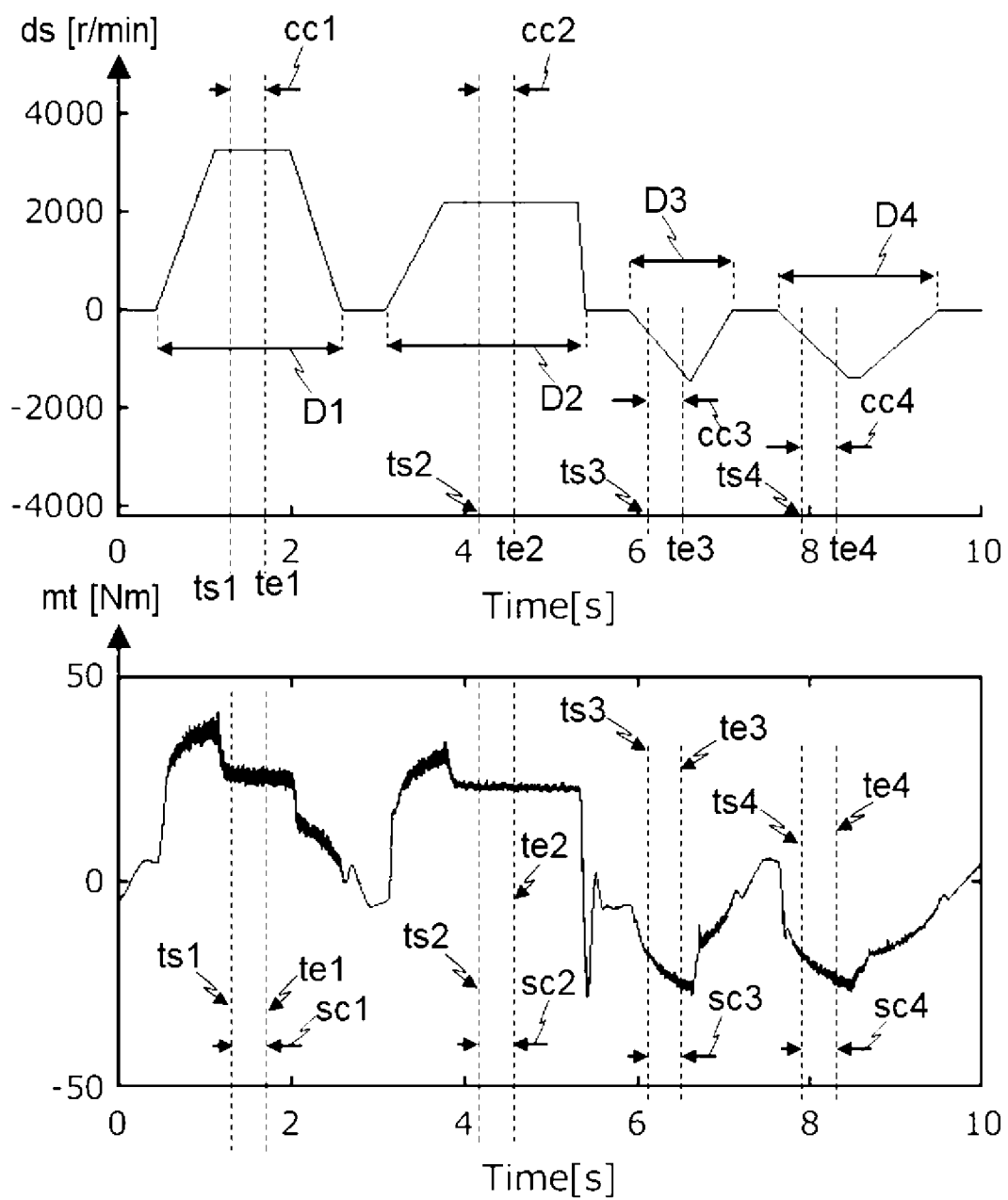
[図4]



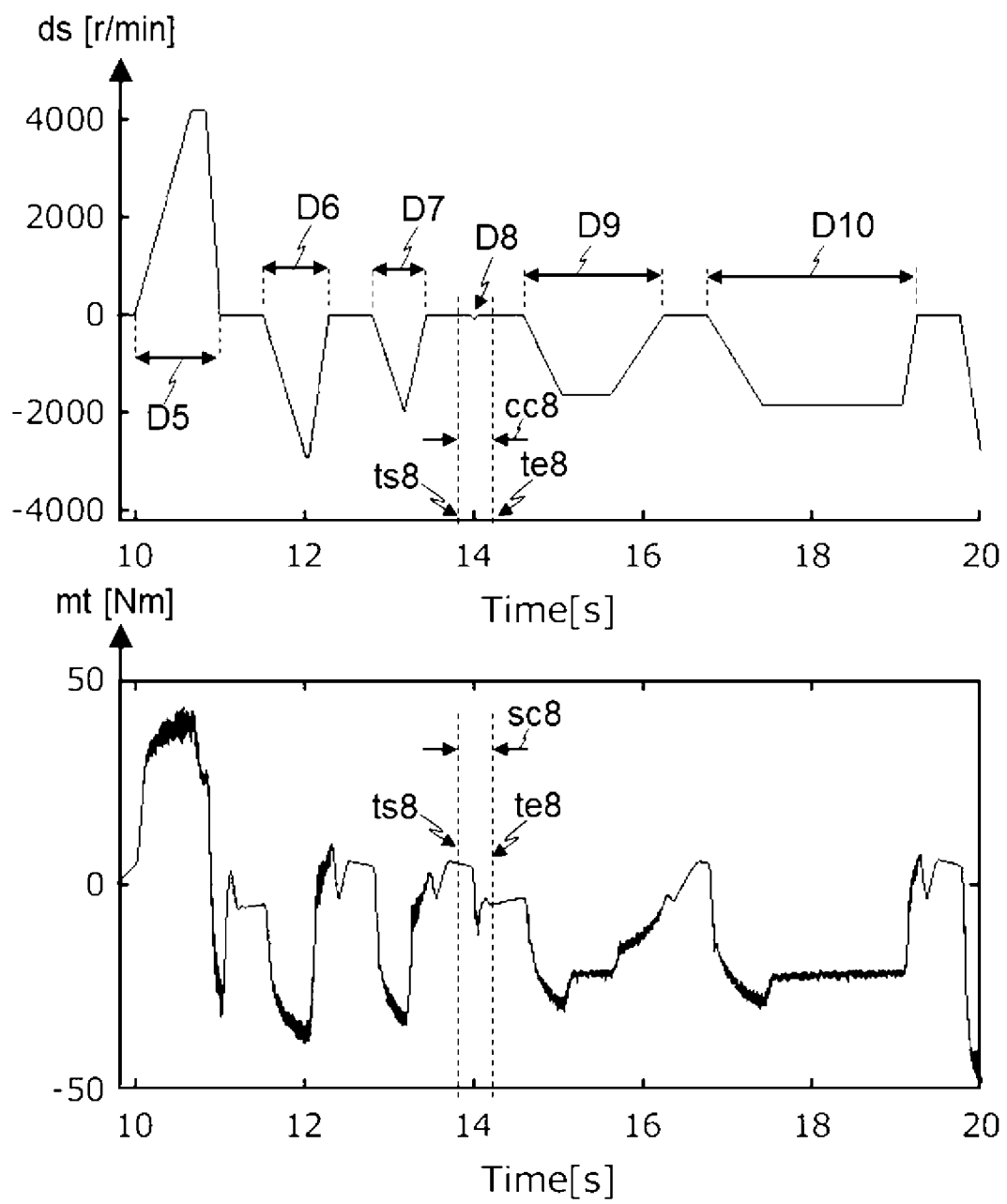
[図5]



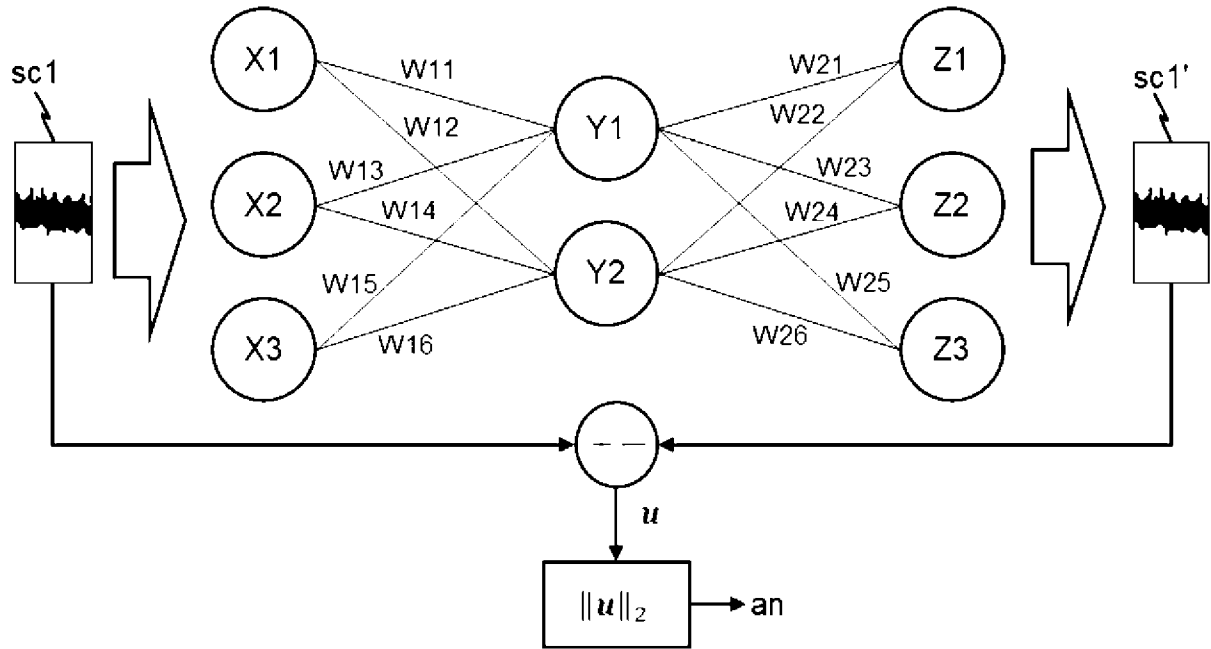
[図6]



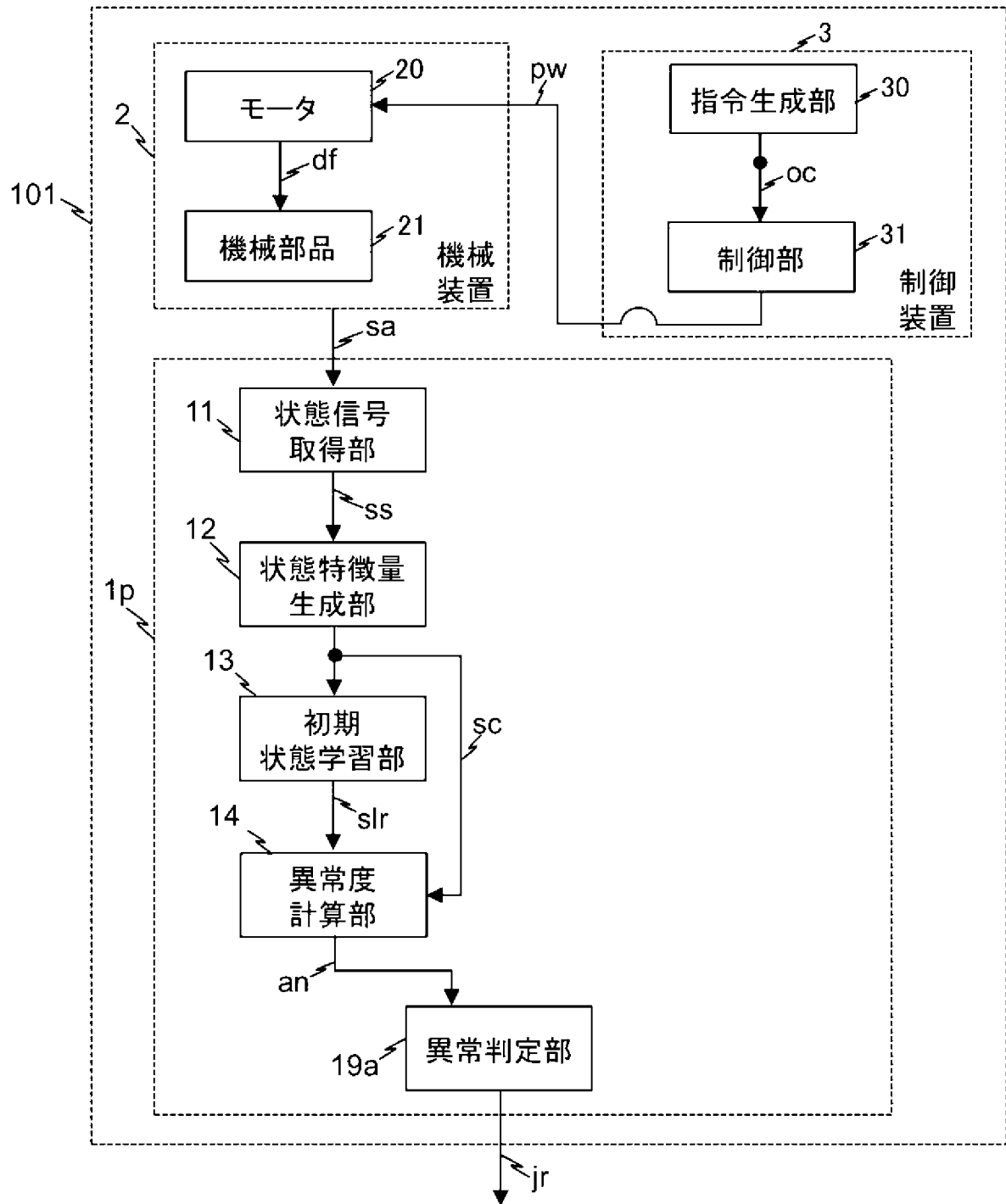
[図7]



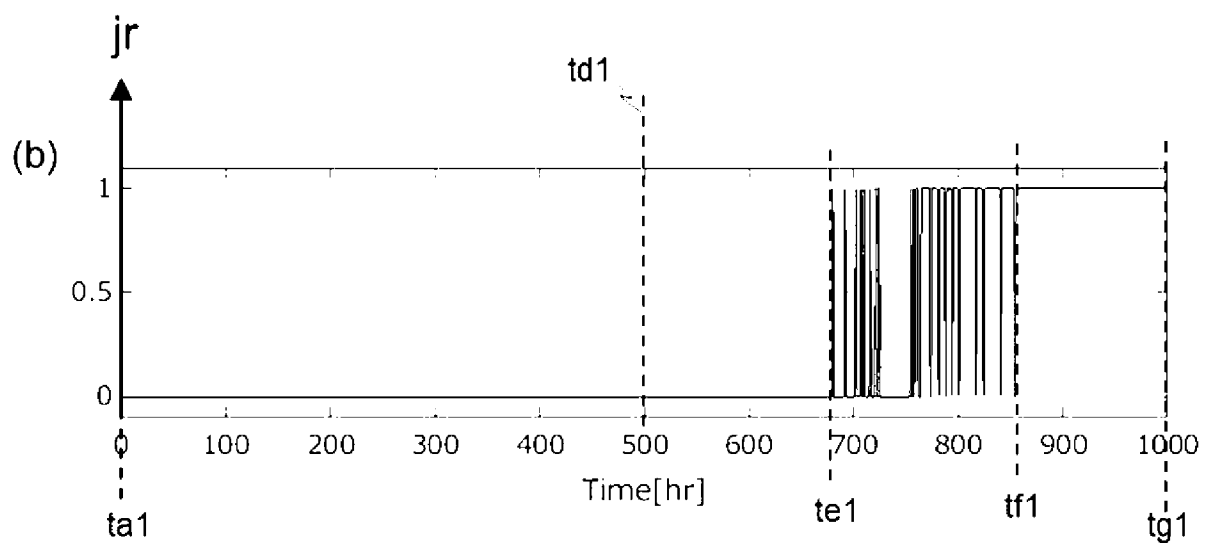
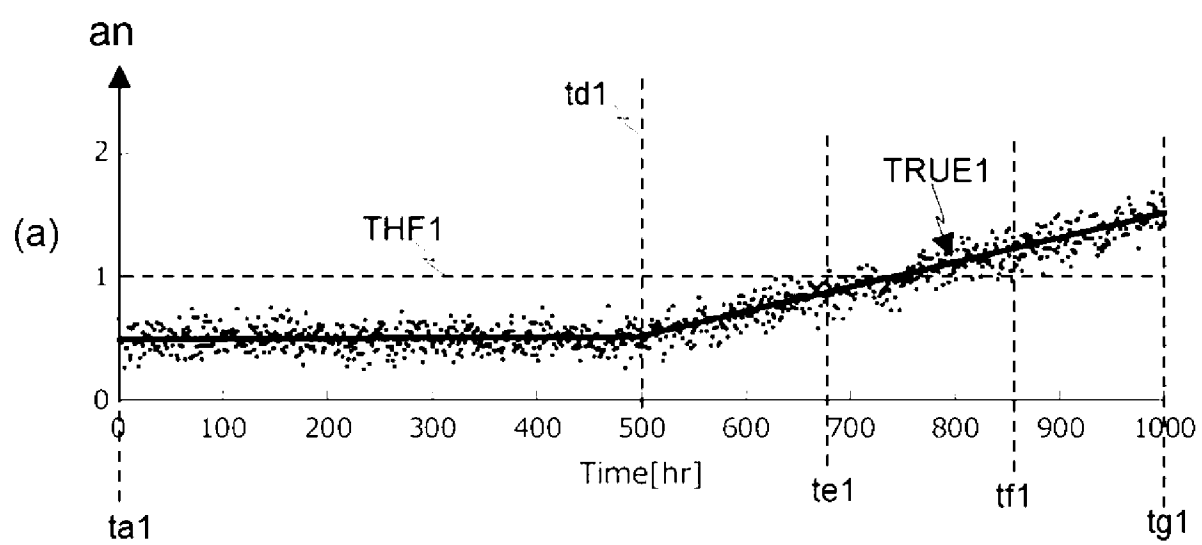
[図8]



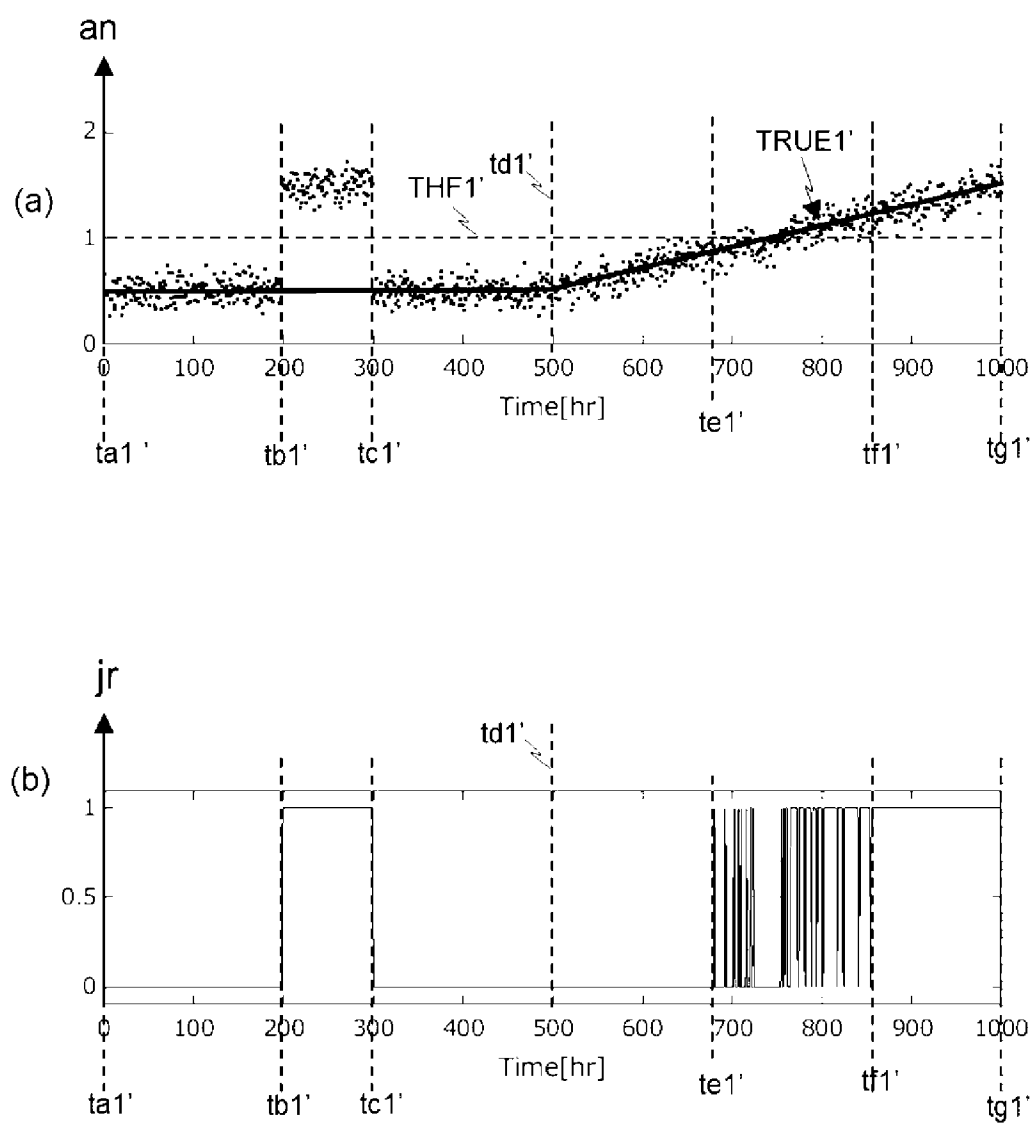
[図9]



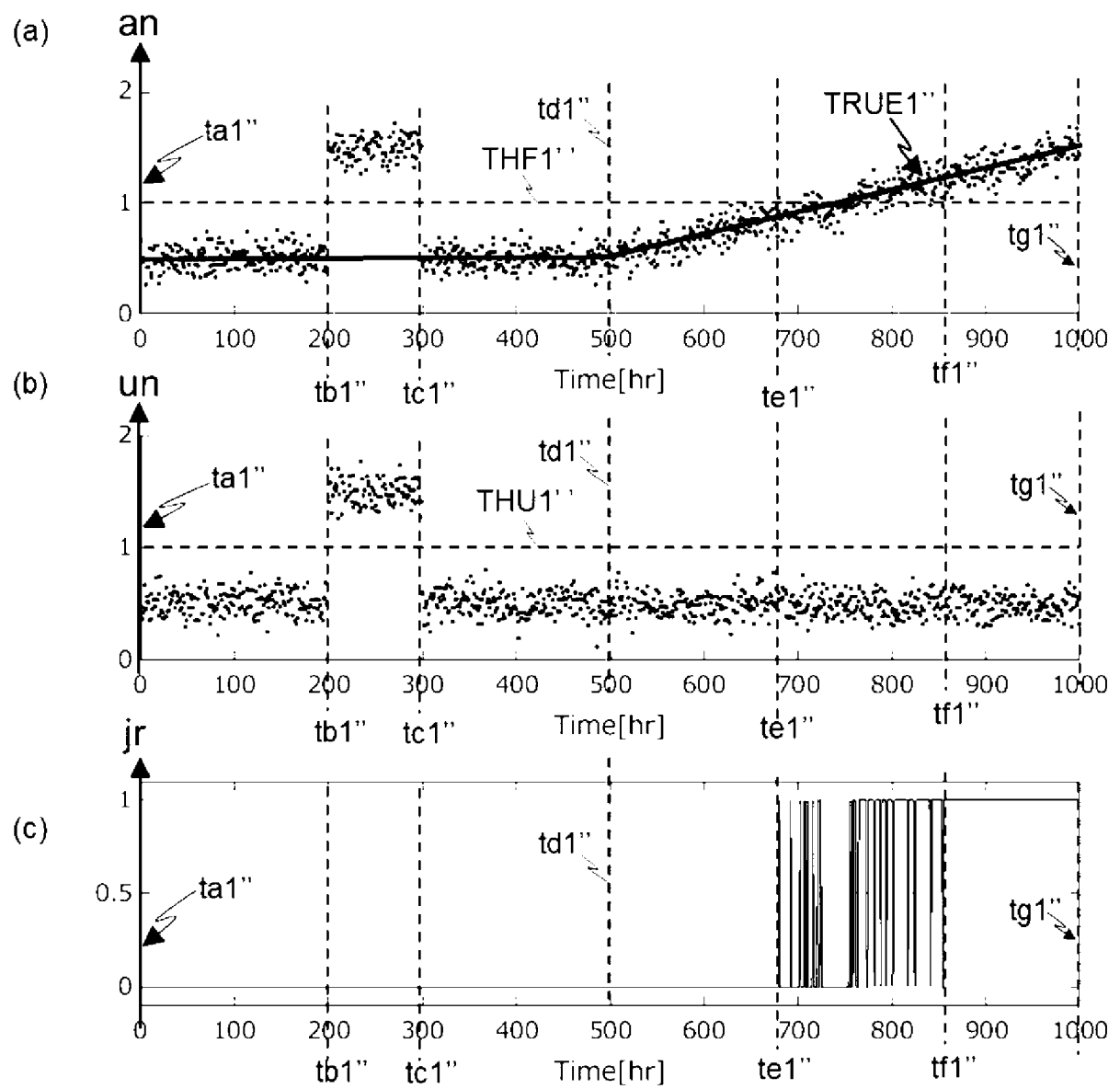
[図10]



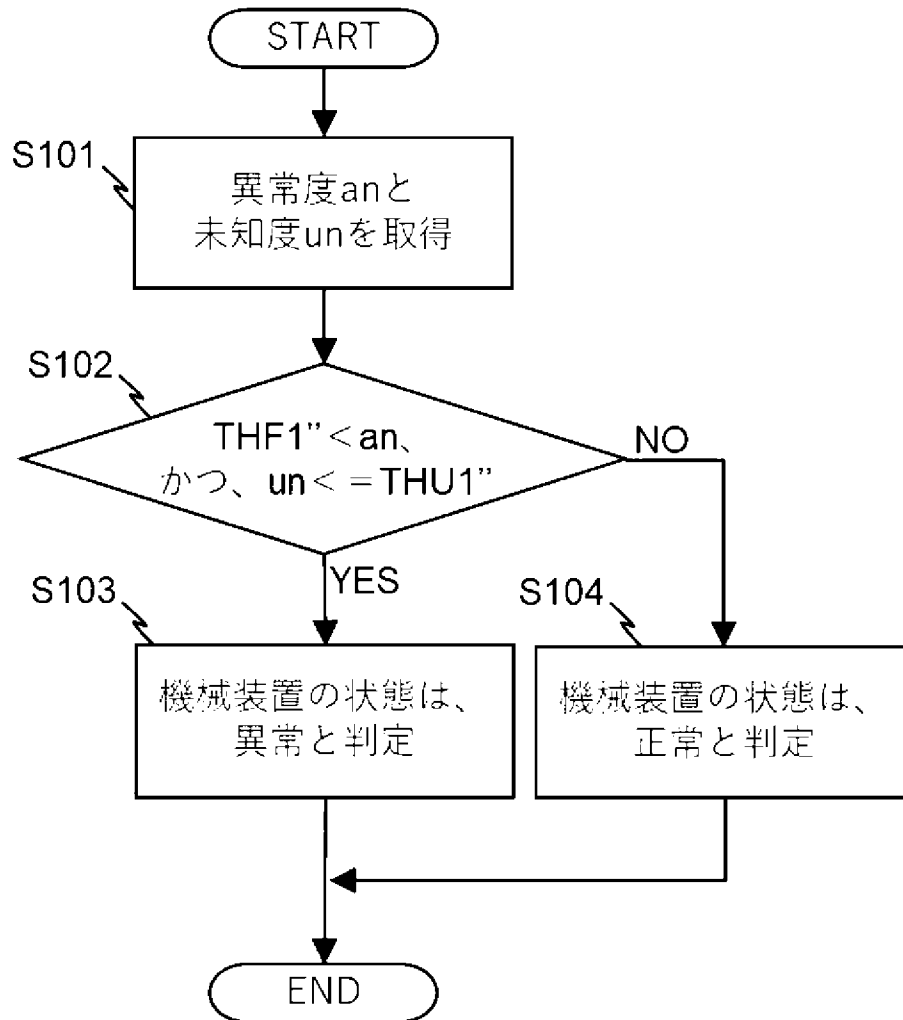
[図11]



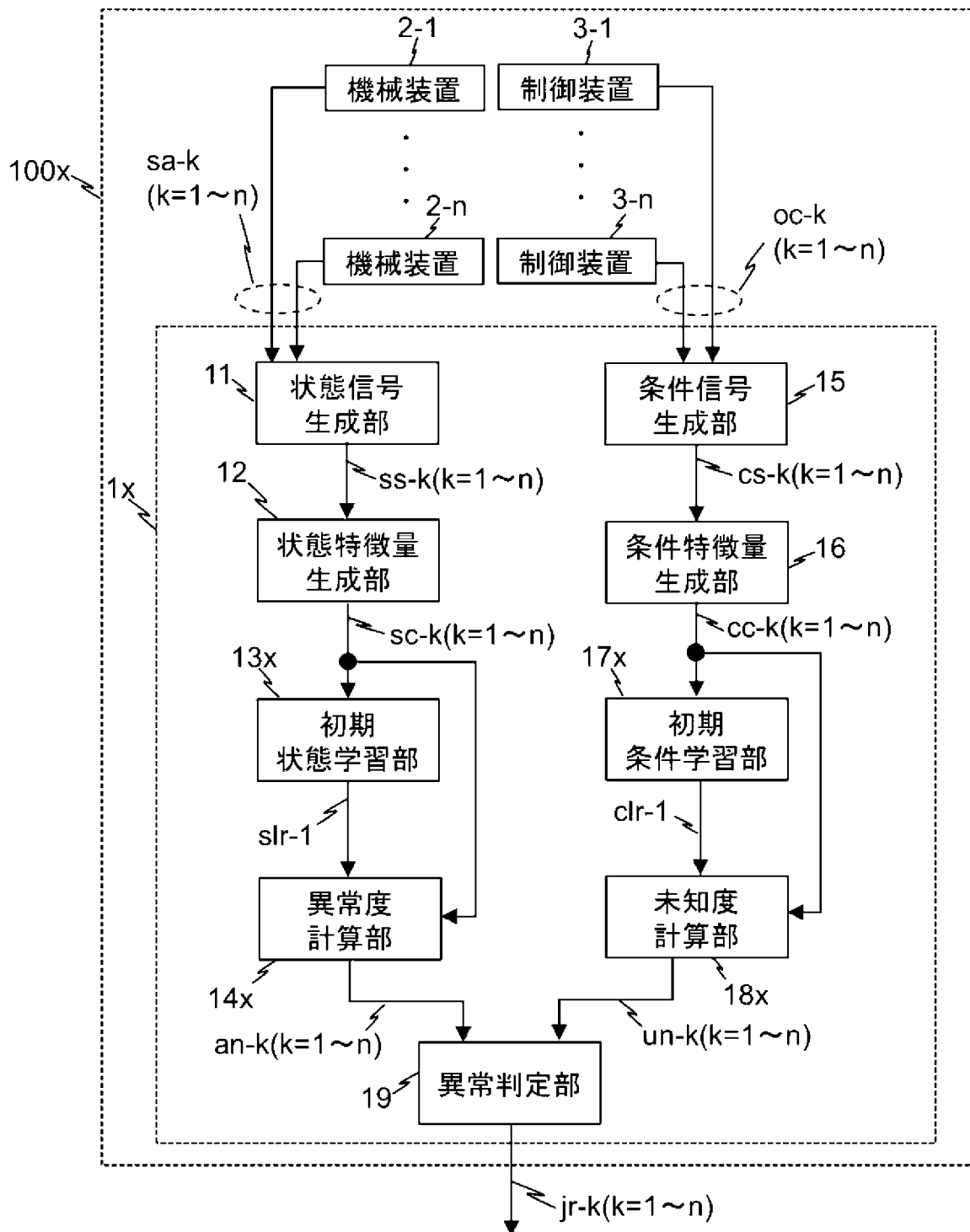
[図12]



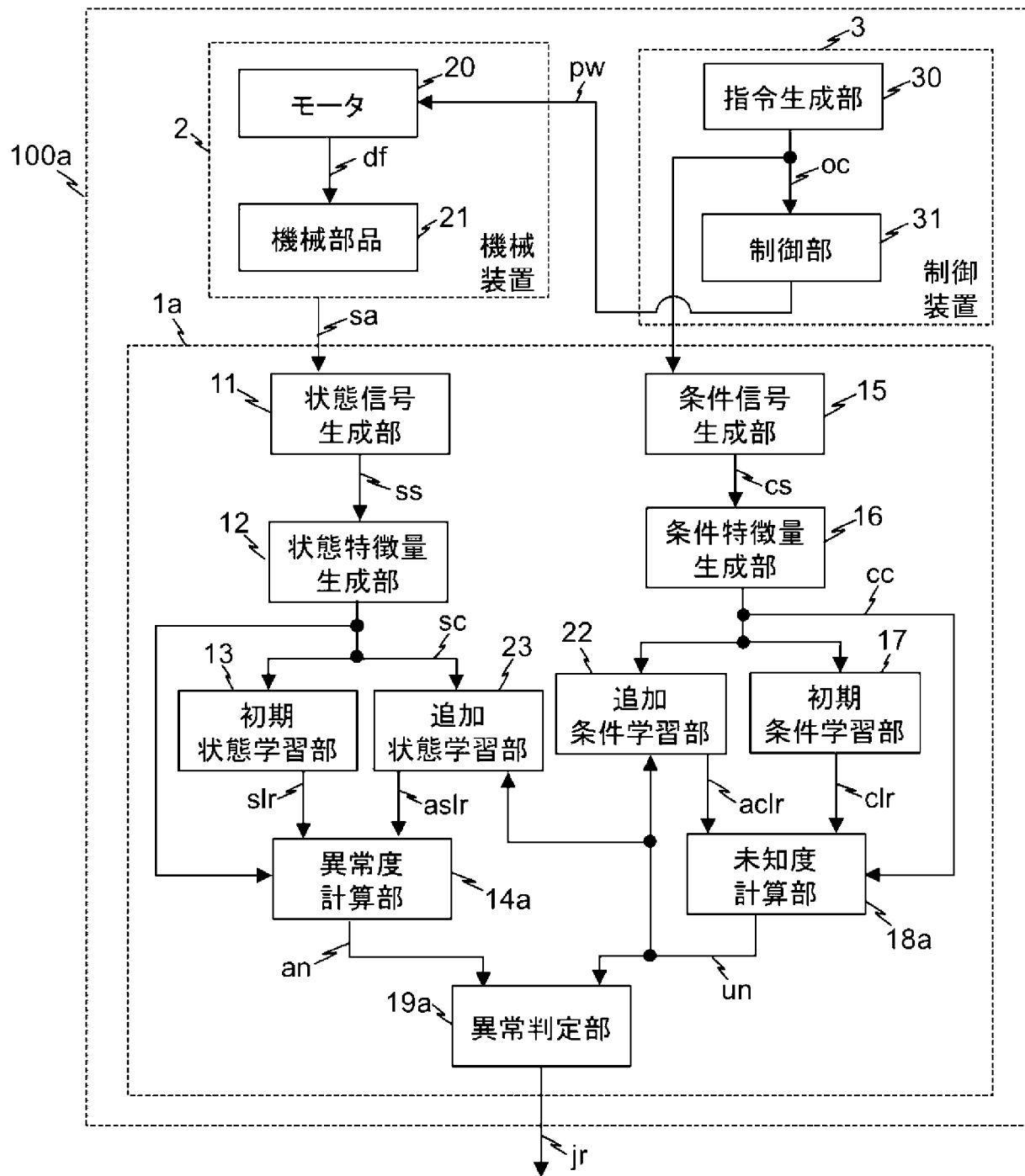
[図13]



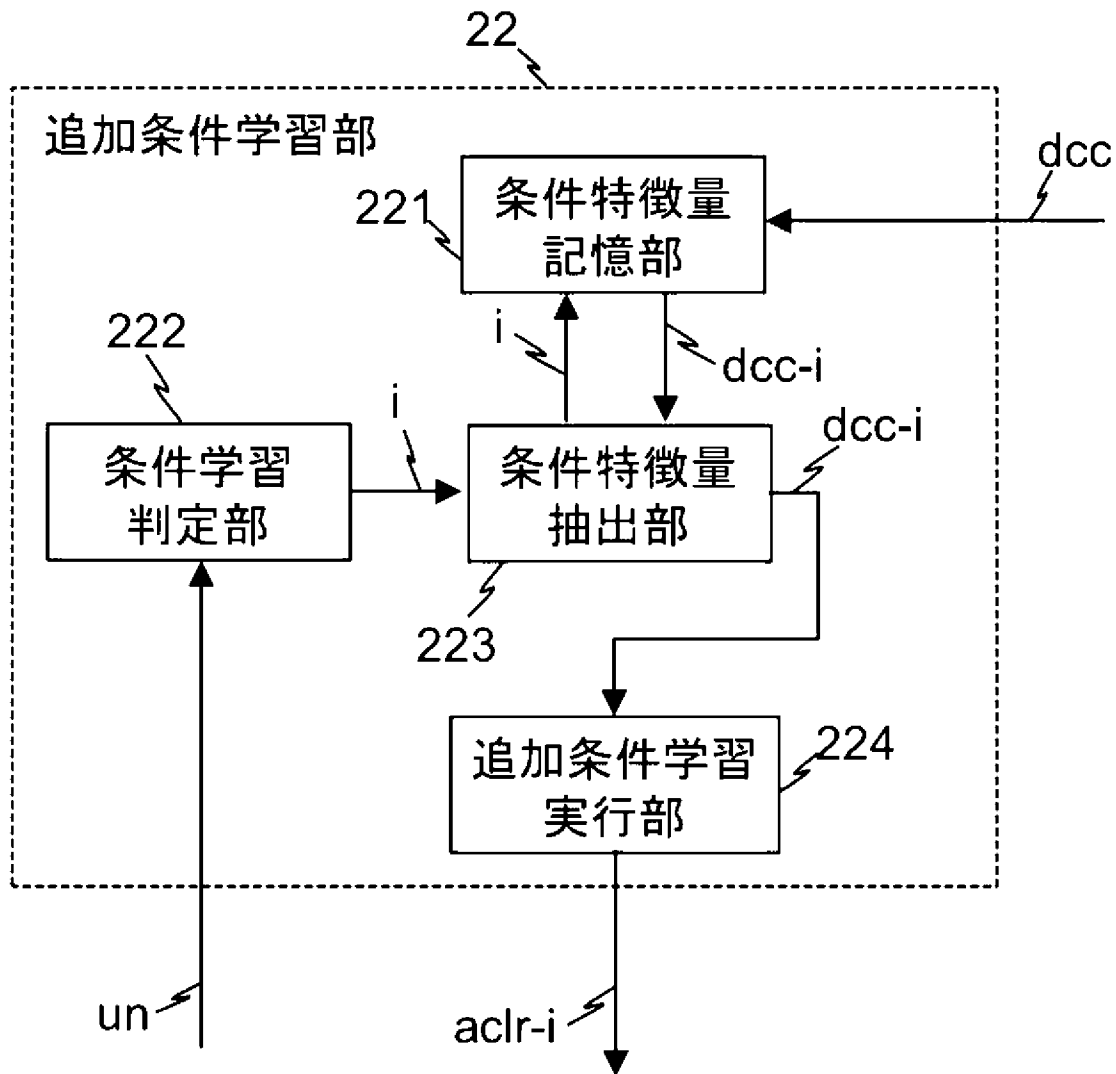
[図14]



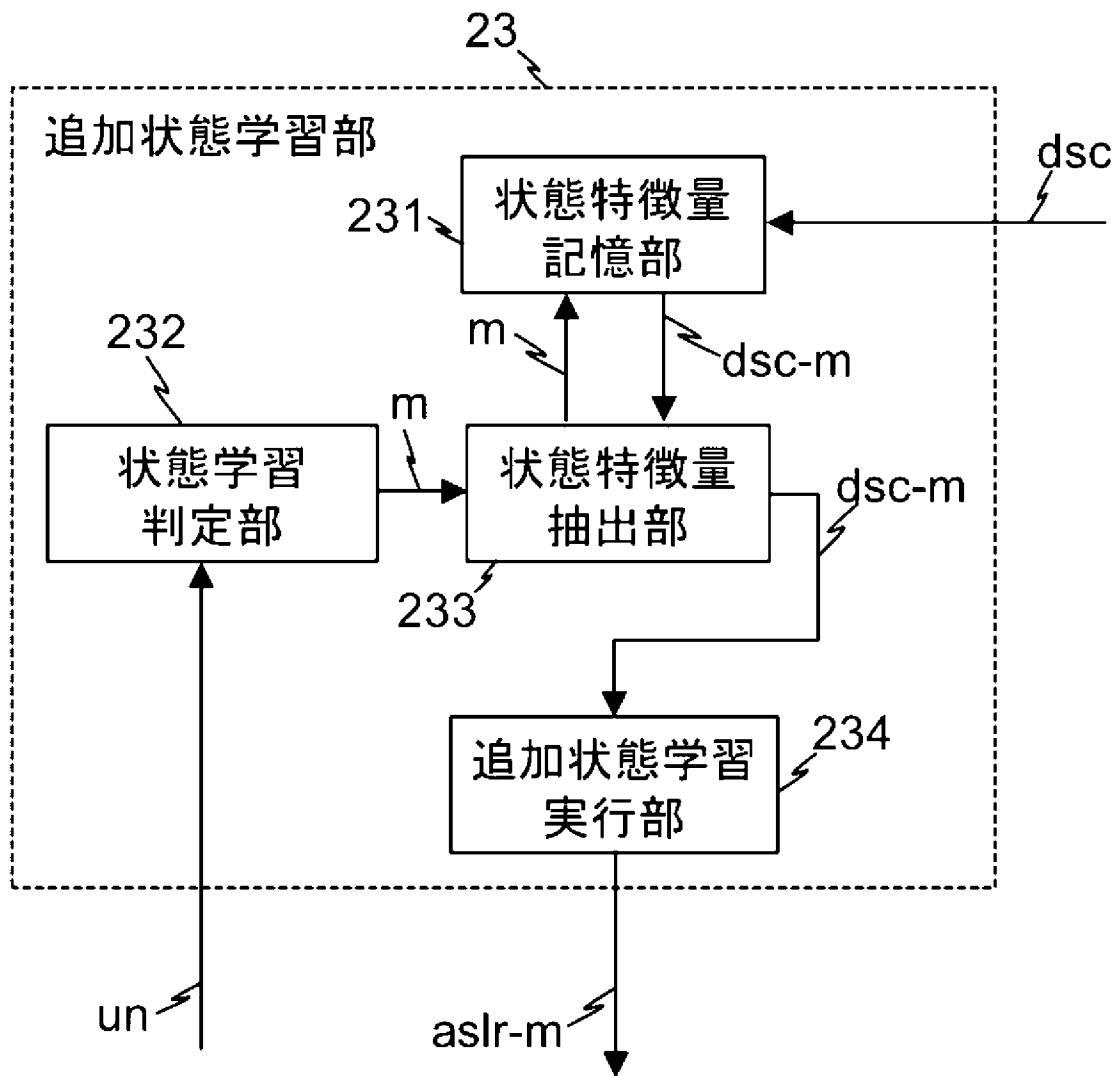
[図15]



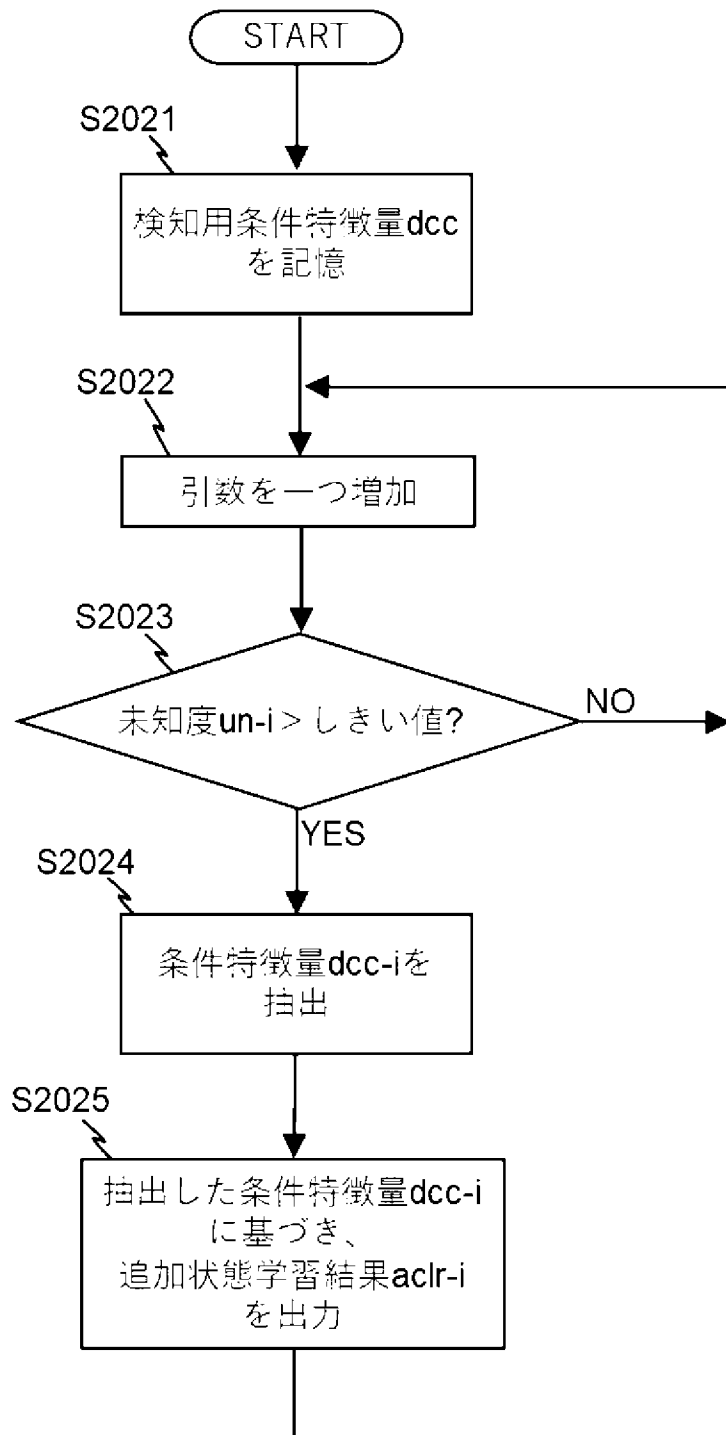
[図16]



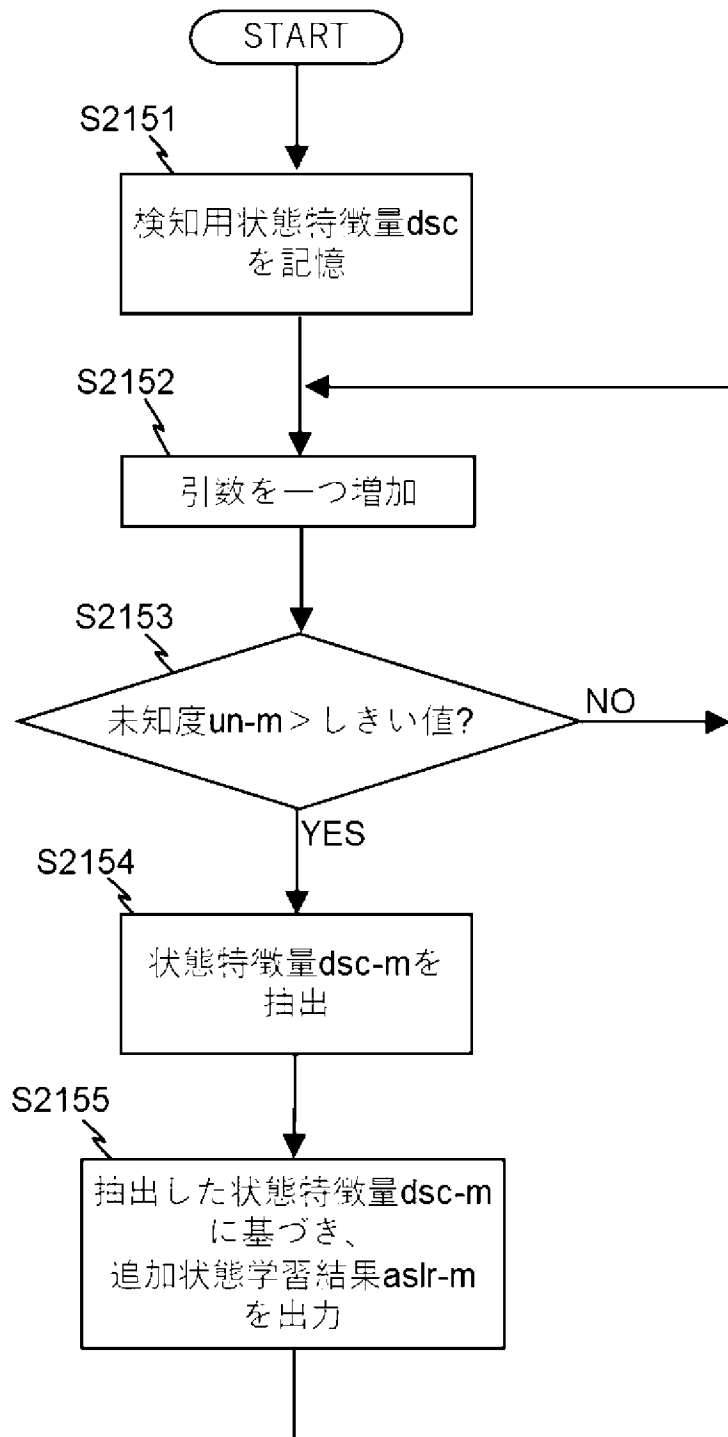
[図17]



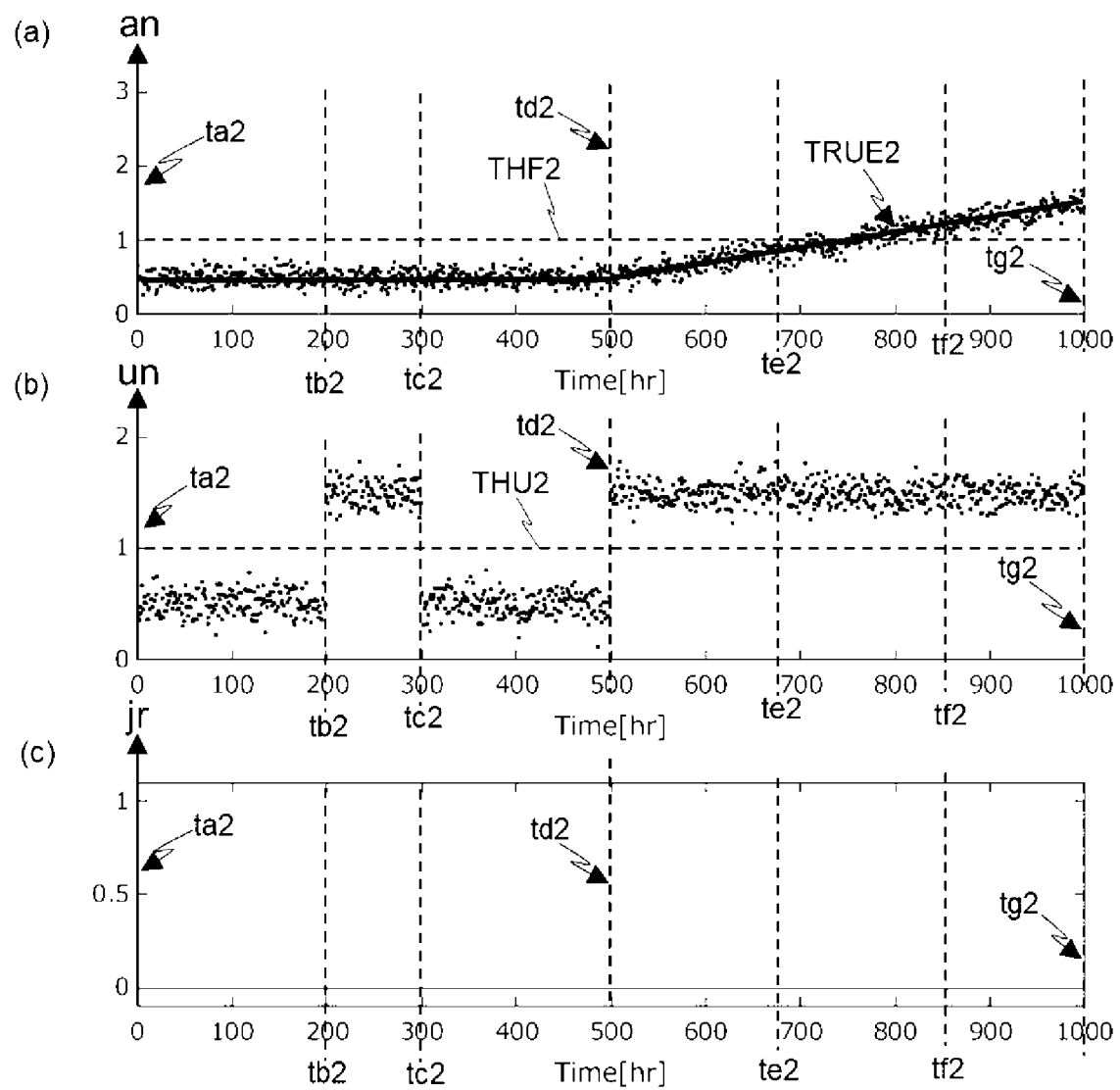
[図18]



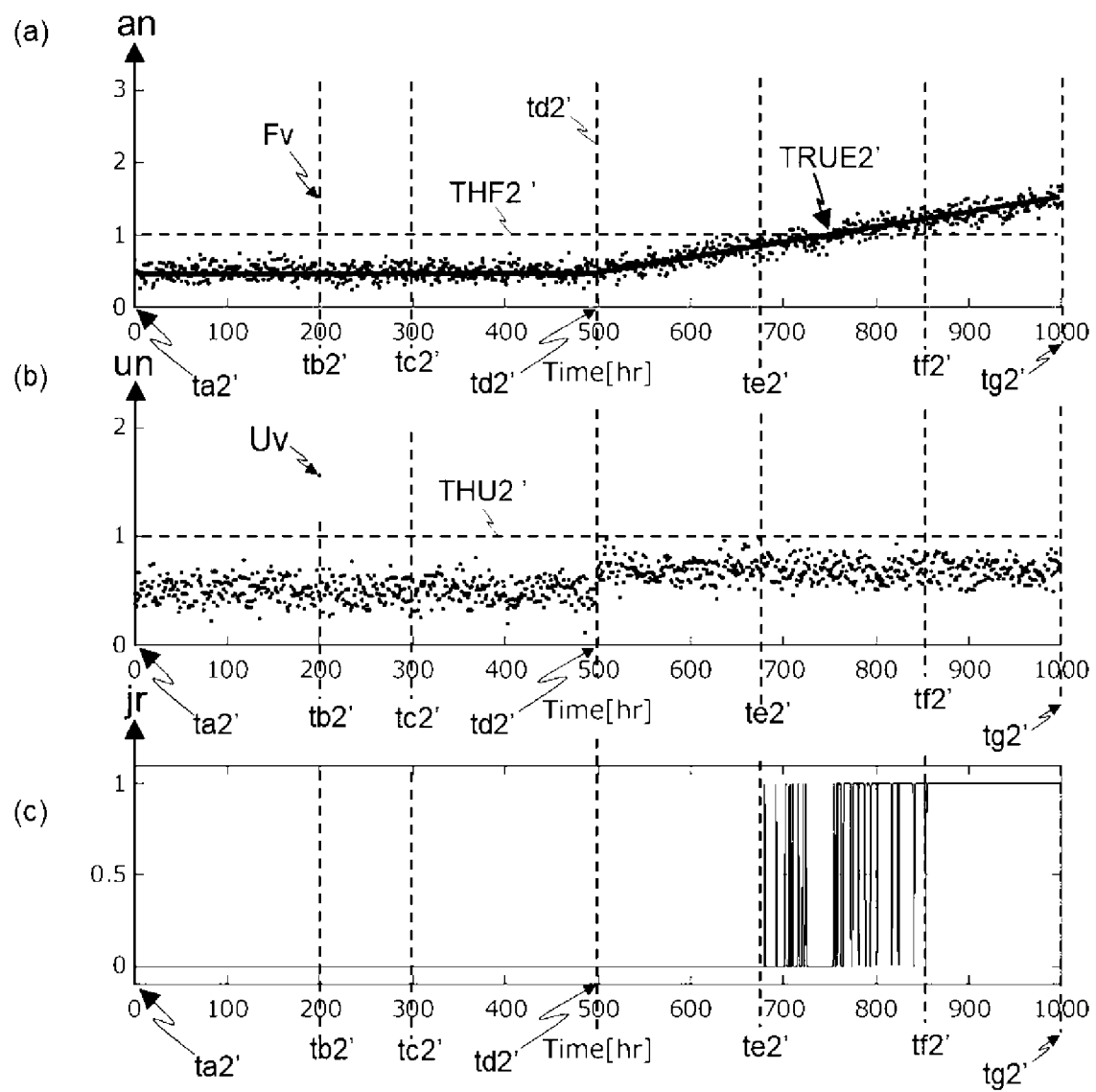
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/015595

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G05B 23/02**(2006.01)i

FI: G05B23/02 302R

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

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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.
X	WO 2011/125130 A1 (HITACHI, LTD.) 13 October 2011 (2011-10-13) paragraphs [0027]-[0031], [0079]-[0099], [0122]-[0126], [0136]-[0138], [0149], [0150]	1-5, 12-13
Y	paragraphs [0027]-[0031], [0079]-[0099], [0122]-[0126], [0136]-[0138], [0149], [0150]	6-11
Y	JP 2013-45325 A (HITACHI, LTD.) 04 March 2013 (2013-03-04) paragraphs [0024]-[0028]	6-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 June 2022

Date of mailing of the international search report

21 June 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/015595

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2011/125130	A1	13 October 2011	CN	102870057	A	
JP	2013-45325	A	04 March 2013	EP	2562614	A2	
				paragraphs [0023]-[0027]			
				CN	102951512	A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 23/02(2006.01)i FI: G05B23/02 302R		
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）） G05B23/02		
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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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
X	WO 2011/125130 A1（株式会社日立製作所）13.10.2011（2011-10-13） 段落[0027]-[0031], [0079]-[0099], [0122]-[0126], [0136]-[0138], [0149]-[0150]	1-5, 12-13
Y	段落[0027]-[0031], [0079]-[0099], [0122]-[0126], [0136]-[0138], [0149]-[0150]	6-11
Y	JP 2013-45325 A（株式会社日立製作所）04.03.2013（2013-03-04） 段落[0024]-[0028]	6-11
☐ 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 “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “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 “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） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “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 “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 “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 10.06.2022		国際調査報告の発送日 21.06.2022
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 大古 健一 3U 1180 電話番号 03-3581-1101 内線 3364

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/015595

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2011/125130	A1	13.10.2011	CN	102870057	A	
JP	2013-45325	A	04.03.2013	EP	2562614	A2	
				段落[0023]-[0027]			
				CN	102951512	A	