

(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
2025年6月26日(26.06.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/134586 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 23/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/039845

(22) 国際出願日: 2024年11月8日(08.11.2024)

(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 2023-214975 2023年12月20日(20.12.2023) JP

(71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号(JP).

(72) 発明者: 小松 天太(KOMATSU, Tenta). 白方 亨宗(SHIRAKATA, Naganori).

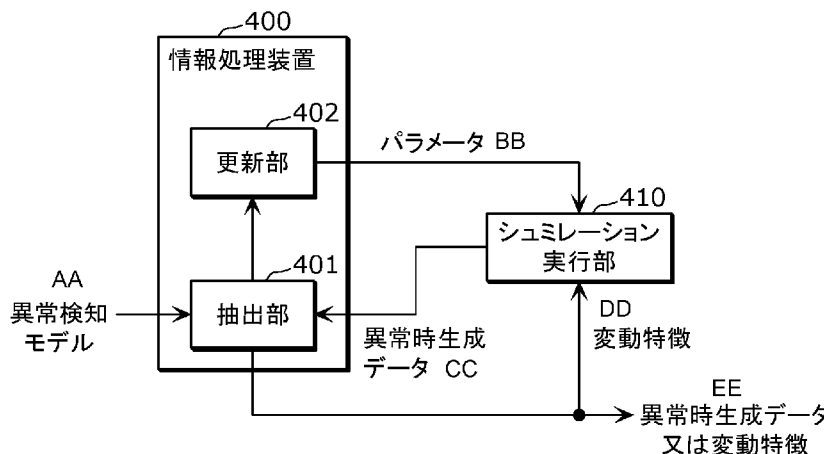
(74) 代理人: 新居 広守, 外(NII, Hiromori et al.); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目3番10号イトーピア新大阪ビル6階 新居国際特許事務所内(JP).

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, 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, CV, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI(BF, BJ, CF,

(54) Title: INFORMATION PROCESSING DEVICE AND INFORMATION PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: 情報処理装置および情報処理方法



400 Information processing device
401 Extraction unit
402 Update unit
410 Simulation execution unit
AA Abnormality detection model
BB Parameter
CC Abnormal-state generated data
DD Fluctuation characteristic
EE Abnormal-state generated data or fluctuation characteristic

(57) Abstract: An information processing device (400) comprises: an extraction unit (401) that extracts, using an abnormality detection model of a facility, a fluctuation characteristic of abnormal-state generated data, which is generated by performing a simulation of an abnormality of the facility; and an update unit (402) that updates a parameter of the simulation on the basis of the fluctuation characteristic extracted by the extraction unit (401).

(57) 要約: 情報処理装置(400)は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、設備の異常検知モデルを用いて抽出する抽出部(401)と、抽出部(401)によって抽出された変動特徴に基づいて、シミュレーションのパラメータを更新する更新部(402)と、を備える。

[続葉有]

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)）

明 細 書

発明の名称： 情報処理装置および情報処理方法

技術分野

[0001] 本開示は、情報処理装置および情報処理方法に関する。

背景技術

[0002] 工場などで生産を行なう産業設備、産業機械、産業ロボット、発電設備などでは多数のモータおよびギアが使用されている。突発的な装置トラブルは勿論、経年劣化または摩耗劣化による装置の異常は、ライン停止につながり、生産性減少または事故の発生が懸念される。

[0003] そのため、機械学習モデル等を用いて設備に取り付けたセンサの信号の特徴から内部状態を推定し、設備の状態に応じた効率的な計画保全を可能にする方法が求められている。特に近年では、保全作業の完全自動化を目的に、設備の正常および異常のみの推定ではなく、異常箇所および／または異常原因までを推定する技術の需要が高まっている。

[0004] 設備の正常および異常のみの推定ではなく、異常箇所および／または異常原因を特定する際に技術課題となるのが、異常時データの不足である。

[0005] 設備の正常および異常のみの推定する場合、大量に取得できる正常時データの特徴のみを学習し、正常時からの変化を評価すればよい。一方、異常箇所および／または異常原因を特定するためにはそれぞれの異常箇所に対応した異常時データが必要になる。しかし、一般的に、現場の設備から学習に十分な量の異常時データを取得できることは稀である。

[0006] いくつかの文献では、物理シミュレーションを用いて異常時データを生成することにより不足を補う方法が開示されている。

[0007] しかし、一般に診断対象の設備の寸法および物性値などの物理パラメータを正確に把握することは難しい。そのため、不正確な物理パラメータを用いて生成した異常時データには誤差が生じ、結果として物理シミュレーションを用いて異常時データの不足を補っても、異常箇所および／または異常原因

の診断の精度の向上に寄与しない。診断の精度の向上のためには、物理パラメータの値を改善することが求められている。

[0008] 例えば、特許文献1では、正常時実測データと正常時生成データとを比較し、その差分を小さくするように物理モデルのパラメータを更新することで、物理パラメータの値を改善する方法が開示されている。また、特許文献2には、異常時実測データと異常時生成データとを比較し、その差分を小さくするように物理モデルのパラメータを更新することで、物理パラメータの値を改善する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2018-190245号公報

特許文献2：国際公開第2016/195092号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] しかし、特許文献1の方法で精度が向上する可能性があるのはあくまで正常時データを生成する際に必要な物理パラメータのみであり、異常時データの生成にのみ寄与するような物理パラメータの精度は向上しない。そのため、特許文献1の方法では、異常箇所および／または異常原因の診断の精度の低下を避けることはできない。

[0011] また、特許文献2の方法では、異常時実測データを十分量収集することは難しいため、一部の異常箇所または異常原因に対してのみしか異常時実測データと異常時生成データとを比較することはできない。また、異常時実測データに異常箇所または異常原因のラベルが付いていないと適切な比較をすることができない。しかし、異常箇所または異常原因のラベルを正確に取得するには設備を停止し点検する必要がある。このため、生産性の低下またはコストの増大につながる。そのため、特許文献2の方法でも、物理パラメータを適切に更新することは難しく、異常箇所および／または異常原因の診断の

精度の低下を避けることはできない。

[0012] このように、特許文献1および2で示される方法では、多様な異常時生成データを十分量生成することが難しい。このため、十分な精度で設備の異常箇所および／または異常原因を推定することはできない。

[0013] そこで、本開示は、多様な異常時生成データの生成を支援することができる情報処理装置および情報処理方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0014] 本開示の一態様に係る情報処理装置は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の異常検知モデルを用いて抽出する抽出部と、前記抽出部によって抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新する更新部と、を備える。

[0015] また、本開示の一態様に係る情報処理方法は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の異常検知モデルを用いて抽出するステップと、抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新するステップと、を含む。

[0016] また、本開示の一態様は、上記情報処理方法をコンピュータに実行させるプログラムとして実現することができる。あるいは、本開示の一態様は、当該プログラムを格納したコンピュータ読み取り可能な非一時的な記録媒体として実現することもできる。

[0017] なお、これらの包括的または具体的な態様は、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラム、または、記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

発明の効果

[0018] 本開示の一態様によれば、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]図 1 は、実施の形態に係る設備状態推定システムの構成を示すブロック図である。

[図2]図 2 は、実施の形態に係る異常データ生成部の構成を示すブロック図である。

[図3]図 3 は、実施の形態に係る設備状態推定装置が行う処理のうち、学習フェーズの処理を示すフローチャートである。

[図4]図 4 は、実施の形態に係る設備状態推定装置が行う処理のうち、診断フェーズの処理を示すフローチャートである。

[図5]図 5 は、実施の形態に係る設備状態推定装置の入出力部が表示する表示画面の一例を示す図である。

[図6]図 6 は、実施の形態に係る設備状態推定装置による効果を説明するための図である。

[図7]図 7 は、実施の形態の変形例に係る情報処理装置の構成を示すブロック図である。

[図8]図 8 は、実施の形態の変形例に係る情報処理装置の動作を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本開示の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

[0021] なお、以下に説明する実施の形態は一例であり、いずれも包括的または具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、材料、構成要素、構成要素の配置位置および接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態に係る構成要素のうち、独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。つまり、本開示は、以下の実施の形態により限定されるものではない。

[0022] 本開示の一態様における更なる利点および効果は、明細書および図面から明らかにされる。かかる利点および／または効果は、いくつかの実施の形態

ならびに明細書および図面に記載された特徴によってそれぞれ提供されるが、1つまたはそれ以上の同一の特徴を得るために必ずしも全てが提供される必要はない。

[0023] また、各図は、模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。したがって、例えば、各図において縮尺などは必ずしも一致しない。また、各図において、実質的に同一の構成については同一の符号を付しており、重複する説明は省略または簡略化する。

[0024] また、本明細書において、「第1」、「第2」などの序数詞は、特に断りの無い限り、構成要素の数または順序を意味するものではなく、同種の構成要素の混同を避け、区別する目的で用いられている。

[0025] (実施の形態)

[構成]

まず、実施の形態に係る設備状態推定システムの構成および処理の概要について説明する。

[0026] 図1は、本開示の実施の形態に係る設備状態推定システム10の構成を示すブロック図である。図1に示すように、設備状態推定システム10は、設備20と、センサ30と、設備状態推定装置100と、を備える。なお、設備状態推定システム10は、設備20およびセンサ30を備えていなくてもよく、設備状態推定システム10が備えない設備の稼働状況を示すデータを取得して、取得したデータに基づいて設備の異常の検知またはその異常要因の診断の支援を行ってもよい。

[0027] 設備状態推定装置100は、例えば1台以上のコンピュータ機器で実現される。設備状態推定装置100は、情報処理部101と、データベース(DB)102と、入出力部103と、を備える。また、情報処理部101は、異常検知モデル学習部110と、異常データ生成部120と、異常診断モデル学習部130と、異常検知部140と、異常診断部150と、を備える。情報処理部101または設備状態推定装置100は、本開示における情報処理装置の一例である。

- [0028] 設備 20 は、状態推定対象の機械である。設備 20 は、例えば、モータ、発電機などの回転機械である。あるいは、設備 20 は、複数の回転機械がギアボックス、負荷、チェーンなどを介して連結された機構であってもよい。あるいは、設備 20 は、このような機構を内蔵したロボットアーム、移動体などの機構でもよい。
- [0029] センサ 30 は、設備 20 において観測される振動、電磁波、熱などの物理量を電子情報処理可能な信号に変換する。センサ 30 は、後述する学習フェーズでは、変換した信号を異常検知モデル学習部 110 へ出力する。また、センサ 30 は、後述する診断フェーズでは、異常検知部 140 へ出力する。
- [0030] 本明細書では、センサ 30 が出力する信号を、「実測信号」と記載する。設備 20 が正常である場合にセンサ 30 から出力される実測信号を「正常時実測信号」と記載する。設備 20 が異常である場合にセンサ 30 から出力される実測信号を「異常時実測信号」と記載する。正常時実測信号および異常時実測信号はそれぞれ、情報処理部 101 によって、異常検知モデル学習部 110 または異常検知部 140 で処理できるデータに変換される。本明細書では、正常時実測信号から変換されたデータを「正常時実測データ」と記載する。異常時実測信号から変換されたデータを「異常時実測データ」と記載する。実測信号および実測データは、実質的に同じとみなすことができる。
- [0031] 情報処理部 101 は、入出力部 103 から入力された設定情報と、センサ 30 から取得した信号と、データベース 102 から読み取った情報とを処理する。情報処理部 101 は、処理によって得られた情報および／またはデータを、データベース 102 へ保存、または、入出力部 103 へ出力する。
- [0032] 情報処理部 101 は、1 以上のプロセッサおよび 1 以上のメモリで実現される。1 以上のプロセッサは、1 以上のメモリに格納されたプログラムを読み出して実行することによって、所定の処理を実行する。所定の処理とは、情報処理部 101 が備える機能的な構成要素、具体的には、異常検知モデル学習部 110、異常データ生成部 120、異常診断モデル学習部 130、異常検知部 140 および異常診断部 150 の各々が行う処理である。1 以上の

メモリには、プログラムが格納された不揮発性メモリ、および、プログラムを実行するための一時的な記憶領域である揮発性メモリが含まれる。なお、プログラムは、データベース102に格納されていてもよい。

[0033] データベース102は、情報処理部101の処理に応じて、情報処理部101から受け取ったデータを保存する。あるいは、データベース102は、情報処理部101の処理に必要なデータを情報処理部101へ出力する。データベース102は、HDD (Hard Disk Drive)、SSD (Solid State Drive) 等の不揮発性記憶装置で実現される。

[0034] 入出力部103は、異常時生成データの生成に必要な設定等の入力をユーザから受け付ける。また、入出力部103は、情報処理部101が生成した異常時生成データの分布、および／または、異常検知の対象となる設備20の状態等のシステムの出力を可視化し、ユーザに提示する。入出力部103は、本開示における情報処理装置が備える表示部の一例である。なお、ユーザとは、設備20の管理者、設備20のメンテナンス作業員、設備状態推定システム10の利用者などである。

[0035] 入出力部103は、タッチパネル、キーボード、マウス、マイクロフォン等の入力装置と、ディスプレイ、スピーカー等の出力装置とで実現される。例えば、入出力部103は、ユーザからの操作入力を受け付ける機能と、ユーザへ情報を表示する機能とを有するタッチパネルディスプレイであるが、これに限定されない。

[0036] 異常検知モデル学習部110は、センサ30から入力された実測信号を用いて、異常検知モデルを学習する。ここで、異常検知モデルとは、正常時実測データのみを利用して、実測データの正常特徴を学習したモデルである。正常特徴の学習には、例えば機械学習モデルを用いてもよい。機械学習には、種々の公知のアルゴリズム、例えばニューラルネットワークなどによるオートエンコーダ、サポートベクタマシンもしくはランダムフォレスト、または、これらを組合せたアンサンブル学習などを用いることができる。あるいは

は、異常検知モデルには、ルールベースの方法を用いてもよい。すなわち、ある信号の特徴量の閾値を正常時実測データから決定したものを、異常検知モデルとして用いてもよい。学習した異常検知モデルは、異常データ生成部 120 および異常検知部 140 へ出力される。

[0037] 異常データ生成部 120 は、異常検知モデル学習部 110 から入力された異常検知モデルを用いて異常要因ラベル付き異常時生成データを生成する。異常データ生成部 120 は、生成した異常時生成データを、異常診断モデル学習部 130 へ出力する。異常データ生成部 120 の具体的な機能構成については、図 2 を用いて後で説明する。

[0038] なお、本実施の形態では、異常要因とは、異常箇所および／または異常原因を含む概念として用いる。異常箇所とは、設備 20 において異常が発生した場所（例えば、設備 20 の部品または部品の一部など）を表す情報である。異常原因は、設備 20 において異常が発生した原因（例えば、故障した部品または正常動作していない部品など）を表す情報である。異常箇所および異常原因は区別されなくてもよい。

[0039] 異常診断モデル学習部 130 は、本開示に係る生成部の一例であり、シミュレーションを行うことによって生成される複数の異常時生成データ、または、当該複数の異常時生成データの各々の変動特徴に基づいて、設備 20 の異常要因を診断する異常診断モデルを生成する。具体的には、異常診断モデル学習部 130 は、異常データ生成部 120 から与えられた異常要因ラベル付き異常時生成データに基づき、異常診断モデルを生成する。異常診断モデルとは、異常時生成データから設備の異常要因を推定する数理モデルである。異常診断モデルの学習には、例えばニューラルネットワーク、サポートベクタマシンもしくはランダムフォレスト、または、これらを組合せたアンサンブル学習などの機械学習を用いることができる。異常診断モデル学習部 130 は、生成した異常診断モデルを異常診断部 150 へ出力する。

[0040] 異常検知部 140 は、後述する診断フェーズにおいて、センサ 30 から入力された実測信号と異常検知モデルとを用いて、設備 20 が正常であるか異

常であるかを判定する。異常検知部 140 は、設備 20 が異常であると判定した場合、すなわち、設備 20 の異常を検知した場合、異常が検知された実測信号、つまり、異常時実測信号（具体的には、異常時実測データ）を異常診断部 150 へ出力する。また、異常の判定結果は、入出力部 103 を通してユーザに提示される。

[0041] 異常診断部 150 は、本開示に係る診断部の一例であり、後述する診断フェーズにおいて、設備 20 の異常が検知された場合に、異常診断モデルを用いて設備 20 の異常要因を診断する。具体的には、異常診断部 150 は、異常診断モデル学習部 130 から出力された異常箇所診断モデルを用いて、異常検知部 140 から出力された異常時実測データの評価を行うことで、設備 20 の異常要因を診断する。異常要因の診断結果は、入出力部 103 を通してユーザに提示される。

[0042] 次に、本実施の形態に係る異常データ生成部 120 の具体的な構成について、図 2 を用いて説明する。図 2 は、本実施の形態に係る異常データ生成部 120 の構成を示すブロック図である。

[0043] 図 2 に示すように、異常データ生成部 120 は、パラメータ決定部 121 と、シミュレーション実行部 122 と、抽出部 123 と、保存部 124 と、算出部 125 と、要約部 126 と、を備える。

[0044] パラメータ決定部 121 は、シミュレーション実行部 122 で使用する物理パラメータを決定する。物理パラメータは、設備 20 の異常のシミュレーションのパラメータの一例である。

[0045] 本実施の形態では、パラメータ決定部 121 は、本開示に係る更新部の一例であり、抽出部 123 によって抽出された変動特徴に基づいて、物理パラメータを更新する。なお、変動特徴は、異常時生成データの特徴を表す情報であり、具体的には、異常検知モデルが学習した正常時実測データの特徴に対する異常時生成データの変化量である。

[0046] 例えば、パラメータ決定部 121 は、算出部 125 によって算出された多様度に基づいて物理パラメータを更新する。多様度は、抽出部 123 によっ

て抽出された変動特徴の多様度である。変動特徴の多様度と異常時生成データの多様度とには正の相関関係がある。具体的には、変動特徴が多様である程、異常時生成データも多様である。異常時生成データが多様であれば、様々な異常要因の推定が可能になる。

[0047] また、パラメータ決定部 1 2 1 は、要約部 1 2 6 によって算出された要約量に基づいてパラメータを更新してもよい。要約量は、抽出部 1 2 3 によって抽出された変動特徴の分布の要約量である。変動特徴の分布は、異常時生成データの分布と同様の特性を有する。例えば、複数の変動特徴が広範囲に偏りなく分布している場合には、複数の異常時生成データも同様に広範囲に偏りなく分布している、すなわち、異常時生成データが多様になる。

[0048] なお、物理パラメータは、後述する図 5 に示す表示画面でユーザが設定した範囲から決定されてもよい。また、物理パラメータは、要約部 1 2 6 から出力された変動特徴の分布と、算出部 1 2 5 から出力された変動特徴の多様度とに応じて値を決めてもよい。また、変動特徴の多様度が増加するように、値を決めてもよい。

[0049] 変動特徴の多様度および／または変動特徴の分布に応じて物理パラメータを決める方法には、ベイズ最適化、進化戦略などのブラックボックス最適化などを用いてもよい。その場合、シミュレーションのパラメータの値を説明変数とし、変動特徴の多様度および／または変動特徴の分布の要約量を目的関数としてもよい。また、物理パラメータを決める方法として、方策勾配法、actor-criticなどの強化学習を用いてもよい。強化学習を用いる場合、パラメータ決定部 1 2 1 をエージェントとし、シミュレーションのパラメータの値の決定あるいはシミュレーションのパラメータの値の変化量の決定を行動とし、変動特徴の多様度を報酬とし、変動特徴の分布を状態とし、変動特徴の分布の要約量を観測として強化学習を実行してもよい。

[0050] シミュレーション実行部 1 2 2 は、パラメータ決定部 1 2 1 によって決定または更新された物理パラメータをもとに、物理モデルを使って、設備 2 0 の異常のシミュレーションを行う。シミュレーション実行部 1 2 2 は、シミ

ュレーションを行うことによって、異常時生成データを生成する。物理モデルには、診断対象の設備 20 の等価回路モデル、より詳細な FEM (Finite Element Method) モデル、または、これらの入出力関係を学習した代理モデルなどを用いてもよい。

[0051] 抽出部 123 は、本開示に係る抽出部の一例であり、設備 20 の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、設備 20 の異常検知モデルを用いて抽出する。具体的には、抽出部 123 は、異常検知モデルを用いて、シミュレーション実行部 122 によって生成された異常時生成データの変動特徴を抽出する。言い換えると、抽出部 123 は、異常検知モデルを用いて異常時生成データを評価することで、異常時生成データの変動特徴を抽出する。ここで、変動特徴とは、異常検知モデルが学習した正常時実測データの特徴に対する異常時生成データの変化量である。例えば、異常検知モデルとして、異常要因に紐づいた周波数成分に対して正常時実測データから閾値を決定するルールベースの方法を採用した場合、異常要因に紐づいた周波数成分を変動特徴として抽出してもよい。異常検知モデルとしてオートエンコーダを採用した場合、抽出部 123 は、オートエンコーダの再構成誤差を変動特徴として以下の式 (1) で定義される再構成誤差 e_t ベクトルを用いることができる。

[0052] [数1]

$$(1) \quad e_t = f(x_t) - x_t$$

[0053] ここで、 f は、正常時実測データの特徴を学習したオートエンコーダであり、異常検知部 140 で異常検知に用いられる異常検知モデルである。 x_t は t 回目に生成した異常時生成データである。

[0054] 保存部 124 は、抽出部 123 から出力された変動特徴を保存する。また、保存部 124 は、算出部 125 および要約部 126 へ、過去に保存した全ての変動特徴を出力する。

[0055] 算出部 125 は、本開示に係る算出部の一例であり、抽出部 123 によって抽出された変動特徴の多様度を算出する。算出部 125 は、多様度評価部

と呼ぶこともできる。算出部 1 2 5 は、具体的には、保存部 1 2 4 から出力された変動特徴の多様度を算出し、算出した多様度をパラメータ決定部 1 2 1 へ出力する。

[0056] 多様度 r_t は、例えば、シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データと、当該異常時生成データより過去にシミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データの各々との距離の平均と定義することができる。具体的には、多様度 r_t は、以下の式 (2) のように、過去に生成した複数の異常時生成データとの距離の平均として定義されてもよい。

[0057] [数2]

$$(2) \quad r_t = \frac{1}{t-1} \sum_{k=1}^{t-1} d(e_t, e_k)$$

[0058] ここで、 d は、ベクトル間の距離を表す関数であり、例えばコサイン類似度などである。

[0059] あるいは、多様度 r_t は、例えば、抽出部 1 2 3 によって抽出された変動特徴の各次元のエントロピーの平均と定義することもできる。具体的には、多様度 r_t は、以下の式 (3) のように、過去に生成した複数の異常時生成データの変動特徴の各次元のエントロピーの平均として定義されてもよい。

[0060] [数3]

$$(3) \quad r_t = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n h(e_1^k, e_2^k, \dots, e_t^k)$$

[0061] ここで、 n は変動特徴の次元数である。 e_t^k は、 t 回目に生成した異常時生成データの変動特徴の k 次元目の要素である。 h は、データ分布からエントロピーを近似する関数である。

[0062] 要約部 1 2 6 は、本開示に係る要約部の一例であり、抽出部 1 2 3 によって抽出された変動特徴の分布の要約量を算出する。具体的には、要約部 1 2 6 は、保存部 1 2 4 に保存された異常時生成データの変動特徴の分布の要約量を算出し、算出した要約量をパラメータ決定部 1 2 1 へ出力する。

[0063] 分布の要約量は、例えば、シミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データを変動特徴空間内で複数のクラスタに分類し、当該複数のクラスタの各々の平均と分散とを含む行列と定義することができる。具体的には、分布の要約量は、以下の式（４）で示す変動特徴のクラスの重心と分散とをまとめた行列 S_t として定義してもよい。

[0064] [数4]

$$(4) \quad S_t = \begin{pmatrix} \mu_1^1 & \mu_2^1 & \cdots & \mu_n^1 \\ \sigma_1^1 & \sigma_2^1 & \cdots & \sigma_n^1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_1^m & \mu_2^m & \cdots & \mu_n^m \\ \sigma_1^m & \sigma_2^m & \cdots & \sigma_n^m \end{pmatrix}$$

[0065] ここで、 n は変動特徴の次元数である。 m は固定されたクラスタ数である。 μ はクラスタの重心を示す。 σ はクラスタの分散を示す。この場合、分布の要約量の次元がそれまでに生成したデータ数に依存せず、これを強化学習の観測として用いることが可能になる。

[0066] あるいは、分布の要約量は、抽出部 1 2 3 によって抽出された変動特徴の各次元の度数分布を集約した行列と定義することもできる。具体的には、分布の要約量は、以下の式（５）で示す変動特徴の各次元の度数分布を集約した行列 S_t として定義してもよい。

[0067] [数5]

$$(5) \quad S_t = \begin{pmatrix} w_1^1 & w_1^2 & \cdots & w_1^l \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n^1 & w_n^2 & \cdots & w_n^l \end{pmatrix}$$

[0068] ここで、 l は階級数である。 w は度数である。この場合、分布の要約量の次元がそれまでに生成したデータ数に依存せず、これを強化学習の観測として用いることが可能になる。

[0069] なお、学習フェーズに過去の故障事例などで収集した少数の異常時実測データを用いることができる場合、少数の異常時実測データによる評価を、上記の変動特徴の多様度または分布による評価に加えてシミュレーションパラメータの更新を行ってもよい。すなわち、ブラックボックス最適化の目的関

数または強化学習の報酬関数に、異常時実測データと異常時生成データの類似度や、異常時生成データを学習した診断モデルを異常実測データで評価した際の診断精度の項を加えてもよい。

[0070] [動作]

続いて、本実施の形態に係る設備状態推定システム１０の動作について説明する。まず、設備状態推定装置１００が行う処理のうち、学習フェーズの処理の一例について、図３を参照して説明する。図３は、本実施の形態に係る設備状態推定装置１００が行う処理のうち、学習フェーズの処理を示すフローチャートである。

[0071] ステップＳ１０では、入出力部１０３は、情報処理部１０１の処理に必要な設定情報の入力を受け付ける。設定情報には、例えば、設備２０の異常のシミュレーションのパラメータの値が含まれる。

[0072] ステップＳ１１では、異常検知モデル学習部１１０は、設備２０の振動、電流などの物理量を、センサ３０を用いて実測信号（実測データ）として取得し、取得した実測データの特徴を学習する。なお、学習フェーズでは、設備２０が正常動作していることを確認したうえで行う。このため、センサ３０から取得される実測データは、全て正常時実測データであるとみなす。すなわち、異常検知モデルは、正常時実測データを用いて正常特徴を学習する。

[0073] ステップＳ１２では、異常データ生成部１２０は、異常時生成データを生成する。具体的には、シミュレーション実行部１２２が設備２０の異常のシミュレーションを行うことで異常時生成データを生成する。このときのシミュレーションのパラメータは、例えば、ステップＳ１０で受け付けた設定情報に含まれる。

[0074] ステップＳ１３では、抽出部１２３は、異常検知モデルを用いて異常時生成データの変動特徴を抽出する。抽出部１２３は、抽出した変動特徴を保存部１２４へ保存する。

[0075] ステップＳ１４では、算出部１２５は、抽出した変動特徴の多様度を算出

する。情報処理部101は、算出部125が算出した多様度を入出力部103に出力する。入出力部103は、算出部125から得られた多様度に基づき、多様度推移グラフ207（後述する図5を参照）を更新する。

[0076] ステップS15では、入出力部103は、異常時生成データの変動特徴に基づき、空間分布グラフ206（後述する図5を参照）を更新する。

[0077] ステップS16では、情報処理部101は、終了条件を満たしているかを判断する。終了条件は、例えば、異常時生成データの生成数に基づいて定められる。例えば、ユーザは、入出力部103を介して終了条件として入力した値を異常時生成データの生成数が上回っている場合、情報処理部101は、学習フェーズを終了すると判断する。あるいは、終了条件は、ユーザからの指示に基づいて定められてもよい。例えば、ユーザが生成停止ボタン204（後述する図5を参照）を押した場合、情報処理部101は、学習フェーズを終了すると判断してもよい。終了条件を満たしていない場合は、ステップS17へ移行し、終了条件を満たした場合、ステップS18へ移行する。なお、終了条件は、上述した例には限定されない。例えば、終了条件は、学習フェーズを行った期間に基づいて定められてもよい。学習フェーズを行った期間が、予め定められた期間を超えた場合に、情報処理部101は、学習フェーズを終了すると判断してもよい。

[0078] 終了条件を満たしていない場合（S16でNo）、ステップS17では、パラメータ決定部121は、変動特徴の多様度および／または変動特徴の分布に基づき、シミュレーションのパラメータを更新する。パラメータの更新にブラックボックス最適化を用いた場合、ステップS17において目的関数の新たな値を得る。パラメータの更新に強化学習を用いた場合、ステップS17において報酬、状態、観測の新たな値を得る。

[0079] パラメータを更新した後、ステップS12に移行して、シミュレーションを行うことで、異常時生成データの生成を行う。このときのシミュレーションには、パラメータ決定部121によって更新されたパラメータが用いられる。以降、ステップS16で終了条件を満たすと判断されるまで、ステップ

S 1 2 ~ S 1 7 の処理が繰り返される。

- [0080] 終了条件を満たした場合（S 1 6 で Y e s）、ステップ S 1 8 では、異常診断モデル学習部 1 3 0 は、生成された異常時生成データを用いて、異常診断モデルを学習する。
- [0081] ステップ S 1 9 では、異常診断モデル学習部 1 3 0 は、生成した異常診断モデルをデータベース 1 0 2 または異常診断部 1 5 0 が有する内部メモリへ保存する。これにより、学習フェーズは終了し、診断フェーズに移行する。
- [0082] 続いて、本実施の形態に係る設備状態推定装置 1 0 0 が行う処理のうち、診断フェーズの処理の一例について、図 4 を参照して説明する。図 4 は、本実施の形態に係る設備状態推定装置 1 0 0 が行う処理のうち、診断フェーズの処理を示すフローチャートである。
- [0083] ステップ S 2 0 では、情報処理部 1 0 1 は、設備 2 0 の振動、電流などの物理量を、センサ 3 0 を用いて実測信号（実測データ）として取得する。異常検知部 1 4 0 は、取得した実測データを異常検知モデルに入力する。診断フェーズでは、センサ 3 0 から出力される実測データに対して、「正常」および「異常」のどちらの可能性も考慮する。
- [0084] ステップ S 2 1 では、異常検知部 1 4 0 は、異常検知モデルを用いて設備 2 0 の状態の「正常」および「異常」を判断する。「異常」の場合、ステップ S 2 2 へ移行する。「正常」の場合、ステップ S 2 3 へ移行する。またこのとき、異常検知部 1 4 0 は、異常検知モデルを用いて、実測データの変動特徴を抽出する。なお、変動特徴の抽出は、異常データ生成部 1 2 0 の抽出部 1 2 3 によって行われてもよい。
- [0085] 設備 2 0 が「異常」と判定された場合（S 2 1 で Y e s）、ステップ S 2 2 では、異常診断部 1 5 0 は、実測データまたは実測データの変動特徴を異常診断モデルに入力する。そして、異常診断部 1 5 0 は、異常診断モデルを用いて設備 2 0 の異常要因を特定する。
- [0086] 異常要因が特定された後、あるいは、設備 2 0 が「正常」と判定された場合（S 2 1 で N o）、ステップ S 2 3 では、入出力部 1 0 3 は、実測データ

または実測データの変動特徴を診断結果とともに変動特徴空間に表示する。
具体的には、入出力部 103 は、実測データの変動特徴を空間分布グラフ 206（後述する図 5 を参照）に表示する。

[0087] ステップ S24 では、ユーザは、空間分布グラフ 206 内の実測データの位置に基づき、異常時生成データの再生成が必要かを判断する。再生成が必要であるとユーザが判断した場合（S24 で Yes）、入出力部 103 は、ユーザから再生成の指示を受け付ける。これにより、設備状態推定装置 100 は、診断フェーズを終了して、学習フェーズへ移行する。再生成の場合には、図 3 に示したフローチャートにおいて、ステップ S12 の処理から実行すればよい。再生成が必要ない場合（S24 で No）、ステップ S20 へ移行し、新たな実測データについて、ステップ S20 の処理を行う。以降、再生成が必要となるまで、あるいは、診断フェーズを終了するまで、ステップ S20～S24 の処理が繰り返される。

[0088] [表示例]

続いて、本実施の形態に係る設備状態推定装置 100 の入出力部 103 が表示する表示画面の一例について、図 5 を参照して説明する。図 5 は、本実施の形態に係る設備状態推定装置 100 の入出力部 103 が表示する表示画面の一例を示す図である。

[0089] パラメータ生成条件テーブル 201 は、シミュレーション実行部 122 がシミュレーションを実行するのに必要なパラメータの生成条件の入力をユーザから受け付けるための GUI オブジェクトの一例である。パラメータ決定部 121 は、パラメータ生成条件テーブル 201 で入力された条件に基づいて、シミュレーションのパラメータを決定または更新する。

[0090] 図 5 に示す例では、パラメータ生成条件テーブル 201 は、シミュレーションに使用するパラメータの種類を入力するための入力欄 211、ならびに、パラメータの生成に用いる値の下限（最小値）、上限（最大値）および初期値の各々を入力するための入力欄 212、213 および 214 を含んでいる。複数のパラメータが存在する場合には、パラメータ毎に、入力欄 211

、 2 1 2、 2 1 3 および 2 1 4 が設けられている。なお、各入力欄への入力形式は、テキストおよび数値を直接入力できてもよく、複数の候補値の中から選択できてもよい。

[0091] 実行条件テーブル 2 0 2 は、シミュレーションによる異常時生成データの生成の実行条件の入力をユーザから受け付けるための G U I オブジェクトの一例である。実行条件テーブル 2 0 2 は、最大生成データ数を入力するための入力欄 2 2 1、および、表示インターバルを入力するための入力欄 2 2 2 を含んでいる。

[0092] 最大生成データ数は、異常時生成データの最大の生成数であり、図 3 のステップ S 1 6 の終了条件の 1 つとして用いることができる。また、表示インターバルは、空間分布グラフ 2 0 6 および多様度推移グラフ 2 0 7 の表示の更新を行う異常時生成データの数である。例えば、図 5 に示す例では、1 0 個の異常時生成データが生成される度に、空間分布グラフ 2 0 6 および多様度推移グラフ 2 0 7 の表示が更新される。

[0093] 生成開始ボタン 2 0 3 は、ユーザが選択した場合に、異常時生成データの生成を開始または再開するための G U I オブジェクトの一例である。例えば、図 4 のステップ S 2 4 で再生成が必要であると判断された場合に、ユーザが生成開始ボタン 2 0 3 を選択することができる。

[0094] 生成停止ボタン 2 0 4 は、ユーザが選択した場合に、異常時生成データの生成を停止または終了するための G U I オブジェクトの一例である。例えば、図 3 のステップ S 1 6 の終了条件の 1 つとして用いることができる。

[0095] 物理パラメータの分布情報 2 0 5 は、異常時生成データの生成、すなわち、シミュレーションに利用した物理パラメータの分布を示す情報である。分布 2 5 1、2 5 2 および 2 5 3 はそれぞれ、パラメータ生成条件テーブル 2 0 1 で入力したパラメータ A、パラメータ B およびパラメータ C に対応する。各分布の横軸は、パラメータの値を表し、縦軸は、対応する値がシミュレーションで採用された頻度を表している。

[0096] 空間分布グラフ 2 0 6 は、変動特徴空間をグラフ化したものである。具体

的には、空間分布グラフ206は、生成データおよび実測データの変動特徴の空間分布を示すグラフである。Type 1、Type 2、およびType 3はそれぞれ、異常要因の種別に対応する。各Typeに対して、マーカーの色分けを行うことで、視覚的に容易に区別することができる。図5に示す例では、Type 1、Type 2、Type 3の各々が、変動特徴空間内において、ある程度のまとまりと広がりを持った集合261、262および263を形成している。

[0097] また、マーカーの形状の違いは、実測データおよび生成データの違いを表している。図5に示す例では、丸印のマーカーは、生成データを表し、星印のマーカー264は、実測データを表している。なお、変動特徴が4次元以上の場合、例えば主成分分析などの低次元化の手法を用いて、3次元のグラフとして表示してもよい。

[0098] 多様度推移グラフ207は、異常時生成データの変動特徴の多様度の推移を示すグラフである。多様度推移グラフ207では、縦軸が多様度を表し、横軸が異常時生成データの生成数を表している。

[0099] このように、本実施の形態では、入出力部103は、変動特徴空間をグラフ化して表示する（例えば、空間分布グラフ206）。入出力部103は、シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データを変動特徴空間内に表示する（例えば、集合261、262および263）。また、入出力部103は、異常検知モデルを用いて異常と検知された実測データを変動特徴空間内に表示する（例えば、マーカー264）。

[0100] また、入出力部103は、多様度の変化をグラフ化して表示する（例えば、多様度推移グラフ207）。また、入出力部103は、シミュレーションの実行の停止および再開、すなわち、異常時生成データの生成の停止および再開を指示するユーザ操作を受け付けるための第1GUIオブジェクトを表示する（例えば、生成開始ボタン203または生成停止ボタン204）。また、入出力部103は、異常診断モデルの再生成を指示するユーザ操作を受け付けるための第2GUIオブジェクトを表示する（例えば、生成開始ボタ

ン 2 0 3)。なお、ここでは、生成開始ボタン 2 0 3 が本開示に係る第 1 G U I オブジェクトおよび第 2 G U I オブジェクトの各々の一例である場合を説明したが、第 1 G U I オブジェクトおよび第 2 G U I オブジェクトの各々が個別に設けられていてもよい。

[0101] なお、図 5 に示す表示画面は、一例にすぎず、適宜変更されてもよい。パラメータ生成条件テーブル 2 0 1、実行条件テーブル 2 0 2、生成開始ボタン 2 0 3、生成停止ボタン 2 0 4、分布情報 2 0 5、空間分布グラフ 2 0 6 および多様度推移グラフ 2 0 7 の各要素のうちの少なくとも 1 つは、表示画面に含まれていなくてもよい。また、1 つの表示画面に全ての要素（G U I オブジェクト）が表示されている例を示したが、これに限らない。ユーザに提示すべき複数の要素は、複数の表示画面または表示ウィンドウに分散して表示されてもよく、スクロールまたは画面切り替えによって表示されてもよい。

[0102] [効果等]

続いて、本実施の形態に係る設備状態推定装置 1 0 0 の効果の一例について、図 6 を参照して説明する。図 6 は、本実施の形態に係る設備状態推定装置 1 0 0 の効果を説明するための図である。

[0103] 分布情報 3 0 1 は、図 5 のパラメータ生成条件テーブル 2 0 1 で設定した範囲の一様分布から物理パラメータをサンプリングした場合の物理パラメータの分布を示す。分布 3 1 1、3 1 2、3 1 3 はそれぞれ、パラメータ A、パラメータ B、パラメータ C に対応する。

[0104] 空間分布グラフ 3 0 3 は、分布情報 3 0 1 に示す物理パラメータに応じて生成された異常時生成データの変動特徴の分布を示す。

[0105] 通常、物理モデルおよび異常検知モデルは、入力に関して非線形なモデルである。このため、変動特徴も物理パラメータに対して非線形な関係になる。したがって、分布情報 3 0 1 に示す物理パラメータに応じて生成された異常時生成データの変動特徴の分布は偏った分布になり、多様度が低くなる。例えば、図 6 に示すように、集合 3 3 1 に含まれる変動特徴は、変動特徴空

間内で狭い範囲にまとまって存在している。集合 3 3 2 および 3 3 3 についても同様である。つまり、生成される異常時生成データは、似通った特徴のデータが多く、多様な特徴を生成しきれていない。

[0106] そのため、例えば異常診断モデルに入力された実測データが、過去に学習した異常時生成データのどれとも異なる変動特徴を持っている可能性がある。具体的には、図 6 に示すように、実測データの変動特徴を表すマーカー 3 3 4 が、集合 3 3 1、3 3 2 および 3 3 3 のいずれの存在範囲にも含まれなくなる可能性がある。このため、実測データの異常要因がどの異常要因に分類すればよいか定まらない場合が想定される。

[0107] これに対して、分布情報 3 0 2 は、変動特徴の多様度が最大化するように、パラメータ生成条件テーブル 2 0 1 で設定した範囲から物理パラメータをサンプリングした場合の物理パラメータの分布を示す。分布 3 2 1、3 2 2、3 2 3 はそれぞれ、入力したパラメータ A、パラメータ B、パラメータ C に対応する。なお、分布 3 2 1、3 2 2、3 2 3 はそれぞれ、図 5 の表示画面の分布 2 5 1、2 5 2、2 5 3 と同じである。

[0108] 空間分布グラフ 3 0 4 は、分布情報 3 0 2 に示す物理パラメータに応じて生成された異常時生成データの変動特徴の分布を示す。空間分布グラフ 3 0 4 に含まれる異常時生成データは、空間分布グラフ 3 0 3 に含まれる異常時生成データより多様な変動特徴を持つ。具体的には、集合 3 4 1、3 4 2 および 3 4 3 はいずれも、集合 3 3 1、3 3 2 および 3 3 3 よりも大きな集合を形成している。例えば、集合 3 4 1 に含まれる変動特徴は、集合 3 3 1 に含まれる変動特徴よりも、変動特徴空間内で広い範囲に存在している。よって、未知の実測データが異常診断モデルに入力された場合であっても、高精度で異常要因を診断することができる。例えば、図 6 に示すように、実測データの変動特徴を表すマーカー 3 4 4 が、集合 3 4 1 の存在範囲に含まれている。このため、実測データの異常要因として、集合 3 4 1 に対応する異常要因 “T y p e 1” であると判断することができる。

[0109] なお、本実施の形態では、異常時生成データ自体の多様度ではなく、正常

時実測データからの変動特徴の多様度を評価する。これにより、正常時実測データ内での変動の影響を考慮することができ、少ない生成回数で多様な異常特徴を持つ異常時生成データを生成できる。

[0110] [まとめ]

以上説明したように、本開示の一態様によれば、正常時実測データの特徴を学習した異常検知モデルを用いて異常時生成データの変動特徴を抽出することで、異常時実測データとの比較を用いずに診断対象の物理パラメータを適切に改善することができる。これにより、多様な異常時生成データを生成することができ、高精度な異常要因の推定の実現に貢献することができる。

[0111] (その他)

以上、図面を参照しながら各種の実施の形態について説明したが、本開示はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、請求の範囲に記載された範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。また、開示の趣旨を逸脱しない範囲において、上記実施の形態に係る各構成要素を任意に組み合わせてもよい。

[0112] 例えば、図1に示した情報処理部101は、異常データ生成部120を備え、異常検知モデル学習部110、異常診断モデル学習部130、異常検知部140および異常診断部150を備えなくてもよい。また、図2に示した異常データ生成部120は、抽出部123と、シミュレーションのパラメータを更新する更新部と、を備え、シミュレーション実行部122、保存部124、算出部125および要約部126を備えなくてもよい。つまり、本開示に係る情報処理装置は、上述した実施の形態に示した構成よりも簡素な構成で実現することもできる。

[0113] 図7は、実施の形態の変形例に係る情報処理装置400の構成を示すブロック図である。図7に示すように、情報処理装置400は、抽出部401と、更新部402と、を備える。また、情報処理装置400は、外部のシミュレーション実行部410との間で情報、データおよび信号等の入出力が可能

なように、有線または無線で通信可能に接続されている。

[0114] 抽出部401は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、設備の異常検知モデルを用いて抽出する。シミュレーションは、情報処理装置400とは異なるシミュレーション実行部410によって行われる。また、異常検知モデルは、情報処理装置400とは異なる他の装置（図示せず）から取得される。抽出部401が抽出した変動特徴は、シミュレーション実行部410および情報処理装置400とは異なる他の装置（図示せず）に出力される。

[0115] 更新部402は、抽出部401によって抽出された変動特徴に基づいて、シミュレーションのパラメータを更新する。更新部402は、変動特徴に基づいて更新したパラメータをシミュレーション実行部410に出力する。

[0116] 図8は、実施の形態の変形例に係る情報処理装置400の動作を示すフローチャートである。情報処理装置400の動作は、本開示における情報処理方法の一例である。図8に示すように、情報処理方法は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、設備の異常検知モデルを用いて抽出するステップS30と、抽出された変動特徴に基づいて、シミュレーションのパラメータを更新するステップS31と、を含む。

[0117] このように、情報処理装置400によれば、上述した実施の形態と同様に、正常時実測データの特徴を学習した異常検知モデルを用いて異常時生成データの変動特徴を抽出することで、異常時実測データとの比較を用いずに診断対象の物理パラメータを適切に改善することができる。これにより、多様な異常時生成データの生成を支援することができ、高精度な異常要因の推定の実現に貢献することができる。

[0118] また、上記各実施の形態では、本開示はハードウェアを用いて構成する例にとって説明したが、本開示はハードウェアとの連携においてソフトウェアでも実現することも可能である。

[0119] また、上記各実施の形態の説明に用いた各機能ブロックは、典型的には集

積回路であるLSI (Large Scale Integration) として実現される。集積回路は、上記実施の形態の説明に用いた各機能ブロックを制御し、入力部と出力部とを備えてもよい。これらは個別に1チップ化されてもよいし、一部または全てを含むように1チップ化されてもよい。ここでは、LSIとしたが、集積度の違いにより、IC (Integrated Circuit)、システムLSI、スーパーLSI、ウルトラLSIと呼称されることもある。

[0120] また、集積回路化の手法はLSIに限るものではなく、専用回路または汎用プロセッサを用いて実現してもよい。LSI製造後に、プログラムすることが可能なFPGA (Field Programmable Gate Array)、LSI内部の回路セルの接続または設定を再構成可能なリコンフィギュラブルプロセッサ (Reconfigurable Processor) 等を利用してもよい。

[0121] さらに、半導体技術の進歩または派生する別技術により、LSIに置き換わる集積回路化技術が登場すれば、当然、その技術を用いて機能ブロックを集積化してもよい。バイオ技術、光集積回路の適用等が可能性としてあり得る。

[0122] また、本開示の全般的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路またはコンピュータプログラムで実現されてもよい。あるいは、当該コンピュータプログラムが記憶された光学ディスク、HDDもしくは半導体メモリなどのコンピュータ読み取り可能な非一時的記録媒体で実現されてもよい。また、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

[0123] また、上記の各実施の形態は、請求の範囲またはその均等の範囲において種々の変更、置き換え、付加、省略などを行うことができる。

[0124] <本開示のまとめ>

本開示の第1態様に係る情報処理装置は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の

異常検知モデルを用いて抽出する抽出部と、前記抽出部によって抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新する更新部と、を備える。

[0125] このように、変動特徴に基づいてパラメータが更新されるので、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

[0126] 本開示の第2態様に係る情報処理装置は、第1態様に係る情報処理装置であって、前記抽出部によって抽出された変動特徴の多様度を算出する算出部を備え、前記更新部は、前記算出部によって算出された多様度に基づいて前記パラメータを更新する。

[0127] これにより、例えば多様度が最大化するようにパラメータを更新することができ、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

[0128] 本開示の第3態様に係る情報処理装置は、第2態様に係る情報処理装置であって、前記算出部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データと、当該異常時生成データより過去に前記シミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データの各々との距離の平均を、前記多様度として算出する。

[0129] これにより、多様度がデータ数に依存しないので、強化学習に適用することができる。

[0130] 本開示の第4態様に係る情報処理装置は、第2態様に係る情報処理装置であって、前記算出部は、前記抽出部によって抽出された変動特徴の各次元のエントロピーの平均を、前記多様度として算出する。

[0131] これにより、多様度がデータ数に依存しないので、強化学習に適用することができる。

[0132] 本開示の第5態様に係る情報処理装置は、第1態様～第4態様のいずれか1つに係る情報処理装置であって、前記異常検知モデルは、オートエンコーダであり、前記抽出部は、前記オートエンコーダの再構成誤差を前記変動特徴として抽出する。

[0133] これにより、オートエンコーダを利用して簡単に変動特徴を抽出すること

ができる。

[0134] 本開示の第6態様に係る情報処理装置は、第1態様～第5態様のいずれか1つに係る情報処理装置であって、前記抽出部によって抽出された変動特徴の分布の要約量を算出する要約部を備え、前記更新部は、前記要約部によって算出された要約量に基づいて前記パラメータを更新する。

[0135] これにより、変動特徴の分布に基づいて変動特徴が多様化するようにパラメータを更新することができ、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

[0136] 本開示の第7態様に係る情報処理装置は、第6態様に係る情報処理装置であって、前記要約部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データを変動特徴空間内で複数のクラスタに分類し、前記複数のクラスタの各々の平均と分散とを含む行列を、前記要約量として算出する。

[0137] これにより、分布の要約量の次元がデータ数に依存しないので、強化学習に適用することができる。

[0138] 本開示の第8態様に係る情報処理装置は、第6態様に係る情報処理装置であって、前記要約部は、前記抽出部によって抽出された変動特徴の各次元の度数分布を集約した行列を、前記要約量として算出する。

[0139] これにより、分布の要約量の次元がデータ数に依存しないので、強化学習に適用することができる。

[0140] 本開示の第9態様に係る情報処理装置は、第1態様～第8態様のいずれか1つに係る情報処理装置であって、変動特徴空間をグラフ化して表示する表示部を備え、前記表示部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データを前記変動特徴空間内に表示する。

[0141] これにより、異常時生成データの変動特徴をユーザが視覚的に容易に把握しやすくなる。パラメータの調整を行うか否か、あるいは、異常時生成データの生成の停止等の判断を行いやすくなる。

[0142] 本開示の第10態様に係る情報処理装置は、第2態様～第4態様のいずれ

か1つに係る情報処理装置であって、前記多様度の変化をグラフ化して表示する表示部を備える。

[0143] これにより、シミュレーションの実行中に、生成される異常時生成データの変動特徴の多様度をユーザがモニタリングすることができる。例えば、シミュレーションの実行に合わせて多様度が増加していく様子を確認することができるので、パラメータの調整を行うか否か、あるいは、異常時生成データの生成の停止等の判断を行いやすくなる。

[0144] 本開示の第11態様に係る情報処理装置は、第1態様～第8態様のいずれか1つに係る情報処理装置であって、前記表示部は、前記シミュレーションの実行の停止および再開を指示するユーザ操作を受け付けるための第1GUIオブジェクトを表示する。

[0145] これにより、ユーザの所望のタイミングでシミュレーションの実行の停止および開始を指示することができる。例えば、多様な異常時生成データを十分量生成できたとユーザが判断した場合には、シミュレーションの実行を停止して処理に要する消費電力等の削減に貢献することができる。また、異常時生成データが不十分であるとユーザが判断した場合には、シミュレーションの実行を再開して異常時生成データを生成させることができる。このため、不適切な異常時生成データに基づいて、異常要因の推定が行われることが抑制される。

[0146] 本開示の第12態様に係る情報処理装置は、第1態様～第8態様のいずれか1つに係る情報処理装置であって、前記シミュレーションを行うことによって生成される複数の異常時生成データ、または、当該複数の異常時生成データの各々の変動特徴に基づいて、前記設備の異常要因を診断する異常診断モデルを生成する生成部と、前記異常検知モデルを用いて前記設備の異常が検知された場合に、前記異常診断モデルを用いて前記設備の異常要因を診断する診断部と、を備える。

[0147] これにより、多様な異常時生成データに基づいて異常診断モデルを生成することができるので、異常要因の推定精度を高めることができる。

[0148] 本開示の第 1 3 態様に係る情報処理装置は、第 1 2 態様に係る情報処理装置であって、変動特徴空間をグラフ化して表示する表示部を備え、前記表示部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データと、前記異常検知モデルを用いて異常と検知された実測データとを、前記変動特徴空間内に表示する。

[0149] これにより、実測データの変動特徴をユーザが視覚的に容易に把握しやすくなる。診断結果が正しいか否かをユーザの経験に基づいて判断することも可能になる。

[0150] 本開示の第 1 4 態様に係る情報処理装置は、第 1 3 態様に係る情報処理装置であって、前記表示部は、前記異常診断モデルの再生成を指示するユーザ操作を受け付けるための第 2 GUI オブジェクトを表示する。

[0151] これにより、例えば、診断結果が不適切であるとユーザが判断した場合には、異常診断モデルを再生成させることができる。不適切な異常診断モデルに基づいて、異常要因の推定が行われることを抑制することができる。

[0152] 本開示の第 1 5 態様に係る情報処理方法は、設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の異常検知モデルを用いて抽出するステップと、抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新するステップと、を含む。

[0153] これにより、上述した各態様に係る情報処理装置と同様に、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

[0154] 本開示の第 1 6 態様に係るプログラムは、第 1 5 態様に係る情報処理方法をコンピュータに実行させるプログラムである。

[0155] これにより、上述した各態様に係る情報処理装置と同様に、多様な異常時生成データの生成を支援することができる。

産業上の利用可能性

[0156] 本開示は、設備の異常の検知および異常要因の推定等を行う設備異常推定システム、および、設備の故障を診断する故障診断システム等に利用することができる。

符号の説明

- [0157] 1 0 設備状態推定システム
- 2 0 設備
- 3 0 センサ
- 1 0 0 設備状態推定装置
- 1 0 1 情報処理部
- 1 0 2 データベース
- 1 0 3 入出力部
- 1 1 0 異常検知モデル学習部
- 1 2 0 異常データ生成部
- 1 2 1 パラメータ決定部
- 1 2 2、4 1 0 シミュレーション実行部
- 1 2 3、4 0 1 抽出部
- 1 2 4 保存部
- 1 2 5 算出部
- 1 2 6 要約部
- 1 3 0 異常診断モデル学習部
- 1 4 0 異常検知部
- 1 5 0 異常診断部
- 2 0 1 パラメータ生成条件テーブル
- 2 0 2 実行条件テーブル
- 2 0 3 生成開始ボタン
- 2 0 4 生成停止ボタン
- 2 0 5、3 0 1、3 0 2 分布情報
- 2 0 6、3 0 3、3 0 4 空間分布グラフ
- 2 0 7 多様度推移グラフ
- 2 1 1、2 1 2、2 1 3、2 1 4、2 2 1、2 2 2 入力欄
- 2 5 1、2 5 2、2 5 3、3 1 1、3 1 2、3 1 3、3 2 1、3 2 2、3 2

3 分布

2 6 1、2 6 2、2 6 3、3 3 1、3 3 2、3 3 3、3 4 1、3 4 2、3 4

3 集合

2 6 4、3 3 4、3 4 4 マーカー

4 0 0 情報処理装置

4 0 2 更新部

請求の範囲

- [請求項1] 設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の異常検知モデルを用いて抽出する抽出部と、
- 前記抽出部によって抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新する更新部と、を備える、
- 情報処理装置。
- [請求項2] 前記抽出部によって抽出された変動特徴の多様度を算出する算出部を備え、
- 前記更新部は、前記算出部によって算出された多様度に基づいて前記パラメータを更新する、
- 請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記算出部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データと、当該異常時生成データより過去に前記シミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データの各々との距離の平均を、前記多様度として算出する、
- 請求項2に記載の情報処理装置。
- [請求項4] 前記算出部は、前記抽出部によって抽出された変動特徴の各次元のエントロピーの平均を、前記多様度として算出する、
- 請求項2に記載の情報処理装置。
- [請求項5] 前記異常検知モデルは、オートエンコーダであり、
- 前記抽出部は、前記オートエンコーダの再構成誤差を前記変動特徴として抽出する、
- 請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項6] 前記抽出部によって抽出された変動特徴の分布の要約量を算出する要約部を備え、
- 前記更新部は、前記要約部によって算出された要約量に基づいて前記パラメータを更新する、

請求項 1 に記載の情報処理装置。

[請求項7] 前記要約部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された複数の異常時生成データを変動特徴空間内で複数のクラスタに分類し、前記複数のクラスタの各々の平均と分散とを含む行列を、前記要約量として算出する、

請求項 6 に記載の情報処理装置。

[請求項8] 前記要約部は、前記抽出部によって抽出された変動特徴の各次元の度数分布を集約した行列を、前記要約量として算出する、

請求項 6 に記載の情報処理装置。

[請求項9] 変動特徴空間をグラフ化して表示する表示部を備え、
前記表示部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データを前記変動特徴空間内に表示する、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

[請求項10] 前記多様度の変化をグラフ化して表示する表示部を備える、
請求項 2 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

[請求項11] 前記表示部は、前記シミュレーションの実行の停止および再開を指示するユーザ操作を受け付けるための第 1 GUI (Graphical User Interface) オブジェクトを表示する、
請求項 10 に記載の情報処理装置。

[請求項12] 前記シミュレーションを行うことによって生成される複数の異常時生成データ、または、当該複数の異常時生成データの各々の変動特徴に基づいて、前記設備の異常要因を診断する異常診断モデルを生成する生成部と、

前記異常検知モデルを用いて前記設備の異常が検知された場合に、
前記異常診断モデルを用いて前記設備の異常要因を診断する診断部と、
を備える、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

[請求項13] 変動特徴空間をグラフ化して表示する表示部を備え、

前記表示部は、前記シミュレーションを行うことによって生成された異常時生成データと、前記異常検知モデルを用いて異常と検知された実測データとを、前記変動特徴空間内に表示する、

請求項 1 2 に記載の情報処理装置。

[請求項14] 前記表示部は、前記異常診断モデルの再生成を指示するユーザ操作を受け付けるための第2 GUI オブジェクトを表示する、

請求項 1 3 に記載の情報処理装置。

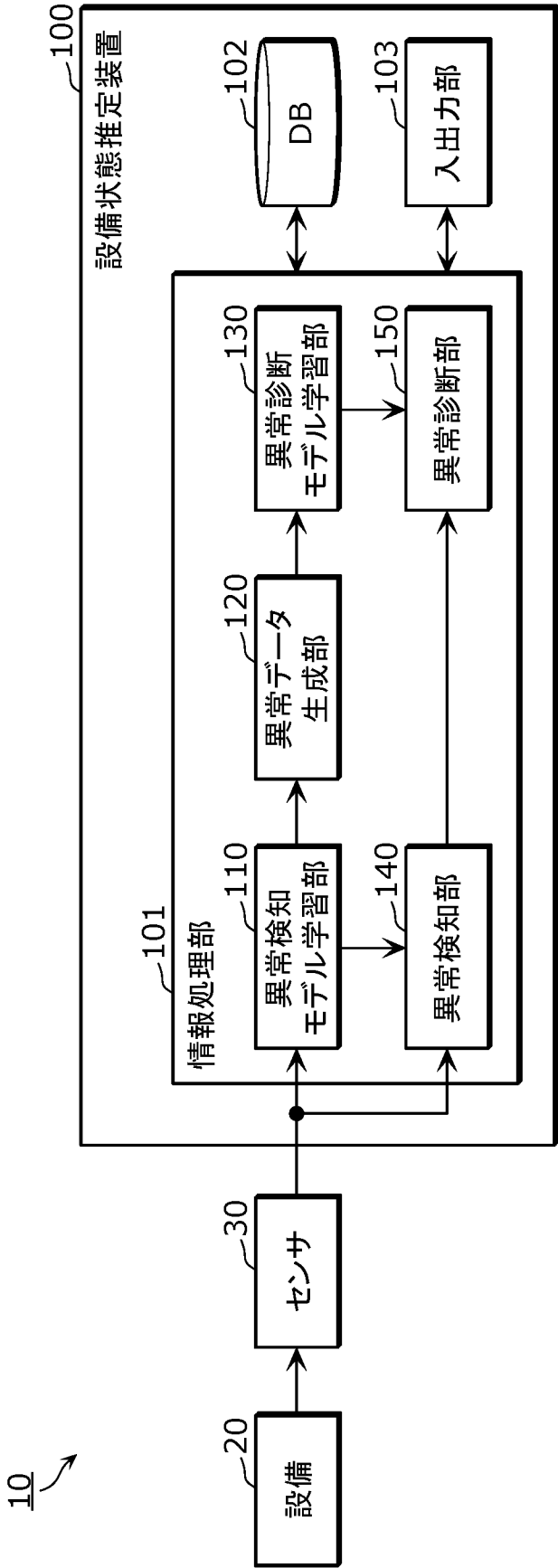
[請求項15] 設備の異常のシミュレーションを行うことによって生成される異常時生成データの変動特徴を、前記設備の異常検知モデルを用いて抽出するステップと、

抽出された変動特徴に基づいて、前記シミュレーションのパラメータを更新するステップと、を含む、

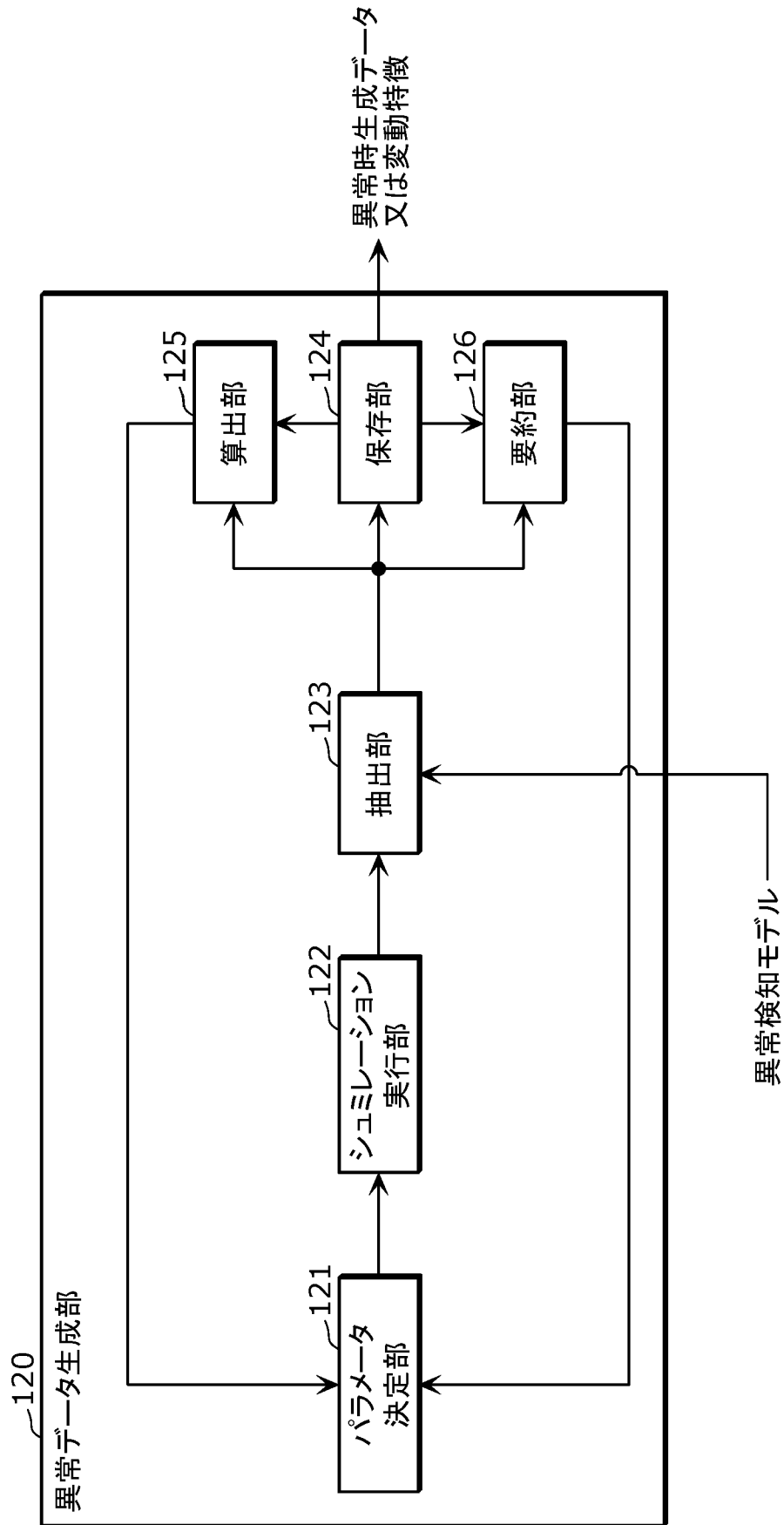
情報処理方法。

[請求項16] 請求項 1 5 に記載の情報処理方法をコンピュータに実行させるプログラム。

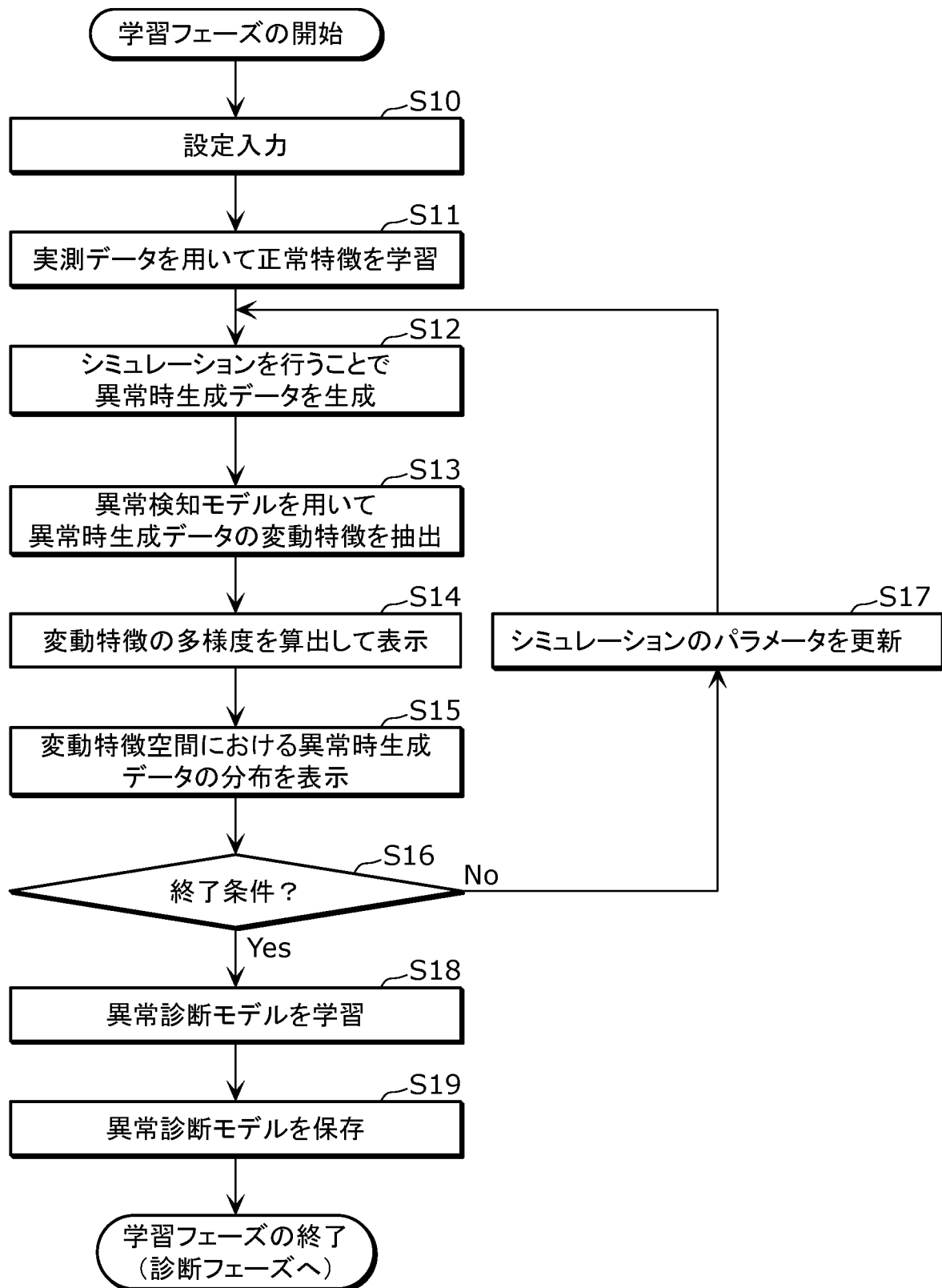
[図1]



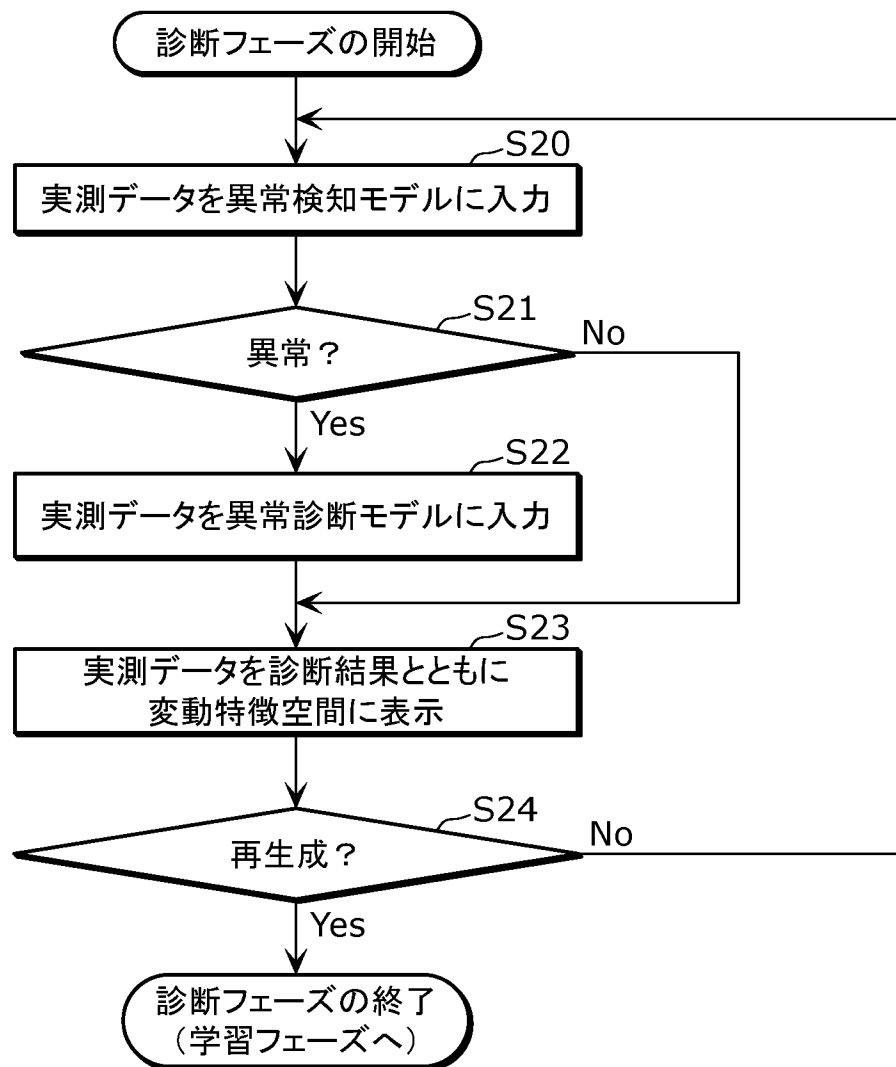
[図2]



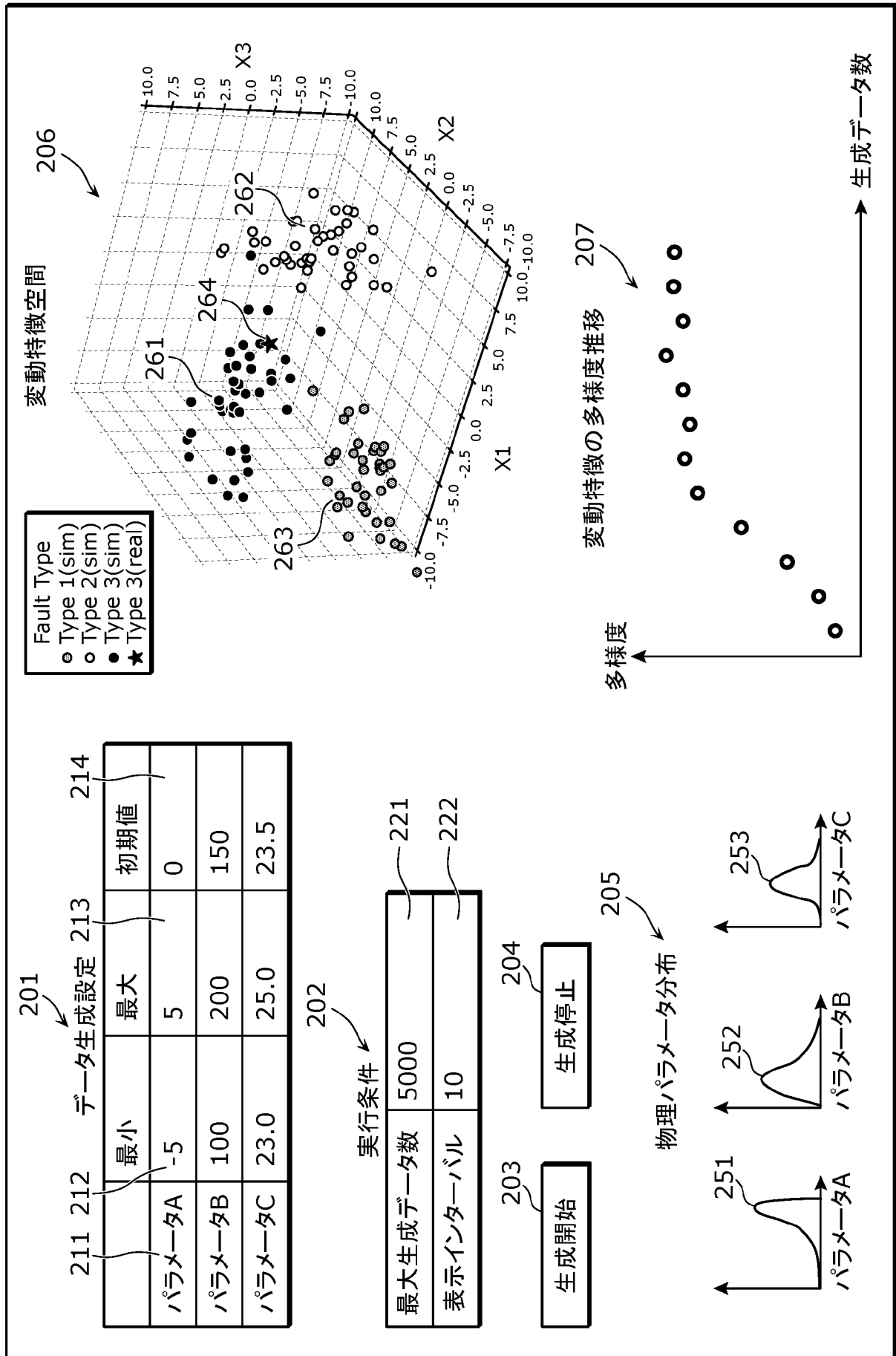
[図3]



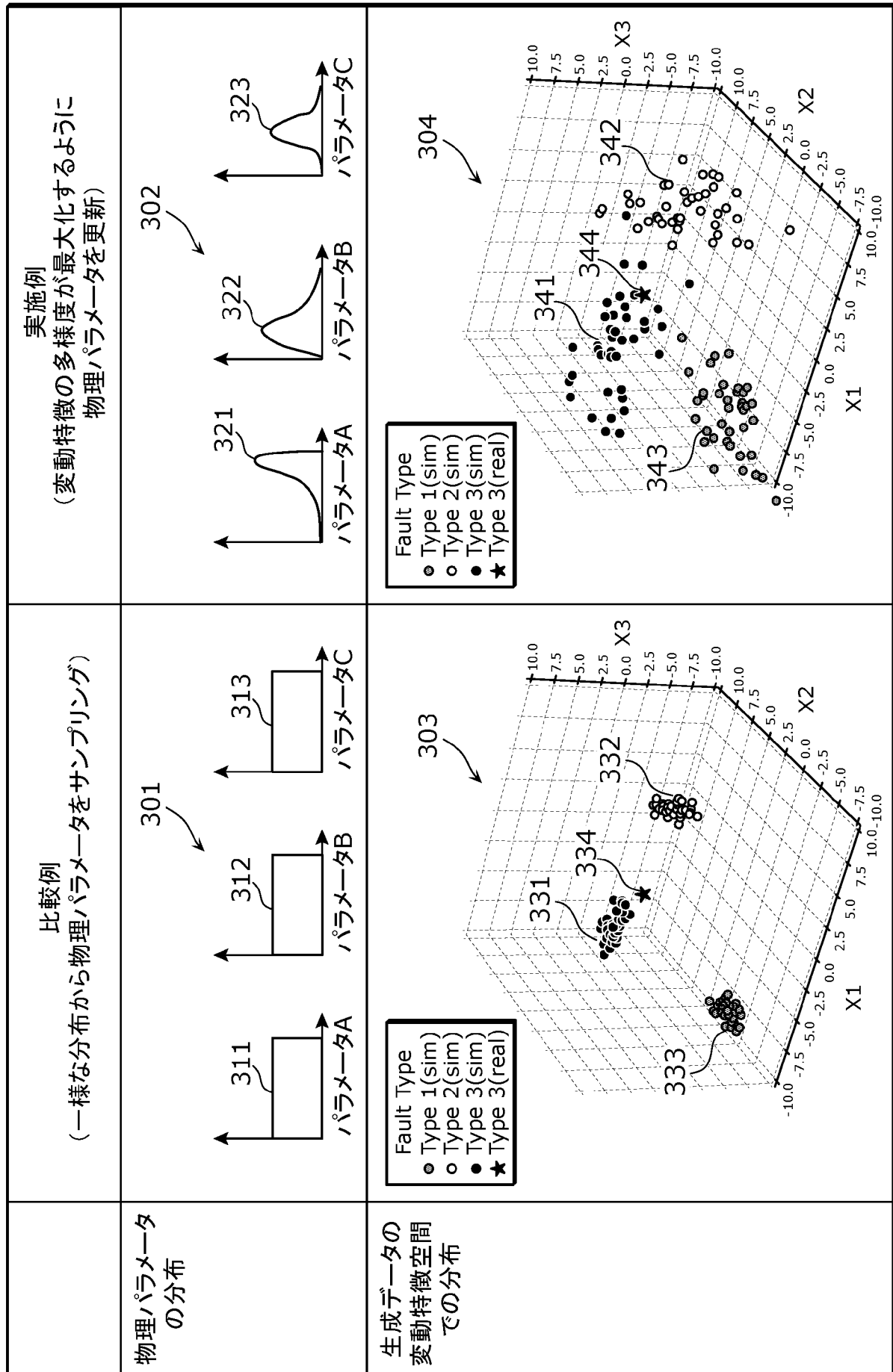
[図4]



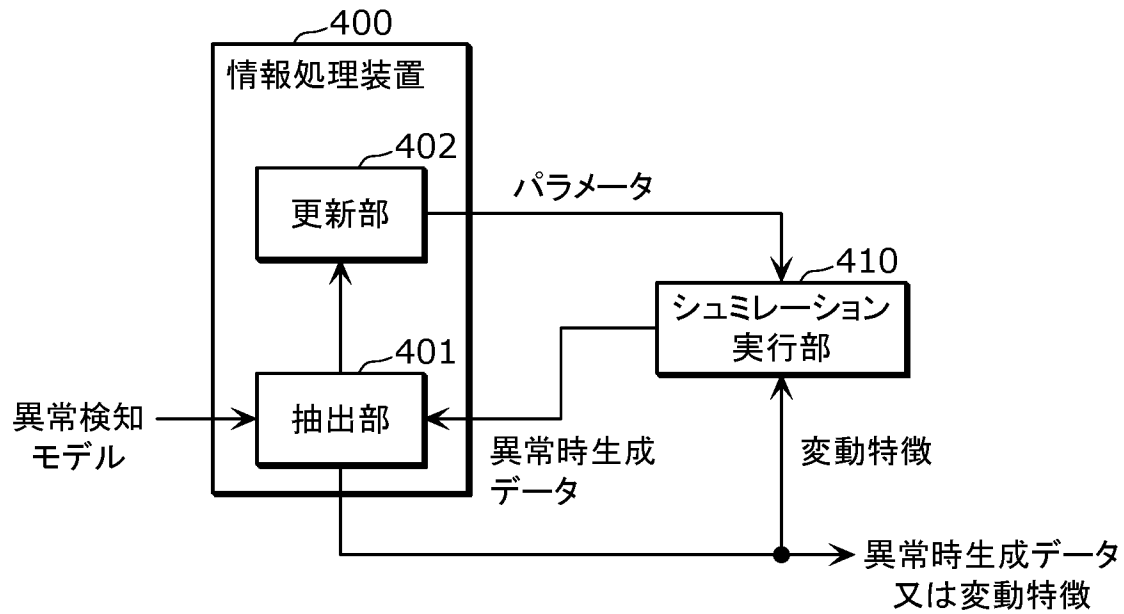
[図5]



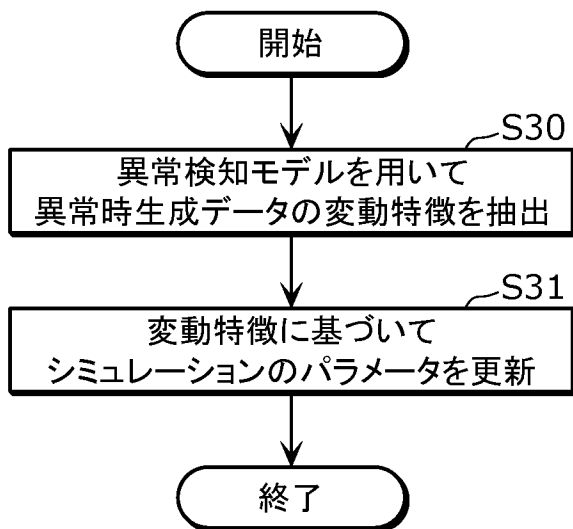
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/039845

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G05B 23/02</i> (2006.01)i FI: G05B23/02 302V; G05B23/02 301Q; G05B23/02 G 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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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 A	JP 2019-133212 A (HITACHI, LTD.) 08 August 2019 (2019-08-08) paragraphs [0008]-[0010], [0015]-[0088], fig. 1-13	1, 15-16 2-14
Y	JP 2020-30702 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 27 February 2020 (2020-02-27) paragraphs [0011]-[0054], fig. 1-6	1, 15-16
Y	JP 2023-21514 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 14 February 2023 (2023-02-14) paragraphs [0035]-[0037], fig. 4-5	1, 15-16
☐ 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 “D” document cited by the applicant in the international application “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 26 December 2024		Date of mailing of the international search report 14 January 2025
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/JP2024/039845

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2019-133212	A	08 August 2019	WO 2019/146315 A1 paragraphs [0008]-[0010], [0015]-[0088], fig. 1-13	
JP	2020-30702	A	27 February 2020	US 2021/0326705 A1 paragraphs [0019]-[0055], fig. 1-6	
JP	2023-21514	A	14 February 2023	(Family: none)	

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 302V; G05B23/02 301Q; G05B23/02 G

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 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024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 2019-133212 A（株式会社日立製作所）08.08.2019（2019 - 08 - 08） 段落[0008]-[0010], [0015]-[0088], 図1-13	1, 15-16
A		2-14
Y	JP 2020-30702 A（日本電信電話株式会社）27.02.2020（2020 - 02 - 27） 段落[0011]-[0054], 図1-6	1, 15-16
Y	JP 2023-21514 A（株式会社東芝）14.02.2023（2023 - 02 - 14） 段落[0035]-[0037], 図4-5	1, 15-16

☐ 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、一般的技术水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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

26. 12. 2024

国際調査報告の発送日

14. 01. 2025

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）

影山 直洋 3U 5785

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

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/JP2024/039845

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-133212 A	08.08.2019	WO 2019/146315 A1 段落[0008]-[0010], [0015]- [0088], 図1-13	
JP 2020-30702 A	27.02.2020	US 2021/0326705 A1 段落[0019]-[0055], 図1-6	
JP 2023-21514 A	14.02.2023	(ファミリーなし)	