

(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
2020年8月13日(13.08.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/162603 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 23/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2020/004842

(22) 国際出願日: 2020年2月7日(07.02.2020)

(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 2019-020252 2019年2月7日(07.02.2019) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 谷 祐司郎 (TANI Yujiro); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 小林 裕 (KOBAYASHI

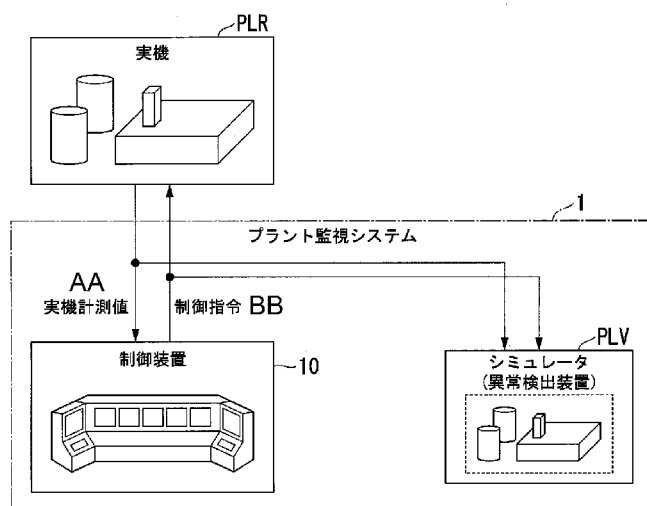
Yu); 〒1008332 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 松沼 泰史, 外 (MATSUNUMA Yasushi et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 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, JO, 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, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) **Title:** ABNORMALITY DETECTION DEVICE, SIMULATOR, PLANT MONITORING SYSTEM, ABNORMALITY DETECTION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 異常検出装置、シミュレータ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラム



1 Plant monitoring system
10 Control device
PLR Real equipment
PLV Simulator (abnormality detection device)
AA Real equipment measurement value
BB Control command

(57) **Abstract:** Provided is an abnormality detection device that can accurately and promptly detect an abnormality. An abnormality detection device (PLV) comprises: an acquisition unit which acquires a real equipment measurement value that is measured from real equipment (PLR) at a plant, and which acquires a control command from a control device (10); a simulation unit which calculates a simulator calculation value indicating the state of the real equipment at a plant on the basis of the control command; an abnormality determination unit which determines that an abnormality has occurred with the real equipment when the degree of divergence of the real equipment measurement value from the calculated simulator calculation value exceeds a prescribed determination threshold; and a notification processing unit which notifies that an abnormality has occurred when it is determined that the abnormality has occurred.

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, 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))

(57) 要約: 異常を正確かつ早期に検出することができる異常検出装置を提供する。異常検出装置 (P L V) は、プラントの実機 (P L R) から計測される実機計測値を取得し、制御装置 (1 0) から制御指令を取得する取得部と、前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するシミュレーション部と、算出した前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定する異常判定部と、前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知する通知処理部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

異常検出装置、シミュレータ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、異常検出装置、シミュレータ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラムに関する。

本願は、2019年2月7日に、日本に出願された特願2019-020252号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 各種センサを通じてプラントの実機の動作状態をモニタリングし、現在のプラントの状態を判断したり、将来のプラントの状態を予測したりする場合がある。例えば、実機のモニタリングデータに基づいて将来の運転状況を予測する予測シミュレータを用いた運転支援装置が知られている。

[0003] また、特許文献1には、異常事象の識別結果に基づいて異常発生時刻推定方式を決定し、適合度および異常発生時刻推定方式に基づいて、識別された異常事象の発生時刻を推定する管路異常検知装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2017-002554号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] プラントの実機の動作を、コンピュータ演算により忠実に模擬するシミュレータが知られている。このようなシミュレータを応用して、実機の異常を正確かつ早期に検出することが望まれている。

[0006] 本発明は、上述の課題を解決することのできる異常検出装置、シミュレー

タ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラムを提供する。

課題を解決するための手段

- [0007] 本発明の一態様によれば、異常検出装置は、プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得する取得部と、前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するシミュレーション部と、算出した前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定する異常判定部と、前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知する通知処理部と、前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定する推定部と、を備える。
- [0008] 本発明の一態様によれば、前記推定部が、前記異常が発生した時刻を推定すると、前記シミュレーション部は、前記シミュレータ計算値を、前記異常が発生した時刻における前記シミュレータ計算値の値に遡らせる。
- [0009] 本発明の一態様によれば、前記推定部は、更に、前記実機に異常が発生したと判定された時刻における前記実機計測値が満たす条件に基づいて、前記異常の種類を推定する。
- [0010] 本発明の一態様によれば、前記推定部は、更に、前記異常の発生を前記シミュレーション部に反映させたうえで、当該異常が発生した時刻から現在時刻までの模擬運転より得られたシミュレータ計算値の時系列に基づいて、前記異常の種類と規模を推定する。
- [0011] 本発明の一態様によれば、前記推定部は、少なくとも前記異常が発生したと判定された時刻の後、所定時間が経過した時刻までに取得された前記実機計測値の時系列、及び、前記シミュレータ計算値の時系列の類似度に基づいて、前記異常の種類と規模を推定する。
- [0012] 本発明の一態様によれば、前記推定部は、前記異常が発生した時刻を、前記実機計測値の時系列の変化率に基づいて推定する。

- [0013] 本発明の一態様によれば、シミュレータは、プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得する取得部と、前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するシミュレーション部と、前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定する異常判定部と、前記異常が発生したと判定された場合に、異常の発生をオペレータへ通知する通知処理部と、前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定する推定部と、を備える。
- [0014] 本発明の一態様によれば、プラント監視システムは、上述の制御装置と異常検出装置を備える。
- [0015] 本発明の一態様によれば、異常検出方法は、プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得するステップと、前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するステップと、算出された前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定するステップと、前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知するステップと、前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定するステップと、を有する。
- [0016] 本発明の一態様によれば、プログラムは、異常検出装置のコンピュータに、プラントの実機から計測される実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得するステップと、前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するステップと、算出された前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定するステップと、前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知するステップと、前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなさ

れた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定するステップと、を実行させる。

発明の効果

[0017] 上記した異常検出装置、シミュレータ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラムによれば、プラントの実機のシミュレータを用いて、実機の異常を正確かつ早期に検出することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第1の実施形態に係るプラント監視システムの全体構成を示す図である。

[図2]第1の実施形態に係るシミュレータの機能構成を示す図である。

[図3]第1の実施形態に係るシミュレータの処理フローを示す図である。

[図4]第1の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

[図5]第1の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

[図6]第1の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

[図7]第1の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

[図8]第1の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0019] <第1の実施形態>

以下、図1～図8を参照しながら、第1の実施形態に係るプラント監視システムについて詳細に説明する。

[0020] (プラント監視システムの全体構成)

プラント監視システム1は、例えば、原子力発電プラントの実機PLRの運転を監視するシステムである。プラント監視システム1は、制御装置10

と、シミュレータ P L V とを備えている。

[0021] 制御装置 10 は、プラントの実機 P L R の運転を制御するための制御指令を出力する。また、制御装置 10 は、実機 P L R に出力する制御指令と同じ信号を、シミュレータ P L V にも出力する。制御装置 10 は、実機 P L R から計測値（以下、「実機計測値」とも記載する。）を取得する。同様に、シミュレータ P L V も実機計測値を取得する。シミュレータ P L V は、自らが算出する実機 P L R の運転状態を示す計算値（以下、「シミュレータ計算値」とも記載する。）を取得する。即ち、シミュレータ P L V は、同一の制御指令に基づいてそれぞれ動作した実機 P L R 及びシミュレータ P L V のそれぞれから、実機計測値及びシミュレータ計算値を取得する。シミュレータ P L V は、取得した実機計測値及びシミュレータ計算値を対比することで実機 P L R の異常を検出する異常検出装置としても機能する。

[0022] 実機 P L R は、タービンやボイラー、種々の配管からなる設備である。実機 P L R の各所には、種々のセンサが設けられており、制御装置 10 は、これらのセンサを介して実機計測値を取得する。種々のセンサとは、配管の温度、圧力、流量等を計測可能な各種計器類、タンクの貯水量検出センサ、弁の開閉検知センサなどである。複数のセンサを通じて取得された実機計測値は、逐次、制御装置 10 及びシミュレータ P L V によって取得される。

[0023] シミュレータ P L V は、実機 P L R のいわゆるデジタルツインであって、実体としては演算装置（コンピュータ）である。即ち、シミュレータ P L V は、実機 P L R の運転を模擬する実機シミュレーションモデルである。シミュレータ P L V は、運転中の実機 P L R 内で生じる物理的現象を表す関数群によって構築される。シミュレータ P L V は、制御装置 10 から受け付けた制御指令を組み入れて物理演算を行い、実機 P L R の運転状態を模擬する。シミュレータ P L V は、例えば、実機 P L R の監視や運転訓練用途等で開発されたものであって、実機 P L R との整合性について実績があるシミュレーションモデルで構築されるのが好ましい。

[0024] 実機 P L R は、本実施形態においては原子力発電プラントに設置される装

置、設備等を想定しているが、他の実施形態においては原子力以外の発電プラント（火力発電プラント等）であってもよいし、発電プラント以外のプラント（例えば、化学プラント、廃棄物処理プラント等）に設置される装置、設備等であってもよい。

[0025] （シミュレータの機能構成）

図2は、第1の実施形態に係るシミュレータの機能構成を示す図である。

図2に示すように、シミュレータPLVは、CPU100と、メモリ101と、通信インタフェース102と、モニタ103と、入力機器104と、ストレージ105とを備えている。

[0026] メモリ101は、いわゆる主記憶装置であって、CPU100がプログラムに基づいて動作するための命令及びデータが展開される。

[0027] 通信インタフェース102は、シミュレータPLVの外部（実機PLR、制御装置10等）との通信を行うためのインタフェース機器である。

[0028] モニタ103は、情報を視認可能に表示する表示デバイスであって、例えば、液晶ディスプレイや有機ELディスプレイなどであってよい。

[0029] 入力機器104は、シミュレータPLVの使用者の操作を受け付ける入力デバイスであって、例えば、一般的なマウス、キーボード、タッチセンサなどであってよい。

[0030] ストレージ105は、いわゆる補助記憶装置であって、例えば、HDD（Hard Disk Drive）、SSD（Solid State Drive）等であってよい。ストレージ105には、異常推定用テーブルDB（後述）が記録されている。

[0031] CPU100は、シミュレータPLVの動作全体の制御を司るプロセッサである。本実施形態に係るCPU100は、図2に示すように、取得部1000、異常判定部1001、通知処理部1002、推定部1003及び、シミュレーション部1004としての機能を発揮する。以下、CPU100が有する各機能について説明する。

[0032] 取得部1000は、実機PLRに設けられた各種センサから実機計測値を取得する。また、取得部1000は、シミュレーション部1004からシミ

ュレータ計算値を取得する。また、取得部１０００は、制御装置１０が実機ＰＬＲへ出力した制御指令を取得する。

[0033] 異常判定部１００１は、実機ＰＬＲの運転の異常の有無を判定する。具体的には、異常判定部１００１は、取得部１０００によって取得されたシミュレータ計算値に対する実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、実機ＰＬＲに異常が発生したと判定する。

[0034] 通知処理部１００２は、異常判定部１００１によって実機ＰＬＲの運転に異常が発生したと判定された場合に、モニタ１０３等を通じて、オペレータに向けて異常が発生したことを通知する。

[0035] 推定部１００３は、異常判定部１００１によって実機ＰＬＲの運転に異常が発生したと判定された場合に、当該異常に関する種々の情報を推定する。具体的には、推定部１００３は、実機ＰＬＲの運転に異常が発生したと判定された場合に、当該異常が発生した時刻、異常の種類、及び、異常の規模を推定する。推定部１００３がこれら異常に関する情報を推定する処理の具体的な態様については後述する。

[0036] シミュレーション部１００４は、取得部１０００が取得した実機計測値や制御指令を、プラントにおける物理的現象を表す関数群に反映させて物理演算を行い、シミュレータ計算値を算出する。関数群は、例えば、制御装置１０が出力した制御指令の一部を入力すると、同様の制御指令を受けた実機ＰＬＲで計測される実機計測値と同じ値を出力する。シミュレーション部１００４は、取得部１０００を通じて最新の制御指令を取得し、その値を用いたシミュレータ計算値の算出を継続的に行う。シミュレーション部１００４は、シミュレータ計算値の算出に実機計測値を用いてもよい。これにより、シミュレータＰＬＶは、リアルタイムに実機ＰＬＲの運転状態を模擬するデジタルツインとして機能する。シミュレータ計算値には、実機のセンサが設置されていない箇所における監視対象の温度や圧力などの物理量が含まれる。オペレータは、シミュレータ計算値を参照することで、実機計測値だけからは得られない様々な情報を得ることができ、プラントの監視に役立てること

ができる。従って、シミュレーション部１００４が出力するシミュレータ計算値をプラントの監視に用いる場合、シミュレータ計算値には、高いシミュレーション精度を維持することが求められる。

[0037] (シミュレータの処理フロー)

図３は、第１の実施形態に係るシミュレータの処理フローを示す図である。

また、図４～図８は、第１の実施形態に係るシミュレータの処理を詳細に説明するための図である。

[0038] 図３に示す処理フローは、実機ＰＬＲの運転中において、継続して繰り返し実行される。

[0039] まず、シミュレータＰＬＶの取得部１０００は、実機ＰＬＲの各種センサを通じて実機計測値を取得し、かつ、シミュレーション部１００４からシミュレータ計算値を取得する（ステップＳ３０）。シミュレータ計算値は、シミュレーション部１００４が、取得部１０００によって取得された制御指令等を用いて算出した物理量 α である。この物理量 α は、取得部１０００が取得する実機計測値にも含まれている。

[0040] 次に、シミュレータＰＬＶの異常判定部１００１は、ステップＳ３０で取得した実機計測値とシミュレータ計算値との乖離の度合いを算出し、当該乖離の度合いが所定の判定閾値を上回っているか否かを判定する（ステップＳ３１）。例えば、異常判定部１００１は、物理量 α の実機計測値と物理量 α のシミュレータ計算値とを比較する。乖離の度合いが所定の判定閾値を上回っていない場合（ステップＳ３１；ＮＯ）、異常判定部１００１は、実機ＰＬＲに異常が発生していないと判定する。この場合、ＣＰＵ１００は、ステップＳ３０の処理に戻る。

[0041] 乖離の度合いが所定の判定閾値を上回っていた場合（ステップＳ３１；ＹＥＳ）、実機ＰＬＲに異常が発生したと判定する。この場合、シミュレータＰＬＶの通知処理部１００２は、モニタ１０３等を通じてオペレータに異常の発生を通知する（ステップＳ３２）。

[0042] 図4を参照しながら、上述したステップS31～ステップS32の処理について詳しく説明する。

図4に示すグラフは、ある基準時刻 t_0 から現在時刻（時刻 t_a ）までに取得された実機計測値の時系列DR及びシミュレータ計算値の時系列DVを示している。図4においては、実機PLRから取得される一つのパラメータ（例えば、ある配管Aの圧力）についての実機計測値と、同一のパラメータ（配管Aの圧力）についてのシミュレータ計算値との対比を示している。本実施形態においては、実際には、複数種類のパラメータごとに、実機計測値及びシミュレータ計算値の対比がなされる。

[0043] 図4に示すように、ある時刻 t_a に取得された実機計測値 DR_a とシミュレータ計算値 DV_a との乖離の度合い g （ $g = |DR_a - DV_a|$ ）が、判定閾値 g_{th} を上回ったとする（ステップS31；YES）。この場合、異常判定部1001は、実機PLRに異常が発生したと判定する。これにより、通知処理部1002は、時刻 t_a において、異常の発生を通知する（ステップS32）。つまり、時刻 t_a において、シミュレータPLV（異常検出装置）によって異常の発生が検出される。

[0044] 図3に戻り、続いて、シミュレータPLVの推定部1003は、発生した異常に関する各種情報を推定すべく、以下の処理を実行する。

[0045] 推定部1003は、異常発生時刻を推定する（ステップS33）。異常発生時刻とは、実機PLRにて実際に異常が発生した時刻であって、異常が検出された時刻（図4に示す時刻 t_a ）よりも前の時刻となる。

[0046] 図5を参照しながら、上述したステップS33の処理について詳しく説明する。

図5に示すグラフ5aは、図4と同様、ある基準時刻 t_0 から現在時刻（時刻 t_a ）までに取得された実機計測値の時系列DR及びシミュレータ計算値の時系列DVを示している。また、図5に示すグラフ5bは、実機計測値の時系列DRの時間微分である変化率 ΔDR を示している。

[0047] 本実施形態においては、推定部1003は、所定の基準時刻 t_0 から異常

ありとの判定がなされた時刻（時刻 t_a ）までの実機計測値の時系列 DR に基づいて、実機 PLR に異常が発生した時刻を推定する。具体的には、推定部 1003 は、時刻 t_a までの実機計測値の時系列 DR の変化率 ΔDR を算出し、更に、当該変化率 ΔDR が所定の判定閾値 ΔDR_{th} を上回った時刻（時刻 t_b ）を特定する。ここで、変化率 ΔDR が判定閾値 ΔDR_{th} を上回った時刻 t_b は、実機計測値の時系列 DR のトレンドの変化点とみなすことができる。したがって、推定部 1003 は、上記のように特定した時刻 t_b を、異常が発生した時刻として推定する。推定部 1003 は、シミュレーション部 1004 へ異常の発生を示す事故信号を通知する。事故信号を取得すると、シミュレーション部 1004 は、シミュレータ計算値の算出を一旦停止する。さらに推定部 1003 は、実機 PLR の模擬状態を、時刻 t_b における実機 PLR の運転状態に戻すようシミュレーション部 1004 へ指示する。シミュレーション部 1004 は、時刻 t_b におけるシミュレータ計算値を再現する。例えば、シミュレーション部 1004 は、時刻ごとのシミュレータ計算値及び実機計測値及び制御指令を、その時刻と対応付けてストレージ 105 へ記録する。推定部 1003 から模擬状態を時刻 t_b へ戻すように指示を受けると、シミュレーション部 1004 は、ストレージ 105 から、時刻 t_b のシミュレータ計算値等を読み出して、時刻 t_b における実機 PLR の運転状態を再現する。

[0048] 図 3 に戻り、次に、推定部 1003 は、実機 PLR で発生した異常の種類を判定する（ステップ S34）。異常の種類とは、異常の態様、性質、発生個所等を特定する情報であり、例えば、「配管 A 破断」、「配管 B 閉塞」、「電磁弁 X 故障」等の情報である。

[0049] 図 6 を参照しながら、上述したステップ S34 の処理について詳しく説明する。

図 6 に示す情報テーブルは、事前にストレージ 105 に格納された異常推定用テーブル DB の例である。図 6 に示すように、異常推定用テーブル DB は、予め規定した「異常の種類」毎に、複数種類の実機計測値が満たす条件

の組み合わせが記録されている。図6に示した各条件T1、T2、・・・、P1、P2、・・・、F1、F2、・・・は、各実機計測値DR__T、DR__P、DR__F、・・・の範囲（〇〇以上、××以下）、或いは、各実機計測値DR__T、DR__P、DR__F、・・・の変化量の範囲等で規定される。

[0050] 推定部1003は、上述のステップS34において、異常推定用テーブルDBを参照して、現在時刻（時刻t_a）までに取得した実機計測値の時系列DRが、各「異常の種類」ごとに規定された条件の組み合わせを満たしているか否かを判定する。例えば、推定部1003は、実機計測値DR__Tが条件T1を満たし、実機計測値DR__Pが条件P1を満たし、かつ、実機計測値DR__Fが条件F1を満たしていた場合には、実機PLRで事故事象X1（配管A破断）が発生したものと推定する。

[0051] なお、実機計測値の時系列の組み合わせによっては、異常推定用テーブルDBに規定された複数種類の条件の組み合わせが同時に当てはまる場合も想定される。例えば、ある実機計測値の時系列の組み合わせは、事故事象X_aの条件と、事故事象X_bの条件との両方を満たすことも考えられる。この場合、推定部1003は、実機PLRで「事故事象X_a、X_bの何れか一方又は両方が発生した。」と推定する。

[0052] 図3に戻り、次に、推定部1003は、実機PLRで発生した異常の規模を推定するにあたり、以下に説明するステップS35～ステップS37の処理を行う。ステップS35の処理について、図7を参照しながら詳しく説明する。

[0053] 初期状態において、シミュレータPLV（シミュレーション部1004）が物理演算により模擬する実機PLRの運転は、あくまで実機PLRに何らの異常が生じていない状態を前提として演算される。そのため、実機PLRに異常が発生した場合、当該異常が発生した実機PLRと、異常が発生していない前提で演算を行うシミュレータPLVとの間で、各々の運転状態に乖離が生じる。そこで、推定部1003は、当該異常が発生した時刻（ステップS33にて特定された時刻t_b）に遡らせたシミュレータPLVに対し、

ステップS 3 4 で特定された異常の種類を反映（マルファンクション投入）させて、模擬運転を再度やり直す（ステップS 3 5）。

ここで、「異常をシミュレータP L Vに反映させる」とは、図7に示すように、シミュレータP L Vで実機P L Rの模擬運転を行うにあたり、ステップS 3 4 で特定された異常の種類（例えば、「配管A破断」）が発生したことで引き起こされる物理的現象をシミュレーション部1 0 0 4の演算に組み入れることである。これにより、シミュレータP L Vは、当該異常（配管A破断）が発生した状態にある実機P L Rの模擬運転が可能となる。

なお、最初のステップS 3 5の処理においては、推定部1 0 0 3は、シミュレータP L Vに反映させる「異常の規模」を無作為に決定（例えば、破断面積：1. 0 c m²などと決定）する。

[0054] 以上のようにして、推定部1 0 0 3は、ステップS 3 5にて、異常の種類（例えば、配管A破断）及び異常の規模（例えば、破断面積：1. 0 c m²）をシミュレータP L Vに反映させたうえで、異常発生時刻（時刻t b）から現時点までの模擬運転を実行する。次に推定部1 0 0 3は、前回に反映させた異常の規模を変更（例えば、破断面積：1. 0 c m²→2. 0 c m²と変更）したうえで、再度、異常発生時刻（時刻t b）から現時点までの模擬運転を行う。これをあらかじめ設定された異常の規模のバリエーション分繰り返す。

[0055] 次に、推定部1 0 0 3は、現時点までの実機計測値の時系列と、異常発生時刻（時刻t b）から当該異常の発生を反映させたシミュレータP L Vの模擬運転によって得られた全バリエーションのシミュレータ計算値の時系列との類似度を算出する（ステップS 3 6）。

両者の類似度が所定の判定閾値ともっとも整合した異常の規模を、実機P L Rで発生している異常の規模として推定する（ステップS 3 7）。

[0056] 図8を参照しながら、上述したステップS 3 6～ステップS 3 7の処理について詳しく説明する。

推定部1 0 0 3は、ステップS 3 5～ステップS 3 6の処理を実行するこ

とで、図8に示すように、異常の規模（例えば、配管の破断面積）の値が変更されて実行された各模擬運転に基づく複数のシミュレータ計算値の時系列を取得する。例えば、図8に示す例では、推定部1003は、破断面積を“1.0 cm²”として模擬運転した結果のシミュレータ計算値の時系列DV1と、破断面積を“2.0 cm²”として模擬運転した結果のシミュレータ計算値の時系列DV2と、破断面積を“1.5 cm²”として模擬運転した結果のシミュレータ計算値の時系列DV3と、を取得する。この場合、推定部1003は、シミュレータ計算値の時系列DV3と、実機計測値の時系列DRとの類似度が高いことをもってステップS36の判定を行う。そして、推定部1003は、ステップS37にて、実機PLRに発生した異常の規模について「破断面積：1.5 cm²」なる推定結果を取得する。

[0057] なお、図8に示す例では、推定部1003は、異常が発生したと判定された時刻 t_a の後、所定時間が経過した時刻（時刻 t_c ）までに取得された実機計測値及びシミュレータ計算値を含めて類似度を計算している。このようにすることで、異常が検出された時刻よりも後の運転状態のトレンドも含めて類似判定がなされるので、異常の規模の推定精度を高めることができる。ただし、他の実施形態ではこの態様に限定されず、例えば、推定部1003は、異常検出時刻（時刻 t_a ）までに得られた実機計測値の時系列、及び、シミュレータ計算値の時系列の類似度を計算してもよい。つまり、異常が検出された時刻よりも前の運転状態のトレンドも含めて類似判定を行ってもよい。

[0058] 次に、通知処理部1002が、異常に関する各種情報を通知する（ステップS38）。例えば、通知処理部1002は、モニタ103等を通じてオペレータに、異常の発生時刻、異常の検出時刻、異常の種類、異常の規模等の情報を通知する（ステップS38）。

[0059] （作用、効果）

以上のように、第1の実施形態に係るシミュレータPLV（異常検出装置）は、プラントの実機PLRから実機計測値を取得し、プラントの実機PL

Rの運転を模擬するシミュレータPLVからシミュレータ計算値を取得する取得部1000と、取得されたシミュレータ計算値に対する実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、実機PLRに異常が発生したと判定する異常判定部1001と、異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知する通知処理部1002と、を備える。

このようにすることで、異常が発生していない前提で演算されるシミュレータPLVの運転状態から外れたことをもって実機PLRの異常判定がなされるので、迅速かつ正確に異常の発生を検出することができる。

[0060] また、第1の実施形態に係るシミュレータPLVは、更に、異常の発生が検出された場合に、当該発生した異常に関する情報（異常発生時刻、異常の種類、異常の規模）を推定する推定部1003を備えている。

このようにすることで、オペレータは、発生した異常についての情報を把握することができ、迅速かつ適切な対応をとることができる。これにより、異常の早期収束を図ることができる。

[0061] また、推定部1003は、異常発生時刻を推定し、シミュレータPLVが模擬する実機PLRの運転状態を、異常発生時刻の時点に遡らせる機能を有している。異常発生時刻は、シミュレータ計算値と実機計測値の乖離が生じる直前であり、異常発生時刻においてシミュレーション部1004が算出したシミュレータ計算値は、実機PLRの運転状態を高精度に再現したものである。推定部1003は、高精度に模擬された運転状態に対してマルファンクション投入を行い、異常の種類及び規模の推定を行うので、実機PLRで発生している異常の種類、規模を精度よく推定することができる。

[0062] また、シミュレーション部1004は、実機計測値及び制御指令に基づいてシミュレータ計算値の算出を行うが、異常が発生したことを判断する機能が無い場合、次々と送られてくる実機計測値及び制御指令に合わせるように実機PLRの運転状態を模擬する。すると、シミュレータ計算値の少なくとも一部が、実際の実機PLRの運転状態から次第に乖離し、シミュレーション精度が低下することになる。例えば、監視の目的でシミュレータPLVを

利用する場合には、オペレータは、誤ったシミュレータ計算値を参照して監視することになる。これに対し、推定部１００３によれば、模擬した運転状態が実機ＰＬＲの運転状態から乖離し始める時刻（異常発生時刻）を特定し、シミュレーション部１００４へ事故信号を通知することができる。これにより、シミュレーション部１００４による誤ったシミュレーションの継続を停止させることができる。また、異常発生時刻以前を、シミュレータ計算値の値が正しい期間として確定することができる。値が正しいと確定された期間のシミュレータ計算値は、例えば、後に異常発生の解析などに役立てることができる。

[0063] なお、上述したシミュレータＰＬＶ（異常検出装置）における各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって、上記処理が行われる。ここでコンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、ＣＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしてもよい。

[0064] また、上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

また、シミュレータＰＬＶ（異常検出装置）は、１台のコンピュータで構成されていても良いし、通信可能に接続された複数のコンピュータで構成されていてもよい。

[0065] その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上記した実施の形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能である。また、この発明の技術範囲は上記の実施形態に限られるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば、取得部１０００、異常判定部１００１、通知処理部１００２、推定部１００３の機能を制御装置１０に設けてもよい。

産業上の利用可能性

[0066] 上記した異常検出装置、シミュレータ、プラント監視システム、異常検出方法及びプログラムによれば、プラントの実機のシミュレータを用いて、実機の異常を正確かつ早期に検出することができる。

符号の説明

[0067] １ プラント監視システム
１０ 制御装置
１００ CPU
１０００ 取得部
１００１ 異常判定部
１００２ 通知処理部
１００３ 推定部
１００４ シミュレーション部
１０１ メモリ
１０２ 通信インタフェース
１０３ モニタ
１０４ 入力機器
１０５ ストレージ
PLR 実機
PLV シミュレータ（異常検出装置）
DB 異常推定用テーブル

請求の範囲

- [請求項1] プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得する取得部と、
- 前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するシミュレーション部と、
- 算出した前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定する異常判定部と、
- 前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知する通知処理部と、
- 前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定する推定部と、
- を備える異常検出装置。
- [請求項2] 前記推定部が、前記異常が発生した時刻を推定すると、
- 前記シミュレーション部は、前記シミュレータ計算値を、前記異常が発生した時刻における前記シミュレータ計算値の値に遡らせる、
- 請求項1に記載の異常検出装置。
- [請求項3] 前記推定部は、更に、
- 前記実機に異常が発生したと判定された時刻における前記実機計測値が満たす条件に基づいて、前記異常の種類を推定する
- 請求項2に記載の異常検出装置。
- [請求項4] 前記推定部は、更に、
- 前記異常の発生を前記シミュレーション部に反映させたうえで、当該異常が発生した時刻から現在時刻までの模擬運転より得られたシミュレータ計算値の時系列に基づいて、前記異常の規模を推定する
- 請求項3に記載の異常検出装置。
- [請求項5] 前記推定部は、

少なくとも前記異常が発生したと判定された時刻の後、所定時間が経過した時刻までに取得された前記実機計測値の時系列、及び、前記シミュレータ計算値の時系列の類似度に基づいて、前記異常の規模を推定する

請求項4に記載の異常検出装置。

[請求項6] 前記推定部は、前記異常が発生した時刻を、前記実機計測値の時系列の変化率に基づいて推定する、

請求項1から請求項5の何れか1項に記載の異常検出装置。

[請求項7] プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得する取得部と、

前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するシミュレーション部と、

前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定する異常判定部と、

前記異常が発生したと判定された場合に、異常の発生をオペレータへ通知する通知処理部と、

前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定する推定部と、

を備えるシミュレータ。

[請求項8] 請求項1から請求項6のいずれか一項に記載の異常検出装置と、前記制御装置と、

を備えるプラント監視システム。

[請求項9] プラントの実機から実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得するステップと、

前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するステップと、

算出された前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定するステップと、

前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知するステップと、

前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定するステップと、

を有する異常検出方法。

[請求項10]

異常検出装置のコンピュータに、

プラントの実機から計測される実機計測値を取得し、前記プラントの制御装置から制御指令を取得するステップと、

前記プラントの実機の状態を示すシミュレータ計算値を前記制御指令に基づいて算出するステップと、

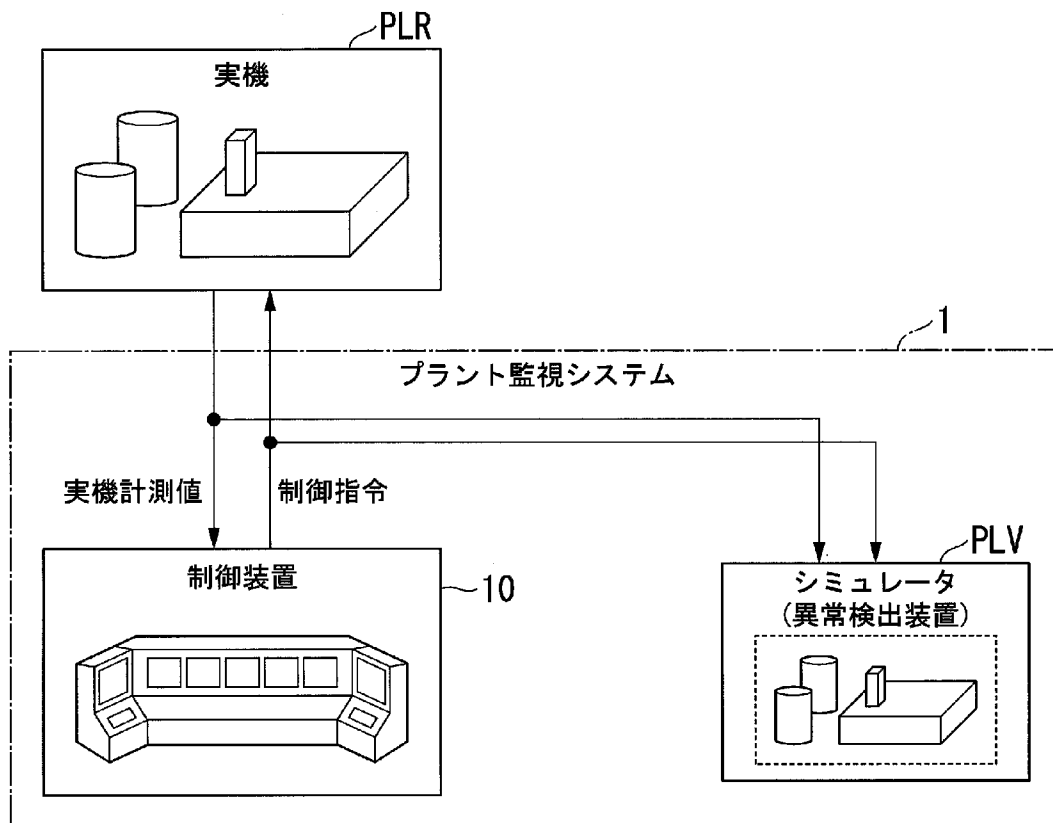
算出された前記シミュレータ計算値に対する前記実機計測値の乖離の度合いが所定の判定閾値を上回った場合に、前記実機に異常が発生したと判定するステップと、

前記異常が発生したと判定された場合に、異常が発生したことを通知するステップと、

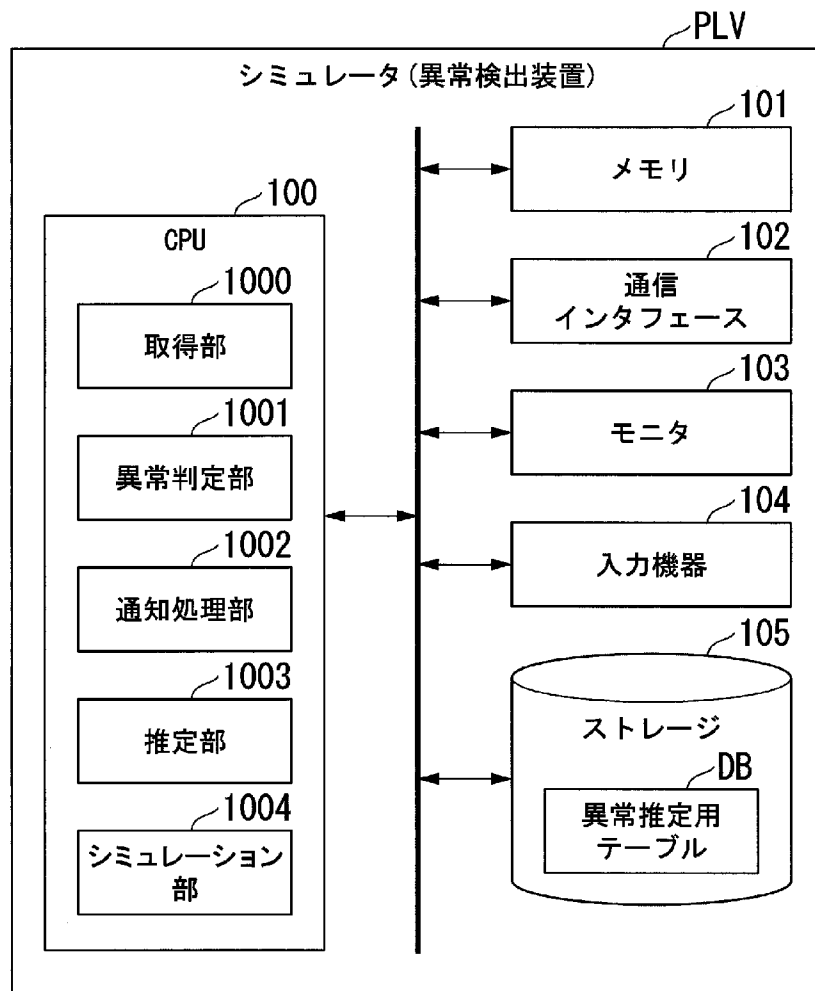
前記異常が発生したと判定された場合に、当該判定がなされた時刻までの前記実機計測値の時系列に基づいて前記異常が発生した時刻を推定するステップと、

を実行させるプログラム。

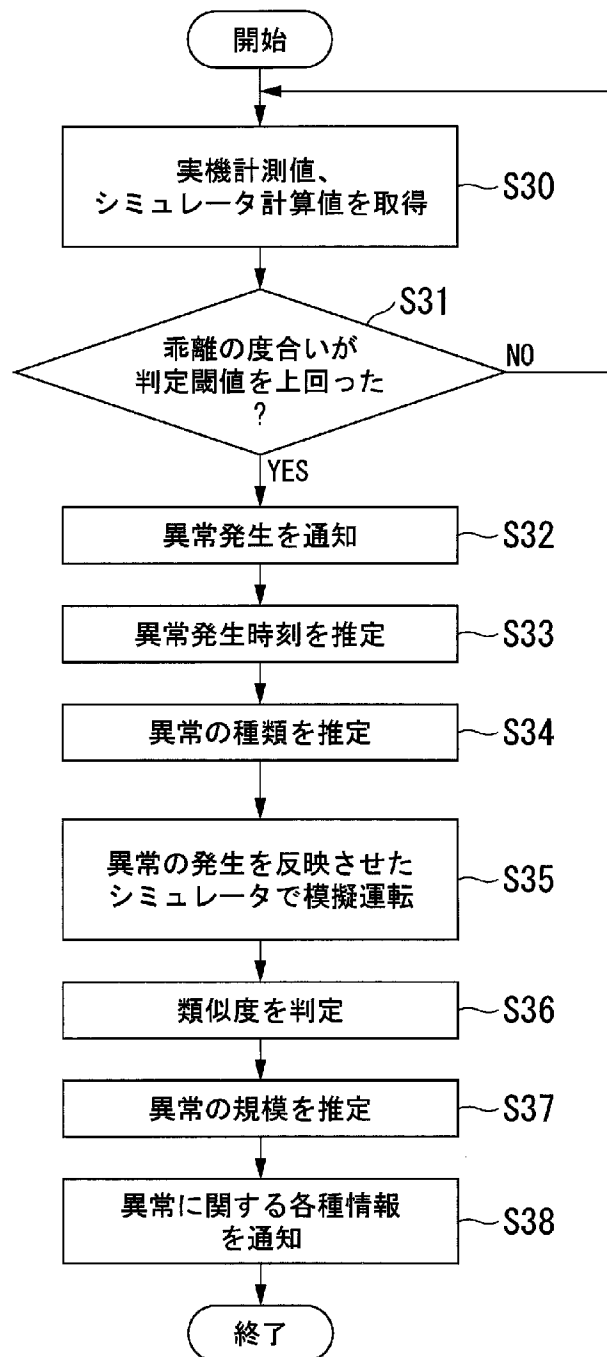
[図1]



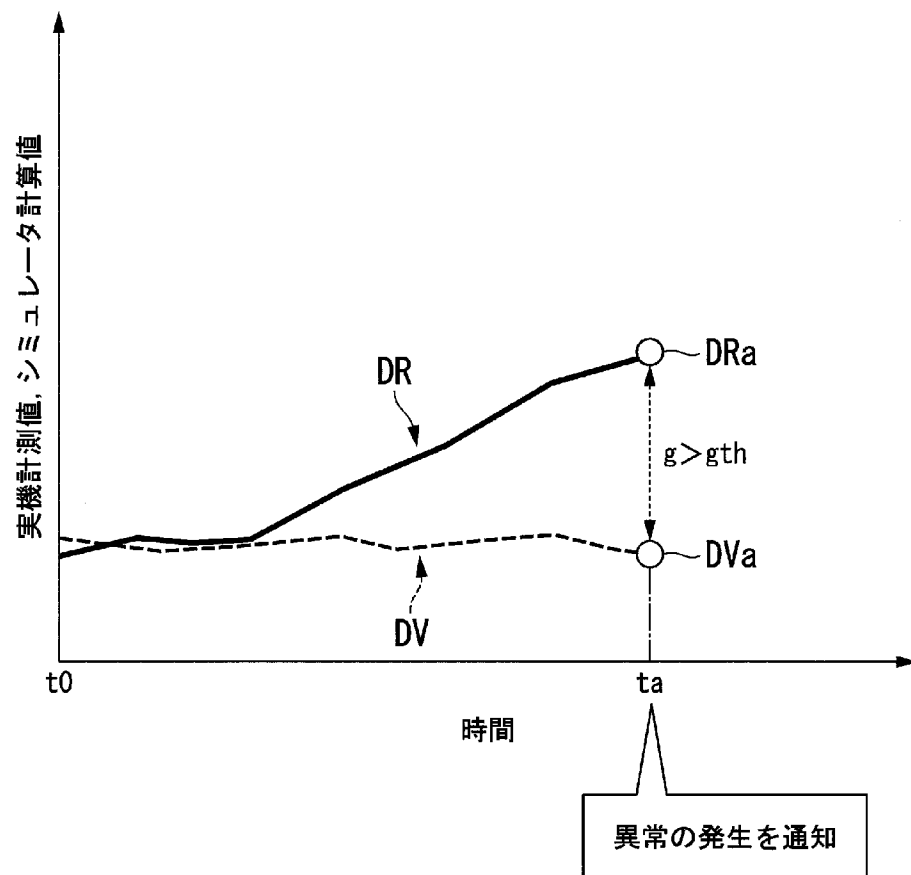
[図2]



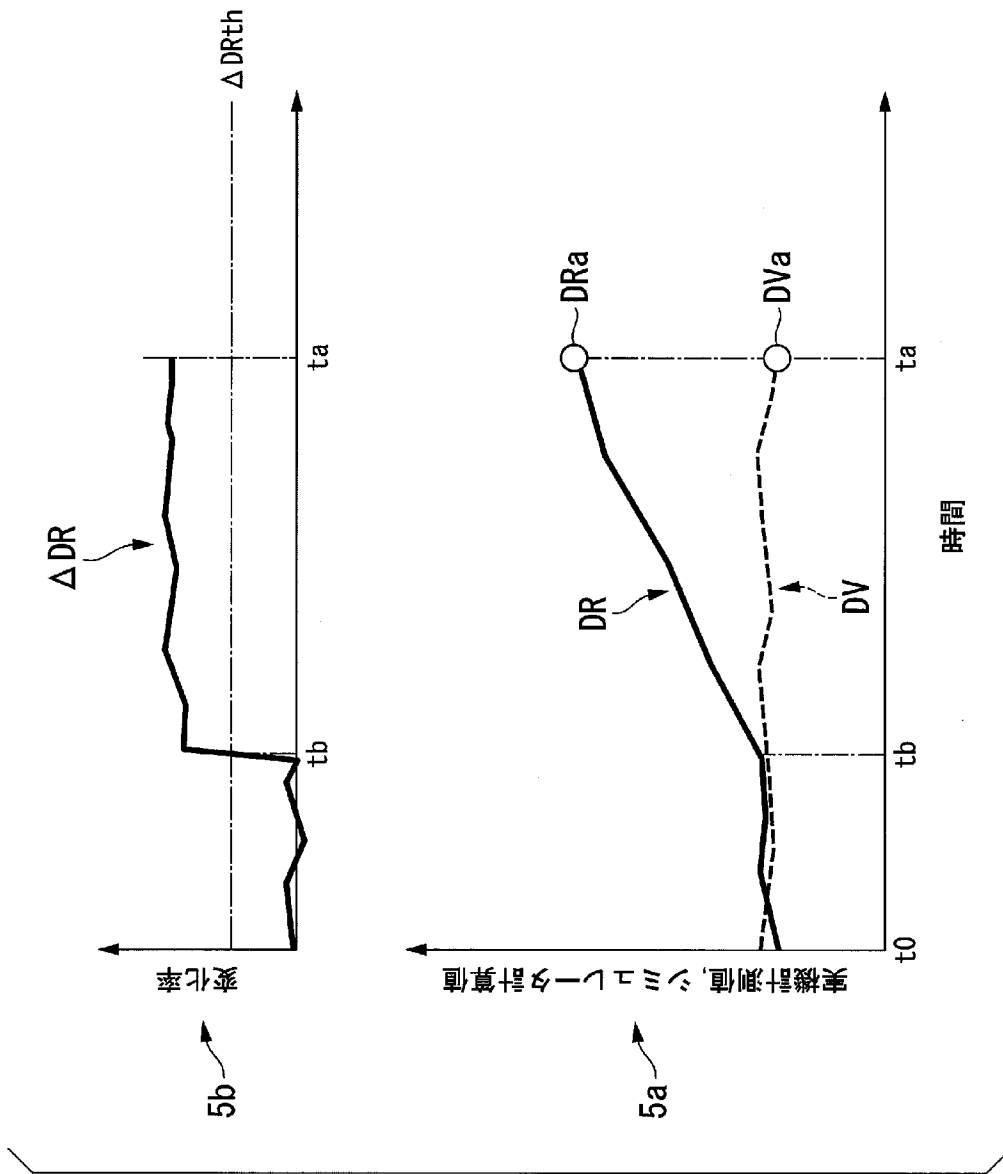
[図3]



[図4]



[図5]



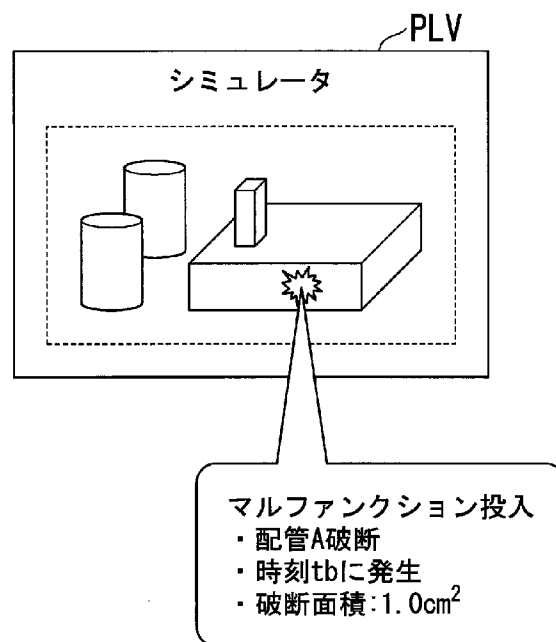
[図6]

DB
↓

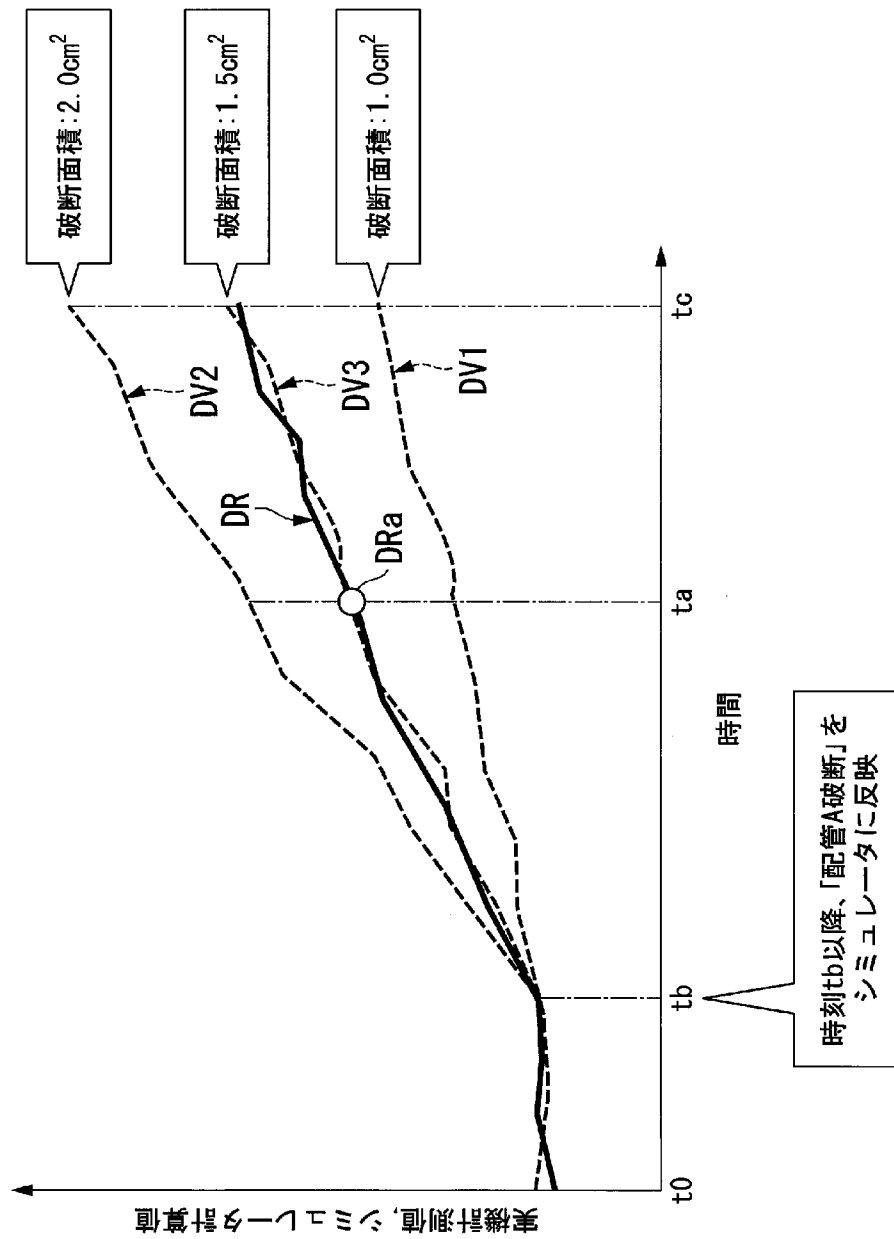
＜異常推定用テーブル＞

異常の種類	実機計測値 DR_T	実機計測値 DR_P	実機計測値 DR_F	...
事件事象X1 (配管A破断)	条件T1	条件P1	条件F1	...
事件事象X2 (配管A閉塞)	条件T2	条件P2	条件F2	...
事件事象X3 (配管B破断)	条件T3	条件P3	条件F3	...
事件事象X4 (配管B閉塞)	条件T4	条件P4	条件F4	...
...	...	...	...	...

[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/004842

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G05B23/02 (2006.01) i

FI: G05B23/02302V

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)

Int.Cl. 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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	矢羽田 喜彦, 横山 克己, 安定・安全操業に向けたプラントシミュレータの適応 ソリューション: 先進機能と適応法 オンライン/リアルタイム運転支援シミュレータの活用, 計装, 2013, vol. 56, no. 2, pp. 20-23, particularly, p. 21 to p. 22, 「3. ミラープラントの概要」, (YAHATA, Yoshihiko, YOKOYAMA, Katsumi, Instrumentation Control Engineering), non-official translation (Adaptation of plant simulator for stable and safe operation, Solution: Advanced features and adaptive methods, Utilization of online/real-time driving support simulator, "3. Summary of the mirror plant")	1-10
Y	JP 11-3120 A (TEIJIN SEIKI CO., LTD.) 06.01.1999 (1999-01-06), paragraphs [0015]-[0027], fig. 1	1-10
Y	JP 2017-2554 A (HITACHI LTD.) 05.01.2017 (2017-	1-10

☒ 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
24.03.2020

Date of mailing of the international search report
07.04.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/004842

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6-222191 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 12.08.1994 (1994-08-12), paragraphs [0002]-[0005], [0010], [0011], fig. 1, 2, 7	2-5
Y	JP 64-21510 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 24.01.1989 (1989-01-24), page 2, lower right column, line 17 to page 4, lower left column, line 15, fig. 1-3	4-5
A	JP 6-74874 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 18.03.1994 (1994-03-18), entire text, all drawings	1-10
A	JP 2016-57650 A (MEIDENSHA CORPORATION) 21.04.2016 (2016-04-21), paragraphs [0033]-[0044], fig. 1-5	1-10
A	US 2007/0192078 A1 (EDSA MICRO CORPORATION) 16.08.2007 (2007-08-16), entire text, all drawings	1-10
A	JP 5-322604 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 07.12.1993 (1993-12-07), entire text, all drawings	4-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/004842

JP 11-3120 A	06.01.1999	(Family: none)
JP 2017-2554 A	05.01.2017	(Family: none)
JP 6-222191 A	12.08.1994	(Family: none)
JP 64-21510 A	24.01.1989	(Family: none)
JP 6-74874 A	18.03.1994	(Family: none)
JP 2016-57650 A	21.04.2016	(Family: none)
US 2007/0192078 A1	16.08.2007	WO 2007/106430 A2 CA 2646423 A1
JP 5-322604 A	07.12.1993	(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		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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	矢羽田 喜彦、横山 克己、安定・安全操業に向けたプラントシミュレータの適応ソリューション：先進機能と適応法 オンライン／リアルタイム運転支援シミュレータの活用，計装，2013，Vol. 56，No. 2，第20ページ-第23ページ 特に、第21ページ-第22ページ「3. ミラープラントの概要」	1-10
Y	JP 11-3120 A（帝人製機株式会社）06.01.1999（1999-01-06） [0015]-[0027]、図1	1-10
Y	JP 2017-2554 A（株式会社日立製作所）05.01.2017（2017-01-05） [0034]-[0039]、図1-12	1-10
Y	JP 6-222191 A（三菱電機株式会社）12.08.1994（1994-08-12） [0002]-[0005]，[0010]-[0011]、図1-2，7	2-5
Y	JP 64-21510 A（三菱電機株式会社）24.01.1989（1989-01-24） 第2ページ右下欄第17行-第4ページ左下欄第15行、図1-3	4-5
A	JP 6-74874 A（三菱重工株式会社）18.03.1994（1994-03-18） 全文、全図	1-10
☒ 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 24.03.2020		国際調査報告の発送日 07.04.2020
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） 中田 善邦 3U 3225 電話番号 03-3581-1101 内線 3364

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
A	JP 2016-57650 A (株式会社明電舎) 21.04.2016 (2016 - 04 - 21) [0 0 3 3]-[0 0 4 4], 図 1 - 5	1-10
A	US 2007/0192078 A1 (EDSA MICRO CORPORATION) 16.08.2007 (2007 - 08 - 16) 全文、全図	1-10
A	JP 5-322604 A (三菱重工業株式会社) 07.12.1993 (1993 - 12 - 07) 全文、全図	4-5

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/JP2020/004842

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	11-3120	A	06.01.1999	(ファミリーなし)	
JP	2017-2554	A	05.01.2017	(ファミリーなし)	
JP	6-222191	A	12.08.1994	(ファミリーなし)	
JP	64-21510	A	24.01.1989	(ファミリーなし)	
JP	6-74874	A	18.03.1994	(ファミリーなし)	
JP	2016-57650	A	21.04.2016	(ファミリーなし)	
US	2007/0192078	A1	16.08.2007	WO	2007/106430 A2
				CA	2646423 A1
JP	5-322604	A	07.12.1993	(ファミリーなし)	