

(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
2017年12月7日(07.12.2017)



(10) 国際公開番号

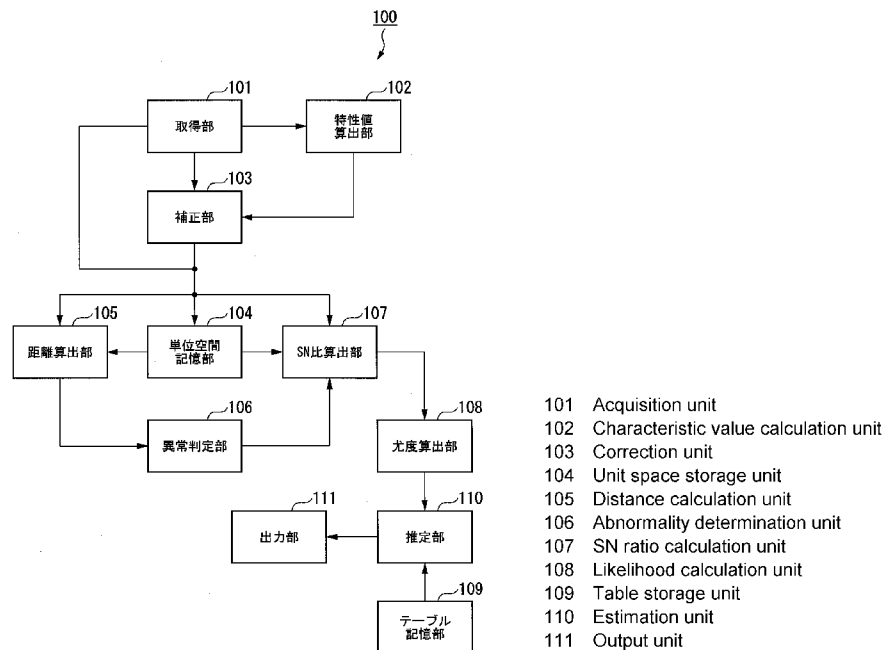
WO 2017/209167 A1

- (51) 国際特許分類:
G05B 23/02 (2006.01) F02C 7/00 (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/020200
- (22) 国際出願日: 2017年5月31日(31.05.2017)
- (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 2016-110336 2016年6月1日(01.06.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 永野 一郎(NAGANO Ichiro); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 青山 邦明(AOYAMA Kuniaki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 斎藤 真由美(SAITO Mayumi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 熊野 信太郎(KUMANO Shintaro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 安部 克彦(ABE Katsuhiko); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 田中 徹(TANAKA Toru); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワー

(54) Title: MONITORING DEVICE, METHOD FOR MONITORING TARGET DEVICE, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 監視装置、対象装置の監視方法、およびプログラム

[図2]



(57) Abstract: An acquisition unit acquires a measurement value of a target device. A likelihood calculation unit calculates, on the basis of the measurement value acquired by the acquisition unit, the likelihood of occurrence of each of a plurality of events that may occur in the target device. A table storage unit stores a table in which the plurality of events are associated with causes of occurrences of abnormalities in the target device. An estimation unit estimates the cause of occurrence on the basis of said likelihood and said table.

[続葉有]

システムズ株式会社内 Kanagawa (JP). 山内 貴洋(YAMAUCHI Takahiro); 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 三菱日立パワーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).

(74) 代理人: 森 隆一郎, 外 (MORI Ryuichirou 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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 取得部は、対象装置の計測値を取得する。尤度算出部は、取得部が取得した計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出する。テーブル記憶部は、複数の事象と、対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶する。推定部は、尤度とテーブルとに基づいて発生要因を推定する。

明 細 書

発明の名称： 監視装置、対象装置の監視方法、およびプログラム
技術分野

[0001] 本発明は、対象装置を監視する監視装置、対象装置の監視方法、およびプログラムに関する。

本願は、2016年06月01日に日本に出願された特願2016-110336号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] プラントに異常が発生したときに、異常の発生要因を特定する方法として F T A (Fault Tree Analysis) を用いる手法が知られている（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-176315号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、F T Aに基づく異常の発生要因の推定は、監視員の経験に依存する部分が多いため、監視員ごとに推定の精度が異なる。また F T A に基づいて異常の発生要因を推定する技能を有する監視員の数には限りがあり、プラントに異常が発生したときに、発生要因の推定に時間がかかってしまう場合がある。

本発明の目的は、監視員の経験によらずに異常の発生要因を精度よく推定することができる監視装置、対象装置の監視方法、およびプログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第1の態様によれば、監視装置は、対象装置の計測値を取得する取得部と、前記取得部が取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る

複数の事象それぞれの発生の尤度を算出する尤度算出部と、前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、前記尤度と前記テーブルとに基づいて前記発生要因を推定する推定部とを備える。

[0006] 本発明の第2の態様によれば、第1の態様に係る監視装置は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認された回数とを関連付けたものであって、前記推定部は、前記発生要因毎に、前記尤度と前記回数との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定するものであってよい。

[0007] 本発明の第3の態様によれば、第1の態様に係る監視装置は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認されたか否かを示す値とを関連付けたものであって、前記推定部は、前記尤度が所定の閾値以上の前記事象であって、かつ前記テーブルにおいて発生したことが示されている前記事象の数に基づいて、前記発生要因を推定するものであってよい。

[0008] 本発明の第4の態様によれば、第1の態様に係る監視装置は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が生じる確率とを関連付けたものであって、前記推定部は、前記発生要因毎に、前記尤度と前記確率との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定するものであってよい。

[0009] 本発明の第5の態様によれば、第1から第4の何れかの態様に係る監視装置は、前記取得部が取得した前記計測値のS/N比を算出するS/N比算出部をさらに備え、前記尤度算出部は、前記S/N比算出部が算出した前記S/N比に基づいて前記複数の事象それぞれの尤度を算出するものであってよい。

[0010] 本発明の第6の態様によれば、第1から第5の何れかの態様に係る監視装置は、前記計測値に基づいてマハラノビス距離を算出する距離算出部をさらに備え、前記尤度算出部は、前記マハラノビス距離が所定値以上である場合に、前記複数の事象それぞれの尤度を算出するものであってよい。

- [0011] 本発明の第7の態様によれば、第6の態様に係る監視装置は、前記計測値に基づく熱平衡計算により、前記計測値を補正した補正計測値を得る補正部をさらに備え、前記計測値は、少なくとも前記対象装置に入力される入力流体の温度および流量、ならびに前記対象装置から出力される出力流体の温度および流量を含み、前記距離算出部は前記補正計測値を諸元として前記マハラノビス距離を算出するものであってよい。
- [0012] 本発明の第8の態様によれば、対象装置の監視方法は、対象装置の計測値を取得することと、取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出することと、前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、前記尤度に基づいて前記発生要因を推定することを含む。
- [0013] 本発明の第9の態様によれば、第8の態様に係る対象装置の監視方法は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認された回数とを関連付けたものであって、前記発生要因毎に、前記尤度と前記回数との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定するものであってよい。
- [0014] 本発明の第10の態様によれば、第8の態様に係る対象装置の監視方法は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認されたか否かを示す値とを関連付けたものであって、前記尤度が所定の閾値以上の前記事象であって、かつ前記テーブルにおいて発生したことが示されている前記事象の数に基づいて、前記発生要因を推定するものであってよい。
- [0015] 本発明の第11の態様によれば、第8の態様に係る対象装置の監視方法は、前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が生じる確率とを関連付けたものであって、前記発生要因毎に、前記尤度と前記確率との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定するものであってよい。
- [0016] 本発明の第12の態様によれば、プログラムは、コンピュータに、対象装

置の計測値を取得することと、取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出することと、前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、前記尤度に基づいて前記発生要因を推定することとを実行させる。

発明の効果

[0017] 上記態様のうち少なくとも１つの態様によれば、監視装置は、対象装置の計測値に基づいて当該対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出し、事象と異常の発生要因とを関連付けたテーブルを用いて対象装置に生じた異常の発生要因を推定する。これにより、監視装置は、監視員の経験によらずに異常の発生要因を精度よく推定することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]対象装置の一例であるガスタービンの模式図である。

[図2]第１の実施形態に係る監視装置の構成を示す概略ブロック図である。

[図3]第１の実施形態に係る監視装置の動作を示すフローチャートである。

[図4]第２の実施形態に係る監視装置の構成を示す概略ブロック図である。

[図5]少なくとも１つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

発明を実施するための形態

[0019] 〈第１の実施形態〉

以下、図面を参照しながら第１の実施形態について詳しく説明する。

第１の実施形態に係る監視装置１００は、ガスタービンＴの異常の有無を監視し、異常の発生要因を特定する。ガスタービンＴは対象装置の一例である。

[0020] 《対象装置》

図１は、対象装置の一例であるガスタービンの模式図である。

ガスタービンＴは、圧縮機Ｔ１、燃焼器Ｔ２、タービンＴ３、ロータＴ５、抽気管Ｔ４、および発電機Ｔ６を備える。圧縮機Ｔ１、タービンＴ３、お

よび発電機Ｔ６は、ロータＴ５に接合され、ロータＴ５の軸回りに回転する。圧縮機Ｔ１は、回転により空気取入口から空気を取り込み、取り込んだ空気を圧縮して圧縮空気を生成する。燃焼器Ｔ２は、圧縮機Ｔ１が生成した圧縮空気に燃料を噴射することにより、高温かつ高圧の燃焼ガスを発生させる。また燃焼器Ｔ２には、燃焼器Ｔ２の冷却のために冷却蒸気が吹き付けられる。タービンＴ３は、燃焼器Ｔ２が発生させた燃焼ガスの熱エネルギーをロータＴ５の回転エネルギーに変換して駆動力を発生させる。抽気管Ｔ４は、その一端が圧縮機Ｔ１に接続され、その他端がタービンＴ３に接続される。抽気管Ｔ４は、圧縮機Ｔ１が生成する圧縮空気の一部を抽気し、抽気した圧縮空気（冷却空気）をタービンＴ３に供給することで、タービンＴ３を冷却する。発電機Ｔ６は、ロータＴ５の回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。

[0021] ガスタービンＴには図示しない複数のセンサが取り付けられる。各センサが取得するセンサ値の例としては、大気圧、大気温度、大気の相対湿度、圧縮機Ｔ１の入口差圧、圧縮機Ｔ１の出口空気温度、圧縮機Ｔ１の出口空気圧力、燃料圧力、燃料温度、燃料発熱量、燃料組成、燃料流量、冷却蒸気圧力、冷却蒸気温度、冷却蒸気流量、冷却空気の温度、冷却空気の流量、排気温度、吸気圧力損失、排気圧力損失、発電機Ｔ６の発電効率、発電電力、発電電流、発電電圧、発電周波数が挙げられる。

[0022] 《構成》

監視装置１００の構成について説明する。図２は、第１の実施形態に係る監視装置の構成を示す概略ブロック図である。

監視装置１００は、取得部１０１、特性値算出部１０２、補正部１０３、単位空間記憶部１０４、距離算出部１０５、異常判定部１０６、ＳＮ比算出部１０７、尤度算出部１０８、テーブル記憶部１０９、推定部１１０、出力部１１１を備える。

取得部１０１は、ガスタービンＴに設けられたセンサが取得したセンサ値、およびガスタービンＴの制御信号の値（指令値）を取得する。なお、取得

部 101 が取得するセンサ値は、上述の通り、少なくともガスタービン T に入力される空気および燃料（入力流体）の温度およびガスタービン T から出力される排気（出力流体）の温度を含む。センサ値は、ガスタービン T の計測値の一例である。

特性値算出部 102 は、取得部 101 が取得したセンサ値に基づいて、ガスタービン T の特性を示す特性値を算出する。特性値の例としては、熱効率、圧縮機効率、燃焼効率、タービン効率、圧縮機動力、タービン出力、ガスタービン空気流量、ガスタービン排気流量、圧縮機圧力比、タービン T3 の入口燃焼ガス温度が挙げられる。例えば、特性値算出部 102 は、等エントロピー変化における圧縮機出口エンタルピと圧縮機入口エンタルピの差を、実際の圧縮機出口エンタルピと圧縮機入口エンタルピの差で除算することで、圧縮機効率（特性値）を算出する。エンタルピは、センサ値である温度および圧力を用いて算出される。特性値は、ガスタービン T の計測値の一例である。なお、特性値算出部 102 が算出する特性値は、上述の通り、少なくともガスタービン T に入力される空気の流量およびガスタービン T から出力される排気の流量を含む。

[0023] 補正部 103 は、取得部 101 が取得したセンサ値および特性値算出部 102 が算出した特性値をガスタービン T の熱平衡計算に基づいて補正することで、補正計測値を得る。具体的には、補正部 103 は、以下の手順で計測値を補正する。まず補正部 103 は、計測値をガスタービン T に係る熱平衡の式に代入し、当該式が成立するように各計測値の誤差を算出する。そして補正部 103 は、計測値ごとに算出した誤差の総和、または誤差の二乗の総和を求め、求められた総和が最小となる計測値ごとの誤差の組み合わせを選択することで、補正計測値を得る。

具体的には、ガスタービン T 全体の熱平衡は、以下の式（1）により表される。圧縮機 T1 の熱平衡は、以下の式（2）により表される。燃焼器 T2 の熱平衡は、以下の式（3）により表される。タービン T3 の熱平衡は、以下の式（4）により表される。以下の式（1）～式（4）において、左辺は

入熱量を示し、右辺は出熱量を示す。

[0024] [数1]

$$G1 \times H1C + Gf \times Hf + Gf \times LHV \times \mu_{BURN} + Gst \times Hst1 \\ = \frac{KWGEN}{4.1868} + G8 \times H2T + Gst \times Hst2 \quad \dots(1)$$

[0025] [数2]

$$G1 \times H1C + \frac{KWC}{4.1868} = G2 \times H2C + Gc \times Hc \quad \dots(2)$$

[0026] [数3]

$$G2 \times H2C + Gf \times Hf + Gf \times LHV \times \mu_{BURN} + Gst \times Hst1 + Gw \times Hw \\ = Gst \times Hst2 + G4 \times H1T \quad \dots(3)$$

[0027] [数4]

$$G4 \times H1T + Gc \times Hc = G8 \times H2T + \frac{KWT}{4.1868} \quad \dots(4)$$

[0028] 変数 G 1 は、吸気流量を示す。変数 H 1 C は、吸気エンタルピを示す。変数 G 2 は、圧縮機 T 1 の出口流量を示す。変数 H 2 C は、圧縮機 T 1 の出口エンタルピを示す。変数 G f は、燃料流量を示す。変数 L H V は、燃料発熱量を示す。変数 G s t は、冷却蒸気流量を示す。変数 H s t 1 は、燃焼器 T 2 に供給される冷却蒸気のエンタルピを示す。変数 H s t 2 は、燃焼器 T 2 から排出される冷却蒸気のエンタルピを示す。変数 G c は、冷却空気量を示す。変数 H c は、冷却空気エンタルピを示す。変数 G 4 は、タービン T 3 の入口流量を示す。変数 H 1 T は、タービン T 3 の入口エンタルピを示す。変数 G 8 は、排気流量を示す。変数 H 2 T は、排気エンタルピを示す。変数 μ_{GEN} は、発電効率を示す。変数 μ_{BURN} は、燃焼効率を示す。変数 K W G E N は、発電電力を示す。変数 K W C は、圧縮機動力を示す。変数 K W T は、タービン出力を示す。

[0029] 単位空間記憶部 1 0 4 は、ガスタービン T の始動期間（例えば、新品状態

のガスタービンTの運転開始時点または定期点検の完了後のガスタービンTの運転開始時点のうち直近の時点から2週間の期間)の間に取得された、ガスタービンTの状態量(計測値、補正計測値および指令値)の組み合わせを、マハラノビス距離の単位空間として記憶する。

距離算出部105は、取得部101が取得したセンサ値および指令値、特性値算出部102が算出した特性値、ならびに補正部103が補正した補正計測値を諸元として、単位空間記憶部104が記憶する単位空間に基づいて、ガスタービンTの状態を示すマハラノビス距離を算出する。マハラノビス距離は、単位空間として表される基準の標本と新たに得られた標本との違いの大きさを表す尺度である。マハラノビス距離の算出方法については、後述する。

異常判定部106は、距離算出部105が算出したマハラノビス距離に基づいてガスタービンTに異常が生じているか否かを判定する。具体的には、異常判定部106は、マハラノビス距離が所定の閾値(例えば、3.5)以上である場合に、ガスタービンTに異常が生じていると判定する。閾値には、通常3以上の値が設定される。

[0030] SN比算出部107は、異常判定部106がガスタービンTに異常が生じていると判定した場合に、取得部101が取得したセンサ値および指令値、特性値算出部102が算出した特性値、ならびに補正部103が補正した補正計測値に基づいて、タグチメソッドに係るSN比(Signal-Noise Ratio)を算出する。すなわち、尤度算出部108は、直交表分析による項目有無の望大SN比を求める。SN比が大きいほど、その状態量(計測値、指令値)の項目に異常がある可能性が高いと判断できる。

尤度算出部108は、SN比算出部107が算出したSN比に基づいて、ガスタービンTに発生し得る複数の事象(性能劣化)それぞれの発生の尤度を算出する。事象の例としては、ガスタービン出力の低下、ガスタービン効率の低下、圧縮機効率の低下、タービン効率の低下、圧縮機入口空気量の低下、排気温度の上昇、圧縮機圧縮比の低下、燃焼効率の低下、タービン入口

ガス温度の上昇、排気ガス圧力の上昇などが挙げられる。例えば、尤度算出部 108 は、各事象について、当該事象の発生の有無が S N 比の増減を支配的に関与する状態量との関係を記憶しておき、各事象に関連付けられた状態量それぞれの S N 比の加重和を算出することで、各事象の発生の尤度を算出する。

[0031] テーブル記憶部 109 は、事象と異常の発生要因との関係を表すテーブルを記憶する。具体的には、テーブル記憶部 109 は、各事象および各発生要因について、当該発生要因による異常が生じたときに、当該事象が確認された回数を記憶する。例えば、過去に排気ディフューザの損傷（発生要因）による異常が生じたときに、ブレードパス温度の偏差が大きくなっている状態（事象）が確認されたことが、9 度あった場合、テーブル記憶部 109 は、「排気ディフューザの損傷」という発生要因と「ブレードパス温度の偏差が大きい状態」という事象とに関連付けて、「9」という回数を記憶する。テーブル記憶部 109 が記憶するテーブルは、例えば、ガスタービン T の運用時に保守員によって生成された F T A のデータ（F T : F a u l t T r e e）に基づいて生成することができる。

[0032] 推定部 110 は、尤度算出部 108 が算出した各事象の発生の尤度と、テーブル記憶部 109 が記憶するテーブルとに基づいて、ガスタービン T の異常の発生要因を推定する。具体的には、推定部 110 は、各事象の発生の尤度を要素とする 1 行 M 列のベクトルと、テーブルの値を要素とする M 行 N 列の行列との乗算を行うことで、異常の発生要因の尤度を要素とする N 行 1 列のベクトルを得る。M は事象の数、N は発生要因の数を示す。そして、推定部 110 は、得られた N 行 1 列のベクトルのうち要素の値が大きい行に係る発生要因が、ガスタービン T の異常の発生要因であると推定することができる。つまり、推定部 110 は、異常の発生要因毎に、各事象の発生の尤度とその事象の発生回数との加重和を算出し、当該加重和に基づいて発生要因を推定する。

出力部 111 は、推定部 110 が推定した発生要因を尤度の順に出力する

。出力の例としては、ディスプレイへの表示、外部へのデータの送信、シートへの印刷、音声出力などが挙げられる。

[0033] 《マハラノビス距離》

ここで、一般的なマハラノビス距離 D を計算するための計算式について説明する。

ガスタービン T の状態を表す複数の状態量（計測値、指令値）の項目の数を u とする。 u は 2 以上の整数である。 u 項目の状態量をそれぞれ $X_1 \sim X_u$ とする。監視装置 100 は、基準となるガスタービン T の運転状態（第 1 の実施形態では、新品状態のガスタービン T の運転開始時点または定期点検の完了後のガスタービン T の運転開始時点のうち直近の時点から 2 週間の運転状態）において、各項目の状態量 $X_1 \sim X_u$ を、それぞれ合計 v 個（2 以上）収集する。例えば、各項目の状態量を 60 個ずつ取得する場合、 $v = 60$ となる。運転状態において収集された各項目の j 個目の状態量 $X_1 \sim X_u$ を、 $X_{1j} \sim X_{uj}$ とする。 j は 1 ～ v までのいずれかの値（整数）をとり、それぞれの状態量の個数が v 個であることを意味する。つまり、監視装置 100 は、状態量 $X_{11} \sim X_{uv}$ を収集する。当該状態量 $X_{11} \sim X_{uv}$ は、単位空間記憶部 104 に記憶される。

[0034] 監視装置 100 は、状態量 $X_{11} \sim X_{uv}$ の項目毎の平均値 M_i 及び標準偏差 σ_i （基準データのばらつき度合い）を、式（5）および式（6）により求める。 i は項目数（状態量の数、整数）である。ここでは i は、1 ～ u に設定され、状態量 $X_1 \sim X_u$ に対応する値を示す。ここで、標準偏差とは、状態量とその平均値との差を 2 乗したものの期待値の正平方根とする。

[0035] [数5]

$$M_i = \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v X_{ij} \quad \cdots (5)$$

[0036] [数6]

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{v-1} \sum_{j=1}^v (X_{ij} - M_i)^2} \quad \cdots (6)$$

[0037] 前述の平均値 M_i 及び標準偏差 σ_i は、特徴を示す状態量である。監視装置100は、演算された平均値 M_i 及び標準偏差 σ_i を用いて、状態量 $X_{11} \sim X_{uv}$ を、下記の数式(7)によって、基準化された状態量 $x_{11} \sim x_{uv}$ に変換する。すなわち、異常監視装置10は、ガスタービンTの状態量 X_{ij} を、平均0、標準偏差1の確率変数 x_{ij} に変換する。なお、下記の数式(7)において、 j は1～ v までのいずれかの値(整数)をとる。これは、項目毎の状態量の個数が v 個であることを意味する。

[0038] [数7]

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - M_i}{\sigma_i} \quad \dots(7)$$

[0039] 変量を平均0、分散1に標準化したデータで分析を行うため、監視装置100は、状態量 $X_{11} \sim X_{uv}$ の相関関係を特定する。すなわち、監視装置100は、変量の間に関連性を示す共分散行列(相関行列) R 、及び共分散行列(相関行列)の逆行列 R^{-1} を、下記の数式(8)で定義付ける。なお、下記の数式(8)において、 k は項目数(状態量の数)である。つまり k は u と等しい。また、 i 及び p は、各状態量での値を示し、ここでは1～ u の値をとる。

[0040]

[数8]

$$\begin{aligned}
 \mathbf{R} &= \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \\
 \mathbf{R}^{-1} &= \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}^{-1} \\
 r_{ip} = r_{pi} &= \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v \mathbf{X}_{ij} \mathbf{X}_{pj} \quad \dots(8)
 \end{aligned}$$

[0041] 監視装置100は、このような演算処理の後で、特徴を示す状態量であるマハラノビス距離Dを、下記の数式(9)に基づいて求める。なお、数式(9)において、jは1～vまでのいずれかの値(整数)をとる。これは、項目毎の状態量の個数がv個であることを意味する。また、kは項目数(状態量の数)である。つまりkはuと等しい。また、 $a_{11} \sim a_{kk}$ は、上述した数式(8)に示す共分散行列Rの逆行列 $\mathbf{R}^{-1}$ の係数である。

[0042] [数9]

$$\begin{aligned}
 D_j^2 &= \frac{1}{k} (\mathbf{x}_{1j}, \mathbf{x}_{2j}, \dots, \mathbf{x}_{kj}) \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}_{1j} \\ \mathbf{x}_{2j} \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{kj} \end{pmatrix} \\
 &= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{p=1}^k a_{ip} \mathbf{x}_{ij} \mathbf{x}_{pj} = \frac{1}{k} (\mathbf{x}_{1j}, \mathbf{x}_{2j}, \dots, \mathbf{x}_{kj}) \cdot \mathbf{R}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{x}_{1j} \\ \mathbf{x}_{2j} \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{kj} \end{pmatrix} \quad \dots(9)
 \end{aligned}$$

[0043] マハラノビス距離Dは基準データである。単位空間のマハラノビス距離Dの平均値は1となる。ガスタービンTの状態量が正常な状態では、マハラノビス距離Dは概ね3以下に収まる。しかし、ガスタービンTの状態量が異常な状態では、マハラノビス距離Dの値は概ね3より大きくなる。このように、マハラノビス距離Dは、ガスタービンTの状態量の異常の程度（単位空間からの離れ度合い）に応じて、値が大きくなるという性質を有する。

[0044] 《ガスタービンの監視方法》

監視装置100によるガスタービンの監視方法について説明する。図3は、第1の実施形態に係る監視装置の動作を示すフローチャートである。

監視装置100は、ガスタービンTの始動期間の間、ガスタービンTの状態量を収集して単位空間記憶部104に状態量の組み合わせを蓄積する。つまり、監視装置100は、取得部101が取得したガスタービンの指令値および補正部103が生成した補正計測値を、関連付けて単位空間記憶部104に記録する。監視装置100は、ガスタービンTの始動期間の経過後、所定の監視タイミング（例えば、1時間おきのタイミング）で、以下に示す監視動作を実行する。監視タイミングは、ガスタービンTの運転開始時点から所定の始動期間が経過した後の時点である始動後時点の一例である。

[0045] 監視装置100が監視を開始すると、取得部101は、ガスタービンTに設けられたセンサが取得したセンサ値、およびガスタービンTの指令値を取得する（ステップS1）。次に、特性値算出部102は、取得部101が取得したセンサ値に基づいて、ガスタービンTの特性を示す特性値を算出する（ステップS2）。次に、補正部103は、センサ値および特性値をガスタービンTの熱平衡計算に基づいて補正することで、補正計測値を得る（ステップS3）。

[0046] 次に、距離算出部105は、ステップS1で取得したセンサ値および指令値、ステップS2で算出した特性値、ならびにステップS3で得られた補正計測値を諸元として、単位空間記憶部104が記憶する単位空間に基づいて、マハラノビス距離を算出する（ステップS4）。次に、異常判定部106

は、算出されたマハラノビス距離が所定の閾値以上であるか否かを判定する（ステップS5）。

[0047] マハラノビス距離が閾値未満である場合（ステップS5：NO）、異常判定部106は、ガスタービンTに異常が生じていないと判定して監視処理を終了し、次の監視タイミングを待機する。

他方、マハラノビス距離が閾値以上である場合（ステップS5：YES）、異常判定部106は、ガスタービンTに異常が生じていると判定する。

[0048] 異常判定部106がガスタービンTに異常が生じていると判定すると、SN比算出部107は、ステップS1で取得した指令値およびステップS3で得られた補正計測値のそれぞれについて、タグチメソッドに係るSN比を算出する（ステップS6）。尤度算出部108は、算出されたSN比に基づいてガスタービンTに発生し得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出する（ステップS7）。

[0049] 次に、推定部110は、尤度算出部108が算出した各事象の尤度を要素とするベクトルと、テーブル記憶部109が記憶するテーブルの値を要素とする行列との乗算を行うことで、異常の発生要因の尤度を要素とするベクトルを得る（ステップS8）。次に、推定部110は、各発生要因を、得られたベクトルが表す尤度の降順にソートする（ステップS9）。そして、出力部111は、推定部110が推定した発生要因を、ソートされた順に出力する（ステップS10）。例えば、出力部111は、最も尤度が高い発生要因をディスプレイに表示させ、利用者の操作により、次の発生要因の表示指令を受け付けた場合に、次に尤度が高い発生要因をディスプレイに表示させる。また例えば、出力部111は、発生要因のリストを、尤度の降順にシートに印刷する。

[0050] 《作用・効果》

このように、第1の実施形態によれば、監視装置100は、ガスタービンTに生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出し、事象と異常の発生要因との関係を示すテーブルと当該尤度とに基づいて、異常の発生要因を推

定する。これにより、監視装置１００は、観測された事象に基づいて容易に異常の発生要因を出力することができる。

また、第１の実施形態に係る監視装置１００は、各事象の発生の尤度を要素とする１行Ｍ列のベクトルと、テーブルの値を要素とするＭ行Ｎ列の行列との乗算を行うことで、異常の発生要因の尤度を要素とするＮ行１列のベクトルを得る。これにより、監視装置１００は、簡易な計算により、異常の発生要因ごとの尤度を容易に特定することができる。なお、他の実施形態ではこれに限られない。例えば、他の実施形態に係る監視装置１００は、各事象の発生の尤度を要素とする１行Ｍ列のベクトルと、テーブルの値を要素とするＭ行Ｎ列の行列の各行ベクトルとのコサイン類似度を算出することにより、異常の発生要因の尤度を要素とするＮ行１列のベクトルを得てもよい。なお、コサイン類似度は、ベクトルの内積（各事象の発生の尤度と当該事象の発生回数との加重和）を各ベクトルのノルムの積で除算した値である。例えば、他の実施形態に係る監視装置１００は、行列計算によらず、異常の発生要因ごとに、各事象の発生の尤度と当該事象の発生回数との加重和を求めてもよい。

[0051] また、第１の実施形態に係る監視装置１００は、ガスタービンＴに入力される空気および燃料の温度および流量、ならびにガスタービンＴから出力される排気の温度および流量を含む計測値を、熱平衡計算により補正して、マハラノビス距離を算出する。これにより、監視装置１００は、ガスタービンＴに設けられるセンサの計測誤差を低減してマハラノビス距離を算出することができる。なお、他の実施形態では、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る監視装置１００は、計測値を補正せずにマハラノビス距離を算出してもよい。また、他の実施形態に係る監視装置１００はマハラノビス距離に基づく異常判定手法以外の手法に基づいてガスタービンＴの異常の有無を判定してもよい。

[0052] また、第１の実施形態によれば、監視装置１００は、ガスタービンＴの運転開始時点から所定の始動期間が経過した後の時点である始動後時点に取得

された計測値を諸元とし、始動期間中に取得された計測値を単位空間として、マハラノビス距離を算出する。つまり、監視装置１００は、監視対象であるガスタービンＴそのものの正常な運転状態を単位空間としてマハラノビス距離を算出する。従来は、マハラノビス距離の単位空間として、始動期間を過ぎて劣化が生じているが異常が発生していない運転状態、および他のガスタービンＴの運転状態をも含む単位空間に基づいてマハラノビス距離を算出していた。他方、第１の実施形態によれば、監視対象であるガスタービンＴそのものの運転状態であって、劣化が生じる以前の運転状態のみを含む単位空間に基づいて、マハラノビス距離を算出する。これにより、監視装置１００は、監視対象のガスタービンＴについて精度よく異常の検知を行うことができる。

[0053] また、第１の実施形態に係る始動期間は、新品状態の運転開始時点または定期点検の完了後の運転開始時点のうち直近の時点を開始点とする期間である。つまり、定期点検のたびにマハラノビス距離の単位空間が更新される。これにより、ガスタービンＴの定期点検後の正常な運転状態（初回は新品状態における運転状態）を基準として、ガスタービンＴの異常の検知を行うことができる。新品状態、すなわち無劣化のガスタービンＴの運転状態を単位空間とする場合、定期点検後のガスタービンＴの運転状態は正常状態であっても、マハラノビス距離が相対的に大きくなる。これは、ガスタービンＴの使用による劣化を定期点検によって完全に修復することが困難なためである。したがって、ガスタービンＴの定期点検後の正常な運転状態を基準として、ガスタービンＴの異常の検知を行うことで、精度よく運転状態を判定することができる。

[0054] また、第１の実施形態によれば、監視装置１００は、計測値、補正計測値、および指令値を諸元としてマハラノビス距離を算出する。これにより、ガスタービンＴの劣化等により入熱量と出熱量の平衡が崩れる場合にも、適切にガスタービンＴの状態を評価することができる。なお、他の実施形態の構成は、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る監視装置１００は、

計測値を諸元を含めずに、補正計測値を諸元としてマハラノビス距離を算出してもよい。また、他の実施形態に係る監視装置１００は、指令値を諸元を含めずにマハラノビス距離を算出してもよい。

[0055] 〈第２の実施形態〉

以下、図面を参照しながら第２の実施形態について詳しく説明する。図４は、第２の実施形態に係る監視装置の構成を示す概略ブロック図である。

第２の実施形態に係る監視装置１００は、第１の実施形態の構成に加えて、事象抽出部１１２を備え、第１の実施形態と推定部１１０の動作が異なる。事象抽出部１１２は、ガスタービンＴに生じ得る複数の事象から、尤度算出部１０８が算出した尤度が所定の閾値以上であるものを抽出する。推定部１１０は、テーブル記憶部１０９が記憶するテーブルにおいて、事象抽出部１１２が抽出した事象のうち、発生回数が１以上のものの数を計数する。推定部１１０は、複数の発生要因のうち計数された発生回数の方が相対的に多いものが、ガスタービンＴの異常の発生要因であると推定する。具体的には、推定部１１０は、発生回数の数の降順に各発生要因をソートして、出力部１１１に出力する。

上記構成を有することで、監視装置１００は、第１の実施形態よりさらに簡易な構成で、観測された事象に基づいて容易に異常の発生要因を出力することができる。

[0056] なお、第２の実施形態に係るテーブル記憶部１０９は、第１の実施形態と同様に、各事象および各発生要因について、当該発生要因による異常が生じたときに、当該事象が確認された回数を記憶するが、これに限られない。例えば、他の実施形態に係るテーブル記憶部１０９は、各事象および各発生要因について、当該発生要因による異常が生じたときに、当該事象が確認されたことがあるか否かを示すブール値を関連付けて記憶してもよい。この場合、推定部１１０は、テーブル記憶部１０９が記憶するテーブルにおいて、事象抽出部１１２が抽出した事象のうち、ブール値がTrueを示すものの数を計数する。推定部１１０は、複数の発生要因のうち計数されたブール値の

数が相対的に多いものが、ガスタービンTの異常の発生要因であると推定する。

[0057] 〈第3の実施形態〉

以下、図2を参照しながら第3の実施形態について詳しく説明する。

第3の実施形態に係る監視装置100は、第1の実施形態とテーブル記憶部109が記憶する情報が異なる。第3の実施形態に係るテーブル記憶部109は、各事象および各発生要因について、当該発生要因による異常が生じたときに当該事象が確認される確率を関連付けて記憶する。当該テーブルは、例えば、ガスタービンTの運用時に保守員によって生成されたF T Aのデータ（F T）に基づいて生成することができる。F Tは、トップ事象を最上位事象（ルート）とし、上位事象の要因となる下位事象をノードとする木構造である。各ノードには、当該ノードが示す下位事象によって当該ノードの直上のノードに係る上位事象が生じる確率が関連付けられる。当該F Tのうち、各事象を示すノードに関連付けられた確率をテーブルに格納することで、テーブル記憶部109のテーブルが生成される。

[0058] これにより、推定部110は、尤度算出部108が算出した各事象の発生の尤度と、その事象の発生確率との加重和を算出し、当該加重和に基づいて発生要因を推定する。具体的には、推定部110は、尤度と発生確率と加重和の降順に各発生要因をソートして、出力部111に出力する。つまり、推定部110は、事象の事前確率（テーブルに格納された確率）と、事象の観測結果（事象の発生の尤度）とに基づいてベイズ更新を行い、事後確率として発生要因の発生確率を求めるものである。

このように、本実施形態によれば、第1の実施形態または第2の実施形態と比較してさらに精度よく、観測された事象に基づいて容易に異常の発生要因を出力することができる。

[0059] なお、第3の実施形態に係る監視装置100は、各事象および各発生要因について、F Tに基づいて決定された確率を関連付けて記憶するが、これに限られない。例えば、他の実施形態に係るテーブルに記憶される確率は、過

去のガスタービンTの運用において算出された各事象の発生の尤度の和であってもよい。

[0060] また、第3の実施形態に係る監視装置100は、各事象の発生の尤度と確率の加重和を発生要因の尤度として用いるが、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る監視装置100は、各事象の発生の尤度を要素とする1行M列のベクトルと、テーブルの値を要素とするM行N列の行列の各行ベクトルとのコサイン類似度を算出することにより、異常の発生要因の尤度を要素とするN行1列のベクトルを得てもよい。

[0061] 以上、図面を参照して一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、様々な設計変更等を行うことが可能である。

例えば、上述した実施形態に係る対象装置は、ガスタービンTであるが、他の実施形態では、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る対象装置は、蒸気タービン、エンジン、または熱的な収支がある他の装置であってもよい。

[0062] また、上述した実施形態に係る監視装置100の尤度算出部108は、マハラノビス距離に係るSN比に基づいて各事象の発生の尤度を求めるが、これに限られない。例えば、他の実施形態に係る尤度算出部108は、取得部101が取得した計測値を入力とするベイジアンネットワークを用いて各事象の発生の尤度を算出してもよい。

[0063] 図5は、少なくとも1つの実施形態に係るコンピュータの構成を示す概略ブロック図である。

コンピュータ900は、CPU901、主記憶装置902、補助記憶装置903、インタフェース904を備える。

上述の監視装置100は、コンピュータ900を備える。そして、上述した各処理部の動作は、プログラムの形式で補助記憶装置903に記憶されている。CPU901は、プログラムを補助記憶装置903から読み出して主記憶装置902に展開し、当該プログラムに従って上記処理を実行する。ま

た、CPU 901は、プログラムに従って、上述した各記憶部に対応する記憶領域を主記憶装置902に確保する。

[0064] なお、少なくとも1つの実施形態において、補助記憶装置903は、一時的でない有形の媒体の一例である。一時的でない有形の媒体の他の例としては、インタフェース904を介して接続される磁気ディスク、光磁気ディスク、光ディスク、半導体メモリ等が挙げられる。また、このプログラムが通信回線によってコンピュータ900に配信される場合、配信を受けたコンピュータ900が当該プログラムを主記憶装置902に展開し、上記処理を実行してもよい。

[0065] また、当該プログラムは、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、当該プログラムは、前述した機能を補助記憶装置903に既に記憶されている他のプログラムとの組み合わせで実現するもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であってもよい。

産業上の利用可能性

[0066] 上記態様のうち少なくとも1つの態様によれば、監視装置は、対象装置の計測値に基づいて当該対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出し、事象と異常の発生要因とを関連付けたテーブルを用いて対象装置に生じた異常の発生要因を推定する。これにより、監視装置は、監視員の経験によらずに異常の発生要因を精度よく推定することができる。

符号の説明

[0067] 100 監視装置
101 取得部
102 特性値算出部
103 補正部
104 単位空間記憶部
105 距離算出部
106 異常判定部

- 1 0 7 S N比算出部
- 1 0 8 尤度算出部
- 1 0 9 テーブル記憶部
- 1 1 0 推定部
- 1 1 1 出力部
- 1 1 2 事象抽出部
- T ガスタービン

請求の範囲

- [請求項1] 対象装置の計測値を取得する取得部と、
前記取得部が取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出する尤度算出部と、
前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、
前記尤度と前記テーブルとに基づいて前記発生要因を推定する推定部と
を備える監視装置。
- [請求項2] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認された回数とを関連付けたものであって、
前記推定部は、前記発生要因毎に、前記尤度と前記回数との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定する
請求項1に記載の監視装置。
- [請求項3] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認されたか否かを示す値とを関連付けたものであって、
前記推定部は、前記尤度が所定の閾値以上の前記事象であって、かつ前記テーブルにおいて発生したことが示されている前記事象の数に基づいて、前記発生要因を推定する
請求項1に記載の監視装置。
- [請求項4] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が生じる確率とを関連付けたものであって、
前記推定部は、前記発生要因毎に、前記尤度と前記確率との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定する
請求項1に記載の監視装置。

- [請求項5] 前記取得部が取得した前記計測値のS N比を算出するS N比算出部をさらに備え、
前記尤度算出部は、前記S N比算出部が算出した前記S N比に基づいて前記複数の事象それぞれの尤度を算出する
請求項1から請求項4の何れか1項に記載の監視装置。
- [請求項6] 前記計測値に基づいてマハラノビス距離を算出する距離算出部をさらに備え、
前記尤度算出部は、前記マハラノビス距離が所定値以上である場合に、前記複数の事象それぞれの尤度を算出する
請求項1から請求項5の何れか1項に記載の監視装置。
- [請求項7] 前記計測値に基づく熱平衡計算により、前記計測値を補正した補正計測値を得る補正部をさらに備え、
前記計測値は、少なくとも前記対象装置に入力される入力流体の温度および流量、ならびに前記対象装置から出力される出力流体の温度および流量を含み、
前記距離算出部は前記補正計測値を諸元として前記マハラノビス距離を算出する
請求項6に記載の監視装置。
- [請求項8] 対象装置の計測値を取得することと、
取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出することと、
前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、前記尤度に基づいて前記発生要因を推定することと
を含む対象装置の監視方法。
- [請求項9] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認された回数とを関連付けたものであって、

前記発生要因毎に、前記尤度と前記回数との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定する

請求項 8 に記載の対象装置の監視方法。

[請求項10] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が確認されたか否かを示す値とを関連付けたものであって、

前記尤度が所定の閾値以上の前記事象であって、かつ前記テーブルにおいて発生したことが示されている前記事象の数に基づいて、前記発生要因を推定する

請求項 8 に記載の対象装置の監視方法。

[請求項11] 前記テーブルは、前記発生要因と、前記事象と、当該発生要因に係る異常が生じたときに当該事象が生じる確率とを関連付けたものであって、

前記発生要因毎に、前記尤度と前記確率との加重和を算出し、当該加重和に基づいて前記発生要因を推定する

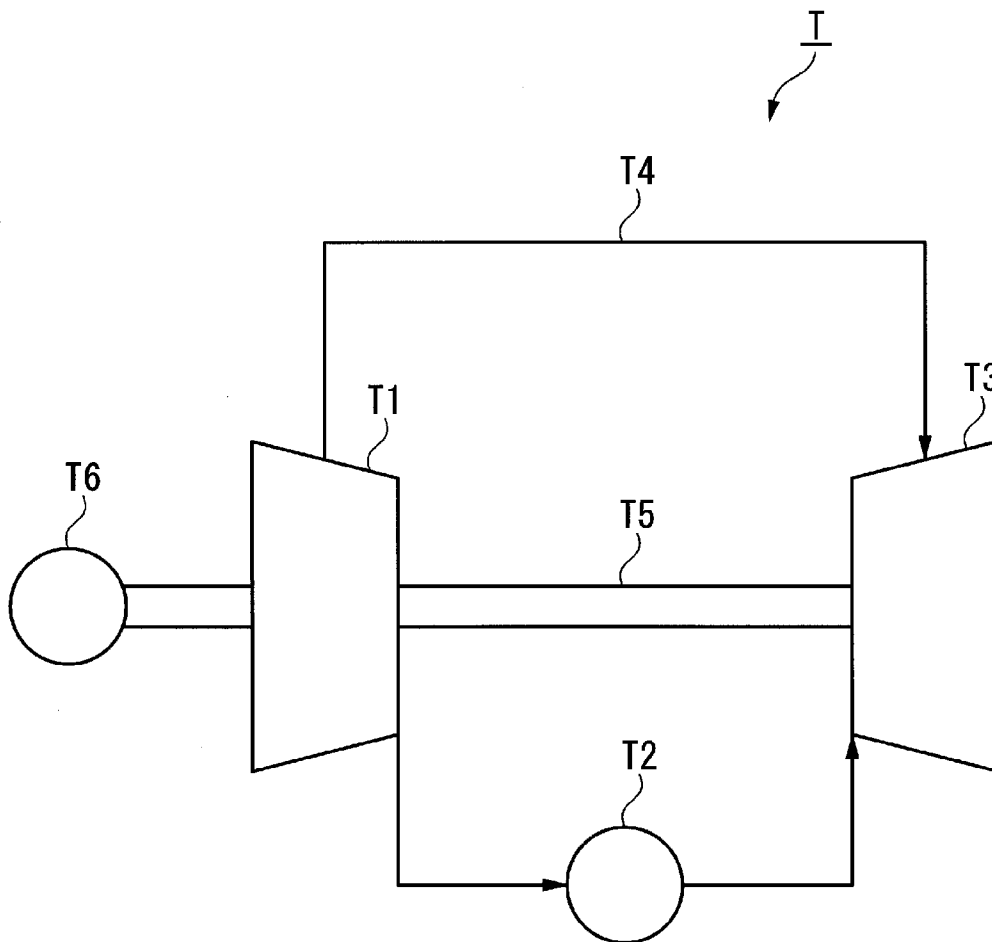
請求項 8 に記載の対象装置の監視方法。

[請求項12] コンピュータに、
対象装置の計測値を取得することと、
取得した前記計測値に基づいて対象装置に生じ得る複数の事象それぞれの発生の尤度を算出することと、

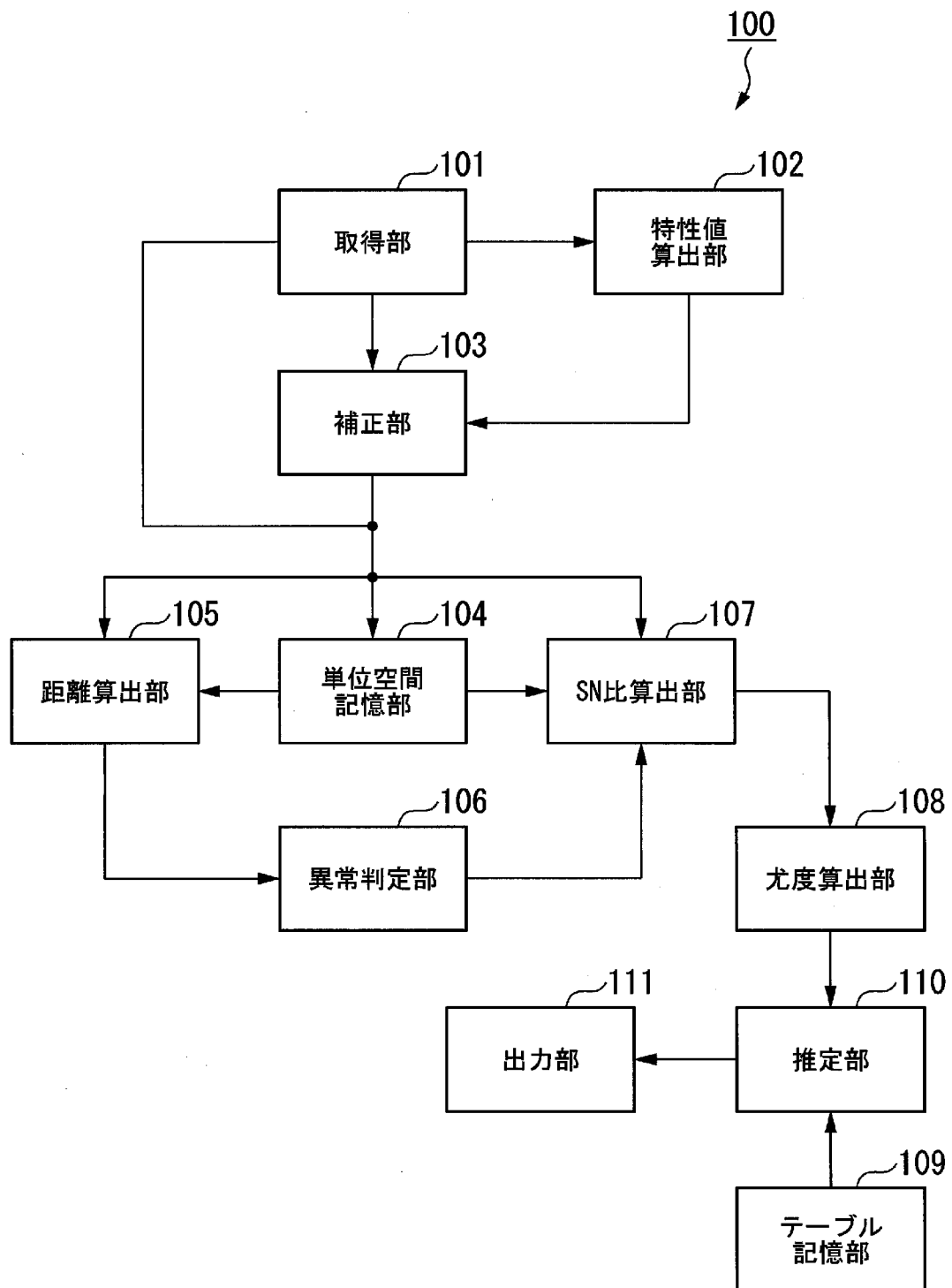
前記複数の事象と、前記対象装置の異常の発生要因とを関連付けたテーブルを記憶するテーブル記憶部と、前記尤度に基づいて前記発生要因を推定することと

を実行させるためのプログラム。

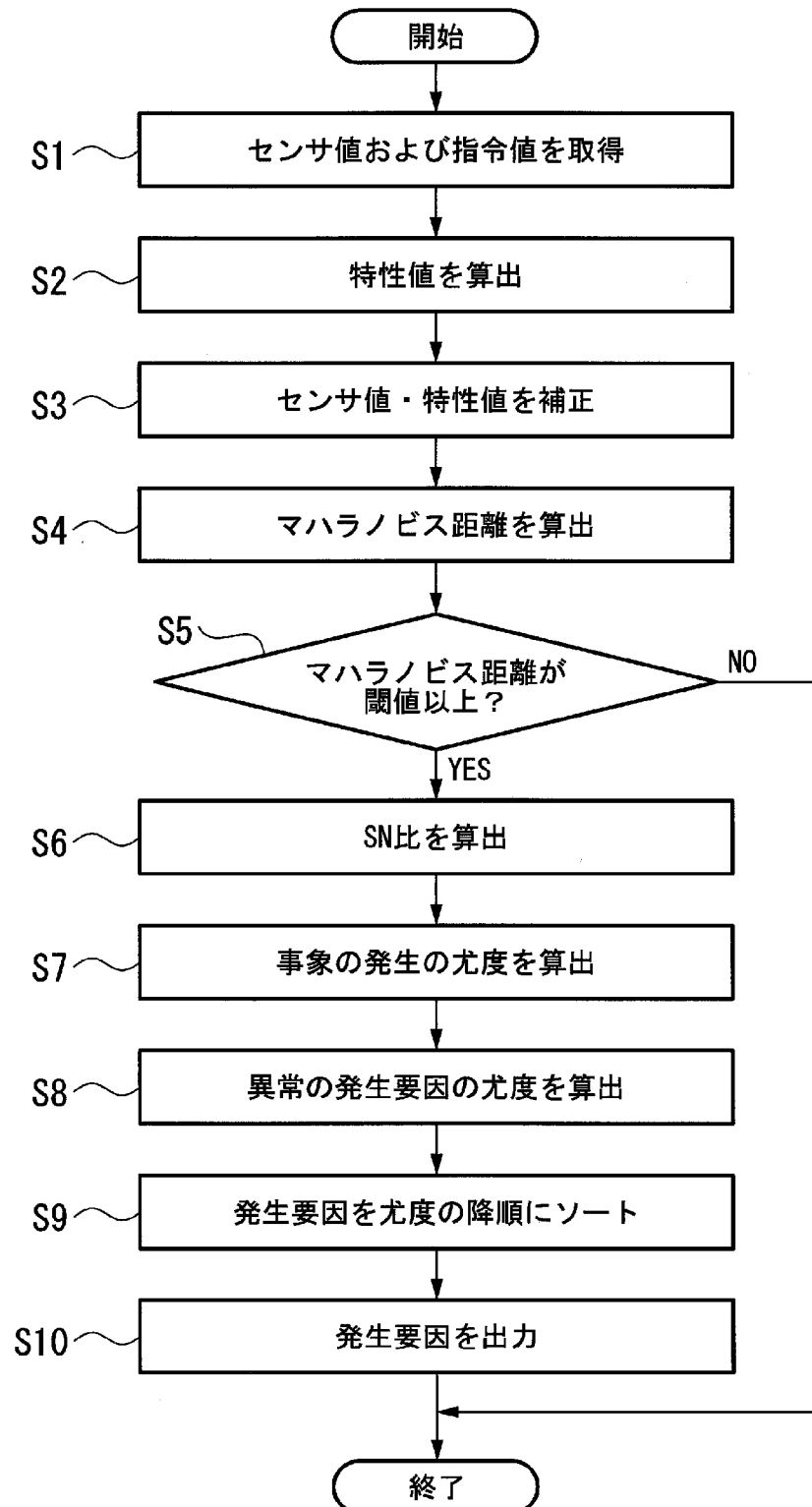
[図1]



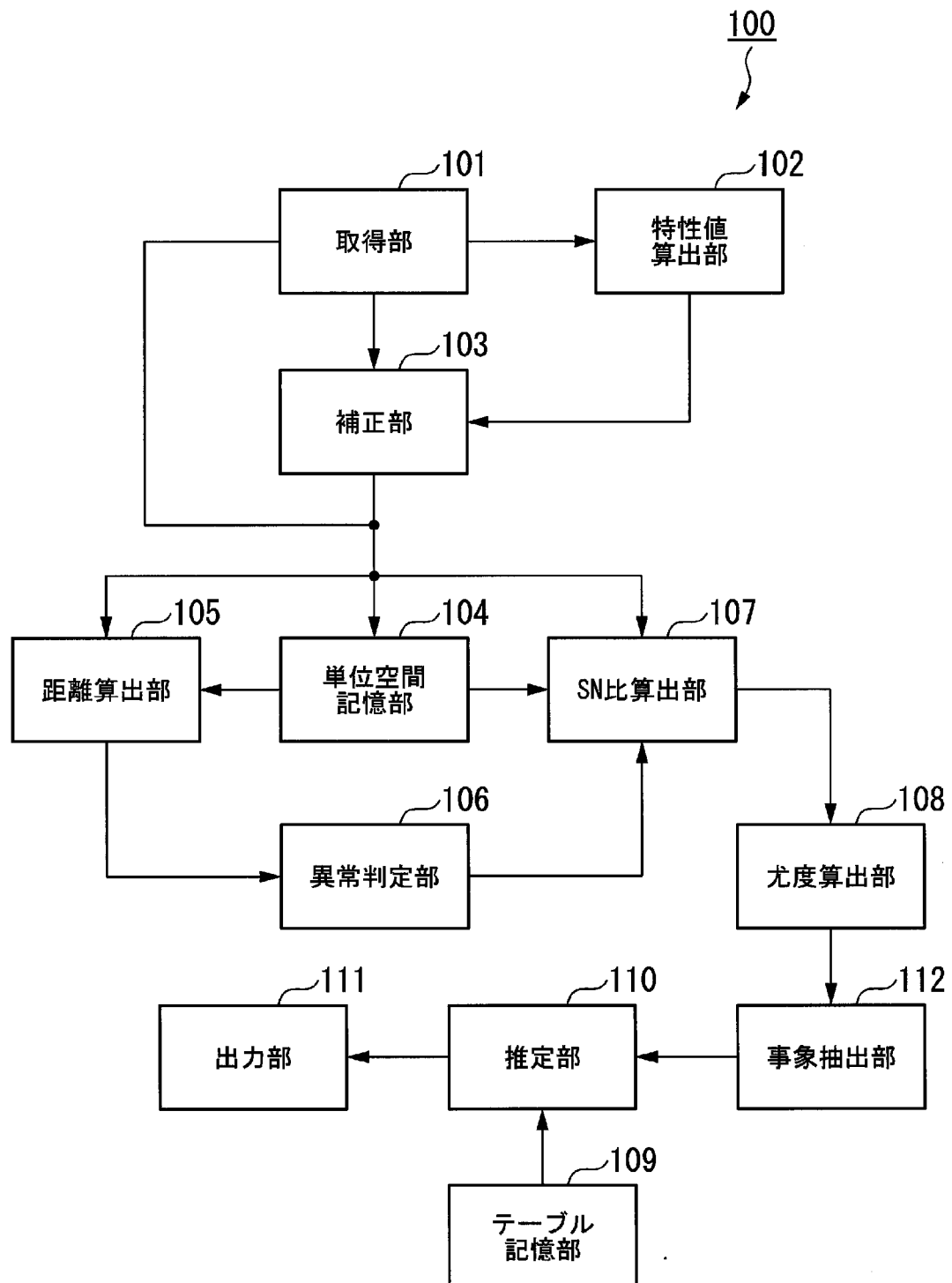
[図2]



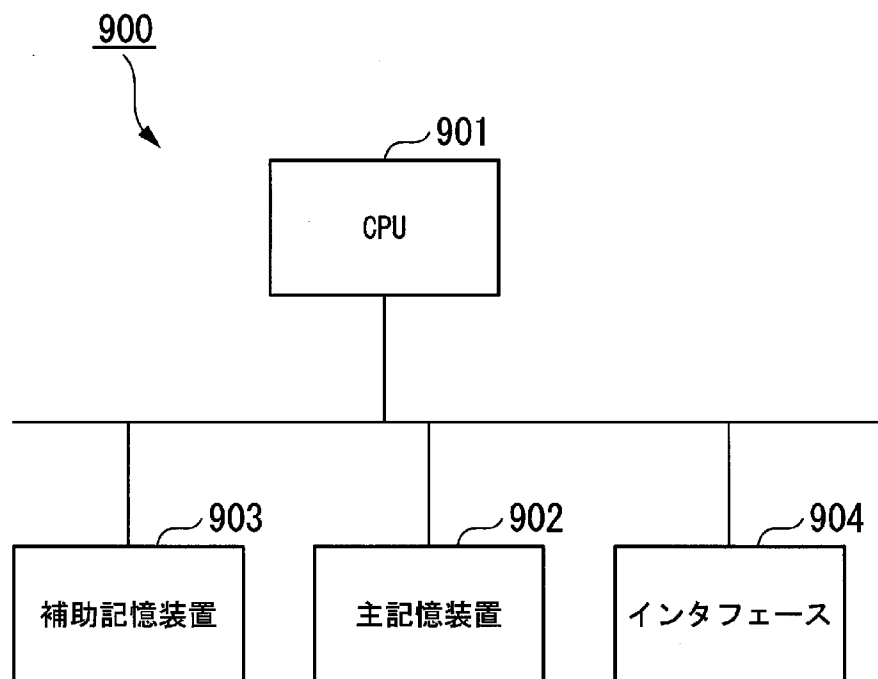
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/020200

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B23/02(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G05B23/02, F01D25/00, F02C7/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 2011-90382 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 06 May 2011 (06.05.2011), paragraphs [0017] to [0057]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1, 5-8, 12 2-4, 9-11
Y A	JP 2016-6594 A (Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd.), 14 January 2016 (14.01.2016), paragraphs [0078] to [0079]; fig. 9 (Family: none)	1, 5-8, 12 2-4, 9-11
Y	JP 2005-293169 A (Toshiba Corp.), 20 October 2005 (20.10.2005), paragraphs [0009], [0013] to [0014], [0021]; fig. 1 (Family: none)	7

☒ 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
08 August 2017 (08.08.17)

Date of mailing of the international search report
22 August 2017 (22.08.17)

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/JP2017/020200

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-119823 A (Yaskawa Electric Corp.), 30 April 1999 (30.04.1999), paragraph [0004]; fig. 3 (Family: none)	2-3, 9-10
A	JP 7-13617 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 17 January 1995 (17.01.1995), paragraphs [0008] to [0013]; fig. 2 (Family: none)	4, 11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B23/02(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B23/02, F01D25/00, F02C7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 A	JP 2011-90382 A（三菱重工業株式会社） 2011.05.06, 段落[0017]-[0057], 図1-6 (ファミリーなし)	1, 5-8, 12 2-4, 9-11
Y A	JP 2016-6594 A（三菱日立パワーシステムズ株式会社） 2016.01.14, 段落[0078]-[0079], 図9 (ファミリーなし)	1, 5-8, 12 2-4, 9-11

☒ 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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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

08.08.2017

国際調査報告の発送日

22.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

影山 直洋

3U

5785

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2005-293169 A (株式会社東芝) 2005. 10. 20, 段落[0009], [0013]-[0014], [0021], 図 1 (ファミリーなし)	7
A	JP 11-119823 A (株式会社安川電機) 1999. 04. 30, 段落[0004], 図 3 (ファミリーなし)	2-3, 9-10
A	JP 7-13617 A (石川島播磨重工業株式会社) 1995. 01. 17, 段落[0008]-[0013], 図 2 (ファミリーなし)	4, 11