

(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
2024年2月15日(15.02.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/034243 A1

(51) 国際特許分類:

G05B 13/02 (2006.01) F23G 5/50 (2006.01)

大阪府大阪市住之江区南港北 1 丁目 7 番 8
9 号 日立造船株式会社内 Osaka (JP).

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2023/020964

(22) 国際出願日:

2023年6月6日(06.06.2023)

(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 2022-126606 2022年8月8日(08.08.2022) JP

(71) 出願人: 日立造船株式会社 (HITACHI ZOSEN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北 1 丁目 7 番 8 9 号 Osaka (JP).

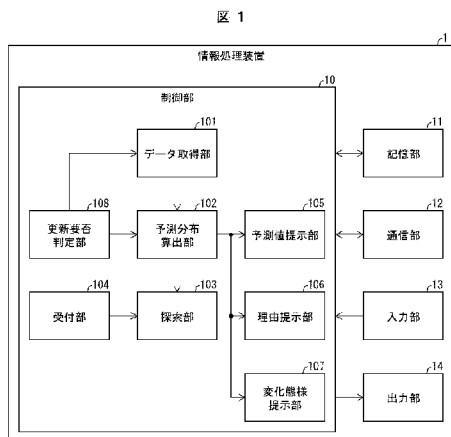
(72) 発明者: 野原 俊平 (NOHARA, Shumpei); 〒5598559 大阪府大阪市住之江区南港北 1 丁目 7 番 8 9 号 日立造船株式会社内 Osaka (JP). 白石 裕司 (SHIRAISHI, Yuji); 〒5598559

(74) 代理人: 弁理士法人 H A R A K E N Z O W O R L D P A T E N T & T R A D E M A R K (HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋 2 丁目北 2 番 6 号 大和南森町ビル Osaka (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, 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,

(54) Title: INFORMATION PROCESSING DEVICE, CONTROL SYSTEM, SEARCH METHOD, AND SEARCH PROGRAM

(54) 発明の名称: 情報処理装置、制御システム、探索方法、および探索プログラム



- 1 Information processing device
10 Control unit
11 Storage unit
12 Communication unit
13 Input unit
14 Output unit
101 Data acquisition unit
102 Predicted distribution calculation unit
103 Search unit
104 Reception unit
105 Predicted value presentation unit
106 Reason presentation unit
107 Change state presentation unit
108 Update requirement determination unit

(57) Abstract: The present invention performs stable feedback control without being affected by human subjectivity. This information processing device comprises: a predicted distribution calculation unit (102) that calculates a predicted distribution of a function indicating the relationship between a control parameter for feedback control and the result of feedback control using the control parameter; and a search unit (103) that searches for a candidate for the optimal value of the control parameter on the basis of the predicted distribution.

(57) 要約: 人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行う。フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出部 (102) と、前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索部 (103) と、を備える。

[続葉有]

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, 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))

明 細 書

発明の名称：

情報処理装置、制御システム、探索方法、および探索プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、フィードバック制御における制御パラメータを調整する技術に関する。

背景技術

[0002] フィードバック制御は、出力値と目標値とを一致させるように入力値を制御するという制御手法であり、各種機器の自動制御に古くから用いられている。適切なフィードバック制御を行うためには、制御パラメータを適切に設定する必要があり、制御パラメータを適切に設定するための技術も従来から知られている。

[0003] 例えば、下記の特許文献1には、吹込み量フィードバック制御手段とパラメータ調整手段とを備えた排ガス脱硝制御装置が開示されている。当該吹込み量フィードバック制御手段は、燃焼炉から排出される燃焼排ガスから窒素酸化物を除去するための除去物の吹込み量を算出する。また、パラメータ調整手段は、燃焼炉の炉口温度に基づいてフィードバック制御の制御パラメータを調整する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：日本国特公平7 - 7 1 6 1 9号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上記従来技術は、炉口温度と脱硝率、および炉口温度とプロセス遅れのそれぞれに相関があることを前提として、炉口温度から吹込み量のフィードバック制御における適切な制御パラメータを求めるものである。そのため、上記従来技術は、吹き込み量のフィードバック制御以外に適用することはでき

ない。このように、制御パラメータの調整手法として、様々なフィードバック制御に共通して適用可能な手法は従来知られていない。このため、フィードバック制御の制御パラメータは、オペレータの経験と勘を頼りに決定されることも多かった。

[0006] しかし、経験と勘を頼りに制御パラメータを決定する手法では、誰が制御パラメータを決定するかによって調整結果にばらつきが生じてしまい、安定したフィードバック制御を実現することは難しい。

[0007] 本発明の一態様は、人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことを可能にする情報処理装置等を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る情報処理装置は、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出部と、前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索部と、を備える。

[0009] また、本発明の一態様に係る制御システムは、上記の課題を解決するために、制御対象の機器に対してフィードバック制御を行う制御装置と、前記フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する情報処理装置と、を含み、前記制御装置は、前記候補を適用して制御対象の前記機器に対するフィードバック制御を行う。

[0010] また、本発明の一態様に係る探索方法は、上記の課題を解決するために、
1 または複数の情報処理装置が実行する探索方法であって、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出ステップと、前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索ステップと、を含む。

発明の効果

[0011] 本発明の一態様によれば、人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の一実施形態に係る情報処理装置の要部構成の一例を示すブロック図である。

[図2]上記情報処理装置を含む制御システムの概要を示す図である。

[図3]結果データの入力を受け付ける表示画面の例を示す図である。

[図4]探索結果の表示画面の例を示す図である。

[図5]フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値（P V）のヒストグラムを示す図である。

[図6]上記情報処理装置が実行する処理の一例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

[0013] [システム構成]

本発明の一実施形態に係る制御システム9の概要を図2に基づいて説明する。図2は、制御システム9の概要を示す図である。図示のように、制御システム9には、情報処理装置1、データベース2、制御装置3、機器4、および計測装置5が含まれる。なお、情報処理装置1は、制御装置3や機器4から離れた遠隔地に設置されていてもよい。

[0014] 制御システム9では、制御装置3による機器4のフィードバック制御が行われる。情報処理装置1は、当該フィードバック制御における制御パラメータを調整するための装置である。詳細は後述するが、情報処理装置1は、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索する。

[0015] 制御システム9のユーザは、情報処理装置1が検出した候補を、制御システム9におけるフィードバック制御に適用することにより、当該ユーザの主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。

[0016] 制御装置 3 は、上述のように、制御対象の機器 4 に対してフィードバック制御を行う装置である。具体的には、制御装置 3 は、P I D (Proportional Integral Differential) 制御によるフィードバックを行う。P I D 制御では、設定値 (S V : Set Value) と計測値 (P V : Process Value) との偏差 (D V : deviation)、D V の積分、および D V の微分の 3 つの要素により操作量 (M V : Manipulated Variable) を決定する。P I D 制御における操作量 (M V) の算出式は下記のように表される。

[0017]
$$M V = P \times D V + (60 / I) \times (D V \text{ の積分}) + (D / 60) \times (D V \text{ の微分})$$

上記の算出式において、P、I、D は、それぞれ比例制御、積分制御、および微分制御をどの程度重視するかを決定する制御パラメータである。適切なフィードバック制御を実現するためには、P、I、D の値を適切に設定することが必要であり、情報処理装置 1 はこれらの制御パラメータの最適値を探索する。なお、情報処理装置 1 は、必ずしも P、I、D の制御パラメータの全てについて最適値を探索する必要はなく、そのうち少なくとも 1 つを探索してもよい。

[0018] 制御システム 9 において、上記の算出式で算出される操作量 (M V) が適用される操作端は、機器 4 またはその構成要素である。例えば、機器 4 がバルブを備えている場合には当該バルブを操作端とし、バルブの開度を操作量 (M V) としてもよい。また、例えば、機器 4 がインバータを備えている場合、当該インバータを操作端としてもよい。

[0019] なお、1 つの機器 4 が複数の操作端を有している場合、制御装置 3 は各操作端の操作量 (M V) を決定するが、この場合、情報処理装置 1 は各操作端について制御パラメータの最適値の候補を検出してもよい。例えば、機器 4 の温度制御を行う場合には、上述の算出式を用いて、冷却と加熱の 2 つの操作端のそれぞれについて操作量 (M V) が算出される。この場合、情報処理装置 1 は、冷却の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補と、加熱の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補とのそれぞれを一度に検

出することができる。無論、情報処理装置 1 は、冷却の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補を検出した後で、加熱の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補を検出することもできる。同様に、情報処理装置 1 は、加熱の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補を検出した後で、冷却の制御に用いられる制御パラメータの最適値の候補を検出することもできる。

[0020] また、同じ操作端を対象とする場合であっても、条件に応じて異なる制御パラメータを適用してもよい。この場合、情報処理装置 1 は、条件ごとに制御パラメータの最適値の候補を検出してもよい。例えば、制御装置 3 は、機器 4 が第 1 の運転条件で稼働しているときには、第 1 の制御パラメータを使用して算出された操作量 (MV) で機器 4 を制御する。一方、制御装置 3 は、機器 4 が第 2 の運転条件で稼働しているときには、第 2 の制御パラメータを使用して算出された操作量 (MV) で機器 4 を制御してもよい。この場合、情報処理装置 1 は、第 1 の制御パラメータの最適値の候補と、第 2 の制御パラメータの最適値の候補のそれぞれを一度に検出することができる。無論、情報処理装置 1 は、第 1 の制御パラメータの最適値の候補を検出した後で、第 2 の制御パラメータの最適値の候補を検出することもできる。同様に、情報処理装置 1 は、第 2 の制御パラメータの最適値の候補を検出した後で、第 1 の制御パラメータの最適値の候補を検出することもできる。

[0021] 制御システム 9 におけるプラントプロセスは、例えば燃焼や化学反応等である。なお、制御システム 9 は、プラントプロセスに限られず、任意の対象についての制御に適用することができる。

[0022] 制御システム 9 における計測端は、計測値 (PV) を計測するためのものであり、例えば計測装置 5 により実現される。計測装置 5 は、計測対象に応じたものとすればよい。例えば計測値 (PV) が圧力であれば計測装置 5 として圧力計を適用し、計測値 (PV) が温度であれば計測装置 5 として温度計を適用すればよい。計測装置 5 で計測された計測値 (PV) は、上述のように偏差 (DV) の算出に用いられると共に、データベース 2 に記憶され、

情報処理装置 1 による制御パラメータの探索に用いられる。なお、データベース 2 は、情報処理装置 1 または制御装置 3 が備えていてもよい。

[0023] 以上のように、制御システム 9 は、制御対象の機器 4 に対してフィードバック制御を行う制御装置 3 と、情報処理装置 1 と、を含む。情報処理装置 1 はフィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索する。制御装置 3 は、情報処理装置 1 が検出する候補を適用して制御対象の機器 4 に対するフィードバック制御を行う。この制御システム 9 によれば、人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。また、制御パラメータの検討に要する時間も削減できるため、制御システム 9 の管理業務の効率化にも資する。

[0024] 情報処理装置 1 が制御パラメータの最適値の候補を検出する対象とするフィードバック制御は、例えば、廃棄物焼却施設におけるフィードバック制御であってもよい。一般に、廃棄物焼却施設では、多種多様な廃棄物を焼却し、また、それら廃棄物の性状（例えば水分含量）も一定しないため、運転状況は常に変化する。このため、運転状況に応じたフィードバック制御が求められるが、廃棄物の性状の不安定さ等の要因により高精度な制御を行うことが難しかった。この点、情報処理装置 1 によれば、予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索するため、安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。

[0025] なお、制御システム 9 が廃棄物焼却施設のフィードバック制御を行うものである場合、機器 4 は、廃棄物焼却施設に配置された機器となる。例えば、機器 4 は、焼却炉、焼却炉内で廃棄物を搬送する火格子、燃烧空気の供給装置、または排出ガスの処理装置等であってもよい。また、廃棄物焼却施設は、焼却炉の排熱を利用して発電を行う発電設備を備えたものであってもよく、この場合、機器 4 は、発電設備に関連する機器（例えばボイラ等）であってもよい。

[0026] [情報処理装置の構成]

図 1 に基づいて情報処理装置 1 の構成を説明する。図 1 は、情報処理装置 1 の要部構成の一例を示すブロック図である。図示のように、情報処理装置 1 は、情報処理装置 1 の各部を統括して制御する制御部 10 と、情報処理装置 1 が使用する各種データを記憶する記憶部 11 を備えている。また、情報処理装置 1 は、情報処理装置 1 が他の装置と通信するための通信部 12、情報処理装置 1 に対する各種データの入力を受け付ける入力部 13、および情報処理装置 1 が各種データを出力するための出力部 14 を備えている。また、制御部 10 には、データ取得部 101、予測分布算出部 102、探索部 103、受付部 104、予測値提示部 105、理由提示部 106、変化態様提示部 107、および更新要否判定部 108 が含まれている。

[0027] データ取得部 101 は、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果とを対応付けた結果データを取得する。また、探索部 103 が上記制御パラメータの最適値の候補を検出した後には、データ取得部 101 は、当該候補を適用したフィードバック制御の結果を示す結果データを取得する。

[0028] 予測分布算出部 102 は、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する。また、予測分布算出部 102 は、予測分布を算出した後に、データ取得部 101 が新たな結果データ（探索部 103 が検出した候補を適用したフィードバック制御の結果を示すもの）を取得した場合、当該新たな結果データを用いて予測分布を更新する。

[0029] 結果データの取得と予測分布の更新は必須の構成ではないが、当該構成により、更新後の予測分布に基づいた、より妥当性の高い制御パラメータの最適値の候補を検出することが可能になる。また、結果データの取得と予測分布の更新を繰り返すことができ、これにより、制御パラメータの候補を最適値または最適値により近い値として、高精度なフィードバック制御を実現することができる。

[0030] 探索部 103 は、予測分布算出部 102 が算出する予測分布に基づいて制

御パラメータの最適値の候補を探索する。なお、予測分布の算出および更新の方法と、候補の探索方法の詳細については後述する。

[0031] 受付部 104 は、探索部 103 による候補の探索において、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺と、フィードバック制御の結果が未知の範囲と、の何れを重視して探索を行うかの選択を受け付ける。なお、当該選択のためのユーザの操作は例えば入力部 13 を介して受け付けられればよい。そして、探索部 103 は、受付部 104 が上記の選択を受け付けた場合、当該選択に従って候補を探索する。

[0032] 受付部 104 は必須の構成ではないが、情報処理装置 1 が受付部 104 を備えている場合、情報処理装置 1 のユーザは、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺を重視して探索を行うことを選択することができる。この場合、局所最適解である可能性はあるが安定した制御結果が期待できる候補を検出することができる。また、情報処理装置 1 のユーザは、フィードバック制御の結果が未知の範囲を重視して探索を行うことを選択することもできる。この場合、制御結果に当り外れが出る可能性はあるが、大域最適解の検出に大きく寄与することが期待できる候補を検出することができる。

[0033] 予測値提示部 105 は、探索部 103 が検出した候補を適用したフィードバック制御の結果の予測値を提示する。詳細は後述するが、予測値提示部 105 は、予測分布の平均と分散から上記予測値を算出する。

[0034] 予測値提示部 105 は必須の構成ではないが、情報処理装置 1 が予測値提示部 105 を備えている場合、検出された候補を適用したフィードバック制御の結果の予測値という当該候補を適用するか否かの判断材料として有用な情報をユーザに提示することができる。

[0035] 理由提示部 106 は、探索部 103 が検出した候補が妥当である理由を提示する。詳細は後述するが、理由提示部 106 は、予測分布の平均と分散に基づいて上記理由を特定する。

[0036] 理由提示部 106 も必須の構成ではない。しかし、情報処理装置 1 が理由提示部 106 を備えている場合、検出された候補が妥当である理由という当

該候補を適用するか否かの判断材料として有用な情報をユーザに提示することができる。

[0037] 変化態様提示部 107 は、探索部 103 が検出した候補を適用したときに、制御対象の機器に対する操作量 (MV) がどのように変化するかを示す情報を提示する。詳細は後述するが、変化態様提示部 107 は、比較対象とする制御パラメータ (上述の算出式における係数 P、I、D) の値と候補との差異に基づいて、操作量 (MV) がどのように変化するかを特定する。

[0038] 変化態様提示部 107 も必須の構成ではない。しかし、情報処理装置 1 が変化態様提示部 107 を備えている場合、検出された候補を適用したときの操作量がどのように変化するかを示す情報という当該候補を適用するか否かの判断材料として有用な情報をユーザに提示することができる。

[0039] 更新要否判定部 108 は、探索部 103 が検出した候補を適用したフィードバック制御の結果を取得し、取得した当該結果に基づいて予測分布を更新するか否かを判定する処理を、所定期間毎に繰り返し行う。

[0040] 更新要否判定部 108 は必須の構成ではない。しかし、情報処理装置 1 が更新要否判定部 108 を備えている場合、フィードバック制御の結果が所望のものとなるまで、予測分布の更新と候補の検出を自動で継続することができる。また、フィードバック制御の結果が所望のものとなったときに予測分布の更新と候補の検出を自動で終了することができる。また、情報処理装置 1 が更新要否判定部 108 を備えている場合、フィードバック制御の結果が所望のものとなった後、当該結果が所望のものではなくなったときに予測分布の更新と候補の検出を自動で再開することができる。

[0041] また、更新要否判定部 108 は、探索部 103 が検出した候補が適用された後の機器 4 の動作に問題がないか判定し、問題があると判定した場合には制御パラメータを変更させる処理についても行ってもよい。これにより、検出された候補が妥当でなかった場合に、その影響を最小限に留めることができる。なお、これらの処理は、更新要否判定部 108 とは別の処理ブロックを設けて当該処理ブロックに行わせてもよい。

[0042] ここで、フィードバック制御において、制御パラメータと該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数を求めることができれば、所望の結果が得られる制御パラメータを決定することは容易である。しかし、一般にはそのような関数を求めることは難しい。

[0043] そこで、情報処理装置 1 は、以上のように、制御パラメータと制御結果との関係を示す関数を求める代わりに、当該関数の予測分布を算出し、算出した予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索する、という構成を採用している。

[0044] これにより、制御パラメータと制御結果との関係を示す関数を求めることが難しい場合であっても、予測分布から妥当と考えられる制御パラメータを自動で決定することができる。そして、決定された制御パラメータを適用することにより、人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。

[0045] [予測分布の算出方法と最適値の候補の探索方法の詳細]

予測分布算出部 102 による予測分布の算出方法（更新も含む）の詳細と、探索部 103 による最適値の候補の探索方法の詳細を以下説明する。なお、以下の説明は、ベイズ最適化における予測分布の算出方法と探索方法に関するものである。ただし、予測分布を用いて最適値の候補を探索するものであれば、以下の説明に係る方法以外の方法を適用することも可能である。

[0046] フィードバック制御において最適化したい制御パラメータが N 個ある場合、それらの制御パラメータは、

[0047] [数1]

$$\Theta = \{\theta_n\}_{n=1}^N$$

[0048] と表され、

それに対する評価値は、

[0049] [数2]

$$Y = \{y_n\}_{n=1}^N$$

[0050] と表される。

[0051] 予測分布算出部 102 は、データ取得部 101 が取得する結果データを用いて、制御パラメータと制御結果との関係を示す関数の予測分布を算出する。なお、この関数を以下では評価関数 $f(\theta)$ と呼ぶ。また、新たな結果データ（例えば、探索部 103 が検出した候補を適用したフィードバック制御の結果を示す結果データ）が取得されたときには、予測分布算出部 102 は、その結果データが反映されるように予測分布を更新する。

[0052] 制御変数と制御結果との関係を、ガウスノイズ $\varepsilon_n \sim N(0, \beta)$ を用いて

[0053] [数3]

$$y_n = f(\theta_n) + \varepsilon_n$$

[0054] と仮定すると、ガウス過程による評価関数の予測分布として以下の分布が得られる。

[0055] [数4]

$$p(f(\theta) | \theta) = \mathcal{N}(f(\theta) | \mu(\theta), \sigma(\theta)) \quad (1)$$

[0056] [数5]

$$\mu(\theta) = k_*(\mathbf{K}_\Theta + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{f} \quad (2)$$

[0057] [数6]

$$\sigma(\theta) = k_* - \mathbf{k}_{\Theta,*}^T (\mathbf{K}_\Theta + \beta \mathbf{I})^{-1} \mathbf{k}_{\Theta,*} \quad (3)$$

[0058] ここで、 $k_* = k(\theta, \theta)$ であり、 $\mathbf{K}_\Theta$ は $[\mathbf{K}_\Theta]_{i,j} = k(\theta_i, \theta_j)$ で得られるグラム行列である。また、

[0059] [数7]

$$\mathbf{f} = \{f(\theta_n)\}_{n=1}^N$$

[0060] である。 $\mathbf{k}_{\Theta,*}$ は、 $[\mathbf{k}_{\Theta,*}]_i = k(\theta_i, \theta)$ の縦ベクトルであり、 $k(\cdot, \cdot)$ は、カーネル関数である。ここではカーネル関数のパラメータを α_k とする。

[0061] 平均関数 $\mu(\theta)$ は、結果データから予測される評価関数の平均値を示す

。また、分散関数 $\sigma(\theta)$ は、結果データから予測される評価関数の分散である。 $\sigma(\theta)$ は、予測の不確実性を示し、結果データが不足している領域ではその値が大きくなる傾向がある。 σ が大きいと、予測が不確実であるといえ、予測の確実性を上げるために必要な結果データが不足しているといえる。数式(3)から明らかなように、分散関数 $\sigma(\theta)$ に含まれるカーネル関数およびカーネル関数のパラメータ α_k は、予測分布の算出に影響を与える。予測分布の算出の際には、パラメータ α_k の最適化が行われる。最適化の方法は特に限定されず、例えば一般的なベイズ最適化で適用されている各種の最適化手法を適用することもできる。

[0062] 探索部103は、最適な制御パラメータを求めるために、最適な制御パラメータの候補を探索する。具体的には、探索部103は、後記数式(4)、(5)に示されるように、平均関数 $\mu(\theta)$ と分散関数 $\sigma(\theta)$ を用いて獲得関数 $a(\theta)$ を最大にする制御パラメータを探索する。この探索で検出された制御パラメータが、最適な制御パラメータの候補となる。この探索は、UCB (Upper Confidence Bound) 戦略に基づいている。

[0063] 数式(5)における κ は探索と利用を調節するためのパラメータである。受付部104が、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺と、フィードバック制御の結果が未知の範囲と、の何れを重視して探索を行うかの選択を受け付けた場合、探索部103は、 κ を受け付けた選択に応じた値に設定し、候補の探索を行う。

[0064] 無論、他の方法で新たな制御パラメータを探索することも可能である。例えば、PI (Probability of Improvement) 戦略や、EI (Expected Improvement) 戦略で最適な制御パラメータの候補を探索してもよい。

[0065] なお、評価関数の値を最小化する制御パラメータを最適な制御パラメータとして求める場合には、獲得関数 $a(\theta)$ を最小にする制御パラメータを探索すればよい。評価関数の値を最小化する制御パラメータを最適な制御パラメータとして求める場合とは、例えば短時間で完了させることが好ましいタスクについて、タスク完了までの所要時間を評価値とする場合等である。

[0066] [数8]

$$\theta \leftarrow \arg \max_{\theta} a(\theta) \quad (4)$$

[0067] [数9]

$$a(\theta) = \mu(\theta) + \kappa\sigma(\theta) \quad (5)$$

[0068] 探索部 103 が検出した制御パラメータの最適値の候補は、ユーザに提示される。そして、その候補を適用したフィードバック制御が開始され、当該制御が行われた期間に計測された計測値（PV）がデータベース 2 に蓄積される。

[0069] 更新要否判定部 108 は、探索部 103 が検出した候補を適用したフィードバック制御の結果を示す計測値（PV）をデータベース 2 から取得し、取得した計測値（PV）に基づいて予測分布を更新するか否かを判定する。例えば、更新要否判定部 108 は、取得した計測値（PV）を用いて、適用された候補の妥当性を示す評価値を算出し、算出した評価値が所定の閾値未満であった場合に、予測分布を更新すると判定してもよい。

[0070] また、更新要否判定部 108 は、予測分布を更新すると判定した場合、算出した評価値と取得した計測値とを対応付けて結果データを生成してもよい。データ取得部 101 は、生成された結果データを取得し、それ以前に取得されていた結果データと共に予測分布算出部 102 に出力する。そして、予測分布算出部 102 は、新たに取得された結果データと、それ以前に取得されていた結果データとを用いて予測分布を更新する。なお、評価値の算出は更新要否判定部 108 またはデータ取得部 101 が行ってもよいし、他の装置またはユーザが行ってもよい。また、評価値の算出方法については後述する。

[0071] そして、探索部 103 は、予測分布算出部 102 による更新後の予測分布に基づいて構成される評価関数に基づき、制御パラメータの最適値を探索する。このように、予測分布の更新と最適値の探索とを繰り返すことにより、最適な制御パラメータを検出することが可能になる。

[0072] 〔表示画面例（入力・設定）〕

データ取得部 101 は、図 3 のような表示画面を表示させて、フィードバック制御の結果データをユーザに入力させてもよい。図 3 は、結果データの入力を受け付ける表示画面の例を示す図である。以下説明するように、このような表示画面を表示させることにより、ユーザは、最適化に必要な結果データの入力や、各種設定を容易に行うことができる。

[0073] 図 3 に示す表示画面 A1 には、アドレス入力ボックス A11、参照ボタン A12、決定ボタン A13、および結果データ表示領域 A14 が含まれている。アドレス入力ボックス A11 は結果データが入ったファイルを指定するアドレスを入力するためのものである。また、参照ボタン A12 は、結果データが入ったファイルを参照するためのものである。ユーザは、結果データが入ったファイルのアドレスをアドレス入力ボックス A11 に入力するか、または参照ボタン A12 を操作した上で参照先を指定することにより、使用するファイルを指定することができる。例えば、CSV (Comma Separated Variables) 形式のファイルを指定できるようにしてもよく、この場合、データ取得部 101 は、指定された CSV 形式のファイルから結果データを読み込めばよい。

[0074] そして、ユーザは、ファイルを指定した後、決定ボタン A13 を操作して使用するファイルを確定させることができる。これにより、結果データ表示領域 A14 には、確定されたファイルから読み込まれた結果データが表示される。つまり、データ取得部 101 は、指定されたファイルから結果データ（制御パラメータの値とその評価値）を読み込み、それらの値を結果データ表示領域 A14 に表示させる。図 3 の例では、制御パラメータである P、I、D の各値と、その値を適用したフィードバック制御が適用されていた期間に計測された計測値（PV）から算出された評価値とが対応付けて表示されている。

[0075] なお、表示画面 A1 の表示先は特に限定されない。例えば、データ取得部 101 は、出力部 14 が表示装置であれば出力部 14 に表示画面 A1 を表示

させてもよいし、情報処理装置 1 と有線または無線通信可能な他の表示装置に表示画面 A 1 を表示させてもよい。また、表示画面 A 1 を表示させる処理は受付部 104 が行ってもよいし、表示画面を表示させる処理を行う処理ブロックを別途設け、当該処理ブロックに行わせてもよい。

[0076] また、表示画面 A 1 には、最適化の設定を受け付けるための各種情報も含まれている。具体的には、表示画面 A 1 には、メーカー指定ボックス A 15、計算パラメータ指定ボックス A 16、肯定ボタン A 17、および否定ボタン A 18 が含まれている。

[0077] メーカー指定ボックス A 15 は、制御システム 9 のメーカー（より詳細には制御システム 9 で使用される DCS : Distributed Control System のメーカー）を指定するためのものである。メーカーによって PID 制御の制御パラメータの表現の仕方が異なる場合があるが、メーカーの指定を受け付けることにより、そのメーカーに応じた方式で表現された制御パラメータを最適化することができる。

[0078] 計算パラメータ指定ボックス A 16 は、制御パラメータの最適値の候補の探索において、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺と、フィードバック制御の結果が未知の範囲と、の何れを重視して探索を行うかの選択を受け付けるためのものである。

[0079] 具体的には、計算パラメータ指定ボックス A 16 には、1 から 3 の何れかの値を入力できるようになっている。「1」の値は、活用を重視すること、つまりフィードバック制御の結果が既知の値の周辺の探索を重視することを指定する値である。また、「3」の値は、フィードバック制御の結果が未知の範囲の探索を重視することを指定する値である。そして、「2」の値は、活用と探索のどちらにも偏らない標準的な探索を行うことを指定する値である。これにより、ユーザは、所望の態様で探索を行わせることができる。無論、探索の態様を指定する方法はこの例に限られず、例えば、上述の数式（5）における κ の値をユーザに指定させてもよい。

[0080] ユーザは、表示画面 A 1 において、結果データ表示領域 A 14 に表示され

る結果データが妥当であるか確認する。また、ユーザは、「設定」の欄におけるメーカ指定ボックス A 1 5 および計算パラメータ指定ボックス A 1 6 への入力内容が妥当であるか確認する。そして、ユーザは、何れも妥当と判断した場合には肯定ボタン A 1 7 を操作する。これにより、予測分布算出部 1 0 2 による予測分布の算出が開始され、それに続いて探索部 1 0 3 による制御パラメータの最適値の候補の探索が行われる。また、ユーザは、最適化を中止する場合には、否定ボタン A 1 8 を操作すればよい。

[0081] 〔表示画面例（結果表示）〕

探索部 1 0 3 は、図 4 のような表示画面を表示させて、探索の結果をユーザに提示してもよい。図 4 は、探索結果の表示画面の例を示す図である。図 4 に示す表示画面 A 2 には、探索部 1 0 3 が検出した、制御パラメータの最適値の候補を表示する候補表示領域 A 2 1 が含まれている。図 4 の例では、P、I、D という 3 つの制御パラメータの値が候補表示領域 A 2 1 に表示されている。

[0082] また、表示画面 A 2 には「参考情報」の欄が含まれている。当該欄には、予想評価値、提案理由、および操作量の変化態様の 3 つの項目（A 2 2 ～ A 2 4）が含まれている。「参考情報」の表示は必須ではないが、候補表示領域 A 2 1 に示される候補を適用するか否かの判断材料となるため表示することが好ましい。

[0083] 予想評価値の項目 A 2 2 には、予測値提示部 1 0 5 が算出する、候補表示領域 A 2 1 に示される制御パラメータを適用した場合の評価値の予測値が提示されている。具体的には、予測値提示部 1 0 5 は、予測分布算出部 1 0 2 が算出した最新の予測分布から、候補として検出された制御パラメータを適用した場合の評価値の平均と分散を特定し、「平均±標準偏差（分散の平方根）」の値を評価値の予測値として算出する。例えば、平均が 8 3、標準偏差が 1 2 である場合には、図示のように予想評価値は「8 3 ± 1 2」となる。なお、標準偏差を用いて表される予測値は参考情報の一例にすぎず、参考情報としては様々な情報が適用可能である。例えば、算出された分散の値を

参考情報として表示させてもよい。

[0084] 提案理由の項目 A 2 3 には、理由提示部 1 0 6 が特定する、候補表示領域 A 2 1 に示される制御パラメータを適用することが好ましい理由が提示されている。具体的には、項目 A 2 3 には「確実性は低い、高得点が期待できる」とのメッセージが表示されている。メッセージの内容は、上述の平均および分散に基づいて決定すればよい。例えば、理由提示部 1 0 6 は、平均が所定の閾値以上であれば高得点が期待できる旨のメッセージを提示してもよい。理由提示部 1 0 6 は、分散が所定の閾値以上であれば確実性が低い旨、閾値未満であれば確実性が高い旨のメッセージを提示する、というルールに従って提示するメッセージを決定してもよい。この場合、平均と分散が何れも閾値以上である場合に図 4 に示すようなメッセージが提示される。一方、平均は閾値以上であるが、分散は閾値未満である場合には、理由提示部 1 0 6 は、確実性が高く、高得点が期待できる旨のメッセージを提示してもよい。また、平均と分散の何れもが閾値未満である場合には、理由提示部 1 0 6 は、高得点は期待できないが、確実性が高い旨のメッセージを提示してもよい。なお、平均が閾値未満で分散が閾値以上である場合には、理由提示部 1 0 6 は、提案理由がない旨、あるいは結果データを追加することが望ましい旨を表示してもよい。

[0085] 操作量の変化態様の項目 A 2 4 には、変化態様提示部 1 0 7 が特定する、候補表示領域 A 2 1 に示される制御パラメータを適用する前後における操作量（図 2 の M V）の変化の態様が提示されている。具体的には、偏差（D V）に対する操作量（M V）が大きくなること、偏差（D V）をゼロにするための操作量（M V）の補正量が大きくなること、そして、操作量（M V）の変化速度が遅くなることを示すメッセージが表示されている。

[0086] なお、ここでは、制御パラメータが、上述した操作量（M V）の算出式における係数 P、I、D の値を含むことを想定している。また、フィードバック制御が、当該算出式に示されるように、設定値（S V）と計測値（P V）との偏差（D V）と上記係数から制御対象の機器に対する操作量（M V）を

算出するものであることを想定している。

[0087] 例えば、上記の3つの係数 P 、 I 、 D の最適化を行った場合、変化態様提示部107は、候補表示領域A21に示される制御パラメータを適用する前後で P が増加した場合、図4のように操作量(MV)が大きくなる旨のメッセージを提示してもよい。一方、 P が減少した場合には、変化態様提示部107は、操作量(MV)が小さくなる旨のメッセージを提示してもよい。

[0088] また、変化態様提示部107は、候補表示領域A21に示される制御パラメータを適用する前後で I が減少した場合、図4のように、偏差(DV)をゼロにするための操作量(MV)の補正量が大きくなる旨のメッセージを提示してもよい。一方、 I が増加した場合には、変化態様提示部107は、当該補正量が小さくなる旨のメッセージを提示してもよい。

[0089] また、変化態様提示部107は、候補表示領域A21に示される制御パラメータを適用する前後で D が減少した場合、図4のように操作量(MV)の変化速度が遅くなる旨のメッセージを提示してもよい。一方、 D が増加した場合には、変化態様提示部107は、当該変化速度が速くなる旨のメッセージを提示してもよい。

[0090] 以上のような内容を確認した後、ユーザは、終了ボタンA25を操作し、最適化を一旦終了させればよい。この後、候補表示領域A21に示される制御パラメータが制御装置3に伝達され、当該制御パラメータを適用したフィードバック制御が行われる。

[0091] [評価値について]

フィードバック制御の結果の評価値は、フィードバック制御の対象や目的等に応じたものを適宜用いればよい。例えば、計測値(PV)を安定させることが好ましい場合には、フィードバック制御の結果を示す情報として、当該フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値(PV)のうち所定の許容範囲内である計測値(PV)の割合を示す評価値を用いてもよい。これにより、許容範囲内の計測値の割合が高くなる制御パラメータの候補を検出し、これをフィードバック制御に適用することにより計測値(PV)を

安定させることが可能になる。

[0092] なお、評価値の算出は、データ取得部 101 または更新要否判定部 108 が行ってもよい。また、これらとは別に評価値を算出する処理ブロックを設けてもよいし、他の装置またはユーザが算出した評価値（あるいは評価値を含む結果データ）を情報処理装置 1 に入力してもよい。

[0093] また、所定の許容範囲は、フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値（PV）の平均値から当該期間に計測された計測値（PV）の標準偏差を引いた値から、上記平均値に上記標準偏差を加えた値までの範囲としてもよい。つまり、「平均値±標準偏差」の範囲を所定の許容範囲としてもよい。これにより、例えば当該期間に計測された計測値（PV）の分散を評価値とする場合と比べてより安定した評価を行うことができる。

[0094] これについて、図 5 に基づいて説明する。図 5 は、フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値（PV）のヒストグラムを示す図である。図 5 に示されるヒストグラム H は、計測値（PV）をその値により 10 の階級に分けて、各階級の度数を示したものである。ヒストグラム H においては、中央付近の階級の度数が大きく、中央から離れた階級ほど度数が小さくなっている。

[0095] 図示のように、ヒストグラム H において、計測値（PV）の平均値から当該計測値（PV）の標準偏差を引いた値から、当該平均値に当該標準偏差を加えた値までの範囲の計測値（PV）は、その中央部分の 4 つの階級に含まれている。なお、ヒストグラム H において、計測値（PV）の平均値から当該計測値（PV）の標準偏差を引いた値から、当該平均値に当該標準偏差を加えた値までの範囲は、「平均値±標準偏差」の範囲と換言できる。全計測値（PV）のうちこれらの階級に含まれる計測値（PV）の割合が高いほど、計測値（PV）が安定しているといえるから、下記の式で算出される評価値は、安定性を評価するものとして妥当であるといえる。

[0096] （評価値）＝ {平均値±標準偏差の範囲に含まれる計測値（PV）の数／計測値（PV）の総数} × 100

また、上記の式で算出される評価値は、平均値を基準としているため、例えば操作量（MV）が大きすぎる、あるいは小さすぎる等の要因により、平均値が上がったり下がったりした場合でも、その影響を受けることなく妥当な評価結果を示すものとなる。よって上述のように、当該評価値を適用することにより、安定した評価を行うことができる。

[0097] 無論、評価値は、フィードバック制御の対象や目的等に応じたものであればよく、上述の例に限られない。例えば、計測値（PV）の分散を評価値としてもよい。

[0098] [処理の流れ]

情報処理装置 1 が実行する処理（探索方法）の流れを図 6 に基づいて説明する。図 6 は、情報処理装置 1 が実行する処理の一例を示すフローチャートである。

[0099] S 1 では、データ取得部 101 が、フィードバック制御の結果データを取得する。例えば、データ取得部 101 は、図 3 に示したような表示画面を表示させ、フィードバック制御の結果データをユーザに入力させてもよい。また、この際に、受付部 104 は、最適化の設定を受け付けてもよい。具体的な設定内容は、例えば図 3 に示したような、制御システムのメーカーの指定や、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺とフィードバック制御の結果が未知の範囲との何れを重視して探索を行うかの選択等であってもよい。

[0100] S 2（予測分布算出ステップ）では、予測分布算出部 102 が、S 1 で取得された結果データを用いて、最適化の対象となる制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する。予測分布は上述の数式（1）～（3）で表される。なお、2 回目以降の S 2 の処理では先に算出された予測分布の更新が行われる。

[0101] S 3（探索ステップ）では、探索部 103 が、S 2 で算出された予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索する。より詳細には、探索部 103 は、獲得関数が最大となる制御パラメータの値を探索する。この処理は上述の数式（4）（5）で表される。なお、S 1 で受付部 104 が最適

化の設定を受け付けていた場合、探索部 103 は、S3 において、当該設定に従って探索を行う。

[0102] S4 では、探索部 103 は、S3 で行った探索の結果を出力する。例えば、探索部 103 は、図 4 に示したような表示画面を表示させることにより検出した候補をユーザに提示してもよい。

[0103] また、S4 では、図 4 に示したような参考情報についても提示してもよい。この場合、予測値提示部 105 は、S3 で検出された候補を適用したときの評価値の平均と分散を用いて算出した予測値を提示する。また、理由提示部 106 は、上記の平均と分散を用いて提案理由を決定し、決定した提案理由を提示する。そして、変化態様提示部 107 は、比較対象の値と、S3 で検出された候補との差に基づき、操作量の変化態様を特定し、特定した変化態様を示す情報を提示する。上述の比較対象の値とは、典型的には S1 で取得された結果データに示される制御パラメータのうち最新のものである。上述の操作量とは図 2 の MV である。

[0104] S5 では、更新要否判定部 108 が、制御装置 3 が適用する制御パラメータが変更されたか否かを判定する。例えば、更新要否判定部 108 は、制御装置 3 と通信することにより制御パラメータの変更の有無を確認してもよいし、ユーザが情報処理装置 1 に制御パラメータを変更した旨の入力操作を行った場合に制御パラメータが変更されたと判定してもよい。S5 で YES と判定された場合には S6 の処理に進み、S5 で NO と判定された場合には図 6 の処理は終了する。

[0105] また、例えば、情報処理装置 1 と制御装置 3 とが離れた位置に配置されており、異なるユーザがそれら进行操作する場合、探索部 103 は、以下の処理を行ってもよい。探索部 103 は、S3 で検出した候補を制御装置 3 のユーザが使用する端末装置に通知し、当該ユーザに制御パラメータの変更を促してもよい。この場合、当該通知を確認した制御装置 3 のユーザが、制御装置 3 に対して制御パラメータを変更する操作を行えばよい。この場合、更新要否判定部 108 は、上記の通知が送信されたことをもって、制御パラメータ

が変更されたと判定してもよい。

[0106] S 6 では、更新要否判定部 1 0 8 は、制御パラメータの変更後の機器 4 の動作に問題がないか判定する。例えば、更新要否判定部 1 0 8 は、制御パラメータの変更後の計測値（図 2 の P V）をデータベース 2 から読み出し、当該計測値が所定の正常範囲内であるか否かにより S 6 の判定を行ってもよい。

[0107] S 6 で Y E S と判定された場合には S 8 の処理に進み、S 6 で N O と判定された場合には S 7 の処理に進む。S 7 では、更新要否判定部 1 0 8 は、制御パラメータを変更させる。例えば、更新要否判定部 1 0 8 は、制御パラメータの変更を促すメッセージをユーザに提示することにより制御パラメータを変更させてもよい。また、例えば、更新要否判定部 1 0 8 は、制御装置 3 と通信して制御パラメータを変更させてもよい。この場合、更新要否判定部 1 0 8 は、例えば、制御パラメータを変更前の値に戻すように制御装置 3 に指示してもよい。

[0108] なお、S 6 の処理は、制御パラメータの変更後、所定期間（例えば 1 時間）の間に、繰り返し行うようにしてもよい。これにより、S 3 で検出された候補が妥当でなく、機器 4 の動作に異常が発生したような場合に、その影響を最小限に留めることができる。

[0109] S 8 の処理は、制御パラメータの変更が確認された後、つまり S 5 で Y E S と判定された後、所定期間が経過した後で行われる。当該所定期間は機器 4 の使用態様等に応じて適宜設定すればよく、例えば 2 4 時間等としてもよい。S 8 では、更新要否判定部 1 0 8 は、当該所定期間に計測された計測値（S V）をデータベース 2 から取得する。

[0110] S 9 では、更新要否判定部 1 0 8 は、S 8 で取得した計測値（S V）を用いて結果データを生成する。例えば、更新要否判定部 1 0 8 は、S 8 で取得した計測値（S V）から評価値を算出し、算出した評価値に変更後の制御パラメータを対応付けて結果データを生成してもよい。

[0111] S 1 0 では、更新要否判定部 1 0 8 は、S 9 で生成した結果データに含ま

れる評価値に基づいて、予測分布の更新の要否を判定する。例えば、更新要否判定部 108 は、評価値が所定の閾値満であった場合に、予測分布の更新が必要と判定してもよい。S10でNOと判定された場合にはS8の処理に戻り、S10でYESと判定された場合にはS1の処理に戻る。この後、S11では、S9で生成された結果データをデータ取得部101が取得し、続くS12では、S1で取得された結果データとS9で生成された結果データとを用いて予測分布算出部102が予測分布を更新する。

[0112] 以上のように、情報処理装置1が実行する探索方法は、予測分布算出ステップ(S2)と、探索ステップ(S3)と、を含む。予測分布算出ステップ(S2)はフィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する。探索ステップ(S3)は、S2で算出された予測分布に基づいて制御パラメータの最適値の候補を探索する。よって、人の主観に左右されずに安定したフィードバック制御を行うことが可能になる。

[0113] [変形例]

上述の実施形態では、PID制御の制御パラメータの最適値の候補を探索する例を説明したが、情報処理装置1は、PID制御以外の任意のフィードバック制御における任意の制御パラメータの最適値の候補を探索することが可能である。

[0114] また、上述の実施形態で説明した各処理の実行主体は任意であり、上述の例に限られない。つまり、上述の実施形態で説明した各処理を実行可能であれば、制御システム9を構成する装置は適宜変更することができる。例えば、図6に記載の各処理の実行主体は、必ずしも1つの装置である必要はなく、それらの処理を複数の任意の情報処理装置(コンピュータ)に分担させて実行することができる。

[0115] [ソフトウェアによる実現例]

情報処理装置1(以下、「装置」と呼ぶ)の機能は、当該装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって、当該装置の各制御ブロッ

ク（特に制御部 10 に含まれる各部）としてコンピュータを機能させるためのプログラム（探索プログラム）により実現することができる。

[0116] この場合、上記装置は、上記プログラムを実行するためのハードウェアとして、少なくとも 1 つの制御装置（例えばプロセッサ）と少なくとも 1 つの記憶装置（例えばメモリ）を有するコンピュータを備えている。この制御装置と記憶装置により上記プログラムを実行することにより、上記各実施形態で説明した各機能が実現される。

[0117] 上記プログラムは、一時的ではなく、コンピュータ読み取り可能な、1 または複数の記録媒体に記録されていてもよい。この記録媒体は、上記装置が備えていてもよいし、備えていなくてもよい。後者の場合、上記プログラムは、有線または無線の任意の伝送媒体を介して上記装置に供給されてもよい。

[0118] また、上記各制御ブロックの機能の一部または全部は、論理回路により実現することも可能である。例えば、上記各制御ブロックとして機能する論理回路が形成された集積回路も本発明の範疇に含まれる。この他にも、例えば量子コンピュータにより上記各制御ブロックの機能を実現することも可能である。

[0119] 本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

[0120] [まとめ]

本発明の態様 1 に係る情報処理装置は、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出部と、前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索部と、を備える構成である。

[0121] 本発明の態様 2 に係る情報処理装置は、上記の態様 1 において、前記フィ

ードバック制御は、廃棄物焼却施設で適用されるフィードバック制御である構成としてもよい。

[0122] 本発明の態様3に係る情報処理装置は、上記の態様1または2において、前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果を示す結果データを取得するデータ取得部を備え、前記予測分布算出部は、前記候補と前記結果データとを用いて前記予測分布を更新する構成としてもよい。

[0123] 本発明の態様4に係る情報処理装置は、上記の態様1から3の何れかにおいて、前記候補の探索において、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺と、フィードバック制御の結果が未知の範囲と、の何れを重視して探索を行うかの選択を受け付ける受付部を備え、前記探索部は、前記受付部が受け付けた選択に従って前記候補を探索する構成としてもよい。

[0124] 本発明の態様5に係る情報処理装置は、上記の態様1から4の何れかにおいて、前記フィードバック制御の結果を示す情報として、当該フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値のうち所定の許容範囲内である計測値の割合を示す評価値を用いる構成としてもよい。

[0125] 本発明の態様6に係る情報処理装置は、上記の態様5において、前記所定の許容範囲は、前記フィードバック制御が行われた前記期間に計測された計測値の平均値から、当該期間に計測された前記計測値の標準偏差を引いた値から、前記平均値に前記標準偏差を加えた値までの範囲である構成としてもよい。

[0126] 本発明の態様7に係る情報処理装置は、上記の態様1から6の何れかにおいて、前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果を取得し、取得した当該結果に基づいて前記予測分布を更新するか否かを判定する処理を、所定期間毎に繰り返し行う更新要否判定部を備える構成としてもよい。

[0127] 本発明の態様8に係る情報処理装置は、上記の態様1から7の何れかにおいて、前記予測分布の平均と分散から算出された、前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果の予測値を提示する予測値提示

部を備える構成としてもよい。

[0128] 本発明の態様 9 に係る情報処理装置は、上記の態様 1 から 8 の何れかにおいて、前記予測分布の平均と分散に基づき、前記探索部が検出した前記候補が妥当である理由を提示する理由提示部を備える構成としてもよい。

[0129] 本発明の態様 10 に係る情報処理装置は、上記の態様 1 から 9 の何れかにおいて、前記制御パラメータは、PID (Proportional Integral Differential) 制御における、設定値と計測値との偏差に乘じる係数、当該偏差の積分に乘じる係数、および当該偏差の微分に乘じる係数の少なくとも何れかを含み、前記フィードバック制御は、前記偏差と前記係数から制御対象の機器に対する操作量を算出するものであり、比較対象とする前記係数の値と前記候補との差異に基づき、前記探索部が更新後の当該予測分布に基づいて検出した前記候補を適用したときに前記操作量がどのように変化するかを示す情報を提示する変化態様提示部を備える構成としてもよい。

[0130] 本発明の態様 11 に係る制御システムは、制御対象の機器に対してフィードバック制御を行う制御装置と、前記フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する情報処理装置と、を含み、前記制御装置は、前記候補を適用して制御対象の前記機器に対するフィードバック制御を行う構成である。

[0131] 本発明の態様 12 に係る探索方法は、1 または複数の情報処理装置が実行する探索方法であって、フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出ステップと、前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索ステップと、を含む方法である。

[0132] 本発明の態様 13 に係る探索プログラムは、上記の態様 1 に記載の情報処理装置としてコンピュータを機能させるための探索プログラムであって、前記予測分布算出部および前記探索部としてコンピュータを機能させるための

探索プログラムである。

符号の説明

[0133]	1	情報処理装置
	1 0 1	データ取得部
	1 0 2	予測分布算出部
	1 0 3	探索部
	1 0 4	受付部
	1 0 5	予測値提示部
	1 0 6	理由提示部
	1 0 7	変化態様提示部
	1 0 8	更新要否判定部
	3	制御装置
	9	制御システム

請求の範囲

- [請求項1] フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出部と、
- 前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索部と、を備える情報処理装置。
- [請求項2] 前記フィードバック制御は、廃棄物焼却施設で適用されるフィードバック制御である、請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果を示す結果データを取得するデータ取得部を備え、
- 前記予測分布算出部は、前記候補と前記結果データとを用いて前記予測分布を更新する、請求項1または2に記載の情報処理装置。
- [請求項4] 前記候補の探索において、フィードバック制御の結果が既知の値の周辺と、フィードバック制御の結果が未知の範囲と、の何れを重視して探索を行うかの選択を受け付ける受付部を備え、
- 前記探索部は、前記受付部が受け付けた選択に従って前記候補を探索する、請求項1または2に記載の情報処理装置。
- [請求項5] 前記フィードバック制御の結果を示す情報として、当該フィードバック制御が行われた期間に計測された計測値のうち所定の許容範囲内である計測値の割合を示す評価値を用いる、請求項1または2に記載の情報処理装置。
- [請求項6] 前記所定の許容範囲は、前記フィードバック制御が行われた前記期間に計測された計測値の平均値から当該期間に計測された前記計測値の標準偏差を引いた値から、前記平均値に前記標準偏差を加えた値までの範囲である、請求項5に記載の情報処理装置。
- [請求項7] 前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果を取得し、取得した当該結果に基づいて前記予測分布を更新するかどうかを判定する処理を、所定期間毎に繰り返し行う更新要否判定部を

備える、請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

[請求項8] 前記予測分布の平均と分散から算出された、前記探索部が検出した前記候補を適用したフィードバック制御の結果の予測値を提示する予測値提示部を備える、請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

[請求項9] 前記予測分布の平均と分散に基づき、前記探索部が検出した前記候補が妥当である理由を提示する理由提示部を備える、請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

[請求項10] 前記制御パラメータは、P I D (Proportional Integral Differential) 制御における、設定値と計測値との偏差に乘じる係数、当該偏差の積分に乘じる係数、および当該偏差の微分に乘じる係数の少なくとも何れかを含み、

前記フィードバック制御は、前記偏差と前記係数から制御対象の機器に対する操作量を算出するものであり、

比較対象とする前記係数の値と前記候補との差異に基づき、前記探索部が更新後の当該予測分布に基づいて検出した前記候補を適用したときに前記操作量がどのように変化するかを示す情報を提示する変化態様提示部を備える、請求項 1 または 2 に記載の情報処理装置。

[請求項11] 制御対象の機器に対してフィードバック制御を行う制御装置と、
前記フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する情報処理装置と、を含み、

前記制御装置は、前記候補を適用して制御対象の前記機器に対するフィードバック制御を行う、制御システム。

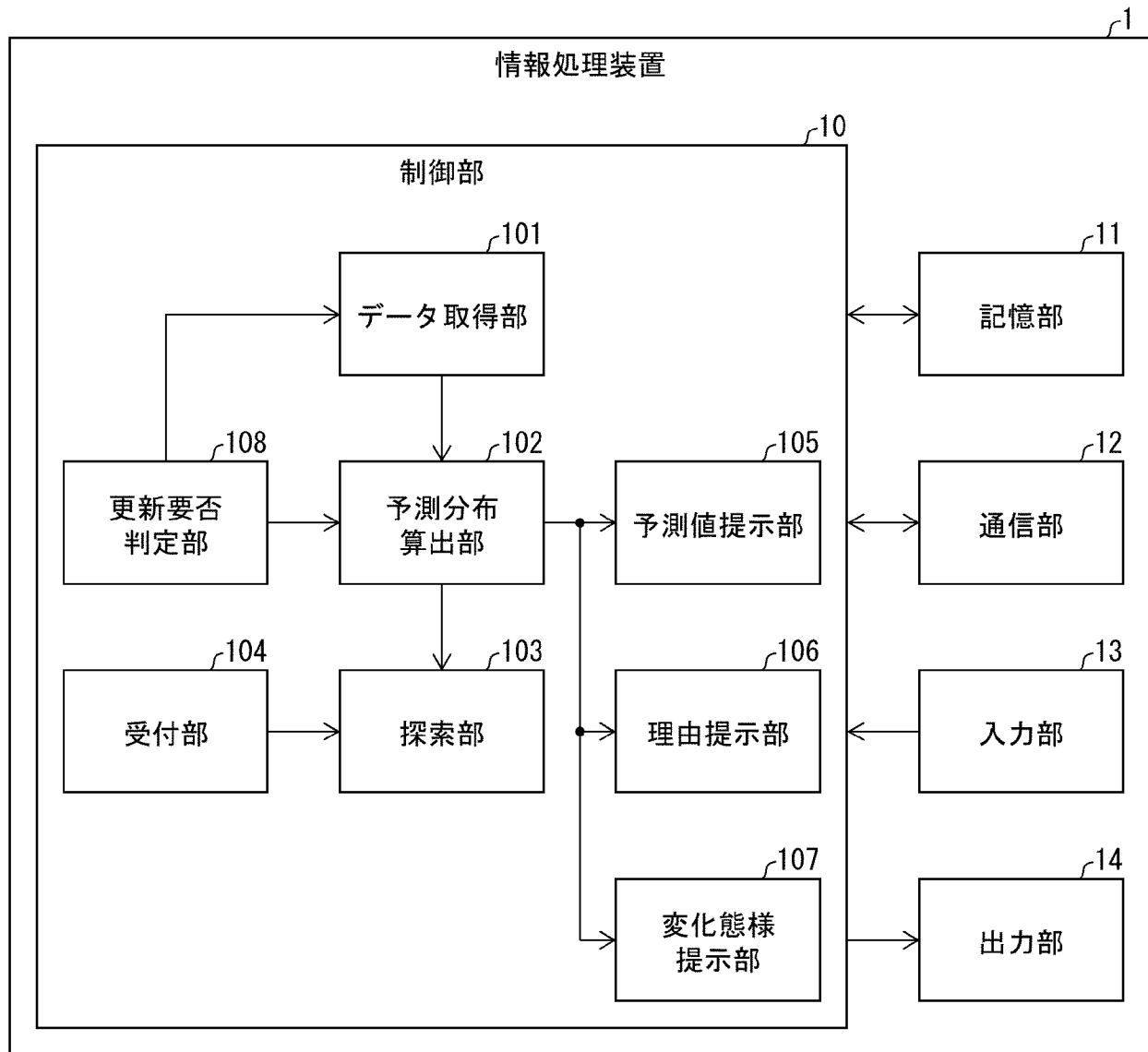
[請求項12] 1 または複数の情報処理装置が実行する探索方法であって、
フィードバック制御における制御パラメータと、該制御パラメータを適用したフィードバック制御の結果との関係を示す関数の予測分布を算出する予測分布算出ステップと、

前記予測分布に基づいて前記制御パラメータの最適値の候補を探索する探索ステップと、を含む探索方法。

[請求項13] 請求項1に記載の情報処理装置としてコンピュータを機能させるための探索プログラムであって、前記予測分布算出部および前記探索部としてコンピュータを機能させるための探索プログラム。

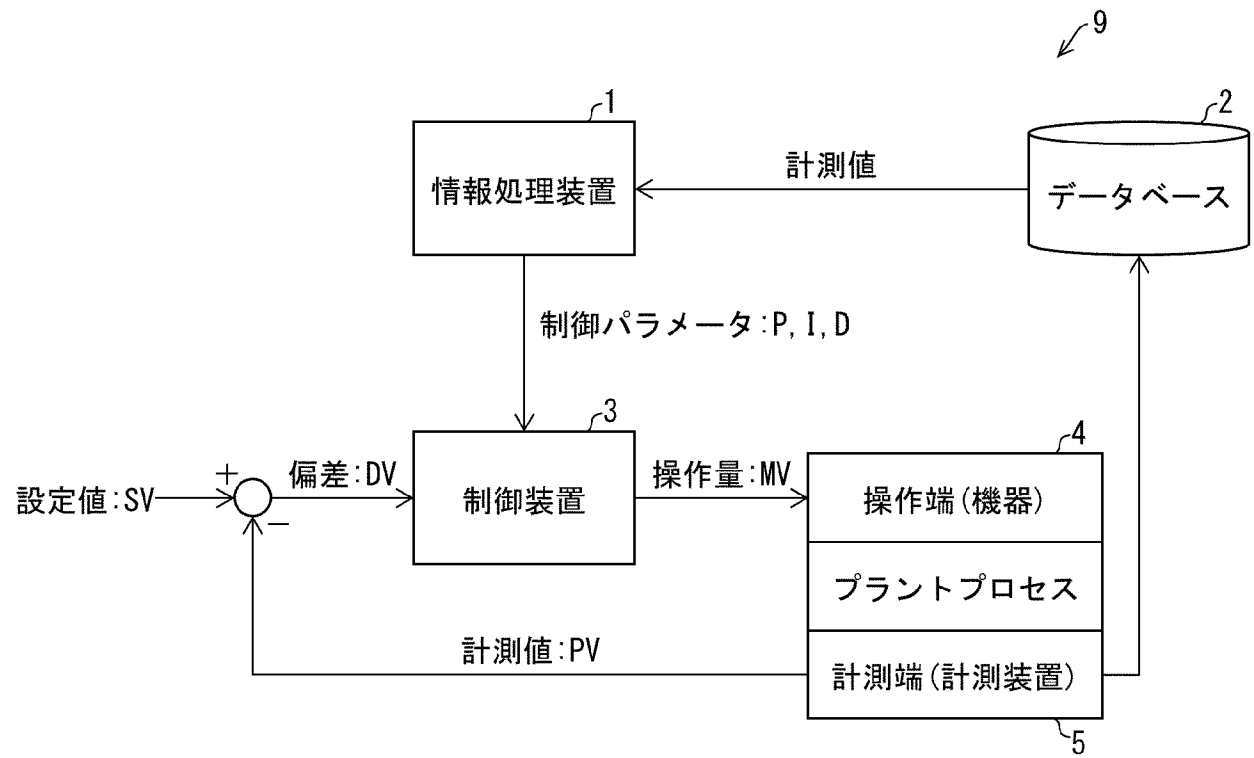
[図1]

図 1



[図2]

図 2



[図3]

図 3

A1

結果データが入ったファイルを指定して下さい。

A11 A12

A13

読み込んだ結果データを表示します。

A14

P	I	D	評価値
1.0	120	0	70
1.5	30	10	75
...	...	...	...

最適化の設定を行って下さい。

設定

制御システムのメーカーを選択して下さい。 A15

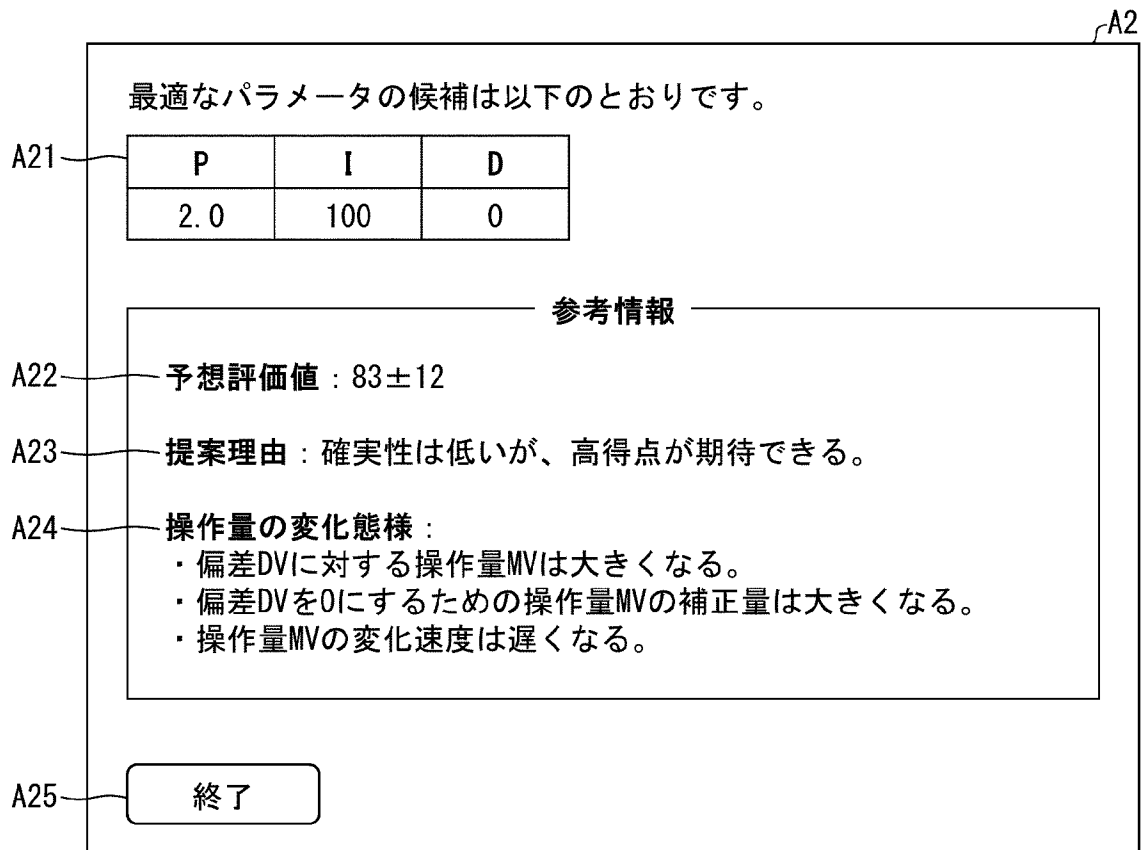
最適化用の計算パラメータを設定して下さい。
(1:活用重視、2:標準、3:探索重視) A16

上記の設定で最適化を実施してよろしいですか?

A17 A18

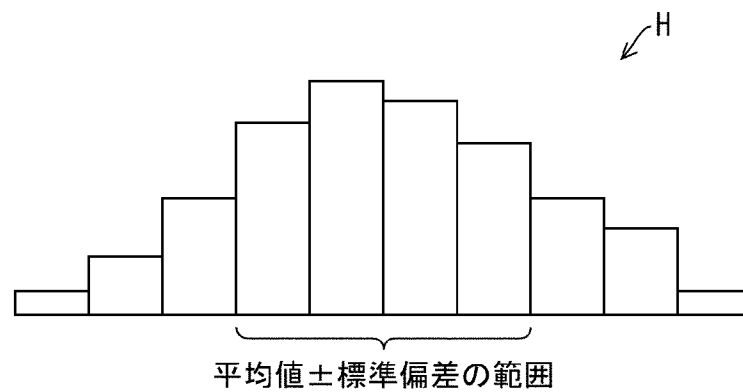
[図4]

図 4



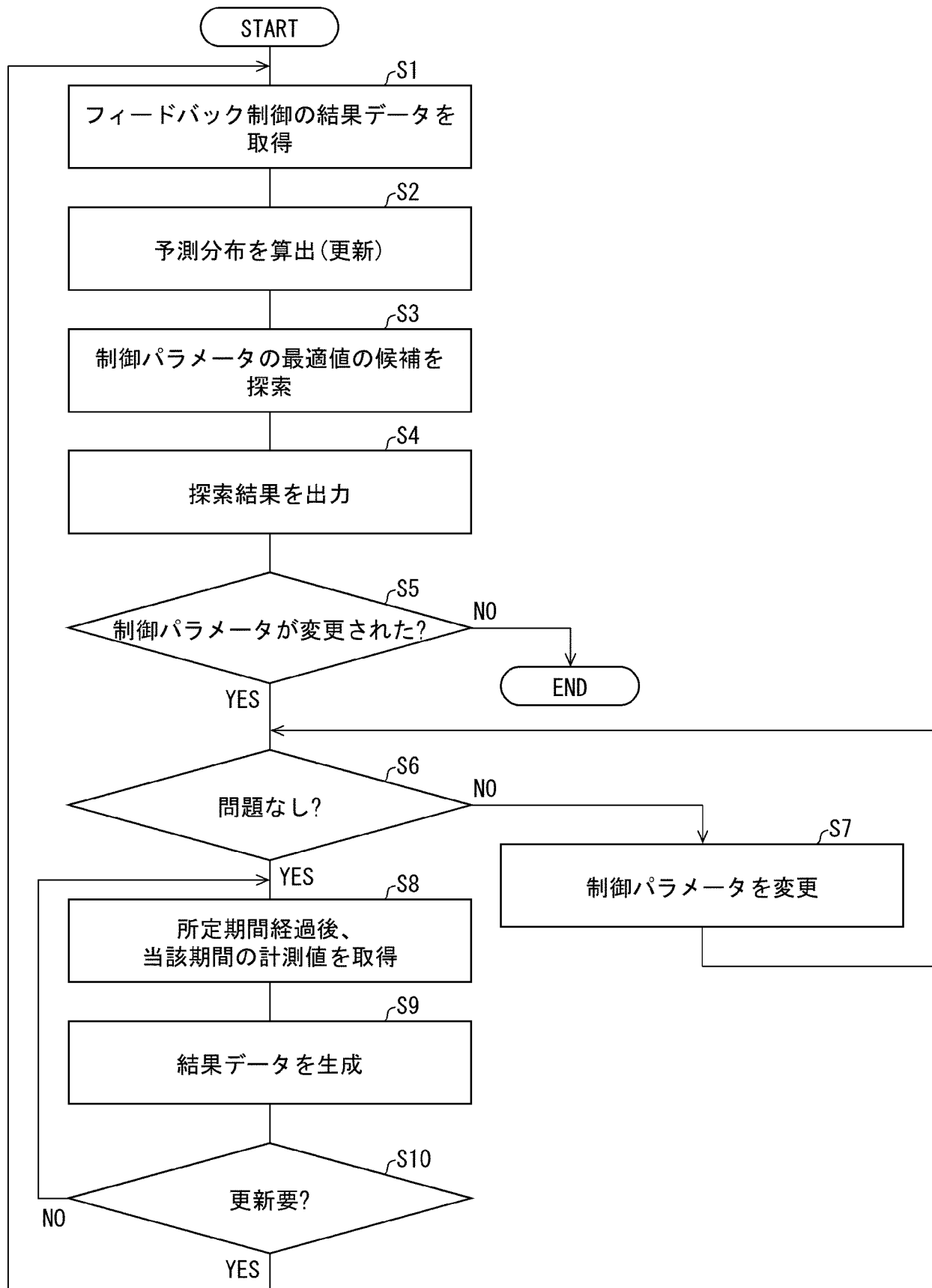
[図5]

図 5



[図6]

図 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020964

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G05B 13/02**(2006.01)i; **F23G 5/50**(2006.01)i

FI: G05B13/02 B; F23G5/50 A

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)

G05B13/02; F23G5/50

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2021-135940 A (HITACHI Zosen CORP.) 13 September 2021 (2021-09-13) paragraphs [0002], [0012]-[0061], fig. 1-4	1-3, 11-13
A		4-10
A	JP 2009-116515 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 28 May 2009 (2009-05-28) entire text, all drawings	1-13
A	JP 2004-38428 A (YAMATAKE CORP.) 05 February 2004 (2004-02-05) entire text, all drawings	1-13



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

18 July 2023

Date of mailing of the international search report

01 August 2023

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/JP2023/020964

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-135940	A	13 September 2021	WO 2021/171720 A1 EP 4112498 A1 paragraphs [0002], [0012]- [0054], fig. 1-4 CN 115175868 A	
JP	2009-116515	A	28 May 2009	(Family: none)	
JP	2004-38428	A	05 February 2004	US 2006/0064181 A1 entire text, all drawings WO 2004/006030 A1 CN 1666160 A KR 10-2005-0010985 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G05B 13/02(2006.01)i; F23G 5/50(2006.01)i FI: G05B13/02 B; F23G5/50 A										
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）） G05B13/02; F23G5/50										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2023年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2023年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2023年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	JP 2021-135940 A（日立造船株式会社）13.09.2021（2021 - 09 - 13） 段落[0002], [0012]-[0061], 図1-4	1-3, 11-13								
A		4-10								
A	JP 2009-116515 A（富士電機システムズ株式会社）28.05.2009（2009 - 05 - 28） 全文, 全図	1-13								
A	JP 2004-38428 A（株式会社山武）05.02.2004（2004 - 02 - 05） 全文, 全図	1-13								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 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 “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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 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 “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						
* 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 “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 18.07.2023	国際調査報告の発送日 01.08.2023									
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） 今井 貞雄 3U 4129 電話番号 03-3581-1101 内線 3364									

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/020964

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2021-135940	A	13.09.2021	WO	2021/171720	A1	
				EP	4112498	A1	
				段落[0002], [0012]-[0054], 図1-4			
				CN	115175868	A	
JP	2009-116515	A	28.05.2009	(ファミリーなし)			
JP	2004-38428	A	05.02.2004	US	2006/0064181	A1	
				全文, 全図			
				WO	2004/006030	A1	
				CN	1666160	A	
				KR	10-2005-0010985	A	