

(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
2018年8月2日(02.08.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/138880 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 13/04 (2006.01) G06F 17/18 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/002995

(22) 国際出願日: 2017年1月27日(27.01.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

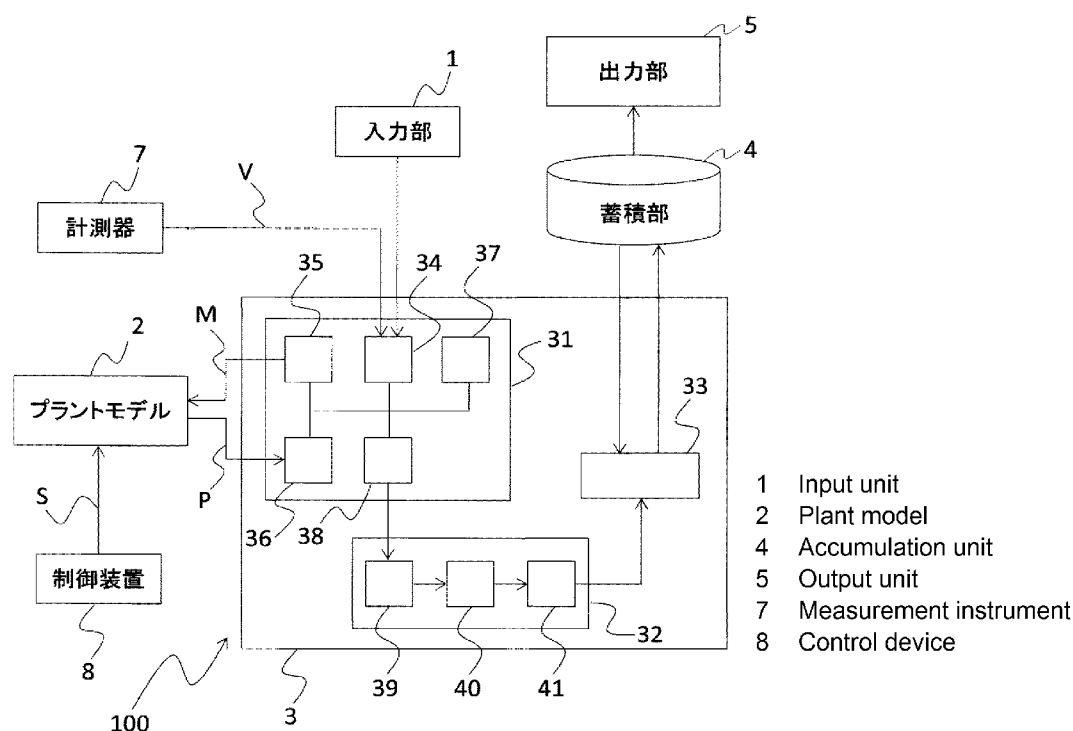
(71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 吉田 泰浩 (YOSHIDA Yasuhiro); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 徳田 勇

也(TOKUDA Yuya); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 吉田 卓弥(YOSHIDA Takuya); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 榎本 裕基(ENOMOTO Yuki); 〒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). 大崎 展弘(OSAKI Nobuhiro); 〒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). 長濱 義人(NAGAHAMA Yoshito); 〒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).

(54) Title: MODEL PARAMETER VALUE ESTIMATION DEVICE AND ESTIMATION METHOD, PROGRAM, RECORDING MEDIUM WITH PROGRAM RECORDED THERETO, AND MODEL PARAMETER VALUE ESTIMATION SYSTEM

(54) 発明の名称: モデルパラメータ値推定装置及び推定方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体、モデルパラメータ値推定システム



(57) Abstract: A model parameter value estimation device (100) comprising: a plant model (2) that is a previously set physical model that simulates the operation of a target product, and inputs a model parameter value and calculates a process value; a model parameter value estimation unit (3) that, on the basis of the process value, estimates the most plausible



(74) 代理人: 特許業務法人開知国際特許事務所
(KAICHI IP); 〒1030022 東京都中央区日本橋
室町四丁目3番16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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

model parameter value; an accumulation unit (4) that accumulates calculation results from the model parameter value estimation unit (3); and an output unit (5) that outputs the calculation results from the model parameter value estimation unit (3), wherein the model parameter value estimation unit (3) inputs a measurement value for a target product and a plurality of process values that were calculated with the plant model (2), and performs Bayesian updating of a probability density function that was accumulated by the accumulation unit (4), treating a function that was generated on the basis of an accuracy evaluation of the plurality of process values with regard to the measurement value as a plausibility function. Thus, the present invention is able to provide a model parameter value estimation device and estimation method with which a model parameter value can be estimated even when the distribution profile or statistics of the probability density function are unknown or difficult to estimate.

(57) 要約: 対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであって、モデルパラメータ値を入力しプロセス値を計算するプラントモデル(2)と、プロセス値に基づき、より尤度の高いモデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定部(3)と、モデルパラメータ値推定部(3)の演算結果を蓄積する蓄積部(4)と、モデルパラメータ値推定部(3)の演算結果を出力する出力部(5)とを備えたモデルパラメータ値推定装置(100)において、モデルパラメータ値推定部(3)は、対象製品の計測値及びプラントモデル(2)で計算された複数のプロセス値を入力し、計測値に対する複数のプロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なして蓄積部(4)に蓄積された確率密度関数をベイズ更新する。これにより、確率密度関数についての分布形状や統計量が未知ないしは推定困難である場合でも、モデルパラメータ値を推定することができるモデルパラメータ値推定装置及び推定方法を提供できる。

明 細 書

発明の名称：

モデルパラメータ値推定装置及び推定方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体、モデルパラメータ値推定システム

技術分野

[0001] 本発明は、プラントモデルに入力するモデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定装置及び推定方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体、モデルパラメータ値推定システムに関する。

背景技術

[0002] 自動車、航空宇宙機器、発電プラント等を含む産業製品（以下、製品と言う）について、設計時における性能の検証や運用時におけるヘルスマonitoring（製品に取り付けられたセンサの測定値から、製品の異常やその予兆を検知する技術）に製品の動作を模擬したいいわゆるプラントモデルが活用される場合がある。このプラントモデルは、大まかな動作の再現による製品の特性把握、安全性評価による製品の限界設計（安全性を確保できる限界の設計）、計測情報に基づく製品の状態の把握等に役立つ。従って、プラントモデルの計算結果の妥当性を向上させることで、プラントモデルを活用した検証をより高い精度で行うことができ、より付加価値の高いサービスを提供することができる。

[0003] ところで、プラントモデルを活用する場合、製品の特性値をモデルパラメータ値として入力する必要がある。実機の試験データや運転データ等の計測値に基づき推定された適切なモデルパラメータ値を入力することで、プラントモデルの計算結果の妥当性を向上させることができる。モデルパラメータ値の推定技術に関し、製品特性に関する確率密度関数に対して、モデルパラメータ値を変動させたシミュレーションを複数回実行し、尤度が最大となるモデルパラメータ値を探索するものがある（特許文献1等を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許5418408号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1では、製品の特性に関する確率密度関数における標準偏差等の統計量をユーザが入力する必要がある。そのため、確率密度関数についての分布形状や統計量が未知である場合又は計測値のデータ数が不十分で推定困難である場合、モデルパラメータ値の推定精度に限界がある。

[0006] 本発明は上記に鑑みてなされたもので、確率密度関数についての分布形状や統計量が未知ないしは推定困難である場合でも、モデルパラメータ値を推定することができるモデルパラメータ値推定装置及び推定方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体、モデルパラメータ値推定システム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

[0007] 上記目的を達成するため、本発明は、対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであって、モデルパラメータ値を入力しプロセス値を計算するプラントモデルと、プロセス値に基づき、より尤度の高いモデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定部と、モデルパラメータ値推定部の演算結果を蓄積する蓄積部と、モデルパラメータ値推定部の演算結果を出力する出力部とを備えたモデルパラメータ値推定装置において、モデルパラメータ値推定部は、対象製品の計測値及びプラントモデルで計算された複数のプロセス値を入力し、計測値に対する複数のプロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なして蓄積部に蓄積された確率密度関数をベイズ更新することを特徴とする。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、確率密度関数についての分布形状や統計量が未知ないしは推定困難である場合でも、モデルパラメータ値を推定することができるモ

デルパラメータ値推定装置及び推定方法、プログラム、プログラムを記録した記録媒体、モデルパラメータ値推定システムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の第1実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。

[図2]散布図生成部で生成された散布図の一例である。

[図3]尤度関数取得部で取得された尤度関数の一例を示す図である。

[図4]出力部の出力例を示す図である。

[図5]出力部5の他の出力例を示す図である。

[図6]本発明の第1実施形態に係るモデルパラメータ値の推定方法の手順を示したフローチャートである。

[図7]本発明の第1実施形態に係るモデルパラメータ推定装置による処理を実現するコンピュータの模式図である。

[図8]本発明の第2実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。

[図9]静特性及び動特性に関するモデルパラメータの関係を説明する図である。

[図10]本発明の第3実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。

[図11]モデルパラメータ平均値の推移を例示する図である。

発明を実施するための形態

[0010] <第1実施形態>

(構成)

1. モデルパラメータ値推定装置またはシステム

図1は、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。図1に示すように、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置100は、入力部1、プラントモデル2、モデルパラメータ値推定部3、蓄積部4及び出力部5を備えている。なお、入力部1、モデルパラメータ値推定部3、蓄

積部4、出力部5等が同一端末に纏めて格納されている場合もあり得るし、一部の要素が国内外の離れた場所にある端末・サーバに格納されてシステムとして構成されている場合もあり得る。

[0011] 2. 入力部

入力部1は、推定するモデルパラメータの項目（種類）並びに推定するモデルパラメータに関するモデルパラメータ値の上限及び下限値を入力するものである。推定するモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値は、例えば、ユーザが入力部1に入力する。入力部1に入力されるモデルパラメータの項目は、1つでも良いし2つ以上でも良い。入力部1は、推定するモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値を入力できるように構成されたものであれば限定されない。

[0012] 3. プラントモデル

プラントモデルは、現実の製品の動作制御に用いる制御信号に対応する模擬の制御信号に基づいて製品の動作を模擬する予め設定した物理モデル（シミュレータ）の一種である。プラントモデルとしては、自動車のモデルベース開発におけるMILS（Model in the loop simulation）やSILS（Software in the loop simulation）で用いられるエンジン、インバータ、モータ、車両等のシミュレータ、火力や原子力等の発電プラントにおけるガスや蒸気の物質収支や熱収支から内部を流れる流体の温度、圧力、流量等の過渡特性を計算する動特性シミュレータ等がある。プラントモデルは、シミュレーションの対象となる製品（以下、対象製品と言う）の種々の特性に関する計算モデルを組み合わせて成り立っている。計算モデルには、公知の流体力学の式から圧力や流量を計算する圧力・流量計算モデル、公知の熱力学の式や伝熱の式から温度や伝熱量を計算する温度・伝熱量計算モデル等がある。

[0013] 本実施形態に係るプラントモデル2は、モデルパラメータ値推定部3から複数のモデルパラメータ値Mを入力し、制御装置8から出力された模擬の制御信号Sに基づき対象製品の動作をシミュレーションして各モデルパラメータ

タ値Mに対応する複数のプロセス値Pを計算するものである。対象製品を発電プラントとした場合、モデルパラメータ値には、配管の伝熱面積、厚み及び汚れ係数、ガスタービン負荷に応じたガスタービン排ガス温度や熱量、ガスタービン負荷の変化に対しガスタービン排ガスの熱回収により発生する蒸気の温度や質量流量の応答遅れの時定数、ガスタービン負荷に応じた前述の蒸気の温度や流量等が含まれる。プロセス値には、燃焼ガスの流量、温度及び圧力を含む発電プラント中を流れるガスや蒸気の流量、温度及び圧力のよう計測器で直接取得できるもの、ガスタービン、石炭ボイラ及び蒸気タービンの負荷やプラント構造体内部の熱応力など計測器の計測値に基づき間接的に取得できるものが含まれる。

[0014] 4. モデルパラメータ値推定部

モデルパラメータ値推定部3は、プロセス値に基づき、より尤度の高いモデルパラメータ値を推定するものである。本実施形態では、モデルパラメータ値推定部3は、対象製品に設けられた計測器7により対象製品の運転中に取得された計測値Vとプラントモデル2で計算された複数のプロセス値Pとを入力し、計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なして、蓄積部4に蓄積された確率密度関数をベイズ更新することにより、尤度の高いモデルパラメータ値を推定する。モデルパラメータ値推定部3に入力される計測値Vは、プラントモデル2で計算されるプロセス値Pに対応するものとなっている。例えば、プラントモデル2で計算されるプロセス値Pが燃焼ガスの温度であれば、モデルパラメータ値推定部3に入力される計測値Vも燃焼ガスの温度となる。モデルパラメータ値推定部3は、モデルパラメータ感度解析部31、尤度関数生成部32及びベイズ学習部33を備えている。

[0015] 4-1. モデルパラメータ感度解析部

モデルパラメータ感度解析部31は、計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価を示す評価値に基づき、各モデルパラメータ値Mと評価値の関係を示す散布図を生成するものである。モデルパラメータ感度解析部31は

、モデルパラメータ情報取得部 34、モデルパラメータ値出力部 35、プロセス値入力部 36、評価値生成部 37 及び散布図生成部 38 を備えている。

[0016] ・モデルパラメータ情報取得部

モデルパラメータ情報取得部 34 は、入力部 1 及び計測器 7 と電氣的に接続している。本実施形態では、モデルパラメータ情報取得部 34 は、入力部 1 に入力されたモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値と、計測器 7 により取得された計測値 V とを入力するものである。

[0017] ・モデルパラメータ値出力部

モデルパラメータ値出力部 35 は、モデルパラメータ情報取得部 34 に入力されたモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内でモデルパラメータ値を変化させて複数のモデルパラメータ値を生成し、プラントモデル 2 に出力するものである。複数のモデルパラメータ値を生成する方法としては、上限及び下限値の範囲でモデルパラメータ値をランダムに変化させて生成する方法、上限及び下限値の範囲でモデルパラメータ値を等分割して生成する方法、公知の機械学習技術を用いて探索する方法等があるが、上限及び下限値の範囲で分散した複数のモデルパラメータ値が得られる方法であれば限定されない。

[0018] 本実施形態では、モデルパラメータ値出力部 35 は、上述した機能に加えて、複数のモデルパラメータ値が全てプラントモデル 2 に出力されたか否かを判断する機能を有している。例えば、上限及び下限値の範囲で複数のモデルパラメータ値をランダムに生成する場合、モデルパラメータ値出力部 35 は、プラントモデル 2 に出力したモデルパラメータ値の個数 x が生成されたモデルパラメータ値の個数 X に達しているか否かを判断する。

[0019] 本実施形態では、モデルパラメータ値出力部 35 は、入力したモデルパラメータの項目が 2 つ以上の場合、1 つの項目に対応するモデルパラメータについて複数のモデルパラメータ値を生成し、他の項目に対応するモデルパラメータについてはモデルパラメータ値を固定値としてプラントモデル 2 に出力する。モデルパラメータ値出力部 35 は、1 つの項目に対応するモデルパ

ラメータについて計算が完了した後、他の項目に対応するモデルパラメータについて複数のモデルパラメータ値を生成しプラントモデル2に出力する。モデルパラメータ値出力部35は、上述の動作を入力したモデルパラメータの項目毎に繰り返す。

[0020] ・プロセス値入力部

プロセス値入力部36は、各モデルパラメータ値Mに対応してプラントモデル2から出力される複数のプロセス値Pを入力するものである。

[0021] ・評価値生成部

評価値生成部37は、プロセス値入力部36から複数のプロセス値P、モデルパラメータ情報取得部34から計測値Vをそれぞれ入力し、複数のプロセス値Pと計測値Vとの差分に基づき、予め定義された評価式から、計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価を示す評価値Eを生成するものである。

[0022] 評価式は、プロセス値Pと計測値Vの差分が小さいほど評価値を高く生成するように定義されている。評価式としては、例えば、プロセス値Pと計測値Vの差分の絶対値を計測値Vに対する誤差とし、この絶対値を100で除して得られる数値を1から減算して評価するものがある。なお、計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価は、計測値Vと複数のプロセス値Pの瞬間的な最大誤差や差分の推移を時間平均する等、計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度を評価できるものであれば限定されない。

[0023] ・散布図生成部

散布図生成部38は、モデルパラメータ値出力部35から各モデルパラメータ値M、評価値生成部37から各モデルパラメータ値Mに対応する評価値Eをそれぞれ入力し、入力した各モデルパラメータ値Mと評価値Eとの関係を示す散布図を生成するものである。

[0024] 図2は、散布図生成部38で生成された散布図の一例である。縦軸は評価値E、横軸は各モデルパラメータ値Mを示している。図2に例示された散布図では、モデルパラメータ値M_aに対応する評価値E_aが最も高いため、モ

デルパラメータ値 M_a に対応するプロセス値 P_a と計測値 V との差分が最も小さくなっている。一方、モデルパラメータ値 M_b に対応する評価値 E_b は評価値 E_a より低いため、モデルパラメータ値 M_b に対応するプロセス値 P_b と計測値 V との差分はプロセス値 P_a と計測値 V との差分より大きくなっている。

[0025] 4-2. 尤度関数生成部

尤度関数生成部32は、散布図生成部38で生成された散布図に基づき確率密度関数を取得し、尤度関数を生成（取得）するものである。尤度関数生成部32は、関数回帰部39、確率密度関数取得部40及び尤度関数取得部41を備えている。

[0026] ・関数回帰部

関数回帰部39は、散布図生成部38と電氣的に接続している。関数回帰部39は、散布図生成部38で生成された散布図を入力し、入力した散布図を関数回帰して関数を生成するものである。関数回帰の方法としては、例えば、記憶部（不図示）に予め記憶された複数の関数データから、公知の機械学習を用いて、散布図生成部38で生成された散布図の形状に合うような関数を探索する方法がある。なお、関数回帰の方法は、散布図生成部38で生成された散布図の各データとの距離（差分）を小さくするような関数が得られる方法であれば限定されない。

[0027] ・確率密度関数取得部

確率密度関数取得部40は、関数回帰部39で生成された関数を入力し、入力した関数を正規化して得られた関数を各モデルパラメータ値 M の確からしさを示す確率密度関数と見なすものである。本実施形態では、確率密度関数取得部40は、関数回帰部39で生成された関数を入力部1に入力されたモデルパラメータ値の上限及び下限値の範囲に沿って積分した値が1になるように正規化する。

[0028] ・尤度関数取得部

尤度関数取得部41は、確率密度関数取得部40で取得された確率密度関

数を入力し、入力した確率密度関数をベイズ更新における尤度関数と見なし、出力するものである。なお、本実施形態では、確率密度関数取得部40が関数回帰部39で生成された関数を正規化して得られる関数を確率密度関数と見なし、尤度関数取得部41が確率密度関数取得部40で取得された確率密度関数をベイズ更新における尤度関数と見なし、出力する構成を例示した。しかしながら、必ずしも上述した構成に限定されない。例えば、尤度関数取得部41が、確率密度関数取得部40を備えており、関数回帰部39で生成された関数を入力し、入力した関数を正規化して確率密度関数と見なし、尤度関数として出力するように構成しても良い。

[0029] 図3は、尤度関数取得部41で取得された尤度関数の一例を示す図である。縦軸は確率密度 D 、横軸は各モデルパラメータ値 M を示している。図3に例示した尤度関数では、モデルパラメータ値 M_a に対応する確率密度 D_a は最も高くなっており、モデルパラメータ値 M_b に対応する確率密度 D_b は確率密度 D_a よりも低くなっている。

[0030] 4-3. ベイズ学習部

ベイズ学習部33は、尤度関数取得部41及び蓄積部4と電氣的に接続している。ベイズ学習部33は、尤度関数取得部41で取得された尤度関数を入力し、蓄積部4に蓄積されたモデルパラメータ値に関する確率密度関数のうち最新のものを読み込んで、読み込んだ確率密度関数を事前分布データとして、入力した尤度関数を用いてベイズ更新し、モデルパラメータ値に関する確率密度関数を事後分布データとして生成するものである。

[0031] 5. 蓄積部

蓄積部4は、モデルパラメータ値推定部3の演算結果を蓄積するものである。具体的に、蓄積部4は、ベイズ学習部33においてベイズ更新により生成されたモデルパラメータ値に関する確率密度関数を入力し蓄積する。本実施形態では、蓄積部4には、過去のベイズ更新（最新のベイズ更新より前のベイズ更新）により生成された各確率密度関数が蓄積されている。

[0032] 6. 出力部

出力部5は、モデルパラメータ値推定部3の演算結果を出力するものである。具体的に、出力部5は、蓄積部4に蓄積された確率密度関数を読み込んで出力する。出力部5は、確率密度関数を表示する表示装置等である。本実施形態では、出力部5は、蓄積部4に蓄積された複数の確率密度関数のうち、任意の更新回数における確率密度関数とその平均に対応するモデルパラメータ値の組み合わせを1つ以上表示するように構成されている。

[0033] 図4は、出力部5の出力例を示す図である。縦軸は確率密度 D 、横軸はモデルパラメータ値 M を示している。点線はベイズ更新の回数（学習回数）が S 回の場合における確率密度関数 F_s 、実線はベイズ更新の回数が T （ $> S$ ）回の場合における確率密度関数 F_t を示している。また、確率密度関数 F_s の平均に対応するモデルパラメータ値を M_s 、確率密度関数 F_t の平均に対応するモデルパラメータ値を M_t とする。また、モデルパラメータ値 M_s に対応する確率密度を D_s 、モデルパラメータ値 M_t に対応する確率密度を D_t とする。図4に示した出力例では、出力部5は、 S 回及び T 回のベイズ更新における確率密度関数 F_s 、 F_t とその平均に対応するモデルパラメータ値 M_s 、 M_t の組み合わせを表示している。

[0034] 図4に示すように、確率密度関数のベイズ更新の回数（学習回数）が少ないほど、確率密度関数の標準偏差が大きくモデルパラメータ値の尤度は低くなる。一方、計測値 V のデータ数が増えて学習が進む（ベイズ更新が繰り返される）ほど、確率密度関数の標準偏差が小さくなり尤度の高いモデルパラメータ値が得られるようになる。つまり、モデルパラメータ値 M_t に対応する確率密度 D_t は、モデルパラメータ値 M_s に対応する確率密度 D_s よりも高くなる。

[0035] 更に、出力部5は、対象製品の計測値 V と任意の更新回数における確率密度関数の平均に対応するモデルパラメータ値 M をプラントモデル2に入力して得られるプロセス値 P との過渡応答の推移を比較して出力しても良い。

[0036] 図5は、出力部5の他の出力例を示す図である。縦軸はプロセス値 P 、横軸は時間 t を示している。実線は対象製品の計測値（実測値） V の推移線 L

、点線はモデルパラメータ値 M_s に対応するプロセス値 P_s の推移線 L_s 、点線はモデルパラメータ値 M_t に対応するプロセス値 P_t の推移線 L_t を示している。上述したように、モデルパラメータ値 M_t の尤度は、モデルパラメータ値 M_s の尤度より高くなっている。そのため、図5に示すように、推移線 L_t は推移線 L_s に比べて推移線 L の形状に近くなる（つまり、計測値 V に対するプロセス値 P_t の誤差は計測値 V に対するプロセス値 P_s の誤差よりも小さい）。

[0037] （動作）

図6は、本実施形態に係るモデルパラメータ値の推定方法の手順を示したフローチャートである。

[0038] 本実施形態では、モデルパラメータ値推定装置100は、対象製品の計測値が計測された場合にモデルパラメータ値を推定する。

[0039] 対象製品の計測値 V が計測されると、モデルパラメータ情報取得部34は、モデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値と、計測値 V とを入力する（ステップS1）。

[0040] 続いて、モデルパラメータ値出力部35は、上限及び下限値の範囲で複数のモデルパラメータ値 M を生成し、プラントモデル2に出力する（ステップS2）。

[0041] 続いて、プロセス値入力部36は、プラントモデル2から出力されたプロセス値 P を入力する（ステップS3）。

[0042] 続いて、モデルパラメータ値出力部35は、複数のモデルパラメータ値 M が全てプラントモデル2に出力されたか否かを判断する（ステップS4）。モデルパラメータ値出力部35が複数のモデルパラメータ値 M が全てプラントモデル2に出力されたと判断した場合（Yes）、モデルパラメータ値推定装置100は、ステップS4からステップS5に手順を移す。反対に、モデルパラメータ値出力部35が複数のモデルパラメータ値 M の少なくとも1つがプラントモデル2に出力されていないと判断した場合（No）、モデルパラメータ値推定装置100は、複数のモデルパラメータ値 M が全てプラン

トモデル 2 に出力されたと判断されるまでステップ S 2, S 3, S 4 を繰り返す。

[0043] ステップ S 4 において複数のモデルパラメータ値 M が全てプラントモデル 2 に出力されたと判断された場合、評価値生成部 37 は、プロセス値 P と計測値 V との差分に基づき、計測値 V に対するプロセス値 P の精度評価を示す評価値 E を生成する（ステップ S 5）。

[0044] 続いて、散布図生成部 38 は、各モデルパラメータ値 M と評価値 E との関係を示す散布図を生成する（ステップ S 6）。

[0045] 続いて、関数回帰部 39 は、散布図を関数回帰して関数を生成する（ステップ S 7）。

[0046] 続いて、確率密度関数取得部 40 は、関数回帰部 39 で生成された関数を正規化し、モデルパラメータ値に関する確率密度関数を取得する（ステップ S 8）。

[0047] 続いて、尤度関数取得部 41 は、確率密度関数取得部 40 で取得された確率密度関数から、ベイズ更新における尤度関数を取得する（ステップ S 9）。

[0048] 続いて、ベイズ学習部 33 は、蓄積部 4 に蓄積された確率密度関数のうち最新のものを事前分布として、尤度関数を用いてベイズ更新し、モデルパラメータ値に関する確率密度関数を事後分布として生成する（ステップ S 10）。

[0049] 続いて、蓄積部 4 は、ベイズ学習部 33 においてベイズ更新により生成された確率密度関数を蓄積する（ステップ S 11）。

[0050] 本実施形態に係るモデルパラメータ推定装置 100 による処理は、コンピュータに格納されたプログラムで実現されても良い。以下、本実施形態に係るモデルパラメータ推定装置 100 による処理をコンピュータに格納されたプログラムで実現する場合を説明する。

[0051] 図 7 は、本実施形態に係るモデルパラメータ推定装置 100 による処理を実現するコンピュータの模式図である。図 7 に示すように、本実施形態に係

るコンピュータ200は、CPU (Central Processing Unit) 201、HDD (Hard Disk Drive) 202、RAM (Random Access Memory) 203、ROM (Read Only Memory) 204、I/Oポート205、キーボード206、記録媒体207及びモニタ208をハードウェアとして備えている。

[0052] 本実施形態では、コンピュータ200で実行されるプログラムはROM204に記憶されており、CPU201がROM204からプログラムを読み出して実行することにより、プラントモデル2、モデルパラメータ値推定部3、蓄積部4等がRAM203上にロードされ、生成される。本実施形態では、モデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値はキーボード206で入力され、計測器7で計測された計測値VとともにI/Oポート205を介してCPU201に伝達される。また、評価値を生成するための評価式、関数回帰に用いられる関数データ、モデルパラメータ値に関する確率密度関数等は、HDD202、ROM204等の記憶媒体に格納されている。また、ベイズ更新により生成された確率密度関数は、HDD202、ROM204等の記憶媒体に格納されるとともに、I/Oポート205を介してモニタ208に表示される。

[0053] このように、本実施形態に係るモデルパラメータ推定装置100による処理は、コンピュータに実行させるためのプログラムとして実現されても良い。例えば、このようなプログラムをサーバ等からインストールしてコンピュータに実行させることにより、前述した処理を実現しても良い。また、このようなプログラムを記録媒体207に記録し、これをコンピュータに読み取らせて、前述した処理を実現させることも可能である。記録媒体207としては、CD-ROM、フレキシブルディスク、光磁気ディスク等のように情報を光学的、電氣的或いは磁氣的に記録する記録媒体、ROM、フラッシュメモリ等のように情報を電氣的に記録する半導体メモリ等、様々なタイプの媒体を用いることができる。プラントモデル2は、CPU201がROM2

04 からプログラムを読み出して実行することでRAM203上にロードされる構成に限定されず、コンピュータ200とは別の独立したハードウェアとして設けられている構成でも良い。

[0054] (効果)

(1) 本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置100は、複数のモデルパラメータ値Mをプラントモデル2に入力して複数のプロセス値Pを取得し、対象製品の計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価に関するグラフを確率密度関数と推定し、これを尤度関数と見なしてモデルパラメータ値に関する確率密度関数をベイズ更新している。このように、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置100では、対象製品の計測値Vに対する複数のプロセス値Pの精度評価から確率密度関数と推定し、これを尤度関数と見なしている。そのため、プラントの機器特性のような確率密度関数の推定が困難な対象についてもベイズ更新を適用することができる。従って、モデルパラメータ値に関する確率密度関数について分布形状や統計量が未知ないしは推定困難である（事前知識がない）場合でも、ベイズ更新を適用しモデルパラメータ値を推定することができる。

[0055] また、一般的に、確率密度関数を求めるには莫大な計測データが必要とされるが、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置100のように、プラントモデルを利用して計測データを補うことにより、計測データ数が少ない場合でもプラントモデル2の計算結果の妥当性を向上させることができる。

[0056] (2) 本実施形態では、モデルパラメータ値推定部3で推定された尤度の高いモデルパラメータ値をプラントモデル2に入力し直す（反映させる）ことにより、プラントモデル2の計算結果の妥当性を向上させることができる。

[0057] (3) 本実施形態では、出力部5は、ベイズ更新前後の確率密度関数を比較して出力するように構成されている。そのため、ユーザは、例えば、プラントモデル2に現在入力されているモデルパラメータ値を推定した時点（第

１の時点）における確率密度関数と、第１の時点より後であってベイズ更新が繰り返し行われた時点（第２の時点）における最新の確率密度関数とを出力部５に比較して表示させることができる。これにより、ユーザは、出力部５に比較表示された確率密度関数の標準偏差から推定されたモデルパラメータ値の確からしさを目視で確認することができ、プラントモデル２に入力するモデルパラメータ値を更新する（推定し直す）必要があるか否かを判断することができる。

[0058] （４）適切な（つまり、真値に近い）モデルパラメータ値をプラントモデルに入力することで、プラントモデルの計算結果の妥当性を向上させることができる。そのため、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置で推定されたモデルパラメータ値をプラントモデルに入力することにより、プラントモデルの計算結果の妥当性を向上させることができ得る。従って、このプラントモデルを活用し、対象製品の制御方式を検討し直して、制御方式を改善することも可能である。

[0059] ＜第２実施形態＞

（構成）

図８は、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。図８において、上記第１実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置１００と同等の部分には同一の記号を付し、適宜説明を省略する。

[0060] 図８に示すように、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置１０１は、モデルパラメータ感度解析部３１の代わりに最適モデルパラメータ値探索部４３を備えている点でモデルパラメータ値推定装置１００と異なる。その他の構成は、モデルパラメータ値推定装置１００と同様である。

[0061] 図８に示すように、最適モデルパラメータ値探索部４３は、モデルパラメータ情報取得部３４及びモデルパラメータ値出力部３５の代わりに、第２のモデルパラメータ情報取得部４４及び第２のモデルパラメータ値出力部４５を備えている。その他の構成は、モデルパラメータ感度解析部３１と同様である。

[0062] 第2のモデルパラメータ情報取得部44は、入力部1及び計測器7と電氣的に接続している。本実施形態では、第2のモデルパラメータ情報取得部44は、入力部1に入力された2つ（2種類）以上のモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値と、計測器7により取得された計測値Vとを入力するものである。

[0063] 第2のモデルパラメータ値出力部45は、モデルパラメータ情報取得部34に入力された2つ以上のモデルパラメータの項目並びにモデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内でモデルパラメータ値を同時に変化させて複数のモデルパラメータ値を生成し、プラントモデル2に出力するものである。複数のモデルパラメータ値を生成する方法としては、上限及び下限値の範囲でモデルパラメータ値をランダムに変化させて生成する方法、上限及び下限値の範囲でモデルパラメータ値を等分割して生成する方法、公知の機械学習技術を用いて探索する方法等があるが、上限及び下限値の範囲で分散した複数のモデルパラメータ値が得られる方法であれば限定されない。なお、多点探索による最適化アルゴリズムを用いて対象製品の計測値とプロセス値の差分が小さくなるような値を探索すると、大域的最適解が計算される過程で多くの非最適解が同時に得られるため、図2に例示したような各モデルパラメータ値と評価値の関係を示す散布図を効率的に生成することができる。多点探索による最適化アルゴリズムとしては、遺伝的アルゴリズムやこれを多目的最適化に拡張したMOGA（Multi-Objective Genetic Algorithm）、NSGA-II（Non-dominated Sorting Genetic Algorithms-II）、SPEA2（Strength Pareto Evolutionary Algorithm-II）又は粒子群最適化法等がある。

[0064] 本実施形態では、モデルパラメータについて配管（単管）における計算を例に示したが、自動車のモデルベース開発で用いられるエンジン、インバータ、モータ、車両等のシミュレータ、火力や原子力等の発電プラントにおけ

る動特性シミュレータ等にも適用することができる。

[0065] (効果)

上記構成により、本実施形態では上述した第1実施形態で得られる各効果に加えて、次の効果が得られる。

[0066] 本実施形態では、推定対象のモデルパラメータについて、モデルパラメータ値を同時に変化させて複数のモデルパラメータ値Mを生成してプラントモデル2に入力し、複数のプロセス値Pを取得している。そのため、推定対象のモデルパラメータが相互に影響を与える2つ以上のモデルパラメータである場合でも、複数のモデルパラメータ値Mと評価値Eの関係を示す散布図を独立して生成することができる。これにより、推定対象のモデルパラメータが相互に影響を与える2つ以上のモデルパラメータである場合でも、独立して生成した散布図に基づき尤度関数を取得し、モデルパラメータ値に関する確率密度関数をベイズ更新することでモデルパラメータ値を推定することができる。

[0067] 相互に影響を与える2つ以上のモデルパラメータについて説明する。相互に影響を与える2つ以上のモデルパラメータとしては、例えば、静特性に関するモデルパラメータと動特性に関するモデルパラメータがある。図9は、静特性及び動特性に関するモデルパラメータの関係を説明する図である。図9に例示するように、本実施形態では、熱源装置48から排出された質量流量G1、圧力P1、温度T1の熱媒体46が熱源装置48に接続した配管47に流入し、配管47を流れつつ外部から熱量Qを受けて、配管47の外部に排出される場合を仮定する。このとき、熱源装置48の稼動状態、例えば、熱源装置48の負荷をプラントモデル2の入力条件とし、この負荷が時間的に変化したときの配管47の出口における計測値（質量流量G2_obs、圧力P2_obs、温度T2_obs）とプロセス値（質量流量G2_cal、圧力P2_cal、温度T2_cal）が一致するようなモデルパラメータ値を推定する場合を考える。熱源装置48の負荷がある一定の値に整定していれば、熱源装置48から排出される熱媒体46の状態も一定に保たれるため、熱源装置48の負

荷に応じた熱媒体 46 の質量流量 G_1 、圧力 P_1 、温度 T_1 は、静特性に関するモデルパラメータとなる。一方、配管 47 の伝熱面積 A や配管厚み d 、配管汚れ係数 R_f 、遅れ時定数 τ 、熱伝達率に関する係数 k 等は、過渡応答に影響を及ぼすため動特性に関するモデルパラメータとなる。質量流量 G_{2_obs} 、圧力 P_{2_obs} 、温度 T_{2_obs} について、過渡応答における計測値しか得られなかった場合、この過渡応答は静特性及び動特性に関するモデルパラメータ相互の影響を受けるため、計測値とプロセス値が合うようなモデルパラメータ値を一意に推定することは困難である。

[0068] これに対し、上述したように、本実施形態では、推定対象のモデルパラメータが相互に影響を与える 2 つ以上のモデルパラメータである場合でも、複数のモデルパラメータ値 M と評価値 E の関係を示す散布図を独立して生成することができる。これにより、静特性に関するモデルパラメータ及び動特性に関するモデルパラメータのような多次元問題についても、モデルパラメータ値を過渡データから同時に推定することができる。

[0069] <第 3 実施形態>

(構成)

図 10 は、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置の模式図である。図 10 において、上記第 1 実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置 100 と同等の部分には同一の記号を付し、適宜説明を省略する。

[0070] 図 10 に示すように、本実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置 102 は、製品状態推定部 6 を備えている点でモデルパラメータ値推定装置 100 と異なる。その他の構成は、モデルパラメータ値推定装置 100 と同様である。

[0071] 図 10 に示すように、製品状態推定部 6 は、蓄積部 4 及び出力部 5 と電氣的に接続している。製品状態推定部 6 は、蓄積部 4 に蓄積されたモデルパラメータ値に関する確率密度関数の平均に対応するモデルパラメータ値（モデルパラメータ平均値）の推移に基づき、対象製品の状態を推定するものである。

[0072] 図11は、モデルパラメータ平均値の推移を例示する図である。縦軸はモデルパラメータ平均値、横軸は確率密度関数の更新回数を示している。つまり、番号1, 2, ..., nに対応するモデルパラメータ平均値は、1, 2, ..., n回目の更新後のモデルパラメータ平均値にあたる。図11に示すように、対象製品の測定値に基づくモデルパラメータ値の更新回数が少ない初期（5回目の更新までの期間）では、モデルパラメータ平均値は変動する。その後、ベイズ更新が繰り返されることにより、初期から収束期（6回目の更新から10回目の更新までの期間）に移行し、モデルパラメータ平均値は一定値に収束することが想定される。その後、収束期から経年劣化期（11回目の更新から14回目の更新までの期間）に移行し対象製品に経年劣化が発生すると、モデルパラメータ平均値に単調減少、単調増加ないしは変動等の変化が生じる（図11では、モデルパラメータ平均値が単調減少する）。対象製品の状態変化を検知する方法としては、出力部5が出力したモデルパラメータ平均値の推移からユーザが目視で判断する方法、公知のデータマイニングや機械学習手法に基づき得られたモデルパラメータ平均値のデータのパターン学習から検知する方法等がある。

[0073] なお、検出されたモデルパラメータ平均値の変化が、単に計測値やプロセス値のばらつきに起因するものであるのか又は対象製品の状態変化に起因するものであるのかは、得られた確率密度関数の標準偏差から判断することができる。具体的に、確率密度関数の標準偏差が大きければ、計測値やプロセス値のばらつきに起因してモデルパラメータ平均値の変化している可能性が高い。反対に、確率密度関数の標準偏差が十分小さければ、対象製品の状態変化に起因してモデルパラメータ平均値の変化している可能性が高い。

[0074] （効果）

上記構成により、本実施形態では上述した第1実施形態で得られる各効果に加えて、次の効果が得られる。

[0075] 本実施形態では、モデルパラメータ平均値の推移に基づき、対象製品の状態を推定することができる。つまり、プラントモデル2を対象製品の経年劣

化や異常診断の推定に活用することができる。

[0076] <その他>

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、様々な変形例が含まれる。例えば、上述した各実施形態は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。例えば、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成に置き換えることも可能であり、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成を追加することも可能である。また、各実施形態の構成の一部を削除することも可能である。

[0077] 上述した各実施形態では、モデルパラメータ情報取得部 34 が計測器 7 と電氣的に接続し、計測器 7 により取得された計測値 V を入力する構成を例示した。しかしながら、本発明の本質的効果は、確率密度関数についての分布形状や統計量が未知ないしは推定困難である場合でも、モデルパラメータ値を推定することができるモデルパラメータ値推定装置を提供することであり、この本質的効果を得る限りにおいては、必ずしも上述した構成に限定されない。例えば、ユーザが計測器 7 により取得された計測値 V をモデルパラメータ情報取得部 34 に入力する構成としても良い。

[0078] また、上述した各実施形態では、モデルパラメータ値出力部 35 が複数のモデルパラメータ値が全てプラントモデル 2 に出力されたか否かを判断する構成を例示した。しかしながら、上述した本発明の本質的効果を得る限りにおいては、必ずしもこの構成に限定されない。例えば、複数のモデルパラメータ値が全てプラントモデル 2 に出力されたか否かを判断する装置を別途設ける構成としても良い。

[0079] また、上述した各実施形態では、関数回帰部 39 が記憶部に予め記憶された複数の関数データから散布図生成部 38 で生成された散布図の形状に合う関数を探索し、確率密度関数取得部 40 が関数回帰部 39 で生成された関数を正規化する構成を例示した。しかしながら、上述した本発明の本質的効果を得る限りにおいては、必ずしもこの構成に限定されない。例えば、記憶部

に正規化された複数の関数データを予め記憶させておき、関数回帰部 39 が記憶部から散布図生成部 38 で生成された散布図の形状に合うような関数を探索する構成としても良い。

[0080] また、上述した第 3 実施形態では、第 1 実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置 100 に製品状態推定部 6 を設けた構成を例示した。しかしながら、第 2 実施形態に係るモデルパラメータ値推定装置 101 に製品状態推定部 6 を設けることも可能であり、その場合でも上述した第 3 実施形態に係る効果を得ることができる。

符号の説明

- [0081] 2 プラントモデル
3 モデルパラメータ値推定部
4 蓄積部
5 出力部
100 モデルパラメータ値推定装置

請求の範囲

[請求項1] 対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであって、モデルパラメータ値を入力しプロセス値を計算するプラントモデルと、前記プロセス値に基づき、より尤度の高い前記モデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定部と、前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を蓄積する蓄積部と、前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を出力する出力部とを備えたモデルパラメータ値推定装置において、

前記モデルパラメータ値推定部は、前記対象製品の計測値及び前記プラントモデルで計算された複数のプロセス値を入力し、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なして前記蓄積部に蓄積された確率密度関数をベイズ更新することを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項2] 請求項1に記載のモデルパラメータ値推定装置において、
前記出力部は、ベイズ更新前後の確率密度関数を比較して出力することを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項3] 請求項1に記載のモデルパラメータ値推定装置において、
前記モデルパラメータ値推定部は、
前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を取得するモデルパラメータ情報取得部と、
前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内で前記モデルパラメータ値を変化させて、前記プラントモデルに出力するモデルパラメータ値出力部と、
各モデルパラメータ値に対応して前記プラントモデルから出力される複数のプロセス値を入力するプロセス値入力部と、
前記複数のプロセス値と前記対象製品の計測値を入力し、入力した複数のプロセス値と対象製品の計測値との差分に基づき、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価を示す評価値を生成する評

価値生成部と、

前記評価値と前記各モデルパラメータ値を入力し、入力した評価値と各モデルパラメータ値との関係を示す散布図を取得する散布図生成部と、

前記散布図を入力し、入力した散布図を関数回帰して関数を生成する関数回帰部と、

前記関数を入力し、入力した関数を正規化して前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数と見なし尤度関数として出力する尤度関数取得部と、

前記尤度関数と前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を入力し、前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を事前分布として、入力した尤度関数を用いて、ベイズ更新するベイズ学習部と

を備えたことを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項4]

請求項3に記載のモデルパラメータ値推定装置において、

前記蓄積部に蓄積された確率密度関数の平均値の推移に基づき、対象製品の状態変化を推定する製品状態推定部を備えることを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項5]

請求項1に記載のモデルパラメータ値推定装置において、

前記モデルパラメータ値推定部は、

2種類以上のモデルパラメータに関するモデルパラメータ値の上限及び下限値を取得するモデルパラメータ情報取得部と、

2種類以上の前記モデルパラメータに関するモデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内で2種類以上の前記モデルパラメータのモデルパラメータ値を同時に変化させて、前記プラントモデルに出力するモデルパラメータ値出力部と、

各モデルパラメータ値に対応して前記プラントモデルから出力される複数のプロセス値を入力するプロセス値入力部と、

前記複数のプロセス値と前記対象製品の計測値を入力し、入力した

複数のプロセス値と対象製品の計測値との差分に基づき、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価を示す評価値を生成する評価値生成部と、

前記評価値と前記各モデルパラメータ値を入力し、入力した評価値と各モデルパラメータ値との関係を示す散布図を取得する散布図生成部と、

前記散布図を入力し、入力した散布図を関数回帰して関数を生成する関数回帰部と、

前記関数を入力し、入力した関数を正規化して前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数と見なし尤度関数として出力する尤度関数取得部と、

前記尤度関数と前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を入力し、前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を事前分布として、入力した尤度関数を用いて、ベイズ更新するベイズ学習部と

を備えたことを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項6] 請求項5に記載のモデルパラメータ値推定装置において、

2種類以上の前記モデルパラメータは、前記対象製品のプロセス値の静特性に関するパラメータと動特性に関するパラメータとを含むことを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項7] 請求項5に記載のモデルパラメータ値推定装置において、

前記蓄積部に蓄積された確率密度関数の平均値の推移に基づき、対象製品の状態変化を推定する製品状態推定部を備えることを特徴とするモデルパラメータ値推定装置。

[請求項8] プログラムされたコンピュータによってモデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定方法であって、

対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであるプラントモデルにより、入力されたモデルパラメータ値から複数のプロセス値を計算する第1のステップと、

モデルパラメータ値推定部により、前記対象製品の計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なし蓄積部に蓄積されたモデルパラメータ値に関する確率密度関数をベイズ更新する第2のステップと、

を有することを特徴とするモデルパラメータ値推定方法。

[請求項9]

請求項8に記載のモデルパラメータ値推定方法であって、

前記第1のステップの前に、

モデルパラメータ情報取得部により、1種類以上のモデルパラメータ値の上限及び下限値と対象製品の計測値とをモデルパラメータ値出力部に入力するステップと、

モデルパラメータ値出力部により、前記モデルパラメータ値の上限及び下限値の範囲内で前記モデルパラメータ値を変化させて得られた複数のモデルパラメータ値を前記プラントモデルに出力するステップと、

を有し、

前記第2のステップは、

プロセス値入力部により、各モデルパラメータ値に対応して前記プラントモデルから出力される複数のプロセス値を評価値生成部に入力するステップと、

評価値生成部により、入力した複数のプロセス値と対象製品の計測値との差分に基づき、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価を示す評価値を生成するステップと、

散布図生成部により、前記評価値と前記各モデルパラメータ値との関係を示す散布図を取得するステップと、

関数回帰部により、前記散布図を関数回帰して関数を生成するステップと、

尤度関数取得部により、生成した前記関数を正規化して前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数と見なし尤度関数とするステップ

と、

ベイズ学習部により、蓄積部に蓄積されたモデルパラメータ値に関する確率密度関数を取得し、蓄積部から取得した前記確率密度関数を事前分布データとして、前記尤度関数を用いて、ベイズ更新により前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数の事後分布データを生成し、

前記事後分布データを前記蓄積部に蓄積するステップと
を有することを特徴とするモデルパラメータ値推定方法。

[請求項10]

コンピュータを、

対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであって、モデルパラメータ値を入力しプロセス値を計算するプラントモデルと、

前記プロセス値に基づき、より尤度の高い前記モデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定部と、

前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を蓄積する蓄積部と、
前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を出力する出力部、
として機能させ、

前記モデルパラメータ値推定部が、前記対象製品の計測値に対する複数の前記プロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なして前記蓄積部に蓄積された確率密度関数をベイズ更新することを特徴とするプログラム。

[請求項11]

請求項10に記載のプログラムであって、

前記モデルパラメータ値推定部は、

1種類以上の前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を取得するモデルパラメータ情報取得部と、

前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内で前記モデルパラメータ値を変化させて、前記プラントモデルに出力するモデルパラメータ値出力部と、

各モデルパラメータ値に対応して前記プラントモデルから出力され

る複数のプロセス値を入力するプロセス値入力部と、

前記複数のプロセス値と前記対象製品の計測値を入力し、入力した複数のプロセス値と対象製品の計測値との差分に基づき、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価を示す評価値を生成する評価値生成部と、

前記評価値と前記各モデルパラメータ値を入力し、入力した評価値と各モデルパラメータ値との関係を示す散布図を取得する散布図生成部と、

前記散布図を入力し、入力した散布図を関数回帰して関数を生成する関数回帰部と、

前記関数を入力し、入力した関数を正規化して前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数と見なし尤度関数として出力する尤度関数取得部と、

前記尤度関数と前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を入力し、前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を事前分布として、入力した尤度関数を用いて、ベイズ更新するベイズ学習部と

を備えることを特徴とするプログラム。

[請求項12] 請求項10または請求項11に記載のプログラムを記録した記録媒体。

[請求項13] 対象製品の動作を模擬する予め設定した物理モデルであって、モデルパラメータ値を入力しプロセス値を計算するプラントモデルと、前記プロセス値に基づき、より尤度の高い前記モデルパラメータ値を推定するモデルパラメータ値推定部と、前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を蓄積する蓄積部と、前記モデルパラメータ値推定部の演算結果を出力する出力部とを備えたモデルパラメータ値推定システムにおいて、

前記モデルパラメータ値推定部は、前記対象製品の計測値及び前記プラントモデルで計算された複数のプロセス値を入力し、前記計測値

に対する前記複数のプロセス値の精度評価に基づき生成した関数を尤度関数と見なし前記蓄積部に蓄積された確率密度関数をベイズ更新することを特徴とするモデルパラメータ値推定システム。

[請求項14]

請求項11に記載のモデルパラメータ値推定システムにおいて、
前記モデルパラメータ値推定部は、

1種類以上の前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を取得するモデルパラメータ情報取得部と、

前記モデルパラメータ値の上限及び下限値を入力し、入力した上限及び下限値の範囲内で前記モデルパラメータ値を変化させて、前記プラントモデルに出力するモデルパラメータ値出力部と、

各モデルパラメータ値に対応して前記プラントモデルから出力される複数のプロセス値を入力するプロセス値入力部と、

前記複数のプロセス値と前記対象製品の計測値を入力し、入力した複数のプロセス値と対象製品の計測値との差分に基づき、前記計測値に対する前記複数のプロセス値の精度評価を示す評価値を生成する評価値生成部と、

前記評価値と前記各モデルパラメータ値を入力し、入力した評価値と各モデルパラメータ値との関係を示す散布図を取得する散布図生成部と、

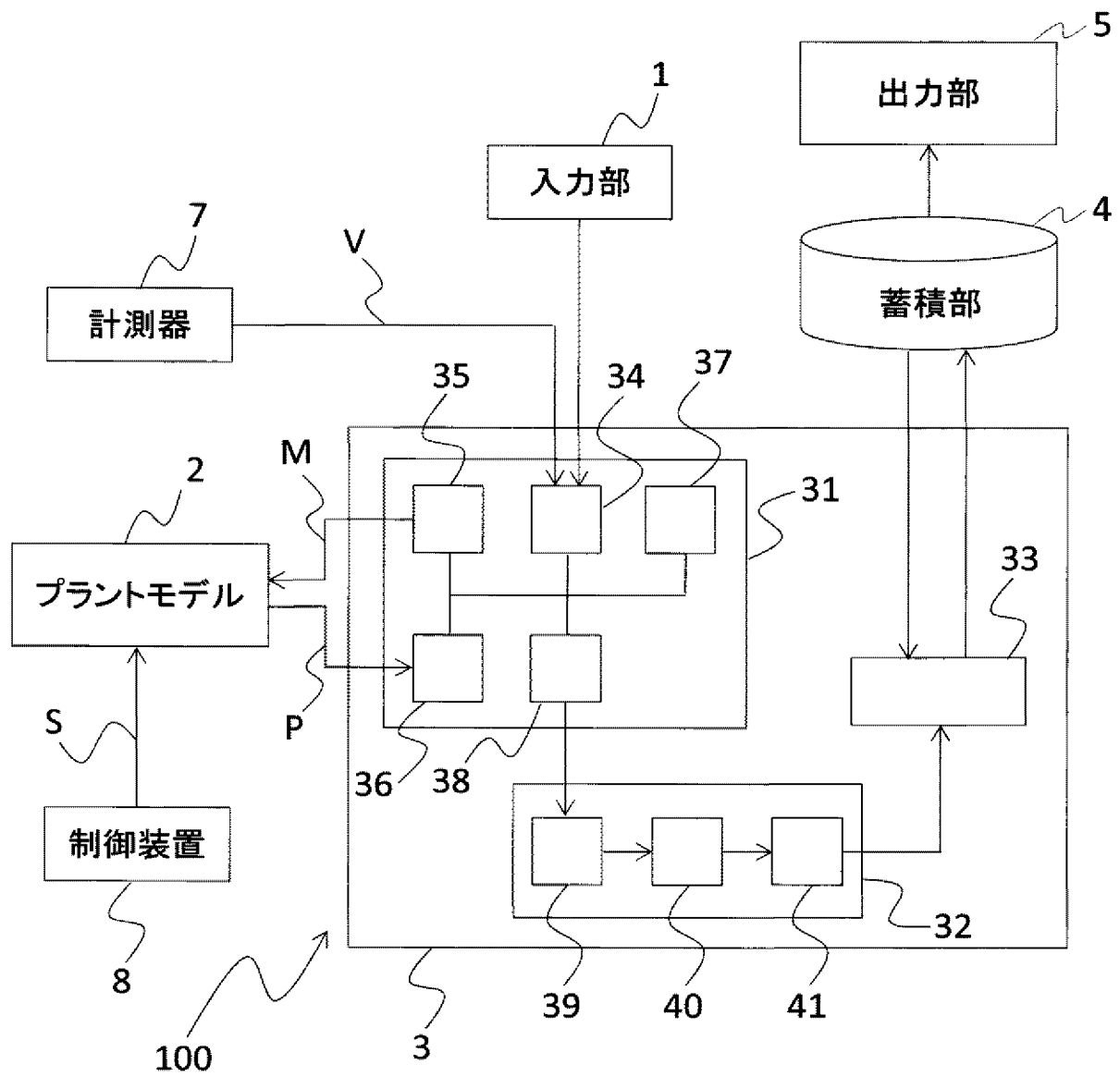
前記散布図を入力し、入力した散布図を関数回帰して関数を生成する関数回帰部と、

前記関数を入力し、入力した関数を正規化して前記モデルパラメータ値に関する確率密度関数と見なし尤度関数として出力する尤度関数取得部と、

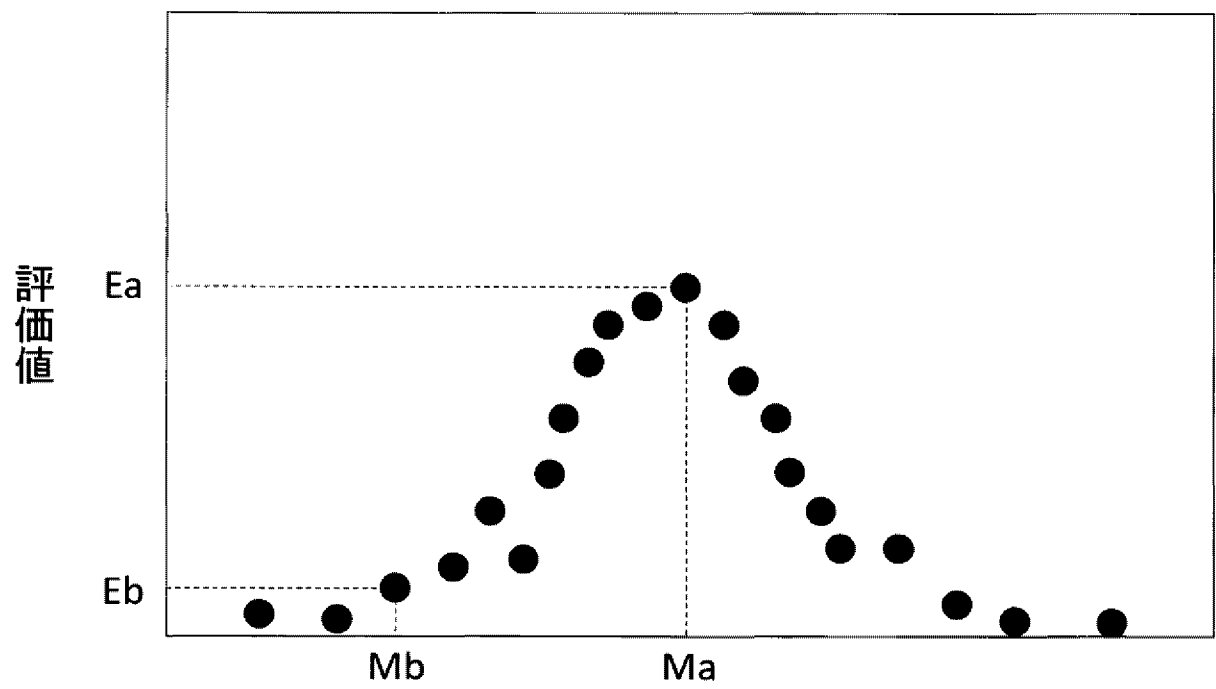
前記尤度関数と前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を入力し、前記蓄積部に蓄積された確率密度関数を事前分布として、入力した尤度関数を用いて、ベイズ更新するベイズ学習部と

を備えたことを特徴とするモデルパラメータ値推定システム。

[図1]

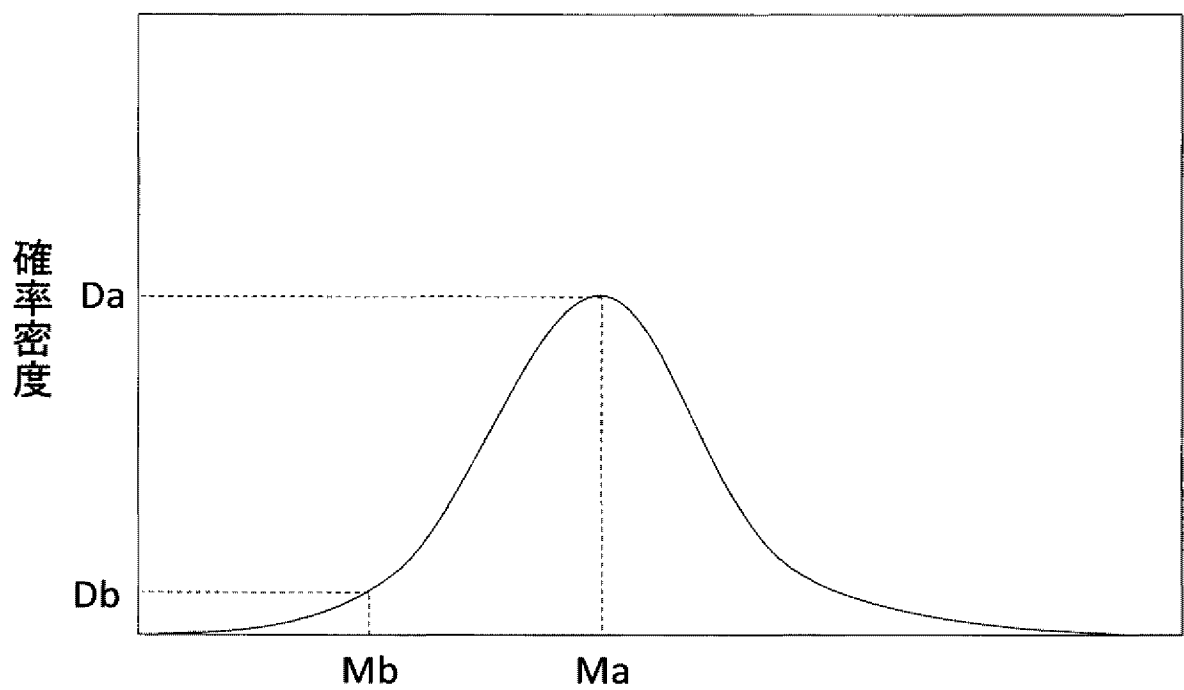


[図2]



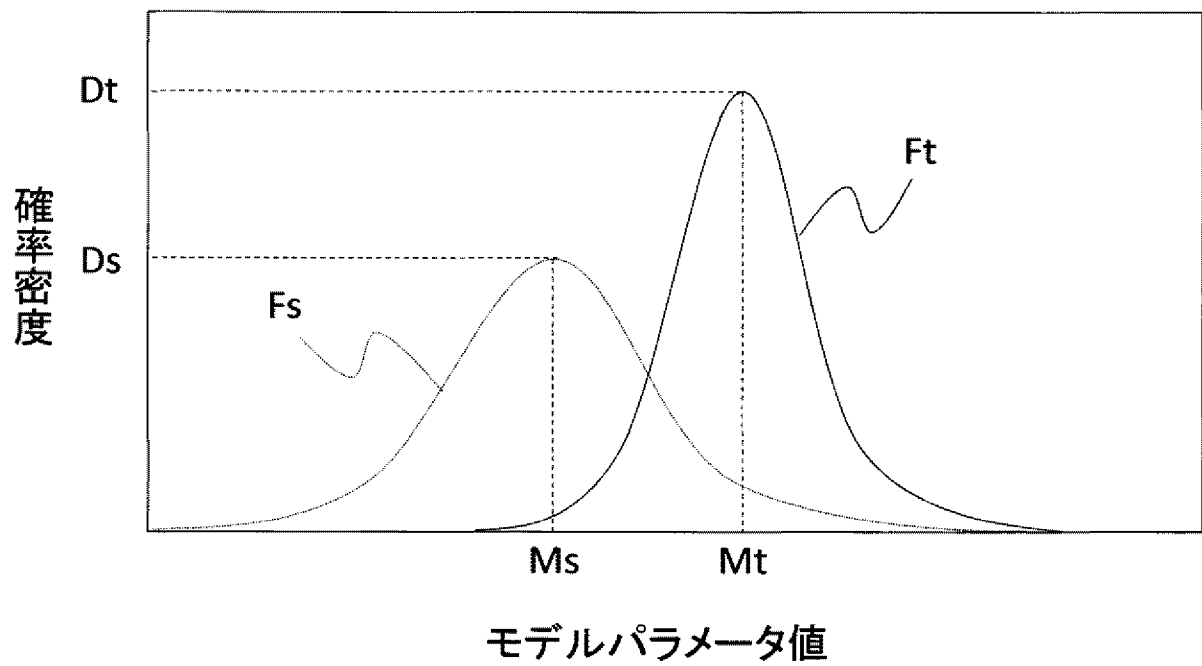
モデルパラメータ値

[図3]

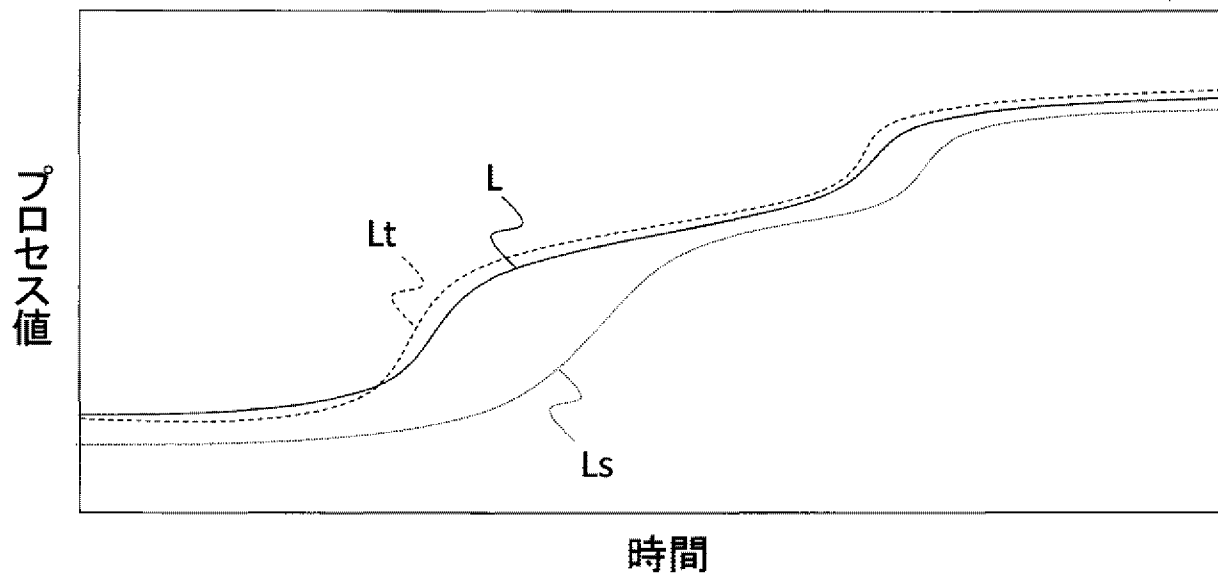


モデルパラメータ値

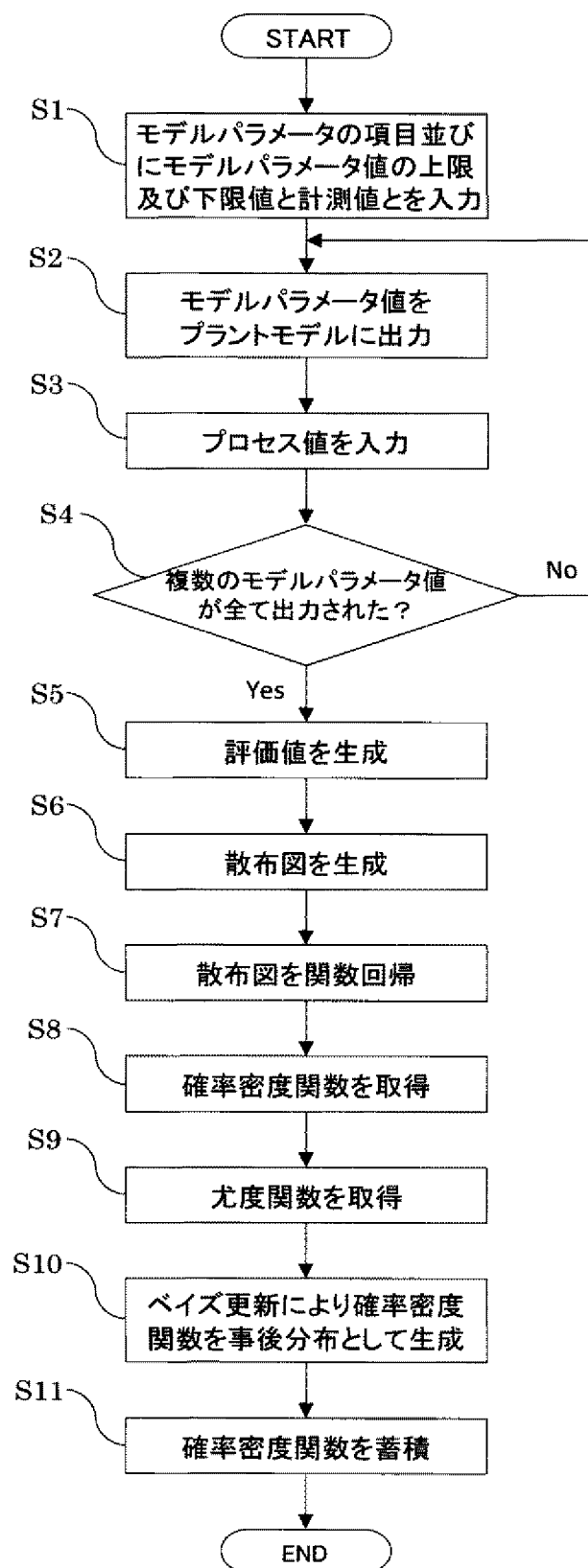
[図4]



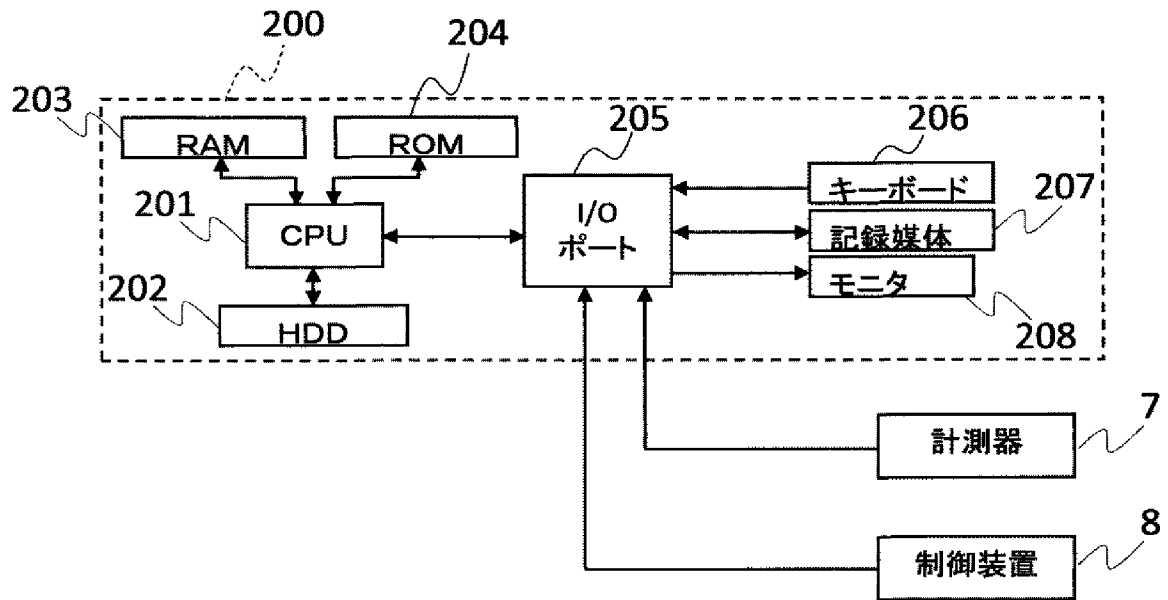
[図5]



[図6]



[図7]



[図8]

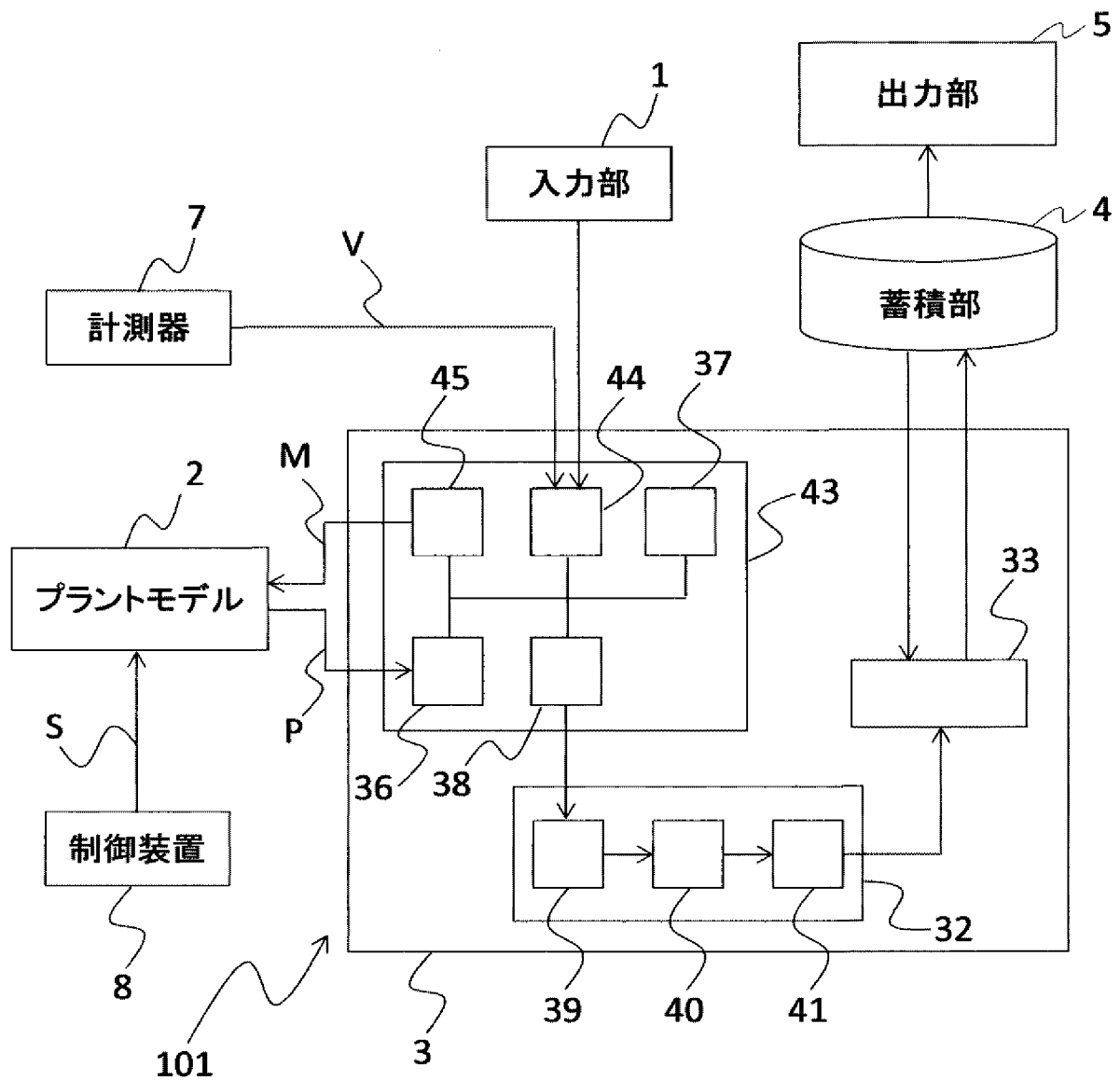
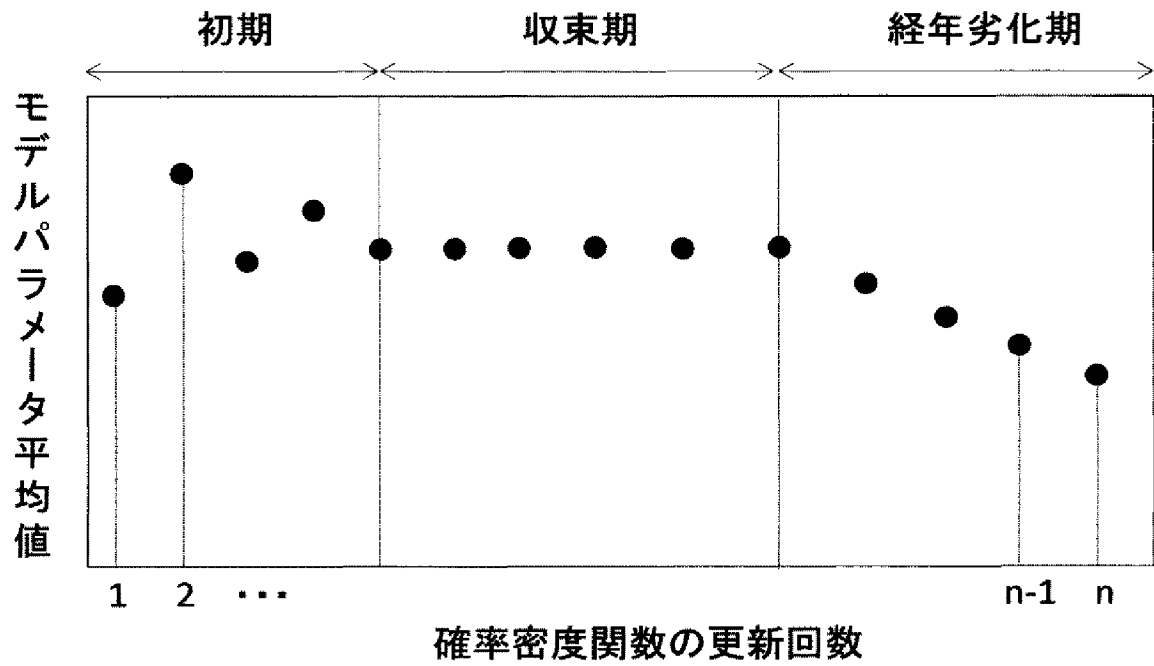


Figure 1 is a schematic diagram of a thermodynamic system. On the left, a rectangular block labeled "熱源装置" (Heat Source Device) with reference numeral 48 is shown. A horizontal arrow labeled "熱媒体" (Heat Medium) with reference numeral 46 points from the heat source device into a cylindrical component labeled 47. The inlet of this component is marked with the state variables G_1, P_1, T_1 . A downward arrow labeled Q indicates heat input into the cylindrical component. The outlet of the component is marked with the state variables $G_{2\_cal}, T_{2\_cal}, P_{2\_cal}$. An oval above the outlet indicates the observed state variables $G_{2\_obs}, T_{2\_obs}, P_{2\_obs}$.

[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/002995

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B13/04(2006.01)i, G06F17/18(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)

G05B13/04, G06F17/18

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.
A	JP 5418408 B2 (Fujitsu Ltd.), 19 February 2014 (19.02.2014), entire text & US 2011/0295403 A1 entire text & TW 201205328 A	1-14
A	JP 2016-170753 A (Hitachi, Ltd.), 23 September 2016 (23.09.2016), entire text (Family: none)	1-14

☐ 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
01 May 2017 (01.05.17)

Date of mailing of the international search report
16 May 2017 (16.05.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G05B13/04(2006.01)i, G06F17/18(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. G05B13/04, G06F17/18

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
A	JP 5418408 B2 (富士通株式会社) 2014.02.19, 全文 & US 2011/0295403 A1, 全文 & TW 201205328 A	1-14
A	JP 2016-170753 A (株式会社日立製作所) 2016.09.23, 全文 (ファミリーなし)	1-14

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 | 「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 |
| 「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 | 「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 |
| 「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) | 「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 |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

01.05.2017

国際調査報告の発送日

16.05.2017

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)

稲垣 浩司

3U

9556

電話番号 03-3581-1101 内線 3364