





(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))

a set operation point that is an operation point at which the target device is operating; and a correction unit for generating a correction value on the basis of the error and the set gain, wherein the estimation unit calculates the state estimation value and the sensor estimation value on the basis of the control input value and the correction value and outputs the state estimation value.

(57) 要約: 本開示の一側面に係る性能推定装置は、対象装置を制御するための制御入力値及び対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値に基づいて、センサによる計測が不可能な対象装置の状態量の推定値である状態推定値を出力する性能推定装置であって、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、状態推定値、及びセンサ推定値を算出する推定部と、センサ推定値とセンサ計測値との誤差を算出する誤差算出部と、第1作動点に対応する第1ゲイン、及び第2作動点に対応する第2ゲインを記憶するゲイン記憶部と、第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて、対象装置が動作している作動点である設定作動点における設定ゲインを決定するゲイン決定部と、誤差と設定ゲインとに基づいて、補正値を生成する補正部と、を備え、推定部は、制御入力値及び補正値に基づいて、状態推定値及びセンサ推定値を算出し、状態推定値を出力する。

## 明 細 書

発明の名称：性能推定装置及び性能推定方法

### 技術分野

[0001] 本開示は、性能推定装置及び性能推定方法に関する。

### 背景技術

[0002] ガスタービンエンジン等では、センサによる計測が不可能な内部状態量及び性能パラメータが存在する。このようなセンサによる計測が不可能な内部状態量及び性能パラメータの値を推定する手法として、カルマンフィルタを用いた手法がある。例えば、特許文献1には、エンジンの非線形シミュレーションモデルを含むカルマンフィルタを用いて、センサ計測値から観測不能変数推定値を演算するガスタービンエンジンの性能推定システムが記載されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-68359号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に記載の性能推定システムでは、カルマンフィルタゲインが一定とされている。このカルマンフィルタゲインは、ガスタービンエンジンのある作動点において求められる。非線形シミュレーションモデルを用いた場合、非線形性が強い対象装置では、1つのゲインで全作動点に対応しようとすると以下のような問題がある。つまり、カルマンフィルタでは、推定の安定性と速応性とがトレードオフの関係にあるので、安定性を重視してカルマンフィルタゲインを設定すると応答が遅くなり、速応性を重視してカルマンフィルタゲインを設定すると、安定性が低下する。

[0005] 本開示は、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立可能な性能推定装置及び性能推定方法を説明する。

## 課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一側面に係る性能推定装置は、推定対象の装置である対象装置を制御するための制御入力値及び対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値に基づいて、センサによる計測が不可能な対象装置の状態量の推定値である状態推定値を出力する装置である。この性能推定装置は、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、状態推定値、及びセンサ計測値の推定値であるセンサ推定値を算出する推定部と、センサ推定値とセンサ計測値との誤差を算出する誤差算出部と、対象装置の1つの作動点である第1作動点に対応する第1ゲイン、及び対象装置の別の作動点である第2作動点に対応する第2ゲインを記憶するゲイン記憶部と、第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて、対象装置が動作している作動点である設定作動点における設定ゲインを決定するゲイン決定部と、誤差と設定ゲインとに基づいて、補正値を生成する補正部と、を備える。推定部は、制御入力値及び補正値に基づいて、状態推定値及びセンサ推定値を算出し、状態推定値を出力する。

## 発明の効果

[0007] 本開示によれば、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立できる。

## 図面の簡単な説明

[0008] [図1]図1は、一実施形態に係る性能推定装置を含む性能推定システムの概略構成を示す図である。

[図2]図2は、図1のガスタービンエンジンの各要素を模式的に示す図である。

[図3]図3は、図1の性能推定装置のハードウェア構成図である。

[図4]図4は、作動点とゲインとの関係の一例を示す図である。

[図5]図5は、図1の推定部の構成例を示す図である。

[図6]図6の(a)～(d)は、設定作動点及び設定ゲインの時間変化の一例を示す図である。

[図7]図7は、図1の性能推定装置が行う性能推定方法の一連の処理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

### [0009] [1] 実施形態の概要

本開示の一側面に係る性能推定装置は、推定対象の装置である対象装置を制御するための制御入力値及び対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値に基づいて、センサによる計測が不可能な対象装置の状態量の推定値である状態推定値を出力する装置である。この性能推定装置は、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、状態推定値、及びセンサ計測値の推定値であるセンサ推定値を算出する推定部と、センサ推定値とセンサ計測値との誤差を算出する誤差算出部と、対象装置の1つの作動点である第1作動点に対応する第1ゲイン、及び対象装置の別の作動点である第2作動点に対応する第2ゲインを記憶するゲイン記憶部と、第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて、対象装置が動作している作動点である設定作動点における設定ゲインを決定するゲイン決定部と、誤差と設定ゲインとに基づいて、補正値を生成する補正部と、を備える。推定部は、制御入力値及び補正値に基づいて、状態推定値及びセンサ推定値を算出し、状態推定値を出力する。

[0010] この性能推定装置では、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、状態推定値及びセンサ推定値が算出される。この状態推定値及びセンサ推定値は、センサ推定値及びセンサ計測値の誤差と設定作動点における設定ゲインとに基づいて生成された補正値、並びに制御入力値に基づいて、算出される。設定ゲインは、第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて決定される。このように、2つの作動点におけるゲインに基づいて、設定ゲインが決定されるので、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、1つのゲインで対応する作動点の範囲が狭くなる。このため、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、各ゲインが対応する範囲において、推定の安定性を向上させつつ、速応性を向上させるように第1ゲ

イン及び第2ゲインを設定することが可能となる。これらの第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて、設定ゲインが決定されることから、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立することが可能となる。

[0011] ゲイン決定部は、第1作動点を含む作動点の範囲である第1範囲に設定作動点が含まれる場合には第1ゲインを設定ゲインとしてもよく、第2作動点を含む作動点の範囲である第2範囲に設定作動点が含まれる場合には第2ゲインを設定ゲインとしてもよい。この場合、設定作動点が含まれる範囲に応じて、ゲイン記憶部に記憶されている第1ゲイン又は第2ゲインが設定ゲインとして用いられる。このため、ゲイン記憶部からゲインを取得して設定ゲインとすればよいので、設定ゲインの計算負荷を軽減することが可能となる。

[0012] 第1範囲と第2範囲とは互いに隣接していてもよい。ゲイン決定部は、設定作動点が第1範囲から第2範囲に移動した場合には、設定ゲインを第1ゲインから第2ゲインに徐々に切り替えてもよい。この場合、設定ゲインを徐々に切り替えることにより、設定ゲインの切り替えによる補正值の変化を抑えることができ、性能推定装置における推定が発散する可能性を低減することが可能となる。

[0013] 本開示の別の側面に係る性能推定方法は、推定対象の装置である対象装置に設けられたセンサによる計測が不可能な状態量の推定値である状態推定値を出力する方法である。この性能推定方法は、対象装置が動作している作動点である設定作動点を受信するステップと、対象装置を制御するための制御入力値を受信するステップと、対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値を受信するステップと、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値に基づいて、センサ計測値の推定値であるセンサ推定値を算出するステップと、センサ推定値とセンサ計測値との誤差を算出するステップと、対象装置の1つの作動点である第1作動点に対応する第1ゲイン、及び対象装置の別の作動点である第2作動点に対応する第2ゲ

インに基づいて、設定作動点における設定ゲインを決定するステップと、誤差と設定ゲインとに基づいて、補正値を生成するステップと、非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値及び補正値に基づいて、状態推定値を算出するステップと、状態推定値を出力するステップと、を含む。

[0014] この性能推定方法では、対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値に基づいて、センサ推定値が算出される。対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、センサ推定値及びセンサ計測値の誤差と設定作動点における設定ゲインとに基づいて生成された補正値、並びに制御入力値に基づいて、状態推定値が算出される。設定ゲインは、第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて決定される。このように、2つの作動点におけるゲインに基づいて、設定ゲインが決定されるので、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、1つのゲインで対応する作動点の範囲が狭くなる。このため、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、各ゲインが対応する範囲において、推定の安定性を向上させつつ、速応性を向上させるように第1ゲイン及び第2ゲインを設定することが可能となる。これらの第1ゲイン及び第2ゲインに基づいて、設定ゲインが決定されることから、全作動点の範囲を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立することが可能となる。

[0015] [2] 実施形態の例示

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、図面の説明において同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0016] 図1は、一実施形態に係る性能推定装置を含む性能推定システムの概略構成を示す図である。図1に示される性能推定システム1は、推定対象の装置である対象装置に設けられる複数のセンサによって計測されたセンサ計測値に基づいて、対象装置の状態を推定するシステムである。以下、対象装置の一例として、ガスタービンエンジンを用いて説明する。なお、時間変化する

変数の時刻  $k$  における値を表す場合に、当該変数を表す符号に ( $k$ ) を付して説明を行う場合があるが、特定の時刻に限られず、任意の時刻において成り立つ。また、性能推定システム 1 の単位時間を「1」としており、括弧内の値が大きいほど時間が経過していることを示している。

[0017] 性能推定システム 1 は、制御装置 2 と、ガスタービンエンジン 10 と、を備えている。ガスタービンエンジン 10 は、例えば、車両、船舶、及び航空機等のエンジンとして用いられる。

[0018] 図 2 は、ガスタービンエンジン 10 の各要素を模式的に示す図である。図 2 に示されるように、ガスタービンエンジン 10 は、ファン (FAN) 11 と、低圧圧縮機 (LPC) 12 と、高圧圧縮機 (HPC) 13 と、燃焼器 (COMB) 14 と、高圧タービン (HPT) 15 と、低圧タービン (LPT) 16 と、ロータ 17 と、ロータ 18 と、を備えている。

[0019] ファン 11 は、ガスタービンエンジン 10 の外部から空気を吸い込んで、吸い込んだ空気の一部を低圧圧縮機 12 に供給する。低圧圧縮機 12 は、ファン 11 から供給された空気を圧縮することによって圧縮空気を生成し、圧縮空気を高圧圧縮機 13 に供給する。高圧圧縮機 13 は、低圧圧縮機 12 から供給された圧縮空気をさらに圧縮して圧力をさらに高くすることによって高圧空気を生成し、高圧空気を燃焼器 14 に供給する。燃焼器 14 は、高圧圧縮機 13 から供給された高圧空気に燃料を混ぜ合わせて燃焼する。燃焼器 14 は、燃焼して得られた高温高圧の燃焼ガスを高圧タービン 15 に供給する。

[0020] 高圧タービン 15 は、燃焼器 14 から供給された高温高圧の燃焼ガスによって回転し、ロータ 18 を回転させる。低圧タービン 16 は、高圧タービン 15 を通過した燃焼ガスによって回転し、ロータ 17 を回転させる。ロータ 17 は、ファン 11、低圧圧縮機 12 及び低圧タービン 16 を一体的に回転可能に接続している。ロータ 18 は、高圧圧縮機 13 及び高圧タービン 15 を一体的に回転可能に接続している。

[0021] 図 1 に戻って、ガスタービンエンジン 10 には、複数のセンサ (不図示)

が設けられている。ガスタービンエンジン 10 は、後述するエンジン制御器 20 によって制御される。ガスタービンエンジン 10 は、ある時刻  $k$  において、エンジン制御器 20 から出力される制御入力値  $u(k)$  を入力し、ガスタービンエンジン 10 に設けられているセンサによって検知されるセンサ計測値  $y(k)$  を出力する。制御入力値  $u(k)$  は、ガスタービンエンジン 10 を制御するための値であり、エンジン動作条件に基づいて出力される。ガスタービンエンジン 10 が航空機用のエンジンである場合、エンジン動作条件は、飛行条件ともいい、高度、機速及びパワーレバー角度 (Power Lever Angle : P L A) 等である。各エンジン動作条件の値の組み合わせを作動点という。エンジン動作条件 (作動点) は、飛行時において機体から送信される。制御入力値  $u(k)$  は、燃料流量及び抽気バルブの開度等を含む。センサ計測値  $y(k)$  は、 $r$  次元であり、ガスタービンエンジン 10 のロータ 17, 18 の回転数、各部における温度及び圧力を含む。

[0022] 制御装置 2 は、エンジン制御器 20 と、性能推定装置 30 と、を備えている。エンジン制御器 20 は、ガスタービンエンジン 10 を制御する装置である。エンジン制御器 20 は、エンジン動作条件 (作動点) に基づいて、制御入力値  $u(k)$  を決定する。エンジン制御器 20 は、制御入力値  $u(k)$  をガスタービンエンジン 10 及び性能推定装置 30 に出力する。

[0023] 性能推定装置 30 は、ガスタービンエンジン 10 の非線形シミュレーションモデルを用いたカルマンフィルタによって、ガスタービンエンジン 10 の状態量  $x(k)$  を推定する。非線形シミュレーションモデルは、ガスタービンエンジン 10 ごとに予め定められた非線形のシミュレーションモデルであり、非線形関数  $f$  及び非線形関数  $g$  を用いて、後述の式 (1) ~ 式 (2) で表される。非線形関数  $f$  は、対象装置 (ガスタービンエンジン 10) ごとに予め定められており、状態量  $x(k)$  及び制御入力値  $u(k)$  の関数である。非線形関数  $g$  は、対象装置ごとに予め定められており、状態量  $x(k)$  の関数である。

[0024] 具体的には、性能推定装置 30 は、制御入力値  $u(k)$  及びセンサ計測値

$y(k)$  に基づいて、ガスタービンエンジン 10 の状態推定値  $x_h(k)$  を出力する。状態推定値  $x_h(k)$  は、ガスタービンエンジン 10 の状態量  $x(k)$  の推定値である。状態量  $x(k)$  は、ガスタービンエンジン 10 の状態量のうち、センサによる計測が不可能な状態量を含む状態量であり、内部状態量  $x_e(k)$  と性能パラメータ値  $q(k)$  とを合わせた  $n$  ( $n = n_e + p$ ) 次元のベクトルである。状態推定値  $x_h(k)$  は、内部状態量  $x_e(k)$  の推定値と性能パラメータ値  $q(k)$  の推定値とを合わせた  $n$  ( $n = n_e + p$ ) 次元のベクトルである。

[0025] 内部状態量  $x_e$  は、センサ計測が不可能な状態量を含むガスタービンエンジン 10 内部の状態の量である。内部状態量  $x_e$  は、 $n_e$  次元のベクトルであり、各要素の回転数、各要素の内部エネルギー、各要素の空気流量、各要素のエンタルピー等を含む。性能パラメータ値  $q$  は、センサ計測が不可能なエンジン性能パラメータの値である。性能パラメータ値  $q$  は、 $p$  次元のベクトルであり、ファンの流量、ファンの効率変化、各圧縮機の流量、各圧縮機の効率変化等を含む。

[0026] 図 3 は、性能推定装置 30 のハードウェア構成図である。図 3 に示されるように、性能推定装置 30 は、物理的には、1 又は複数のプロセッサ 301、主記憶装置である RAM (Random Access Memory) 及び ROM (Read Only Memory) 等の記憶装置 302、ハードディスク装置等の補助記憶装置 303、キーボード等の入力装置 304、ディスプレイ等の出力装置 305、並びに、データ送受信デバイスである通信装置 306 等のハードウェアを備えるコンピュータとして構成され得る。性能推定装置 30 の図 1 に示される各機能は、記憶装置 302 等のハードウェアに 1 又は複数の所定のコンピュータプログラムを読み込ませることにより、1 又は複数のプロセッサ 301 の制御のもとで各ハードウェアを動作させるとともに、記憶装置 302 及び補助記憶装置 303 におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。なお、上記の説明は性能推定装置 30 のハードウェア構成として説明したが、制御装置 2 がプロセッサ 301、記憶装置 302、補助記憶装

置 303、入力装置 304、出力装置 305、及び通信装置 306 を備えるコンピュータとして構成されてもよい。

[0027] 図 1 に戻って、性能推定装置 30 の詳細について説明する。性能推定装置 30 は、誤差算出部 31 と、ゲイン記憶部 32 と、ゲイン決定部 33 と、補正部 34 と、推定部 35 と、を備えている。

[0028] 誤差算出部 31 は、ガスタービンエンジン 10 から出力されたセンサ計測値  $y(k)$  と推定部 35 によって算出されたセンサ推定値  $y_h(k)$  との誤差  $e(k)$  を算出する。この例では、誤差算出部 31 は、センサ計測値  $y(k)$  からセンサ推定値  $y_h(k)$  を減算し、その減算結果を誤差  $e(k)$  として補正部 34 に出力する。なお、センサ推定値  $y_h(k)$  は、センサ計測値  $y(k)$  の推定値である。

[0029] ゲイン記憶部 32 は、複数のゲインを記憶している。複数のゲインのそれぞれは、ガスタービンエンジン 10 の特徴的な作動点を設計点として設定される。つまり、各ゲインは、対応する作動点において所定の計算によって算出される。各ゲインには、対応する作動点を含む所定の範囲が設定される。ゲイン記憶部 32 は、作動点と範囲とを対応付けたマップ（テーブル）を記憶している。

[0030] 図 4 は、作動点とゲインとの関係の一例を示す図である。図 4 に示される例では、ガスタービンエンジン 10 が航空機に設けられており、エンジン動作条件として、高度及び機速を用いて説明している。この例では、ゲイン記憶部 32 は、ゲイン  $K_1 \sim K_4$  と、範囲  $R_1 \sim R_4$  と各範囲に含まれる作動点とを対応付けたマップと、を記憶している。

[0031] 図 4 に示されるように、エンジン動作条件として作動点を取り得る作動範囲  $R$  が設定されており、この作動範囲  $R$  が 4 つの範囲  $R_1 \sim R_4$  に分割されている。範囲  $R_1$ （第 1 範囲）は、地上付近の作動点の範囲である。範囲  $R_2$ （第 2 範囲）は、離陸（着陸）付近の作動点の範囲である。範囲  $R_3$  は、巡航付近の作動点の範囲である。範囲  $R_4$  は、高空低速付近の作動点の範囲である。範囲  $R_1$  と範囲  $R_2$  とは互いに隣接しており、範囲  $R_2$  と範囲  $R_3$

とは互いに隣接しており、範囲R 2と範囲R 4とは互いに隣接しており、範囲R 3と範囲R 4とは互いに隣接している。

[0032] ゲインK 1（第1ゲイン）は、範囲R 1に対応するゲインである。ゲインK 1は、範囲R 1に含まれる静止状態の作動点P 1（第1作動点）を設計点として設定される。ゲインK 2（第2ゲイン）は、範囲R 2に対応するゲインである。ゲインK 2は、範囲R 2に含まれる作動点P 2（第2作動点）を設計点として設定される。作動点P 2は、機体が離陸して巡航点に向かって上昇している状態又は機体が巡航点から着陸するために下降している状態の作動点である。ゲインK 3は、範囲R 3に対応するゲインである。ゲインK 3は、範囲R 3に含まれる巡航状態の作動点P 3を設計点として設定される。ゲインK 4は、範囲R 4に対応するゲインである。ゲインK 4は、範囲R 4に含まれる高空低速の作動点P 4を設計点として設定される。つまり、ゲインK 1～K 4は、それぞれ別の作動点を設計点として設計され、それぞれ別の範囲に割り当てられる。

[0033] ゲイン決定部3 3は、ゲイン記憶部3 2に記憶されている複数のゲインに基づいて、設定作動点における設定ゲインK（k）を決定する。設定作動点は、ガスタービンエンジン1 0が動作している作動点、つまり現在の作動点である。ゲイン決定部3 3は、ゲイン記憶部3 2に記憶されているマップを参照し、設定作動点がいずれの範囲に含まれるかを判定し、設定作動点が含まれる範囲に基づいて設定ゲインK（k）を決定する。

[0034] 図4の例では、ゲイン決定部3 3は、例えば、作動点P 1を含む範囲R 1に設定作動点が含まれる場合には、ゲインK 1を設定ゲインK（k）とする。ゲイン決定部3 3は、例えば、作動点P 2を含む範囲R 2に設定作動点が含まれる場合には、ゲインK 2を設定ゲインK（k）とする。ゲイン決定部3 3は、例えば、作動点P 3を含む範囲R 3に設定作動点が含まれる場合には、ゲインK 3を設定ゲインK（k）とする。ゲイン決定部3 3は、例えば、作動点P 4を含む範囲R 4に設定作動点が含まれる場合には、ゲインK 4を設定ゲインK（k）とする。

- [0035] ゲイン決定部33は、ガスタービンエンジン10のエンジン動作条件が変更されることによって、設定作動点がある範囲から異なる範囲に移動した場合（隣り合う範囲間の境界を越えた場合）には、設定ゲイン $K(k)$ を徐々に切り替える。ゲイン決定部33は、例えば、1時刻前に設定作動点が含まれていた範囲を記憶しておき、時刻 $k$ において設定作動点が含まれる範囲と、時刻 $k-1$ において設定作動点が含まれていた範囲とが異なる場合に、設定作動点が2つの範囲間を移動したと判定する。
- [0036] ゲイン決定部33は、例えば、設定作動点が範囲R1から範囲R2に移動した場合には、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K1$ からゲイン $K2$ に徐々に切り替える。このとき、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K1$ からゲイン $K2$ まで切替時間 $T_s$ を掛けて連続的（段階的）に変更する。設定ゲイン $K(k)$ の切替処理において、単位時間ごとの設定ゲイン $K(k)$ の変化量が、性能推定装置30における推定を発散させない程度となるように、切替時間 $T_s$ は設定される。つまり、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ を切り替える際にゲイン補間を行い、それ以外では固定値を設定ゲイン $K(k)$ とする。ゲイン決定部33は、決定した設定ゲイン $K(k)$ を補正部34に出力する。設定ゲイン $K(k)$ の決定処理の詳細は後述する。
- [0037] 補正部34は、誤差算出部31によって算出された誤差 $e(k)$ とゲイン決定部33によって決定された設定ゲイン $K(k)$ とに基づいて、推定部35に事前推定値 $x_{h-}(k)$ を補正させるための補正值を生成する。事前推定値 $x_{h-}(k)$ は、状態推定値 $x_h(k)$ の推定誤差を補正する前の推定値である。具体的には、補正部34は、誤差 $e(k)$ が小さくなるように、補正值を生成する。補正部34は、誤差 $e(k)$ と設定ゲイン $K(k)$ とを乗算し、その乗算結果を補正值として推定部35に出力する。
- [0038] 推定部35は、ガスタービンエンジン10の非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値 $u(k)$ 及び補正值に基づいて、状態推定値 $x_h(k)$ 、及びセンサ推定値 $y_h(k)$ を算出する。推定部35は、算出したセンサ推定値 $y_h(k)$ を誤差算出部31に出力し、算出した状態推定値 $x_h(k)$

を性能推定装置 30（制御装置 2）の外部に出力する。

[0039] 図 5 は、推定部 35 の構成例を示す図である。図 5 に示されるように、推定部 35 は、時間更新部 51 と、推定値更新部 52 と、推定値更新部 53 と、遅延部 54 と、を備えている。

[0040] 時間更新部 51 は、制御入力値  $u(k)$  と、遅延部 54 から出力された 1 時刻前の状態推定値  $x_h(k-1)$  と、に基づいて、事前推定値  $x_h^-(k)$  を算出する。具体的には、時間更新部 51 は、非線形関数  $f$  を用い、式 (1) によって事前推定値  $x_h^-(k)$  を算出する。時間更新部 51 は、算出した事前推定値  $x_h^-(k)$  を推定値更新部 52 及び推定値更新部 53 に出力する。

[数1]

$$x_h^-(k) = f(x_h(k-1), u(k)) \quad \dots \quad (1)$$

[0041] 推定値更新部 52 は、時間更新部 51 から出力された事前推定値  $x_h^-(k)$  に基づいて、センサ推定値  $y_h(k)$  を算出する。具体的には、推定値更新部 52 は、非線形関数  $g$  を用い、式 (2) によってセンサ推定値  $y_h(k)$  を算出する。推定値更新部 52 は、算出したセンサ推定値  $y_h(k)$  を誤差算出部 31 に出力する。

[数2]

$$y_h(k) = g(x_h^-(k)) \quad \dots \quad (2)$$

[0042] 推定値更新部 53 は、時間更新部 51 から出力された事前推定値  $x_h^-(k)$  と、補正部 34 から出力された補正值とに基づいて、状態推定値  $x_h(k)$  を算出する。具体的には、推定値更新部 53 は加算器であり、式 (3) に示されるように、事前推定値  $x_h^-(k)$  と補正值とを加算し、その加算結果を状態推定値  $x_h(k)$  として算出する。推定値更新部 53 は、算出した状態推定値  $x_h(k)$  を遅延部 54 及び外部に出力する。

[数3]

$$x_h(k) = x_h^-(k) + K(k) \times e(k) = x_h^-(k) + K(k) \times (y(k) - y_h(k)) \quad \dots \quad (3)$$

[0043] 遅延部 54 は、推定値更新部 53 から出力された状態推定値  $x_h(k)$  を単

位時間だけ遅延させ、次の時刻における推定に対し、状態推定値  $x_n(k-1)$  として時間更新部 51 に出力する。

[0044] ここで、図 4 及び図 6 を用いて、ゲイン決定処理を詳細に説明する。図 6 の (a) ~ (d) は、設定作動点及び設定ゲインの時間変化の一例を示す図であり、図 6 の (a) は高度の時間変化の一例を示す図、図 6 の (b) は機速の時間変化の一例を示す図、図 6 の (c) は P L A の時間変化の一例を示す図、図 6 の (d) は設定ゲインの時間変化の一例を示す図である。各図の横軸は時間を示し、縦軸は作動点（高度、機速、及び P L A）及び設定ゲインの値を示している。図 4 の運用パターン F に示されるように、航空機が離陸して巡航点まで上昇する場合を例にして説明する。

[0045] まず、航空機の停止状態では、高度、機速及び P L A はいずれも 0 である（作動点 P 1）。このため、設定作動点は範囲 R 1 に含まれるので、ゲイン決定部 33 は、ゲイン K 1 を設定ゲイン  $K(k)$  として決定する。時刻 0 において航空機が動作を開始すると、機速が次第に大きくなり、航空機が離陸すると、P L A が増加するとともに高度が高くなる。そして、航空機が上昇を続け、高度、機速及び P L A が増加し続ける。そして、時刻  $k_1$  において設定作動点が範囲 R 1 と範囲 R 2 との境界（ゲイン切替点 P s 1）に達する。したがって、時刻 0 ~  $k_1$  では、設定作動点は範囲 R 1 内に留まっているので、ゲイン決定部 33 は、設定ゲイン  $K(k)$  をゲイン K 1 で維持する。

[0046] 時刻  $k_1$  において設定作動点がゲイン切替点 P s 1 に達すると、時刻  $k_1$  ~  $k_2$  では、ゲイン決定部 33 は、設定ゲイン  $K(k)$  をゲイン K 1 からゲイン K 2 まで切替時間  $T_s$  を掛けて連続的（段階的）に変更する。時刻  $k_2$  は、時刻  $k_1$  に切替時間  $T_s$  を加えた時刻である。ゲイン決定部 33 は、例えば、式 (4) を用いて、設定ゲイン  $K(k)$  を算出する。性能推定装置 30 は、式 (4) を用いて単位時間ごとに設定ゲイン  $K(k)$  を更新するので、単位時間では、設定ゲイン  $K(k)$  の変化量は  $(K_2 - K_1) / T_s$  となる。設定ゲイン  $K(k)$  の変化量によって性能推定装置 30 における推定が発散しないように、切替時間  $T_s$  は設定されている。

[数4]

$$K(k) = K1 + (K2 - K1) \times \frac{k - k1}{Ts} \quad \dots \quad (4)$$

[0047] そして、PLAが調整されながら、航空機がさらに上昇を続け、高度及び機速は増加し続ける。そして、時刻 $k_3$ において設定作動点が範囲 $R_2$ と範囲 $R_3$ との境界（ゲイン切替点 $P_{s2}$ ）に達する。したがって、時刻 $k_1 \sim k_3$ では、設定作動点は範囲 $R_2$ 内に留まっており、時刻 $k_2$ において設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K_1$ からゲイン $K_2$ に切り替える処理が完了するので、時刻 $k_2 \sim k_3$ では、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K_2$ で維持する。

[0048] 時刻 $k_3$ において設定作動点がゲイン切替点 $P_{s2}$ に達すると、時刻 $k_3 \sim k_4$ では、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K_2$ からゲイン $K_3$ まで切替時間 $T_s$ を掛けて連続的（段階的）に変更する。時刻 $k_4$ は、時刻 $k_3$ に切替時間 $T_s$ を加えた時刻である。ゲイン決定部33は、例えば、式（5）を用いて、設定ゲイン $K(k)$ を算出する。性能推定装置30は、式（5）を用いて単位時間ごとに設定ゲイン $K(k)$ を更新するので、単位時間では、設定ゲイン $K(k)$ の変化量は $(K_3 - K_2) / T_s$ となる。設定ゲイン $K(k)$ の変化量によって性能推定装置30における推定が発散しないように、切替時間 $T_s$ は設定されている。

[数5]

$$K(k) = K2 + (K3 - K2) \times \frac{k - k3}{Ts} \quad \dots \quad (5)$$

[0049] そして、PLAが調整されながら、航空機がさらに上昇を続け、高度及び機速は増加し続ける。そして、設定作動点が巡航点（作動点 $P_3$ ）に達する。巡航点では、高度、機速及びPLAは略一定である。したがって、時刻 $k_3$ 以降では、設定作動点は範囲 $R_3$ 内に留まっており、時刻 $k_4$ において設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K_2$ からゲイン $K_3$ に切り替える処理が完了するので、時刻 $k_4$ 以降では、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K_3$ で維持する。

[0050] このように、ゲイン決定部33は、設定作動点が、作動範囲Rにおいてゲインに対して設定されている範囲を超えた場合には、設定ゲイン $K(k)$ を設定されているゲインから新たなゲインまで切替時間 $T_s$ で徐々に変化させる。それ以外では、ゲイン決定部33は、設定作動点が属する範囲に対応するゲインを設定ゲイン $K(k)$ として決定する。また、ゲイン決定部33は、設定ゲイン $K(k)$ の切り替えを開始した時刻、つまり、設定作動点が範囲の境界を越えた時刻（時刻 $k_1$ ,  $k_3$ ）を記憶しておき、設定ゲイン $K(k)$ の切り替えを開始した時刻から切替時間 $T_s$ を経過していない場合には、切替処理を継続することとしてもよい。なお、航空機が巡航点から下降して地上に着陸する場合も同様に、設定ゲイン $K(k)$ が決定される。

[0051] 次に、図7を参照して、性能推定装置30が行う性能推定方法の一連の処理を説明する。図7は、性能推定装置30が行う性能推定方法の一連の処理を示すフローチャートである。図7に示される処理は、単位時間ごとに繰り返し行われる。ここでは、ある時刻 $k$ における処理を説明する。この性能推定方法は、状態推定値 $x_h(k)$ を出力するための方法である。

[0052] まず、機体から設定作動点が出力され、制御装置2がその設定作動点を受信する。受信した設定作動点は、エンジン制御器20及び性能推定装置30それぞれに入力される。性能推定装置30では、ゲイン決定部33が設定作動点を受信する（ステップS01）。また、エンジン制御器20は、設定作動点を受信すると、設定作動点に基づいて制御入力値 $u(k)$ を決定する。そして、エンジン制御器20は、制御入力値 $u(k)$ をガスタービンエンジン10及び性能推定装置30に出力する。

[0053] そして、性能推定装置30では、推定部35が、制御入力値 $u(k)$ を受信する（ステップS02）。また、ガスタービンエンジン10は、エンジン制御器20から出力された制御入力値 $u(k)$ を入力し、ガスタービンエンジン10に設けられているセンサによって計測されたセンサ計測値 $y(k)$ を性能推定装置30に出力する。そして、性能推定装置30の誤差算出部31は、センサ計測値 $y(k)$ を受信する（ステップS03）。

- [0054] 続いて、推定部35は、ガスタービンエンジン10の非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値 $u(k)$ に基づいて、センサ推定値 $y_h(k)$ を算出する（ステップS04）。ステップS04の処理を具体的に説明する。まず、推定部35の時間更新部51は、制御入力値 $u(k)$ と、遅延部54から出力された状態推定値 $x_h(k-1)$ と、を用いて、式（1）によって事前推定値 $x_{h-}(k)$ を算出する。そして、時間更新部51は、算出した事前推定値 $x_{h-}(k)$ を推定値更新部52及び推定値更新部53に出力する。そして、推定値更新部52は、時間更新部51から出力された事前推定値 $x_{h-}(k)$ を用いて、式（2）によってセンサ推定値 $y_h(k)$ を算出する。そして、推定値更新部52は、算出したセンサ推定値 $y_h(k)$ を誤差算出部31に出力する。
- [0055] 続いて、誤差算出部31は、センサ計測値 $y(k)$ とセンサ推定値 $y_h(k)$ との誤差 $e(k)$ を算出する（ステップS05）。具体的には、誤差算出部31は、センサ計測値 $y(k)$ からセンサ推定値 $y_h(k)$ を減算し、その減算結果を誤差 $e(k)$ として補正部34に出力する。
- [0056] 続いて、ゲイン決定部33は、設定作動点に基づいて、設定ゲイン $K(k)$ を決定する（ステップS06）。ステップS06の処理を具体的に説明する。まず、ゲイン決定部33は、ゲイン記憶部32に記憶されているマップを参照し、設定作動点がいずれの範囲（図4の例では、範囲R1～R4）に含まれるかを判定する。このとき、ゲイン決定部33は、時刻 $k-1$ から時刻 $k$ の間に、設定作動点が2つの範囲間を移動したか否か（隣り合う2つの範囲の境界を越えたか否か）を判定する。ゲイン決定部33は、例えば、1時刻前に設定作動点が含まれていた範囲を記憶しておき、時刻 $k$ において設定作動点が含まれる範囲と、時刻 $k-1$ において設定作動点が含まれていた範囲とが異なる場合に、設定作動点が境界を越えて2つの範囲間を移動したと判定する。
- [0057] そして、ゲイン決定部33は、例えば、設定作動点が範囲R1から範囲R2に移動した場合には、式（4）によって、設定ゲイン $K(k)$ をゲイン $K1$

からゲイン $K_2$ に切替時間 $T_s$ を掛けて徐々に切り替える。一方、ゲイン決定部33は、設定作動点が2つの範囲間を移動していないと判定した場合、前回設定ゲイン $K(k)$ の切り替えを開始した時刻から切替時間 $T_s$ が経過しているか否かを判定する。ゲイン決定部33は、切替時間 $T_s$ が経過していないと判定した場合には、設定ゲイン $K(k)$ の切替処理を継続する。一方、ゲイン決定部33は、切替時間 $T_s$ が経過していると判定した場合には、設定作動点が含まれる範囲に対応付けられたゲインを設定ゲイン $K(k)$ として決定する（つまり、設定ゲイン $K(k)$ を変更しない）。そして、ゲイン決定部33は、決定した設定ゲイン $K(k)$ を補正部34に出力する。

[0058] 続いて、補正部34は、誤差算出部31によって算出された誤差 $e(k)$ とゲイン決定部33によって決定された設定ゲイン $K(k)$ とに基づいて、補正值を生成する（ステップS07）。具体的には、補正部34は、誤差 $e(k)$ と設定ゲイン $K(k)$ とを乗算し、その乗算結果 $K(k) \times e(k)$ を補正值として推定部35に出力する。

[0059] 続いて、推定部35は、ガスタービンエンジン10の非線形シミュレーションモデルを用いて、制御入力値 $u(k)$ 及び補正值に基づいて、状態推定値 $x_h(k)$ を算出する（ステップS08）。具体的には、推定部35の推定値更新部53が、式（3）に示されるように、事前推定値 $x_{h-}(k)$ と補正值とを加算し、その加算結果を状態推定値 $x_h(k)$ として算出する。そして、推定値更新部53は、算出した状態推定値 $x_h(k)$ を外部及び遅延部54に出力する（ステップS09）。以上のようにして、時刻 $k$ における性能推定方法の一連の処理が終了する。

[0060] 以上説明したように、性能推定装置30では、ガスタービンエンジン10の非線形シミュレーションモデルを用いて、状態推定値 $x_h(k)$ 及びセンサ推定値 $y_h(k)$ が算出される。この状態推定値 $x_h(k)$ 及びセンサ推定値 $y_h(k)$ は、センサ推定値 $y_h(k)$ 及びセンサ計測値 $y(k)$ の誤差 $e(k)$ と設定作動点における設定ゲイン $K(k)$ とに基づいて生成された補正值、並びに制御入力値 $u(k)$ に基づいて、算出される。設定ゲイン $K(k)$ は

、予め設定された複数のゲイン（図4の例では、ゲイン $K_1 \sim K_4$ ）に基づいて決定される。このように、複数の作動点におけるゲインに基づいて、設定ゲイン $K(k)$ が決定されるので、全作動点の作動範囲 $R$ を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、1つのゲインで対応する作動点の範囲（図4の例では、範囲 $R_1 \sim R_4$ ）が狭くなる。このため、全作動点の作動範囲 $R$ を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、各範囲において、推定の安定性を向上させつつ、速応性を向上させるように各ゲイン（ゲイン $K_1 \sim K_4$ ）を設定することが可能となる。これらの複数のゲインに基づいて、設定ゲイン $K(k)$ が決定されることから、全作動点の作動範囲 $R$ を1つの固定ゲインで対応する場合と比較して、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立することが可能となる。

[0061] また、設定作動点が含まれる範囲（範囲 $R_1 \sim R_4$ ）に応じて、ゲイン記憶部32に記憶されているゲイン $K_1 \sim K_4$ が設定ゲイン $K(k)$ として用いられる。このため、ゲイン記憶部32からゲイン $K_1 \sim K_4$ のいずれかを取得して設定ゲイン $K(k)$ とすればよいので、設定ゲイン $K(k)$ の計算負荷を軽減することが可能となる。

[0062] 設定ゲイン $K(k)$ を急に切り替えると、補正値が大きく変化することがある。この場合、センサ推定値 $y_h(k)$ が大きく変化するので、誤差 $e(k)$ が大きく変化し、これにより補正値がさらに大きく変化する。このような動作が繰り返され、性能推定装置30の推定が発散するおそれがある。これに対して、設定ゲイン $K(k)$ を徐々に切り替えることにより、設定ゲイン $K(k)$ の切り替えによる補正値の変化を抑えることができ、性能推定装置30における推定が発散する可能性を低減することが可能となる。なお、航空機用のガスタービンエンジン等では、運用パターンがある程度決まっており、設定ゲイン $K(k)$ の切り替え頻度は高くない。図4に示される例では、1回のフライトで、設定ゲイン $K(k)$ は4回切り替えられるだけである。また、設定作動点に対応するゲインを逐次計算する計算負荷よりも、設定ゲイン $K(k)$ の切替処理の計算負荷の方が低い。このため、設定ゲイン $K(k)$ を徐々に切

り替えたとしても、設定ゲイン $K(k)$ の計算負荷を軽減することが可能となる。

[0063] 以上、本開示の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、上記実施形態では、対象装置の一例としてガスタービンエンジンが用いられているがこれに限られない。対象装置は、制御入力値 $u(k)$ に対して非線形な動作を行う装置であって、制御入力値 $u(k)$ を入力とし、センサ計測値 $y(k)$ 及び状態量 $x(k)$ を出力とする非線形シミュレーションモデルで表現し得る装置であればよい。

[0064] また、上記実施形態では、性能推定装置30は、カルマンフィルタを用いて、ガスタービンエンジン10（対象装置）の状態量 $x(k)$ を推定しているが、これに限られない。状態量 $x(k)$ を推定するための手法は、対象装置の非線形シミュレーションモデルとゲインとを用いる状態推定手法であればよい。

[0065] また、切替時間 $T_s$ は、互いに隣接する領域に対応する2つのゲインの差分の大きさに応じて設定されてもよい。例えば、上述の式（4）の切替時間 $T_s$ と式（5）の切替時間 $T_s$ とは異なる値に設定されてもよい。

[0066] また、作動範囲 $R$ はエンジン動作条件の取り得る範囲に応じて適宜設定され得る。所望の作動点が、各ゲインの設計点として採用され得る。採用された作動点に応じて作動範囲 $R$ が分割され得る。つまり、作動範囲 $R$ は4つの範囲に限られず、2以上の任意の数の範囲に分割され得る。例えば、作動範囲 $R$ が2つの範囲 $R_1$ 及び範囲 $R_2$ に分割される場合、ゲイン記憶部32は、作動点 $P_1$ に対応するゲイン $K_1$ 、及び作動点 $P_2$ に対応するゲイン $K_2$ を記憶する。ゲイン決定部33は、ゲイン $K_1$ 及びゲイン $K_2$ に基づいて、設定ゲイン $K(k)$ を決定する。

[0067] また、図7のステップS06において、設定ゲイン $K(k)$ の切り替え処理を中断しないように、設定ゲイン $K(k)$ を決定してもよい。例えば、ゲイン決定部33は、まず前回設定ゲイン $K(k)$ の切り替えを開始した時刻から切替時間 $T_s$ が経過しているか否かを判定し、切替時間 $T_s$ が経過していな

いと判定した場合には、設定ゲイン $K(k)$ の切替処理を継続してもよい。一方、ゲイン決定部33は、切替時間 $T_s$ が経過していると判定した場合には、ゲイン記憶部32に記憶されているマップを参照し、設定作動点がいずれの範囲に含まれるかを判定するとともに、前回設定ゲイン $K(k)$ の切り替えを開始した時刻から時刻 $k$ の間に、設定作動点が2つの範囲間を移動したか否かを判定してもよい。そして、ゲイン決定部33は、設定作動点が2つの範囲間を移動した場合には、設定ゲイン $K(k)$ を移動元の範囲に対応付けられたゲインから移動先の範囲に対応付けられたゲインに切替時間 $T_s$ を掛けて徐々に切り替える一方、設定作動点が2つの範囲間を移動していないと判定した場合には、設定作動点が含まれる範囲に対応付けられたゲインを設定ゲイン $K(k)$ として決定してもよい。

### 産業上の利用可能性

[0068] 本開示の性能推定装置及び性能推定方法によれば、センサによる計測が不可能な状態量の推定における安定性と速応性とを両立できる。

### 符号の説明

[0069] 10 ガスタービンエンジン

30 性能推定装置

31 誤差算出部

32 ゲイン記憶部

33 ゲイン決定部

34 補正部

35 推定部

51 時間更新部

52 推定値更新部

53 推定値更新部

54 遅延部

e 誤差

K1 ゲイン

K 2 ゲイン

K 3 ゲイン

K 4 ゲイン

K 設定ゲイン

P 1 作動点

P 2 作動点

P 3 作動点

P 4 作動点

R 作動範囲

R 1 範囲

R 2 範囲

R 3 範囲

R 4 範囲

T s 切替時間

u 制御入力値

x 状態量

$x_h$  状態推定値

$x_{h-}$  事前推定値

y センサ計測値

$y_h$  センサ推定値

## 請求の範囲

[請求項1] 推定対象の装置である対象装置を制御するための制御入力値及び前記対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値に基づいて、センサによる計測が不可能な前記対象装置の状態量の推定値である状態推定値を出力する性能推定装置であって、

前記対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、前記状態推定値、及び前記センサ計測値の推定値であるセンサ推定値を算出する推定部と、

前記センサ推定値と前記センサ計測値との誤差を算出する誤差算出部と、

前記対象装置の1つの作動点である第1作動点に対応する第1ゲイン、及び前記対象装置の別の作動点である第2作動点に対応する第2ゲインを記憶するゲイン記憶部と、

前記第1ゲイン及び前記第2ゲインに基づいて、前記対象装置が動作している作動点である設定作動点における設定ゲインを決定するゲイン決定部と、

前記誤差と前記設定ゲインとに基づいて、補正値を生成する補正部と、

を備え、

前記推定部は、前記制御入力値及び前記補正値に基づいて、前記状態推定値及び前記センサ推定値を算出し、前記状態推定値を出力する、性能推定装置。

[請求項2] 前記ゲイン決定部は、前記第1作動点を含む前記作動点の範囲である第1範囲に前記設定作動点が含まれる場合には前記第1ゲインを前記設定ゲインとし、前記第2作動点を含む前記作動点の範囲である第2範囲に前記設定作動点が含まれる場合には前記第2ゲインを前記設定ゲインとする、請求項1に記載の性能推定装置。

[請求項3] 前記第1範囲と前記第2範囲とは互いに隣接しており、

前記ゲイン決定部は、前記設定作動点が前記第 1 範囲から前記第 2 範囲に移動した場合には、前記設定ゲインを前記第 1 ゲインから前記第 2 ゲインに徐々に切り替える、請求項 2 に記載の性能推定装置。

[請求項 4]

推定対象の装置である対象装置に設けられたセンサによる計測が不可能な状態量の推定値である状態推定値を出力する性能推定方法であって、

前記対象装置が動作している作動点である設定作動点を受信するステップと、

前記対象装置を制御するための制御入力値を受信するステップと、

前記対象装置に設けられたセンサによって計測されたセンサ計測値を受信するステップと、

前記対象装置の非線形シミュレーションモデルを用いて、前記制御入力値に基づいて、前記センサ計測値の推定値であるセンサ推定値を算出するステップと、

前記センサ推定値と前記センサ計測値との誤差を算出するステップと、

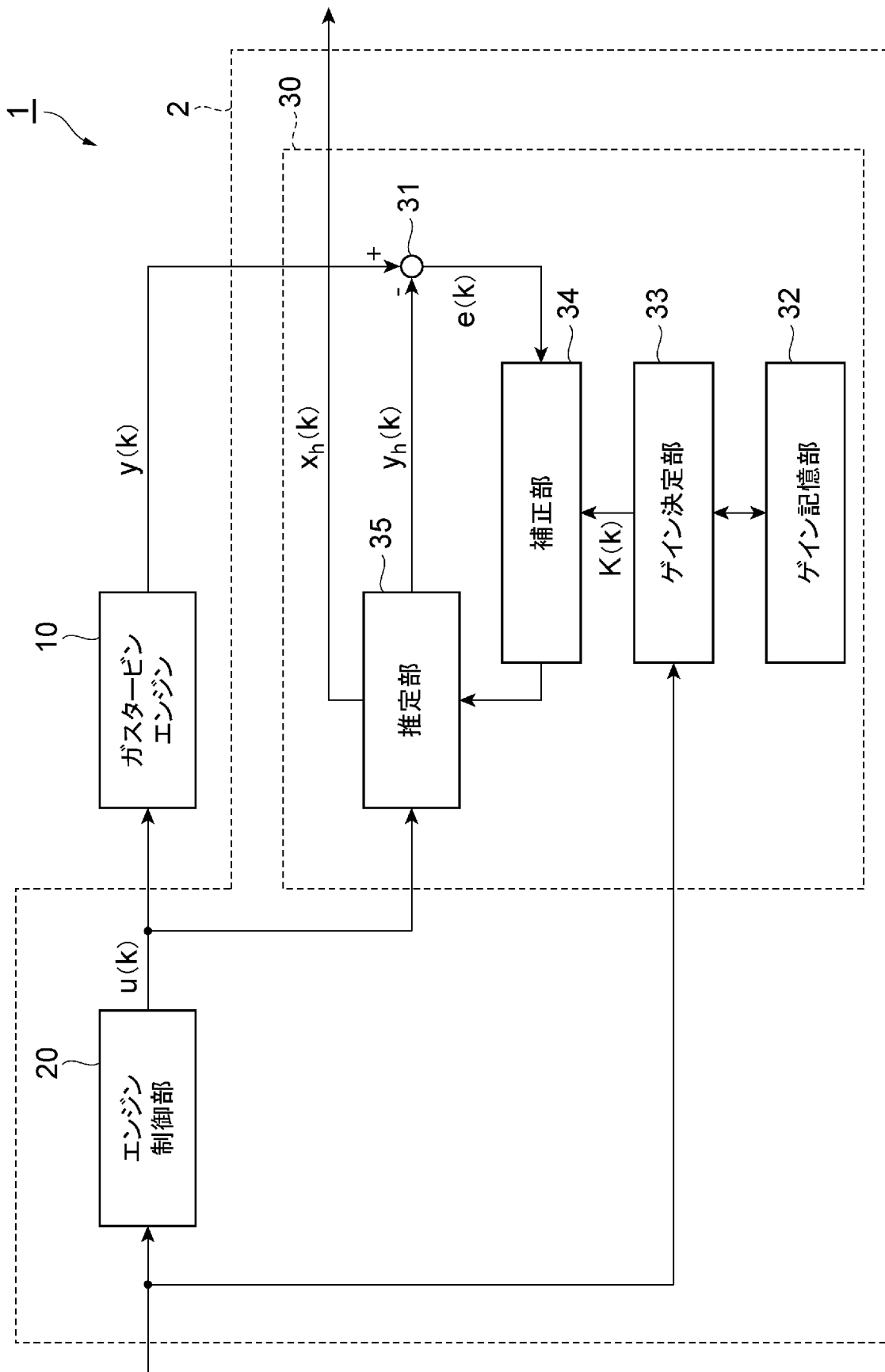
前記対象装置の 1 つの作動点である第 1 作動点に対応する第 1 ゲイン、及び前記対象装置の別の作動点である第 2 作動点に対応する第 2 ゲインに基づいて、前記設定作動点における設定ゲインを決定するステップと、

前記誤差と前記設定ゲインとに基づいて、補正値を生成するステップと、

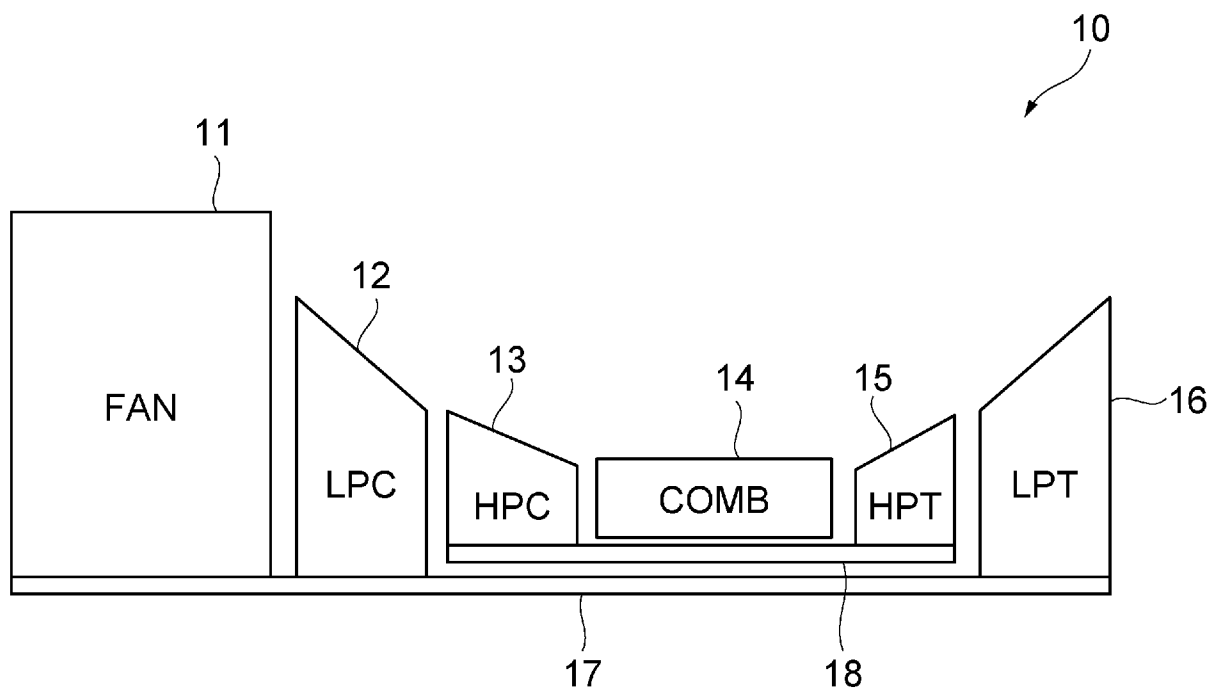
前記非線形シミュレーションモデルを用いて、前記制御入力値及び前記補正値に基づいて、前記状態推定値を算出するステップと、

前記状態推定値を出力するステップと、  
を含む、性能推定方法。

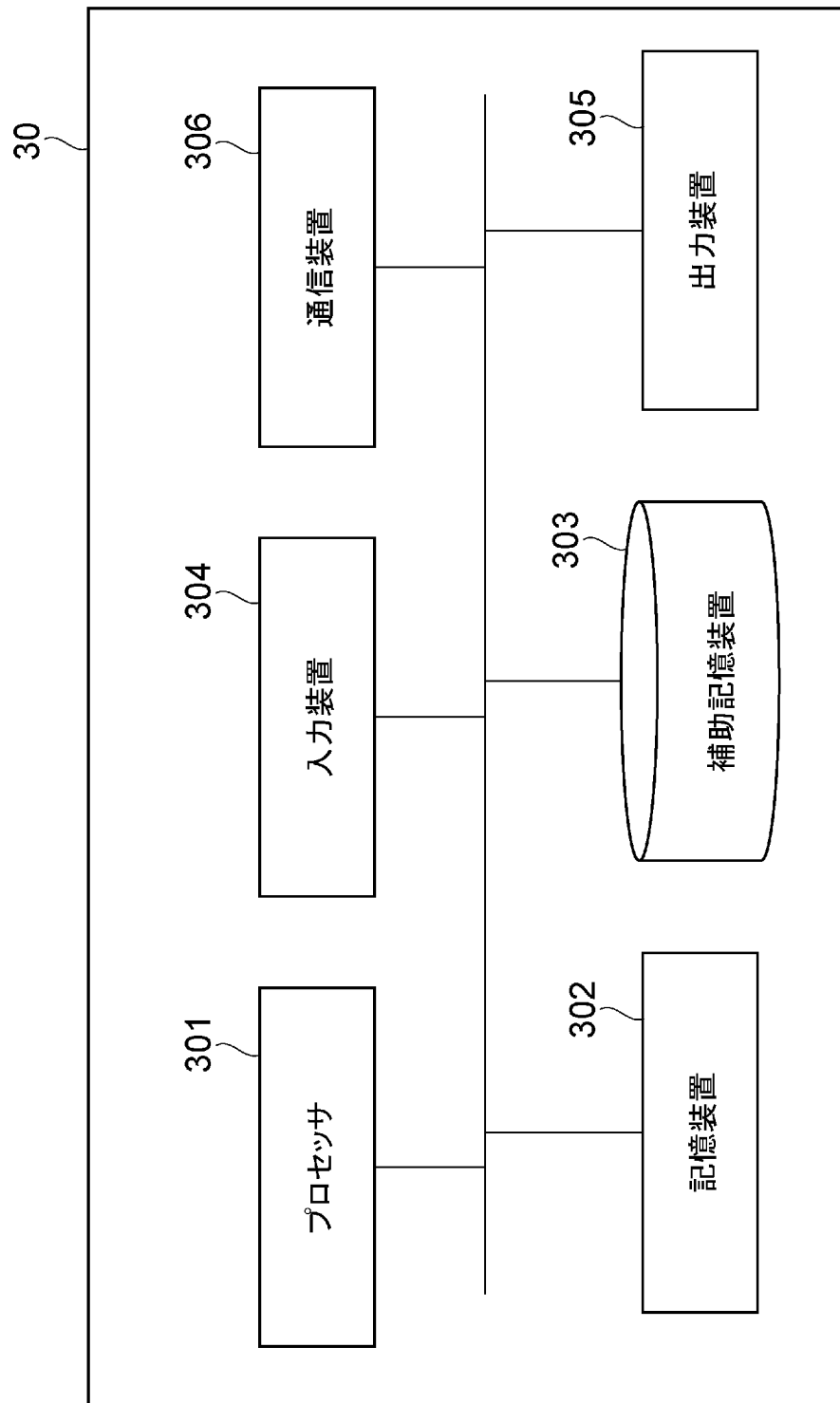
[図1]



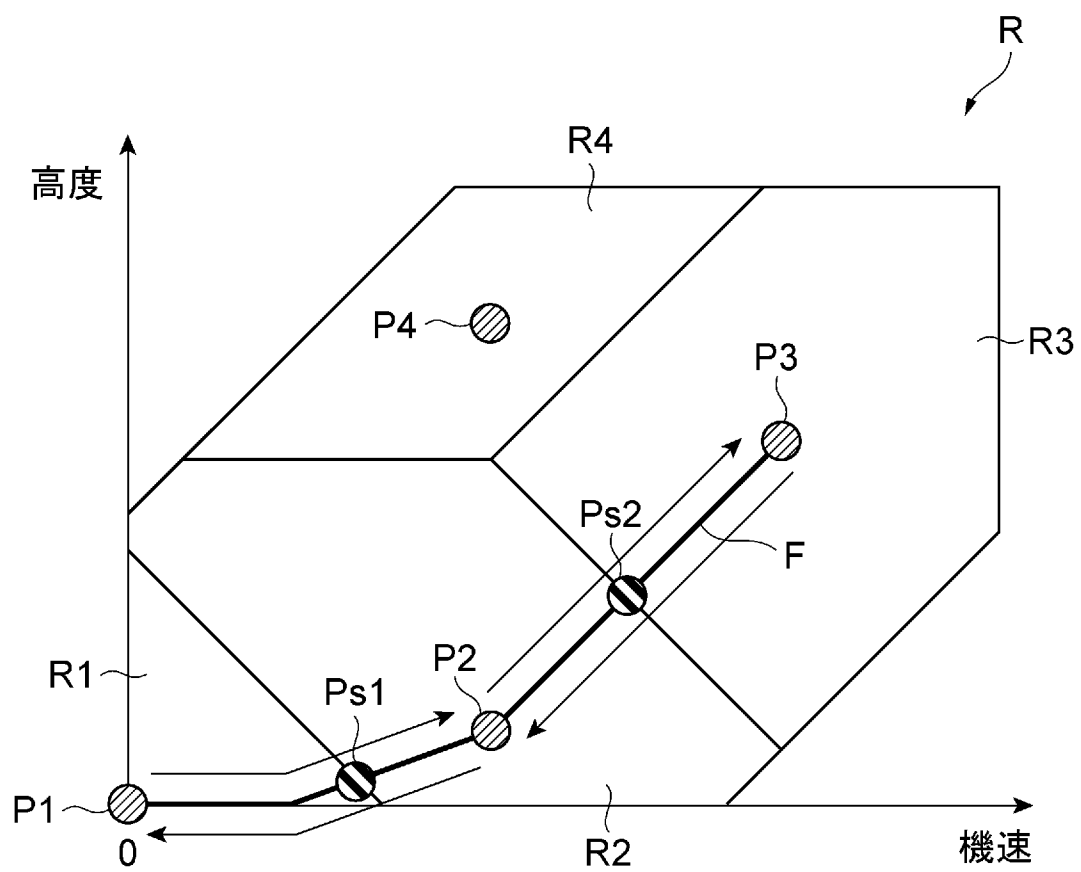
[図2]



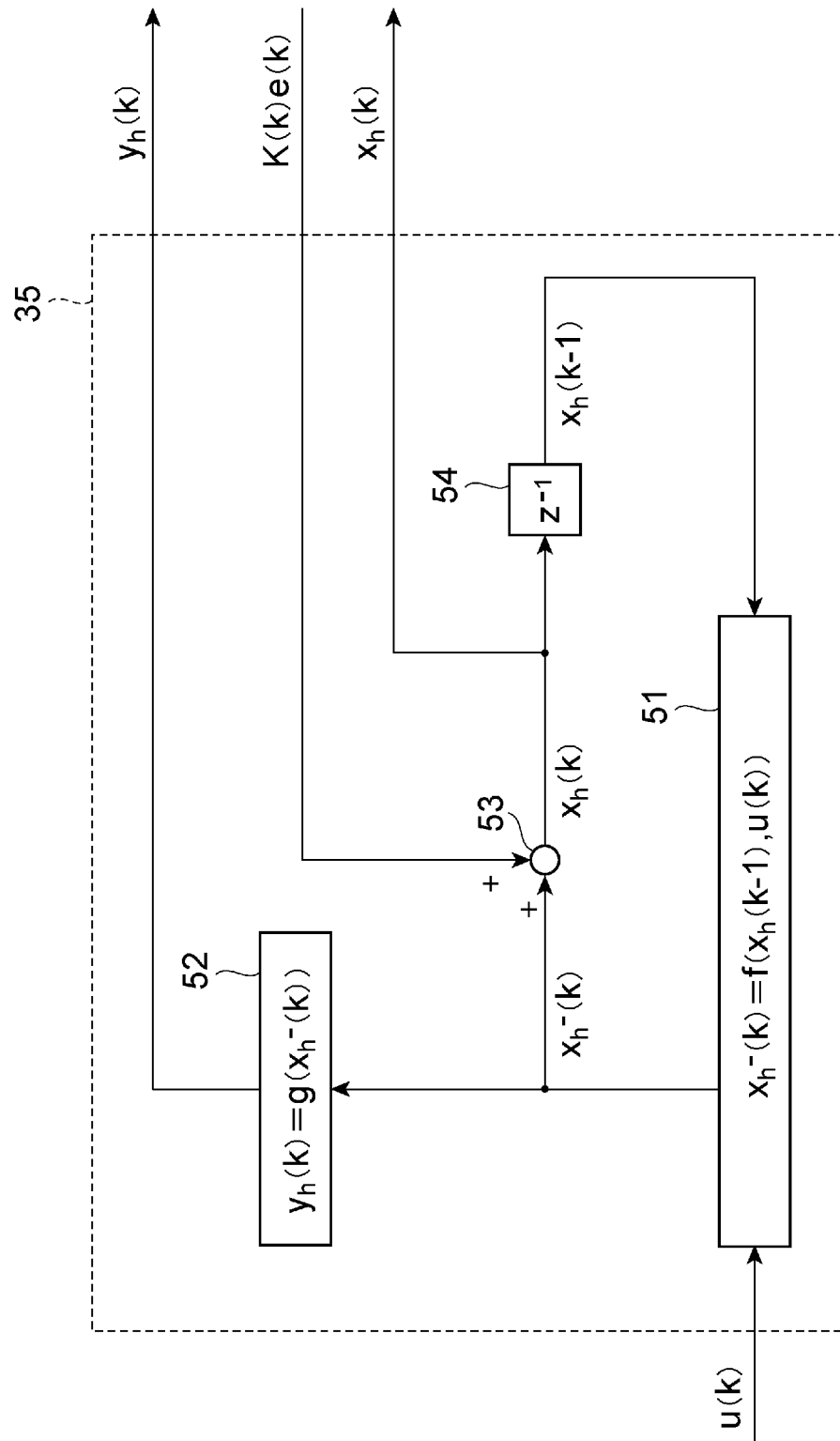
[図3]



[図4]

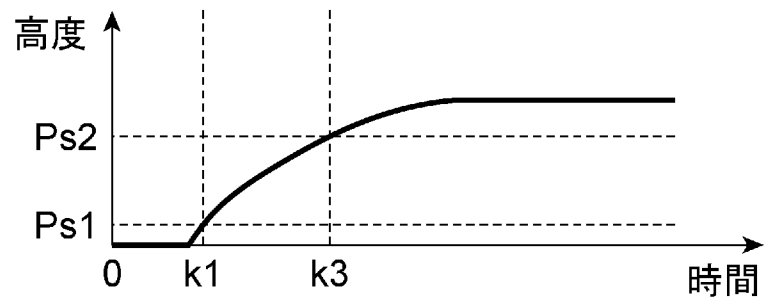


[図5]

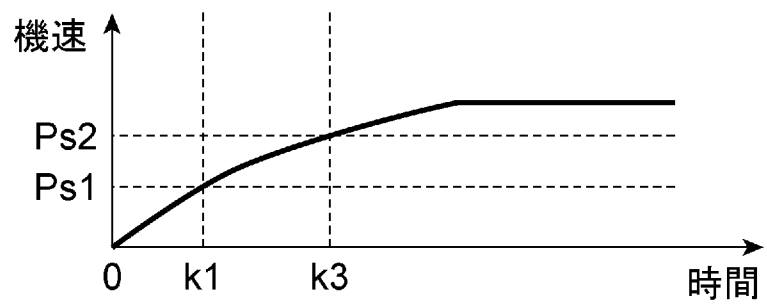


[図6]

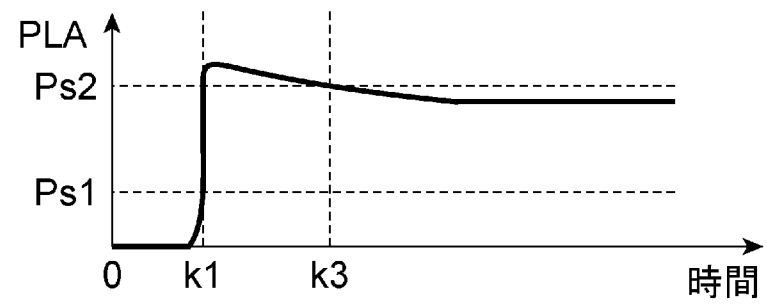
(a)



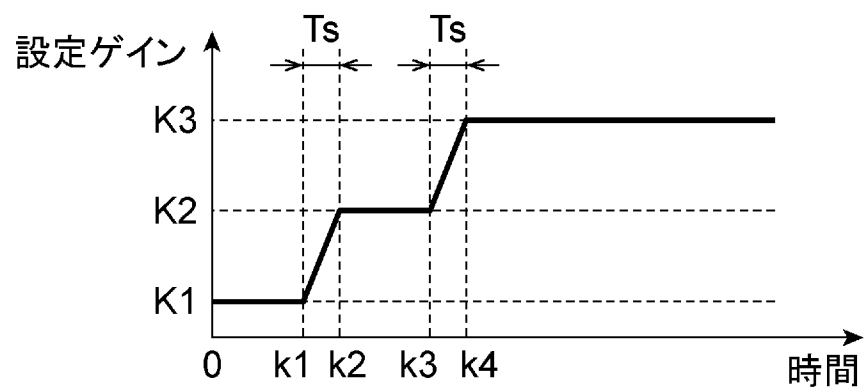
(b)



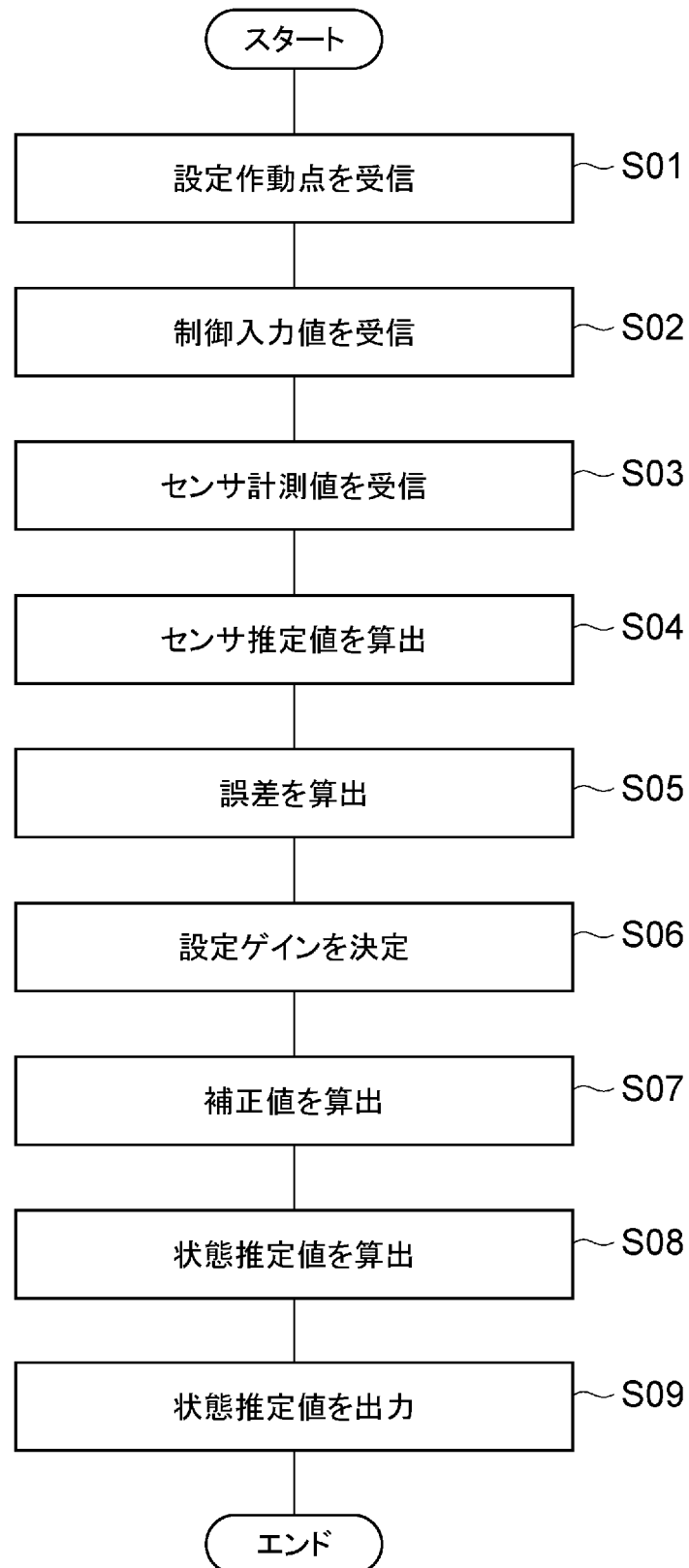
(c)



(d)



[図7]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015591

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B23/02(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F02C7/00(2006.01)i, F02C9/00(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, F02C9/00

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)

IEEE Xplore

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2009-68359 A (Japan Aerospace Exploration Agency),<br>02 April 2009 (02.04.2009),<br>claims 1 to 2; paragraphs [0010] to [0014]; fig. 1<br>(Family: none)                                                                                                                                                                                    | 1-4                   |
| Y         | Masafumi HAMAGUCHI, Takao TANIGUCHI, "Damping Control of Sloshing in a Liquid Container on a Cart with an Active Vibration Reducer of 6-DOF Parallel Linkage:-The Case of a Straight Path on Horizontal Plane-", Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 15 February 2015 (15.02.2015), vol.51, no.2, pages 101 to 109 | 1-4                   |

☒ 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 2017 (18.07.17)

Date of mailing of the international search report  
01 August 2017 (01.08.17)

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/JP2017/015591

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 2005-248946 A (General Electric Co.),<br>15 September 2005 (15.09.2005),<br>entire text; all drawings<br>& US 2005/0193739 A1 & EP 1571509 A1<br>& CA 2491208 A1                                                                                          | 1-4                   |
| A         | ZHANG, Mengting, LI, Xiuliang, LIU, Jia, SU,<br>Hongye, SONG, Jian, "A Digital Dual-Mode LQR<br>Optimal Controller for Boost Converter over a<br>Wide Operation Range", Proceedings of the 35th<br>Chinese Control Conference, 2016.07.27, p.5890-<br>p.5895 | 1-4                   |

## 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, F02C9/00(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, F02C9/00

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）

IEEE Xplore

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 2009-68359 A（独立行政法人 宇宙航空研究開発機構）<br>2009.04.02, [請求項1]-[請求項2], 段落[0010]-[0014], [図1]（ファミリーなし）                          | 1-4            |
| Y               | 浜口 雅史, 谷口 隆雄, “6自由度パラレルリンク型アクティブ吸振器付き搬送台車による液体タンクの制振制御—水平な直線路走行の場合—”, 計測自動制御学会論文集, 2015.02.15, Vol.51, No.2, p.101-p.109 | 1-4            |

☑ 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

18.07.2017

国際調査報告の発送日

01.08.2017

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）

藤島 孝太郎

3U

5367

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<br>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<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 2005-248946 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー)<br>2005.09.15, 全文, 全図 & US 2005/0193739 A1 & EP 1571509 A1 & CA<br>2491208 A1                                                                                                                                   | 1-4            |
| A                     | ZHANG, Mengting, LI, Xiuliang, LIU, Jia, SU, Hongye, SONG, Jian,<br>"A Digital Dual-Mode LQR Optimal Controller for Boost Converter<br>over a Wide Operation Range", Proceedings of the 35th Chinese<br>Control Conference, 2016.07.27, p.5890-p.5895 | 1-4            |