(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9月20日(20.09.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/168230 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 13/04 (2006.01) *H02P 29/00* (2016.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/002926

(22) 国際出願日： 2018年1月30日(30.01.2018)

(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 2017-047857 2017年3月13日(13.03.2017) JP

(71) 出願人: オムロン株式会社 (**OMRON CORPORATION**) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 浦邊 研太郎 (**URABE, Kentaro**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 恵木 守(**EGI, Mamoru**); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町８０１番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人:関根 武彦, 外(**SEKINE, Takehiko** et al.); 〒1030004 東京都中央区東日本橋三丁目４番１０号 アクロポリス２１ビル８階 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,

(54) **Title:** PROCESSING DEVICE, CONTROL PARAMETER DETERMINATION METHOD, AND CONTROL PARAMETER DETERMINATION PROGRAM

(54) 発明の名称： 処理装置、制御パラメータ決定方法、及び制御パラメータ決定プログラム

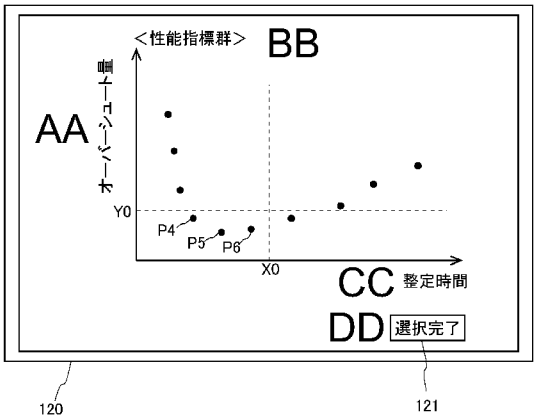


FIG. 9:
AA Overshoot
BB Performance index group
CC Settling time
DD Complete selection

(57) **Abstract:** Provided is a processing device comprising a simulation system which includes a prescribed feedback system provided with at least (as a feedforward element) a model control unit which is obtained by modeling a controller of a motor control device and a prescribed control block structure which corresponds to a prescribed device-side configuration including a control subject. A computation is made, by convolution integral processing, of a time response of the prescribed device-side configuration with regard to a prescribed input value, using impulse response information for computation which relates to the prescribed device-side configuration and the prescribed input value, and simulation of the simulation system is carried out using the time response thus computed. By changing a model control parameter which is set in the model control unit and thus carrying out the simulation, a correlation is computed between the model control parameter and a prescribed performance index, which is based on a response result of the simulation system, and a determination

WO 2018/168230 A1

[続葉有]

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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))

is made of a device control parameter on the basis of said correlation. It is possible by this configuration to determine efficiently and with good precision a device control parameter of a motor control device in a control system.

(57) 要約:前向き要素として、モータ制御装置が有する制御器をモデル化したモデル制御部と、制御対象を含む所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造を少なくとも有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系を備える処理装置において、所定の入力値に対する所定の装置側構成の時間応答を、所定の装置側構成に関する算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出し、その算出された時間応答を用いて、シミュレーション系のシミュレーションを行う。そして、モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて該シミュレーションを行うことで、シミュレーション系の応答結果に基づく所定の性能指標とモデル制御パラメータとの相関を算出し、その相関に基づいて装置制御パラメータを決定する。この構成により、制御システムにおけるモータ制御装置の装置制御パラメータを精度良く且つ効率的に決定できる。

明　細　書

発明の名称 ：

処理装置、制御パラメータ決定方法、及び制御パラメータ決定プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する技術に関する。

背景技術

[0002] サーボ機構においては、一般的に、負荷装置を駆動するためのモータを適切に制御するために、モータを制御するサーボドライバの制御パラメータ（位置ゲイン、速度ゲイン、フィルタのカットオフ周波数等）の調整が行われる。そして、このような制御パラメータの調整方法としては、モータや負荷装置を実際に駆動することにより行われる方法が例示できる。当該調整方法では、サーボドライバ等のモータ制御装置に制御パラメータを設定するとともに、その制御パラメータに応じた負荷装置の応答を計測し、当該制御パラメータの適否が判断される。

[0003] また上記のように実際の負荷装置を駆動させながらパラメータを調整する形態に代えて、負荷装置の応答に関するシミュレーション結果に基づき制御パラメータを決定する手法が例示できる。例えば、特許文献１に示すように、サーボドライバ及び負荷装置の物理モデルを使用し、制御パラメータを設定して繰り返しシミュレーションを行う。そして、シミュレーション結果として得られる応答結果に基づいて最終的に設定される制御パラメータが決定される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２００９－１２２７７９号公報

特許文献2：特開２００６－３４０４８０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] モータ制御装置においてモータを駆動させるための制御パラメータを決定する際に、従来のように実際にモータや負荷装置等を含む制御対象を駆動させてその応答を計測する場合、制御パラメータを設定する度に、モータの駆動及び応答の計測を実行しなければならず、制御パラメータの決定に時間を要することになる。更に、実際の制御対象を駆動させることに起因して、調整の際に設定した制御パラメータが不適切であった場合に、制御対象が想定外の動作を行い損傷してしまう恐れもある。

[0006] 一方で、制御パラメータの調整に際して従来のように物理モデルを使用してシミュレーションを行う場合でも、シミュレーションの結果が物理モデルの形や次数に拘束されるため、想定する物理モデルの形と実際の制御対象の特性に差異があると、シミュレーションの精度が低下する恐れがある。換言すれば、シミュレーションの精度を向上させるためには、物理モデルを実際の制御対象の特性に擦り合せる必要があり、制御パラメータの調整に関しユーザに過度の負担を負わせることになる。また、シミュレーション結果を利用して制御パラメータを決定するにしても、シミュレーションを繰り返し実行する必要があり、好適な制御パラメータの決定のためには、相応の負担がユーザに要求されることになる。

[0007] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムにおける該モータ制御装置の装置制御パラメータを、精度良く且つ効率的に決定する技術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] 本発明においては、上記課題を解決するために、制御システムに関するシミュレーション結果からモータ制御装置に関する所定の性能指標を算出し、その所定の性能指標を利用してモータ制御装置の装置制御パラメータを決定するとともに、そのシミュレーションの演算の一部に、制御対象を含む所定

の装置側構成に関するインパルス応答情報を利用して当該所定の装置側構成の時間応答を算出することとした。このような構成により、実際の制御対象の特性に応じた、精度の高いシミュレーション結果に基づいて算出される所定の性能指標を介することで、ユーザは、装置制御パラメータを効率的に且つ精度よく決定することが可能となる。

[0009] 詳細には、本発明は、モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する処理装置であって、前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御器をモデル化したモデル制御部と、前記制御対象を含む所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系と、前記所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報を保持する保持部と、所定の入力値に対する前記所定の装置側構成の時間応答を、前記算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出部と、前記第１応答算出部により算出される前記所定の装置側構成の時間応答を用いて、前記シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第２応答算出部と、前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出部及び前記第２応答算出部の算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出部と、前記性能指標算出部により算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定部と、を備える。

[0010] 本発明の処理装置では、上記シミュレーション系を踏まえた、第１応答算出部及び第２応答算出部の算出処理によって得られるシミュレーション結果に基づく所定の性能指標を利用して、モータ制御装置の装置制御パラメータが決定されることになる。ここで、上記処理装置は、モデル制御部と所定の

装置側構成に対応する制御ブロック構造を前向き要素とする所定のフィードバック系を含むシミュレーション系を備えており、そのシミュレーション系を前提として、第１応答算出部と第２応答算出部による算出処理が行われる。所定の装置側構成に関しては、そのインパルス応答情報が算出用インパルス応答情報として保持部により保持されている。そして、第１応答算出部が、その算出用インパルス応答情報を用いた畳み込み積分処理により、所定の装置側構成への所定の入力値に対する時間応答を算出する。このように算出用インパルス応答情報を利用することで、ユーザは、シミュレーションのために所定の装置側構成に対応する物理モデルを構築する必要がなくなるとともに、制御対象を含む所定の装置側構成の実際の特性を好適に反映させてその時間応答を精度良く算出することが可能となる。

[0011] ここで、保持部により保持される算出用インパルス応答情報は、その情報生成に起因する不可避的な誤差を含む傾向があり、またその保持に要する容量等の理由で有限のものとなる。そのため、第１応答算出部により算出される時間応答には定常偏差が残ってしまい、その結果シミュレーションの精度への影響が生じ得る。しかし、本発明の処理装置では、シミュレーション系に含まれるフィードバックループを考慮して、第１応答算出部により算出される所定の装置側構成の時間応答を用いた、第２応答算出部による応答算出の処理が行われる。例えば、前記第２応答算出部は、前記所定のフィードバック系において、前記所定の装置側構成の時間応答、又は該時間応答から算出される所定の応答結果を前記前向き要素の入力側に帰還させる方式に従い、前記シミュレーション系の応答を算出してもよい。これにより、インパルス応答情報に起因する定常偏差を低減でき、シミュレーション精度の向上を図ることができる。また、上記シミュレーション系には、非線形補償やフィードフォワード補償等に対応する、その他の制御ブロック構造等も含めることができる。

[0012] そして、上記処理装置では、このように算出用インパルス応答情報を用いた精度の高いシミュレーション処理構成を利用して、モデル制御部における

モデル制御パラメータを変化させたときのそのシミュレーション系の応答結果に基づいて、所定の性能指標とモデル制御パラメータとの相関が、性能指標算出部によって算出される。第２応答算出部によって算出されるシミュレーション系の応答結果は、モデル制御部が有するモデル制御パラメータに依存する。そこで、このようにモデル制御パラメータを変化させたときの、各モデル制御パラメータと、それぞれのモデル制御パラメータに対応するシミュレーション系の応答結果に基づく所定の性能指標とを関連付けて、上記相関が生成される。当該所定の性能指標は、モータ制御装置による制御対象の制御特性を表すパラメータであり、例えば、前記シミュレーション系に対して所定の駆動指令が入力されたときの、該シミュレーション系の応答結果における整定時間、オーバーシュート量、立ち上り時間のうち少なくとも１つに関するパラメータであってもよい。

[0013] したがって、この相関は、シミュレーション系においてどのようなモデル制御パラメータが設定されたときに、モータ制御装置によってどのように制御対象がサーボ制御されるかを示すものである。そこで、当該相関を利用することで、パラメータ決定部は装置制御パラメータを効率的に決定することができる。また、上記の通り、第１応答算出部及び第２応答算出部によるシミュレーション系の応答算出の精度は比較的高いため、パラメータ決定部により決定された装置制御パラメータの精度も、制御対象に則した好適なパラメータ値となる。なお、パラメータ決定部による装置制御パラメータの決定態様は、上記相関に基づくものであれば様々な決定態様を採用できる。例えば、対応する所定の性能指標がユーザの求める範囲に属するモデル制御パラメータを、装置制御パラメータとして決定してもよい。更に、パラメータ決定部は、上記相関に含まれるモデル制御パラメータの一の値を装置制御パラメータの値として決定してもよく、また、上記相関に含まれるモデル制御パラメータの複数の値に基づいて装置制御パラメータの値を決定してもよい。

[0014] ここで、上記シミュレーション系の具体的な構成について以下に例示する。例えば、前記インパルス応答が、電流指令に対するインパルス応答であっ

て、前記所定のフィードバック系が有する前記モデル制御部は、速度補償に関する速度制御ブロック構造であってもよい。この場合、前記第２応答算出部は、前記第１応答算出部により算出された速度応答が前記帰還方式に従い前記速度制御ブロック構造に帰還されるようにして、前記シミュレーション系の時間応答を算出する。また、当該シミュレーション系には、所定の制御ブロック構造、速度制御ブロック構造、所定のフィードバック系以外の制御ブロック構造やフィードバック系、フィードフォワード系が含まれていても構わない。

[0015] ここで、上述までの処理装置は、前記性能指標算出部によって算出された前記相関に基づき、前記モデル制御パラメータの変化に応じた前記所定の性能指標の算出結果群を表示する表示部を、更に備えてもよい。このように所定の性能指標の算出結果群を表示することで、モデル制御パラメータを変化させたときに、モータ制御装置の制御特性がどのように変化していくかを、所定の性能指標の変化を通してユーザに対して視覚的に示すことができる。そこで、更に、前記表示部により表示された前記算出結果群の中から、一の前記所定の性能指標の一つがユーザにより選択されたときに、前記パラメータ決定部は、該選択された一つの所定の性能指標に対応する前記一のモデル制御パラメータを前記装置制御パラメータとして決定することができる。このように視覚的な所定の性能指標の算出結果群を視覚的に利用することで、ユーザは、モデル制御パラメータの変化と、モータ制御装置の制御特性の変化を容易に把握することができ、一つの所定の性能指標の選択を介した好適な装置制御パラメータの決定が実現できる。

[0016] また、本願発明を、モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する制御パラメータ決定方法の側面からとらえてもよい。この場合、当該方法は、所定の入力値に対する、前記制御対象を含む所定の装置側構成の時間応答を、該所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報と該

所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出ステップと、前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御器をモデル化したモデル制御部と、前記所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系に基づいて、前記第１応答算出ステップで算出された該所定の装置側構成の時間応答を用いて、該シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第２応答算出ステップと、前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出ステップ及び前記第２応答算出ステップでの算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出ステップと、前記性能指標算出ステップで算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定ステップと、を含む。なお、当該制御パラメータ決定方法の発明には、上記処理装置の発明に関し開示した技術思想を、技術的な齟齬が生じない限りで適用することが可能である。

[0017] また、本願発明を、モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する処理装置に、下記ステップからなる処理を実行させるパラメータ決定プログラムの側面から捉えることもできる。当該パラメータ決定プログラムは、処理装置に、所定の入力値に対する、前記制御対象を含む所定の装置側構成の時間応答を、該所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出ステップと、前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御器をモデル化したモデル制御部と、前記所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系に基づいて、前記第１応答算出ステップで算出された該所定の

装置側構成の時間応答を用いて、該シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第２応答算出ステップと、前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出ステップ及び前記第２応答算出ステップでの算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出ステップと、前記性能指標算出ステップで算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定ステップと、を実行させる。なお、当該パラメータ決定プログラムの発明には、上記処理装置の発明に関し開示した技術思想を、技術的な齟齬が生じない限りで適用することが可能である。

発明の効果

[0018] モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムにおける該モータ制御装置の装置制御パラメータを、精度良く且つ効率的に決定することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明に係る処理装置による装置制御パラメータの決定処理の対象となる制御システムの概略構成を示す図である。

[図2]図１に示す制御システムに含まれるサーボドライバの制御構造を示す図である。

[図3]本発明に係る処理装置の機能ブロック図である。

[図4]本発明に係る処理装置が有するシミュレーション系の構造を示す制御ブロック図であり、（ｂ）はトルク指令対応のインパルス応答モデルを使用するシミュレーション系の構造を示している。また、（ａ）は、当該シミュレーション系の説明のための基本構造を示している。

[図5]本発明に係る処理装置において実行される算出処理のためのフローチャートである。

[図6]図５に示す算出処理によるシミュレーション結果を示す図である。

[図7]本発明に係る処理装置において実行される、サーボドライバの装置制御パラメータを決定するパラメータ決定処理のためのフローチャートである。

[図8]図７に示すパラメータ決定処理で生成される性能指標相関の構成を示す図である。

[図9]図７に示すパラメータ決定処理で生成された性能指標群の表示例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] ＜実施例１＞

図１は、本発明の実施の形態に係る処理装置によるパラメータ決定処理の対象となる制御システムの概略構成図である。制御システムは、ネットワーク１と、モータ２と、負荷装置３と、サーボドライバ４と、標準ＰＬＣ(Programmable Logic Controller)５とを備える。当該制御システムは、モータ２とともに負荷装置３を駆動制御するためのシステムである。そして、モータ２及び負荷装置３が、当該制御システムによって制御される制御対象６とされる。ここで、負荷装置３としては、各種の機械装置（例えば、産業用ロボットのアームや搬送装置）が例示でき、モータ２はその負荷装置３を駆動するアクチュエータとして負荷装置３内に組み込まれている。例えば、モータ２は、ＡＣサーボモータである。なお、モータ２には図示しないエンコーダが取り付けられており、当該エンコーダによりモータ２の動作に関するパラメータ信号がサーボドライバ４にフィードバック送信されている。このフィードバック送信されるパラメータ信号（以下、フィードバック信号という）は、たとえばモータ２の回転軸の回転位置（角度）についての位置情報、その回転軸の回転速度の情報等を含む。

[0021] サーボドライバ４は、ネットワーク１を介して標準ＰＬＣ５からモータ２の動作（モーション）に関する動作指令信号を受けるとともに、モータ２に接続されているエンコーダから出力されたフィードバック信号を受ける。サーボドライバ４は、標準ＰＬＣ５からの動作指令信号およびエンコーダからのフィードバック信号に基づいて、モータ２の駆動に関するサーボ制御、す

なわち、モータ２の動作に関する指令値を算出するとともに、モータ２の動作がその指令値に追従するように、モータ２に駆動電流を供給する。なお、この供給電流は、交流電源７からサーボドライバ４に対して送られる交流電力が利用される。本実施例では、サーボドライバ４は三相交流を受けるタイプのものであるが、単相交流を受けるタイプのものでもよい。なお、サーボドライバ４によるサーボ制御については、サーボドライバ４が有する位置制御器４１、速度制御器４２、電流制御器４３を利用したフィードバック制御であり、その詳細については図２に基づいて後述する。

[0022] ここで、図１に示すように、サーボドライバ４は、位置制御器４１、速度制御器４２、電流制御器４３を備え、これらの処理により上記サーボ制御が実行される。そこで、図２に示すサーボドライバ４の制御構造に基づいて、サーボドライバ４による上記サーボ制御の内容について説明する。図２に示すように、位置制御器４１は、例えば、比例制御（Ｐ制御）を行う。具体的には、標準ＰＬＣ５から通知された位置指令と検出位置との偏差である位置偏差に、位置比例ゲインＫｐｐを乗ずることにより速度指令を算出する。なお、位置制御器４１が有する位置比例ゲインＫｐｐは、本願発明の装置制御パラメータの１つであり、後述する図７に示すパラメータ決定処理によって決定される。

[0023] 次に、速度制御器４２は、例えば、比例積分制御（ＰＩ制御）を行う。具体的には、位置制御器４１に算出された速度指令と検出速度との偏差である速度偏差の積分量に速度積分ゲインＫｖｉを乗じ、その算出結果と当該速度偏差の和に速度比例ゲインＫｖｐを乗ずることにより、トルク指令を算出する。なお、速度制御器４２が有する速度比例ゲインＫｖｐ及び速度積分ゲインＫｖｉは、本願発明の装置制御パラメータに属するパラメータであり、後述する図７に示すパラメータ決定処理によって決定される。また、速度制御器４２はＰＩ制御に代えてＰ制御を行ってもよい。この場合には速度制御器４２が有する速度比例ゲインＫｖｐが、後述する図７に示すパラメータ決定処理によって決定される。次に、電流制御器４３は、速度制御器４２により

算出されたトルク指令に基づいて電流指令を出力し、それによりモータ２が駆動制御される。電流制御器４３は、トルク指令に関するフィルタ（１次のローパスフィルタ）や一又は複数のノッチフィルタを含み、制御パラメータとして、これらのフィルタの性能に関するカットオフ周波数等を有している。

[0024] そして、サーボドライバ４の制御構造は、速度制御器４２、電流制御器４３、制御対象６を前向き要素とする速度フィードバック系を含み、更に、当該速度フィードバック系と位置制御器４１を前向き要素とする位置フィードバック系を含んでいる。このように構成される制御構造によって、サーボドライバ４は標準ＰＬＣ５から供給される位置指令に追従するようにモータ２をサーボ制御することが可能となる。

[0025] ここで、図１に戻ると、サーボドライバ４には処理装置１０が電気的に接続されている。当該電気的接続は有線接続でもよく、無線接続でもよい。処理装置１０は、サーボドライバ４の装置制御パラメータを設定及び調整するための装置であり、調整用のソフトウェア（プログラム）が搭載されている。具体的には、処理装置１０は、演算装置やメモリ等を有するコンピュータであり、そこで実行可能な調整用ソフトウェアがインストールされている。そして、処理装置１０はこの調整用ソフトウェアを用いて、サーボドライバ４による制御対象６の応答状態が目標とする状態となるように、位置制御器４１や速度制御器４２に設定される装置制御パラメータ（位置比例ゲインＫｐｐ、速度比例ゲインＫｖｐ、速度積分ゲインＫｖｉ）を調整する。なお、処理装置１０は標準ＰＬＣ５に接続されてもよく、この場合、処理装置１０は、標準ＰＬＣ５を介してサーボドライバ４へアクセスし、装置制御パラメータを設定及び調整する。

[0026] なお、処理装置１０は、当該調整ソフトウェアによりサーボドライバ４による制御対象の応答をシミュレーションする機能を有している。このシミュレーション機能により、処理装置１０は、所定の装置制御パラメータがサーボドライバ４に設定された際の、制御対象６の応答を算出することができる

。そして、ユーザは、処理装置１０によるシミュレーション結果に基づいて、サーボドライバ４に設定すべき装置制御パラメータを決定することができ、決定された装置制御パラメータは処理装置１０からサーボドライバ４に送信され、サーボドライバ４が有する位置制御器４１、速度制御器４２内に保持されることになる。

[0027] 次に、処理装置１０の構成について、図３に基づいて説明する。図３は、処理装置１０において実行される上記調整ソフトウェア等によって実行される各種の機能をイメージ化して表した機能ブロック図である。処理装置１０は、入力部１１、表示部１２、シミュレーション部１３、決定処理部１４、パラメータ出力部１５を有している。入力部１１は、処理装置１０が備える種々の機能のうち後述する、サーボドライバ４の装置制御パラメータを決定するための処理に供される情報（パラメータ決定処理で行われるシミュレーションのために入力される指令値やシミュレーション条件等）の入力を受け付ける機能部である。具体的には、入力部１１は、共通するハードウェアであるタッチパネルによって後述する表示部１２とともに構成される。また、別法として、入力部１１は、キーボードやマウスによって構成されてもよい。次に、表示部１２は、決定処理部１４によって算出された、サーボドライバ４の制御特性を表す所定の性能指標等を表示する機能部である。表示部１２は、シミュレーション部１３によるシミュレーション結果を表示してもよい。また、上記の通り、表示部１２は、入力部１１の機能を含むタッチパネルとして構成されてもよい。別法として、表示部１２は処理装置１０の必須の構成ではなく、処理装置１０の外部に設けられてもよい。

[0028] シミュレーション部１３は、サーボドライバ４によりサーボ制御された際の制御対象６の応答を算出する機能部である。シミュレーション部１３は、シミュレーション系１３０、保持部１３１、算出部１３４を有している。

[0029] 先ず、シミュレーション系１３０について、図４に基づいて説明する。シミュレーション系１３０は、シミュレーション対象である制御対象６に関するモデル構造を含む系である。図４の上段（ａ）は、図１に示す制御システ

ムの機械構成に対応するシミュレーション系の説明のための基本構造（以下、単に「基本構造」という）を示している。また、図４の下段（ｂ）は、シミュレーション系１３０の一形態を示している。そして、処理装置１０に採用されるシミュレーション系１３０の構造を示すのは、図４の下段（ｂ）である。

[0030] 図４の上段（ａ）に示す基本構造は、図１に示す制御システムの機械構成に対応し、モデル位置制御部５１、モデル速度制御部５２、モデル電流制御部５３、機械モデル部５４を含む。モデル位置制御部５１は、サーボドライバ４の位置制御器４１に対応し、モデル速度制御部５２は、サーボドライバ４の速度制御器４２に対応し、モデル電流制御部５３はサーボドライバ４の電流制御器４３に対応し、機械モデル部５４は、制御対象６に対応する。図４（ａ）に示す基本構造では、サーボドライバ４と同様に、モデル位置制御部５１に位置指令ｐｃｍｄと系の出力である応答位置ｐｓｉｍとの位置偏差が入力されて速度指令ｖｃｍｄが出力される。そして、モデル速度制御部５２に当該速度指令ｖｃｍｄと機械モデル部５４の出力である応答速度ｖｓｉｍとの速度偏差が入力されてトルク指令τｃｍｄが出力される。そして、モデル電流制御部５３に当該トルク指令τｃｍｄが入力されて電流指令ｃｃｍｄが出力される。そして、機械モデル部５４に当該電流指令ｃｃｍｄが入力されて、上記の応答速度ｖｓｉｍ及びその積分結果である上記の応答位置ｐｓｉｍが出力される。

[0031] ここで、シミュレーション系の一形態である図４（ｂ）に示す制御構造は、図４（ａ）に示す基本構造のうち、モデル電流制御部５３、機械モデル部５４を、所定の制御ブロック構造である電流系インパルス応答モデル部５３０に代替させるとともに、モデル速度制御部５２と当該電流系インパルス応答モデル部５３０を前向き要素とする速度フィードバック系と、モデル位置制御部５１と当該速度フィードバック系とを前向き要素とする位置フィードバック系とを含む構造となっている。電流系インパルス応答モデル部５３０は、モデル電流制御部５３、機械モデル部５４に対応する制御システム側の

機械構成である電流制御器４３及び制御対象６を１つの機械構成としたときの、当該１つの機械構成へのトルク指令のインパルス信号を入力した際の速度応答に関する情報をインパルス応答モデルとして有している。なお、当該インパルス応答情報の生成は、従来技術により実現できる。概略的には、モデル電流制御部５３及び機械モデル部５４に関する周波数伝達関数を逆フーリエ変換することで実現される。そして、電流系インパルス応答モデル部５３０への任意の入力に対する出力は、当該任意の入力と電流系インパルス応答モデル部５３０が有するインパルス応答情報との畳み込み積分処理によって算出することができる。

[0032] そして、シミュレーション系１３０が図４（ｂ）に示す制御構造を有する場合、モデル位置制御部５１に位置指令ｐｃｍｄと系の出力である応答位置ｐｓｉｍとの位置偏差が入力されて速度指令ｖｃｍｄが算出される。そして、モデル速度制御部５２に速度指令ｖｃｍｄと応答速度ｖｓｉｍとの速度偏差が入力されてトルク指令τｃｍｄが算出される。そして、電流系インパルス応答モデル部５３０にトルク指令τｃｍｄが入力されると、畳み込み積分処理により当該トルク指令τｃｍｄに対応する応答速度ｖｓｉｍが算出され、更に、その積分結果である上記の応答位置ｐｓｉｍが算出される。なお、当該シミュレーション系１３０における各制御値の算出も、算出部１３４が有する第１応答算出部１３４Ａ及び第２応答算出部１３４Ｂによって行われるが、その詳細は後述する。

[0033] このようにシミュレーション系１３０は、シミュレーション対象である制御対象６を少なくとも含む機械構成に対応する制御ブロックとしての電流系インパルス応答モデル部５３０を有し、且つ、当該電流系インパルス応答モデル部５３０を少なくとも前向き要素とするフィードバック系を有している。また、保持部１３１は、シミュレーション系１３０が有する電流系インパルス応答モデル部５３０のためのインパルス応答情報を保持する機能部である。また、算出部１３４は、保持部１３１が保持するインパルス応答情報を受け取り、シミュレーション系１３０に従ったシミュレーション処理、すな

わちシミュレーション系１３０の応答結果である応答速度ｖｓｉｍと応答位置ｐｓｉｍの算出を行う機能部である。なお、算出部１３４は、サブ機能部として第１応答算出部１３４Ａと第２応答算出部１３４Ｂを有している。第１応答算出部１３４Ａは、図４（ｂ）の電流系インパルス応答モデル部５３０の有するインパルス応答情報を利用した畳み込み積分処理に関する応答速度ｖｓｉｍを算出するサブ機能部である。また、第２応答算出部１３４Ｂは、第１応答算出部１３４Ａの算出結果、すなわち畳み込み積分処理により算出された応答速度ｖｓｉｍを用いて、シミュレーション系１３０へ入力される指令値に対するその時間応答、すなわち応答位置ｐｓｉｍを算出するサブ機能部である。

[0034] ここで、シミュレーション系にシミュレーション処理のための所定の位置指令が入力されたときの位置の時間応答ｐｓｉｍと速度の時間応答ｖｓｉｍを算出するための、算出部１３４による算出処理の流れを、図５に基づいて説明する。なお、当該算出処理は、後述の図７に示すパラメータ決定処理において実行される。先ず、Ｓ１０１では、パラメータｍ及びパラメータｎが初期化される。次に、Ｓ１０２では、位置指令ｐｃｍｄと応答位置ｐｓｉｍの偏差である位置偏差ｐｅｒｒが算出され、その後、Ｓ１０３で、位置偏差ｐｅｒｒに位置比例ゲインＫｐｐが乗じられることで速度指令ｖｃｍｄが算出される。

[0035] 次に、Ｓ１０４では、速度指令ｖｃｍｄと応答速度ｖｓｉｍの偏差である速度偏差ｖｅｒｒが算出される。更に、Ｓ１０５では、その速度偏差ｖｅｒｒが積分され、積分量σが算出されるとともに、Ｓ１０６では、下記式３に従い、トルク指令τｃｍｄが算出される。

$$\tau cmd = Kvp \cdot (verr + \sigma \cdot Kvi) \quad \cdots \text{（式３）}$$

但し、Ｋｖｐは速度比例ゲインを表し、Ｋｖｉは速度積分ゲインを表す。したがって、本算出処理では、ＰＩ制御が実行される。

[0036] 次に、Ｓ１０７～Ｓ１０９では、トルク指令τｃｍｄを電流系インパルス応答モデル部５３０への入力として、その出力である応答速度ｖｓｉｍを算

出するための畳み込み積分処理が行われる。具体的には、Ｓ１０７で、下記式４に従った演算が行われ、次にＳ１０８でパラメータｎがインクリメントされる。

$$vsim[m+n] = vsim[m+n] + \tau cmd \cdot gimp'[n] \quad \cdots \text{（式４）}$$

但し、gimp'[n]は、電流系インパルス応答モデル部５３０が有するインパルス応答情報である。当該情報は、インパルス状のトルク入力に対する速度応答を意味している。

そして、Ｓ１０９でパラメータｎが上限値に到達したか否か、すなわち、インパルス応答情報gimp'の長さに応じて式４による演算を繰り返すための、その上限となる繰り返し数に到達したか否かが判定される。Ｓ１０９で否定判定されるとＳ１０７以降の処理を繰り返し、肯定判定されるとＳ１１０へ進む。

[0037] そして、Ｓ１１０では再びパラメータｎが初期化される。次に、Ｓ１１１では、下記式５に従った演算が行われる。

$$psim[m] = psim[m-1] + vsim[m] \cdot \Delta t \quad \cdots \text{（式５）}$$

すなわち、Ｓ１１１では、畳み込み積分処理で算出された応答速度ｖｓｉｍが積分されて、応答位置ｐｓｉｍが算出される。その後、Ｓ１１２では、パラメータｍがインクリメントされる。そして、Ｓ１１３では、パラメータｍが上限値に到達したか否か、すなわち、算出処理によりシミュレーションを行いたい時間（希望する応答時間）に応じてＳ１０２～Ｓ１１２までの処理を繰り返すための、その上限となる繰り返し数に到達したか否かが判定される。Ｓ１１３で否定判定されるとＳ１０２以降の処理が繰り返され、肯定判定されると本算出処理を終了する。

[0038] ここで、図６に、図５に示す算出処理が実行されたときのシミュレーション結果を示す。図６の横軸は時間を表し、縦軸は応答位置ｐｓｉｍを表している。ここで、図６中の線Ｌ１が位置指令ｐｃｍｄの推移を表し、線Ｌ２が上記算出処理による応答位置ｐｓｉｍの推移を表している。また、比較対象として、線Ｌ３は、従来技術に従って算出された位置の推移、具体的には、

図４（ａ）に示す、モデル位置制御部５１、モデル速度制御部５２、モデル電流制御部５３、機械モデル部５４及びフィードバックループを含む基本構造の全体に対応するインパルス応答モデル部（以下、「従来のインパルス応答モデル部」と言う）で表現した場合の、当該従来のインパルス応答モデル部に入力された位置指令ｐｃｍｄと、当該従来のインパルス応答モデル部の有するインパルス応答情報とを用いた畳み込み積分処理により算出された位置の推移を表している。

[0039] 一般にインパルス応答モデル部が有するインパルス応答情報は、その情報生成に起因する不可避的な誤差を含む傾向があり、またその時間軸は有限の情報である。そのため、結果として、従来のインパルス応答モデルを使用する場合では、位置指令に対して応答結果が完全には追従できず、定常偏差が残った状態となり、シミュレーション精度の低下を招くことになる。この定常偏差を低減するためには、インパルス応答情報における時間軸を可及的に長くすればよいが、そうするとインパルス応答情報の容量が大きくなったり、またシミュレーションのための算出時間が長くなったりするため実用的ではない。

[0040] 一方で、図５に示す算出処理に従えば、位置指令に対して応答結果が好適に追従し、定常偏差が概ね解消されている。これは、図４（ｂ）に示すように、応答速度ｖｓｉｍの算出に当たって、トルク指令τｃｍｄを入力として電流系インパルス応答モデル部５３０が有するインパルス応答情報を用いて畳み込み積分処理が行われるが、その電流系インパルス応答モデル部５３０及びモデル速度制御部５２を前向き要素としたフィードバック系が、シミュレーション系１３０には含まれているからである。すなわち、応答位置ｐｓｉｍの算出において、第１応答算出部１３４Ａによる算出と第２応答算出部１３４Ｂによる算出の組合せ処理が行われることになる。これにより、インパルス応答情報のみを用いて位置応答を算出する、従来のインパルス応答モデル部を使用する場合と異なり、図５に示す算出処理に従った場合には、応答位置における定常偏差を効果的に解消できる。また、応答位置の算出に際

してインパルス応答情報を用いて畳み込み積分処理を利用していることで、その算出のために制御対象の物理モデルを設定する必要がないため、より実機に則した精度の高い応答結果を得ることができる。

[0041] ここで図３に戻り、決定処理部１４及びパラメータ出力部１５について説明する。決定処理部１４は、シミュレーション部１３によるシミュレーション結果を利用して、サーボドライバ４による制御対象６の上記サーボ制御を好適に実現するために、サーボドライバ４が有する位置制御器４１及び速度制御器４２のための装置制御パラメータを決定する機能部である。また、決定処理部１４は、性能指標算出部１４１、パラメータ決定部１４２を有している。性能指標算出部１４１は、サーボドライバ４による制御対象６の制御特性を示す所定の性能指標を算出する機能部であり、パラメータ決定部１４２は、性能指標算出部１４１によって算出された性能指標に基づいて、サーボドライバ４のための装置制御パラメータを決定する機能部である。次に、パラメータ出力部１５は、パラメータ決定部１４２によって決定されたサーボドライバ４のための装置制御パラメータを、サーボドライバ４に出力しそこで設定するように指示する機能部である。

[0042] ここで、性能指標算出部１４１及びパラメータ決定部１４２を含む決定処理部１４によって実行されるパラメータ決定処理について、図７に基づいて説明する。当該パラメータ決定処理は、入力部１１を介して当該処理の実行指令が入力されたときに実行される。先ず、Ｓ２０１では、本パラメータ決定処理を行うための初期設定値が取得される。本パラメータ決定処理では、サーボドライバ４の装置制御パラメータを決定するに当たって、図５に示した算出処理が行われる（後述のＳ２０３を参照）。その算出処理で行われるシミュレーション系１３０の応答結果の算出に必要な諸条件、例えば、シミュレーションされる位置決め動作に関する、移動距離、移動速度、時定数等の条件、及びシミュレーション系１３０のモデル位置制御部５１やモデル速度制御部５２の制御ゲイン等（以下、「モデル制御パラメータ」という）の初期値等が、パラメータ決定処理を行うための初期設定値とされる。なお、

モデル制御パラメータの初期値は、制御対象６におけるモータ２と負荷装置３のイナーシャ比やモータ２と負荷装置３を繋ぐ駆動力伝達機構等の実機構成を考慮して、適宜設定される。

[0043] 次に、Ｓ２０２では、上記算出処理で行われるシミュレーション系１３０の応答結果の算出のために、シミュレーション系１３０のモデル位置制御部５１やモデル速度制御部５２に、モデル制御パラメータが設定される。具体的には、上記Ｓ２０１の直後であれば、Ｓ２０１で取得されたモデル制御パラメータの初期値がＳ２０２の設定で利用され、また、後述するＳ２１０の直後であれば、そのＳ２１０で更新されたモデル制御パラメータの値がＳ２０２の設定で利用される。

[0044] Ｓ２０２の処理が終了すると、Ｓ２０３で上記算出処理が実行される。当該算出処理によるシミュレーション結果の一例が、上述の図６に示した通りであり、位置応答だけではなく速度応答等、当該算出処理の過程で得られる所定のパラメータの推移等も、当該算出処理によるシミュレーション結果に含まれる。このシミュレーション結果においては、シミュレーション系１３０の応答結果が正確に算出されている。そこで、次のＳ２０４では、Ｓ２０３の算出処理により得られたシミュレーション結果に基づいて、所定の性能指標が算出される。当該所定の性能指標は、サーボドライバ４による制御対象６の制御特性を表すパラメータであり、本実施例では、シミュレーション結果におけるオーバーシュート量及び整定時間を代表的に使用する。オーバーシュート量は、シミュレーション系１３０に入力された移動指令に関し、到達目標位置からの過剰移動量と定義され、整定時間は、位置指令ｐｃｍｄが目標位置に達した時刻から、位置指令ｐｃｍｄと応答位置ｐｓｉｍとの差分である位置偏差が所定閾値以下となるまでに要した時間と定義される。この他、移動開始後に目標到達速度に到達するまでに要する時間として定義される立ち上り時間等も、所定の性能指標として採用できる。このように、所定の性能指標は、サーボドライバ４による制御対象６の制御特性を表し、サーボドライバ４の装置制御パラメータを決定するために有用なパラメータで

あれば適宜採用できる。

[0045] Ｓ２０４で所定の性能指標が算出されると、次に、Ｓ２０５では、その算出された所定の性能指標と、その算出に算出処理で設定されたモデル制御パラメータとを関連付けた性能指標相関が更新され、処理装置１０内に記憶される。ここで、図８に、繰り返し行われた算出結果に基づいた性能指標相関をテーブル形式で表現している（なお、算出結果が繰り返し行われることは、後述のＳ２０６の判定処理による）。このように、性能指標相関は、シミュレーション系１３０にどのようなモデル制御パラメータが設定されると、その応答結果がどのようになるか、すなわち想定されるサーボドライバ４の制御特性がどのようになるかを表す。なお、性能指標相関は、図８に示すようなテーブル形式で形成される必要はなく、所定の性能指標と、それに対応するモデル制御パラメータとが関連付けられていれば、種々の形式で処理装置１０内に記憶できる。Ｓ２０５の処理が終了すると、Ｓ２０６へ進む。

[0046] Ｓ２０６では、装置制御パラメータ決定のための、シミュレーション系１３０に従ったシミュレーションが終了したか否かが判定される。本実施例では、複数の所定の性能指標に基づいて好適な装置制御パラメータを決定するために、当該シミュレーションは複数回行われる。このシミュレーションが行われる回数は、Ｓ２０１で取得された初期設定値の中に含まれており、本実施例では図８に示すようにＮＭａｘ回シミュレーションが繰り返されるものとする。Ｓ２０６で肯定判定されるとＳ２０７へ進み、否定判定されるとＳ２１０へ進む。

[0047] ここで、Ｓ２１０では、次の算出処理でシミュレーション系１３０に設定されるモデル制御パラメータを、既に使用されたモデル制御パラメータとは異なるパラメータに更新する。一回の更新におけるモデル制御パラメータの変更幅は、シミュレーションが繰り返される最大回数（ＮＭａｘ回）と想定されるモデル制御パラメータの限界値とを考慮して適宜決定されてもよく、又は、予め決められた固定値であってもよい。またモデル制御パラメータに該当するパラメータが２種類以上ある場合（本実施例のように、モデル制御

パラメータに、位置比例ゲインＫｐｐ、速度比例ゲインＫｖｐ、速度積分ゲインＫｖｉが含まれる場合）には、そのうちの少なくとも１種類のパラメータについて更新されればよい。Ｓ２１０の処理が終了すると再びＳ２０２以降の処理が繰り返され、この結果、上記算出処理によるシミュレーションが繰り返されるとともに、順次、その結果を踏まえて性能指標相関が更新されていく。

[0048] また、Ｓ２０６で肯定判定されＳ２０７へ進むと、それまでに繰り返された算出処理により得られた性能指標相関に基づき、Ｓ２１０でのモデル制御パラメータの更新に応じた所定の性能指標の算出結果のまとまり（群）を表示部１２のタッチパネル１２０に表示する。すなわち、本実施例では、ＮＭａｘ回の算出処理が繰り返されているため、ＮＭａｘ個の所定の性能指標の群が表示される。ここで、図９に、表示部１２のタッチパネル１２０におけるその表示例を示す。本実施例では、オーバーシュート量と整定時間の２つのパラメータを所定の性能指標として採用しているため、両パラメータを評価軸とする二次元のグラフ中に、所定の性能指標の群を黒丸の点（表示点）でそれぞれ示している。

[0049] この所定の性能指標群の表示結果に対しては、サーボドライバ４による制御対象６のサーボ制御において許容される整定時間の上限値Ｘ０と、オーバーシュート量の上限値Ｙ０も併せて表示されている。したがって、表示部１２のタッチパネル１２０を見たユーザは、サーボドライバ４により制御対象６がサーボ制御されたときに、許容範囲内の制御特性となっている所定の性能指標に対応する表示点（本実施例では、Ｐ４～Ｐ６の３点）を容易に認識できる。

[0050] 次に、Ｓ２０８では、表示部１２のタッチパネル１２０に表示された所定の性能指標の中から、ユーザにより１つの所定の性能指標に対応する表示点が選択されたか否かが判定される。表示部１２のタッチパネル１２０の画面右下には、選択完了ボタン１２１も表示されている。ユーザは、目標とする制御特性となっている所定の性能指標に対応する表示点Ｐ４～Ｐ６を、タッ

チパネル１２０上で選択し選択完了ボタン１２１を押下することで、選択された表示点に対応する所定の性能指標を特定する情報が、パラメータ決定処理側に返されるとともに、そのボタン押下によりＳ２０８の判定が肯定判定される。なお、そのボタン押下が行われるまで、Ｓ２０８では否定判定が繰り返される。また、ユーザは、目標とする制御特性となっている所定の性能指標に対応する表示点Ｐ４～Ｐ６以外の表示点（以下、「目標外表示点」という）を選択できるようにしてもよく、別法として、目標が表示点の選択はできないようにしてもよい。

[0051] Ｓ２０８で肯定判定されるとＳ２０９へ進み、Ｓ２０９では、上記のユーザの選択に対応する所定の性能指標に基づいて、サーボドライバ４の装置制御パラメータが決定される。当該決定は、パラメータ決定部１４２によって行われ、具体的には、上記ユーザの選択に対応する所定の性能指標と、図８に示す性能指標相関とに基づいて、当該選択された所定の性能指標に対応するモデル制御パラメータが、サーボドライバ４の装置制御パラメータとして決定される。例えば、図９に示す表示結果に従ってユーザが表示点Ｐ４を選択して選択完了ボタン１２１を押下すると、その点Ｐ４に対応する所定の性能指標（Ｘ４、Ｙ４）を算出した際にシミュレーション系１３０に設定されたモデル制御パラメータＭＰ４が、サーボドライバ４の装置制御パラメータとして決定される。そして、このように決定された装置制御パラメータは、パラメータ出力部１５によってサーボドライバ４に出力され、サーボドライバ４の位置制御器４１、速度制御器４２に設定される。

[0052] また、装置制御パラメータ決定の別法として、ユーザにより複数の表示点を選択し、それらを装置側制御パラメータの決定に反映させてもよい。例えば、図９においてユーザが点Ｐ４～Ｐ６の３点を選択して選択完了ボタン１２１を押下した場合、これらの表示点に対応する３つの所定の性能指標に関連付けられた３つのモデル制御パラメータの平均値を、装置側制御パラメータとして決定することもできる。

[0053] このように本実施例によれば、モデル速度制御部５２及び電流系インパル

ス応答モデル部５３０を前向き要素とするフィードバック系を含むシミュレーション系１３０を利用した精度の高いシミュレーション結果に基づいて算出される所定の性能指標を、表示部１２のタッチパネル１２０上に視覚化することで、ユーザがその表示結果から容易に好適な性能指標を選択できるようになる。その結果、サーボドライバ４による制御特性をより好適なものとすることが見込まれる装置制御パラメータを効率的に決定することができる。特に上記算出処理によるシミュレーション系１３０の応答算出では、上記の通りインパルス応答情報を利用しながらも定常偏差の発生を可及的に解消し得る。そのため、性能指標として位置偏差に基づいた整定時間等を採用しても、その性能指標を含む性能指標相関に基づいて好適な装置制御パラメータの決定が可能となる。

[0054] なお、本実施例の変形例として、ユーザの上記選択を経ずに、パラメータ決定部１４２が性能指標相関に基づいて自動的に装置制御パラメータを決定してもよい。当該自動的な決定は、予め定められた基準、例えば、整定時間及びオーバーシュート量が許容範囲内にある中で整定時間が最も短くなる性能指標に基づいて装置制御パラメータを決定すると言う基準に従って行われてもよい。この基準に従うと、図９に示す例では、点Ｐ４に対応するモデル制御パラメータＭＰ４が、サーボドライバ４の装置制御パラメータとして決定される。

符号の説明

[0055] １・・・・ネットワーク

２・・・・モータ

３・・・・負荷装置

１０・・・・処理装置

１１・・・・入力部

１２・・・・表示部

１３・・・・シミュレーション部

１４・・・・決定処理部

４１・・・・位置制御器

４２・・・・速度制御器

４３・・・・電流制御器

５１・・・・モデル位置制御部

５２・・・・モデル速度制御部

１２０・・・・タッチパネル

１３０・・・・シミュレーション系

１３１・・・・保持部

１３２・・・・インパルス応答生成部

１３４・・・・算出部

１３４Ａ・・・・第１応答算出部

１３４Ｂ・・・・第２応答算出部

１４１・・・・性能指標算出部

１４２・・・・パラメータ決定部

５３０・・・・電流系インパルス応答モデル部

請求の範囲

[請求項1] モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する処理装置であって、

前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御器をモデル化したモデル制御部と、前記制御対象を含む所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系と、

前記所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報を保持する保持部と、

所定の入力値に対する前記所定の装置側構成の時間応答を、前記算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出部と、

前記第１応答算出部により算出される前記所定の装置側構成の時間応答を用いて、前記シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第２応答算出部と、

前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出部及び前記第２応答算出部の算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出部と、

前記性能指標算出部により算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定部と、

を備える、処理装置。

[請求項2] 前記インパルス応答が、電流指令に対するインパルス応答であって、

前記所定のフィードバック系が有する前記モデル制御部は、速度補

償に関する速度制御ブロック構造であって、

前記第２応答算出部は、前記第１応答算出部により算出された速度応答が前記帰還方式に従い前記速度制御ブロック構造に帰還されるようにして、前記シミュレーション系の時間応答を算出する、

請求項１に記載の処理装置。

[請求項3] 前記性能指標算出部によって算出された前記相関に基づき、前記モデル制御パラメータの変化に応じた前記所定の性能指標の算出結果群を表示する表示部を、更に備える、

請求項１又は請求項２に記載の処理装置。

[請求項4] 前記パラメータ決定部は、前記表示部により表示された前記算出結果群の中から、一の前記所定の性能指標の一つがユーザにより選択されたときに、該選択された一つの所定の性能指標に対応する前記一のモデル制御パラメータを前記装置制御パラメータとして決定する、

請求項３に記載の処理装置。

[請求項5] 前記所定の性能指標は、前記シミュレーション系に対して所定の駆動指令が入力されたときの、該シミュレーション系の応答結果における整定時間、オーバーシュート量、立ち上り時間のうち少なくとも１つに関するパラメータである、

請求項１から請求項４の何れかに記載の処理装置。

[請求項6] モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する制御パラメータ決定方法であって、

所定の入力値に対する、前記制御対象を含む所定の装置側構成の時間応答を、該所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出ステップと、

前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御

器をモデル化したモデル制御部と、前記所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系に基づいて、前記第１応答算出ステップで算出された該所定の装置側構成の時間応答を用いて、該シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第２応答算出ステップと、

前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出ステップ及び前記第２応答算出ステップでの算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出ステップと、

前記性能指標算出ステップで算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定ステップと、

を含む、制御パラメータ決定方法。

[請求項7] モータを含む制御対象と、該モータを制御するモータ制御装置と、を有する制御システムのシミュレーションを行うことで、該モータ制御装置に設定される装置制御パラメータを決定する処理装置に、

所定の入力値に対する、前記制御対象を含む所定の装置側構成の時間応答を、該所定の装置側構成に関するインパルス応答の情報である算出用インパルス応答情報と該所定の入力値とを用いた畳み込み積分処理により算出する第１応答算出ステップと、

前向き要素として、前記モータ制御装置が有する一又は複数の制御器をモデル化したモデル制御部と、前記所定の装置側構成に対応する所定の制御ブロック構造とを有する所定のフィードバック系を含むシミュレーション系に基づいて、前記第１応答算出ステップで算出された該所定の装置側構成の時間応答を用いて、該シミュレーション系へ入力される指令値に対する該シミュレーション系の応答を算出する第

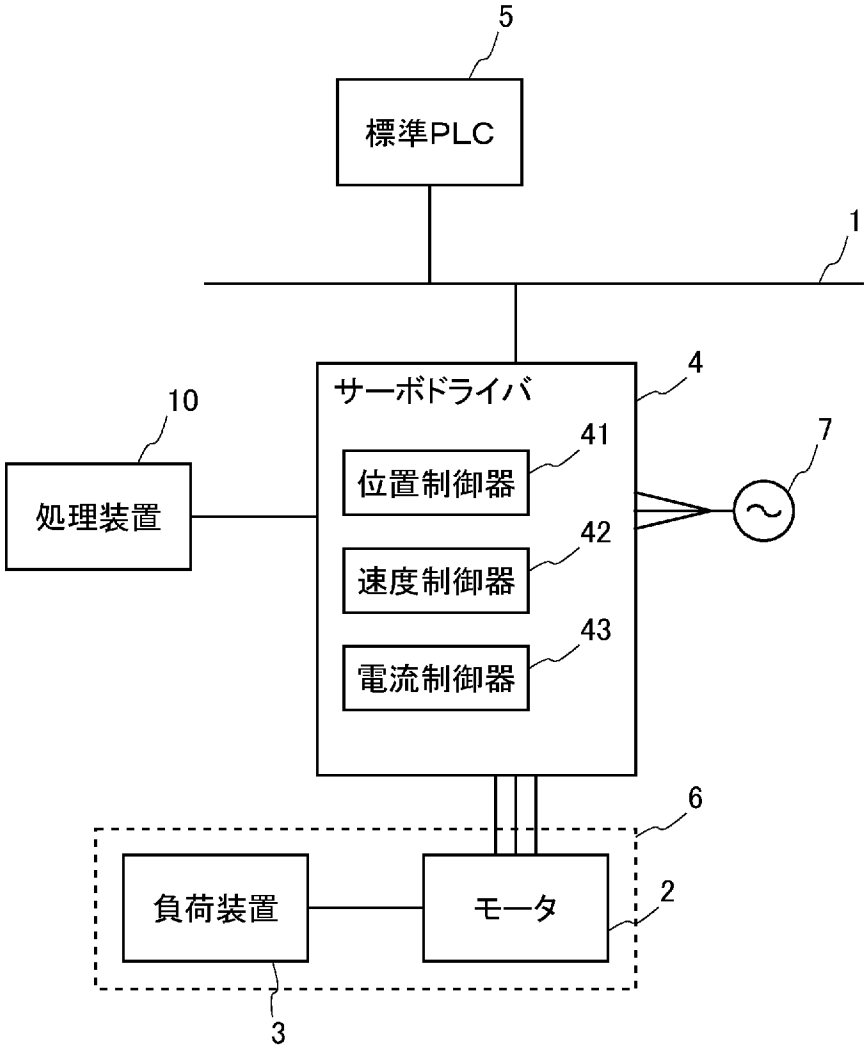
２応答算出ステップと、

前記モデル制御部に設定されるモデル制御パラメータを変化させて前記第１応答算出ステップ及び前記第２応答算出ステップでの算出を行うことで、前記シミュレーション系の応答結果に基づく、前記モータ制御装置による前記制御対象の制御特性を表す所定の性能指標と、該モデル制御パラメータとの相関を算出する性能指標算出ステップと、

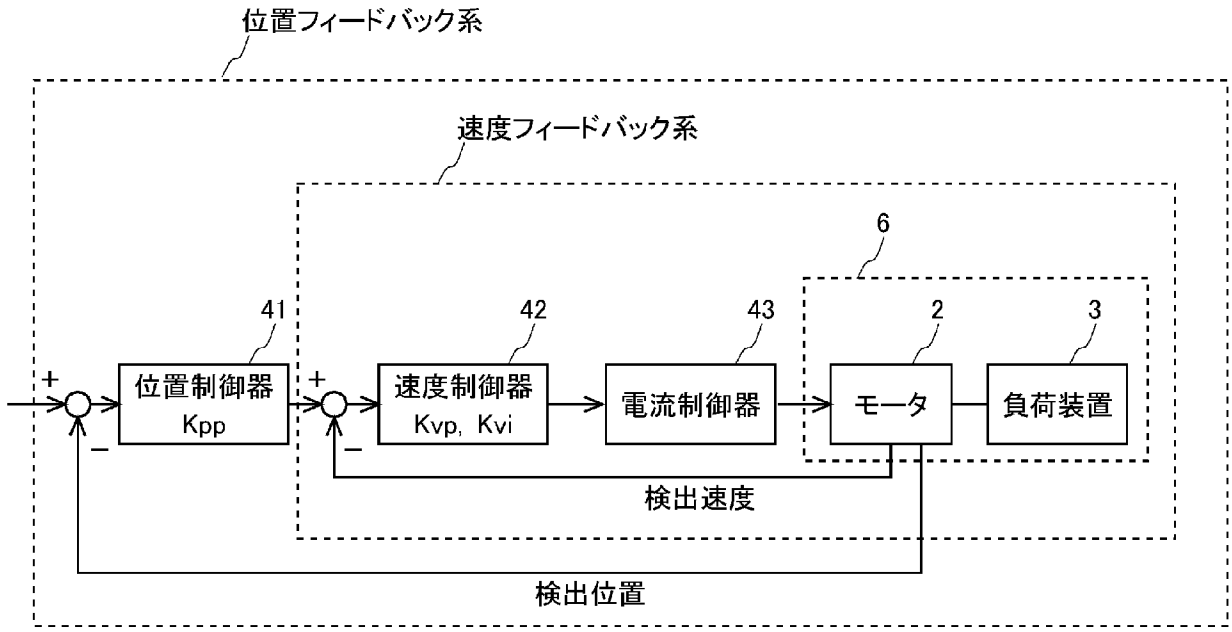
前記性能指標算出ステップで算出された前記相関に基づいて前記装置制御パラメータを決定するパラメータ決定ステップと、

を実行させる制御パラメータ決定プログラム。

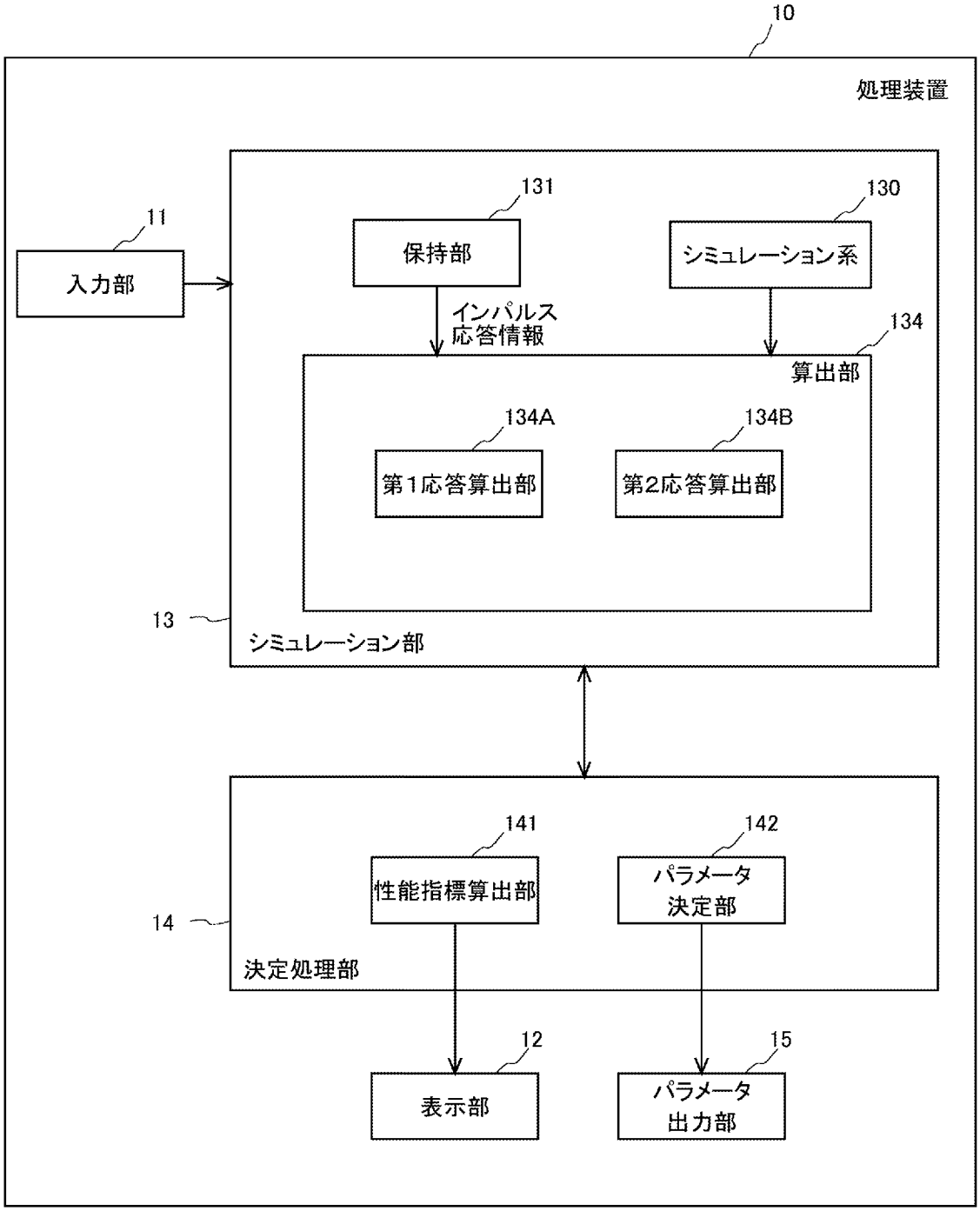
[図1]


5
標準PLC
1
サーボドライバ
4
10
処理装置
41
位置制御器
7
42
速度制御器
43
電流制御器
6
負荷装置
モータ
2
3

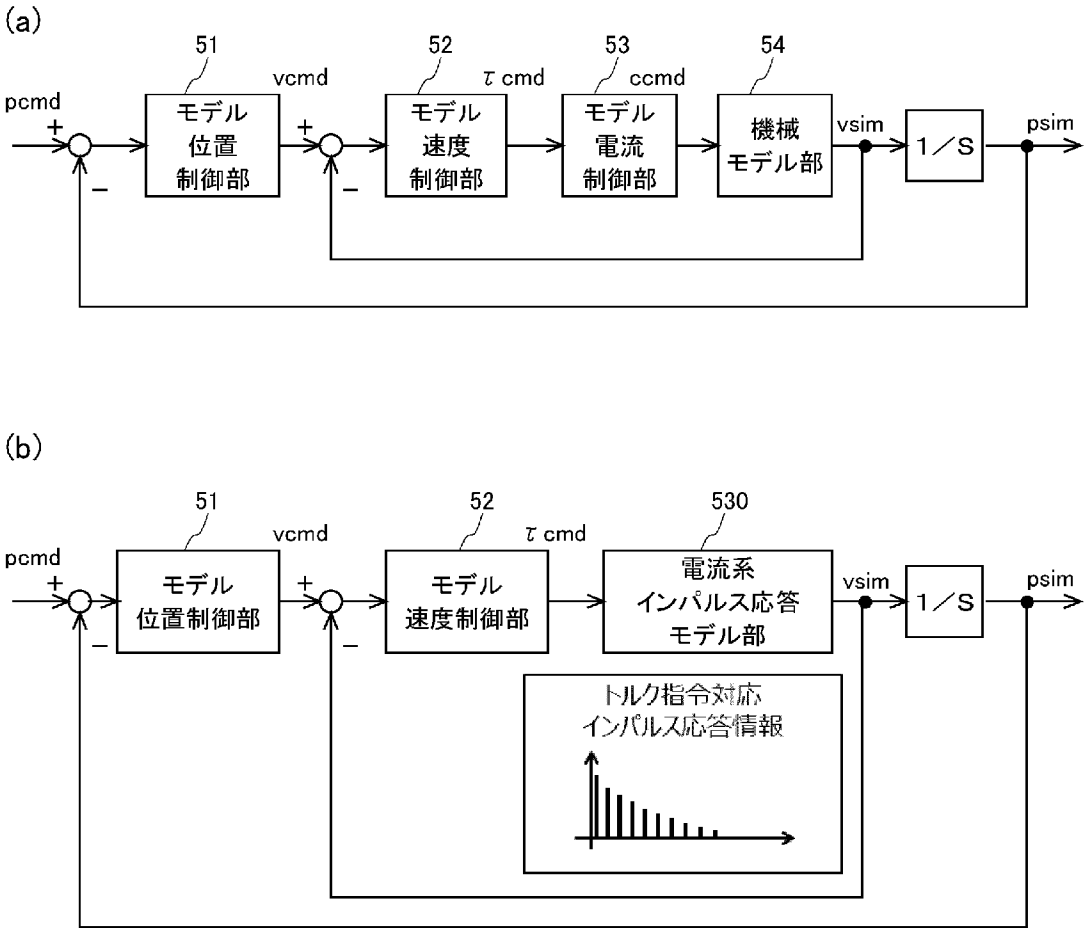
[図2]


位置フィードバック系
速度フィードバック系
6
41
42
43
2
3
+
−
位置制御器
Kpp
+
−
速度制御器
Kvp, Kvi
電流制御器
モータ
負荷装置
検出速度
検出位置

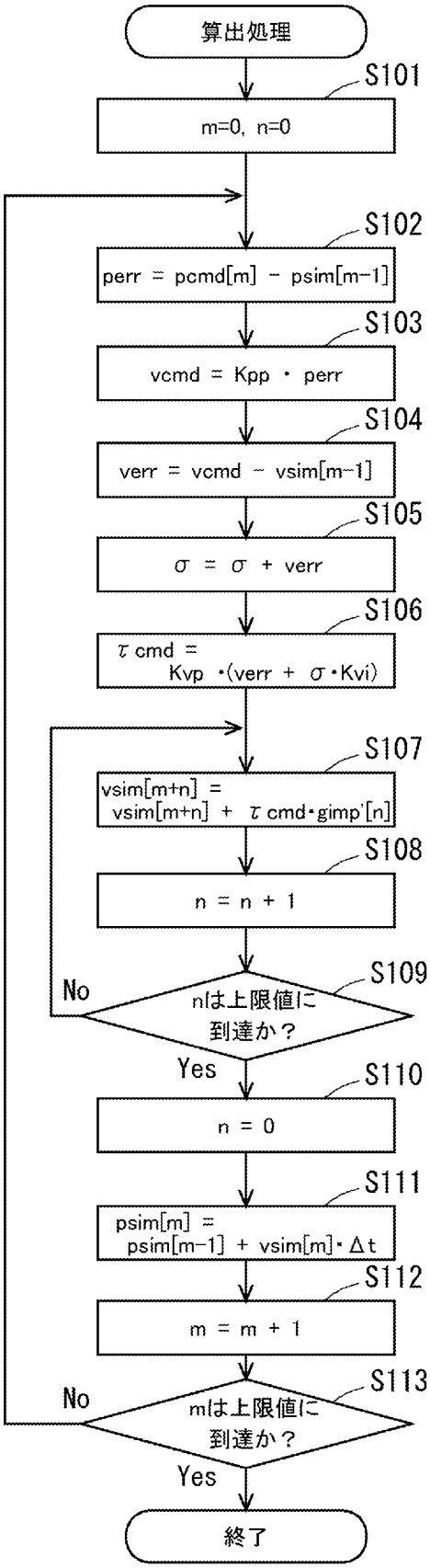
[図3]


10
処理装置
11
入力部
131
保持部
130
シミュレーション系
インパルス
応答情報
134
算出部
134A
第1応答算出部
134B
第2応答算出部
13
シミュレーション部
141
性能指標算出部
142
パラメータ
決定部
14
決定処理部
12
表示部
15
パラメータ
出力部

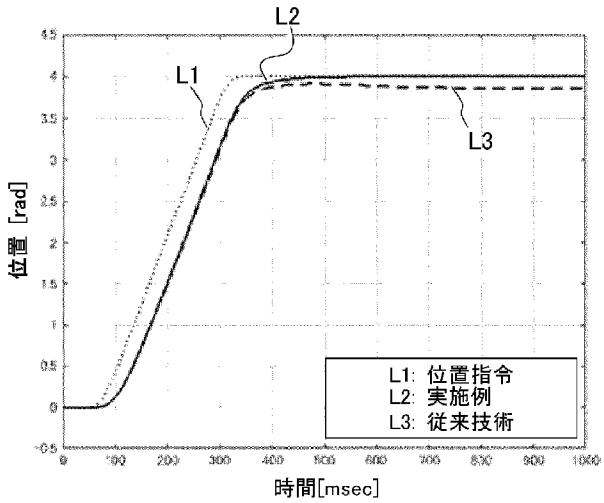
[図4]


(a)
51
52
53
54
pcmd
vcmd
τ cmd
ccmd
モデル
位置
制御部
モデル
速度
制御部
モデル
電流
制御部
機械
モデル部
vsim
1／S
psim
(b)
51
52
530
pcmd
vcmd
τ cmd
モデル
位置制御部
モデル
速度制御部
電流系
インパルス応答
モデル部
vsim
1／S
psim
トルク指令対応
インパルス応答情報

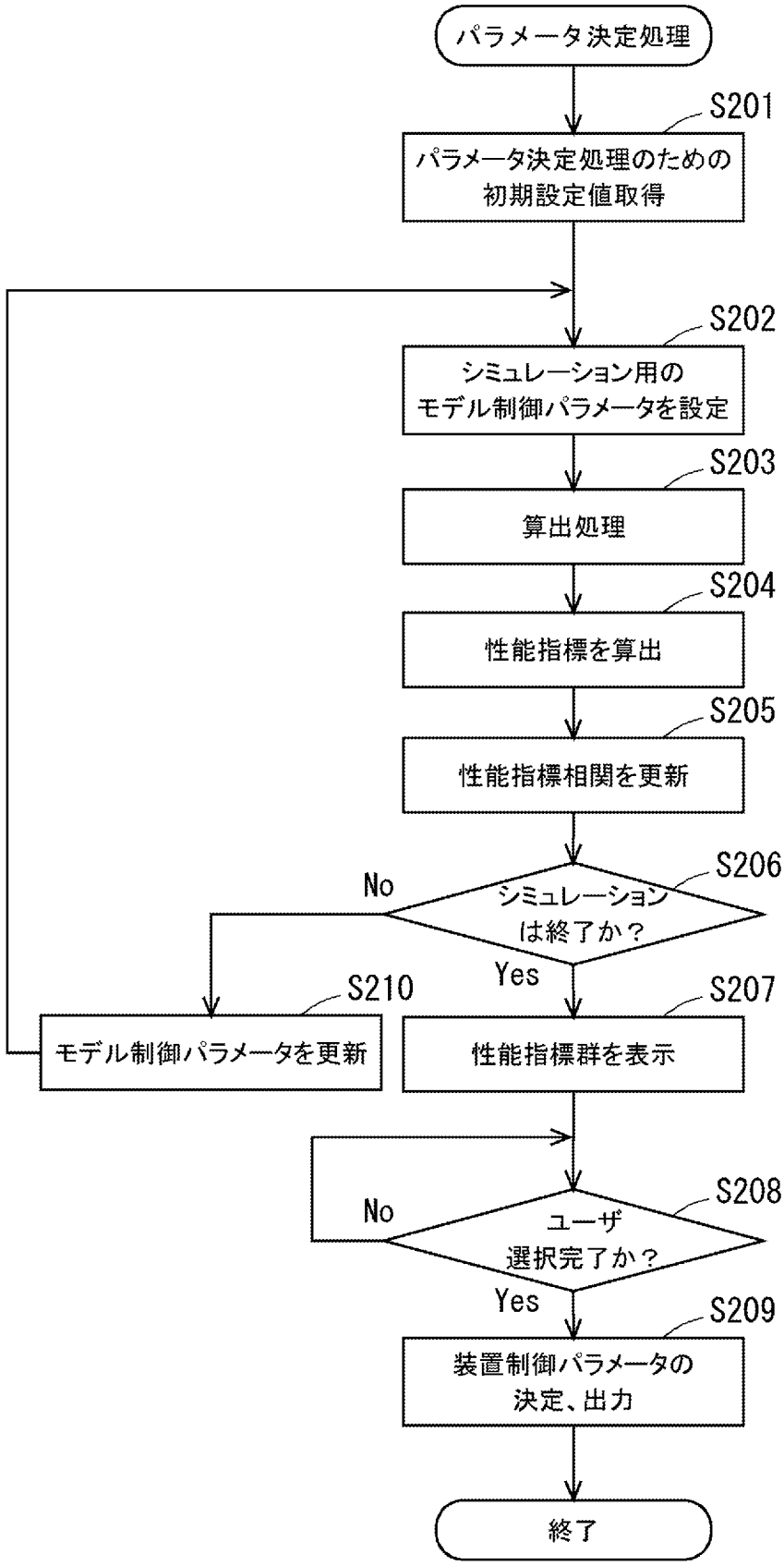
[図5]


算出処理
S101
m=0, n=0
S102
perr = pcmd[m] - psim[m-1]
S103
vcmd = Kpp ・ perr
S104
verr = vcmd - vsim[m-1]
S105
σ = σ + verr
S106
τcmd = Kvp ・(verr + σ・Kvi)
S107
vsim[m+n] = vsim[m+n] + τcmd・gimp'[n]
S108
n = n + 1
S109
No
nは上限値に到達か？
Yes
S110
n = 0
S111
psim[m] = psim[m-1] + vsim[m]・Δt
S112
m = m + 1
S113
No
mは上限値に到達か？
Yes
終了

[図6]



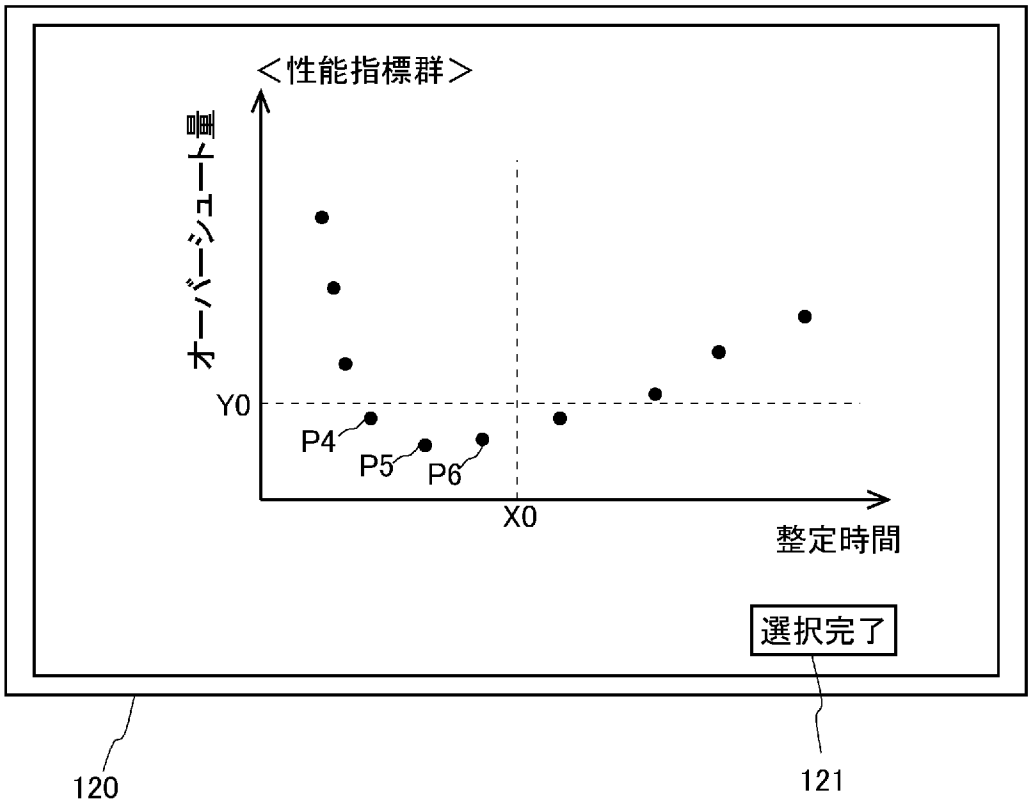
[図7]


パラメータ決定処理
S201
パラメータ決定処理のための
初期設定値取得
S202
シミュレーション用の
モデル制御パラメータを設定
S203
算出処理
S204
性能指標を算出
S205
性能指標相関を更新
S206
シミュレーション
は終了か？
No
Yes
S210
モデル制御パラメータを更新
S207
性能指標群を表示
S208
ユーザ
選択完了か？
No
Yes
S209
装置制御パラメータの
決定、出力
終了

[図8]

パラメータ条件順序	オーバーシュート量	整定時間	モデル制御パラメータ
1	X1	Y1	MP1
2	X2	Y2	MP2
3	X3	Y3	MP3
4	X4	Y4	MP4
・・・	・・・	・・・	・・・
NMax	XNMax	YNMax	MPNMax

[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/002926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G05B13/04(2006.01)i, H02P29/00(2016.01)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)
Int.Cl. G05B13/04, H02P29/00

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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 2006-33929 A (FUJI ELECTRIC HOLDINGS CO., LTD.) 02 February 2006, paragraphs [0020]-[0046], fig. 1-10 (Family: none)	1-7
A	JP 4-340602 A (MITSUBISHI KASEI CORP.) 27 November 1992, paragraphs [0003], [0014]-[0032], fig. 1 (Family: none)	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 April 2018 (03.04.2018)	17 April 2018 (17.04.2018)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／００２９２６

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, H02P29/00(2016.01)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, H02P29/00

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	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８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 2006-33929 A (富士電機ホールディングス株式会社) 2006.02.02, 段落[0020]-[0046], 図 1-10 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 4-340602 A (三菱化成株式会社) 1992.11.27, 段落[0003], [0014]-[0032], 図 1 (ファミリーなし)	1-7

☐　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 ０３．０４．２０１８	国際調査報告の発送日 １７．０４．２０１８
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 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）　３Ｕ　５７８５ 影山　直洋 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６４